



Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava



TECHNOLOGIE I

Studijní opora

Radek Čada

Ostrava 2007

Recenze: doc. Dr. Ing. René Pyszko (FMFI, VŠB – Technická univerzita Ostrava),
prof. RNDr. Erika Mechlová, CSc. (Ostravská univerzita v Ostravě).

Název: Technologie I
Autor: doc. Ing. Radek Čada, CSc.
Vydání: první, 2007
Počet stran: 360
Náklad: -
Vydavatel a tisk: Ediční středisko VŠB – TUO

Studijní materiály pro 1. ročník bakalářského studijního programu B2341 „Strojírenství“,
obor 2341R999-00 „Bakalářské strojírenství“ na Fakultě strojní VŠB - TUO
Jazyková korektura: nebyla provedena.

Určeno pro projekt:

Operační program Rozvoj lidských zdrojů

Název: E-learningové prvky pro podporu výuky odborných a technických předmětů

Číslo: CZ.O4.01.3/3.2.15.2/0326

Realizace: VŠB – Technická univerzita Ostrava

Projekt je spolufinancován z prostředků ESF a státního rozpočtu ČR

© Radek Čada, 2007

© VŠB – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-1507-7

OBSAH

	strana
0 Předmluva	9
0.1 Vysvětlení hlaviček s ikonami	10
0.2 Uvedení do studia (rychlý náhled do problematiky studijní opory, cíle studijní opory, klíčová slova studijní opory, čas potřebný ke studiu studijní opory, průvodce studiem) ..	13
1 Vliv tváření na vlastnosti a strukturu materiálu	21
1.0 Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	21
1.1 Tváření	22
1.2 Plastická deformace kovů	23
1.3 Základní mechanismy plastické deformace	24
1.4 Základní faktory ovlivňující plastickou deformaci	28
1.4.1 Vliv struktury materiálu na plastickou deformaci	28
1.4.2 Vliv teploty deformovaného materiálu na proces plastické deformace	30
1.4.2.1 Tváření zastudena	33
1.4.2.2 Tváření zatepla	35
1.4.3 Vliv tření na styčných plochách nástroje s materiálem na průběh plastické deformace	36
1.4.4 Vliv napjatosti na plastickou deformaci	36
1.4.5 Vliv rychlosti deformace na plastickou deformaci	38
1.5 Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, průvodce studiem	39
2 Základní zákony plastické deformace	44
2.0 Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	44
2.1 Zákon stálosti objemu	45
2.2 Zákon nejmenšího odporu	47
2.3 Zákon závislosti deformace na napěťovém stavu	48
2.4 Zákon stálosti potenciální energie na změnu tvaru	49
2.5 Zákon smykových napětí	49
2.6 Zákon pružného odlehčení	50
2.7 Zákon zpevnění	51
2.8 Zákon tření	52
2.9 Zákon přídavných napětí	53
2.10 Zákon podobnosti	54
2.11 Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, průvodce studiem	55
3 Objemové tváření zatepla	59
3.0 Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	59
3.1 Návrh technologického postupu výroby výkovku	63
3.1.1 Rozbor podle výkresu součástí	64

3.1.2	Určení druhu tvářecího stroje	64
3.1.3	Nakreslení výkresu výkovku	66
3.1.4	Výpočet silových parametrů tvářecího stroje	71
3.1.5	Výběr a sled potřebných operací	71
3.1.6	Stanovení objemu a tvaru výchozího materiálu	75
3.1.7	Konstrukce tvářecího nástroje	76
3.1.8	Ohřev materiálu, mazání, ostřížení, kalibrace	81
3.1.9	Konečná úprava výkovků	82
3.2	Válcování zatepla	83
3.3	Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, korespondenční úkol, průvodce studiem	88
4	Objemové tváření zastudena	95
4.0	Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	95
4.1	Návrh technologického postupu výroby protlačku	101
4.1.1	Volba materiálu	101
4.1.2	Stanovení tvaru a rozměrů polotovaru	102
4.1.3	Volba přípravných operací před tvářením	103
4.1.4	Stanovení počtu tvářecích operací	104
4.1.5	Dodržení technologických zásad pro návrh protlačků a nástrojů	106
4.1.6	Výpočet tvářecí síly a práce	111
4.1.7	Dokončování výlisků	111
4.2	Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, korespondenční úkol, průvodce studiem	113
5	Dělení materiálu	119
5.0	Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	119
5.1	Plošné stříhání	121
5.1.1	Střížná plocha a její kvalita	123
5.1.2	Velikost střížné mezery	123
5.1.3	Střížná plocha, síla a práce	125
5.1.4	Stříh skloněnými noži	126
5.1.5	Zařízení ke stříhání	127
5.1.5.1	Stříhadla	129
5.1.5.2	Vystřihování součástí z tenkých plechů gumou	132
5.1.6	Nástřihové plány	133
5.1.7	Přesné stříhání	136
5.2	Objemové stříhání	141
5.3	Stříhání tenkostěnných profilů a trubek	142
5.4	Lámání	147
5.5	Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, průvodce studiem	149

6 Tažení plechu	155
6.0 Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	155
6.1 Technologické parametry tažení	161
6.1.1 Tvar a velikost přístřihu	161
6.1.2 Stanovení počtu tažných operací a jejich odstupňování	162
6.1.3 Použití přidržovače	163
6.1.4 Tažná mezera	166
6.1.5 Tvar tažnice	166
6.1.6 Tvar tažníku	168
6.1.7 Tažná síla	169
6.1.8 Rychlost tažení	169
6.1.9 Drsnost plechu a funkčních částí nástroje	170
6.1.10 Mazání při tažení	170
6.2 Tažení složitých výtažků	171
6.2.1 Tažení čtyřhranných výtažků	171
6.2.2 Tažení stupňovitých výtažků	176
6.2.3 Tažení kuželových výtažků	176
6.2.4 Tažení sférických výtažků	178
6.2.5 Tažení výtažků nepravidelných tvarů	180
6.3 Technologičnost tažení výtažků	183
6.4 Postupové tažení v pásu	183
6.5 Tažení se ztenčením stěny	185
6.6 Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, korespondenční úkol, průvodce studiem	187
7 Ohýbání	194
7.0 Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	194
7.1 Ohyb úzkých tyčí	197
7.2 Ohyb širokých tyčí	198
7.3 Technologické parametry ohýbání.....	199
7.3.1 Poloměr ohybu	199
7.3.2 Ztenčení stěny v místě ohybu	200
7.3.3 Odpružení po ohýbání.....	200
7.3.4 Zbytková pnutí	201
7.3.5 Geometrie činných částí nástroje	201
7.4 Výchozí délka materiálu	202
7.5 Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí	203
7.6 Technologické metody ohýbání	205
7.7 Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, průvodce studiem	210
8 Slévání	215
8.0 Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	215
8.1 Slévárenské formovací směsi	218

8.1.1	Zkoušení slévárenských formovacích směsí	218
8.1.2	Úprava formovacích materiálů	219
8.1.3	Pomocné formovací látky	221
8.2	Rovnovážné soustavy železa s uhlíkem	221
8.3	Materiály používané na odlitky	223
8.4	Technologický proces výroby odlitků	224
8.4.1	Výroba slévárenských forem	225
8.4.2	Příprava tekutého kovu	230
8.4.3	Vytlučování odlitků, čištění a oprava chyb	232
8.4.4	Kontrola odlitků a expedice	233
8.5	Výrobní dokumentace odlitku	233
8.5.1	Slévárenský postupový výkres	233
8.5.1.1	Volba polohy odlitku ve formě při odlévání	233
8.5.1.2	Zásady pro stanovení dělicí plochy	238
8.5.1.3	Smrštění odlévaných slitin	238
8.5.1.4	Mezní úchytky rozměrů a tvaru odlitků	238
8.5.1.5	Přídavky na obrábění ploch odlitků	238
8.5.1.6	Přídavky technologické	239
8.5.1.7	Slévárenské úkopy modelů a odlitků	239
8.5.2	Výrobní postup modelového zařízení	240
8.5.3	Výrobní postup odlitku	241
8.5.4	Výkres odlitku	242
8.6	Ověřování, nultá série a sériová výroba odlitků	242
8.7	Vtoková soustava	242
8.8	Navržení výfuku	243
8.9	Nálitkování odlitků	243
8.10	Vztlaková síla působící na vršek formy	246
8.11	Tepelné zpracování odlitků	246
8.11.1	Tepelné zpracování odlitků ze šedé litiny	246
8.11.2	Tepelné zpracování odlitků z ocelí uhlíkových a nízkolegovaných	247
8.11.3	Tepelné zpracování odlitků z austenitických ocelí	247
8.11.4	Tepelné zpracování odlitků ze slitin hliníku	248
8.12	Vady odlitků	248
8.13	Konstrukční zásady pro navrhování odlitků	249
8.14	Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, korespondenční úkol, průvodce studiem	250
9	Nekonvenční způsoby tváření	264
9.0	Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	264
9.1	Tváření vysokými rychlostmi	266
9.1.1	Tváření expanzí plynů	267
9.1.2	Tváření výbuchem	268
9.1.3	Tváření elektrohydraulické	272
9.1.4	Tváření elektromagnetické	274
9.2	Tváření vysokými tlaky	275

9.3	Tváření nepevnými nástroji	276
9.3.1	Stříhání pryží	276
9.3.2	Tažení pryží	276
9.3.3	Tažení plechů pomocí kapaliny	277
9.4	Radiální vypínání	278
9.5	Tažení expanzním tažníkem	281
9.6	Tažení s použitím místního ohřevu	282
9.7	Tváření v superplastickém stavu	282
9.8	Frekvenční a ultrazvukové tváření	283
9.9	Kovotlačení	284
9.10	Lisování součástí z práškových materiálů	285
9.11	Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, průvodce studiem	287
10	Plasty	295
10.0	Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	295
10.1	Rozdělení plastů	297
10.2	Stavy plastů	298
10.3	Vlastnosti plastů	299
10.4	Úprava plastů před zpracováním	300
10.5	Kompozitní materiály	301
10.6	Zpracování plastů	302
10.6.1	Zpracování plastů v tekutém stavu	302
10.6.2	Zpracování plastů v plastickém stavu	303
10.7	Technologičnost součástí z plastů	311
10.8	Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, průvodce studiem	315
11	Klíč k řešení kontrolních otázek, uvedených za jednotlivými kapitolami	324
12	Shrnutí studijní opory	334
13	Doplňující literatura	355

0 PŘEDMLUVA

Vážená čtenářko, vážený čtenáři,

studijní opora „Technologie I“ je určena pro základní a povinný předmět **„Technologie I“** vyučovaný v letním semestru 1. ročníku bakalářského studijního programu **B2341 „Strojírenství“** oboru **2341R999-00 „Bakalářské strojírenství“** na Fakultě strojní VŠB – TU Ostrava, ale může ji využít i zájemce z kteréhokoli jiného oboru, pokud splňuje požadované vstupní znalosti.

Pro studium tohoto předmětu se předpokládá absolvování předmětů **„Základy strojírenské technologie“**, **„Nauka o materiálu“** a **„Základy strojírenství“**.

Ve studijní opoře je proveden rozbor vlivu tváření na vlastnosti a strukturu materiálu, jsou uvedeny základní zákony plastické deformace, způsoby výroby strojních součástí technologiemi objemového tváření zatepla, objemového tváření zastudena, způsoby dělení materiálu, technologie tažení plechu, ohýbání, slévání, nekonvenční způsoby tváření a zpracování plastů.

Výběr kapitol je dán nutností vytvoření přehledu základních výrobních technologií. Sled kapitol je zvolen tak, že v prvních kapitolách se navazuje na znalosti z předmětu **„Nauka o materiálu“** a postupně se přechází na základní zákony plastické deformace a následně na vysvětlení jednotlivých technologií výroby. Tyto technologie jsou řazeny tak, že znalost předchozích se uplatňuje ve vysvětlení těch později zařazených. Poměrně stručnou formou jsou vystiženy podstaty jednotlivých technologií, což je velmi důležité pro studenty 1. ročníku, z nichž někteří se s touto problematikou setkávají poprvé a hrozí jejich zahlcení velkým množstvím detailů.

Obsah studijní opory je koncipována tak, aby ti studující, kteří neprošli praxí v některém strojírenském podniku, popřípadě neměli možnost se s těmito strojírenskými technologiemi seznámit, získali základní přehled o jednotlivých způsobech výroby. Jednotlivé kapitoly studijní opory, pojednávající o výrobních technologiích, tvoří ucelené části.

Rychlý náhled do problematiky studijní opory, který obsahuje bližší vymezení učiva jednotlivých kapitol a podkapitol, **cíle a klíčová slova** studijní opory jsou uvedeny níže.

Studijní opora se dělí na části, **kapitoly**, které odpovídají logickému dělení studovaného učiva, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může lišit, proto je u každé kapitoly uveden **čas potřebný k jejímu studiu**. Jedná se pouze o orientační hodnotu, protože skutečná hodnota závisí jednak na výchozích znalostech dané problematiky, která se liší u jednotlivých studujících, jednak na zájmu studujícího o sdělované téma a rovněž na momentální schopnosti studujícího se učit.

V textu jsou použity **ikony**, které vám usnadní orientaci v textu. Vysvětlivky k ikonám jsou uvedeny dále.

Pokud při četbě **shrnutí** za příslušnou kapitolou dojdete k názoru, že něčemu nerozumíte, vraťte se do kapitoly na příslušnou část textu. V závěru každé kapitoly jsou vypsány **pojmy k zapamatování**. Pokuste se je nejprve definovat vlastními slovy a teprve pak srovnějte svou odpověď s textem příslušné kapitoly.

Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo každé kapitoly zvládli, jsou za každou z nich uvedeny **kontrolní otázky**. Abyste měli možnost zpětné vazby a samokontroly, je v závěru studijní opory uveden **klíč k řešení** kontrolních otázek z jednotlivých kapitol studijní opory.

Úspěšné a příjemné studium s touto studijní oporou Vám přeje její autor

doc. Ing. Radek Čada, CSc.

VŠB – TUO, FS, katedra mechanické technologie

E-mail: radek.cada@vsb.cz

0.1 Vysvětlení hlaviček s ikonami

A) Ikony informativní, navigační a orientační



Rychlý náhled do problematiky (studijní opory nebo kapitoly)

Jedná se o průvodce textem studijní opory nebo její kapitoly. Obsahuje bližší vymezení učiva jednotlivých kapitol a podkapitol, čímž napovídá, do jaké hloubky bude problematika vyložena. Slouží pro snadnější orientaci studujícího a pro možnost využití zásady vracet se k učivu.



Cíle (studijní opory nebo kapitoly)

V této části se dozvíte, co budete po prostudování studijní opory nebo příslušné kapitoly umět, jaké znalosti získáte a co budete díky získaným znalostem schopni řešit.



Klíčová slova (kapitoly nebo studijní opory)

Jednotlivá klíčová slova kapitoly oddělená čárkou. Klíčová slova mohou sloužit studentovi k rychlému zopakování.



Průvodce studiem

Prostřednictvím průvodce studiem k vám promlouvá **autor studijní opory**. V průběhu četby vás upozorňuje na důležité pasáže, nabízí metodickou pomoc, nebo předává důležité informace ke studiu. Jedná se o sdělení, která vyučující říká na přednáškách kromě odborného výkladu.



Shrnutí (kapitoly nebo studijní opory)

Tuto část najdete na konci každé kapitoly i na konci celé studijní opory. Jedná se o hutné zdůraznění významného. Slouží studujícímu **pro zopakování prezentovaného učiva** a pro zjištění, co je vyučujícím pokládáno za důležité. Koresponduje s cíli, které byly uvedeny na začátku kapitoly nebo studijní opory. Pokud zjistíte, že některému úseku nerozumíte, nebo jste učivo špatně pochopili, vraťte se na příslušnou pasáž v textu. Shrnutí vám poskytuje rychlou korekci.



Náměty pro tutoriál

Jsou zde autorem studijní opory uváděny náměty k diskusím, témata problémů určených ke **skupinovému** řešení, otázky k promýšlení, specializovaná cvičení a další podněty. Studující se tak mohou **připravit** na společná setkání – tutoriály, které slouží k osvojování specializovaných dovedností. Výsledkem je omezení okamžitých improvizací studujících a zvýšení efektivity průběhu tutoriálů.



Čas potřebný ke studiu kapitoly: x hodin

V úvodu každé kapitoly je uveden čas potřebný k prostudování učiva, které obsahuje. Jedná se pouze o **orientační hodnotu**, protože skutečná hodnota závisí jednak na výchozích znalostech dané problematiky, která se liší u jednotlivých studujících, jednak na zájmu studujícího o sdělované téma a rovněž na momentální schopnosti studujícího se učit. Uvedený čas může studujícímu sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly.



Odměna a odpočinek

Upozornění autora studijní opory na vhodné místo, ve kterém může studující zařadit pauzu pro relaxaci a odpočinek, případně se nějak odměnit za svou vytrvalost ve studiu opory. Pravidelný odpočinek je jednou z podmínek bezproblémového studia.

B) Ikony ke splnění úkolů, kontrolní a pracovní



Kontrolní otázky

Jedná se o **teoretické otázky**, které prověřují, do jaké míry jste pochopili text a zapamatovali si podstatné informace. Najdete je na konci každé kapitoly. Pečlivě si je promyslete. Odpovědi můžete najít ve více či méně skryté formě přímo v textu. Někdy jsou tyto otázky také řešeny na tutoriálech. V případě nejasností se obraťte na svého tutora.



Samostatný úkol

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má využití v praxi, jsou vám předkládány i **praktické úkoly k řešení**. Prověřují, do jaké míry dokážete nastudované učivo aplikovat při řešení reálných problémů, v čemž spočívá hlavní význam předmětu.



Test a otázka

Zařazení testu a otázek, ke kterým řešení, odpovědi a výsledky studující najdou v rámci studijní opory.



Klíč k řešení

Výsledky zadaných úloh i teoretických otázek v závěru studijní opory. Používejte je až po vlastním vyřešení úloh, jen tak si samokontrolou ověříte, že jste správně odpověděli na kontrolní otázky nebo správně vyřešili samostatný úkol, případně zda jste učivo příslušné kapitoly skutečně zcela zvládli.



Korespondenční úkol

Při plnění korespondenčních úkolů postupujte podle pokynů tutora s notnou dávkou vlastní iniciativy. Úkoly se průběžně evidují a hodnotí v průběhu celého kurzu.

C) Ikony výkladové



Pojmy k zapamatování

Tuto část najdete na konci každé kapitoly. Jde o hutné zdůraznění významného. Obsahuje též klíčová slova kapitoly, která byste měl být schopen vysvětlit. Po prvním prostudování kapitoly si je zkuste nejprve projít bez nahlédnutí do textu! Teprve pak srovnajte své formulace s příslušnými formulacemi autora. Pojmy slouží nejen k vaší kontrole toho, co jste se naučili, ale můžete je velmi efektivně využít při **závěrečném opakování** před testem!



Řešená úloha 1.1

Úloha objasňuje probírané učivo, případně propojuje získané znalosti s ukázkou jejich praktické aplikace. Hvězdička pro ukončení textu úlohy pomáhá při orientaci v textu.

D) Ikony pro úkoly k zamyšlení a pro další studium



Úkol k zamyšlení

Autor textu vás vybízí, abyste se nad nějakou otázkou zamysleli a uvedli svůj vlastní názor. Správné řešení zpravidla najdete přímo v textu, nebo v klíči na konci kapitoly.



Část pro zájemce

Část pro zájemce je určena těm z vás, kteří máte zájem o **hlubší studium dané problematiky**. Pasáže i úkoly jsou zcela dobrovolné.



Literatura

Odkazy na **studijní literaturu** pro doplnění a rozšíření poznatků.

0.2 Uvedení do studia

	Rychlý náhled do problematiky studijní opory
	První kapitola seznamuje s vlivem tváření na vlastnosti a strukturu materiálu. Obsahuje definici a význam tváření, základní mechanismy plastické deformace, kritické smykové napětí, zpevnění materiálu, křivky zpevnění, základní faktory ovlivňující plastickou deformaci – vliv struktury, teploty, tření, napjatosti a rychlosti deformace. Druhá kapitola popisuje základní zákony plastické deformace – zákon stálosti objemu, zákon nejmenšího odporu, zákon závislosti deformace na napěťovém stavu, zákon stálosti potenciální energie na změnu tvaru, zákon smykových napětí, zákon pružného odlehčení, zákon zpevnění, zákon tření, zákon přídavných napětí a zákon podobnosti. Třetí kapitola se týká objemového tváření zatepla. Jsou vysvětleny volné a zápustkové kování, základní operace volného kování, návrh technologického postupu výroby výkovku, hlavní typy tvářecích strojů pro kování, výkres výkovku, zásady pro volbu dělicí roviny u výkovků, konstrukce průřezového obrazce a ideálního předkovku, předkovací a dokončovací dutiny, funkce a varianty provedení výronkové drážky, několikadutinové zápustky, konstrukce tvářecího nástroje, vložkování zápustek, ohřev materiálu, předeheřtí a mazání zápustek, ostřihování, děrování a kalibrování výkovků, konečné úpravy výkovků a způsoby válcování zatepla. Čtvrtá kapitola objasňuje objemové tváření zastudena. Jsou v ní popsány výhody této technologie, základní způsoby objemového tváření zastudena, výpočet poměrných a logaritmických deformací, křivky zpevnění, návrh technologického postupu výroby protlačku, volba materiálu, stanovení tvaru a rozměrů polotovaru, přípravné před tvářením, stanovení počtu tvářecích operací, technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů, tvářecí síla a práce, dokončování výlisků. Pátá kapitola řeší dělení materiálu. Jsou v ní objasněny základní operace plošného stříhání, střížná plocha, velikost střížné mezery, výpočet střížné plochy, síly a práce, stříh skloněnými noži, zařízení ke stříhání – nůžky a lisy, rozdělení stříhadel, vystřihování součástí z tenkých plechů gumou, nástřihové plány, hospodárnost nástřihového plánu. Je vysvětlena technologie přesného stříhání (přistřihování, stříhání se zaoblenou střížnou hranou, stříhání se zkoseným přidržovačem, stříhání s nátláčnou hranou, reverzní stříhání), objemové stříhání (zastudena a zatepla), stříhání tenkostěnných profilů a trubek (na profilových nůžkách, v nástroji s odpadem a bez odpadu, kotoučovými noži) a technologie lámání materiálu. Šestá kapitola seznamuje s technologií tažení plechu. Je v ní popsáno rozdělení tažení, tažení bez ztenčení stěny, technologické parametry tažení – tvar a velikost přístřihu, počet tažných operací a jejich odstupňování, použití přidržovače, velikost tažné mezery, tvar tažníku a tažnice, tažná síla, rychlost tažení, drsnost plechu a funkčních částí nástroje, mazání. V této kapitole je dále rozebráno tažení nerotačních výtažků (tažení čtyřhranných, stupňovitých, kuželových, sférických výtažků, tažení výtažků nepravidelných tvarů, použití brzdících žebířů a lišt), technologičnost tažení výtažků, postupové tažení v pásu (bez nástřihu, s nástřihem, s natrháváním pásu) a tažení se ztenčením stěny. Sedmá kapitola obsahuje technologii ohýbání. Je v ní popsáno rozdělení ohýbání, ohyb úzkých a širokých tyčí, zpevnění materiálu při ohýbání, technologické parametry ohýbání – poloměr ohybu, ztenčení stěny v místě ohybu, odpružení po ohýbání, zbytková pnutí, geometrie činných částí nástroje, výchozí délka materiálu, technologičnost konstrukce ohýbaných součástí, technologické metody ohýbání – ohýbání na ohýbacích strojích, na ohýbačkách, ohraňovacích lisech, ohýbání válcováním, zakružování, rovnání.

	Osmá kapitola se věnuje technologii slévání. Jsou popsány slévárenské formovací směsi (základní složky, rozdělení formovacích směsí, zkoušení formovacích směsí, úprava formovacích materiálů, pomocné formovací látky), rovnovážné soustavy železa s uhlíkem, materiály používané na odlitky, technologický proces výroby odlitků, rozdělení a výroba slévárenských forem, způsoby odlévání do kokil (gravitační, tlakové, odstředivé a plynulé lití), zvláštní způsoby výroby odlitků (odlívání do forem z CT směsí, skořepinových a keramických forem), základní druhy pecí podle způsobu ohřevu, vytloutání odlitků, čištění a oprava chyb, kontrola odlitků. Kapitola rovněž rozebírá výrobní dokumentaci odlitku (slévárenský postupový výkres, volbu polohy odlitku ve formě, zásady pro stanovení dělicí plochy, smrštění odlévaných slitin, přídavky na obrábění a přídavky technologické, slévárenské úkosity, druhy modelů a jader, výkres odlitku), výpočet vtokové soustavy, navržení výfuku, nálitkování odlitků, výpočet vztlakové síly působící na vršek formy, tepelné zpracování odlitků, vady odlitků a konstrukční zásady pro navrhování odlitků. Devátá kapitola objasňuje nekonvenční způsoby tváření, mezi nimi především tváření vysokými tlaky a energiemi. Je popsáno tažení s pružnou tažnicí, tažení s pružným tažníkem, termální tažení, tažení superplastických materiálů, tažení expanzním tažníkem, kovořazení, tváření elektrohydraulické, elektromagnetické, hydromechanické, frekvenční a ultrazvukové tváření, tváření výbuchem a tváření expanzí plynů. Desátá kapitola se zabývá plasty a jejich zpracováním. Je uvedena charakteristika plastů, rozdělení plastů podle vzhledu makromolekul a podle chování zatepla, jsou uvedeny stavy plastů, vlastnosti plastů, úprava plastů před zpracováním, pomocné látky, kompozitní materiály, způsoby zpracování plastů v tekutém stavu – odlévání, lití, máčení natírání, zpěňování, způsoby zpracování plastů v plastickém stavu – vstřikování, lisování, přetlačování, tvarování, vytlačování, vyfukování, válcování, zpracování plastů v tuhém stavu, technologičnost součástí z plastů).
--	---

	Cíle studijní opory
	Budete umět: • objasnit vliv tváření na vlastnosti a strukturu materiálu, • vysvětlit základní zákony plastické deformace, • popsat základní nástroje, stroje a principy technologií objemového tváření zatepla, objemového tváření zastudena, dělení materiálu, tažení plechu, ohýbání, slévání, nekonvenčních způsobů tváření a zpracování plastů. Získáte: • přehled o principech a odborném názvosloví hlavních výrobních metod – technologií tváření a slévání, • přehled o základních technologických postupech výroby, používaných ve strojírenské výrobě, který je potřebný pro pochopení moderních výrobních technologií. Budete schopni: • volit vhodné materiály a ovládat metodiku tvorby technologických postupů výroby jednoduchých součástí včetně základních výpočtů.

	Klíčová slova studijní opory
	Klíčová slova první kapitoly „Vliv tváření na vlastnosti a strukturu materiálu“: Tváření, plastická deformace, kluz, dvojčatění, difúze, vakance, interstice, mez kluzu, kritické smykové napětí, zpevnění materiálu, zrno kovu, polykrystalická látka, polyedrický tvar, mozaiková struktura, subzrno, krystalový blok, textura, hranice zrna, krystalová mřížka, struktura, teplota, tváření zastudena, tváření zatepla, zotavení, polygonizace, dislokace, rekrytalizace, nukleace, vláknitost struktury, plošné tváření, objemové tváření, nízkouhlíková ocel, exponent deformačního zpevnění, tření, napjatost, napětí, rychlost tvářecího nástroje, deformační rychlost, tepelný efekt, Lüdersova deformace, mez úměrnosti, mez pružnosti, mez pevnosti, lom materiálu, statický pracovní diagram materiálu, dynamický pracovní diagram materiálu. Klíčová slova druhé kapitoly „Základní zákony plastické deformace“: Objem, deformace, ingot, měrná hmotnost, neuklidněná ocel, tváření zastudena, krystalová mřížka, rekrytalizace, element, deformační odpor, přechování, zápustkové kování, výronková drážka, napjatost, tvářitelnost, potenciální energie na změnu tvaru, teplota, rychlost deformace, deformační práce vnějších sil, Poissonova konstanta, modul pružnosti, energetická podmínka plasticity, smykové napětí, síla, hlavní napětí, odlehčení, Hookův zákon, výlisek, zpevnění, tepelný efekt, odpevnění, tření, nástroj, Coulombův zákon, krystal, polotovár, součást, žíhání, podobnost, měrný tlak, chemické složení, struktura, fázový stav, těleso. Klíčová slova třetí kapitoly „Objemové tváření zatepla“: Objemové tváření, kování, volné kování, zápustkové kování, zápustka, přechování, prodlužování, osazování, děrování, rozkování na trnu, výronek, výkres součásti, tvářecí stroj, dělicí rovina, ohřev materiálu, buchar, beran, vřetenový lis, třecí lis, ráz, vyhazovač, mechanický klikový lis, výstředníkový lis, výkres výkovku, přesnost provedení výkovku, přídavek na obrábění, technologický přídavek, blána výkovku, úkos, úchylka, přesazení, otřep, sestřížení, jehla, průhyb výkovku, můstek, zásobník, výronková drážka, předkovek, průřezový obrazec, ideální předkovek, rozdělovací dutina, zužovací dutina, utínka, dokončovací dutina, opal, ostřina, držák zápustky, rybina, pero, podélný klín, zápustková vložka, ohřev, kovací teplota, dokovací teplota, přehřátí kovu, spálení kovu, hranice zrna, ostřihování, děrování, kalibrování, rovnání, okuje, moření, tepelné zpracování, válcování, kovací válce, příčné klínové válcování, periodické válcování, radiální směr, kosé periodické válcování, rozválcování, závit, úhel stoupání závitu, ozubené kolo, předvalek, induktor. Klíčová slova čtvrté kapitoly „Objemové tváření zastudena“: Objemové tváření zastudena, napjatost, plastická deformace, jakost povrchu, zpevnění, dopředné protlačování, průtlačník, zpětné protlačování, sdružené protlačování, stranové protlačování, polotovár, přechování, kombinované tváření, součást, radiální tváření, poměrná deformace, logaritmická deformace, křivka zpevnění, napětí, technologický postup výroby, žíhání, struktura, ferit, perlit, velikost zrna, mechanické vlastnosti, tvárnost, vměstek, polotovár, protlaček, špalík, kalota, upichování, elektrická pec, ochranná atmosféra, okuje, moření, tření, fosfátování, fosfatizační lázeň, mazivo, průtlačnice, bandáž, zděť, předpětí, redukční úhel průtlačnice, vyhazovač, čelo průtlačníku, tvářecí síla, přetvárný odpor, jmenovitá síla, dimenzování, dovolené namáhání, tvářecí práce, vodící sloupek, stírač, anizotropie, soustružení, trubkový nůž, kruhový nůž, ostřihování, vrtání, otřep, omílání. Klíčová slova páté kapitoly „Dělení materiálu“: Dělení materiálu, stříhání, smyk, plošné stříhání, objemové stříhání, lámání, vrub, střížník, střížnice, křivka stříhu, prosté stříhání, přestříhování, děrování, vystříhování, přistříhování,

	nastříhování, prostříhování, protrhávání, vysekávání, ostříhování, přesné stříhání, výsečník, střížná plocha, střížná hrana, napjatost, čelo nože, oblast plastického stříhu, lom, otěr, otřep, střížná vůle, pevnost materiálu ve stříhu, střížná síla, střížná práce, stříh skloněnými noži, tabulové nůžky, pákové nůžky, vibrační nůžky, kotoučové nůžky, nůžky na profily, letmé nůžky, mechanický lis, výstředníkový lis, klikový lis, vysekávací automat, hydraulický lis, stříhadlo, vodící deska, vodící sloupky, vodící stojánek, postupové stříhadlo, sdružené stříhadlo, otevřené stříhadlo, ponorná deska, nástřihový plán, seskupování výstřížků, přepážka, boční odpad, hospodárnost nástřihového plánu, součinitel využití materiálu, zkosený přidržovač, nátláčná hrana, reverzní stříhání, otevřené nože, uzavřené nože, přesné objemové stříhání, objemové stříhání zatepla, tenkostěnný profil, profilové nůžky, lámání konzolové. Klíčová slova šesté kapitoly „Tažení plechu“: Tažení, deformace, výtažek, plošné tváření, tažení prosté, přidržovač, tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování, přetahování, tažnice, tažník, tažná síla, přístřih, stupeň deformace, součinitel odstupňování tahu, poměrná tloušťka přístřihu, účinná plocha přidržovače, hlubokotažný plech, jmenovitá tloušťka plechu, tlak přidržovače, přidržovací síla, měrný tlak přidržovače, beran, dvojčinný lis, tažná mezera, zvlnění, kalibrace výtažku, jednočinný lis, zaoblení tažné hrany tažnice, vyhazovač, přechodový poloměr tažníku, sekundární zvlnění výtažku, tažná síla, celková síla tažného lisu, rychlost tažení, součinitel tření, deformační rychlost, drsnost plechu, vázané tažení, volné tažení, mazání, zadírání plechu, kapalná maziva, konzistentní maziva, tuhá maziva, nerotační výtažek, čtyřhranný výtažek, příruba, brzdící žebro, brzdící lišta, radiální napětí, stupňovitý výtažek, kuželový výtažek, kovotlačení, sférický výtažek, jednooperační tažení, víceoperační tažení, výtažek nepravidelného tvaru, vypínání, metoda řezů, metoda využívající trajektorii maximálních smykových napětí, ostřížení, technologičnost, postupové tažení v pásu, klikový lis, nastřížení, natrhnutí, zdvih. Klíčová slova sedmé kapitoly „Ohýbání“: Ohýbání, ohybový moment, ohybová síla, prosté ohýbání, ohýbadlo, lis, ohraňování, ohraňovací lis, ohraňovadlo, rovnání, rovnací válec, rovnadlo, zakružování, zakružovadlo, lemování, lemovadlo, obrubování, obrubovadlo, osazování, prosazování, osazovadlo, drápkování, drápkovadlo, zkrucování, zkrucovadlo, ohyb, vlákno, plastická deformace, radiální směr, zpevnění, mez kluzu, vrstva materiálu, poloměr ohybu, válcování, osa ohybu, ohýbací čelist, odpružení, mez pevnosti, prodloužení, ohýbané rameno, modul pružnosti, ztenčení, úhel ohybu, zbytkové pnutí, ražení, ohybník, ohybnice, razicí síla, jmenovitá síla lisu, úvrať, beran, plech, neutrální vrstva, vnitřní poloměr ohybu, součinitel posunutí neutrální vrstvy, úhel otevření, technologičnost, hledáček ohybníku, vystřihování, stříhadlo, nastřížení, ohýbačka, navinování, ohraňování, mechanický lis, hydraulický lis, stůl lisu, pás, profilový válec, válcovací trať, tenkostěnný profil, trubka, symetrická zakružovačka, nesymetrická zakružovačka, rovnačka. Klíčová slova osmé kapitoly „Slévání“: Slévání, odlitek, slitina, kov, chemické složení, teplota, odlití, dutina formy, mikrostruktura, formovací směs, forma, jádro, ostřivo, písek, zrno, pojivo, soudržnost, pojivo, zrnitost, formování, ocel, prodyšnost, síto, vaznost, žáruvzdornost, rozpadavost, houževnatost, regenerace, sušení, bubnová sušárna, drcení, grafit, koks, jíl, kulový mlýn, výsypka, prosévání, bubnové síto, střešovací síto, magnetický separátor, mísení, kolový mísič, žebrový mísič, kypření, dezintegrátor, areátor, suchá regenerace, mokrá regenerace, tepelná regenerace, bubnová pec, pomocná formovací látka, rovnovážná soustava železa s uhlíkem, cementit, grafit, rychlost ochlazování, litina, ocel na odlitky, uhlíková ocel, legovaná ocel, šedá litina, očkovaná litina, očkovadlo, krystalizace, mechanická vlastnost, žárupevnost, bílá litina, karbidotvorný prvek, perlit, metastabilní soustava, stabilní soustava, globulární tvar, kokila, tavenina, neželezný kov, silumin, vytvrzování, bronz, smršťivost, mosaz, jaderník, jádro, vytloukání odlitku, vtokový kanál, nálipek, tepelné zpracování, forma, model, šablona, formovací rám, formovací stroj, lisování, střešování, metání, vstřelování, lití, tavenina, krystalizátor, šablonování, model, pec, legování, prvek, odpich, pánev, vyzdívka,
--	--

	teplota likvidu, předpeci, elektroda, lázeň, vytloukací rošt, otryskávání, omílání, moření, slévárenský postupový výkres, usměrněné tuhnutí, dělicí plocha, smrštění, jmenovitý rozměr, směrodatný rozměr, přídavek na obrábění, funkční plocha, technologický přídavek, slévárenský úkos, modelové zařízení, modelová deska, výfuk, vtoková soustava, vtoková jamka, vtokový kanál, struskový kanál, rozváděcí kanál, zářez, struska, tepelný uzel, nálietek, podnáliťková vložka, vztlaková síla, úkladek, žíhání, kalení, popouštění, vada, žebro, vnitřní pnutí. Klíčová slova deváté kapitoly „Nekonvenční způsoby tváření“: Tváření, buchar, výbuch, střelivina, trhavina, zápustka, dynamická mez kluzu, kubická mřížka, dvojčatění, tepelný efekt, zotavení, rekrystalizace, deformační rychlost, exponent deformačního zpevnění, napětí, deformace, expanze, plyn, beran, pneumaticko-mechanické tváření, tvářecí stroj, lis, rázová vlna, plynová směs, přenosové médium, vodní vak, nálož, vodní beran, tvárnice, plátování, difúzní spoj, mechanický spoj, odpružení, elektrohydraulické tváření, impulzní tlak, vysokonapěťový výboj, tlaková vlna, kapalina, elektroda, explodující drátek, reflektor, odrážec, tvářitelnost, kondenzátor, elektromagnetické tváření, cívka, magnetické pole, indukovaný vířivý proud, expanzní tváření, kompresní tváření, koncentrátor, měrný tlak, tření, mazivo, deformační odpor materiálu, hydrostatické protlačování, průtláčník, polotovar, zásobník, průtláčnice, nepevný nástroj, polytan, pryžový polštář, tažnice, měrný tlak, výtažek, sekundární zvlnění, aktivní tření, plech, součinitel odstupňování tahu, víceoperační tažení, membrána, gumový vak, hydromechanické tažení, těsnění, přidržovač, tažná komora, přístřih, radiální vypínání, rozšiřování trubek, zdvih, segment, kužel, expanzní tažník, příruba, odporový ohřev, superplastický stav, ochranná atmosféra, frekvenční tváření, ultrazvukové tváření, plasticita, kovotlačení, rotační tlačení plechů, kroužení, tvářecí kladka, tvářecí váleček, prášková metalurgie, prášek, buben, kulový mlýn, slinování, spékání, kalibrování, tepelné zpracování, kalení, napájení, fosfátování, mletí, kolový mlýn, rozprašování, oběhové tváření, lisovník, žárové lisování, matrice, izostatické lisování, kování, předlisek, průběžná pec, bimetalický pás, slinutý karbid, kluzný materiál, kovový filtr, pórovitost. Klíčová slova desáté kapitoly „Plasty“: Plast, makromolekulární látka, polymer, řetězec, molekula, chemická vazba, hmota, pryskyřice, nízkomolekulární sloučenina, monomer, polyreakce, polykondenzace, polymerace, polyadice, lineární polymer, kaučuk, polyetylén, semikrystalický polymer, termoplastičnost, kaučukovitost, válcování, vytlačování, vstřikování, rozvětvený polymer, postranní řetězec, zesítný polymer, příčná vazba, elastomer, termoplast, polystyrén, reaktoplast, termoset, vytvrzování, fenolformaldehydová pryskyřice, degradace polymeru, sklovitý stav, teplota skelného přechodu, kaučukovitý stav, viskoelastická deformace, viskózní stav, teplota měknutí, teplota tání, semikrystalický termoplast, tepelná vodivost, teplotní roztažnost, teplotní odolnost, stárnutí, stárnutí, stabilizátor, navlhavost, nasákavost, pojivo, změní, granulování, granulát, želatinová směs, změkčovač, granulátor, drtič, předlisování, tabletování, tabletovací stroj, tableta, přetok, předeřívání, předplastikace, želatinace, hnětací stroj, vytlačovací stroj, šnek, míchání, hnětení, míchací buben, sušení, pigment, barvivo, plnivo, pórovitost, ztužovač, laminát, nadouvač, lehčená plastická hmota, hořlavost, separační činidlo, forma, fólie, kompozitní materiál, vyztužený polymer, matrice, makroskopický kompozit, odlévání, lití, máčení, natírání, zpěňování, lisování, přetlačování, tvarování, vyfukování, odstředivé lití, licí pás, koženka, natírací stroj, předželatinování, doželatinování, želatinovací stroj, dezénovací válec, předpěnění, stroj pro vypěňování, dopěňování, pěnový polystyrén, tavicí komora, rozváděcí kužel, torpédo, plastikační šnek, vstřikovací válec, plnění formy, dotlak, propadlina, lisostřik, fólie, vakuové tvarování, vytlačovací hlava, hubice, vytlačovací stroj, vstřikovací vyfukování, vstřikovací stroj, předlisek, vyfukovací trn, vyfukovací forma, technologičnost, součást, tavenina, studený spoj, smrštění, dělicí rovina, vyhazování, jádro, vtok, výstřik, staženina, tekutost, úkos, žebro, dosedací plocha, upevňovací výstupek, zálisek, matování, pískování, rýhování, kanál.
--	--

	Čas potřebný ke studiu studijní opory: 41 hodin																														
	Čas potřebný ke studiu studijní opory i časy potřebné ke studiu jednotlivých kapitol jsou orientační, protože skutečná hodnota závisí jednak na výchozích znalostech dané problematiky, která se liší u jednotlivých studujících, jednak na zájmu studujícího o sdělované téma a rovněž na momentální schopnosti studujícího se učit. Uvedené časy mohou studujícímu sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či jednotlivých kapitol. Časy potřebné ke studiu jednotlivých kapitol studijní opory, které jsou rovněž uvedeny v příslušných kapitolách, jsou následující: <table><tr><td>1</td><td>Vliv tváření na vlastnosti a strukturu materiálu</td><td>4 hodiny</td></tr><tr><td>2</td><td>Základní zákony plastické deformace</td><td>3 hodiny</td></tr><tr><td>3</td><td>Objemové tváření zatepla</td><td>4 hodiny</td></tr><tr><td>4</td><td>Objemové tváření zastudena</td><td>4 hodiny</td></tr><tr><td>5</td><td>Dělení materiálu</td><td>4 hodiny</td></tr><tr><td>6</td><td>Tažení plechu</td><td>5 hodin</td></tr><tr><td>7</td><td>Ohýbání</td><td>3 hodiny</td></tr><tr><td>8</td><td>Slévání</td><td>6 hodin</td></tr><tr><td>9</td><td>Nekonvenční způsoby tváření</td><td>4 hodiny</td></tr><tr><td>10</td><td>Plasty</td><td>4 hodiny</td></tr></table>	1	Vliv tváření na vlastnosti a strukturu materiálu	4 hodiny	2	Základní zákony plastické deformace	3 hodiny	3	Objemové tváření zatepla	4 hodiny	4	Objemové tváření zastudena	4 hodiny	5	Dělení materiálu	4 hodiny	6	Tažení plechu	5 hodin	7	Ohýbání	3 hodiny	8	Slévání	6 hodin	9	Nekonvenční způsoby tváření	4 hodiny	10	Plasty	4 hodiny
1	Vliv tváření na vlastnosti a strukturu materiálu	4 hodiny																													
2	Základní zákony plastické deformace	3 hodiny																													
3	Objemové tváření zatepla	4 hodiny																													
4	Objemové tváření zastudena	4 hodiny																													
5	Dělení materiálu	4 hodiny																													
6	Tažení plechu	5 hodin																													
7	Ohýbání	3 hodiny																													
8	Slévání	6 hodin																													
9	Nekonvenční způsoby tváření	4 hodiny																													
10	Plasty	4 hodiny																													

	Průvodce studiem
	Předmět „Technologie I“ navazuje na předmět „Základy strojírenské technologie“, který je vyučován v zimním semestru 1. ročníku bakalářského studijního programu B2341 „Strojírenství“ oboru 2341R999-00 „Bakalářské strojírenství“ na Fakultě strojní VŠB – TU Ostrava. Návaznost se týká především kapitoly o technologii slévání. Protože někteří studující, především ti ze strojních průmyslových škol, mají v zimním semestru místo uvedeného předmětu předmět „Chemie“, lze jim doporučit, aby si osvěžili nebo doplnili znalosti pojmů z oblasti slévání a především se naučili postup výroby netrvalé syrové formy pro lití ze skriptů pro tento předmět: ČADA, R., ADAMEC, J., TICHÁ, Š., OCHODEK, V., HLAVATÝ, I. a ŠIMČÍK, S. <i>Základy strojírenské technologie : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1996. 115 s. ISBN 80-7078-300-1. Předmět „Technologie I“ dále navazuje na znalosti získané v předmětech „Nauka o materiálu“ (struktura kovů, typy krystalových mřížek, druhy dislokací, tahový diagram, zpevnění, binární diagramy, legování ocelí) a „Základy strojnictví“ (zásady technického kreslení). Předmět „Technologie I“ je hodnocen 5 kreditními body, což odpovídá většímu rozsahu a tím i náročnosti předmětu. Důležité je si uvědomit, že počet získaných bodů v předmětu se ve vzorci pro výpočet váženého studijního průměru (viz stipendijní řád dostupný na intranetu FS VŠB – TUO) tedy násobí pěti, takže vliv tohoto předmětu na výsledný vážený studijní průměr za 1. ročník studia, případně za celou dobu studia je značný. Pokud máte zájem docílit celkově dobrých studijních výsledků, vyplatí se věnovat tomuto základnímu strojírenskému předmětu potřebnou pozornost. Studijní opora seznamuje s principy hlavních výrobních metod a s příslušným odborným názvoslovím. Výklad je v ní záměrně proveden bez většího počtu rovnic s cílem nezahltit studujícího množstvím zbytečně složitých informací, naopak se soustřeďuje na přehledné a stručné vysvětlení základních pojmů a souvislostí mezi nimi. Pokud jsou v některých

kapitolách uvedeny rovnice, jde zpravidla o základní vztahy, které je třeba znát v navazujících předmětech. Jednotlivé technologie jsou objasněny do přiměřené hloubky, takže mohly být postupně zařazeny jedna za druhou, aniž by výsledný rozsah studijní opory překročil rozumnou míru.

Jednotlivé kapitoly jsou zpracovány s využitím velkého počtu odborných publikací a **platných norem**. Ve studijní opoře jsou dodržena pravidla pro psaní textu daná normou ČSN 01 6910 „Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory“, veličiny a rovnice jsou ve studijní opoře zpracovány dle platné normy ČSN ISO 31-0 „Veličiny a jednotky – všeobecné zásady“, číslování kapitol skript je provedeno dle platné normy ČSN ISO 2145 „Číslování oddílů a pododdílů psaných dokumentů“, bibliografické citace v seznamu literatury jsou provedeny v souladu s platnou normou ČSN ISO 690 „Bibliografické citace“. Uvedené normy mohou být kromě vlastního textu studijní opory návodem pro správné zpracování korespondenčních úkolů z formálního hlediska.

Vzhledem k tomu, že má autor mnohaleté zkušenosti s výukou v 1. ročníku bakalářského studijního programu, a to v prezenční i kombinované formě studia, chtěl by upozornit na **hlavní důvod neúspěchu některých studentů**. Řada studentů má tendenci odkládat problémy a řešení korespondenčních úkolů na poslední chvíli, takže jednak propásnou možnost konzultovat řešení, jednak se jim nahromadí povinnosti do doby zápočtového týdne, nebo i začátku zkouškového období, takže jednak nevstřebají nové odborné pojmy a učivo během semestru, jednak se dostanou do časové tísně při plnění povinností pro získání zápočtů a při přípravě na zkoušky z více předmětů. Výsledkem je velký stres a později často nesplnění všech studijních povinností do termínu kontroly studia, což u některých studujících vede k opakování ročníku.

Výše uvedenému lze předejít rozumným rozplánováním studijní zátěže na celou dobu semestru, tedy především řešení korespondenčních úkolů v termínech stanovených tutorem a získání zápočtu v zápočtovém týdnu. **Včasné řešení** umožňuje studujícím provádět během semestru konzultace jednak mezi sebou, jednak s tutorem, což vede jak k odevzdání kvalitnějšího zpracování úkolů a zisku více bodů, tak k lepšímu osvojení učiva, protože se jím studující zabývá delší čas a vícekrát, takže je obsažen i prvek opakování učiva. Takový student se dokáže mnohem rychleji a lépe připravit na následnou zkoušku, protože má již v průběhu semestru osvojenou základní terminologii a strukturu kurzu, takže se může ve zkouškovém období soustředit na doplnění znalostí učením se detailů a především pochopení logických souvislostí mezi pojmy, k čemuž se student v časové tísně již nestihne dostat. **Průběžné studium** tedy vede k trvalejšímu a hlubšímu znalostem, než nárazové učení se v časové tísně.

1 VLIV TVÁŘENÍ NA VLASTNOSTI A STRUKTURU MATERIÁLU

	Rychlý náhled do problematiky kapitoly
	První kapitola seznamuje s vlivem tváření na vlastnosti a strukturu materiálu. Obsahuje definici a význam tváření, základní mechanismy plastické deformace, kritické smykové napětí, zpevnění materiálu, křivky zpevnění, základní faktory ovlivňující plastickou deformaci – vliv struktury, teploty, tření, napjatosti a rychlosti deformace. Člení se na následující podkapitoly: 1.1 Tváření 1.2 Plastická deformace kovů 1.3 Základní mechanismy plastické deformace 1.4 Základní faktory ovlivňující plastickou deformaci 1.4.1 Vliv struktury materiálu na plastickou deformaci 1.4.2 Vliv teploty deformovaného materiálu na proces plastické deformace 1.4.2.1 Tváření zastudena 1.4.2.2 Tváření zatepla 1.4.3 Vliv tření na styčných plochách nástroje s materiálem na průběh plastické deformace 1.4.4 Vliv napjatosti na plastickou deformaci 1.4.5 Vliv rychlosti deformace na plastickou deformaci

	Cíle kapitoly
	Budete umět: • definovat pojem tváření, • vysvětlit výhody technologie tváření, • objasnit princip plastické deformace kovů, • popsat základní mechanismy plastické deformace, • odvodit, za jakého zatížení vznikne první plastická deformace tělesa, • vysvětlit průběh křivky zpevnění a důvody zpevnění materiálu při tváření zastudena, • definovat plošné a objemové tváření, • objasnit vliv tváření na vlastnosti a strukturu materiálu. Získáte: • přehled o vlivu struktury materiálu na plastickou deformaci, tj. vlivu chemického složení, typu krystalové mřížky, vlivu velikosti zrn, stejnorodosti zrn a vlivu mezikrystalické hmoty a jejího rozdělení, • znalosti o vlivu teploty deformovaného materiálu na proces plastické deformace, • přehled o vlivu tření na styčných plochách nástroje s materiálem na průběh plastické deformace, • znalosti o vlivu napjatosti na plastickou deformaci, • informace o vlivu rychlosti deformace na plastickou deformaci.

	Budete schopni: • popsat rozdíly mezi mechanismy plastické deformace kluzem, dvojčatěním a difúzí, • rozdělit tvářecí procesy podle teploty, • určit schopnost plastické deformace jednotlivých krystalových mřížek, • vysvětlit průběh rekrytalizace struktury a její význam pro tváření materiálu, • objasnit rozdíly mezi technologiemi tváření zastudena a zatepla, • rozlišit aktivní a pasivní tření, • posoudit vliv napjatosti na plastickou deformaci.
--	---

	Klíčová slova kapitoly
	Tváření, plastická deformace, kluz, dvojčatění, difúze, vakance, interstice, mez kluzu, kritické smykové napětí, zpevnění materiálu, zrno kovu, polykrystalická látka, polyedrický tvar, mozaiková struktura, subzrno, krystalový blok, textura, hranice zrna, krystalová mřížka, struktura, teplota, tváření zastudena, tváření zatepla, zotavení, polygonizace, dislokace, rekrytalizace, nukleace, vláknitost struktury, plošné tváření, objemové tváření, nízkouhlíková ocel, exponent deformačního zpevnění, tření, napjatost, napětí, rychlost tvářecího nástroje, deformační rychlost, tepelný efekt, Lüdersova deformace, mez úměrnosti, mez pružnosti, mez pevnosti, lom materiálu, statický pracovní diagram materiálu, dynamický pracovní diagram materiálu.

	Čas potřebný ke studiu kapitoly: 4 hodiny
---	---

	Průvodce studiem
	Tato kapitola je důležitým teoretickým základem pro pochopení podstaty řady výrobních technologií. Je to kapitola, která částečně opakuje znalosti z předmětu „<i>Nauka o materiálu</i>“, přičemž zdůrazňuje propojení s technologiemi tváření materiálu zastudena a zatepla.

1.1 Tváření

- ⇒ zpracování materiálu **velkými plastickými deformacemi** (jde o trvalou změnu tvaru a rozměrů tělesa účinkem vnějších sil pomocí tvářecího nástroje a stroje)
- ⇒ vyvolání stavu napjatosti **nad mezí kluzu materiálu** (vzniká tak trvalá deformace požadovaného směru a velikosti bez porušení tvářeného materiálu)
- ⇒ vhodné především pro **plastické materiály** (umožňují trvalou deformaci bez porušení)

Význam tváření:

- vysoká produktivita práce (včetně možnosti automatizace),
- vysoká hospodárnost (beztřískové zpracování, minimální množství odpadu),

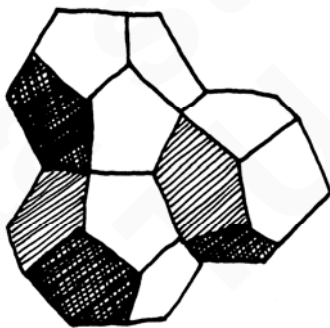
- **zvyšování užitečných vlastností kovů** (zvýšení pevnosti a houževnatosti, u tváření za studena nedochází k přerušení vláken – vyšší odolnost na únavu),
- vhodné především pro větší série (podle ceny nástrojů).

	Úkol k zamyšlení
	Jaké druhy součástí je vhodné vyrábět technologií tváření? Umíte vysvětlit, z jakého důvodu?

1.2 Plastická deformace kovů

Struktura kovů:

- ◇ kovy jsou především **polykrystalické látky** – struktura kovu je tvořena větším množstvím **krystalů** (v metalurgickém názvosloví se nazývají **zrna**),
- ◇ **zrna mají zpravidla polyedrický tvar** – při tuhnutí kovu vzniká v tavenině velké množství **krystalizačních center**, která jsou navzájem náhodně orientovaná, růst jednotlivých krystalů je po určité době omezen jinými krystaly (obr. 1.1),
- ◇ **krystaly mají mozaikovou strukturu** – skládají se z malých krystalových bloků (**subzrn**), u kterých úhel krystalografických os kolísá v rozmezí několika úhlových vteřin kolem průměrné polohy osy celého krystalu.



Obr. 1.1 Polyedrický tvar zrn

Typy plastické deformace:

- **deformace na hranicích bloků (uvnitř krystalu)** – prostorová orientace bloků, kluz na krystalových rovinách bloků, prodlužování zrn ve směru převládající deformace (**vznik textury**), lze docílit velké plastické deformace pokud se soudržnost na hranicích bloků neporuší,
- **deformace na hranicích zrn (mezikrystalová)** – nemůže způsobit větší změnu tvaru (soudržnost hranic zrn se brzy poruší, tvářený kov se stane křehkým).

Hlavním znakem plastických deformací je jejich **nevratnost**

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady vzniku textury u kovových výrobků.

1.3 Základní mechanismy plastické deformace

A) kluzem

B) dvojčatěním

C) difúzí

A) Plastická deformace kluzem

- ⇒ je základním mechanismem plastické deformace (obr. 1.2),
- ⇒ **kluzový systém** je určen **rovinou kluzu** a **směrem kluzu** (zpravidla nejhustěji obsazeny atomy),
- ⇒ **velikost posuvu** je celočíselným násobkem nejmenší mřížkové vzdálenosti,
- **jednoduchý kluz (translační)** – vzniká **v počátečním stádiu plastické deformace**, probíhá podle jednoho systému kluzových čar (nedochází k ohybu a zkrucování rovin kluzu, malé zpevnění, minimální poruchy krystalové mřížky),
- **složitý kluz** – vzniká **při dalším zatěžování**, probíhá současně v několika kluzových systémech (dochází k natáčení kluzových rovin, zpevnění, zvýšení deformačního odporu, vzniku mikroskopických trhlin, fragmentaci krystalů).

	Úkol k zamyšlení
	Vysvětlíte, jak se složitý kluz projeví v tahovém diagramu materiálu. Popište dislokační reakce a jejich vliv na výsledné vlastnosti materiálu.

Napětí, potřebné ke kluzu v určité rovině – **kritické smykové napětí** (obr. 1.3). Je to minimální smykové napětí potřebné k vyvolání kluzu.

Kritické smykové napětí:

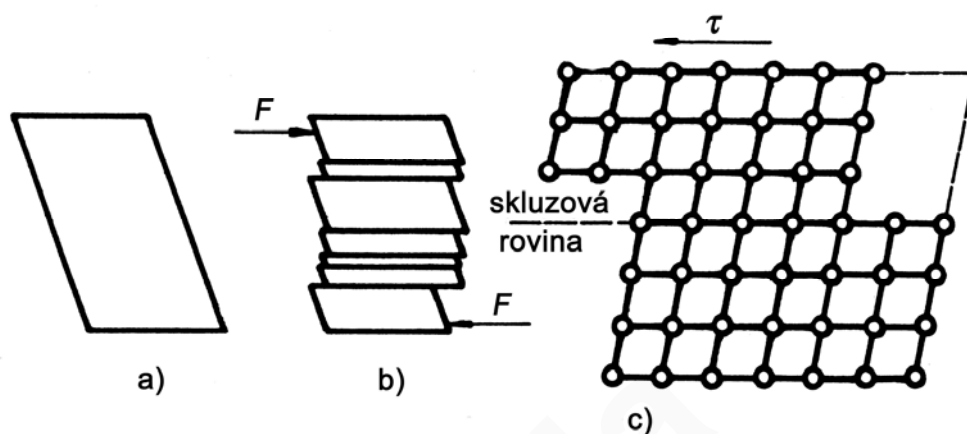
$$\tau_{KR} = \frac{F_t}{S} \text{ (MPa)}, \quad (1.1)$$

kde jsou F_t – tečná síla (N), S – plocha průřezu tělesa skloněná vůči ose tělesa o úhel α (mm^2).

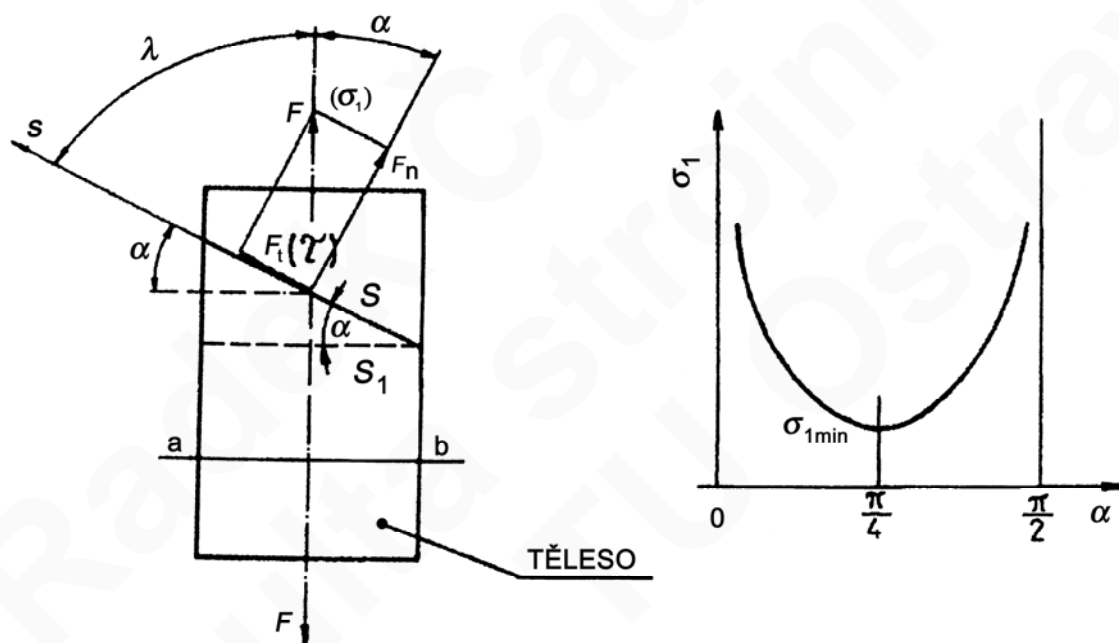
Tečná síla:

$$F_t = F \cdot \cos \lambda \text{ (N)}, \quad (1.2)$$

kde jsou F – síla působící v ose tělesa (N), λ – doplňkový úhel k úhlu α ($^\circ$).



Obr. 1.2 Plastická deformace kluzem



Obr. 1.3 Schéma kritického smykového napětí

Z trojúhelníka v obr. 1.3 plyne:

$$\cos \alpha = \frac{S_1}{S} \Rightarrow \frac{1}{S} = \frac{\cos \alpha}{S_1} \quad (-), \quad (1.3)$$

kde jsou S_1 – plocha průřezu tělesa kolmo na osu zatěžování (mm^2), S – plocha průřezu tělesa skloněná vůči ose tělesa o úhel α (mm^2).

Osové napětí:

$$\sigma_1 = \frac{F}{S_1} \quad (\text{MPa}). \quad (1.4)$$

Platí, že:

$$\cos \lambda = \cos(90 - \alpha) = \sin \alpha \quad (-). \quad (1.5)$$

Dosazením rovnic 1.2 a 1.3 do rovnice 1.1 a dále dosazením rovnic 1.4 a 1.5 se získá následující vztah pro kritické smykové napětí:

$$\tau_{KR} = \frac{F_t}{S} = \frac{F}{S_1} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \alpha = \sigma_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad (\text{MPa}). \quad (1.6)$$

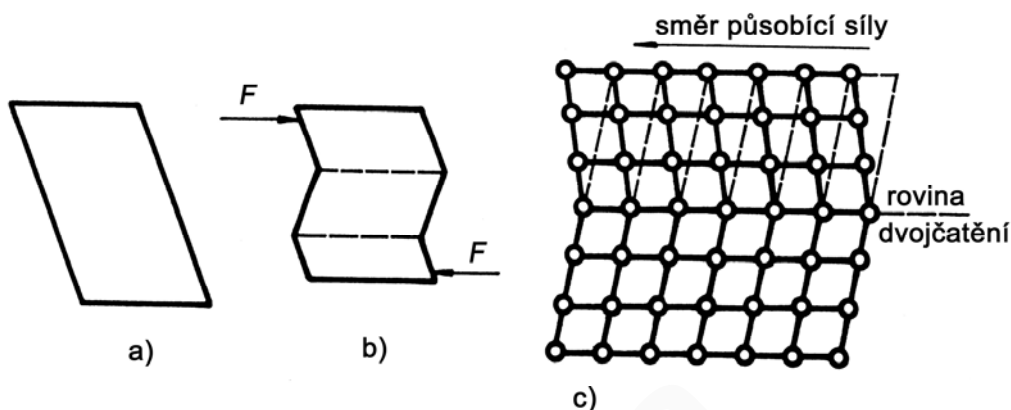
Platí, že:

$$\sigma_1 \text{ je minimální pro } \alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow \sigma_{1\min} = 2\tau_{KR} = R_e \text{ při plastické deformaci.} \quad (1.7)$$

	Průvodce studiem
	Jak je vidět z odvození, minimální smykové napětí potřebné k vyvolání kluzu v tělese se docílí na rovině, která je skloněna vůči působícímu napětí pod úhlem 45° v okamžiku, kdy osová napětí dosáhne hodnoty meze kluzu R_e. To, že kluz probíhá především na rovinách skloněných vůči působícímu napětí pod úhlem 45° lze odpozorovat např. při tahové zkoušce plochých zkušebních tyčí, kdy za mezí pevnosti v tahu vznikne na zkušební tyči krček a následně lom, který má lomovou plochu skloněnou právě pod úhlem 45° vůči ose tyče a tedy i vůči působícímu osovému napětí.
	Část pro zájemce
	Pomocí odkazu níže si můžete spustit <u>záznam tahové zkoušky ploché zkušební tyče</u>. Je vidět velká plastická deformace při prodlužování tyče, následně lokalizace plastické deformace a vznik krčku, následně vznik lomu, přičemž lomová plocha je skloněna vůči ose tyče a tedy i vůči působícímu osovému napětí pod úhlem 45°. <u>Záznam tahové zkoušky ploché zkušební tyče</u>

B) Plastická deformace dvojčatěním

- ⇒ vlivem vnějších sil se **část krystalu symetricky pootočí** kolem roviny dvojčatění a vytvoří zrcadlový obraz nedeformované části,
- ⇒ tvorbu dvojčat podporuje **kubická plošně centrovaná mřížka, zvýšená deformační rychlost a nižší teploty tváření**,
- ⇒ **deformace kovů** při vzniku dvojčat **nemůže být velká** (vzniká značné zpevnění), další deformace se zpravidla děje kluzovým mechanismem.



Obr. 1.4 Plastická deformace dvojčatěním

	Průvodce studiem
	Tento mechanismus plastické deformace je typický např. při tváření výbuchem , kdy je vysoká rychlost deformace.

C) Plastická deformace difúzí

- ⇒ základními předpoklady jsou **vysoká teplota** a **velmi malá deformační rychlost**,
- ⇒ přemísťování atomů vlivem vnějších napětí do míst s energeticky výhodnějšími podmínkami (**difúze vakantních míst** – přemísťování atomů z hrany nadbytečné roviny do vakantních míst krystalu, **difúze meziuzlových atomů** – k hraně nadbytečné roviny),
- ⇒ **na difúzní pohyb má vliv** koncentrace vakancí a intersticiálních atomů, teplota, napětí při deformaci krystalu.

	Průvodce studiem
	Představte si kovovou tyč , kterou ohnete tak, že horní i dolní vlákna materiálu tyče se nedostanou za mez kluzu, takže deformace bude ve všech vláknech tyče pružná. Po odlehčení se tyč zcela narovná. Takto pružně ohnutou tyč zafixujeme v ohnutém stavu a podrobíme ohřevu, protože vysoká teplota více rozkmitá atomy kolem jejich rovnovážných poloh a tím usnadní jejich pohyb krystalovou mřížkou. Vlivem pohybu intersticiálně uložených atomů a vakancí, tedy difúzí, dojde po určitém čase k přeměně části pružné deformace na plastickou . Po odstranění zafixování tyče se tyč částečně narovná, ale bude zřejmá určitá plastická deformace, takže tyč nebude rovná.

1.4 Základní faktory ovlivňující plastickou deformaci

1.4.1 Vliv struktury materiálu na plastickou deformaci

a) vliv chemického složení

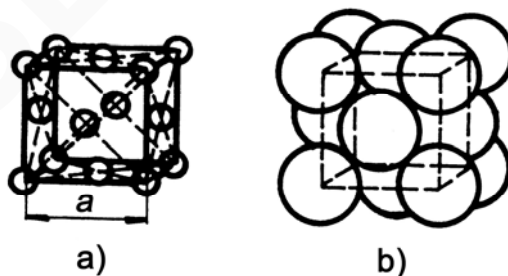
- ♦ **se stoupajícím obsahem C** – zvětšují se deformační odpory, **roste pevnost** (u nízkolegovaných konstrukčních ocelí, tj. manganových, chromvanadových, chrommolybdenových), rychleji než u ocelí uhlíkových),
- ♦ **vysokolegované nekorodující oceli a oceli nástrojové** – mají zpravidla větší odpory proti deformaci, než oceli uhlíkové a nízkolegované,
- ♦ většina **neželezných kovů** má malý odpor proti deformaci (měď, kujné mosazi a kujné bronzy lze tvářet snadněji než měkkou ocel),

	Průvodce studiem
	U oceli jsou v uzlových bodech krystalové mřížky atomy Fe, menší atomy C leží v meziozlových polohách, jsou tedy intersticiálně uloženými atomy – intersticemi. Odtlačují tedy kolem sebe atomy Fe a napínají tak krystalovou mřížku. Výsledkem je větší pevnost a houževnatost materiálu. Čím je větší počet intersticií, tedy množství uhlíku, tím je ocel pevnější a houževnatější. Mimo to interstice brání pohybu diskokací. Proto musí mít oceli určené ke tváření nízký obsah uhlíku.

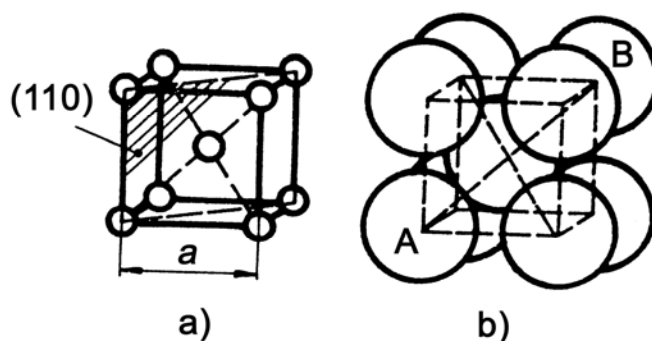
b) vliv typu krystalové mřížky

Kovy a jejich slitiny – vytvářejí v tuhém stavu **krystalickou strukturu** (atomy kovů jsou prostorově pravidelně uspořádány do krystalových mřížek a tvoří krystaly).

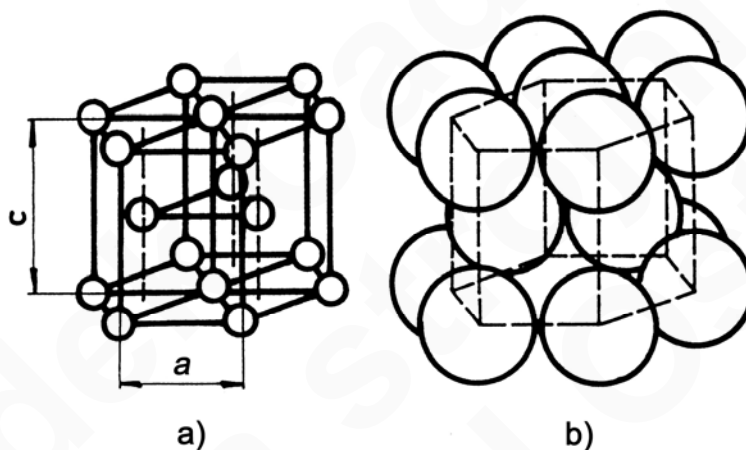
- ♦ **plošně centrovaná kubická mřížka** (lze ji nejsnadněji přetvářet – má největší počet příznivě orientovaných krystalografických rovin, které kladou malý odpor kluzovým deformacím) – **Au, Ag, Cu, Al** (obr. 1.5),
- ♦ **prostorově centrovaná kubická mřížka** (menší schopnost plastické deformace) – **Fe** (obr. 1.6),
- ♦ **hexagonální mřížka s těsným uspořádáním atomů** (mají omezený počet kluzových rovin, **obtížné dosažení plastického stavu**) – **Zn** (lze je tvářet za normální teploty, protože při ní rekrystalizuje) (obr. 1.7),



Obr. 1.5 Plošně centrovaná kubická mřížka (a je parametr mřížky)



Obr. 1.6 Prostorově centrovaná kubická mřížka (a je parametr mřížky)



Obr. 1.7 Hexagonální mřížka s těsným uspořádáním atomů (a je parametr mřížky, c je vzdálenost bazálních rovin)

c) vliv velikosti zrn (jemnozrnnější struktura má větší deformační odpor a často i nižší plastičnost),

	Průvodce studiem
	Jemnozrnná struktura znamená větší počet hranic zrn, která tvoří překážky pro pohyb dislokací při plastické deformaci. Proto je jemnozrnná struktura houževnatější než hrubozrnná.

d) vliv stejnorodosti zrn (různá velikost zrn zhoršuje plastické vlastnosti vlivem nerovnoměrného postupu deformace)

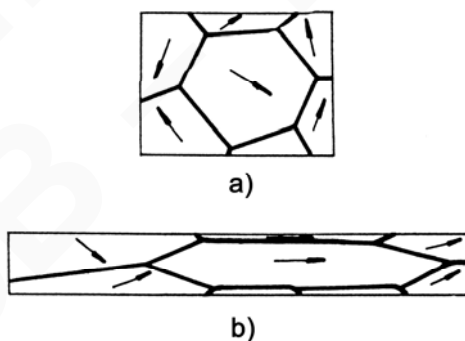
	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady z praxe, kdy by se v případě existence nestejnorodosti zrn u hutního polotovaru objevily negativní důsledky u vyrobené součásti.

e) vliv mezikrystalické hmoty a jejího rozdělení (přítomnost snadno tavitelných příměsí nebo místní koncentrace těchto příměsí, nerovnoměrné rozdělení mezikrystalické hmoty způsobuje *oslabení vazby mezi zrny*).

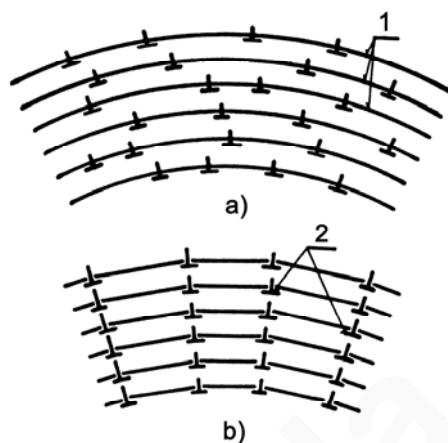
1.4.2 Vliv teploty deformovaného materiálu na proces plastické deformace

Rozdělení tvářecích procesů podle teploty:

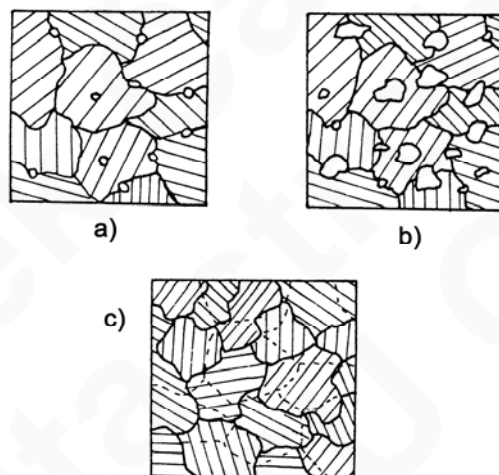
1. **tváření za studena** – do teploty $0,3 \cdot T_{\text{tav}}$, v kovu vzniká zpevnění v závislosti na velikosti deformace a deformovaná struktura (obr. 1.8),
2. **tváření se zotavením** – v rozmezí teplot $(0,3 \text{ až } 0,5) \cdot T_{\text{tav}}$, struktura je deformovaná, mírný pokles pevnosti, zpevnění je nižší, zlepšení plasticity. **Zotavení** – při teplotě $(0,3 \text{ až } 0,35) \cdot T_{\text{tav}}$ (uvolnění některých zachycených dislokací, změna jejich uspořádání bez snížení jejich počtu. **Polygonizace** (obr. 1.9) – nepravidelně rozložené dislokace po tváření za studena zaujmou místa v určitých liniích),
3. **tváření s částečnou rekrytalizací struktury** – v rozmezí teplot $(0,5 \text{ až } 0,7) \cdot T_{\text{tav}}$, v materiálu jsou dvě struktury – rekrytalizovaná s rovnoměrnými zrny a nerekrystalizovaná se zrny prodlouženými ve směru tváření,
4. **tváření zatepla s úplnou rekrytalizací** – při teplotách nad $0,7 \cdot T_{\text{tav}}$, rekrytalizace probíhá současně s tvářením, struktura má zrnitý vzhled, vzniká jen velmi malé zpevnění (obr. 1.10 až 1.13).



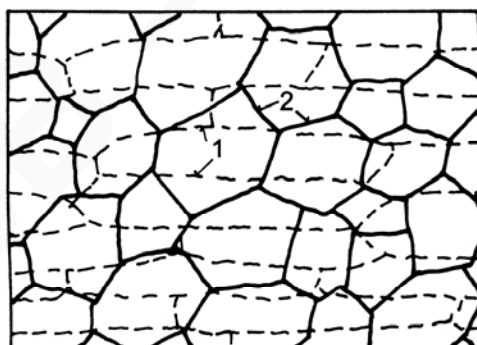
Obr. 1.8 Vznik textury při tváření zastudena (a – nedeformovaná zrna, která mají polygonální tvar, b – deformovaná zrna)



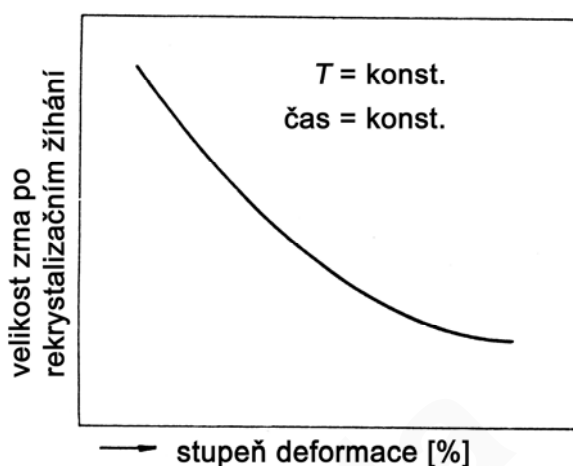
Obr. 1.9 Polygonizace v kovové mřížce deformované ohybem (a – nepravidelně rozložené dislokace po tváření za studena před polygonizací, b – umístění dislokací v určitých liniích po polygonizaci)



Obr. 1.10 Proces úplné rekystalizace struktury (a – nukleace, b – růst nových zrn, c – struktura kovu po rekystalizaci)

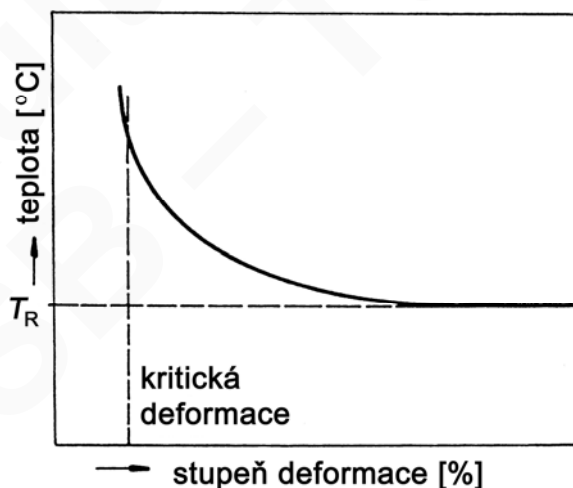


Obr. 1.11 Struktura kovu po rekystalizaci (1 – původní hranice deformovaných zrn, 2 – nové hranice nedeformovaných zrn, která mají polygonální tvar)



Obr. 1.12 Závislost velikosti zrna po rekrytalizačním žhání na stupni předchozí deformace při konstantní teplotě a času

	Průvodce studiem
	Praktickým příkladem využití rekrytalizace ve výrobě je výroba ocelových plechů v hutních podnicích. Po tváření zastudena jsou svitky plechu podrobeny rekrytalizačnímu žhání v pecích, aby došlo k nukleaci a růstu nových nedeformovaných zrn. Obnoví se tak plastické vlastnosti plechu a docílí se tak výchozí nízká mez kluzu. Protože u hlubokotažných ocelových plechů je nežádoucí existence výrazné meze kluzu, provádí se u těchto plechů následná operace – lehké převálcování, tj. deformace do 3 %, kterým se docílí parabolická závislost napětí na deformaci bez existence výrazné meze kluzu. Pokud obsahuje ocel před rekrytalizačním žháním větší množství vměstků, tyto se tvářením uspořádají do řádků, což ve struktuře zůstane i po rekrytalizačním žhání. Čím větší je stupeň deformace materiálu před rekrytalizačním žháním, tím vznikne při rekrytalizaci jemnější zrna.



Obr. 1.13 Závislost výše rekrytalizační teploty T_R na stupni předchozí deformace (T_R' je rekrytalizační teplota pro vysoký stupeň deformace)

1.4.2.1 Tváření zastudena

- do teploty $0,3 \cdot T_{\text{tav}}$,
- **vznik tvářecí textury** (zdeformovaná struktura orientovaná ve směru hlavní deformace),
- **změna mechanických vlastností** – zvýšení meze kluzu a pevnosti, snížení tažnosti a kontrakce, vzniká zpevnění v závislosti na velikosti deformace (lze odstranit žíháním),
- **změna fyzikálních vlastností** – magnetické, elektrické, tepelné,
- **vláknitost struktury**.

	Průvodce studiem
	Vznik tvářecí textury lze pozorovat např. při výrobě plechů válcováním zastudena. Vzniknou zrna výrazně deformovaná ve směru válcování, což je typická tvářecí textura. Jejím důsledkem je odlišnost mechanických vlastností jednak v různých směrech v rovině plechu, jednak v rovině plechu a ve směru tloušťky plechu. Materiál tedy není izotropní, ale anizotropní, přičemž anizotropie mechanických vlastností je jednak plošná, tedy v rovině plechu, a jednak normálová. Pokud jsou v materiálovém listu určitého materiálu udány mechanické vlastnosti bez uvedení směru v rovině plechu, rozumí se automaticky, že tímto směrem je ten nejméně příznivý, tedy úhel 90° vůči směru válcování. Jde o směr, ve kterém je nejvíce hranic zrn, tedy překážek pro pohyb dislokací, a proto nejnižší tvářitelnost materiálu. Vláknitost struktury při tváření zastudena je výhodná především z hlediska vyšší odolnosti vyrobené součásti na únavu materiálu, případně i vyšší odolnosti proti působení vrubu. Příkladem může být srovnání vlastností šroubu vyrobeného tvářením nebo obráběním. Šroub vyrobený obráběním bude mít přerušená vlákna materiálu, a to především v oblasti mezi hlavou a dříkem, kde bývá zpravidla navrhován poloměr zaoblení $R\ 0,5$. V tomto místě bude mít slabé místo jak z hlediska vrubu, tak z hlediska šíření únavové praskliny při cyklickém zatížení.

Tváření za studena lze rozdělit na:

- A) plošné,
- B) objemové.

Výpočet deformace:

Poměrná délková deformace:

$$\varepsilon_l = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \cdot 100 \quad (\%), \quad (1.8)$$

kde jsou l_0 – počáteční délka, tj. před deformací, l_1 – konečná délka, tj. po deformaci.

Logaritmická délková deformace:

$$\varphi_l = \ln \frac{l_1}{l_0} \quad (-). \quad (1.9)$$

Poměrná průřezová deformace:

$$\varepsilon_S = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100 \quad (\%), \quad (1.10)$$

kde jsou S_0 – počáteční průřez, tj. před deformací, S_1 – konečný průřez, tj. po deformaci.

Logaritmická průřezová deformace:

$$\varphi_S = \ln \frac{S_1}{S_0} \quad (-). \quad (1.11)$$

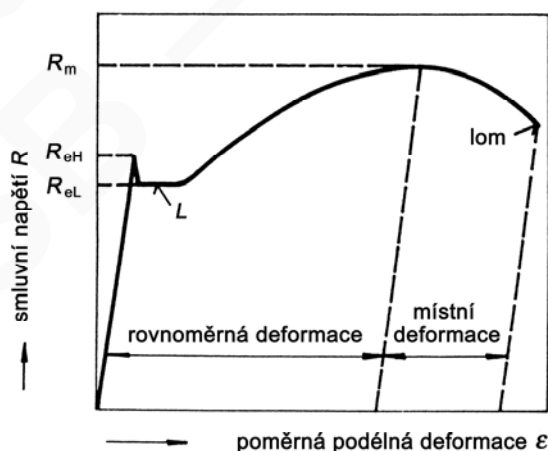
	Průvodce studiem
	Jedná se o základní rovnice, které je třeba znát z paměti. Hlavní výhodou logaritmických deformací oproti poměrným je skutečnost, že se dají algebraicky sčítat, takže u jedné součástky tvářené v několika operacích za sebou lze snadno vypočítat sečtením celkovou logaritmickou deformaci. Pokud je k dispozici křivka zpevnění daného materiálu, lze určit, jaké je zpevnění součástky a zda existuje zásoba plasticity pro další tvářecí operace, nebo je již zpevnění blízko meze pevnosti materiálu a hrozí při dalším tváření vznik lomu. Pokud je další tváření nutné a hrozí vznik lomu, lze provést mezioperační tepelné zpracování, a to rekrytalizační žíhání, a po něm provést tvářecí operace od výchozí meze kluzu.

Křivky zpevnění – závislosti napětí na deformaci (obr. 1.14)

Závislost mezi skutečným napětím a deformací u nízkouhlíkových ocelí:

$$\sigma = C \cdot \varphi^n \quad (\text{MPa}), \quad (1.12)$$

kde jsou n – exponent deformačního zpevnění (–), C – součinitel pevnosti (MPa), je číselně roven extrapolované hodnotě skutečného napětí při skutečné logaritmické deformaci $\varphi = 1$.



Obr. 1.14 Křivka zpevnění (tahový diagram měkké uhlíkové oceli)



Průvodce studiem

V diagramu na obr. 1.14 je na svislé ose smluvní napětí R , což je napětí, které se vypočte, když se okamžitá síla F vydělí hodnotou počátečního průřezu vzorku S_0 . Takový diagram se nazývá **smluvní** a pozná se tak, že za mezí pevnosti křivka klesá až do lomu. Na svislé ose může být také vyneseno skutečné napětí σ , které se vypočte, když se okamžitá síla F vydělí hodnotou skutečného průřezu vzorku S . Takový diagram se nazývá **skutečný** a pozná se tak, že za mezí pevnosti křivka prudce roste až do lomu. Je to způsobeno tím, že na vzorku dochází k lokalizaci plastické deformace, tedy ke vzniku místní deformace v místě krčku a okamžitý průřez se rychle zmenšuje za vzrůstu hodnoty skutečného napětí σ .

Křivka zpevnění má nejprve přímkovou část, která odpovídá pružné deformaci až do meze úměrnosti, resp. **meze pružnosti materiálu**. Co se týče meze kluzu, v diagramu jsou uvedeny dvě výrazné meze kluzu, a to **horní mez kluzu R_{eH}** (z angličtiny „high“) a **dolní mez kluzu R_{eL}** (z angličtiny „low“). Existence horní meze kluzu je způsobena zakotvením dislokací na vměstcích ve struktuře materiálu a nutnosti většího napětí pro docílení jejich odtržení. Pro následný pohyb dislokací mřížkou je třeba napětí nižší, proto se napětí sníží na hodnotu dolní meze kluzu. Pokud je v normě uvedena hodnota výrazné meze kluzu bez dalšího upřesnění, rozumí se tím hodnota R_{eL} . U některých materiálů existuje tzv. **Lüdersova deformace** (v diagramu označeno L), což je deformace bez růstu napětí. Tato deformace způsobuje vznik viditelných kluzových čar na povrchu vzorků. Po zapojení kluzu ve více rovinách a vzniku tzv. **složitého kluzu** dojde ke vzniku parabolického zpevnění až do **meze pevnosti**. Za mezí pevnosti dochází k **lokalizaci plastické deformace**, vzniku **krčku** a následně vzniku **lomu**.

Exponent deformačního zpevnění je důležitou hodnotou při posuzování vhodnosti plechů k hlubokému tažení. Vyjadřuje vhodnost plechu pro tváření vypínáním, tj. napjatostí tah – tah. Čím je hodnota tohoto součinitele větší, tím je plech vhodnější pro hluboké tažení. Jeho hodnota se zjišťuje tahovými zkouškami.

1.4.2.2 Tváření zatepla

- při teplotách **nad $0,7 \cdot T_{\text{tav}}$** , deformace probíhá **nad teplotou rekrytalizace**
- vzniká jen **velmi malé zpevnění**, zvětšují se výkmity atomů, zvětšuje se vzdálenost mezi středy atomů a snižuje se tak jejich přitažlivost (růst plasticity, snížení odporů proti tváření)

Druhy rekrytalizace:

1. **statická rekrytalizace** (po skončení plastické deformace, deformační rychlost je menší než rychlost rekrytalizace),
2. **dynamická rekrytalizace** (v procesu plastické deformace za poklesu napětí potřebného k realizaci plastické deformace, deformační rychlost je menší než rychlost rekrytalizace),
3. **smíšená rekrytalizace** (deformační rychlost je menší nebo větší než rychlost rekrytalizace).



Úkol k zamyšlení

Uvedte **příklady vhodnosti použití** technologií tváření zastudena při výrobě součástí v praxi. Uvedte totéž pro technologie tváření zatepla.

1.4.3 Vliv tření na styčných plochách nástroje s materiálem na průběh plastické deformace

Působení vnějšího tření:

1. **aktivní** (žádoucí, nebylo by bez něj možné uskutečnit některé tvářecí operace, např. válcování),
2. **pasivní** (nežádoucí, brzdí rozvoj plastické deformace, zvyšuje spotřebu energie, zvyšuje opotřebení tvářecích nástrojů).

Tření způsobuje:

1. **změnu stavu napjatosti** deformovaného materiálu a tím i změnu plastického toku (např. čím větší je tření, tím je větší soudkovitost přechovaných válečků),
2. **kvalitativní změny materiálu** (nerovnoměrné rozložení tvrdosti způsobené nerovnoměrností plastického toku materiálu),
3. ovlivňuje **velikost tvářecí síly** a **spotřebovanou energii** pro tváření,
4. ovlivňuje **životnost nástrojů**.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady existence aktivního tření při výrobě součástí v praxi. Uvedte příklady existence pasivního tření .

Druhy tření při plastické deformaci:

1. **suché tření** – stykové plochy se dotýkají bezprostředně, bez maziva ($f = 0,5$),
2. **mezní tření** – mezi třecími plochami je velmi tenká vrstva maziva (mezní vrstva, tloušťka do $0,1 \mu\text{m}$), která je pod vlivem mezimolekulárních sil a neřídí se zákony hydrauliky ($f = 0,05$ až $0,2$),
3. **polosuché tření** – smíšené tření, kombinace suchého a mezního ($f = 0,05$ až $0,5$),
4. **kapalinné (hydraulické) tření** – třecí plochy jsou od sebe dokonale odděleny vrstvou maziva, ve které probíhá tření.

V běžné praxi při tváření kovů – mezní nebo polosuché tření, kapalinné ojediněle.

Součinitel tření závisí na stavu povrchu nástrojů, teplotě, tlaku a rychlosti tváření, proto je jeho velikost v průběhu tvářecího procesu proměnná. Do výpočtů se používá **střední hodnota**, prakticky ověřená zkouškou.

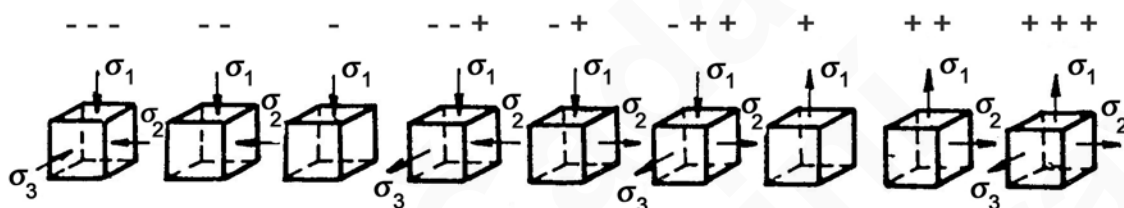
1.4.4 Vliv napjatosti na plastickou deformaci

Napjatost lze znázornit **schémata stavu napjatosti** (je jich **devět**) – pomocí hlavních napětí, tj. bez existence tangenciálních napětí (obr. 1.15). Každou napjatost lze rovněž znázornit Mohrovými kružnicemi napětí.

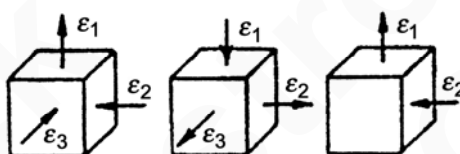
Druhy napjatosti:

1. **jednoosá** (např. v prvním stádiu tahové zkoušky),
2. **dvojsoá** (např. při ohýbání a hlubokém tažení plechů),
3. **třísoá** (např. při protlačování, kování, válcování),

Existují **tři schémata stavu deformace** (obr. 1.16).



Obr. 1.15 Schémata stavu napjatosti



Obr. 1.16 Schémata stavu deformace

Čím více ve schématu napjatosti převládají **tlaková napětí**, tím je **tvářitelnost materiálu vyšší** (lze tvářet většími deformačními stupni bez nebezpečí vzniku trhliny a tvářet kovy s nižšími plastickými vlastnostmi).

Při převládajícím **tahovém napětí** tvářitelnost materiálu klesá (obr. 1.15).



Úkol k zamyšlení

Uveďte **příklady různých schémat stavu napjatosti** a k nim technologie výroby, při kterých se vyskytují.

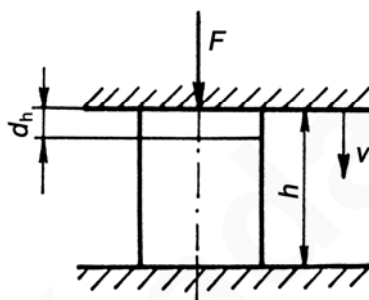
1.4.5 Vliv rychlosti deformace na plastickou deformaci

Rychlosti:

1. **rychlost tvářecího nástroje** (je dána např. rychlostí beranu),
2. **deformační rychlost** (poměrná rychlost tváření) – rychlost, kterou se při tváření blíží průřezy tvářeného materiálu (obr. 1.17). Je to změna poměrné deformace za časovou jednotku:

$$v_d = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{dh}{h \cdot dt} = \frac{dh}{dt} \cdot \frac{1}{h} = \frac{v}{h} \quad (\text{s}^{-1}), \quad (1.13)$$

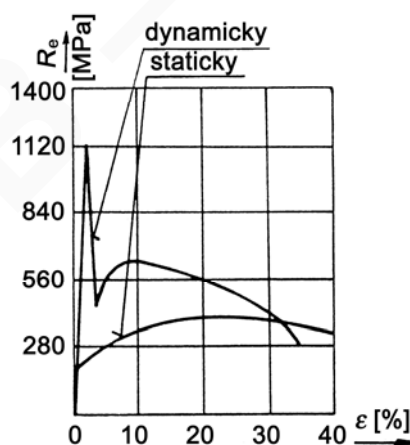
kde jsou ε – poměrná deformace (–), t – čas (s), h – výška tvářeného materiálu (m), v – rychlost tvářecího nástroje ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).



Obr. 1.17 Vzorek pro stanovení deformační rychlosti

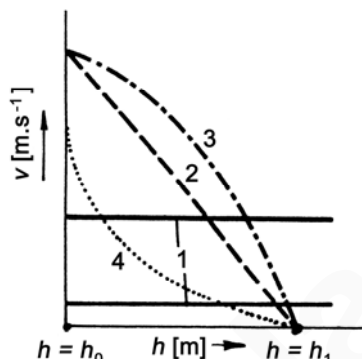
- ♦ s růstem v_d **roste napětí potřebné pro deformaci materiálu**, rostou tvářecí síly,
- ♦ s růstem v_d se **zvýšuje teplota tvářeného materiálu** (tzv. **tepelný efekt**) – energie, spotřebovaná na plastickou deformaci se mění na energii tepelnou, která se nestačí odvést do okolí. To působí příznivě na tvářitelnost, pokud se nepřekročí max. teplota ohřevu.
- ♦ s růstem v_d se **zvýšuje kritická teplota**, při které nastává přechod od chování plastického ke křehkému,
- ♦ vliv v_d je tím větší, čím menší je pevnost materiálu,
- ♦ u materiálu s výraznou mezí kluzu je s růstem v_d růst meze kluzu větší než je růst meze pevnosti.

Srovnání statického a dynamického pracovního diagramu pro měkkou ocel (obr. 1.18) – existence tzv. **hrotu** (poměr horní a dolní meze kluzu může dosáhnout hodnoty až 6,5). Horní mez kluzu se označuje jako nestabilní, dolní mez kluzu jako stabilní.

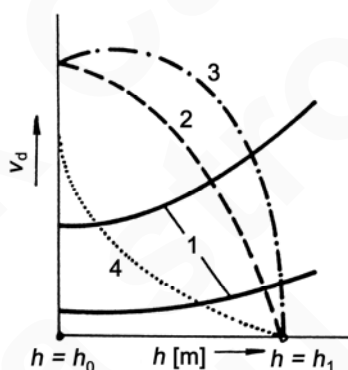


Obr. 1.18 Vliv rychlosti deformace na plastickou deformaci

Srovnání rychlostí jednotlivých tvářecích strojů je uvedeno v obr. 1.19, srovnání deformačních rychlostí těchto strojů je uvedeno v obr. 1.20.



Obr. 1.19 Maximální pracovní rychlosti jednotlivých tvářecích strojů (1 – hydraulický lis, $v = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$, 2 – tvářecí stroj se stejnomořným zpožděním, 3 – buchar, $v = 5 \text{ až } 7 \text{ m.s}^{-1}$, 4 – klikový lis, $v = 0,4 \text{ až } 0,6 \text{ m.s}^{-1}$)



Obr. 1.20 Deformační rychlosti jednotlivých tvářecích strojů (1 – hydraulický lis, 2 – tvářecí stroj se stejnomořným zpožděním, 3 – buchar, 4 – klikový lis)

Σ	Shrnutí kapitoly
	Tváření je zpracování materiálu velkými plastickými deformacemi při stavu napjatosti za mezí kluzu, a to bez porušení tvářeného materiálu. Hlavními výhodami technologie tváření jsou zvyšování užitečných vlastností kovů (zpevnění, nedochází k přerušení vláken), minimální množství odpadu, vysoká produktivita práce a vhodnost pro velkosériovou výrobu. Plastická deformace kovů se uskutečňuje na hranicích bloků, tedy uvnitř krystalu, a to kluzem na krystalových rovinách bloků. Dochází přitom k prostorové orientaci bloků a prodlužování zrn ve směru převládající deformace, tedy vzniku textury. Nežádoucí je deformace na hranicích zrn, tedy mezikrystalová, protože soudržnost hranic zrn se brzy poruší. Základními mechanismy plastické deformace jsou deformace kluzem, dvojčatěním a difúzí. Plastická deformace kluzem je charakterizována rovinou kluzu, směrem kluzu. Velikost posuvu je celočíselným násobkem nejmenší mřížkové vzdálenosti. Kluz je

jednoduchý, nebo složitý. Napětí, potřebné ke kluzu v určité rovině, se nazývá kritické smykové napětí. **Plastická deformace dvojčatěním** spočívá v tom, že vlivem vnějších sil se část krystalu symetricky pootočí kolem roviny dvojčatění a vytvoří zrcadlový obraz nedeformované části. Tento mechanismus podporuje zvýšená deformační rychlost a nižší teplota tváření. Deformace není velká. **Plastická deformace difúzí** se uskutečňuje difúzí intersticií nebo vakancí za vysoké teploty a při malé deformační rychlosti.

První plastická deformace tělesa vznikne na rovině, která je skloněna vůči působícímu napětí pod úhlem 45° v okamžiku, kdy osová napětí dosáhne hodnoty meze kluzu R_e . V tu chvíli existuje na této rovině tzv. **kritické smykové napětí**, které je závislé na materiálu a podmínkách plastické deformace (teplotě, stupni a rychlosti deformace, schématu hlavních napětí).

Křivka zpevnění má nejprve přímkovou část, která odpovídá pružné deformaci až do meze úměrnosti, resp. **meze pružnosti materiálu**. Existence **horní meze kluzu** je způsobena zakotvením dislokací na vměstcích ve struktuře materiálu a nutnosti většího napětí pro docílení jejich odtržení. Pro následný pohyb dislokací mřížkou je třeba napětí nižší, proto se napětí sníží na hodnotu **dolní meze kluzu**. U některých materiálů existuje tzv. **Lüdersova deformace**, což je deformace bez růstu napětí. Po zapojení kluzu ve více rovinách a vzniku tzv. složitěho kluzu dojde ke vzniku parabolického zpevnění až do **meze pevnosti**. Za meze pevnosti dochází k **lokalizaci plastické deformace**, vzniku **krčku** a následně vzniku **lomu**.

Plošné tváření je tváření plochých polotovarů, tedy plechů. **Objemové tváření** znamená tváření polotovarů, které nemají malou tloušťku, např. tyčí, přičemž se provádí zastudena nebo zatepla.

Při tváření zastudena vzniká tvářecí textura, mění se mechanické vlastnosti, vzniká zpevnění v závislosti na velikosti deformace, mění se fyzikální vlastnosti a vzniká vláknitost struktury. **Při tváření zatepla**, tedy nad teplotou rekrytalizace, vzniká jen velmi malé zpevnění.

Struktura materiálu má vliv na plastickou deformaci. **Chemické složení** – se stoupajícím obsahem C se zvětšují deformační odpory a roste pevnost, vysokolegované a nástrojové oceli mají zpravidla větší deformační odpory, než oceli uhlíkové a nízkolegované, většina neželezných kovů má malý odpor proti deformaci. **Krystalová mřížka** – plošně centrovanou kubickou mřížku lze nejnádhněji přetvářet, prostorově centrovaná kubická mřížka má menší schopnost plastické deformace, u hexagonální mřížky s těsným uspořádáním atomů je obtížné dosažení plastického stavu. **Velikost zrn** – jemnozrnnější struktura má větší deformační odpor a často i nižší plasticitu. **Stejnorodost zrn** – různá velikost zrn zhoršuje plastické vlastnosti vlivem nerovnoměrného postupu deformace. **Vliv mezikrystalické hmoty a jejího rozdělení** – přítomnost snadno tavitelných příměsí nebo místní koncentrace těchto příměsí, nerovnoměrné rozdělení mezikrystalické hmoty způsobuje oslabení vazby mezi zrny.

Podle teploty deformovaného materiálu při procesu plastické deformace lze tvářecí procesy rozdělit na: **1. tváření zastudena** – do teploty $0,3 \cdot T_{\text{tav}}$, v kovu vzniká zpevnění v závislosti na velikosti deformace a deformovaná struktura. **2. tváření se zotavením** – v rozmezí teplot $(0,3 \text{ až } 0,5) \cdot T_{\text{tav}}$, struktura je deformovaná, mírný pokles pevnosti, zpevnění je nižší, zlepšení plasticity. **Zotavení** – při teplotě $(0,3 \text{ až } 0,35) \cdot T_{\text{tav}}$ (uvolnění některých zachycených dislokací, změna jejich uspořádání bez snížení jejich počtu). **Polygonizace** – nepravidelně rozložené dislokace po tváření za studena zaujmou místa v určitých liniích. **3. tváření s částečnou rekrytalizací struktury** – v rozmezí teplot $(0,5 \text{ až } 0,7) \cdot T_{\text{tav}}$, v materiálu jsou dvě struktury – rekrytalizovaná s rovnoměrnými zrny a nerekrystalizovaná se zrny prodlouženými ve směru tváření. **4. tváření zatepla s úplnou rekrytalizací** – při teplotách nad $0,7 \cdot T_{\text{tav}}$, rekrytalizace probíhá současně s tvářením, struktura má zrnitý vzhled, vzniká jen velmi malé zpevnění.

Tření na styčných plochách nástroje s materiálem lze rozdělit na **aktivní**, tedy žádoucí, a **pasivní**, tedy nežádoucí (toto brzdí rozvoj plastické deformace, zvyšuje spotřebu energie

	a zvyšuje opotřebení tvářecích nástrojů). Tření způsobuje <i>změnu stavu napjatosti</i> deformovaného materiálu a tím i změnu plastického toku, <i>kvalitativní změny materiálu</i> (nerovnoměrné rozložení tvrdosti způsobené nerovnoměrností plastického toku materiálu), ovlivňuje <i>velikost tvářecí síly</i> a <i>spotřebovanou energii</i> pro tváření, ovlivňuje <i>životnost nástrojů</i>. Vliv napjatosti na plastickou deformaci lze vyjádřit pomocí schémat napjatosti. Čím více ve schématu napjatosti převládají tlaková napětí, tím je <i>tvářitelnost materiálu</i> vyšší (lze tvářet většími deformačními stupni bez nebezpečí vzniku trhliny a tvářet kovy s nižšími plastickými vlastnostmi). Při převládajícím tahovém napětí tvářitelnost materiálu klesá. Vliv rychlosti deformace v_d na plastickou deformaci – s růstem v_d roste <i>napětí potřebné pro deformaci materiálu</i>, rostou tvářecí síly, s růstem v_d se <i>zvyšuje teplota tvářeného materiálu</i> (tzv. tepelný efekt) – energie, spotřebovaná na plastickou deformaci se mění na energii tepelnou, která se nestačí odvést do okolí. To působí příznivě na tvářitelnost, pokud se nepřekročí max. teplota ohřevu. S růstem v_d se <i>zvyšuje kritická teplota</i>, při které nastává přechod od chování plastického ke křehkému. Vliv v_d je tím větší, čím menší je pevnost materiálu. U materiálu s výraznou mezí kluzu je s růstem v_d růst meze kluzu větší než je růst meze pevnosti.
--	---



Pojmy k zapamatování

Tváření, mechanismus plastické deformace, deformace kluzem, rovina kluzu, jednoduchý kluz, složitý kluz, dvojčatění, rovina dvojčatění, difúze, vakance, interstice, mez kluzu materiálu, kritické smykové napětí, trvalá deformace, zpevnění materiálu, křivka zpevnění, tahový diagram, skutečné napětí, smluvní napětí, rovnoměrná deformace, místní deformace, lokalizace plastické deformace, poměrná deformace, logaritmická deformace, zrna kovu, polykrystalická látka, polyedrický tvar, mozaiková struktura, subzrno, krystalový blok, textura, hranice zrna, mezikrystalová deformace, základní faktory ovlivňující plastickou deformaci, neželezný kov, plošně centrovaná kubická mřížka, prostorově centrovaná kubická mřížka, hexagonální mřížka s těsným uspořádáním atomů, velikost zrna, stejnorodost zrn, mezikrystalická hmota, struktura, teplota, tváření zastudena, tváření zatepla, tváření se zotavením, zotavení, polygonizace, dislokace, tváření s částečnou rekrytalizací struktury, rekrytalizace, nukleace, krystalizační zárodek, stupeň deformace, statická rekrytalizace, dynamická rekrytalizace, smíšená rekrytalizace, tváření s úplnou rekrytalizací, vláknitost struktury, plošné tváření, objemové tváření, poměrná délková deformace, logaritmická délková deformace, poměrná průřezová deformace, logaritmická průřezová deformace, nízkouhlíková ocel, exponent deformačního zpevnění, součinitel pevnosti, tření, aktivní tření, pasívní tření, životnost nástrojů, suché tření, mezní tření, polosuché tření, kapalinné tření, součinitel smykového tření, napjatost, schémata stavu napjatosti, schémata stavu deformace, hlavní napětí, hlavní deformace, tangenciální napětí, jednoosá napjatost, dvojosá napjatost, tříosá napjatost, rychlost tvářecího nástroje, deformační rychlost, tepelný efekt, výrazná mez kluzu, horní mez kluzu, dolní mez kluzu, smluvní mez kluzu, Lüdersova deformace, parabolické zpevnění, mez úměrnosti, mez pružnosti, mez pevnosti, lom materiálu, statický pracovní diagram materiálu, dynamický pracovní diagram materiálu.



Odměna a odpočinek

Výborně, **první kapitolu** máte za sebou! Teď si odpočiňte, dejte si něco dobrého k pití. Po relaxaci se pokuste vlastními slovy shrnout obsah kapitoly a vrhněte se na zodpovězení

	kontrolních otázek kapitoly.
--	------------------------------

	Kontrolní otázky
	Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo první kapitoly „Vliv tváření na vlastnosti a strukturu materiálu“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek: 1. Pro jaké materiály je vhodná technologie tváření? 2. Jak vzniká polyedrický tvar zrn kovu? 3. V čem spočívá mozaiková struktura krystalů kovů? 4. Jaký je rozdíl mezi jednoduchým a složitým kluzem v krystalových mřížkách? 5. Jaké jsou základní předpoklady pro existenci plastické deformace difúzí? 6. Jaký typ krystalové mřížky má Fe? 7. Jaký je vliv obsahu uhlíku na vlastnosti ocelí? 8. Proč má jemnozrnná struktura větší deformační odpor a zpravidla nižší plastičnost než hrubozrnná struktura? 9. Jaký je princip zotavení materiálu? 10. Za jakých podmínek a jakým způsobem probíhá rekrystalizace struktury? 11. Jaké jsou základní rozdíly mezi technologiemi tváření zastudena a zatepla? 12. Jak ovlivňuje tření na styčných plochách nástroje s materiálem průběh plastické deformace? 13. Jaký je vliv napjatosti na plastickou deformaci? 14. Jaký je vliv rychlosti deformace na plastickou deformaci?

	Literatura
	[1] BŘEZINA, R. <i>Technologie I – část 1 : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 80 s. ISBN 80-7078-439-3. [2] PETŘELA, Z., KUČERA, J. a BŘEZINA, R. <i>Technologie slévání, tváření a svařování : skriptum</i>. 2. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1987. 329 s. (bez ISBN). [3] BŘEZINA, R. a ČADA, R. <i>Speciální technologie – technologie tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1992. 257 s. ISBN 80-7078-122-X. [4] SILBERNAGEL, A. <i>Nauka o materiálu I : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1982. 331 s. (bez ISBN). [5] BLAŠČÍK, F. a kol. <i>Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvarovania</i>. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1988. 832 s. (bez ISBN).

	Náměty pro tutoriál
	Vysvětlete výhody technologie tváření. Uvedte příklady z praxe, kdy tato technologie byla úspěšně využita pro výrobu součástí. Objasněte základní mechanismy plastické deformace. Uvedte příklady z praxe, kdy se uplatňují. Vyjmenujte základní faktory ovlivňující plastickou deformaci. Ke každému z faktorů uvedte příklady z praxe, kdy se uplatňují.

	Průvodce studiem
	Na první kapitolu s názvem „Vliv tváření na vlastnosti a strukturu materiálu“ navazuje druhá kapitola s názvem „Základní zákony plastické deformace“, která první kapitolu doplňuje o další poznatky.

2 ZÁKLADNÍ ZÁKONY PLASTICKÉ DEFORMACE

	Rychlý náhled do problematiky kapitoly
	Druhá kapitola popisuje základní zákony plastické deformace – zákon stálosti objemu, zákon nejmenšího odporu, zákon závislosti deformace na napěťovém stavu, zákon stálosti potenciální energie na změnu tvaru, zákon smykových napětí, zákon pružného odlehčení, zákon zpevnění, zákon tření, zákon přídatných napětí a zákon podobnosti. Člení se na následující podkapitoly: 2.1 Zákon stálosti objemu 2.2 Zákon nejmenšího odporu 2.3 Zákon závislosti deformace na napěťovém stavu 2.4 Zákon stálosti potenciální energie na změnu tvaru 2.5 Zákon smykových napětí 2.6 Zákon pružného odlehčení 2.7 Zákon zpevnění 2.8 Zákon tření 2.9 Zákon přídatných napětí 2.10 Zákon podobnosti

	Cíle kapitoly
	Budete umět: • definovat a vysvětlit jednotlivé základní zákony plastické deformace, • objasnit vznik zpevnění při deformačních procesech pod rekrytalizační teplotou, • vysvětlit vznik tření mezi nástrojem a materiálem v procesu plastické deformace, Získáte: • znalosti o způsobu zaplňování dutin zápustek při zápustkovém kování, • přehled o vlivu přídatných napětí na tvářené těleso včetně způsobů jejich snížení, Budete schopni: • vysvětlit, ve kterých případech zákon stálosti objemu zcela neplatí, • popsat závislost deformace na napěťovém stavu, • vysvětlit stálost potenciální energie na změnu tvaru, • objasnit zákon smykových napětí, • vysvětlit podmínky geometrické, mechanické a fyzikální podobnosti, které je třeba splnit pro platnost zákona podobnosti.

	Klíčová slova kapitoly
	Objem, deformace, ingot, měrná hmotnost, neuklidněná ocel, tváření zastudena, krystalová mřížka, rekrytalizace, element, deformační odpor, přechování, zápustkové kování, výronková drážka, napjatost, tvářitelnost, potenciální energie na změnu tvaru, teplota, rychlost deformace, deformační práce vnějších sil, Poissonova konstanta, modul pružnosti, energetická podmínka plasticity, smykové napětí, síla, hlavní napětí, odlehčení, Hookův

	zákon, výlisek, zpevnění, tepelný efekt, odpevnění, tření, nástroj, Coulombův zákon, krystal, polotovar, součást, žíhání, podobnost, měrný tlak, chemické složení, struktura, fázový stav, těleso.
--	--

	Čas potřebný ke studiu kapitoly: 3 hodiny
---	--

	Průvodce studiem
	Tato kapitola, stejně jako ta první, je důležitým teoretickým základem pro pochopení podstaty řady výrobních technologií. Je to kapitola, která částečně opakuje znalosti z předmětu „ <i>Nauka o materiálu</i> “, přičemž zdůrazňuje propojení s technologiemi tváření materiálu zastudena a zatepla. Je postupně uvedeno deset základních zákonů plastické deformace , které autor studijní opory shromáždil z většího počtu odborných publikací, ve kterých jsou zpravidla uvedeny jen některé z nich.

Mezi základní zákony plastické deformace lze zařadit následující zákony:

1. zákon stálosti objemu (viz 2.1),
2. zákon nejmenšího odporu (viz 2.2),
3. zákon závislosti deformace na napětovém stavu (viz 2.3),
4. zákon stálosti potenciální energie na změnu tvaru (viz 2.4),
5. zákon smykových napětí (viz 2.5),
6. zákon pružného odlehčení (viz 2.6),
7. zákon zpevnění (viz 2.7),
8. zákon tření (viz 2.8),
9. zákon přídatných napětí (viz 2.9),
10. zákon podobnosti (viz 2.10).

2.1 Zákon stálosti objemu

	Definice 2.1
	Objem před deformací je roven objemu po deformaci, tj. součet hlavních logaritmických deformací je roven nule.

Odvození:

$$V_0 = V_1 = a_0 \cdot b_0 \cdot c_0 = a_1 \cdot b_1 \cdot c_1, \quad (2.1)$$

kde jsou V_0 – objem hranolu před deformací, V_1 – objem hranolu po deformaci, a_0 , b_0 , c_0 – rozměry hranolu před deformací, a_1 , b_1 , c_1 – rozměry hranolu po deformaci.

Úpravou rovnice (2.1) se získá:

$$\frac{a_1}{a_0} \cdot \frac{b_1}{b_0} \cdot \frac{c_1}{c_0} = 1 \quad (2.2)$$

Logaritmováním rovnice (2.2) se získá:

$$\ln \frac{a_1}{a_0} + \ln \frac{b_1}{b_0} + \ln \frac{c_1}{c_0} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \quad (2.3)$$

kde jsou φ_1 – hlavní logaritmická deformace ve směru 1, φ_2 – hlavní logaritmická deformace ve směru 2, φ_3 – hlavní logaritmická deformace ve směru 3.

V reálných kovech existují určité změny objemu:

a) při deformaci litého kovu (první deformace ingotů) – dochází k zaválcování, zakování a zavaření vnitřních dutin, pórů a necelistvostí (**zvyšuje se měrná hmotnost** – cca o 12 %, tedy **zmenšuje se objem kovu**)

Zákon stálosti objemu lze zapsat v podobě:

$$V_l \cdot \rho_l = V_t \cdot \rho_t \quad (2.4)$$

kde jsou V_l – objem litého kovu, ρ_l – měrná hmotnost (hustota) litého kovu, V_t – objem tvářeného kovu, ρ_t – měrná hmotnost tvářeného kovu.

U neuklidněné oceli však platí:

$$\frac{V_t}{V_l} = \frac{\rho_l}{\rho_t} = \frac{6910}{7850} = 0,88 \quad (2.5)$$

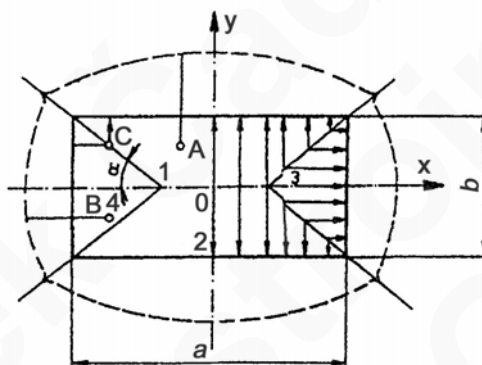
b) při tváření (hlavně zastudena) – dochází ke vzniku poruch krystalových mřížek (**snižuje se měrná hmotnost** – cca o 0,1 až 0,2 %, tedy **zvětšuje se objem kovu**). Při rekrystalizaci se měrná hmotnost **zvyšuje**, takže výsledný vliv je zanedbatelný.

	Průvodce studiem
	Zvětšování objemu materiálu při tváření zastudena se laikovi zdá logickým nesmyslem. Laik předpokládá, že při působení vnějšího zatížení se atomy kovu dostanou blíže k sobě, čímž vznikne zpevnění za současného zvýšení měrné hmotnosti. Není tomu tak! Skutečnost je taková, že působením vnějšího zatížení se v materiálu dají do pohybu dislokace, které začnou narážet jednak na sebe za vzniku dislokačních můstek, jednak na interstice, které musí překonat za vzniku dislokační smyčky, což vše způsobuje růst počtu poruch v krystalové mřížce a její napínání. Tyto děje způsobují parabolické zpevňování materiálu v průběhu plastické deformace za současného snižování měrné hmotnosti.
	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití zákona stálosti objemu u technologií výroby součástí v praxi.

2.2 Zákon nejmenšího odporu

Df	Definice 2.2
	Elementy deformovaného tělesa se přemísťují ve směru nejmenšího odporu.

	Řešená úloha 1.1
	Pěchování hranolu mezi rovnoběžnými deskami s uvažováním tření na kontaktních plochách. Element materiálu se přemísť do nové polohy po nejkratší dráze , tj. kolmo k povrchu deformovaného tělesa (obr. 2.1). U volných deformací má obrys průřezu postupně minimální obvod (kruh) (obr. 2.2). *

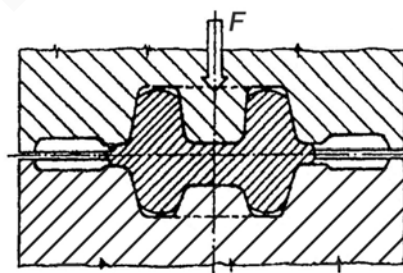


Obr. 2.1 Pěchování hranolu



Obr. 2.2 Změna tvaru pěchovaných součástí (a – pěchování válce, b – pěchování krychle, c – pěchování hranolu)

Praktický význam zákona: např. při **zápustkovém kování** (obr. 2.3) – pro úplné zaplnění dutiny zápustky musí být odpor proti tečení kovu v místě výronkové drážky vyšší než deformační odpor v dutině zápustky.



Obr. 2.3 Zaplňování dutiny zápustky

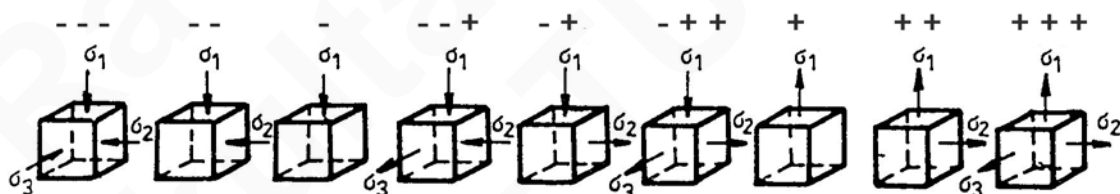
	Průvodce studiem
	Při příliš velké výšce můstku (zúžené části) výronkové drážky v dělicí rovině zápustek je odpor proti odtečení kovu z dutiny zápustky menší než deformační odpor v dutině zápustky, což způsobí předčasné odtečení materiálu z dutiny zápustky do výronkové drážky a vznik vady – nezaplnění dutiny zápustky. Výsledný výkovek je zmetkem. Z uvedeného důvodu je třeba volit výšku můstku výronkové drážky podle platných norem pro zápustkové kování.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady platnosti zákona nejmenšího odporu u zkoušek materiálu, nebo u technologií výroby součástí v praxi.

2.3 Zákon závislosti deformace na napětovém stavu

	Definice 2.3
	Průběh plastické deformace je závislý na napětovém stavu.

Se změnou stavu napjatosti se mění **tvářitelnost tvářeného kovu** – od trojosého tlaku klesá po trojosý tahový stav napjatosti (obr. 2.4).



Obr. 2.4 Mechanická schémata stavu napjatosti (směrem zleva doprava tvářitelnost klesá)

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady různých schémat stavu napjatosti a k nim technologie výroby, při kterých se vyskytují.

2.4 Zákon stálosti potenciální energie na změnu tvaru

Df	Definice 2.4
	Měrná potenciální energie na změnu tvaru, která je obsažena v deformovaném tělese při plastické deformaci, závisí na podmínkách plastické deformace (teplota, rychlost a stupeň deformace) a na materiálu, ale nezávisí na stavu napjatosti.

Jinými slovy: měrná potenciální energie pružné deformace elementu kovového tělesa při jeho plastické deformaci je pro dané podmínky tváření veličinou stálou, nezávislou na stavu napjatosti.

Při deformaci se v tělese hromadí **potenciální deformační energie** číselně rovná deformační práci vnějších sil, které na těleso působí.

Měrná potenciální deformační energie (tj. pro jednotku objemu):

$$A_D = A_V + A_{Tv} \quad (\text{J}), \quad (2.6)$$

kde jsou A_V – měrná potenciální energie na změnu objemu, A_{Tv} – měrná potenciální energie na změnu tvaru.

Měrná potenciální energie na změnu objemu:

$$A_V = \frac{1-2\mu}{6E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 \quad (\text{J}), \quad (2.7)$$

kde jsou μ – Poissonova konstanta, E – modul pružnosti, σ_1 – hlavní normálové napětí ve směru 1, σ_2 – hlavní normálové napětí ve směru 2, σ_3 – hlavní normálové napětí ve směru 3.

Měrná potenciální energie na změnu tvaru:

$$A_{Tv} = \frac{1+\mu}{6E} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] = \frac{1+\mu}{6E} 2\sigma_K^2 = \text{konst.}, \quad (2.8)$$

kde je σ_K – skutečné napětí na mezi kluzu.

Jde o **fyzikální význam energetické podmínky plasticity** (HMH):

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_K^2. \quad (2.9)$$

2.5 Zákon smykových napětí

Df	Definice 2.5
	K plastické deformaci ve tvářeném tělese dojde tehdy, když smykové napětí vznikající v něm působením vnějších sil dosáhne určité hodnoty (kritické smykové napětí), která je závislá na materiálu a podmínkách plastické deformace (teplotě, stupni a rychlosti deformace, schématu hlavních napětí).

Kritické smykové napětí působí v rovinách, které jsou vůči směru maximálního a minimálního hlavního napětí skloněny pod úhlem 45° .

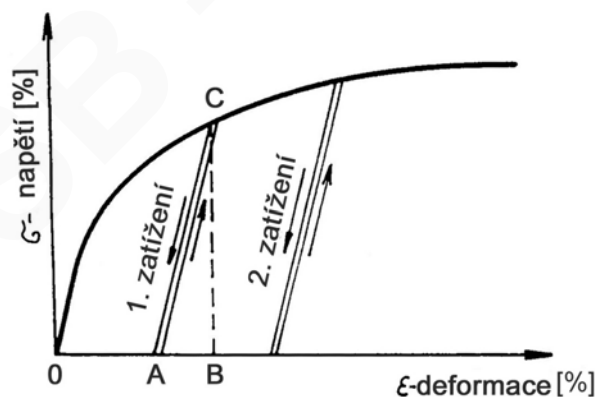
	Průvodce studiem
	Odvození tvrzení, že minimální smykové napětí potřebné k vyvolání kluzu v tělese se docílí na rovině, která je skloněna vůči působícímu napětí pod úhlem 45° v okamžiku, kdy osově napětí dosáhne hodnoty meze kluzu R_e, je uvedeno v kapitole 1.3 této studijní opory. To, že kluz probíhá především na rovinách skloněných vůči působícímu napětí pod úhlem 45° lze odpozorovat např. při tahové zkoušce plochých zkušebních tyčí, kdy za meze pevnosti v tahu vznikne na zkušební tyči krček a následně lom, který má lomovou plochu skloněnou právě pod úhlem 45° vůči ose tyče a tedy i vůči působícímu osovému napětí.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady platnosti zákona smykových napětí u zkoušek materiálu, nebo u technologií výroby součástí v praxi.

2.6 Zákon pružného odlehčení

	Definice 2.6
	V případě přerušení plastické deformace (odlehčením a opětovným zatížením) při zachování charakteru a způsobu zatížení nemění deformační diagram svůj tvar.

- odlehčení a opětovné zatížení se řídí **Hookovým zákonem** nedochází-li mezitím ke stárnutí, zotavování (obr. 2.5),
- po ukončení plastické deformace a odlehčení se změní následkem **pružné deformace** rozměry deformovaného tělesa (výlisky neodpovídají rozměrům tvářecích nástrojů).



Obr. 2.5 Diagram $\sigma - \epsilon$ při opětovném zatěžování

	Průvodce studiem
	Zákon pružného odlehčení má význam při tváření několika po sobě jdoucími operacemi. Z obr. 2.5 je zřejmé, že každá následující operace vychází z již zpevněného materiálu z předchozích tvářecích operací. Pouze první operace tváření začíná na výchozí mezi kluzu tvářeného polotovaru, další tvářecí operace začínají na zvýšené hodnotě meze kluzu díky zpevnění z předchozích operací. Pro praxi má význam kontrola zásoby plasticity materiálu do dosažení meze pevnosti, po jejímž překročení dochází k nežádoucí lokalizaci plastické deformace a lomu. Pokud je materiál předchozími operacemi zpevněn natolik, že další tvářecí operace by způsobila překročení meze pevnosti, je nutné zařadit mezioperační tepelné zpracování – v tomto případě rekrytalizační žhání. Po vzniku nových, nedeformovaných zrn ve struktuře tvářeného polotovaru lze materiál dále tvářet, a to opět od výchozí meze kluzu.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady platnosti zákona pružného odlehčení u zkoušek materiálu, nebo u technologií výroby součástí v praxi.

2.7 Zákon zpevnění

	Definice 2.7
	Při deformačních procesech pod rekrytalizační teplotou převládá kluzový mechanismus deformace se zpevněním.

Obecné vyjádření přirozeného deformačního odporu:

$$\sigma_p = f(\text{materiál}, \varphi, v_d, T), \quad (2.10)$$

kde jsou φ – logaritmická deformace, v_d – deformační rychlost, T – teplota.

Při tváření zastudena s úplným zpevněním je přirozený deformační odpor:

$$\sigma_p = C \cdot \varphi^n \quad (\text{MPa}), \quad (2.11)$$

kde jsou C – konstanta pevnosti (MPa), φ – logaritmická deformace, n – exponent deformačního zpevnění materiálu.

(Tento vztah neplatí, když je hodnota deformační rychlosti tak velká, že vznikne **tepelný efekt**.)

Při vysokých teplotách s úplným odpevněním je vliv deformace zanedbatelný:

$$\sigma_p = C \quad (\text{MPa}). \quad (2.12)$$

	Průvodce studiem
	Plastická deformace kluzem je podrobně popsána v kapitole 1.3 této studijní opory. Křivka zpevnění má nejprve přímkovou část, která odpovídá pružné deformaci až do meze úměrnosti, resp. meze pružnosti materiálu. Co se týče výrazné meze kluzu, existují dvě hodnoty, a to horní mez kluzu R_{eH} (z angličtiny „high“) a dolní mez kluzu R_{eL} (z angličtiny „low“). Existence horní meze kluzu je způsobena zakotvením dislokací na vměstcích ve struktuře materiálu a nutnosti většího napětí pro docílení jejich odtržení. Pro následný pohyb dislokací mřížkou je třeba napětí nižší, proto se napětí sníží na hodnotu dolní meze kluzu. Pokud je v normě uvedena hodnota výrazné meze kluzu bez dalšího upřesnění, rozumí se tím hodnota R_{eL}. Po zapojení kluzu ve více rovinách a vzniku tzv. složitého kluzu dojde ke vzniku parabolického zpevnění až do meze pevnosti. Za mezí pevnosti dochází k lokalizaci plastické deformace, vzniku krčku a následně vzniku lomu. Exponent deformačního zpevnění n je důležitou hodnotou při posuzování vhodnosti plechů k hlubokému tažení. Vyjadřuje vhodnost plechu pro tváření vypínáním, tj. napjatostí tah – tah. Čím je hodnota tohoto součinitele větší, tím je plech vhodnější pro hluboké tažení. Jeho hodnota se zjišťuje tahovými zkouškami.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady platnosti zákona zpevnění u zkoušek materiálu, nebo u technologií výroby součástí v praxi.

2.8 Zákon tření

	Definice 2.8
	V procesu plastické deformace vzniká na styčných plochách mezi nástrojem a tvářeným materiálem aktivní nebo pasivní tření, které je definováno Coulombovým zákonem.

Coulombův zákon: smykové napětí na kontaktním povrchu:

$$\tau_f = f \cdot \sigma_n \quad (\text{MPa}), \quad (2.13)$$

kde jsou f – součinitel smykového tření (–), σ_n – normálové napětí (MPa).

Působení vnějšího tření:

- a) aktivní** (žádoucí, nebylo by bez něj možné uskutečnit některé tvářecí operace, např. válcování),
- b) pasivní** (nežádoucí, brzdí rozvoj plastické deformace, zvyšuje spotřebu energie, zvyšuje opotřebení tvářecích nástrojů).

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte <i>příklady existence aktivního a pasivního tření</i> při výrobě součástí v praxi.

2.9 Zákon přídavných napětí

	Definice 2.9
	V procesu plastické deformace tělesa, která vede ke zvětšení (zmenšení) jeho rozměrů, vznikají ve tvářeném tělese přídavná napětí, způsobující naopak zmenšení (zvětšení) jeho rozměrů.

Přídavná napětí vznikají vlivem nerovnoměrné deformace při tváření.

Jednotlivé vrstvy tvářeného materiálu nemohou měnit rozměry a tvar bez vlivu na vrstvy ostatní. V důsledku toho vznikají v tělese *vzájemně se vyrovnávající napětí*, která nelze zahrnout do okrajových podmínek nebo rovnic rovnováhy.

Podle objemů, ve kterých se přídavná napětí vyrovnávají, se rozlišují:

- vyrovnávající se mezi jednotlivými vrstvami tělesa,
- vyrovnávající se mezi jednotlivými krystaly,
- vyrovnávající se mezi jednotlivými elementy uvnitř krystalu.

Vliv přídavných napětí:

- ⇒ zvětšují odpor kovu proti deformaci,
- ⇒ způsobují změnu schémat hlavních napětí,
- ⇒ mohou porušit celistvost materiálu vytvářením mikrotrhlin i makrotrhlin,
- ⇒ po skončení deformace mohou zůstat v tělese ve formě **zbytkových napětí** (ta způsobují snížení tvárnosti, chemické odolnosti, deformaci hotových výrobků).

Způsoby snížení přídavných napětí:

- snížení tření na stykové ploše tvářeného materiálu s nástrojem,
- snížení odlišnosti tvaru polotovaru od tvaru hotové součásti,
- snížení nehomogenity materiálu při tváření (stejnorodá struktura, rovnoměrné rozdělení teploty při ohřevu),
- použití speciálních tvářecích nástrojů (účinek vibrací nebo ultrazvuku),
- následná úprava tvářených součástí (žihání na odstranění pnutí).

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady platnosti zákona přídavných napětí u zkoušek materiálu, nebo u technologií výroby součástí v praxi.

2.10 Zákon podobnosti

	Definice 2.10
	Při plastické deformaci dvou těles, která splňují podmínky geometrické, mechanické a fyzikální podobnosti, platí: poměr deformačních prací je roven třetí mocnině poměru lineárních rozměrů, poměr deformačních sil je roven druhé mocnině poměru lineárních rozměrů, měrný deformační odpor (měrný tlak) je shodný.

Matematické vyjádření zákona:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{V_1}{V_2} = a^3, \quad (2.14)$$

kde jsou A_1 – deformační práce u prvního tělesa, A_2 – deformační práce u druhého tělesa, V_1 – objem prvního tělesa, V_2 – objem druhého tělesa, a – lineární rozměr tělesa.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2} = a^2, \quad (2.15)$$

kde jsou F_1 – deformační síla u prvního tělesa, F_2 – deformační síla u druhého tělesa, S_1 – plocha prvního tělesa, S_2 – plocha druhého tělesa, a – lineární rozměr tělesa.

Geometrická podobnost:

- **poměr objemů** je roven třetí mocnině poměrů lineárních rozměrů

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{h_1}{h_2} \cdot \frac{b_1}{b_2} \cdot \frac{l_1}{l_2} = a \cdot a \cdot a = a^3, \quad (2.16)$$

kde jsou V_1 – objem prvního tělesa, V_2 – objem druhého tělesa, h_1 – výška prvního tělesa, h_2 – výška druhého tělesa, b_1 – šířka prvního tělesa, b_2 – šířka druhého tělesa, l_1 – délka prvního tělesa, l_2 – délka druhého tělesa, a – lineární rozměr tělesa.

- **poměr ploch** je roven druhé mocnině poměrů lineárních rozměrů

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{h_1}{h_2} \cdot \frac{b_1}{b_2} = a \cdot a = a^2, \quad (2.17)$$

kde jsou S_1 – plocha prvního tělesa, S_2 – plocha druhého tělesa, h_1 – výška prvního tělesa, h_2 – výška druhého tělesa, b_1 – šířka prvního tělesa, b_2 – šířka druhého tělesa, a – lineární rozměr tělesa.

Mechanická podobnost:

- stálost poměru odpovídajících sil ke čtverci rozměrů i rovnost odpovídajících měrných tlaků,
- stejnou velikost koeficientu tření na dotykových plochách,
- stejnou velikost a směry hlavních os napětí v odpovídajících bodech srovnávaných těles.

Fyzikální podobnost:

- stejné chemické složení, struktura a fázový stav srovnávaných těles,
- stejná deformační rychlost,
- stejná teplota při deformaci tělesa,
- podobně rozložená napětí ve srovnávaných tělesech.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití zákona podobnosti při řešení technologií výroby součástí v praxi.

	Shrnutí kapitoly
	Definice základních zákonů plastické deformace: 1. zákon stálosti objemu – objem před deformací je roven objemu po deformaci, tj. součet hlavních logaritmických deformací je roven nule, 2. zákon nejmenšího odporu – elementy deformovaného tělesa se přemísťují ve směru nejmenšího odporu, 3. zákon závislosti deformace na napětovém stavu – průběh plastické deformace je závislý na napětovém stavu, 4. zákon stálosti potenciální energie na změnu tvaru – měrná potenciální energie na změnu tvaru, která je obsažena v deformovaném tělese při plastické deformaci, závisí na podmínkách plastické deformace (teplota, rychlost a stupeň deformace) a na materiálu, ale nezávisí na stavu napjatosti, 5. zákon smykových napětí – k plastické deformaci ve tvářeném tělese dojde tehdy, když smykové napětí vznikající v něm působením vnějších sil dosáhne určité hodnoty (kritické smykové napětí), která je závislá na materiálu a podmínkách plastické deformace (teplotě, stupni a rychlosti deformace, schématu hlavních napětí), 6. zákon pružného odlehčení – v případě přerušení plastické deformace (odlehčením a opětovným zatížením) při zachování charakteru a způsobu zatížení nemění deformační diagram svůj tvar, 7. zákon zpevnění – při deformačních procesech pod rekrytalizační teplotou převládá kluzový mechanismus deformace se zpevněním, 8. zákon tření – v procesu plastické deformace vzniká na styčných plochách mezi nástrojem a tvářeným materiálem aktivní nebo pasivní tření, které je definováno Coulombovým zákonem, 9. zákon přídavných napětí – v procesu plastické deformace tělesa, která vede ke

	zvětšení (zmenšení) jeho rozměrů, vznikají ve tvářeném tělese přídavná napětí, způsobující naopak zmenšení (zvětšení) jeho rozměrů, 10. zákon podobnosti – při plastické deformaci dvou těles, která splňují podmínky geometrické, mechanické a fyzikální podobnosti, platí: poměr deformačních prací je roven třetí mocnině poměru lineárních rozměrů, poměr deformačních sil je roven druhé mocnině poměru lineárních rozměrů, měrný deformační odpor (měrný tlak) je shodný. Při deformačních procesech pod rekrystalizační teplotou převládá kluzový mechanismus deformace se zpevněním. Jde o složitý kluz, tedy kluz současně v několika kluzových systémech, proto růst zpevnění je parabolický. Exponent v rovnici této paraboly se nazývá exponent deformačního zpevnění. Parabolické zpevnění je vyvoláno dislokačními reakcemi a růstem počtu poruch krystalové mřížky. V procesu plastické deformace vzniká mezi nástrojem a materiálem tření, které je buď aktivní, tedy žádoucí, nebo pasivní, tedy nežádoucí. Pasivní tření brzdí rozvoj plastické deformace, zvyšuje spotřebu energie a zvyšuje opotřebení tvářecích nástrojů, proto se snižuje vhodným mazáním. Zaplňování dutin záпустek při záпустkovém kování probíhá podle zákona nejmenšího odporu. Pro úplné zaplnění dutiny záпустky musí být <i>odpor proti tečení kovu v místě výronkové drážky</i> vyšší než <i>deformační odpor v dutině záпустky</i>. Jednotlivé vrstvy tvářeného materiálu nemohou měnit rozměry a tvar bez vlivu na vrstvy ostatní. V důsledku toho vznikají v tělese přídavná napětí, tj. <i>vzájemně se vyrovnávající napětí</i>, která nelze zahrnout do okrajových podmínek nebo rovnic rovnováhy. Podle objemů, ve kterých se přídavná napětí vyrovnávají, se rozlišují – vyrovnávající se mezi jednotlivými vrstvami tělesa, vyrovnávající se mezi jednotlivými krystaly, vyrovnávající se mezi jednotlivými elementy uvnitř krystalu. Vliv přídavných napětí – zvětšují odpor kovu proti deformaci, způsobují změnu schémat hlavních napětí, mohou porušit celistvost materiálu vytvářením mikrotrhlin i makrotrhlin, po skončení deformace mohou zůstat v tělese ve formě zbytkových napětí. Způsoby snížení přídavných napětí – snížení tření na stykové ploše tvářeného materiálu s nástrojem, snížení odlišnosti tvaru polotovaru od tvaru hotové součásti, snížení nehomogenity materiálu při tváření (stejnorodá struktura, rovnoměrné rozdělení teploty při ohřevu), použití speciálních tvářecích nástrojů (účinek vibrací nebo ultrazvuku), následná úprava tvářených součástí (žíhání na odstranění pnutí). Zákon stálosti objemu zcela neplatí: a) při deformaci litého kovu (první deformace ingotů) – dochází k zaválcování, zakování a zavaření vnitřních dutin, pórů a necelistvostí (zvyšuje se měrná hmotnost – cca o 12 %, tedy zmenšuje se objem kovu), b) při tváření (hlavně zastudena) – dochází ke vzniku poruch krystalových mřížek (snižuje se měrná hmotnost – cca o 0,1 až 0,2 %, tedy zvětšuje se objem kovu). Při rekrystalizaci se měrná hmotnost zvyšuje, takže výsledný vliv je zanedbatelný. Vliv napjatosti na plastickou deformaci lze vyjádřit pomocí schémat napjatosti. Čím více ve schématu napjatosti převládají tlaková napětí, tím je <i>tvářitelnost materiálu vyšší</i> (lze tvářet většími deformačními stupni bez nebezpečí vzniku trhliny a tvářet kovy s nižšími plastickými vlastnostmi). Při převládajícím tahovém napětí tvářitelnost materiálu klesá. Při deformaci se v tělese hromadí potenciální deformační energie číselně rovná deformační práci vnějších sil, které na těleso působí. Měrná potenciální energie pružné deformace elementu kovového tělesa při jeho plastické deformaci je pro dané podmínky tváření veličinou stálou, nezávislou na stavu napjatosti. První plastická deformace tělesa vznikne na rovině, která je skloněna vůči působícímu
--	--

	napětí pod úhlem 45° v okamžiku, kdy osová napětí dosáhne hodnoty meze kluzu R_e. V tu chvíli existuje na této rovině tzv. kritické smykové napětí, které je závislé na materiálu a podmínkách plastické deformace (teplotě, stupni a rychlosti deformace, schématu hlavních napětí). Podmínky geometrické, mechanické a fyzikální podobnosti, které je třeba splnit pro platnost zákona podobnosti, jsou následující: 1. Geometrická podobnost – poměr objemů je roven třetí mocnině poměrů lineárních rozměrů, poměr ploch je roven druhé mocnině poměrů lineárních rozměrů. 2. Mechanická podobnost – stálost poměru odpovídajících sil ke čtverci rozměrů i rovnost odpovídajících měrných tlaků, stejnou velikost koeficientu tření na dotykových plochách, stejnou velikost a směry hlavních os napětí v odpovídajících bodech srovnávaných těles. 3. Fyzikální podobnost – stejné chemické složení, struktura a fázový stav srovnávaných těles, stejná deformační rychlost, stejná teplota při deformaci tělesa, podobně rozložená napětí ve srovnávaných tělesech.
--	--

	Pojmy k zapamatování
	Objem, deformace, ingot, měrná hmotnost, neuklidněná ocel, tváření zastudena, krystalová mřížka, rekystalizace, element, deformační odpor, přechování, zápustkové kování, dutina zápustky, tečení kovu, výronková drážka, napjatost, tvářitelnost, potenciální energie na změnu tvaru, teplota, rychlost deformace, deformační práce vnějších sil, Poissonova konstanta, modul pružnosti, energetická podmínka plasticity, smykové napětí, plastická deformace, síla, kritické smykové napětí, hlavní napětí, odlehčení, Hookův zákon, pružná deformace, výlisek, zpevnění, kluzový mechanismus deformace, přirozený deformační odpor, tepelný efekt, odpevnění, tření, nástroj, aktivní tření, pasivní tření, Coulombův zákon, kontaktní povrch, součinitel smykového tření, normálové napětí, přídavné napětí, vrstva, krystal, schémata hlavních napětí, polotovary, součásti, vibrace, ultrazvuk, žíhání na odstranění pnutí, geometrická podobnost, mechanická podobnost, fyzikální podobnost, měrný tlak, chemické složení, struktura, fázový stav, těleso.

	Odměna a odpočinek
	Výborně, druhou kapitolu máte za sebou! Teď si dejte malou pauzičku, přečtěte si pár vtipů a takto osvěžen(a) odpovězte na jednotlivé kontrolní otázky kapitoly.

	Kontrolní otázky
	Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo druhé kapitoly „Základní zákony plastické deformace“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek: 1. Dokážete vyjmenovat základní zákony plastické deformace? 2. Uveďte zákon stálosti objemu. Jak se dá zapsat pomocí hlavních logaritmických deformací? 3. Ve kterých případech zákon stálosti objemu neplatí zcela? 4. Dokážete objasnit zákon nejmenšího odporu? 5. Jak se zákon nejmenšího odporu uplatňuje při zápustkovém kování?

	6. Dokážete vysvětlit zákon závislosti deformace na napěťovém stavu? 7. V čem je podstata zákona stálosti potenciální energie na změnu tvaru? 8. Dokážete vysvětlit zákon smykových napětí? 9. Dokážete popsat zákon pružného odlehčení? 10. Uveďte zákon zpevnění. Co je jeho příčinou? 11. V čem spočívá zákon tření? 12. Dokážete objasnit zákon přídavných napětí? Jaký mají přídavná napětí vliv na deformované těleso? 13. Znáte nějaké způsoby snížení přídavných napětí? 14. Uveďte zákon podobnosti. Jaké podmínky musí být splněny, aby tento zákon při tváření určitého tělesa platil?
--	---

	Literatura
	[1] BŘEZINA, R. <i>Technologie I – část 1 : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 80 s. ISBN 80-7078-439-3. [2] PETRŽELA, Z., KUČERA, J. a BŘEZINA, R. <i>Technologie slévání, tváření a svařování : skriptum</i>. 2. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1987. 329 s. (bez ISBN). [3] KOLLEROVÁ, M. <i>Tvárenie kovov : skriptum</i>. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1984. 288 s. (bez ISBN). [4] ČABELKA, J. a kol. <i>Mechanická technológia</i>. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1967. 1036 s. (bez ISBN). [5] STOROŽEV, M. V. a POPOV, J. A. <i>Teória tvárnenia kovov</i>. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1978. 488 s. (bez ISBN).

	Náměty pro tutoriál
	Vysvětlete základní zákony plastické deformace. Uveďte příklady z praxe, kdy se uplatňují. Popište případy, kdy zcela neplatí zákon stálosti objemu. Uveďte příklady z praxe, kdy to nastává. Popište několik praktických případů, kdy by se dal využít zákon podobnosti.

	Průvodce studiem
	Na druhou kapitolu s názvem „Základní zákony plastické deformace“ navazuje třetí kapitola s názvem „Objemové tváření zatepla“, která vychází z učiva uvedeného v obou předchozích kapitolách studijní opory.

3 OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ ZATEPLA

	Rychlý náhled do problematiky kapitoly
	Třetí kapitola se týká objemového tváření zatepla. Jsou vysvětleny volné a zápustkové kování, základní operace volného kování, návrh technologického postupu výroby výkovku, hlavní typy tvářecích strojů pro kování, výkres výkovku, zásady pro volbu dělicí roviny u výkovků, konstrukce průřezového obrazce a ideálního předkovku, předkovací a dokončovací dutiny, funkce a varianty provedení výronkové drážky, několikadutinové zápustky, konstrukce tvářecího nástroje, vložkování zápustek, ohřev materiálu, předeřtění a mazání zápustek, ostřihování, děrování a kalibrování výkovků, konečné úpravy výkovků a způsoby válcování zatepla. Členění se na následující podkapitoly: 3.1 Návrh technologického postupu výroby výkovku 3.1.1 Rozbor výkresu součástí 3.1.2 Určení druhu tvářecího stroje 3.1.3 Nakreslení výkresu výkovku 3.1.4 Výpočet silových parametrů tvářecího stroje 3.1.5 Výběr a sled potřebných operací 3.1.6 Stanovení objemu a tvaru výchozího materiálu 3.1.7 Konstrukce tvářecího nástroje 3.1.8 Ohřev materiálu, mazání, ostřihování, kalibrace 3.1.9 Konečná úprava výkovků 3.2 Válcování zatepla

	Cíle kapitoly
	Budete umět: • vysvětlit rozdíly mezi volným a zápustkovým kovááním, • vybrat vhodný tvářecí stroj pro výrobu určitého výkovku, • nakreslit výkres výkovku, • zvolit dělicí rovinu, • upravit tvar výkovku technologickými přídávky, • určit rozměrové a tvarové úchytky zápustkového výkovku, • zkonstruovat průřezový obrazec a ideální předkovek, • vybrat vhodné přípravné předkovací dutiny, • popsat jednotlivé typy výronkových drážek a zvolit vhodný pro daný výkovek, • objasnit rozdíly mezi jednodutinovými a několikadutinovými zápustkami, • vysvětlit důvody vložkování zápustek, • popsat ostřihování a děrování výkovků. Získáte: • přehled o základních operacích volného kování, • znalosti o typech předkovacích dutin, • informace o složení nástroje pro zápustkové kování, • přehled o způsobech odstranění okují z výkovků,

	• znalosti o důvodech kalibrování a rovnání výkovků, • informace o způsobech válcování zatepla. Budete schopni: • popsat rozdíly mezi přípravnými a dokončovacími dutinami zápustek, • objasnit jednotlivé etapy návrhu technologického postupu výroby výkovku, • provést rozbor výkresu součásti a zvolit nejvhodnější technologii výroby, • vysvětlit přesnost provedení výkovku, přídávky na obrábění a technologické, • vypočítat objem a délku polotovaru pro výrobu výkovku, • vysvětlit důsledky překročení rychlosti ohřevu, • popsat rozdíly mezi horní kovací teplotou, dolní kovací teplotou a dokovací teplotou, • objasnit rozdíly mezi přehřátím kovu a spálením kovu, • vysvětlit důvody mazání zápustek.
--	---

	Klíčová slova kapitoly
	Objemové tváření, kování, volné kování, zápustkové kování, zápustka, pěchování, prodlužování, osazování, děrování, rozkování na trnu, výronek, výkres součásti, tvářecí stroj, dělicí rovina, ohřev materiálu, buchar, beran, vřetenový lis, třecí lis, ráz, vyhazovač, mechanický klikový lis, výstředníkový lis, výkres výkovku, přesnost provedení výkovku, přídavek na obrábění, technologický přídavek, blána výkovku, úkos, úchylka, přesazení, otřep, sestřižení, jehla, průhyb výkovku, můstek, zásobník, výronková drážka, předkovek, průřezový obrazec, ideální předkovek, rozdělovací dutina, zužovací dutina, utínka, dokončovací dutina, opal, ostřina, držák zápustky, rybina, pero, podélný klín, zápustková vložka, ohřev, kovací teplota, dokovací teplota, přehřátí kovu, spálení kovu, hranice zrna, ostřihování, děrování, kalibrování, rovnání, okuje, moření, tepelné zpracování, válcování, kovací vále, příčné klínové válcování, periodické válcování, radiální směr, kosé periodické válcování, rozválcování, závit, úhel stoupání závitu, ozubené kolo, předvalek, induktor.

	Čas potřebný ke studiu kapitoly: 4 hodiny
---	--

	Průvodce studiem
	Tato kapitola je důležitým teoretickým základem pro zpracování prvního korespondenčního úkolu, který spočívá v návrhu technologie výroby zadaného zápustkového výkovku. Základním atributem technologie objemového tváření zatepla je tváření nad rekrytalizační teplotou materiálu, takže v procesu plastické deformace téměř nenastává zpevnění materiálu.

Rozdělení kování:

1. **volné** (materiál se zpracovává za použití víceúčelových nástrojů – jednoduchých nebo profilovaných kovadel),
2. **zápustkové** (v jednoúčelových nástrojích – **zápustkách**).

	Průvodce studiem
	Volné ruční kování včetně návrhu technologických postupů se probírá v předmětu „ Základy strojírenské technologie “, který je vyučován v zimním semestru 1. ročníku bakalářského studijního programu na Fakultě strojní VŠB – TUO. Problematika je podrobně rozebrána ve skriptu ČADA, R., ADAMEC, J., TICHÁ, Š., OCHODEK, V., HLAVATÝ, I. a ŠIMČÍK, S. <i>Základy strojírenské technologie : skriptum</i> . 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1996. 115 s. ISBN 80-7078-300-1.

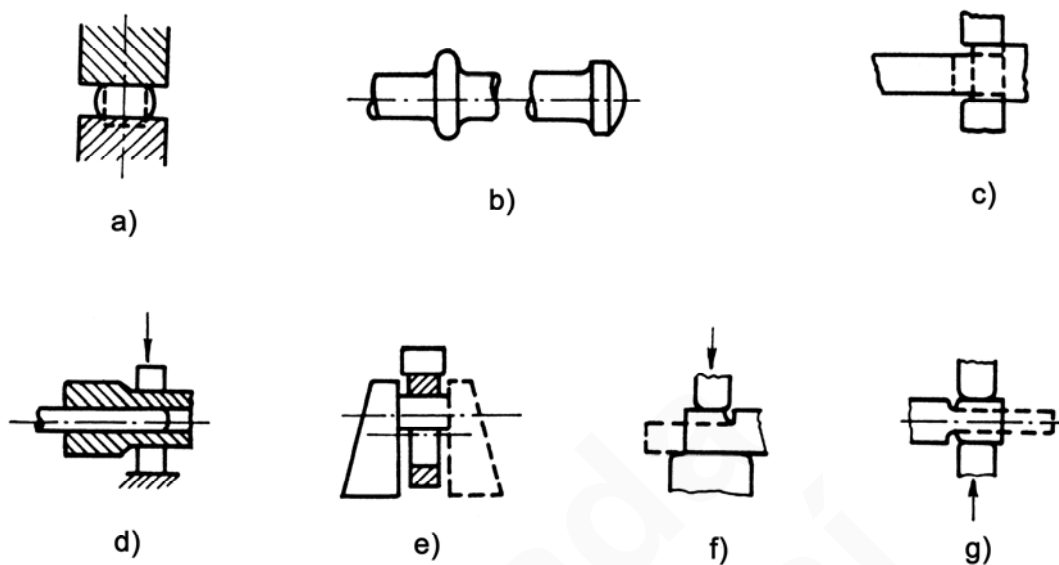
	Část pro zájemce
	Pomocí odkazu níže si můžete spustit <i><u>záznam volného kování na bucharu s polotovarem v kleštích</u></i> . Jde o tváření více úderů mezi dvěma rovnoběžnými rovinami s otáčením polotovaru pomocí kovářských kleští. <i><u>Volné kování na bucharu s polotovarem v kovářských kleštích</u></i>

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady z praxe, kdy se používá volné kování a kdy zápusťkové kování.

	Část pro zájemce
	Pomocí odkazu níže si můžete spustit <i><u>záznam volného kování výkovků velkých rozměrů</u></i> . Jde o tváření mezi dvěma rovnoběžnými rovinami. Je vidět jak při tváření za kovací teploty z materiálu odpadají okraje, které vznikly oksidací povrchových vrstev materiálu. <i><u>Volné kování výkovků velkých rozměrů</u></i>

Základní operace volného kování (obr. 3.1):

- [pěchování](#)*** (příčný průřez se zvětšuje na úkor výšky) a ***[místní napěchování](#)***,
- [prodlužování](#)*** (zvětšuje se délka při zmenšování příčného průřezu),
- [osazování](#)*** (prodlužování vymezených konců polotovarů – udělá se zářez o takové hloubce, aby zbylá tloušťka pod zářezem odpovídala osazení, pak se úderem kladiva upraví konec polotovaru. Vznikne náhlá změna průřezu.),
- [děrování](#)*** (tlačení děrovacího trnu do polotovaru se vytváří dutina),
- [rozkování na trnu](#)*** (při výrobě kroužků, zvětšování jejich průměru úderem shora).

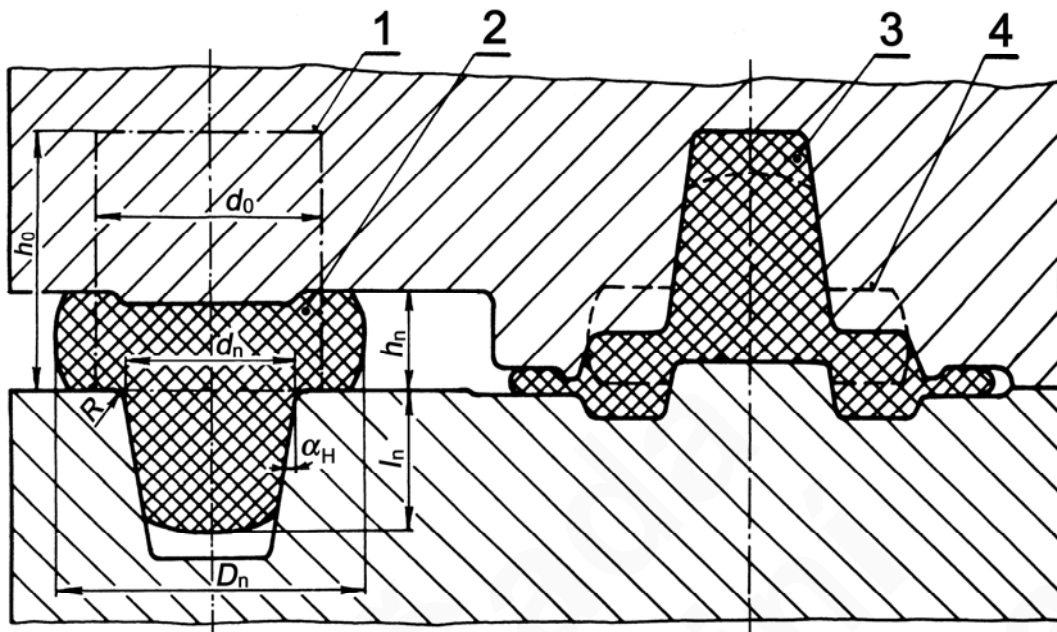


Obr. 3.1 Základní operace volného kování (a – přechování, b – místní napěchování, c – prodlužování, d – prodlužování na trnu, e – rozkování na trnu, f – osazování jednostranné, g – osazování oboustranné)

	Průvodce studiem
	U operace přechování si povšimněte vzniku soudečkovitosti způsobené třením na kontaktním povrchu mezi nástrojem a materiálem, které brzdí rozvoj plastické deformace. Uplatňuje se jeden ze základních zákonů plastické deformace, a to zákon nejmenšího odporu. Materiál se nejrychleji šíří do stran v polovině výšky tvářeného tělesa.
	Část pro zájemce
	Pomocí odkazu níže můžete spustit <i>záznam přechování na lisu na jeden zdvih</i>. Jde o tváření mezi dvěma rovnoběžnými rovinami. Je vidět zvětšení příčného průřezu a vznik soudečkovitosti vlivem pasívního tření mezi nástrojem a tvářeným materiálem. <u>Přechování na lisu na jeden zdvih</u>

Rozdělení zápustek:

- a) **přípravné** (bez výronku, prodlužovací, zužovací, tvarovací, přechovací, ohýbací, stříhací),
- b) **dokončovací** (stříhací, dokončovací s výronkem, dokončovací bez výronku, kalibrovací plošné, kalibrovací objemové).



Obr. 3.2 Zápustkové kování výkovku na dvě operace (1 – polotovár, 2 – předkovek, 3 – výkovek s výronkem, 4 – otočený předkovek)

	Průvodce studiem
	Na obr. 3.2 je postupová zápustka. Do levé, přípravné dutiny je vložen polotovár – zde válcový, který vznikl např. uřezáním z kruhové tyče. V pravé, dokončovací dutině vzniká hotový tvar výkovku podle výkresu výkovku a přebytečný materiál odteče z dutiny přes můstek výronkové drážky do jejího zásobníku. Pro dokonalé vyplnění dutiny zápustky musí platit, že deformační odpor materiálu v dutině zápustky je menší, než odpor proti odtečení kovu do výronkové drážky přes její můstek. V opačném případě by vznikla na výkovku vada – tzv. nezaplnění, která je neodstranitelná. Z obr. 3.2 je dále zřejmé, že na sestavách nástrojů je zvykem tvářený polotovár znázorněný v řezu křížkovat.

3.1 Návrh technologického postupu výroby výkovku

Návrh technologického postupu výroby výkovku se skládá z následujících fází:

1. rozbor podle výkresu součásti (viz 3.1.1),
2. určení druhu tvářecího stroje (viz 3.1.2),
3. nakreslení výkresu výkovku (viz 3.1.3),
4. výpočet silových parametrů tvářecího stroje (viz 3.1.4),
5. výběr a sled potřebných operací (viz 3.1.5),
6. stanovení hmotnosti a tvaru výchozího materiálu (viz 3.1.6),
7. konstrukce tvářecího nástroje (viz 3.1.7).

8. ohřev materiálu, mazání, ostřihování, kalibrace (viz 3.1.8)
9. konečná úprava výkovků (viz 3.1.9)

3.1.1 Rozbor podle výkresu součásti

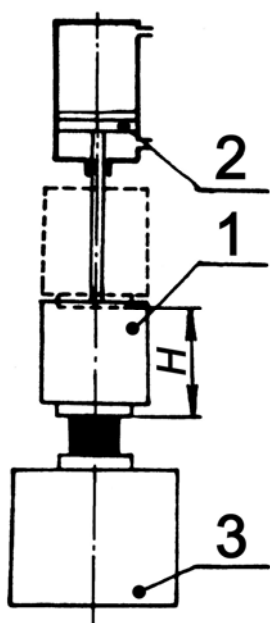
Volba nejvýhodnější technologie výroby – podle rozměrů, tvaru součásti a velikosti série (tváření zatepla se používá u rozměrnějších součástí, které by při tváření zastudena vyžadovaly neúměrně velké tvářecí síly).

	Průvodce studiem
	Klíčovým hlediskem při volbě nejvýhodnější technologie výroby dané součásti je ekonomika strojírenské výroby při dodržení předepsané kvality.

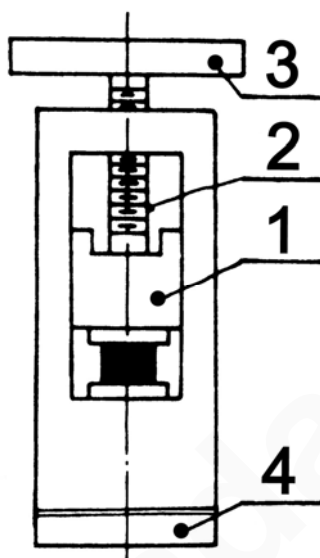
3.1.2 Určení druhu tvářecího stroje

Zvolený typ stroje ovlivňuje:

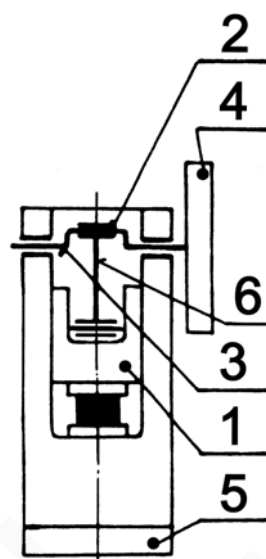
- *tvar výkovku* a tedy i *tvar dutiny zápustky* (úkosy, poloměry zaoblení, polohu dělicí roviny, technologické přídávky),
 - *volbu materiálu zápustky* a *její konstrukci* (výronkovou drážku, vedení a upínání zápustky)
 - *technologický postup výroby výkovku* (způsob ohřevu materiálu, možnost mechanizace či automatizace jednotlivých operací, přesnost výroby a opotřebení zápustky, hlučnost provozu, sériovost výroby),
- ⇒ **buchary** (pracují **rázem**, je velká deformační rychlost, výkovek – **na několik úderů**, pro malé série, větší spotřeba materiálu, lze použít postupové zápustky) (obr. 3.3),
- ⇒ **vřetenové lisy** (pracují **rázem**, je menší deformační rychlost, výkovek – **na jeden úder**, výjimečně na více, pro malé série, menší spotřeba materiálu – díky menším úkosům a využití vyhazovače) (obr. 3.4),
- ⇒ **mechanické klikové lisy** (pracují **klidným tlakem**, jejich zdvih je konstantní – při zanedbání pružení, výkovek – **na jeden zdvih**, pro velké série, malá spotřeba materiálu) (obr. 3.5).



Obr. 3.3 Schéma bucharu
(1 – beran, 2 – píst, 3 – šabota)



Obr. 3.4 Schéma
vřetenového lisu (1 – beran,
2 – šroub, 3 – setrvačnick,
4 – základová deska)



Obr. 3.5 Schéma
mechanického klikového lisu
nebo výstředníkového lisu
(1 – beran, 2 – klika nebo
výstředník, 3 – klikový nebo
výstředníkový hřídel,
4 – setrvačnick,
5 – základová deska,
6 – ojnice)

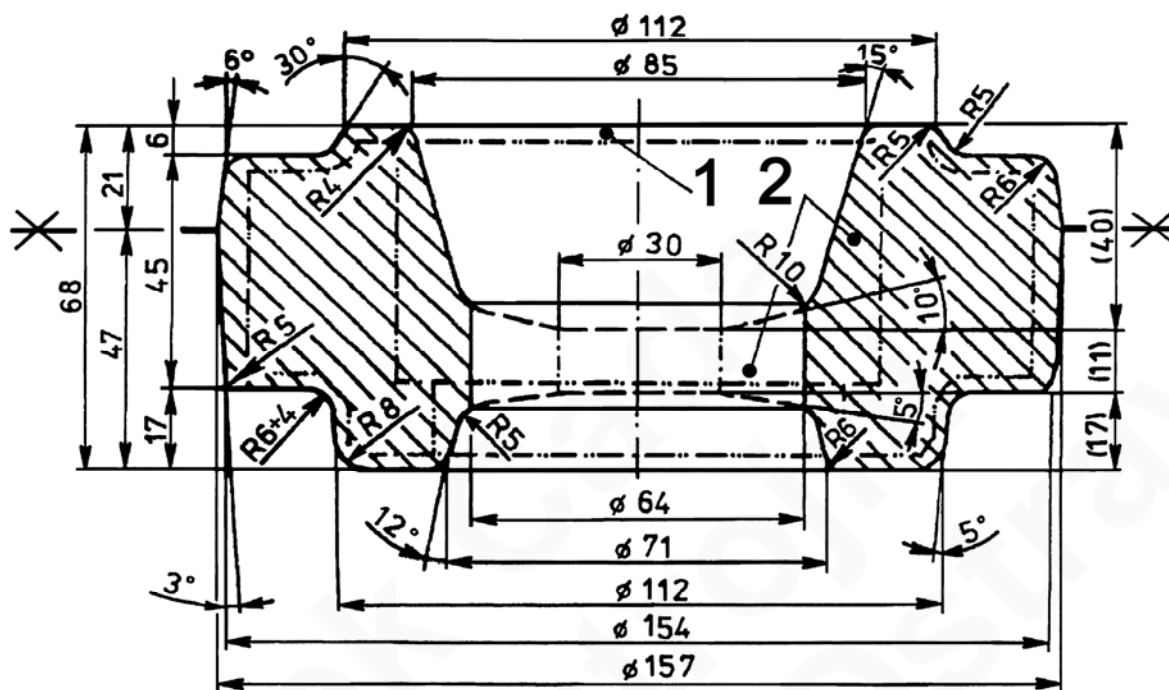


Průvodce studiem

Pohyblivá část u každého ze strojů, uvedených na obr. 3.3 až 3.5, se nazývá **beran**. U bucharu na obr. 3.3 je pohyb beranu prováděn pomocí stlačeného vzduchu, který se pustí buď pod (při pohybu beranu nahoru), nebo nad píst. Při pohybu beranu dolů působí jednak jeho tíha, jednak je urychlován tlakem stlačeného vzduchu na píst. U bucharu končí kování v okamžiku, kdy zápustky začnou dosedat na sebe. Používají se uzavřené výronkové drážky. U vřetenového lisu (obr. 3.4) i u mechanického klikového lisu (obr. 3.5) je setrvačnick poháněn motorem. U vřetenového lisu (obr. 3.4) končí kování v okamžiku, kdy zápustky začnou dosedat na sebe. Používají se uzavřené výronkové drážky. U mechanického klikového lisu (obr. 3.5) nesmí dojít ke kontaktu horního a dolního dílu zápustky, protože by to způsobilo vznik rázu, který by vedl k přetížení stroje. Jako ochrana klikového mechanismu před přetížením se používá střížná pojistka v ojnici beranu, která se přestřihne při překročení jmenovité síly lisu. Používají se otevřené výronkové drážky. Sevření zápustek se nastavuje změnou délky ojnice na beranu, což je zabezpečeno šroubovým spojením dvou částí ojnice. Míra regulace délky ojnice se vyjadřuje na štítku stroje hodnotou tzv. **přestavitelnosti beranu**. Další hodnotou, důležitou při konstrukci zápustek a držáků zápustek, je hodnota tzv. **sevření**, což je vzdálenost mezi beranem v dolní úvrati a stolem lisu. Při nastavení vhodného sevření zápustek je třeba počítat s pružností stroje, takže je zpravidla třeba vykovat několik zkušebních kusů výkovků a po jejich kontrole provést doladění.

3.1.3 Nakreslení výkresu výkovku

Podkladem pro zhotovení výkresu výkovku (obr. 3.6) je **výkres součásti, jejímž polotovarem je výkovek**.



Obr. 3.6 Výkres výkovku (1 – přídávky na obrábění, 2 – přídávky technologické)



Průvodce studiem

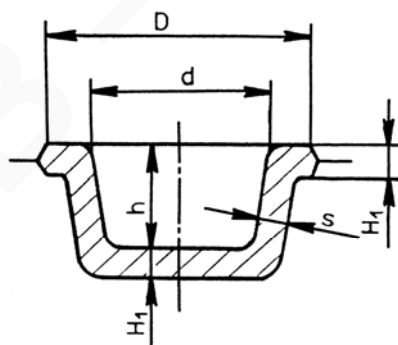
Na výkresu výkovku (obr. 3.5) jsou zřejmé některé zásady, které se používají při kreslení výkovků. **Dělicí rovina** nebo plocha se označuje **plnou tlustou čarou s ležatými křížky na koncích**, které se kreslí rovněž plnou tlustou čarou. Tvar hotové obrobene součásti se kreslí do výkovku **čerchovanou čarou se dvěma tečkami** a nekótuje se. Jsou tak zřejmé přídávky na obrábění na funkčních plochách. Snahou je následně obrábět co nejméně ploch. Na plochách, které jsou kolmé k dělicí rovině, jsou technologické přídávky – **úkosy**. Jsou vnější a vnitřní a mohou se lišit. Velikost úkosů závisí na druhu tvářecího stroje a zda je použit vyhazovač (při pohybu beranu nahoru mohou vyhazovací kolíky vytlačit výkovek z dolního dílu zápustky). **Všechny hrany i přechody výkovku musí být zaobleny**, protože nástroj (horní a dolní díl zápustky) jsou namáhány cyklicky a existuje u nich únava materiálu. Únavová prasklina se začne šířit z místa, kde je koncentrace napětí, tedy z místa vrubu. Pro vyšší životnost zápustek je proto třeba mít již na výkresu výkovku zaoblené všechny hrany a přechody. **Kóty na výkresu výkovku se nepíší s úchytkami**, ale nad rohovým razítkem výkresu se píše poznámka o provedení výkovku a stupních přesnosti rozměrů kolmo k rázu a ve směru rázu. **Otvory se navrhují s blanou na prostřížení**, a to buď plochou (obr. 3.10), nebo s úkosem do středu (obr. 3.11). Na výkresu výkovku se zpravidla kreslí blána prostřížená, protože děrování výkovku se provádí v závěru kování, dokud je výkovek teplý, což snižuje potřebnou střížnou sílu.

Pro zvolenou výrobní technologii je třeba:

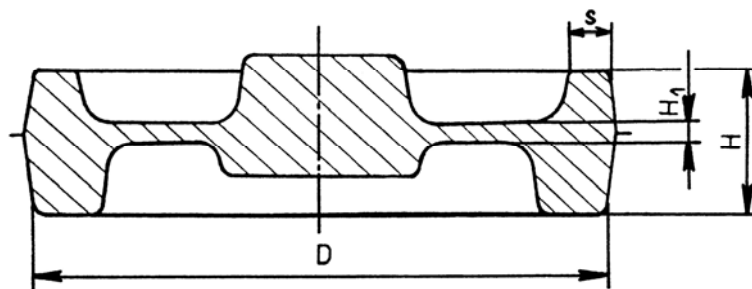
1. zvolit **dělicí rovinu**,
2. zařadit zápusťkový výkovek podle **složitosti tvaru** (tvarový druh, tvarová třída, tvarová skupina, tvarová podskupina a technologické hledisko),
3. zvolit **přesnost provedení** výkovku (obvyklé, přesné, velmi přesné, provedení dle dohody),
4. určit **přídavky na obrábění**,
5. upravit tvar výkovku **technologickými přídavky** (zaoblení hran a přechodů, tloušťka dna, případně blány výkovku, tloušťka stěny výkovku, boční úkosy – vnější a vnitřní. **Vhodné poloměry zaoblení** – vliv na trvanlivost nástrojů, nedochází k nespojitosti vláken) (obr. 3.7 až 3.11),
6. určit **rozměrové a tvarové úchyly** zápusťkového výkovku (**úchyly rozměrů**, **dovolené přesazení**, **otřep** – zbytek materiálu vytlačený mezi dělené části nástroje, **dovolené sestřížení** – stopa na výkovku po ostříhovacím nástroji, **dovolená jehla** – ostří na okraji střížné plochy, **dovolený průhyb**, **úchylna sousostí kovaných otvorů**, **úchylna sousostí děrovaných otvorů**) (obr. 3.12 až 3.14).

	Průvodce studiem
	Co se týče přesnosti provedení výkovku , je třeba nepředepisovat zbytečně vysokou, protože by to prodražilo výrobu. Obecně lze konstatovat, že je třeba vyrábět co nejméně přesně při plnění podmínky, aby výrobek fungoval – tedy ve výsledku levně. Přídavky na obrábění se dávají na funkční plochy, u kterých se teprve obráběním dosáhne kvalitní povrch s předepsanou drsností.

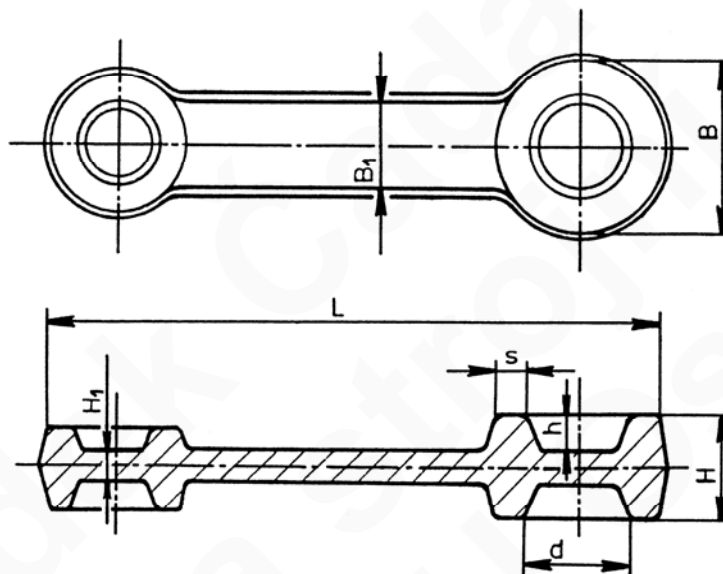
	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příčiny vzniku přesazení zápusťek.



Obr. 3.7 Výkovek rotačního tvaru (D – největší průměr výkovku, d – největší průměr dutiny, h – hloubka dutiny výkovku, H_1 – nejmenší výška výkovku ve směru rázu, nejmenší tloušťka dna výkovku, s – tloušťka stěny výkovku)



Obr. 3.8 Výkovek disku (D – největší průměr výkovku, H – největší výška výkovku ve směru rázu, H_1 – nejmenší tloušťka disku, nejmenší výška výkovku ve směru rázu, s – tloušťka stěny výkovku)

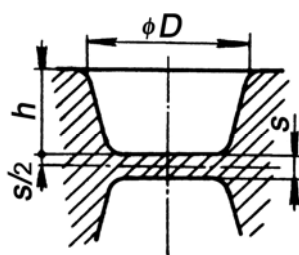


Obr. 3.9 Výkovek nerotačního tvaru (B – největší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu, B_1 – nejmenší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu, L – největší délka výkovku ve směru kolmo k rázu, H – největší výška výkovku ve směru rázu, H_1 – nejmenší tloušťka blány, nejmenší výška výkovku ve směru rázu, nejmenší tloušťka dna výkovku, h – hloubka dutiny výkovku, d – největší průměr dutiny, s – tloušťka stěny výkovku)

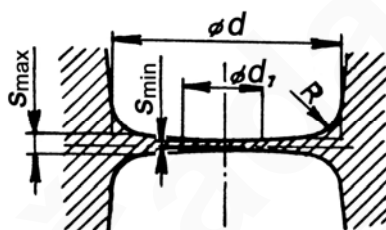


Průvodce studiem

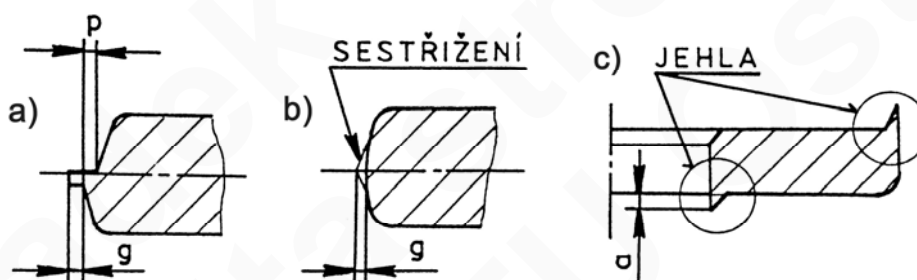
Při návrhu výkovku je třeba zvolit podle platné normy **vhodnou tloušťku blány na prostřížení**, případně také minimální tloušťku stěny. Příliš tenká blána by mohla způsobit potíže při dokování výkovku, příliš tlustá vede k potřebě větší síly při děrování a větší ztrátě materiálu.



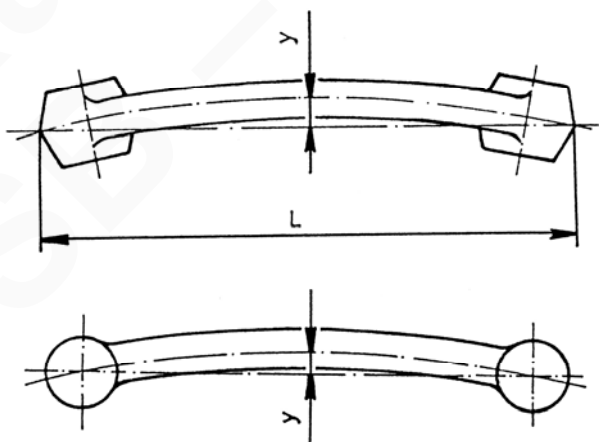
Obr. 3.10 Plochá blána (D – největší průměr dutiny, h – hloubka dutiny výkovku, s – tloušťka blány výkovku)



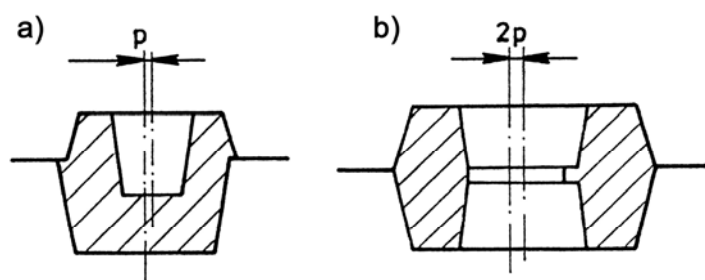
Obr. 3.11 Blána s úkosem do středu (podmínka použití: $d - 1,25 R > 26$, průměr ploché části blány: $d_1 = 0,12 d + 3$)



Obr. 3.12 Úchylky tvaru výkovků (a – přesazení výkovku o rozměru p a otřep o rozměru g , b – sestřžení o rozměru g , c – jehla o rozměru a)



Obr. 3.13 Úchylka tvaru výkovku – průhyb o rozměru y

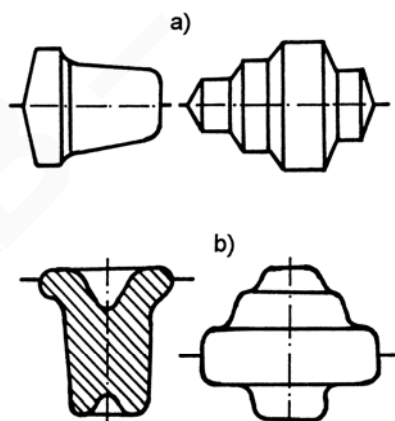


Obr. 3.14 Úchylky tvaru výkovku (a – úchylka souososti kovaných otvorů, b – úchylka souososti děrovaných otvorů)

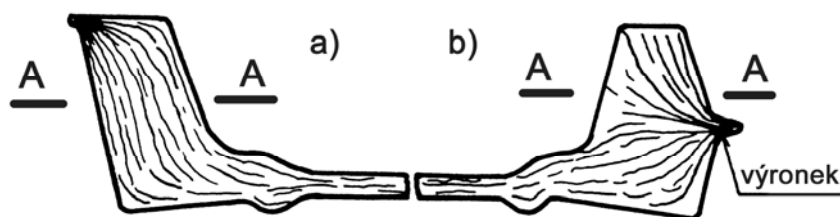
	Průvodce studiem
	Rozměrové a tvarové úchylky zápusťkových výkovků (obr. 3.12 až 3.14) se kontrolují před obráběním , aby se zbytečně neobráběly zmetky.

Hlavní zásady pro volbu dělicí roviny:

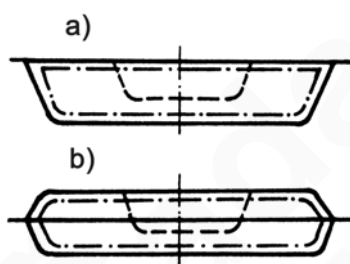
- musí zajistit **snadné vyjímání** výkovku ze zápusťky,
- obvykle se umísťuje do **roviny dvou největších vzájemně kolmých rozměrů** výkovku, nebo do **roviny souměrnosti výkovku** (obr. 3.15 a). Tato zásada se nerespektuje, jestliže jiná volba dělicí roviny umožňuje zmenšení obvodu výronku za současného zjednodušení ostříhování výronku (obr. 3.15 b),
- měla by umožnit dokonalé ostřížení výronku,
- zaplňování dutiny zápusťky je výhodnější **pěchováním** než protlačováním,
- vyšší část výkovku se umísťuje do horního dílu zápusťky,
- její poloha by měla kladně ovlivnit **průběh vláken** a tím i pevnost součásti (obr. 3.16),
- volí se rovněž s ohledem na možnost **kontroly vzájemného přesazení** zápusťek (obr. 3.17).



Obr. 3.15 Uplatnění zásad pro volbu dělicí roviny zápusťkových výkovků (a – dělicí rovina v rovině souměrnosti výkovku, b – dělicí rovina umožňující malý obvod výronku za současného zjednodušení ostříhování výronku)



Obr. 3.16 Výkovek namáhaný v řezu A–A na střih (a – vhodná poloha dělicí roviny zápustek, b – nevhodná poloha dělicí roviny zápustek)



Obr. 3.17 Uplatnění zásad pro volbu dělicí roviny zápustkových výkovků (a – nevhodná poloha dělicí roviny zápustek, b – dělicí rovina v polovině výšky výkovku umožňuje kontrolu vzájemného přesazení zápustek)

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte vhodnou polohu dělicí roviny u dalších výkovků.

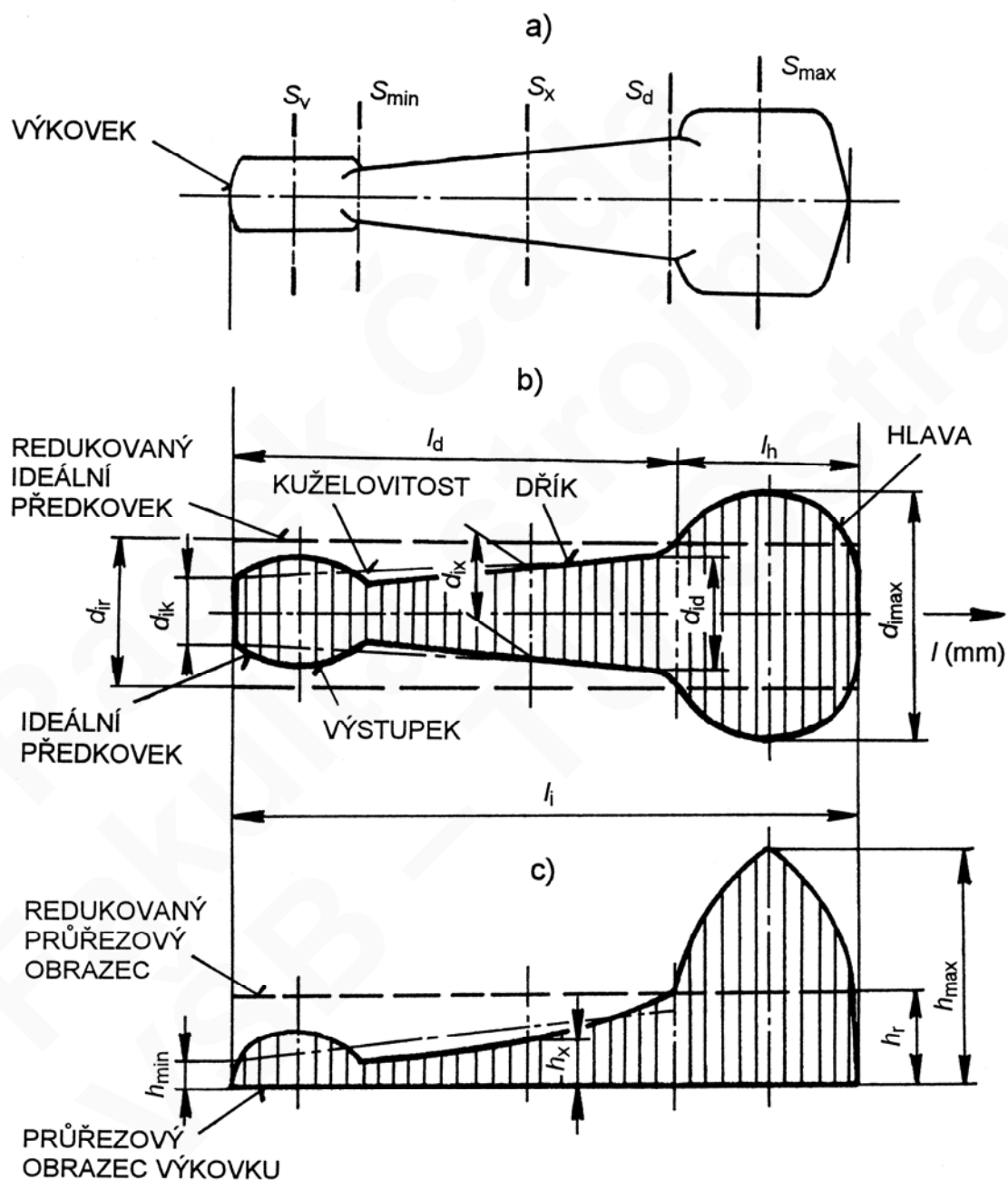
3.1.4 Výpočet silových parametrů tvářecího stroje

1. **velikost bucharu** – určuje se z *potřebné práce při posledním úderu* (odpor tvářeného materiálu proti deformaci je maximální) a z velikosti plochy průmětu výkovku do dělicí roviny zápustky, včetně výronkového můstku, přičemž se bere v úvahu také tvarová složitost výkovku,
2. **velikost lisu** – určuje se podle vypočtené *maximální tvářecí síly*.

3.1.5 Výběr a sled potřebných operací

- ⇒ předkovky pro zápustkové kování musí mít *tvar co nejblíží obrysu výkovku v dělicí rovině*,
- ⇒ konstrukce *průřezového obrazce* a *ideálního předkovku* (rotační těleso proměnného průřezu, jehož plochy jednotlivých příčných průřezů jsou stejně velké jako plochy příslušných průřezů výkovku s výronkem) (obr. 3.18),
- ⇒ výběr *přípravných předkovacích dutin* (mají zvětšená zaoblení hran, větší úkosity a zjednodušení tvaru, přebytek kovu v nich má být 3 až 4 %, aby se zajistilo zaplnění dokončovacích dutin, nemají výronkovou drážku, jsou *otevřené* nebo *uzavřené*).

	Průvodce studiem
	Počet předkovacích operací a tím i dutin by měl být co nejmenší , protože každá operace prodlužuje čas výroby a každá dutina znamená větší cenu nástrojů.



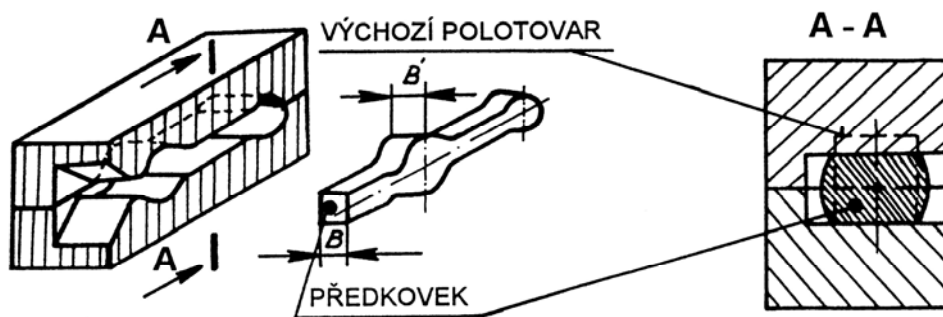
Obr. 3.18 Způsob konstrukce ideálního předkovku (a – výkovek, b – ideální předkovek, c – průřezový obrazec výkovku)

Základní typy předkovacích dutin:

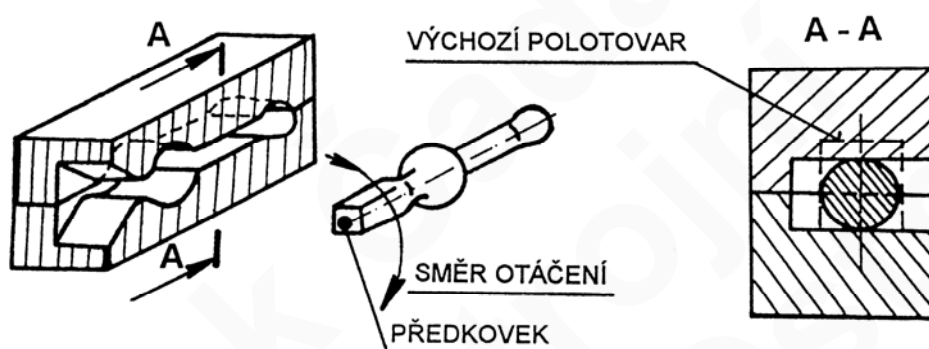
1. **zužovací dutina** (tvarování na 1 úder, zúžení průřezu, přemístění materiálu v ose je minimální) (obr. 3.19),
2. **rozdělovací otevřená dutina** (tvarování na 2 až 4 údery s pootáčením o 90°) (obr. 3.20)
3. **rozdělovací uzavřená dutina** (tvarování na několik úderů s pootáčením o 90°, nejintenzivnější tečení materiálu ve směru podélné osy, jednotlivé příčné průřezy oválné dutiny musí být o 10 až 20 % větší než příslušné průřezy ideálního předkovku) (obr. 3.21),
4. **ohýbací dutina** (k ohýbání polotovaru, předkovku nebo ostříženého výkovku),
5. **plochy pro pěchování (zplošťování)** (pro zploštění nebo napěchování polotovaru před kovářím v dokončovacích dutinách),
6. **tvarovací dutiny** (ke tvarování materiálu na tvar obrysu výkovku v dělicí rovině, kove se 1 nebo 2 údery a materiál se neotáčí),
7. **utínka** (k odseknutí hotového výkovku od tyče nebo k oddělení dvojkusů kovaných s otáčením, bývá umístěna šikmo v některém rohu zápustky).

Následuje kování v **dokončovacích dutině** – **otevřené** (tj. s výronkovou drážkou) nebo **uzavřené** (obr. 3.22).

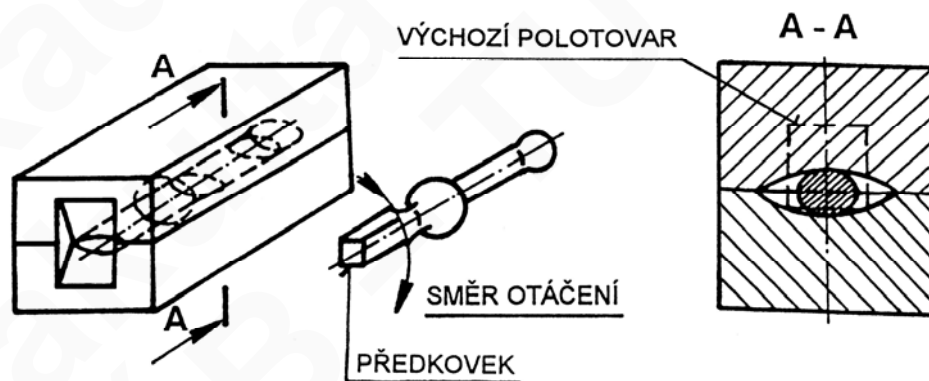
	Průvodce studiem
	Na obr. 3.18 je znázorněn postup konstrukce průřezového obrazce (v dolní části obrázku) a ideálního předkovku (v prostřední části obrázku). Začíná se překreslením výkovku – zde v pohledu, v případě předkovaného otvoru s částečným řezem, nebo v řezu – ve vhodně zvoleném měřítku délek. Toto měřítko by se mělo u obrázku uvést. Na výkovku se vyhledá místo, ve kterém je největší plocha příčného průřezu a tato hodnota se použije pro volbu vhodného měřítka průřezového obrazce v dolní části obrázku. Měřítka je třeba zvolit tak, aby průřezový obrazec nebyl zbytečně vysoký. Zvolené měřítko ploch by se mělo uvést vedle průřezového obrazce. Po vynesení nejdelší svislé úsečky odpovídající největší ploše příčného průřezu výkovku se provedou výpočty dalších příčných průřezů výkovku a na svislicích se vynesou v průřezovém obrazení. Nesmí se vynechat průřezy, u které jsou např. ve středu oka, na začátku a na konci díku. Propojením koncových bodů svislých úseček v průřezovém obrazení se získá průřezový obrazec výkovku. Přepočtením každého průřezu na kruhový podle vzorce pro výpočet plochy kruhu se zkonstruuje ideální předkovek, který je v prostřední části obrázku. Je třeba jak vodorovně, tak svisle dodržet stejné měřítko délek, které je totožné s měřítkem výkovku v horní části obrázku. Pro návrh polotovaru ve formě tyče lze provést nejprve v průřezovém obrazení konstrukci redukovaného průřezového obrazce, tedy obdélníku o stejné ploše, jako měl původní průřezový obrazec, následně opět přepočtením na kruh zkonstruovat redukovaný ideální předkovek se stejným kruhovým průřezem po celé délce, tedy kruhovou tyč. Vzhledem k tomu, že výše uvedená konstrukce nezahrnovala výronek a opal (ztrátu materiálu oxidací povrchových vrstev), skutečný průměr tyče by měl být o něco větší. Při návrhu polotovaru je třeba kromě objemu zkontrolovat i délku polotovaru, aby vešel do dutiny zápustky a nepřesahoval přes její okraje.



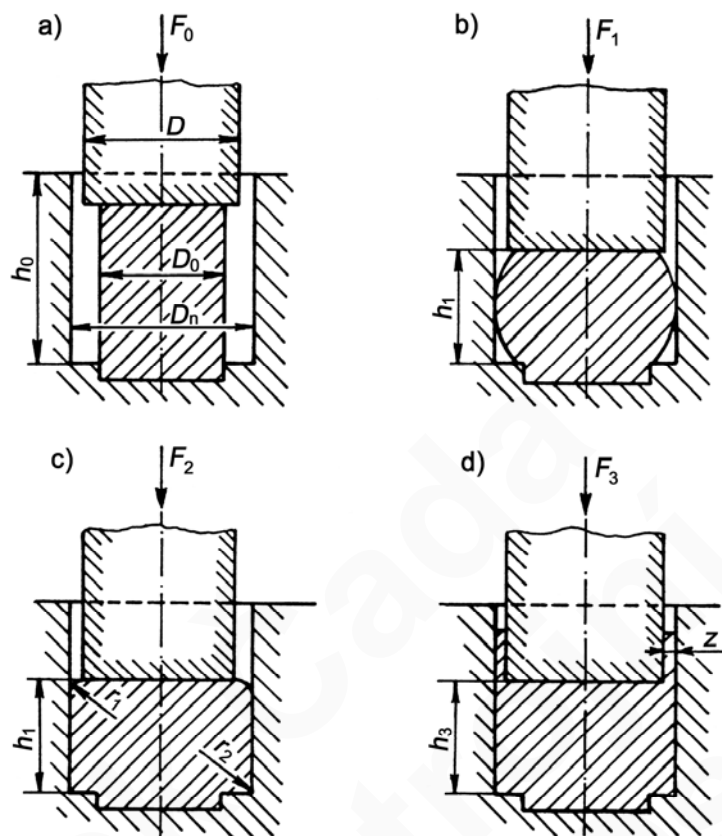
Obr. 3.19 Zužovací dutina



Obr. 3.20 Rozdělovací otevřená dutina



Obr. 3.21 Rozdělovací uzavřená dutina



Obr. 3.22 Fáze zaplňování dutiny uzavřené zápustky (a – volné pěchování, b – pokračování pěchování, materiál je omezen bočními stěnami zápustky, c – úplné zaplnění dutiny zápustky, d – vzrůst tlaku, vznik ostřin v případě přebytku materiálu)

	Úkol k zamyšlení
	Porovnejte výhody a nevýhody otevřené a uzavřené dokončovací dutiny zápustky.

3.1.6 Stanovení objemu a tvaru výchozího materiálu

Objem polotovaru:

$$V_0 = (V_v + V_{v\gamma r}) \cdot \left(1 + \frac{o}{100}\right) \quad (\text{mm}^3), \quad (3.1)$$

kde jsou V_v – objem výkovku (lze stanovit analytickou metodou nebo pomocí průřezového obrazce) (mm^3), $V_{v\gamma r}$ – objem výronku (mm^3), o – opal (%)

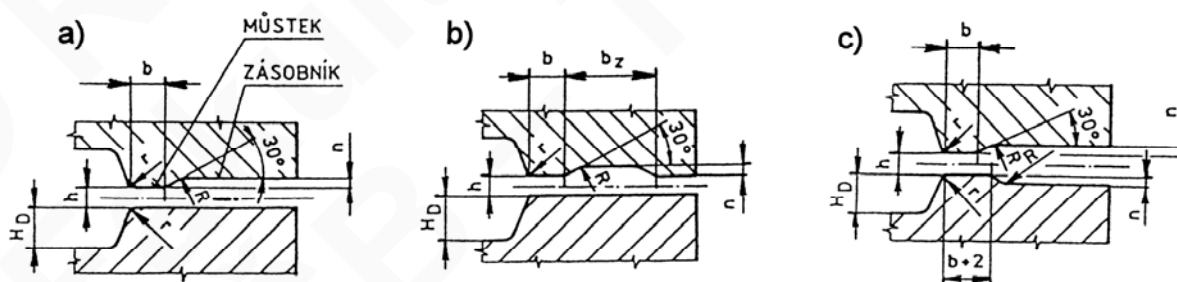
	Průvodce studiem
	Opal je ztráta materiálu vlivem vzniku okují – oxidů železa (oxid železnatý a oxid železitý), na povrchu polotovaru ohřátého na kovací teplotu. Pohybuje se kolem jednoho procenta a závisí na způsobu ohřevu.

- ♦ **Druh polotovaru** – drobné výkovky se kovou obvykle z tyče, větší výkovky z jednotlivých kusů polotovaru.
- ♦ **Profil polotovaru** – přednost má čtvercový. Kruhový se volí pro ostré ohyby, je-li na výkovku kruhový profil, který se nekove, používá-li se polotovar předkovaný na vodorovném kovacím lisu.
- ♦ **Délka polotovaru** – objem polotovaru se dělí plochou příčného průřezu.

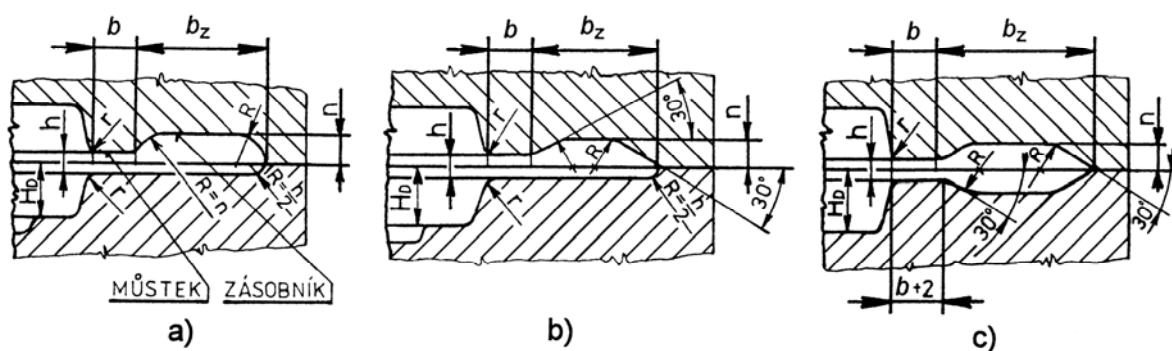
	Průvodce studiem
	Při návrhu polotovaru je třeba kromě objemu zkontrolovat i délku polotovaru , aby vešel do dutiny zápustky a nepřesahoval přes její okraje.

3.1.7 Konstrukce tvářecího nástroje

- ⇒ rozměry zápustky musí být větší o hodnotu **smrštění zahřátého kovu** (u běžné oceli je 1,0 až 1,3 %, u austenitické oceli až 2 %, u mosazi 1,0 až 1,7 %),
- ⇒ volba **typu výronkové drážky** (**otevřená** – pro klikové lisy, **uzavřená** – pro vřetenové lisy a buchary, u každé varianty 3 podtypy podle provedení zásobníku) (obr. 3.23 a 3.24).



Obr. 3.23 Základní typy výronkových drážek pro zápustky mechanických klikových lisů (h – výška můstku výronkové drážky, b – šířka můstku výronkové drážky, b_z – šířka zásobníku výronkové drážky, n – hloubka zásobníku, H_D – hloubka dutiny zápustky, r – poloměr zaoblení přechodu tvaru do dělicí roviny, R – poloměr zaoblení přechodů tvaru zásobníku)

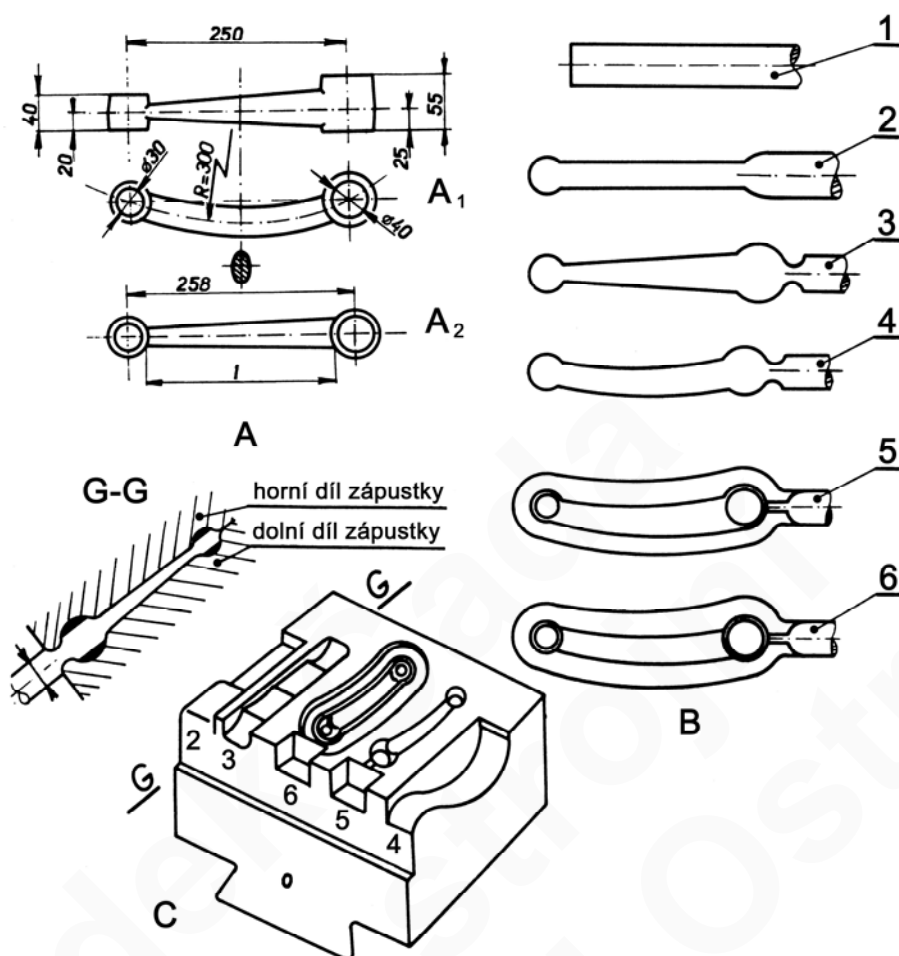


Obr. 3.24 Základní typy výronkových drážek pro zápustky bucharů a třecích lisů (h – výška můstku výronkové drážky, b – šířka můstku výronkové drážky, b_z – šířka zásobníku výronkové drážky, n – hloubka zásobníku, H_D – hloubka dutiny zápustky, r – poloměr zaoblení přechodu tvaru do dělicí roviny, R – poloměr zaoblení přechodů tvaru zásobníku)

	Průvodce studiem
	Zásobník výronkové drážky se provádí v tom díle zápustky, který má větší životnost. Zpravidla to bývá horní díl zápustky, protože na dolním materiál v procesu tváření leží a kromě tření jej namáhá i tepelně. Tvar výkovku však může někdy způsobit, že bude mít větší životnost dolní díl zápustky – pak je třeba zásobník provést v něm. Zásobník provedený do obou dílů zápustky současně se používá u velkorozměrových výkovků, kdy je předpoklad, že bude odtékat do výronkové drážky větší množství materiálu.

Rozdělení zápustek:

1. **jednodutinová** (u velkosériové výroby je pro každou operaci nástroj)
2. **několikadutinová** (vhodná pro malosériovou výrobu) (obr. 3.25)

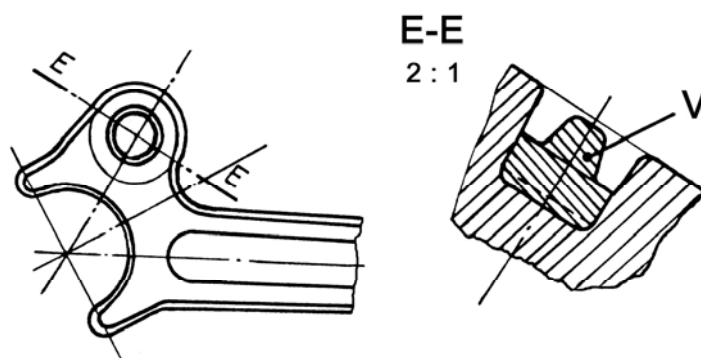


Obr. 3.25 Kování v několikadutinové zápustce (A – dva typy výkovku ojnice, B – postup kování z tyče kruhové, C – dolní část několikadutinové zápustky)

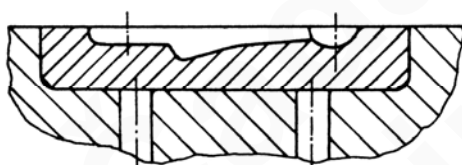
	Průvodce studiem
	U několikadutinových zápustek nejsou dutiny seřazeny podle technologického postupu výroby, ale jsou rozmístěny podle síly, která je potřebná ke kování v dané dutině. Dutiny s největší silou při kování by měly být umístěny uprostřed a postupně k okrajům bloku zápustky se umísťují dutiny s menšími silami při kování. Toto rozmístění je důsledkem snahy zatěžovat beran i celý stroj v jeho ose.

Složení nástroje (obr. 3.26 a 3.27):

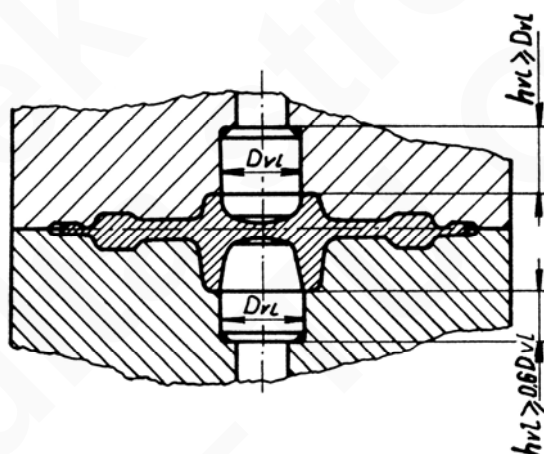
- držák horních částí zápustek*,
- horní část zápustky* (uchycena do a) pomocí rybiny, pera a podélného klínu),
- dolní část zápustky* (uchycena do d) pomocí rybiny, pera a podélného klínu),
- držák dolních částí zápustek*.



Obr. 3.28 Vložkování značky pro předkování otvoru v zápustce ojnice (1 – zápustková vložka)



Obr. 3.29 Vložkování celé dutiny zápustky



Obr. 3.30 Vložkování částí nábojů



Průvodce studiem

U vložek musí být vyřešena **možnost jejich vytažení ze zápustky**. Na obr. 3.29 a 3.30 jsou patrné otvory pod vložkami, které umožňují jejich vytlačení pomocí kolíků.

3.1.8 Ohřev materiálu, mazání, ostřížení, kalibrace

Ohřev materiálu:

- **Rychlost ohřevu** – závisí převážně na chemickém složení materiálu (nizkouhlíkové oceli lze ohřívat rychleji než oceli legované). Při překročení dovolené rychlosti ohřevu dochází k velkým teplotním rozdílům v průřezu materiálu což je příčinou **tepelných pnutí**.
- **Horní kovací teplota** – musí být nižší než teplota, při které se začínají tavit složky s nejnižší tavicí teplotou (jinak by klesla plasticita a vnější síla by způsobila vnitřní poruchu), u ocelí 200 až 300 °C pod solidem.
- **Dolní kovací teplota** – je dána teplotou, při níž se pevnost materiálu nezvýší do té míry, že by tváření vyžadovalo příliš vysoké měrné tlaky.
- **Dokovací teplota** – konečná tvářecí teplota, je omezena rekrytalizační teplotou. Ovlivňuje krystalickou strukturu materiálu a tím i jeho mechanické vlastnosti (jejím snížením se docílí jemnější krystalická struktura).

	Průvodce studiem
	Při výrobě některých součástí, např. ručního náradí (motyk, rýčů), je výhodné dokončovat kování pod dolní kovací teplotou , tedy za poloohřevu , čímž se docílí zpevnění především povrchových vrstev materiálu. Důsledkem je pak větší odolnost součásti nebo vyrobeného nástroje proti opotřebení.

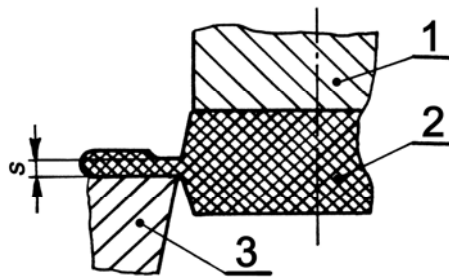
- **Přehřátí kovu** – je způsobeno ohřevem nad dovolenou horní hranici ohřevu, vzniká **hrubozrnná struktura**. (je ji možné odstranit kovářím a normalizačním žíháním).
- **Spálení kovu** – nastává u teploty solidu, kdy jsou nataveny hranice zrn. Zvyšováním teploty kyslík prudce difunduje do kovu a na hranicích vytváří oxidické filmy (nedají se odstranit, porušují soudržnost kovu).

Předeřtí zápusťek: na teplotu cca 300 °C, doba předeřtí 10 až 24 hodin podle mohutnosti bloku zápusťky, nejčastěji plynovým hořákem.

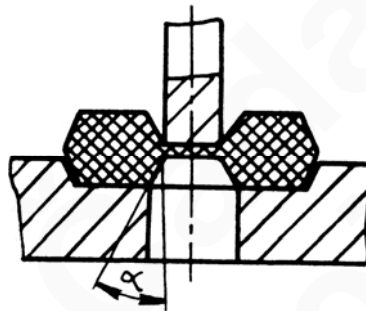
Mazání zápusťek: účelem je snížení tření mezi zápusťkou a tvářeným materiálem, snadnější uvolňování výkovku ze zápusťky, snížení otěru zápusťky, ochlazující účinek. **Příklady maziv:** roztok grafitu ve vodě nebo v oleji, roztok sirníku molybdeničitého v oleji, roztoky olejů ve vodě, piliny, soli, sklo.

Ostřihování a děrování výkovků: na ostřihovacích lisech zatepla (tj. kolem 550 °C) nebo zastudena, z výkovků se tak odstraňují **výronky** a **blány na prostřížení** (obr. 3.31 a 3.32).

Kalibrování a rovnání výkovků: u malých výkovků zastudena, u větších zatepla. Kalibrováním se zpřesňují rozměry a zlepšuje jakost povrchu.



Obr. 3.31 Ostřihování výronku (1 – střižník, 2 – výkovek s výronkem, 3 – střižnice, s – tloušťka můstku výronku)



Obr. 3.32 Děrování výkovku

3.1.9 Konečná úprava výkovků

Odstranění okují:

- chemicky** – mořením ve 20 % roztoku H_2SO_4 , zahřátém na 60 °C po dobu cca 60 min. (v mořicí lázni musí být obsažen inhibitor, zabraňující vodíkové nemoci).
- mechanicky** – otłoukáním v bubnech nebo pískováním (křemičitý písek, litinové nebo ocelové broky)

	Úkol k zamyšlení
	Popište, co jsou okuje. Vysvětlete, jak vznikají.

Tepelné zpracování výkovků: žíhání na odstranění pnutí, žíhání normalizační, žíhání na měkko, případně zušlechťování.

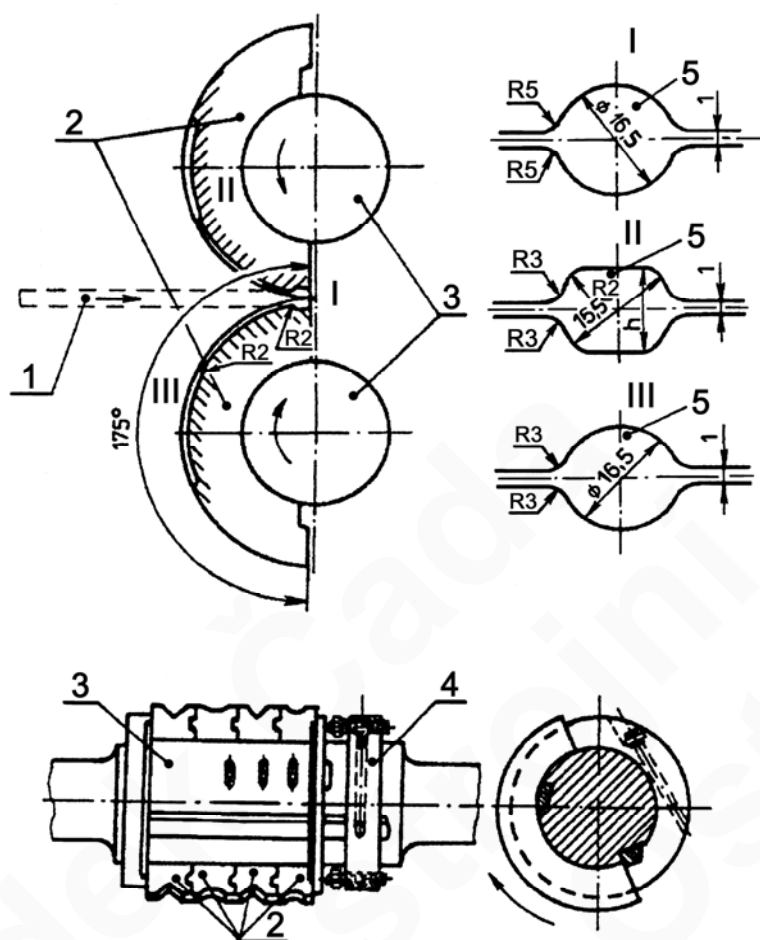
(Provádí se zpravidla před rovnáním a kalibrací, aby se odstranilo vnitřní pnutí, případně upravila struktura materiálu. Pokud se provede po kalibraci zastudena, odstraní se dodatečné zpevnění materiálu vlivem kalibrace.)

3.2 Válcování zatepla

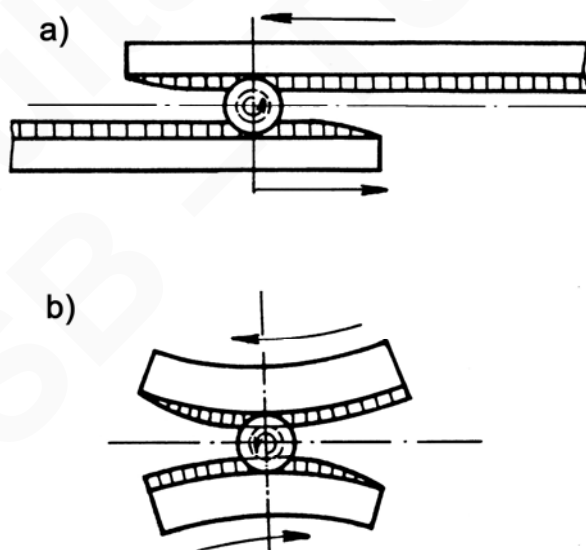
Vyrábí se tak polotovary pro další tváření i hotové výrobky.

	Průvodce studiem
	Válcování zatepla je výhodné především <i>při výrobě větších sérií výkovků</i> . Jedná se o technologii s vysokou produktivitou práce s možností automatizace.

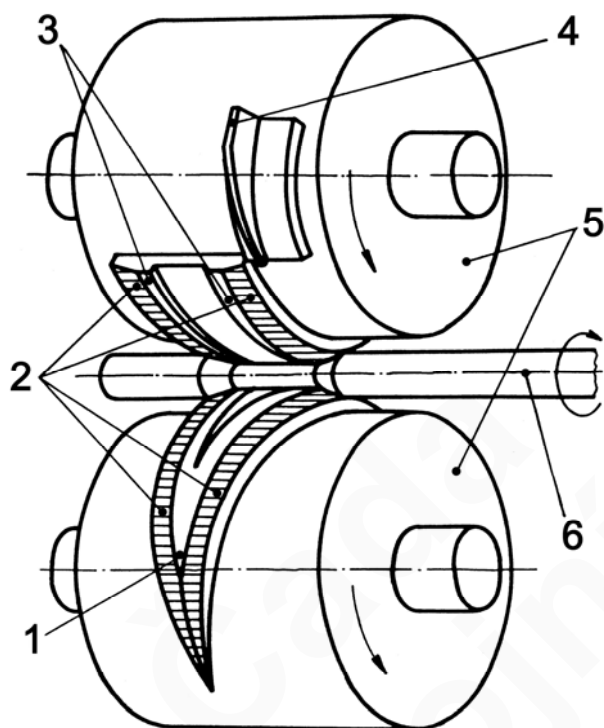
1. **podélné válcování na kovacích válcích** (jeden nebo více nástrojů tvaru půlkruhu vedle sebe na jednom nosném válci) (obr. 3.33),
2. **příčné klínové válcování** (nástroj má při čelním pohledu tvar klínu, rotační nebo rovinné) (obr. 3.34 a 3.35),
3. **periodické válcování** (válcování profilů, jejichž průřezy se po délce mění, opakuje se v pravidelných intervalech – *periodách*),
 - a) **podélné válcování periodických profilů** (bez výronku nebo s výronkem, z kruhových nebo čtvercových tyčí) (obr. 3.36),
 - b) **šikmé (kosé) periodické válcování** (osy válců jsou mimoběžné, materiál je otáčen válci kolem své osy a zároveň vtahován v radiálním směru a tvarován šroubovitými profily válců) (obr. 3.37),
4. **rozválcování** (zhotovení prstencových součástí i s tvarovým průřezem) (obr. 3.38),
5. **válcování závitů** (profil závitů se tvoří vytlačováním, nástroje mohou být ploché nebo kotoučové – zde je možné válcování předvalku mezi dvěma nebo třemi kotouči s kruhovými nebo závitovými zářezy) (obr. 3.39 až 3.41),
6. **válcování ozubených kol** (profil a rozměry zubů jsou určeny tvarem zubů válců nebo jednoho válce),
 - a) **válcování s osovým posuvem předvalku** (předvalek spolu s vodicím kolem se posunuje mezi zuby válců, jejichž vzdálenost se nemění. Válce mají náběhový kužel. Předvalek se ohřívá induktorem.) (obr. 3.42),
 - b) **válcování s radiálním posuvem válců** (jeden nebo 2 válce se vtlačují do předvalku. Aby se zamezilo axiálnímu toku materiálu, jsou na čelech válců disky) (obr. 3.43 a 3.44).



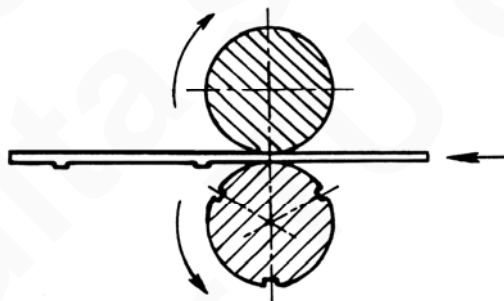
Obr. 3.33 Podélné válcování na kovací válcích (1 – polotovaz, 2 – kovací zápustky, 3 – nosný válec, 4 – přítlačná objímka, 5 – tvary dutin)



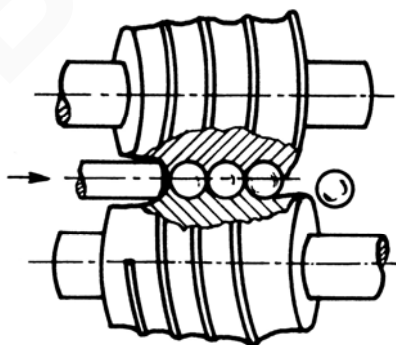
Obr. 3.34 Příčné klínové válcování (a – rovinné, b – rotační)



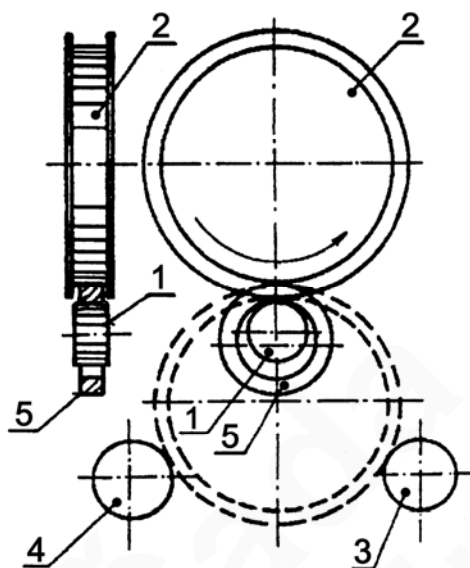
Obr. 3.35 Rotační příčné klínové válcování (1 – tvářecí nástroj, 2 – šroubové tvářecí plochy, 3 – válcové vyrovnávací plochy, 4 – oddělovací nůž, 5 – pracovní válce, 6 – polotovaz, tj. tyč)



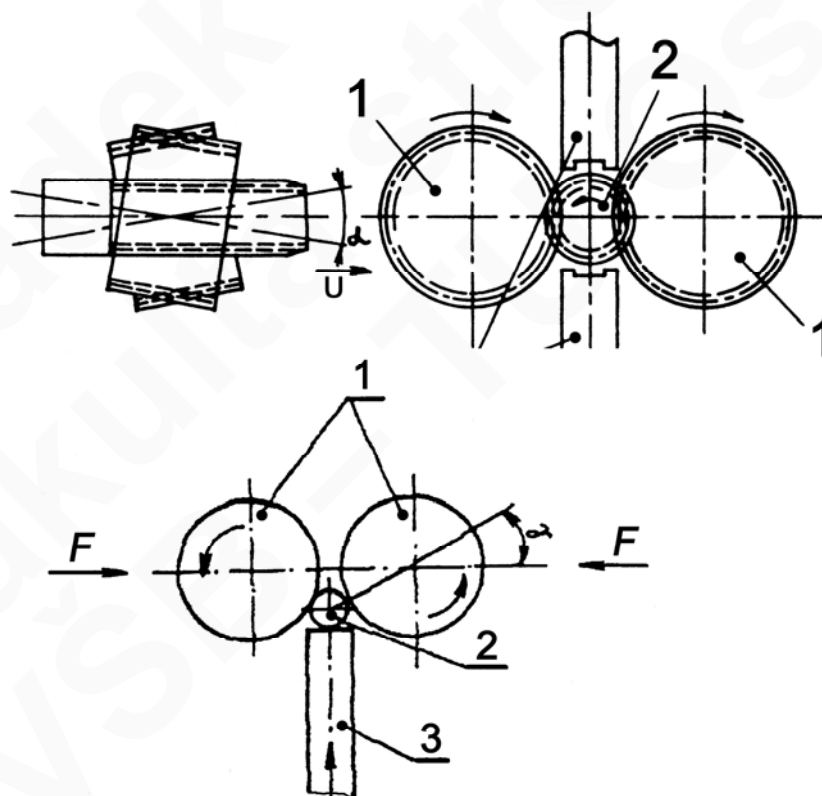
Obr. 3.36 Podélné válcování periodických profilů



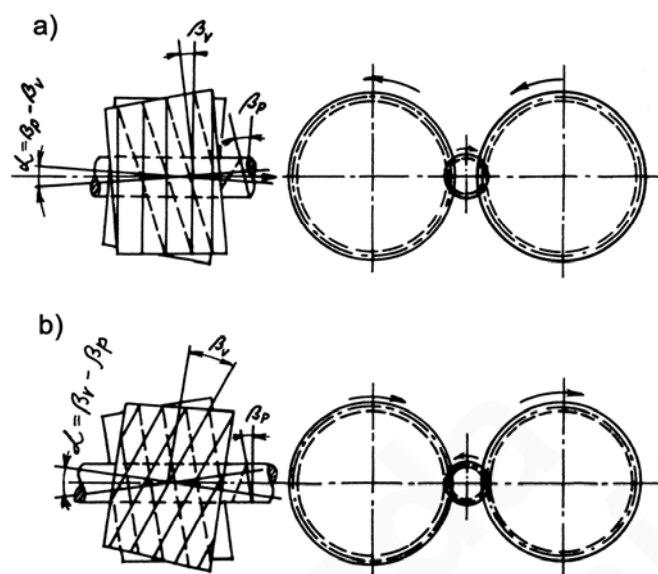
Obr. 3.37 Kosé periodické válcování



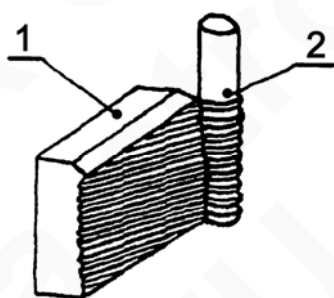
Obr. 3.38 Rozválcování (1 – tvarový přítlačný válec, 2 – tvarový válec, 3 – signální válec, 4 – signální válec, 5 – polotovaz)



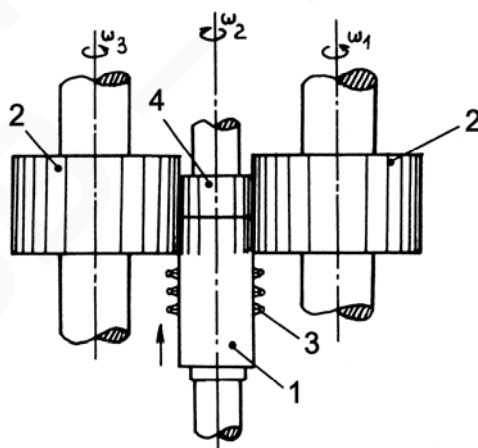
Obr. 3.39 Válcování závitů válečky s kruhovými zářezy (1 – válcovací nástroje, 2 – materiál, 3 – vodítka, 4 – signální válec, 5 – polotovaz, α – úhel stoupání)



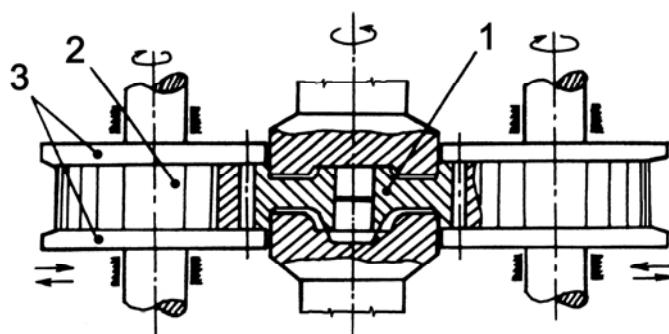
Obr. 3.40 Válcování závitů válečky se závitovými zářezy (β_v – úhel stoupání na válečku, β_p – úhel stoupání na předvalku)



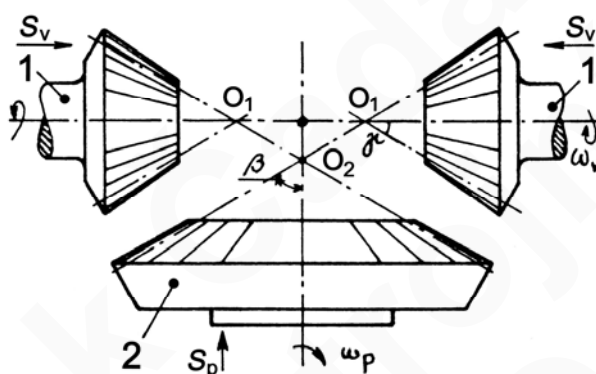
Obr. 3.41 Válcování závitů plochým nástrojem (1 – plochý válcovací nástroj, 2 – polotovaz)



Obr. 3.42 Válcování s osovým posuvem předvalku (1 – předvalek, 2 – válec se zuby a náběhovým kuželem, 3 – induktor, 4 – vodící kolo)



Obr. 3.43 Válcování s radiálním posuvem válců (1 – předvalek, 2 – válec se zuby, 3 – disky)



Obr. 3.44 Válcování ozubení na kónických kolech (1 – kónický válec se zuby, 2 – předvalek, který je ohříván kruhovým induktorem)



Úkol k zamyšlení

Uvedte příklady využití technologií válcování zatepla při výrobě součástí v praxi. Zdůvodněte, proč je její použití v daném případě ekonomicky výhodné.



Shrnutí kapitoly

Kování lze rozdělit na **volné** (materiál se zpracovává za použití víceúčelových nástrojů – jednoduchých nebo profilovaných kovadel) a **zápustkové** (v jednoúčelových nástrojích – zápustkách).

Základními operacemi volného kování jsou **pěchování** (příčný průřez se zvětšuje na úkor výšky) a **místní napěchování**, **prodlužování** (zvětšuje se délka při zmenšování příčného průřezu), **osazování** (prodlužování vymezených konců polotovarů, **děrování** (tlačení děrovacího trnu do polotovaru se vytváří dutina) a **rozkování na trnu** (při výrobě kroužků, zvětšování jejich průměru údery shora).

Zápustky se dají rozdělit na: **přípravné** (bez výronku, prodlužovací, zužovací, tvarovací, pěchovací, ohýbací, stříhací) a **dokončovací** (stříhací, dokončovací s výronkem,

dokončovací bez výronku, kalibrovací plošné, kalibrovací objemové)

Návrh technologického postupu výroby výkovku se skládá z následujících fází:

1. rozbor výkresu součásti,
2. určení druhu tvářecího stroje,
3. nakreslení výkresu výkovku,
4. výpočet silových parametrů tvářecího stroje,
5. výběr a sled potřebných operací,
6. stanovení hmotnosti a tvaru výchozího materiálu,
7. konstrukce tvářecího nástroje,
8. ohřev materiálu, mazání, ostřihování, kalibrace,
9. konečná úprava výkovků.

Na základě **rozboru výkresu součásti**, tj. podle rozměrů, tvaru součásti a velikosti série, se provádí **volba nejvýhodnější technologie výroby**. Tváření zatepla se používá u rozměrnějších součástí, které by při tváření zastudena vyžadovaly neúměrně velké tvářecí síly.

Pro výrobu výkovků je možno použít následující stroje: ***buchary*** (pracují rázem, je velká deformační rychlost, výkovek – *na několik úderů*, pro malé série, větší spotřeba materiálu, lze použít postupové zápustky), ***vřetenové lisy*** (pracují rázem, je menší deformační rychlost, výkovek – *na jeden úder*, výjimečně na více, pro malé série, menší spotřeba materiálu – díky menším úkosům a využití vyhazovače), ***mechanické klikové lisy*** (pracují klidným tlakem, jejich zdvih je konstantní – při zanedbání pružení, výkovek – *na jeden zdvih*, pro velké série, malá spotřeba materiálu).

Podkladem pro zhotovení výkresu výkovku je **výkres součásti, jejímž polotovarem je výkovek**. Na výkresu výkovku se **dělicí rovina** nebo plocha označuje **plnou tlustou čarou s ležatými křížky na koncích**, které se kreslí rovněž plnou tlustou čarou. Tvar hotové obrobene součásti se kreslí do výkovku **čerchovanou čarou se dvěma tečkami** a nekótuje se. Jsou tak zřejmé přídavky na obrábění na funkčních plochách. Snahou je následně obrábět co nejméně ploch. Na plochách, které jsou kolmé k dělicí rovině, jsou technologické přídavky – **úkosy**. Jsou vnější a vnitřní a mohou se lišit. Velikost úkosů závisí na druhu tvářecího stroje a zda je použit vyhazovač (při pohybu beranu nahoru mohou vyhazovací kolíky vytlačit výkovek z dolního dílu zápustky). **Všechny hrany i přechody výkovku musí být zaobleny**, protože nástroj (horní a dolní díl zápustky) jsou namáhány cyklicky a existuje u nich únava materiálu. Únavová prasklina se začne šířit z místa, kde je koncentrace napětí, tedy z místa vrubu. Pro vyšší životnost zápustek je proto třeba mít již na výkresu výkovku zaoblené všechny hrany a přechody. **Kóty na výkresu výkovku se nepíší s úchylkami**, ale nad rohovým razítkem výkresu se píše poznámka o provedení výkovku a stupních přesnosti rozměrů kolmo k rázu a ve směru rázu. **Otvory se navrhuji s blanou na prostřížení**, a to buď plochou, nebo s úkosem do středu. Na výkresu výkovku se zpravidla kreslí blána prostřížená, protože děrování výkovku se provádí v závěru kování, dokud je výkovek teplý, což snižuje potřebnou střižnou sílu.

Provedení výkovku může být obvyklé, přesné, velmi přesné, nebo provedení dle dohody. Je třeba nepředepisovat zbytečně vysokou přesnost provedení, protože by to prodražilo výrobu. **Přídavky na obrábění** se dávají na funkční plochy, u kterých se teprve obráběním dosáhne kvalitní povrch s předepsanou drsností. **Technologickými přídavky** jsou zaoblení hran a přechodů, tloušťka dna, případně blány výkovku, tloušťka stěny výkovku, boční úkosy – vnější a vnitřní.

Rozměrovými a tvarovými úchylkami zápustkového výkovku jsou *úchylky rozměrů, dovolené přesazení, otřep* (zbytek materiálu vytlačený mezi dělené části nástroje), *dovolené sestřížení* (stopa na výkovku po ostřihovacím nástroji), *dovolená jehla* (ostří na okraji střižné plochy), *dovolený průhyb*, *úchylka souososti kovaných otvorů*, *úchylka souososti*

děrovaných otvorů.

Hlavní zásady pro volbu dělicí roviny:

1. musí zajistit **snadné vyjímání** výkovku ze zápustky,
2. obvykle se umísťuje do **roviny dvou největších vzájemně kolmých rozměrů** výkovku, nebo do **roviny souměrnosti výkovku**. Tato zásada se nerespektuje, jestliže jiná volba dělicí roviny umožňuje zmenšení obvodu výronku za současného zjednodušení ostřihování výronku,
3. měla by umožnit dokonalé ostřížení výronku,
4. zaplňování dutiny zápustky je výhodnější **pěchováním** než protlačováním,
5. vyšší část výkovku se umísťuje do horního dílu zápustky,
6. její poloha by měla kladně ovlivnit **průběh vláken** a tím i pevnost součásti,
7. volí se rovněž s ohledem na možnost **kontroly vzájemného přesazení** zápustek.

Přípravné předkovací dutiny mají zvětšená zaoblení hran, větší úkosity a zjednodušení tvaru, přebytek kovu v nich má být 3 až 4 %, aby se zajistilo zaplnění dokončovací dutiny, nemají výronkovou drážku, jsou **otevřené** nebo **uzavřené**. Patří mezi ně dutiny **zužovací, rozdělovací, ohýbací, zplošťovací, tvarovací a utínka**.

Postup konstrukce průřezového obrazce a ideálního předkovku: začíná se **překreslením výkovku** – v pohledu, v případě předkovaného otvoru s částečným řezem, nebo v řezu – ve vhodně zvoleném měřítku délek. Toto měřítko by se mělo u obrázku uvést. Na výkovku se vyhledá místo, ve kterém je největší plocha příčného průřezu a tato hodnota se použije pro volbu vhodného měřítka **průřezového obrazce** v dolní části obrázku. Měřítka je třeba zvolit tak, aby průřezový obrazec nebyl zbytečně vysoký. Zvolené měřítko ploch by se mělo uvést vedle průřezového obrazce. Po vynesení nejdelší svislé úsečky odpovídající největší ploše příčného průřezu výkovku se provedou výpočty dalších příčných průřezů výkovku a na svislicích se vynesou v průřezovém obrazení. Nesmí se vynechat průřezy, u kterých jsou např. ve středu oka, na začátku a na konci dířku. Propojením koncových bodů svislých úseček v průřezovém obrazení se získá průřezový obrazec výkovku. Přepočtením každého průřezu na kruhový podle vzorce pro výpočet plochy kruhu se zkonstruuje **ideální předkovek**, který je v prostřední části obrázku. Je třeba jak vodorovně, tak svisle dodržet stejné měřítko délek, které je totožné s měřítkem výkovku v horní části obrázku. Pro návrh polotovaru ve formě tyče lze provést nejprve v průřezovém obrazení konstrukci **redukovaného průřezového obrazce**, tedy obdélníku o stejné ploše, jako měl původní průřezový obrazec, následně opět přepočtením na kruh zkonstruovat **redukovaný ideální předkovek** se stejným kruhovým průřezem po celé délce, tedy tyč kruhovou. Vzhledem k tomu, že výše uvedená konstrukce nezahrnovala výronek a opal, skutečný průměr tyče by měl být o něco větší. Při návrhu polotovaru je třeba kromě objemu zkontrolovat i délku polotovaru, aby vešel do dutiny zápustky a nepřesahoval přes její okraje.

Objem výchozího polotovaru pro výrobu výkovku se vypočte jako součet objemu výkovku a objemu výronku, přičemž získaná hodnota se zvětší o **opal**. **Délka polotovaru** se získá, když se objem výchozího polotovaru podělí plochou příčného průřezu polotovaru.

Výronková drážka slouží k odvodu přebytečného materiálu z dutiny dokončovací zápustky. Může být **otevřená** (pro klikové lisy) nebo **uzavřená** (pro vřetenové lisy a buchary), přičemž u každé varianty existují tři podtypy podle provedení zásobníku. **Zásobník výronkové drážky** se provádí v tom díle zápustky, který má větší životnost. Zpravidla to bývá **horní díl zápustky**, protože na dolním materiál v procesu tváření leží a kromě tření jej namáhá i tepelně. Tvar výkovku však může někdy způsobit, že bude mít větší životnost **dolní díl zápustky** – pak je třeba zásobník provést v něm. **Zásobník provedený do obou dílů zápustky současně** se používá u velkorozměrových výkovků, kdy je předpoklad, že bude odtékat do výronkové drážky větší množství materiálu.

Zápustky lze rozdělit na **jednodutinové** (u velkosériové výroby je pro každou operaci

	nástroj) a několikadutinové (vhodné pro malosériovou výrobu). Nástroj pro zápusťkové kování se skládá z následujících částí: <i>držák horních částí zápusťtek</i>, <i>horní část zápusťky</i> (uchycena do držáku pomocí rybiny, pera a podélného klínu), <i>dolní část zápusťky</i> (uchycena do držáku pomocí rybiny, pera a podélného klínu), <i>držák dolních částí zápusťtek</i>. Vložkování zápusťtek se používá u členitých zápusťtek, kdy se vložkují místa, která se rychleji opotřebovávají. Rychlost ohřevu – závisí převážně na chemickém složení materiálu (nizkouhlíkové oceli lze ohřívat rychleji než oceli legované). Při překročení dovolené rychlosti ohřevu dochází k velkým teplotním rozdílům v průřezu materiálu což je příčinou <i>tepelných pnutí</i>. Horní kovací teplota – musí být nižší než teplota, při které se začínají tavit složky s nejnižší tavicí teplotou (jinak by klesla plasticita a vnější síla by způsobila vnitřní poruchu), u ocelí 200 až 300 °C pod solidem. Dolní kovací teplota – je dána teplotou, při níž se pevnost materiálu nezvýší do té míry, že by tváření vyžadovalo příliš vysoké měrné tlaky. Dokovací teplota – konečná tvářecí teplota, je omezena rekrytalizační teplotou. Ovlivňuje krystalickou strukturu materiálu a tím i jeho mechanické vlastnosti (jejím snížením se docílí jemnější krystalická struktura). Přehřátí kovu – je způsobeno ohřevem nad dovolenou horní hranici ohřevu, vzniká <i>hrubozrnná struktura</i>. (je ji možné odstranit kovářím a normalizačním žíháním). Spálení kovu – nastává u teploty solidu, kdy jsou nataveny hranice zrn. Zvyšováním teploty kyslík prudce difunduje do kovu a na hranicích vytváří oxidické filmy (nedají se odstranit, porušují soudržnost kovu). Mazání zápusťtek: účelem je snížení tření mezi zápusťkou a tvářeným materiálem, snadnější uvolňování výkovku ze zápusťky, snížení ořezu zápusťky, ochlazující účinek. Ostříhování a děrování výkovků: na ostříhovacích lisech zatepla (tj. kolem 550 °C) nebo zastudena, z výkovků se tak odstraňují <i>výronky</i> a <i>blány na prostřížení</i>. Kalibrování a rovnání výkovků: u malých výkovků zastudena, u větších zatepla. Kalibrováním se zpřesňují rozměry a zlepšuje jakost povrchu. Odstranění okují lze provádět chemicky – mořením ve 20 % roztoku H_2SO_4, zahřátém na 60 °C po dobu cca 60 min. (v mořicí lázni musí být obsažen inhibitor, zabraňující vodíkové nemoci), nebo mechanicky – otloukáním v bubnech nebo pískováním (křemičitý písek, litinové nebo ocelové broky). Způsoby válcování zatepla: 1. podélné válcování na kovacích válcích (jeden nebo více nástrojů tvaru půlkruhu vedle sebe na jednom nosném válci), 2. příčné klínové válcování (nástroj má při čelním pohledu tvar klínu, rotační nebo rovinné), 3. periodické válcování (válcování profilů, jejichž průřezy se po délce mění, opakuje se v pravidelných intervalech – <i>periodách</i>), a) podélné válcování periodických profilů (bez výronku nebo s výronkem, z kruhových nebo čtvercových tyčí), b) šikmé (kosé) periodické válcování (osy válců jsou mimoběžné, materiál je otáčen válci kolem své osy a zároveň vtahován v radiálním směru a tvarován šroubovitými profily válců), 4. rozválcování (zhotovení prstencových součástí i s tvarovým průřezem), 5. válcování závitů (profil závitu se tvoří vytlačováním, nástroje mohou být ploché
--	---

	nebo kotoučové – zde je možné válcování předvalku mezi dvěma nebo třemi kotouči s kruhovými nebo závitovými zářezy), 6. válcování ozubených kol (profil a rozměry zubů jsou určeny tvarem zubů válců nebo jednoho válce), a) válcování s osovým posuvem předvalku (předvalek spolu s vodicím kolem se posunuje mezi zuby válců, jejichž vzdálenost se nemění. Válce mají náběhový kužel. Předvalek se ohřívá induktorem.), b) válcování s radiálním posuvem válců (jeden nebo 2 válce se vtlačují do předvalku).
--	---



Pojmy k zapamatování

Objemové tváření, kování, volné kování, zápustkové kování, zápustka, pěchování, prodlužování, osazování, děrování, rozkování na trnu, přípravná zápustka, výronek, dokončovací zápustka, kalibrovací zápustka, výkres součásti, tvářecí stroj, dělicí rovina zápustky, upínání zápustky, opotřebení zápustky, buchar, beran, šabota, postupová zápustka, vřetenový lis, třecí lis, ráz, vyhazovač, mechanický klikový lis, výstředníkový lis, zdvih, setrvačnický, klikový hřídel, ojnice, výkres výkovku, přesnost provedení výkovku, přídavek na obrábění, technologický přídavek, zaoblení hrany, zaoblení přechodu, blána výkovku, vnější úkos, vnitřní úkos, nespojitost vláken, plochá blána, blána s úkosem do středu, rozměrová úchylka, tvarová úchylka, přesazení, otřep, sestřižení, jehla, dovolený průhyb výkovku, úchylka souososti kovaných otvorů, úchylka souososti děrovaných otvorů, protlačování, můstek výronkové drážky, zásobník výronkové drážky, otevřená výronková drážka, uzavřená výronková drážka, předkovek, průřezový obrazec, ideální předkovek, rozdělovací otevřená dutina, rozdělovací uzavřená dutina, zužovací dutina, dřík, hlava předkovek, redukováný ideální předkovek, redukováný průřezový obrazec, ohýbací dutina, utínka, otevřená dokončovací dutina, uzavřená dokončovací dutina, opal, tyč, vodorovný kovací lis, profil polotovaru, ostřina, volné pěchování, smrštění, ocel, austenitická ocel, mosaz, jednodutinová zápustka, několikadutinová zápustka, držák zápustky, rybina, pero, podélný klín, vložkování zápustky, zápustková vložka, nízkouhlíková ocel, ohřev, legovaná ocel, tepelné pnutí, horní kovací teplota, tavicí teplota, plasticita, vnější síla, vnitřní porucha, solidus, dolní kovací teplota, pevnost, měrný tlak, dokovací teplota, rekryalizační teplota, krystalická struktura, mechanické vlastnosti, přehřátí kovu, hrubozrnná struktura, normalizační žíhání, spálení kovu, hranice zrna, předežhátí zápustek, hořák, mazání, otěr, grafit, , ostřihování, děrování, kalibrování, rovnání, jakost povrchu, okuje, moření, mořicí lázeň, inhibitor, vodíková nemoc, otloukání, pískování, brok, tepelné zpracování, žíhání na odstranění pnutí, žíhání normalizační, žíhání na měkko, zušlechťování, zpevnění, válcování, kovací válce, příčné klínové válcování, periodické válcování, radiální směr, kosé periodické válcování, rozválcování, signální válec, válcování závitů, úhel stoupání závitu, válcování ozubených kol, zub, předvalek, induktor, náběhový kužel, axiální směr.



Odměna a odpočinek

Výborně, **třetí kapitola** máte za sebou! Teď si dejte kakao, kávu nebo něco ostřejšího, projděte si v myšlenkách, co jste dosud nastudoval(a) a po osvěžující pauze odpovězte na jednotlivé kontrolní otázky.

	Kontrolní otázky
	Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo třetí kapitoly „Objemové tváření zatepla“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek: 1. Jaké jsou rozdíly mezi volným a zápustkovým kovááním? 2. Jaké jsou základní operace volného kováání? 3. Jaký je rozdíl mezi přípravnými a dokončovacími zápustkami? 4. Jaké druhy strojů používaných ke kováání znáte? Pro jaký druh výroby je každý z nich vhodný? 5. Jaké druhy technologických přídavek při konstrukci zápustkových výkovků znáte? 6. Dokážete uvést názvy jednotlivých přesností provedení výkovku? 7. Jaké jsou rozměrové a tvarové úchytky zápustkových výkovků? 8. Jaké jsou hlavní zásady pro volbu dělicí roviny? 9. Dokážete popsat konstrukci průřezového obrazce a ideálního předkovku? 10. Jaké jsou názvy základních typů předkovacích dutin? Na co se která používá? 11. Jak se u výkovků stanoví objem výchozího materiálu a délka polotovaru? 12. Jaké jsou typy výronkových drážek? Kdy se která varianta používá? 13. Z jakých částí se skládá nástroj pro zápustkové kováání? 14. Jaké jsou důvody pro vložkování zápustek? Jak se vložkování prakticky provádí? 15. Dokážete vysvětlit rozdíly mezi horní a dolní kovací teplotou a dokovací teplotou? 16. Jaký je rozdíl mezi přehřátím a spálením kovu? 17. Proč se provádí mazání zápustek? 18. Jaké jsou způsoby odstranění okují u výkovků? 19. Dokážete vyjmenovat a popsat podstatu jednotlivých způsobů válcování zatepla?

	Literatura
	[1] BŘEZINA, R. <i>Technologie I – část 1 : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 80 s. ISBN 80-7078-439-3. [2] ČADA, R. <i>Technologie I – část tváření a slévání : návody do cvičení : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 188 s. ISBN 80-7078-540-3. [3] PETRŽELA, Z., KUČERA, J. a BŘEZINA, R. <i>Technologie slévání, tváření a svařování : skriptum</i>. 2. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1987. 329 s. (bez ISBN). [4] PETRŽELA, Z. <i>Základy teorie a technologie strojírenského tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1980. 378 s. (bez ISBN). [5] KOLLEROVÁ, M. <i>Tvářenie kovov : skriptum</i>. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1984. 288 s. (bez ISBN). [6] ČABELKA, J. a kol. <i>Mechanická technológia</i>. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1967. 1036 s. (bez ISBN).

	Náměty pro tutoriál
	Vysvětlete výhody technologie objemového tváření zatepla. Uveďte příklady z praxe, kdy tato technologie byla úspěšně využita pro výrobu součástí. Objasněte možné vady výkovků. Uveďte příklady z praxe, kdy je riziko jejich vzniku.

	Korespondenční úkol
	Program č. 1 „Zápusťkové kování“ Zadání: Navrhněte technologický postup výroby zadaného výkovku: - napište předpoklady výroby a podle nich zvolte vhodný tvářecí stroj, - zvolte vhodnou dělicí rovinu výkovku, zařadte výkovek podle složitosti tvaru a zvolte přesnost jeho provedení, - určete přídavky na obrábění, technologické přídavky (zaoblení hran a přechodů, tloušťku dna, případně blány výkovku, boční úkosy), - stanovte rozměrové a tvarové úchytky výkovku (úchytky rozměrů, dovolené přesazení, otřep, sestřižení, jehlu, průhyb, dovolenou úchytku souososti kovaných otvorů a dovolenou úchytku souososti děrovaných otvorů), - nakreslete výkres výkovku (tužkou, nebo s využitím PC), - stanovte tvar a rozměry výronkové drážky, nakreslete ji v měřítku a okótujte, - vypočítejte hmotnost výkovku analytickou metodou a pomocí průřezového obrazce (tento nakreslete na milimetrový papír), výsledky porovnejte, - navrhněte a předepište výchozí polotovár a vyberte přípravnou předkovací dutinu.

	Průvodce studiem
	Další kapitola se věnuje jiné technologii, a to objemovému tváření zastudena. U této technologie výroby dochází v procesu plastické deformace ke zpevnění materiálu.

4 OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ ZASTUDENA

	Rychlý náhled do problematiky kapitoly
	Čtvrtá kapitola objasňuje objemové tváření zastudena. Jsou v ní popsány výhody této technologie, základní způsoby objemového tváření zastudena, výpočet poměrných a logaritmických deformací, křivky zpevnění, návrh technologického postupu výroby protlačku, volba materiálu, stanovení tvaru a rozměrů polotovaru, přípravné před tvářením, stanovení počtu tvářecích operací, technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů, tvářecí síla a práce, dokončování výlisků. Člení se na následující podkapitoly: 4.1 Návrh technologického postupu výroby protlačku 4.1.1 Volba materiálu 4.1.2 Stanovení tvaru a rozměrů polotovaru 4.1.3 Volba přípravných operací před tvářením 4.1.4 Stanovení počtu tvářecích operací 4.1.5 Dodržení technologických zásad pro návrh protlačků a nástrojů 4.1.6 Výpočet tvářecí síly a práce 4.1.7 Dokončování výlisků

	Cíle kapitoly
	Budete umět: • vysvětlit výhody technologie objemového tváření zastudena, • vypočítat poměrné a logaritmické deformace polotovaru, • zvolit vhodný materiál pro výrobu protlačku, • stanovit tvar a rozměry polotovaru pro výrobu protlačku, • objasnit účel a způsoby mazání polotovarů, • vypočítat tvářecí sílu a práci při objemovém tváření zastudena, • vysvětlit příčiny vzniku nerovných okrajů výlisků. Získáte: • znalosti o základních způsobech objemového tváření zastudena, • přehled o součástech tvarově vhodných pro objemové tváření zastudena, • informace o druzích tepelného zpracování polotovarů, • přehled o způsobech odstranění okují, • znalosti o způsobu stanovení počtu tvářecích operací. Budete schopni: • popsat etapy návrhu technologického postupu výroby protlačku, • zvolit vhodné přípravné operace před objemovým tvářením zastudena, • objasnit důvody a postup fosfátování polotovarů, • popsat technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů, • vysvětlit druhy dokončování výlisků.

	Klíčová slova kapitoly
	Objemové tváření zastudena, napjatost, plastická deformace, jakost povrchu, zpevnění, dopředné protlačování, průtlačník, zpětné protlačování, sdružené protlačování, stranové protlačování, polotovar, přechování, kombinované tváření, součást, radiální tváření, poměrná deformace, logaritmická deformace, křivka zpevnění, napětí, technologický postup výroby, žíhání, struktura, ferit, perlit, velikost zrna, mechanické vlastnosti, tvárnost, vměstek, polotovar, protlaček, špalík, kalota, upichování, elektrická pec, ochranná atmosféra, okuje, moření, tření, fosfátování, fosfatizační lázeň, mazivo, průtlačnice, bandáž, zděř, předpětí, redukční úhel průtlačnice, vyhazovač, čelo průtlačníku, tvářecí síla, přetvárný odpor, jmenovitá síla, dimenzování, dovolené namáhání, tvářecí práce, vodící sloupek, stírač, anizotropie, soustružení, trubkový nůž, kruhový nůž, ostříhování, vrtání, otřep, omílání.

	Čas potřebný ke studiu kapitoly: 4 hodiny
---	--

	Průvodce studiem
	Tato kapitola je důležitým teoretickým základem pro zpracování druhého korespondenčního úkolu , který spočívá v návrhu technologie výroby zadaného šroubu. Základním atributem technologie objemového tváření zastudena je vznik zpevnění v procesu plastické deformace materiálu.

Výhody této technologie:

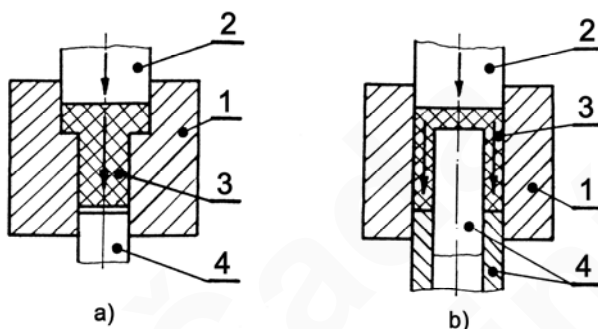
- působení *prostorové napjatosti* (vhodné pro velké plastické deformace),
- malá spotřeba materiálu (minimální odpad),
- krátké výrobní časy (vysoká produktivita práce),
- vysoká kvalita výrobků (jakost povrchu, rozměrová přesnost, zpevnění, nepřerušovaný průběh vláken, zvýšení meze únavy výlisků).

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte <i>příklady využití výhod technologie objemového tváření zastudena</i> při výrobě součástí v praxi.

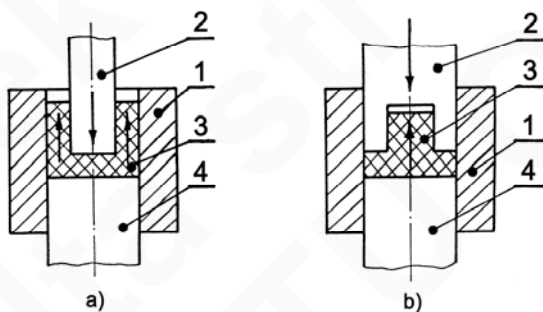
Základní způsoby objemového tváření zastudena:

1. **dopředné protlačování** (též *protlačování sousledné*, materiál teče ve směru pohybu průtlačníku) (obr. 4.1),
2. **zpětné protlačování** (též *protlačování protisměrné*, materiál teče proti směru pohybu průtlačníku) (obr. 4.2),
3. **sdružené protlačování** (též *protlačování obousměrné*, je kombinací obou výše uvedených způsobů) (obr. 4.3),

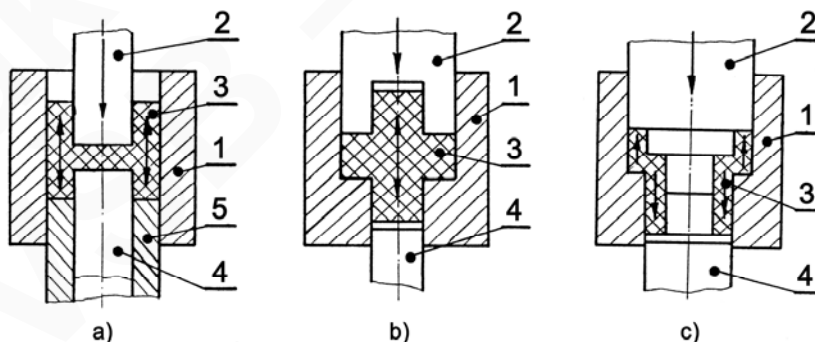
4. **stranové protlačování** (materiál teče kolmo na pohyb průtlačníku, tj. kolmo k podélné ose polotovaru) (obr. 4.4),
5. **pěchování** (spočívá ve stlačování výchozího polotovaru a tím zvětšování jeho průřezu) (obr. 4.5),
6. **kombinované tváření** (je kombinací jednotlivých výše popsanych způsobů objemového tváření zastudena, pro výrobu tvarově složitých součástí) (obr. 4.6),
7. **radiální tváření** (provádí se radiálně, tj. dostředně se pohybujícími *tvarovými čelistmi*) (obr. 4.7).



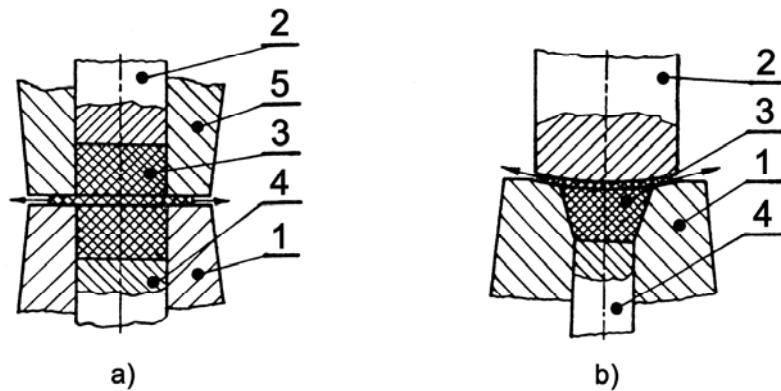
Obr. 4.1 Základní schémata procesů dopředného protlačování (a – klasické dopředné protlačování, b – protlačování kalíškového tvaru, 1 – průtlačnice, 2 – průtlačník, 3 – protlaček, 4 – spodní trn, tj. vyhazovač)



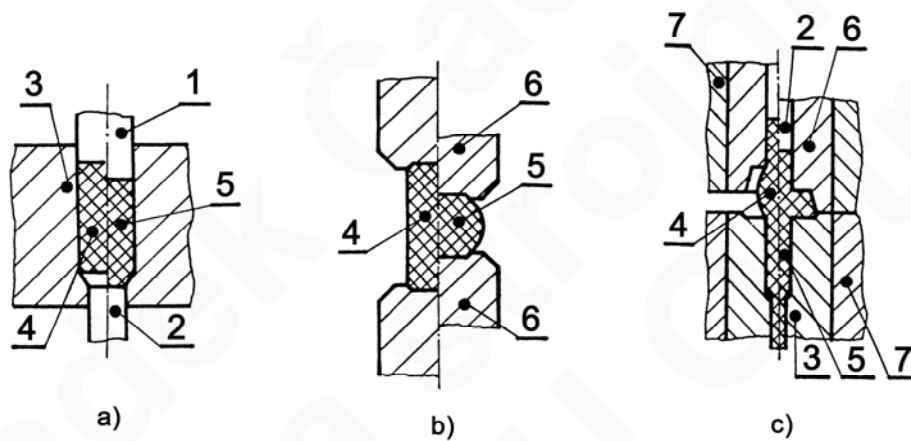
Obr. 4.2 Základní schémata procesů zpětného protlačování (a – klasické zpětné protlačování, tj. dutého kalíšku, b – protlačování výčnělku, 1 – průtlačnice, 2 – průtlačník, 3 – protlaček, 4 – spodní trn, tj. vyhazovač)



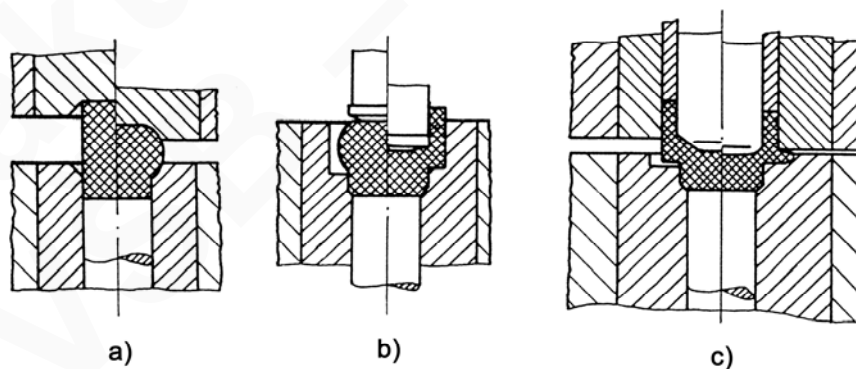
Obr. 4.3 Základní schémata procesů sruženého protlačování (a – protlačování pouzdra s přepážkou, b – protlačování plného protlačku se dvěma výčnělky, c – protlačování dutého osazeného pouzdra, 1 – průtlačnice, 2 – průtlačník, 3 – protlaček, 4 – spodní trn, tj. vyhazovač, 5 – pouzdro trnu)



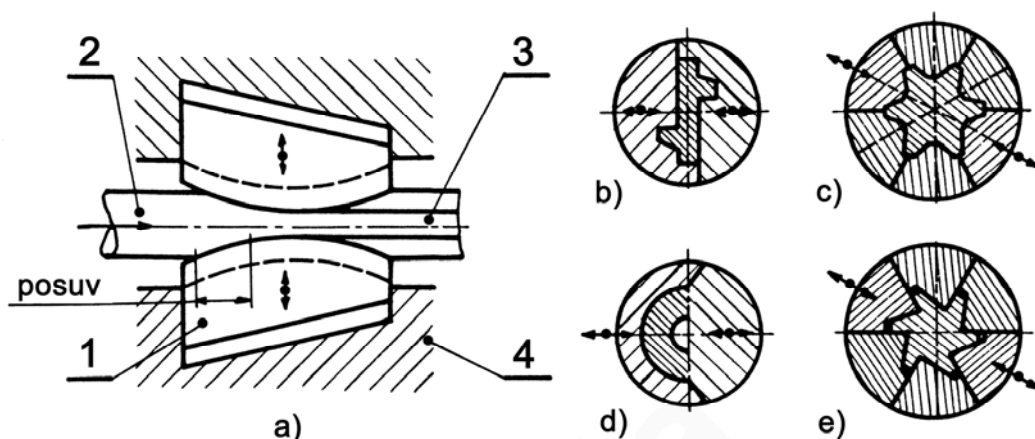
Obr. 4.4 Schémata procesů stranového protlačování (1 – průtláčnice, 2 – průtláčník, 3 – protlaček, 4 – spodní trn, tj. vyhazovač, 5 – horní průtláčnice)



Obr. 4.5 Schémata procesů přechování (a – kalibrace výchozího materiálu, b – přechování materiálu na rozměry, potřebné pro další operaci, c – samostatná operace přechování při víceoperačním tváření, 1 – průtláčník, 2 – vyhazovač, 3 – průtláčnice, 4 – polotovar, 5 – protlaček, 6 – lisovnice, 7 – objímka, tzv. zděř)



Obr. 4.6 Příklad kombinovaného tváření – tváření vložky ve třech operacích (a – první operace, přechování, b – druhá operace, zpětné protlačování, c – třetí operace, stranové protlačování s celkovou kalibrací)

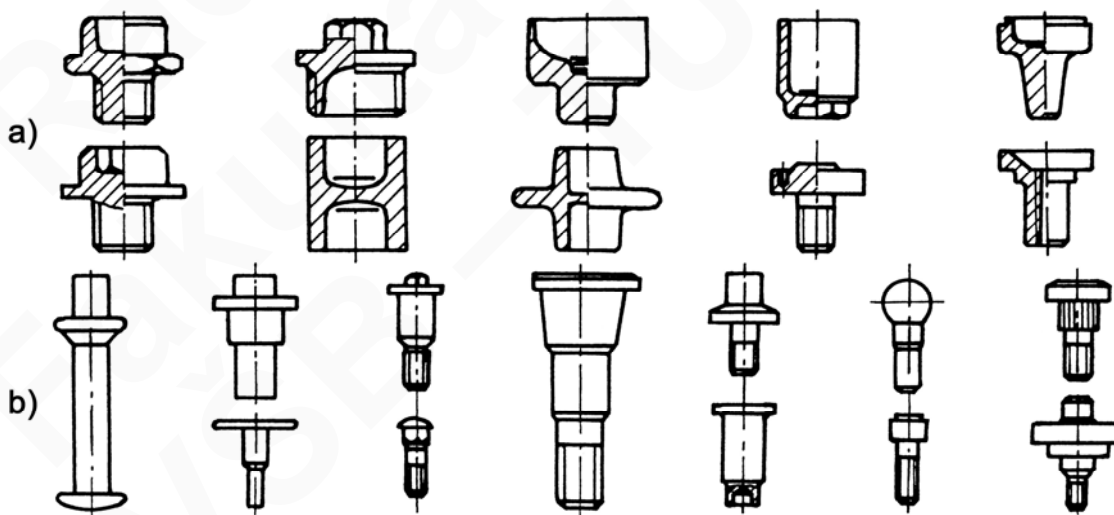


Obr. 4.7 Radiální tváření (1 – tlačné čelisti, 2 – výchozí polotovár, 3 – vytvářený profil, 4 – těleso s vodicími drážkami pro tlačné čelisti)

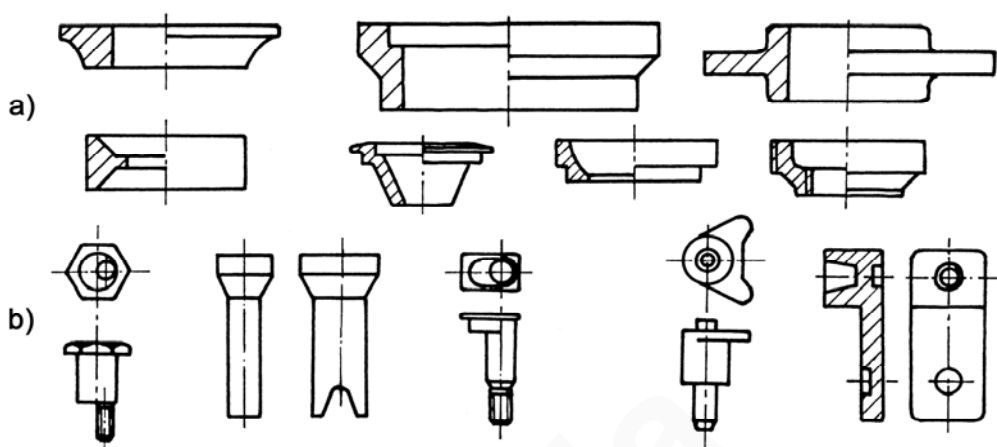
Součásti tvarově vhodné pro objemové tváření zastudena:

Především – rotačně symetrické součásti.

- a) **součásti kalíškového tvaru** (jednostranné i dvoustranné) – vyráběné převážně dopředným a zpětným protlačováním (obr. 4.8 a),
- b) **součásti čepového tvaru** – vyráběné většinou pýchováním, dopředným a stranovým protlačováním (obr. 4.8 b),
- c) **nízké rotační součásti s průchozím otvorem** – zhotovené zpravidla kombinací základních způsobů protlačování (obr. 4.9 a),
- d) **součásti nepravidelného tvaru** (obr. 4.9 b).



Obr. 4.8 Příklady součástí, tvarově vhodných pro objemové tváření zastudena (a – součásti kalíškového tvaru, b – součásti čepového tvaru)



Obr. 4.9 Příklady součástí, tvarově vhodných pro objemové tváření zastudena (a – nízké rotační součásti s průchozím otvorem, b – součásti nepravidelného tvaru)

Výpočet deformací při protlačování:

Poměrná délková deformace:

$$\varepsilon_l = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \cdot 100 \quad (\%). \quad (4.1)$$

Logaritmická délková deformace:

$$\varphi_l = \ln \frac{l_1}{l_0} \quad (-). \quad (4.2)$$

Poměrná průřezová deformace:

$$\varepsilon_s = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100 \quad (\%). \quad (4.3)$$

Logaritmická průřezová deformace:

$$\varphi_s = \ln \frac{S_1}{S_0} \quad (-). \quad (4.4)$$

Je výhodnější používat *logaritmické deformace* – je možno sčítat několik po sobě následujících deformací.

Křivky zpevnění – závislosti napětí na deformaci.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte, jakým způsobem se dá získat křivka zpevnění daného materiálu.

	Průvodce studiem
	Pokud pro materiál protlačku existuje křivka zpevnění , lze z ní pro každou logaritmickou průřezovou deformaci odečíst hodnotu zpevnění. Z průběhu logaritmické průřezové deformace po délce součásti lze tímto způsobem sestavit průběh zpevnění po délce součásti , který má význam pro výsledné vlastnosti součásti (ovlivňuje např. mez únavy součásti).

4.1 Návrh technologického postupu výroby protlačku

1. Volba materiálu (viz 4.1.1)
2. Stanovení tvaru a rozměrů polotovaru (viz 4.1.2)
3. Volba přípravných operací před tvářením (viz 4.1.3)
 - a) dělení materiálu
 - b) tepelné zpracování
 - c) odstranění okují
 - d) povrchová úprava polotovarů
 - e) mazání polotovarů
4. Stanovení počtu tvářecích operací (viz 4.1.4)
5. Dodržení technologických zásad pro návrh protlačků a nástrojů (viz 4.1.5)
 - a) pro dopředné protlačování oceli
 - b) pro dopředné protlačování neželezných kovů
 - c) pro zpětné protlačování
6. Výpočet tvářecí síly a práce (viz 4.1.6)
7. Dokončování výlisků (viz 4.1.7)

4.1.1 Volba materiálu

Požadované vlastnosti:

- a) **stav oceli** – nejvhodnější je **žíhaná na měkko**,
- b) **struktura** – nejlépe **feriticko-perlitická s globulárním perlitem**, průměrná velikost zrna 5 až 8 podle ČSN 42 0463,
- c) **mechanické vlastnosti** – co nejnižší R_e , co nejvyšší A , co nejvyšší Z (min. 55 %), R_e/R_m od 0,5 do 0,6, **malý sklon ke zpevnění**, **dostatečná tvárnost**,
- d) **chemické složení oceli** – nízký obsah C, P a S, minimální výskyt staženin, vycezenin a nekovových vměstků.

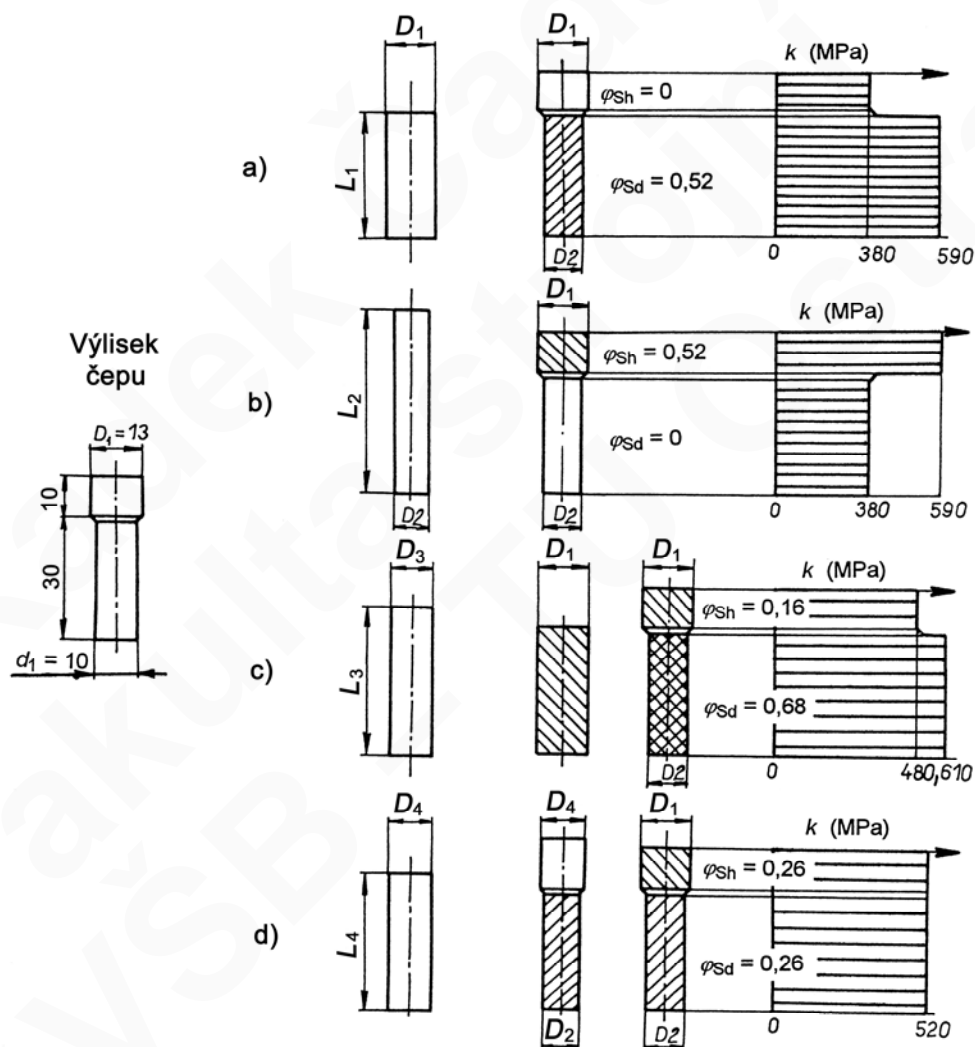


Úkol k zamyšlení

Zdůvodněte postupně každou výše uvedenou požadovanou vlastnost materiálu z hlediska jejího vlivu na průběh plastické deformace při objemovém tváření zastudena.

4.1.2 Stanovení tvaru a rozměrů polotovaru

- **objem výchozího polotovaru** se rovná **objemu konečného protlačku**,
- **tvar a rozměry výchozího polotovaru** mají být co nejvíce podobné **konečnému tvaru a rozměrům hotového protlačku**, mohou se určovat s ohledem na **průběh zpevnění v protlačku** (příklad výlisku čepu – obr. 4.10).



Obr. 4.10 Průběhy zpevnění po délce výlisku, zhotoveného různými technologickými postupy (a – zhotovení součásti dopředným protlačením, b – zhotovení součásti pěchováním, c – zhotovení součásti kombinací dopředného protlačování a pěchování, d – zhotovení součásti tak, aby zpevnění hlavy i díku bylo stejné)

Druhy polotovarů:

1. **plné špalíky kruhového i jiného průřezu** (jejich výška je větší než polovina průměru nebo většího rozměru) – **získávají se** z drátu, tažených tyčí, válcovaných tyčí,
2. **kaloty kruhového, čtvercového i jiného průřezu** (jejich výška je menší než polovina většího průměru nebo rozměru) – **získávají se** z plechů nebo pásů vystřihováním,
3. **špalíky s průchozím otvorem** (jejich výška je větší než polovina většího průměru) – **získávají se** ze silnostěnných bezešvých trubek upichováním, řezáním nebo stříháním,
4. **prstence kruhového, obdélníkového, oválného i jiného průřezu** – **získávají se** z tažených drátů různých průřezů stříháním, svinutím, svařením.

4.1.3 Volba přípravných operací před tvářením

a) Dělení materiálu

- pro výrobu **špalíků** plných nebo s průchozím otvorem – **stříhání tyčí, upichování, řezání na pilách**,
- pro výrobu **kalot** – **vystřihování z plechů nebo pásů** (pomocí stříhadel).

b) Tepelné zpracování

Účel: odstranění vnitřních pnutí, dosažení vyšší tvárnosti, snížení tvrdosti.

Druhy tepelného zpracování polotovarů:

1. **Normalizační žíhání** – ohřev nad A_{C3} , výdrž 30 až 60 minut, pak ochlazení na vzduchu. Zjemní se struktura před protlačováním.
2. **Žíhání na měkko** – při teplotě 680 až 720 °C po dobu 3 až 4 hodin s pomalým ochlazováním v peci. Vhodné u ocelí se zvýšeným obsahem C, dosáhne se změknutí. (Před tímto žíháním se doporučuje polotovary žíhat normalizačně, aby se dosáhlo nejvýhodnější struktury.)
3. **Rekrystalizační žíhání** – mezi tvářecími operacemi, je výhodné u měkkých ocelí (při stupni deformace 25 % stačí u oceli s obsahem 0,2 % C teplota 600 až 650 °C, aby ocel rekrystalizovala a obnovila svou tvárnost).

V elektrických pecích v ochranné atmosféře – proti nadměrnému tvoření okují.

c) Odstranění okují

- **mechanicky** (omílání v bubnech s ocelovou drtí, pískování),
- **mořením** (před mořením se zařazuje **oplach** a **chemické odmaštění polotovarů**),
- **kombinací obou způsobů**.

d) Povrchová úprava polotovarů

Účel: vytvoření co nejpríznivějších podmínek **tření** (tím snížení deformační síly a práce, počtu tvářecích operací a časů), dosažení vysoké **kvality povrchu** po tvářením.

Fosfátování – ve **fosfatizační lázni** (teplota nad 90 °C). Na povrchu polotovaru se vytvoří **pórovitý fosfatový povlak**, tj. tenká vrstva fosforečnanu zinečnatého s malým přídatkem fosforečnanu železa. (Maziva se do fosfatové vrstvy nejen absorbují, ale i chemicky váží, čímž vznikají **kovová mýdla** s výbornými kluznými vlastnostmi.)

	Průvodce studiem
	Tloušťka fosfátové vrstvy je několik mikrometrů a má sametově matný naředlý vzhled. Při vysokých tvářecích tlacích, které se při objemovém tváření zastudena vyskytují, pórovitý fosfátový povlak udrží mazivo, které by jinak uniklo z kontaktních ploch mezi nástrojem a tvářeným materiálem. Udržení maziva vede ke snížení pasivního tření při plastické deformaci a snížení opotřebení nástrojů.

e) Mazání polotovarů

Účel: snížení *tření* (tím snížení deformační síly a práce, počtu tvářecích operací a časů), *chlazení nástroje*, dosažení vysoké *kvality povrchu* po tváření.

Maziva – ve vodě rozpustná mýdla, neemulgující minerální oleje, živočišné a rostlinné tuky. K uvedeným mazivům může být přidán buď *grafit* nebo *sírník molybdeničitý* (MoS_2), obchodní název *Molyko*.

Nanášení maziv – obvykle *ponorem*.

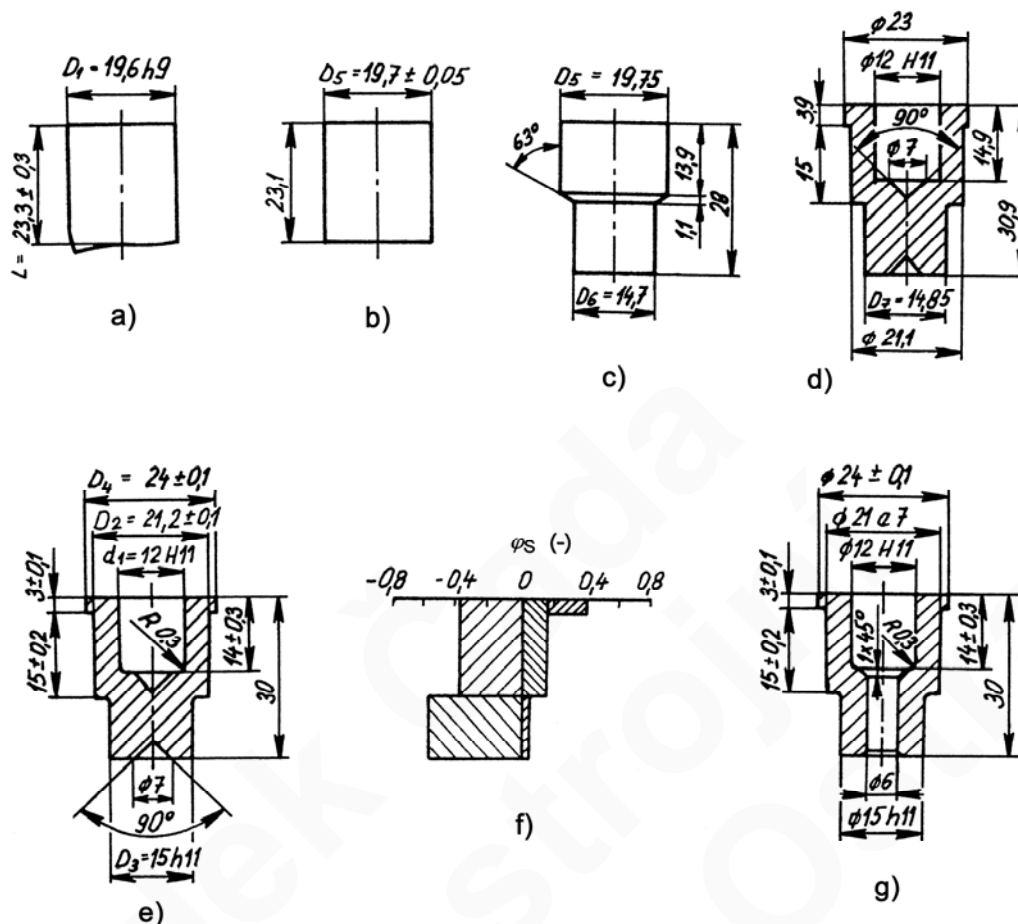
4.1.4 Stanovení počtu tvářecích operací

Počet tvářecích operací je závislý na rozměrech polotovaru a konečného protlačku (tj. na celkové poměrné nebo logaritmické deformaci) a přípustné poměrné nebo logaritmické deformaci, kterou lze dosáhnout jednou tvářecí operací při určitém způsobu protlačování podle druhu tvářené oceli.

Je-li vyčerpána tvárnost materiálu, je nutno zařadit před další tvářecí operaci **tepelné zpracování** a tím odstranit zpevnění.

	Průvodce studiem
	Pro obnovení plastických vlastností materiálu je třeba použít rekrytalizační žíhání , při kterém narostou nová polygonální nedeformovaná zrna kovu.

U víceoperačního tváření je možno sčítáním logaritmických průřezových deformací, dosahovaných v jednotlivých operacích, určit *celkovou logaritmickou průřezovou deformaci* (obr. 4.11) a z ní stanovit podle křivek zpevnění *celkové zpevnění výlisku*.



Obr. 4.13 Technologický postup výroby pouzdra (a – ústřížek, b – kalibrace ústřížku, c – dopředné protlačování díku, d – zpětné protlačování kalíškového tvaru, e – pěchování příruby a celková kalibrace na konečný tvar, f – průběh logaritmické průřezové deformace, g – hotový výrobek po obrobení)

4.1.5 Dodržení technologických zásad pro návrh protlačků a nástrojů

- Rozměry polotovarů v každé jednotlivé tvářecí operaci je nutno stanovit na základě **zákona stálosti objemu výlisku**.
- Je nutno počítat se **snadným zasouváním jednotlivých polotovarů do následujících průtlačnic** (vůle se volí dle zkušeností a počítá se zpětně od konečného výlisku k výchozímu polotovaru)
- **Průtlačnice** má na vnějším tvaru nalisovanou **bandáž** (jednu nebo dvě **zděře**), kterou se dosahuje předpětí průtlačnice zvyšující její trvanlivost.
- Délka protlačovaného díku je omezena vzpěrnou pevností průtlačníku.

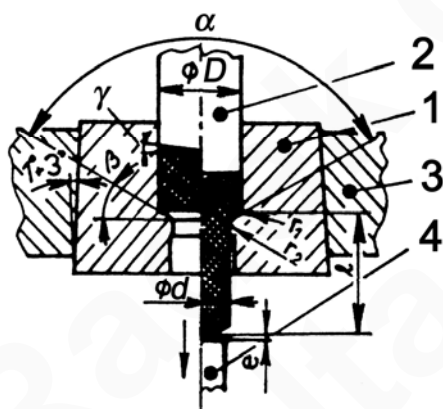


Průvodce studiem

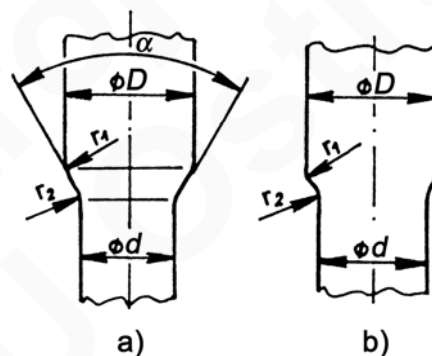
Při návrhu jednotlivých operací technologického postupu výroby je vhodné se zabývat přesouváním objemu materiálu mezi jednotlivými částmi vyráběné součásti a vyvarovat se např. zpětnému přesouvání objemu mezi hlavou a dříkem součásti.

a) Pro dopředné protlačování (obr. 4.14, 4.15 a 4.18)

- **stěny protlačku** rovnoběžné se směrem tváření,
- **stupeň deformace** nižší než přípustný,
- vhodný **redukční úhel průtlačnice** (jeho zvětšováním klesá trvanlivost),
- vhodné **přechodové poloměry redukční části**,
- **čelo průtlačníku** vyduté nebo s úkosem 5 až 10° (rovná čela praskají),
- **vnější tvary protlačku** navrhovat bez ostrých koutů a hran.



Obr. 4.14 Geometrie činných částí nástroje pro dopředné protlačování oceli (1 – průtlačnice, 2 – průtlačník, 3 – objímka, tj. zděř, 4 – vyhazovač)



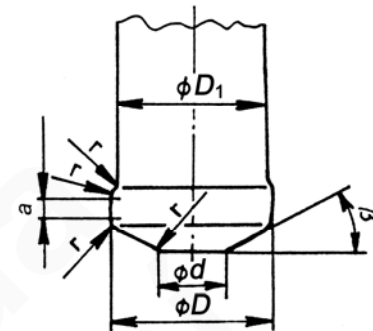
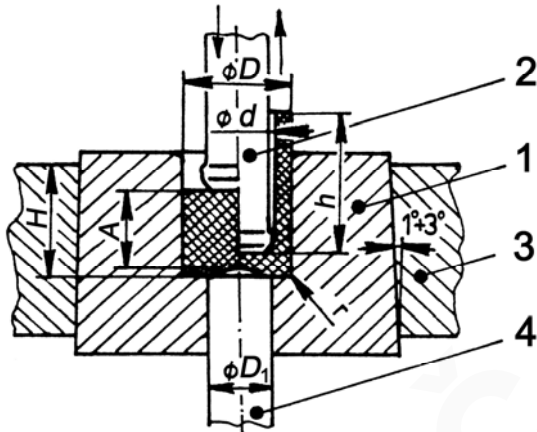
Obr. 4.15 Přechodové poloměry u ocelových protlačků (a – přechod pro velké rozdíly průměrů polotovaru D_0 a protlačku D_1 , b – přechod pro malé rozdíly průměrů)

b) Pro zpětné protlačování (obr. 4.16 až 4.18)

- **stupeň deformace** nižší než přípustný,
- **vnější tvar dna protlačku** mírně vydutý $t = (1 \div 2)$ mm (vypuklý vyhazovač má větší životnost než provedení s rovným čelem),
- **tloušťka dna** má být stejná nebo větší než tloušťka stěny (součásti s velmi tenkým dnem jsou ve dnu tak zpevněny, že vzniká nebezpečí prasklin v nejtenčím místě),
- **poloměr zaoblení dutiny průtlačnice**, tj. u dna kalíšku, větší než minimální,
- vhodná **hloubka dutiny průtlačnice**,
- vhodná **konstrukce čela průtlačníku**:

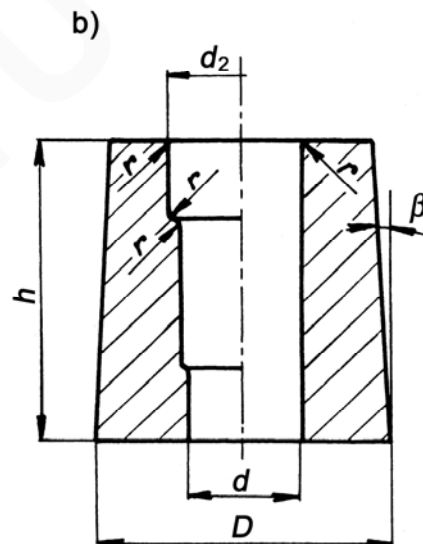
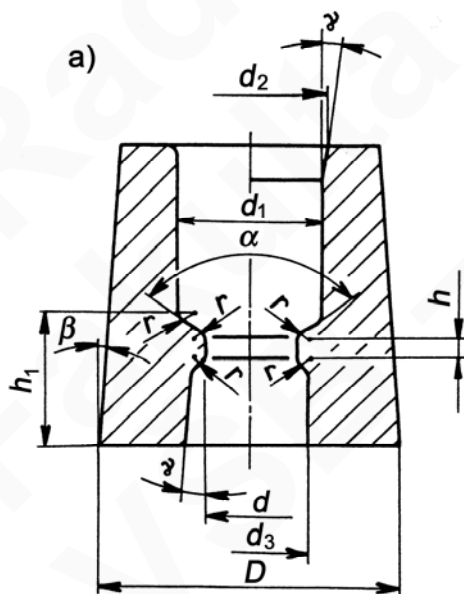
průměr rovného čela průtlačníku
 úkos čela průtlačníku
 výška válcové plošky
 průměr průtlačníku za válcovou ploškou

$d = 0,5 D_0$,
 $\beta = 27^\circ$,
 $a = (2 \div 5) \text{ mm}$,
 $D = D_0 - (0,1 \div 0,3) \text{ mm}$.

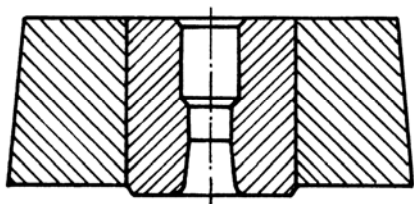


Obr. 4.17 Geometrie čela průtlačníku pro zpětné protlačování oceli

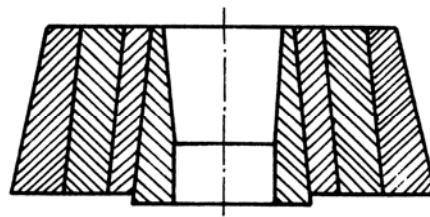
Obr. 4.16 Geometrie činných částí nástroje pro zpětné protlačování oceli (1 – průtlačnice, 2 – průtlačník, 3 – objímka, tj. zděř, 4 – vyhazovač)



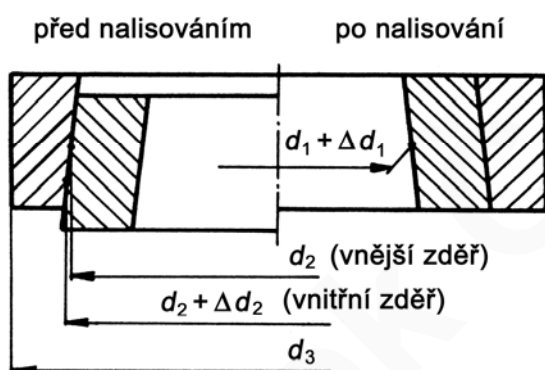
Obr. 4.18 Geometrie průtlačnice (a – pro dopředné protlačování, b – pro zpětné protlačování)



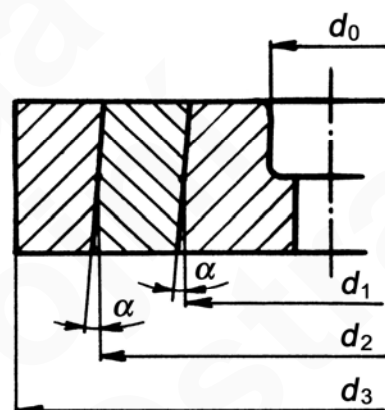
Obr. 4.19 Průtlačnice s jednou zděří



Obr. 4.20 Průtlačnice se třemi zděřími



Obr. 4.21 Sestava dvou zděří před nalisováním a po nalisování

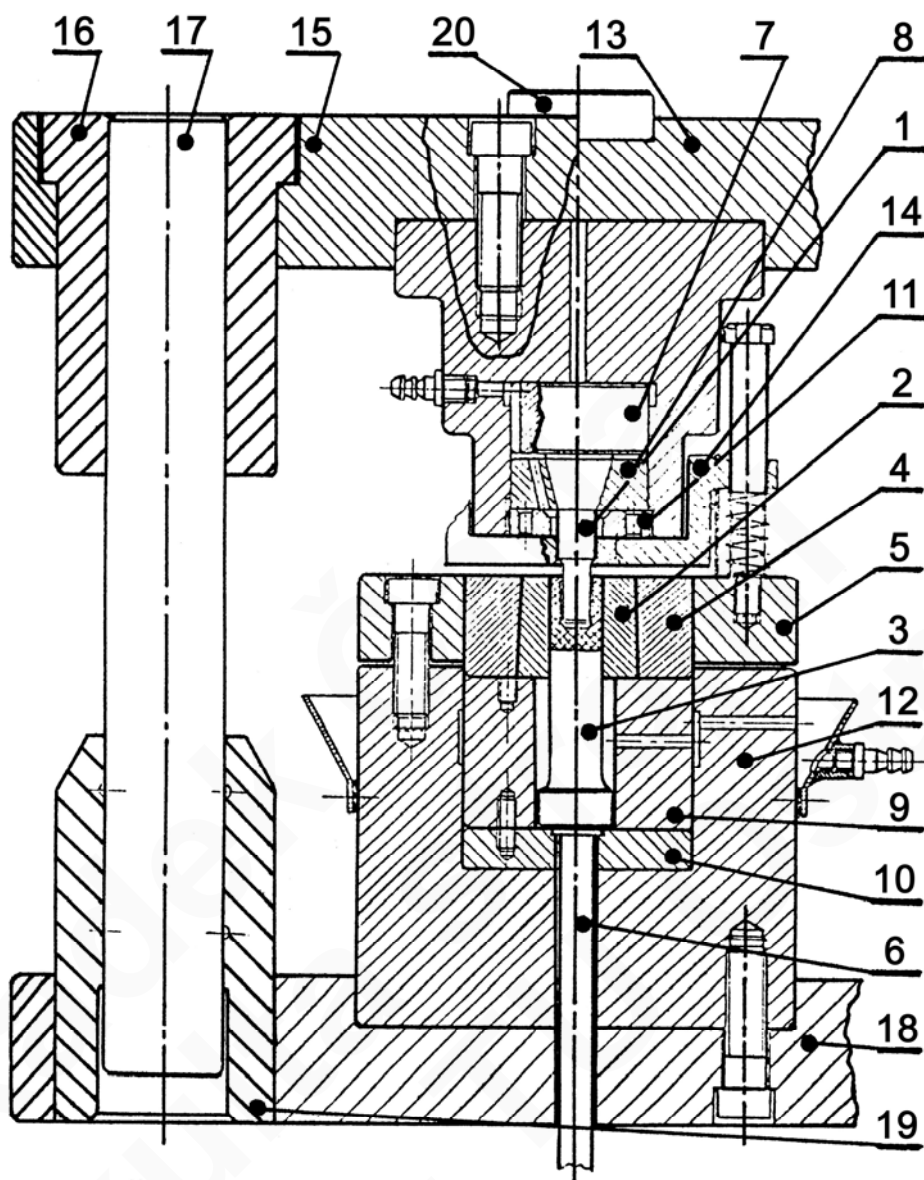


Obr. 4.22 Bandážovaná průtlačnice se dvěma zděřími



Průvodce studiem

Nalisování zděří na průtlačnici se provádí zatepla. Přesahy nalisovaných spojení musí být vypočteny tak, aby po vychladnutí vzniklo potřebné **tlakové předpětí průtlačnice**. Díky tomuto předpětí by při tváření nemělo v žádném místě průtlačnice vzniknout tahové napětí, které by při cyklickém namáhání průtlačnice snížilo její mez únavy a tedy životnost.



Obr. 4.23 Sestava nástroje pro zpětné protlačování se čtyřmi vodicími sloupky (1 – průtlačník, 2 – průtlačnice, 3 – vyhazovač, 4 – zděř vnitřní, 5 – zděř vnější, 6 – vyhazovací kolík, 7 – podložka, 8 – sedlo, 9 – podložka, 10 – vložka, 11 – matice, 12 – těleso, 13 – těleso, 14 – stírač, 15 – deska horní, 16 – pouzdro, 17 – vodicí sloupek, 18 – deska dolní, 19 – vodicí pouzdro, 20 – středící vložka)

	Průvodce studiem
	Na sestavě nástroje pro zpětné protlačování (obr. 4.23) si všimněte uzavřeného okruhu mazání – mazivo je přiváděno horním nátrubkem přes kanálky postupně až k průtlačníku, po kterém stéká. V dolní části nástroje je odvod maziva kanálky do zásobníku s nátrubkem. Mezi dolním a horním nátrubkem se umísťují hadice a čerpadlo. Na sestavě je rovněž patrná ochrana horního držáku nástroje proti omačkání při vysokých tvářecích tlacích – je to kalená podložka 7, která brání otisknutí průtlačníku do držáku. Na sestavě je rovněž

zřejmý způsob **středění průtlačníku v horní části nástroje**. Jde o středění na kužel, kdy je použito sedlo 8 s kuželovým otvorem, dosedajícím na kuželovou část průtlačníku 1. Přitlačení sedla 8 na průtlačník 1 se docílí dotažením matice 11. Vzhledem k tomu, že při zpětném protlačování zůstává protlaček po tváření na průtlačníku, je nástroj vybaven **stíračem 14**, který protlaček z průtlačníku 1 setře. Nástroj je kvůli zabezpečení přesného středění průtlačníku 1 do průtlačnice 2 namontován do **vodicího stojánu** se čtyřmi vodicími sloupky v rozích.

4.1.6 Výpočet tvářecí síly a práce

Tvářecí síla (potřebná k dimenzování nástrojů a kontrole jmenovité síly zvoleného lisu):

$$F = k_{ps} \cdot S \quad (\text{N}), \quad (4.5)$$

kde jsou S – průřez činné části průtlačníku (mm^2), k_{ps} – střední přetvárný odpor materiálu (MPa)

Aby nenastalo porušení činných částí nástroje, nesmí hodnota k_{ps} překročit **dovolené namáhání v tlaku materiálu činných částí** ($k_{ps} = \max. 1800 \text{ až } 2200 \text{ MPa}$, výjimečně 2700 MPa).

Tvářecí práce:

$$A = F \cdot h \quad (\text{J}), \quad (4.6)$$

kde jsou F – tvářecí síla (N), h – dráha průtlačníku, během které probíhá vlastní tváření (m).

4.1.7 Dokončování výlisků

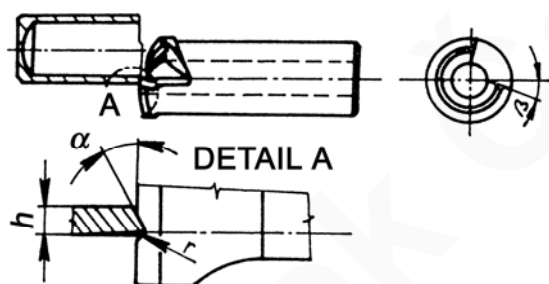
Nerovné okraje výlisků vznikají z následujících příčin:

- u rotačních výlisků tvářených z kalot **vlivem anizotropie mechanických vlastností výchozích pásů nebo plechů**,
- u nerotačních výlisků tvářených z kalot **vlivem nerovnoměrného toku tvářeného materiálu**,
- u všech výlisků tvářených přímo ze stříhaných špalíků **s deformacemi jejich konců vlivem stříhu**,
- nestejnými objemy výchozích polotovárů** (jsou způsobeny poměrně širokými výrobními tolerancemi tloušťky pásů, z nichž se stříhají kaloty, nebo tolerancemi průměrů tyčí dělených na špalíky).

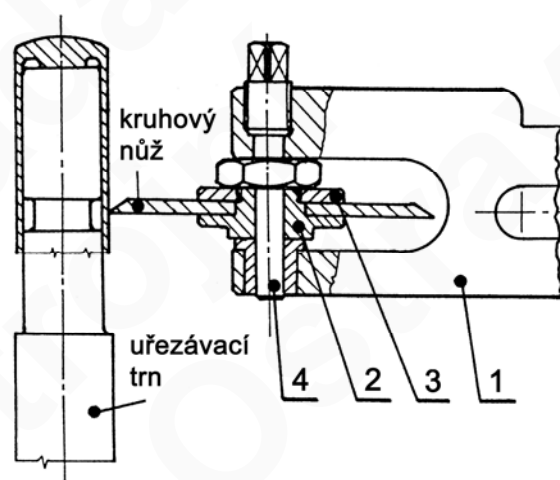
Druhy dokončování výlisků:

- zarovnání okrajů** – nejčastější dokončovací operace u výlisků,
 - zarovnání soustružením trubkovým nožem** – pro duté rotační součásti malých rozměrů (obr. 4.24),

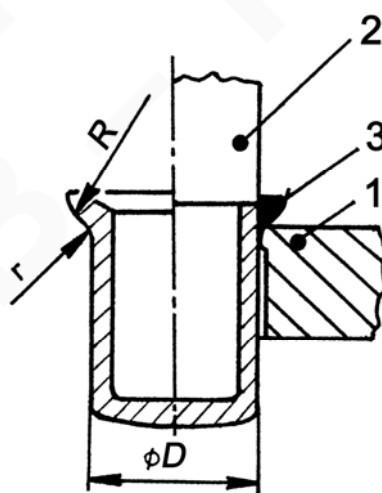
- b) **zarovnání kruhovým nožem** – pro tenkostěnné rotační součásti, výlisek navlečený na rotujícím trnu se rozdělí tlakem nože, otočně uloženém na čepu (vznikne dovnitř zahnutý okraj) (obr. 4.25),
2. **ostřihování okraje výlisků** – ve zvláštním ostřihovacím nástroji (obr. 4.26),
3. **dokončování dutin vrtáním** – usnadňuje se **vylišováním důlků pro středění vrtacích nástrojů**, které se slučuje s některou operací (samostatně by bylo neekonomické),
4. **odstranění otřepů z dosedacích ploch** – vznikají nejčastěji v místech po dělicích rovinách nástrojů, odstraňují se před soustružením z důvodu přesnějšího upnutí,
 - a) **omíláním v bubnech** – u drobných ocelových výlisků, v čedičové drti s kyselinou fosforečnou,
 - b) **vibračním omíláním** – brusným práškem vhodné zrnitosti ve vibračním bubnu.



Obr. 4.24 Zarovnávání dutých součástí trubkovým nožem



Obr. 4.25 Zarovnávání dutých součástí kruhovým nožem (1 – těleso držáku, 2 – náboj, 3 – příložka, 4 – čep)



Obr. 4.26 Ostřihování okraje protlačku po dopředném protlačování (1 – střížnice, 2 – střížník, 3 – ostřihovaný okraj protlačku)



Shrnutí kapitoly

Technologie objemového tváření zastudena poskytuje následující výhody: působení *prostorové napjatosti* (vhodné pro velké plastické deformace), malá spotřeba materiálu (minimální odpad), krátké výrobní časy (vysoká produktivita práce), vysoká kvalita výrobků (jakost povrchu, rozměrová přesnost, zpevnění, nepřerušný průběh vláken, zvýšení meze únavy výlisků).

Základní způsoby objemového tváření zastudena:

1. **dopředné protlačování** (materiál teče ve směru pohybu průtlačníku),
2. **zpětné protlačování** (materiál teče proti směru pohybu průtlačníku),
3. **sdužené protlačování** (je kombinací obou výše uvedených způsobů),
4. **stranové protlačování** (materiál teče kolmo na pohyb průtlačníku),
5. **pěchování** (stlačování výchozího polotovaru a tím zvětšování jeho průřezu),
6. **kombinované tváření** (je kombinací jednotlivých výše popsanych způsobů),
7. **radiální tváření** (provádí se radiálně se pohybujícími *tvárovými čelistmi*).

Součásti tvarově vhodné pro objemové tváření zastudena: především rotačně symetrické součásti (**součásti kalíškového tvaru**, **součásti čepového tvaru**, **nízké rotační součásti s průchozím otvorem**, **součásti nepravidelného tvaru**).

Výpočet deformací při protlačování: je výhodnější používat *logaritmické deformace*, protože je možno sčítat několik po sobě následujících deformací.

$$\text{Poměrná délková deformace: } \varepsilon_l = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \cdot 100 \quad (\%).$$

$$\text{Logaritmická délková deformace: } \varphi_l = \ln \frac{l_1}{l_0} \quad (-).$$

$$\text{Poměrná průřezová deformace: } \varepsilon_S = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100 \quad (\%).$$

$$\text{Logaritmická průřezová deformace: } \varphi_S = \ln \frac{S_1}{S_0} \quad (-).$$

Etapy návrhu technologického postupu výroby protlačku jsou následující:

1. Volba materiálu
2. Stanovení tvaru a rozměrů polotovaru
3. Volba přípravných operací před tvářením
4. Stanovení počtu tvářecích operací
5. Dodržení technologických zásad pro návrh protlačků a nástrojů
6. Výpočet tvářecí síly a práce
7. Dokončování výlisků

Požadované vlastnosti materiálu pro objemové tváření zastudena:

- a) **stav oceli** – nejvhodnější je *žíhaná na měkko*,
- b) **struktura** – nejlépe *feriticko-perlitická s globulárním perlitem, průměrná velikost zrna 5 až 8 podle ČSN 42 0463*,
- c) **mechanické vlastnosti** – co nejnižší R_e , co nejvyšší A , co nejvyšší Z (min. 55 %), R_e/R_m od 0,5 do 0,6, *malý sklon ke zpevnění, dostatečná tvárnost*,
- d) **chemické složení oceli** – nízký obsah C, P a S, minimální výskyt stažení,

vycezenin a nekovových vměstků.

Stanovení tvaru a rozměrů polotovaru: *objem výchozího polotovaru se rovná objemu konečného protlačku, tvar a rozměry výchozího polotovaru mají být co nejvíce podobné konečnému tvaru a rozměrům hotového protlačku (mohou se určovat s ohledem na průběh zpevnění v protlačku).*

Druhy polotovarů pro objemové tváření zastudena: **plné špalíky kruhového i jiného průřezu** (jejich výška je větší než polovina průměru nebo vnějšího rozměru), **kaloty kruhového, čtvercového i jiného průřezu** (jejich výška je menší než polovina vnějšího průměru nebo rozměru), **špalíky s průchozím otvorem** (jejich výška je větší než polovina vnějšího průměru), **prstence kruhového, obdélníkového, oválného i jiného průřezu**.

Přípravné operace před tvářením:

- dělení materiálu** (pro výrobu špalíků plných nebo s průchozím otvorem – **stříhání tyčí, upichování, řezání na pilách**, pro výrobu kalot – **vystřihování z plechů nebo pásů** pomocí stříhadel),
- tepelné zpracování** (pro odstranění vnitřních pnutí, dosažení vyšší tvárnosti, snížení tvrdosti),
- odstranění okují** (**mechanicky** – omílání v bubnech s ocelovou drtí, pískování, **mořením** – před mořením se zařazuje oplach a **chemické odmaštění polotovarů, kombinací obou způsobů**),
- povrchová úprava polotovarů** (pro vytvoření co nejpříznivějších podmínek **tření**, dosažení vysoké **kvality povrchu** po tvářením, používá se fosfátování),
- mazání polotovarů** (pro snížení **tření, chlazení nástroje**, dosažení vysoké **kvality povrchu** po tvářením).

Druhy tepelného zpracování polotovarů pro objemové tváření zastudena:

- Normalizační žíhání** – ohřev nad A_{C3} , výdrž 30 až 60 minut, pak ochlazení na vzduchu. Zjemní se struktura před protlačováním.
- Žíhání na měkko** – při teplotě 680 až 720 °C po dobu 3 až 4 hodin s pomalým ochlazením v peci. Vhodné u ocelí se zvýšeným obsahem C, dosáhne se změknutí. (Před tímto žíháním se doporučuje polotovary žíhat normalizačně, aby se dosáhlo nejvýhodnější struktury.)
- Rekrystalizační žíhání** – mezi tvářecími operacemi, je výhodné u měkkých ocelí.

Fosfátování – přípravná operace před tvářením. Provádí se **ve fosfatizační lázni** (teplota nad 90 °C). Na povrchu polotovaru se vytvoří **pórovitý fosfátový povlak**, tj. tenká vrstva fosforečnanu zinečnatého s malým přídatkem fosforečnanu železa. (Maziva se do fosfátové vrstvy nejen absorbují, ale i chemicky váží, čímž vznikají **kovová mýdla** s výbornými kluznými vlastnostmi.)

Maziva – ve vodě rozpustná mýdla, neemulgující minerální oleje, živočišné a rostlinné tuky. K uvedeným mazivům může být přidán buď **grafit** nebo **sírník molybdeničitý** (MoS_2), obchodní název **Molyko**. Maziva se obvykle nanáší **ponorem**.

Počet tvářecích operací je závislý na rozměrech polotovaru a konečného protlačku (tj. na celkové poměrné nebo logaritmické deformaci) a přípustné poměrné nebo logaritmické deformaci, kterou lze dosáhnout jednou tvářecí operací při určitém způsobu protlačování podle druhu tvářené oceli. Je-li vyčerpána tvárnost materiálu, je nutno zařadit před další tvářecí operaci **tepelné zpracování** a tím odstranit zpevnění. U **víceoperačního tváření** je možno sčítáním logaritmických průřezových deformací, dosahovaných v jednotlivých operacích, určit **celkovou logaritmickou průřezovou deformaci** a z ní stanovit podle křivek zpevnění **celkové zpevnění výlisku**.

Technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů: Rozměry polotovarů v každé jednotlivé tvářecí operaci je nutno stanovit na základě **zákona stálosti objemu výlisku**. Je

nutno počítat se **snadným zasouváním jednotlivých polotovarů do následujících průtlačnic**. Průtlačnice má na vnějším tvaru nalisovanou **bandáž** (jednu nebo dvě zděře), kterou se dosahuje předpětí průtlačnice zvyšující její trvanlivost. Délka protlačovaného dířku je omezena vzpěrnou pevností průtlačníku.

Technologické zásady pro dopředné protlačování: stěny protlačku rovnoběžné se směrem tváření, *stupeň deformace* nižší než přípustný, vhodný *redukční úhel průtlačnice* (jeho zvětšováním klesá trvanlivost), vhodné *přechodové poloměry redukční části, čelo průtlačníku* vyduté nebo s úkosem 5 až 10°, *vnější tvary protlačku* navrhovat bez ostrých koutů a hran.

Technologické zásady pro zpětné protlačování: *stupeň deformace* nižší než přípustný, *vnější tvar dna protlačku* mírně vydutý $t = (1 \div 2)$ mm, *tloušťka dna* má být stejná nebo větší než tloušťka stěny, *poloměr zaoblení dutiny průtlačnice*, tj. u dna kalíšku, větší než minimální, vhodná *hloubka dutiny průtlačnice*, vhodná *konstrukce čela průtlačníku*.

Tvářecí síla při objemovém tváření zastudena: $F = k_{ps} \cdot S$ (N).

Tvářecí práce při objemovém tváření zastudena: $A = F \cdot h$ (J).

Nerovné okraje výlisků vznikají z následujících příčin:

- u rotačních výlisků tvářených z kalot **vlivem anizotropie mechanických vlastností výchozích pásů nebo plechů**,
- u nerotačních výlisků tvářených z kalot **vlivem nerovnoměrného toku tvářeného materiálu**,
- u všech výlisků tvářených přímo ze stříhaných špalíků **s deformacemi jejich konců vlivem stříhu**,
- nestejnými objemy výchozích polotovarů** (jsou způsobeny poměrně širokými výrobními tolerancemi tloušťky pásů, z nichž se stříhají kaloty, nebo tolerancemi průměrů tyčí dělených na špalíky).

Druhy dokončování výlisků:

- zarovnání okrajů** – nejčastější dokončovací operace u výlisků,
 - zarovnání soustružením trubkovým nožem** – pro duté rotační součásti malých rozměrů,
 - zarovnání kruhovým nožem** – pro tenkostěnné rotační součásti, výlisek navlečený na rotujícím trnu se rozdělí tlakem nože, otočně uloženém na čepu,
- ostřihování okraje výlisků** – ve zvláštním ostřihovacím nástroji,
- dokončování dutin vrtáním** – usnadňuje se *vylisováním důlků pro středění vrtacích nástrojů*, které se slučuje s některou operací,
- odstranění otřepů z dosedacích ploch** – vznikají nejčastěji v místech po dělicích rovinách nástrojů, odstraňují se před soustružením z důvodu přesnějšího upnutí,
 - omíláním v bubnech** – u drobných ocelových výlisků, v čedičové drti s kyselinou fosforečnou,
 - vibračním omíláním** – brusným práškem vhodné zrnitosti ve vibračním bubnu.

	Pojmy k zapamatování
	Objemové tváření zastudena, napjatost, plastická deformace, jakost povrchu, zpevnění, průběh vláken, mez únavy, výlisek, dopředné protlačování, sousledné protlačování, průtlačník, zpětné protlačování, protisměrné protlačování, sdružené protlačování, obousměrné protlačování, stranové protlačování, polotovary, pěchování, kombinované tváření, součást, radiální tváření, čelist, poměrná délková deformace, logaritmická délková deformace, poměrná průřezová deformace, logaritmická průřezová deformace, křivka zpevnění, napětí, technologický postup výroby, stav oceli, žíhání na měkko, struktura, ferit, perlit, globulární perlit, velikost zrna, mechanické vlastnosti, tvárnost, chemické složení, ocel, staženina, vycezenina, vměstek, polotovary, protlačky, špalík, kalota, upichování, řezání, stříhání, vystřihování, drát, tyč, pila, stříhadlo, tepelné zpracování, vnitřní pnutí, tvrdost, normalizační žíhání, žíhání na měkko, rekrystalizační žíhání, elektrická pec, ochranná atmosféra, okuje, moření, tření, fosfátování, fosfatizační lázeň, mazivo, vule, průtlačnice, bandáž, zděř, předpětí, redukční úhel průtlačnice, vyhazovač, čelo průtlačníku, tvářecí síla, přetvárný odpor, jmenovitá síla, dimenzování, dovolené namáhání, tvářecí práce, vodící sloupek, stírač, anizotropie, soustružení, trubkový nůž, kruhový nůž, ostřihování, vrtání, středící důlek, otřep, omílání.

	Odměna a odpočinek
	Výborně, jde vám to velmi dobře – čtvrtou kapitolu máte za sebou! Teď si dejte pauzičku, pusťte si příjemnou relaxační hudbu a následně odpovězte na jednotlivé kontrolní otázky kapitoly.

	Kontrolní otázky
	Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo čtvrté kapitoly „Objemové tváření zastudena“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek: 1. Jaké jsou výhody technologie objemového tváření materiálu zastudena? 2. Dokážete popsat základní způsoby objemového tváření zastudena? 3. Jaké druhy součástí je vhodné vyrábět objemovým tvářením zastudena? 4. Jaké rovnice se používají pro výpočet poměrných a logaritmických deformací? 5. Jakou výhodu má použití logaritmických deformací oproti poměrným? 6. Jaké jsou etapy návrhu technologického postupu výroby protlačky? 7. Jaké vlastnosti má mít materiál pro zpracování objemovým tvářením zastudena? 8. Znáte postup stanovení tvaru a rozměrů polotovaru pro objemové tváření zastudena? 9. Jaké jsou druhy polotovarů pro objemové tváření zastudena? 10. Dokážete vyjmenovat přípravné operace před tvářením? 11. Jakým způsobem se vyrábějí kaloty?

	12. Jaký je účel a vhodné varianty tepelného zpracování polotovarů pro objemové tváření zastudena? 13. Jaké jsou způsoby odstranění okují z polotovarů pro objemové tváření zastudena? 14. Co je to fosfátování? Jaký je účel fosfátování při úpravě polotovarů před tvářením? 15. Proč se provádí mazání polotovarů při objemovém tváření zastudena? 16. Jak se stanoví počet tvářecích operací při objemovém tváření zastudena? 17. Jaké jsou technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů? 18. Jak se vypočte tvářecí síla při objemovém tváření zastudena? Jak se vypočte při stejném procesu tvářecí práce? 19. Proč se vyrábí průtlačnice bandážované? 20. Jak se změní vlastnosti výchozího materiálu po objemovém tváření zastudena? 21. Z jakých příčin vznikají nerovné okraje výlisků při objemovém tváření zastudena? 22. Jaké jsou druhy dokončování výlisků po objemovém tváření zastudena? 23. Jak se usnadňuje dokončování dutin protlačků vrtáním?
--	--



Literatura

- [1] BŘEZINA, R. *Technologie I – část 1 : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 80 s. ISBN 80-7078-439-3.
- [2] ČADA, R. *Technologie I – část tváření a slévání : návody do cvičení : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 188 s. ISBN 80-7078-540-3.
- [3] PETRŽELA, Z., KUČERA, J. a BŘEZINA, R. *Technologie slévání, tváření a svařování : skriptum*. 2. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1987. 329 s. (bez ISBN).
- [4] PETRŽELA, Z. *Základy teorie a technologie strojírenského tváření : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1980. 378 s. (bez ISBN).
- [5] KOLLEROVÁ, M. *Tvářenie kovov : skriptum*. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1984. 288 s. (bez ISBN).
- [6] ČABELKA, J. a kol. *Mechanická technológia*. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1967. 1036 s. (bez ISBN).



Náměty pro tutoriál

Vysvětlete výhody technologie objemového tváření zastudena. Uveďte příklady z praxe, kdy tato technologie byla úspěšně využita pro výrobu součástí.

Popište postup stanovení celkového zpevnění protlačku. Uveďte příklady z praxe, kdy je důležité, aby zpevnění po délce protlačku bylo téměř stejné.

	Korespondenční úkol
	Program č. 2 „Objemové tváření zastudena“ Zadání: Navrhnete technologický postup výroby zadané součásti objemovým tvářením zastudena: - nakreslete náčrt (bez měřítka) jednotlivých fází postupu výroby součásti a pro každou fázi postupu napište komentář, co se v ní provádí, - stanovte vhodný tvar a rozměry výchozího polotovaru, - vyberte vhodný materiál polotovaru a zdůvodněte jeho volbu, proveďte předpis polotovaru, - uveďte potřebné úpravy polotovaru před tvářením, - nakreslete v měřítku (tužkou, nebo s využitím PC) součást v jednotlivých fázích postupu při dodržení technologických zásad a všechny fáze okótujte, - provedte kontrolu objemů materiálu protlačku u jednotlivých fází postupu výroby součásti a kontrolu, zda v některé operaci není překročena hodnota maximální přípustné deformace (pokud je, návrh fází postupu korigujte), - pro každou operaci nakreslete v měřítku (tužkou, nebo s využitím PC) pracovní prostor nástrojů a okótujte (včetně zakótování uložení průtlačníku a vyhazovače), přičemž vlevo od osy nástroje nakreslete situaci před tvářením, vpravo od osy nástroje situaci při dokončení tváření, tj. při největším zasunutí průtlačníku do průtlačnice), - vypočtete a graficky znázorníte jednak logaritmickou průřezovou deformaci, jednak zpevnění materiálu po délce hotové součásti.

	Průvodce studiem
	Další kapitola se věnuje jiné technologii, a to dělení materiálu. Tato technologie se uplatňuje jak v rámci technologické přípravy výroby (dělení hutních polotovarů pro strojírenskou výrobu), tak při vlastní výrobě součástí.

5 DĚLENÍ MATERIÁLU

	Rychlý náhled do problematiky kapitoly
	Pátá kapitola řeší dělení materiálu. Jsou v ní objasněny základní operace plošného stříhání, střížná plocha, velikost střížné mezery, výpočet střížné plochy, síly a práce, stříh skloněnými noži, zařízení ke stříhání – nůžky a lisy, rozdělení stříhadel, vystřihování součástí z tenkých plechů gumou, nástřihové plány, hospodárnost nástřihového plánu. Je vysvětlena technologie přesného stříhání (přistřihování, stříhání se zaoblenou střížnou hranou, stříhání se zkoseným přidržovačem, stříhání s nátláčnou hranou, reverzní stříhání), objemové stříhání (zastudena a zatepla), stříhání tenkostěnných profilů a trubek (na profilových nůžkách, v nástroji s odpadem a bez odpadu, kotoučovými noži) a technologie lámání materiálu. Člení se na následující podkapitoly: 5.1 Plošné stříhání 5.1.1 Střížná plocha a její kvalita 5.1.2 Velikost střížné mezery 5.1.3 Střížná plocha, síla a práce 5.1.4 Stříh skloněnými noži 5.1.5 Zařízení ke stříhání 5.1.5.1 Stříhadla 5.1.5.2 Vystřihování součástí z tenkých plechů gumou 5.1.6 Nástřihové plány 5.1.7 Přesné stříhání 5.2 Objemové stříhání 5.3 Stříhání tenkostěnných profilů a trubek 5.4 Lámání

	Cíle kapitoly
	Budete umět: • definovat a vysvětlit pojem stříhání, • pojmenovat a objasnit oblasti, které vznikají na střížné ploše, • zvolit vhodnou velikost střížné mezery, • vypočítat střížnou plochu, maximální střížnou sílu a střížnou práci, • popsat výhody a nevýhody stříhání skloněnými noži, • rozdělit stříhadla podle funkce a podle druhu vedení, • vyložit podstatu vystřihování součástí z tenkých plechů gumou, • objasnit základní atributy přesného stříhání, • popsat způsoby stříhání tenkostěnných profilů a trubek. Získáte: • přehled o rozdělení technologií dělení materiálu, • znalosti o zařízeních ke stříhání, • informace o složení stříhadel, • přehled o základních způsobech seskupování výstřížků, • poznatky o jednotlivých technologiích přesného stříhání.

	Budete schopni: • popsat základní operace plošného stříhání, • vysvětlit, na čem závisí tvar a jakost střížné plochy, • určit, který rozměr střížníku nebo střížnice je určující při vystřihování a při děrování, • popsat druhy nůžek a lisů používaných ke stříhání, • zkonstruovat nástřihový plán a vypočítat jeho hospodárnost, • vysvětlit způsoby objemového stříhání zastudena a zatepla, • popsat podstatu technologie lámání a uvést způsoby lámání.
--	--

	Klíčová slova kapitoly
	Dělení materiálu, stříhání, smyk, plošné stříhání, objemové stříhání, lámání, vrub, střížník, střížnice, křivka stříhu, prosté stříhání, přestřihování, děrování, vystřihování, přistřihování, nástřihování, prostřihování, protrhávání, vysekávání, ostřihování, přesné stříhání, výsečník, střížná plocha, střížná hrana, napjatost, čelo nože, oblast plastického stříhu, lom, otěr, otřep, střížná vůle, pevnost materiálu ve stříhu, střížná síla, střížná práce, stříh skloněnými noži, tabulové nůžky, pákové nůžky, vibrační nůžky, kotoučové nůžky, nůžky na profily, letmé nůžky, mechanický lis, výstředníkový lis, klikový lis, vysekávací automat, hydraulický lis, stříhadlo, vodící deska, vodící sloupky, vodící stojánek, postupové stříhadlo, sdružené stříhadlo, otevřené stříhadlo, ponorná deska, nástřihový plán, seskupování výstřížků, přepážka, boční odpad, hospodárnost nástřihového plánu, součinitel využití materiálu, zkosený přidržovač, nátlčná hrana, reverzní stříhání, otevřené nože, uzavřené nože, přesné objemové stříhání, objemové stříhání zatepla, tenkostěnný profil, profilové nůžky, lámání konzolové.

	Čas potřebný ke studiu kapitoly: 4 hodiny
---	---

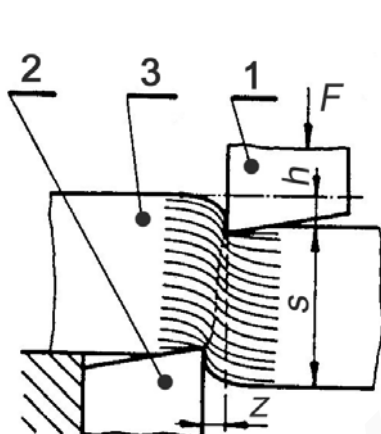
	Průvodce studiem
	Tato kapitola je důležitým teoretickým základem pro zpracování první části třetího korespondenčního úkolu – návrhu technologie stříhání přístřihů pro tažení dutých výtažků z plechu.

Rozdělení:

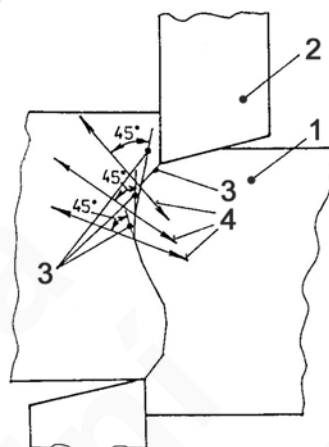
- A) stříhání** (materiál se odděluje *smýkovým působením dvou břitů*, rozdělení předchází značná deformace – hodí se pro měkké, tvárné materiály menších tloušťek),
- plošné stříhání,**
 - objemové stříhání,**
- B) lámání** (láme se *ohybem*, rozdělení v žádaném místě se napomáhá *vrubem*, hodí se pro dělení tvrdších, křehčích materiálů o velké tloušťce).

5.1 Plošné stříhání

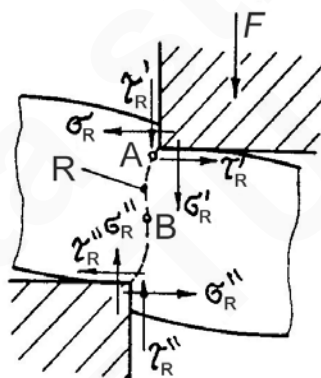
Stříhání – oddělování částic materiálu *smykovým působením dvojice nástrojů* (nožů, nebo střížníku a střížnice) podél *křivky stříhu* (obr. 5.1).



Obr. 5.1 Deformace vláken v místě stříhu (1 – horní nůž, 2 – spodní nůž, 3 – stříhaný materiál, s – tloušťka stříhaného materiálu, h – hloubka zatlačení horního nože, z – střížná mezera)



Obr. 5.2 Tvar střížné plochy (1 – stříhaný materiál, 2 – horní nůž, 3 – směry maximálních smykových napětí $\tau_{\max}$, 4 – směry hlavních normálových napětí σ)



Obr. 5.3 Napětí v místě stříhu (A – oblast blízko střížné hrany, B – oblast vzdálená od střížné hrany)

Základní operace plošného stříhání (obr. 5.4):

- prosté stříhání** – rozdělávání materiálu (pásů, tabulí, tyčí), někdy též *přestřihování*,
- děrování** – vytváření otvorů různých tvarů,
- vystřihování** – zhotovení výstřižku oddělením materiálu po uzavřeném obrysu, vystřižená část je výrobek,
- vystřihování zářezů** – oddělování částí v okraji, vystřižená část je odpad,
- přistřihování** – dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch,
- nastřihování** – částečné oddělení materiálu v okraji tak, že není úplně oddělen,

- g) **prostřihování** – částečné oddělení materiálu v libovolném tvaru uvnitř dílce,
h) **protrhávání** – protržení materiálu pro vytvoření hrotů, otvorů,
i) **vysekávání** – oddělování materiálu výsečníkem na podložce,
j) **ostřihování** – oddělování přebytečného materiálu,
k) **přesné stříhání** – dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch.

Druh stříhání	Schéma	Výrobek	Odpad
Prosté stříhání - rozdělování materiálu (pásu, tabulí, tyčí)			—
Děrování - vytváření otvorů různých tvarů			
Vystřihování - zhotovení výstřižků různého tvaru			
Přistřihování - dosažení přesných tvarů, rozměrů, hladkých ploch			
Nastřihování - částečné nastřížení materiálu na okraji			—
Prostřihování - částečné nastříhnutí materiálu uvnitř dílce			—
Protrhávání - protržení materiálu pro vytvoření otvoru, hrotu apod.			—
Vysekávání - oddělování materiálu výsečníkem na podložce			
Ostřihování - oddělování přebytečného materiálu			

Obr. 5.4 Základní operace plošného stříhání

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití základních operací plošného stříhání při výrobě součástí v praxi.

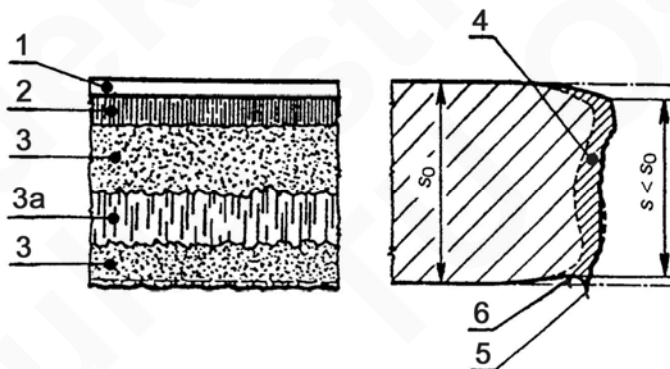
5.1.1 Střížná plocha a její kvalita

Tvar a jakost střížné plochy – závisí na vlastnostech materiálu, velikosti střížné mezery, tvaru a geometrii střížných hran, stavu napjatosti a rychlosti stříhání

Oblasti na střížné ploše (obr. 5.5):

- a) **zeslabení tloušťky** (vzniká počátečním přechováním materiálu čelem pohyblivého nože – hloubka vniknutí bývá 5 až 8 % tloušťky stříhaného plechu) (obr. 5.1),
- b) **oblast plastického stříhu** (vzniká plastickým zatlačením břitu nože do materiálu, je nejhladší a nejpresnější, její velikost bývá 10 až 40 % tloušťky plechu – podle tvárnosti materiálu),
- c) **oblast lomu** (horní část této oblasti je prohloubena, spodní část vystupuje – *čára lomu má tvar písmene S*. Prohloubení je tím větší, čím menší je střížná vůle. Při velké střížné vůli je tato část střížné plochy zkosená),
- d) **oblast otěru** (vzniká *při vystřihování ve stříhadlech* v důsledku tření při protlačení výstřížku střížníkem přes střížnici),
- e) **otřep** (*naspodu střížné plochy* – je tím větší, čím větší je otupení spodního nože a čím je materiál tvárnější),
- f) **vtisk spodního nože** (čím větší je úhel čela spodního nože, tím spíše dojde k jeho zatlačení do stříhaného materiálu).

Zpevněná oblast – dosahuje u měkkých ocelových plechů 20 až 30 % tloušťky plechu, zvětšuje se s ubývajícím tvárností materiálu a otupením břitu.

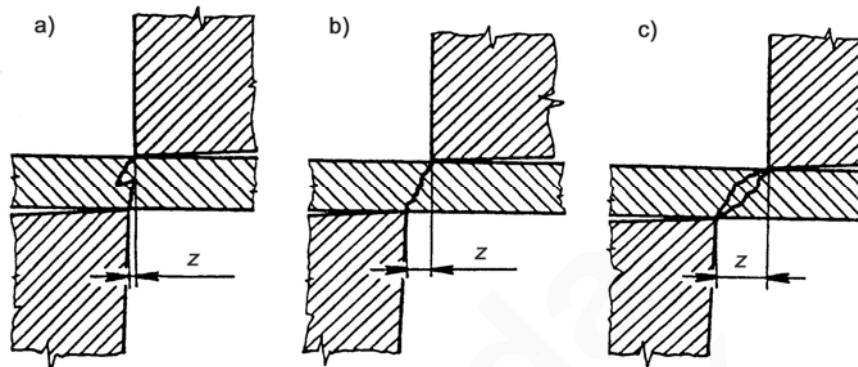


Obr. 5.5 Oblasti na střížné ploše (1 – zeslabení tloušťky, 2 – oblast plastického stříhu, 3 – oblast lomu, 3a – oblast otěru, 4 – zpevněná oblast, 5 – otřep, 6 – vtisk spodního nože)

5.1.2 Velikost střížné mezery

- ⇒ **ovlivňuje** jakost střížné plochy, velikost střížné síly a trvanlivost nástroje (obr. 5.6),
- ⇒ **správně zvolená velikost střížné mezery zaručuje**, že trhliny, které při stříhání vznikají, se setkají (*správné usmyknutí stříhané plochy*),
- ⇒ **optimální velikost střížné mezery** je taková, při které se dosáhne kvalitní střížná plocha při nejmenší střížné síle,
- ⇒ velikost střížné mezery **závisí na druhu a tloušťce stříhaného materiálu**, pohybuje se v rozmezí 3 ÷ 20 % tloušťky plechu (čím tlustší a měkčí materiály se stříhají, tím menší vůle se volí),

- ⇒ **nové nástroje** se zhotovují s nejmenší dovolenou střížnou mezerou (s ohledem na budoucí opotřebení),
- ⇒ **střížná mezera** je rovna **polovině střížné vůle**.



Obr. 5.6 Vliv střížné mezery z na kvalitu střížné plochy (a – malá střížná mezera, b – optimální střížná mezera, c – velká střížná mezera)

Velikost střížné mezery:

a) pro tenké plechy o tloušťce do 3 mm:

$$z = c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad (\text{mm}). \quad (5.1)$$

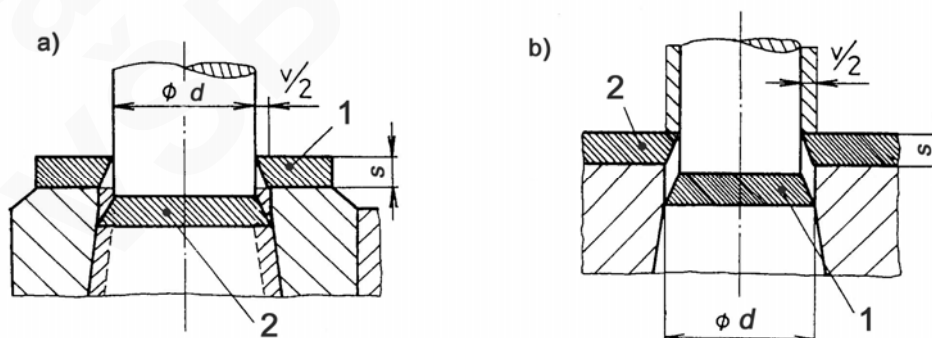
b) pro tlusté plechy o tloušťce nad 3 mm (do 10 až 12 mm):

$$z = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad (\text{mm}), \quad (5.2)$$

kde jsou c – koeficient závislý na druhu stříhání (volí se v rozmezí $0,005 \div 0,035$), $c = 0,005$ pro dosažení kvalitního povrchu střížné plochy, $c = 0,035$ pro dosažení minimální střížné síly, R_{ms} – pevnost materiálu ve stříhu (MPa), s – tloušťka plechu (mm).

Rozměry střížníků a střížnic (obr. 5.7):

- a) **při vystřihování (výrobek je výstřížek)** – rozměr výstřížku odpovídá rozměru střížnice, rozměr střížníku je menší o střížnou vůli,
- b) **při děrování (výrobek je okolí otvoru)** – rozměr otvoru odpovídá rozměru střížníku, rozměr střížnice je větší o střížnou vůli.



Obr. 5.7 Rozměry střížníků a střížnic (a – při děrování, b – při vystřihování, 1 – výrobek, 2 – odpad)

	Úkol k zamyšlení
	Uved'te příklady využití vystřihování a děrování ve stříhadlech při výrobě součástí v praxi.

5.1.3 Střížná plocha, síla a práce

Střížná plocha:

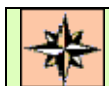
$$S = L \cdot s \quad (\text{mm}^2), \quad (5.3)$$

kde jsou L – délka stříhu (mm), s – tloušťka stříhaného plechu (mm).

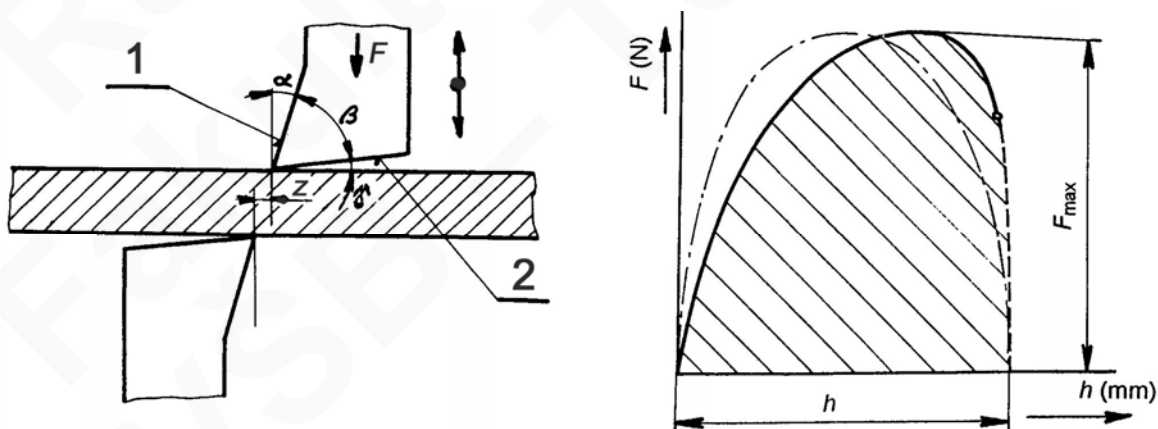
Maximální střížná síla:

$$F_{\max} = S \cdot R_{\text{ms}} \cdot k \quad (\text{N}), \quad (5.4)$$

kde jsou k – součinitel, zahrnující vlivy zvyšující střížnou sílu (otupení řezných hran, vliv seřízení nástroje, zvětšení mezery mezi noži opotřebováním) Bývá v rozmezí 1,25 až 1,50.

	Průvodce studiem
	Střížná síla je označena jako maximální , protože se v průběhu stříhání mění a jde o nejvyšší hodnotu této síly v průběhu celého procesu.

Průběh střížné síly (pracovní diagram) při stříhu rovnoběžnými noži je na obr. 5.8. Plnou čarou je znázorněn skutečný průběh střížné síly, čerchovanou čarou je znázorněno nahrazení elipsou.



Obr. 5.8 Průběh střížné síly (pracovní diagram) při stříhu rovnoběžnými noži (1 – hřbet nože, 2 – čelo nože, z – střížná mezera, s – tloušťka stříhaného materiálu, h – hloubka vniknutí pohyblivé střížné hrany do materiálu, F – střížná síla při stříhu rovnoběžnými noži, $F_{\max}$ – maximální střížná síla)

Pevnost ve stříhu (přibližný výpočet):

$$R_{ms} = (0,75 \div 0,85) \cdot R_m \quad (\text{MPa}). \quad (5.5)$$

U stříhadel: $F_{\max}$ je třeba zvětšit o sílu potřebnou k *protlačení výstřížku přes střížnici*, tj. o 3 až 12 %.

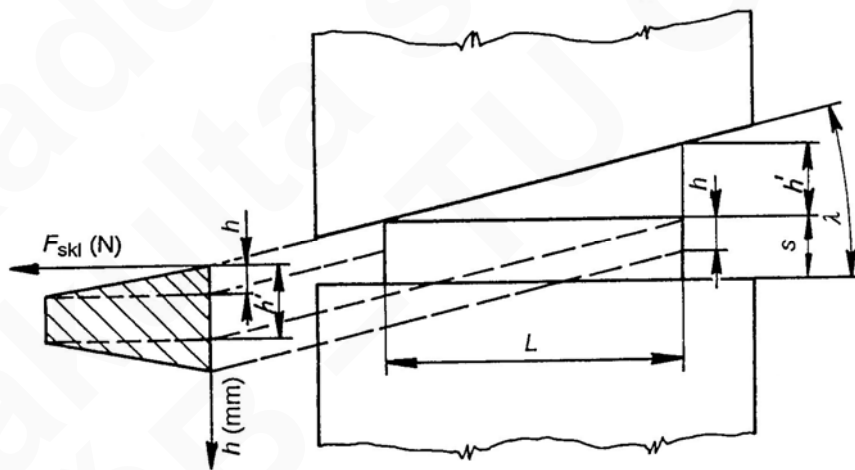
Střížná práce: závislost střížné síly na dráze střížníku lze přibližně nahradit *polovinou elipsy* s poloosami $F_{\max}$ a $h/2$, jejíž plocha odpovídá střížné práci:

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot F_{\max} \cdot \frac{h}{2} \quad (\text{J}), \quad (5.6)$$

kde je h – hloubka vniknutí pohyblivé střížné hrany do materiálu do okamžiku porušení (plastický stříh) (m).

5.1.4 Stříh skloněnými noži

- ⇒ plech není stříhán v celé šířce najednou, ale *postupně* (zmenšení střížné síly a rázů) (obr. 5.9),
- ⇒ *pracovní zdvih*, potřebný k ustřížení plechu, je v porovnání s rovnoběžnými noži *větší* a je přímo úměrný úhlu sklonu horního nože λ ,
- ⇒ *úhel sklonu horního nože* $\lambda = 1 \text{ až } 5^\circ$, aby byla zaručena podmínka samosvornosti a stříhaný materiál před nožem neujížděl (*u tabulových nůžek* – $\lambda = 1^\circ 30'$, pak deformace stříhaného plechu je *pouze pružná* – to však platí pouze u tenkých plechů),
- ⇒ *nevýhoda* – odstříhovaná část plechu se *ohýbá* (nevadí, pokud je odpadem).



Obr. 5.9 Průběh střížné síly (pracovní diagram) při stříhu skloněnými noži (L – délka stříhu, s – tloušťka stříhaného materiálu, λ – úhel sklonu nože, h – hloubka vniknutí pohyblivé střížné hrany do materiálu, F_{skl} – střížná síla při stříhu skloněnými noži)

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití stříhání skloněnými noži při výrobě součástí v praxi.

5.1.5 Zařízení ke stříhání

Rozdělení:

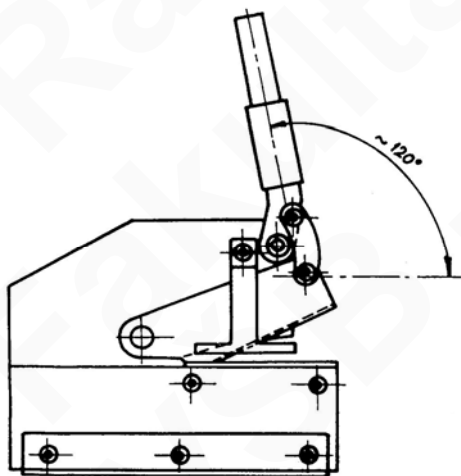
- A) **nůžky** (vesměs k přestřihování materiálu),
 B) **lisy se střížným nástrojem** (vesměs k vystřihování a děrování).

Druhy nůžek:

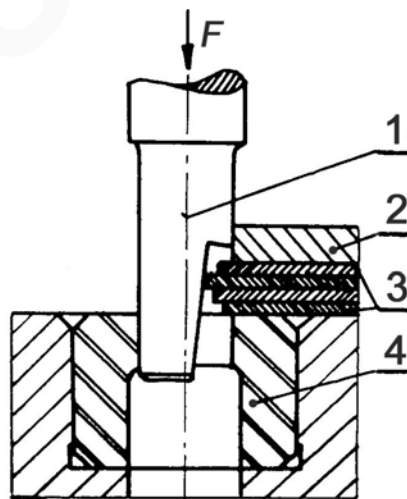
1. **pákové nůžky** (střih postupný, ústřížek je horním nožem postupně ohýbán) (obr. 5.10),
2. **vibrační nůžky** (též **kmitací**, pro tenké plechy, horní nůž kmitá 10 až 35 Hz a provádí střihy délky 3 až 10 mm, lze stříhat zakřivené tvary) (obr. 5.11),
3. **tabulové nůžky**,
 - a) **s rovnoběžnými noži**,
 - b) **se skloněnými noži**,
4. **kotoučové nůžky** (**jednokotoučové nůžky**, **dvoukotoučové nůžky** – pásové nůžky, okružní nůžky, křivkové nůžky) (obr. 5.12),
5. **nůžky na profily** (k dělení tyčí a profilů),
6. **letmé nůžky** (pro dělení vývalků v hutích, tj. plechu, drátu).

Lisy, používané ke stříhání:

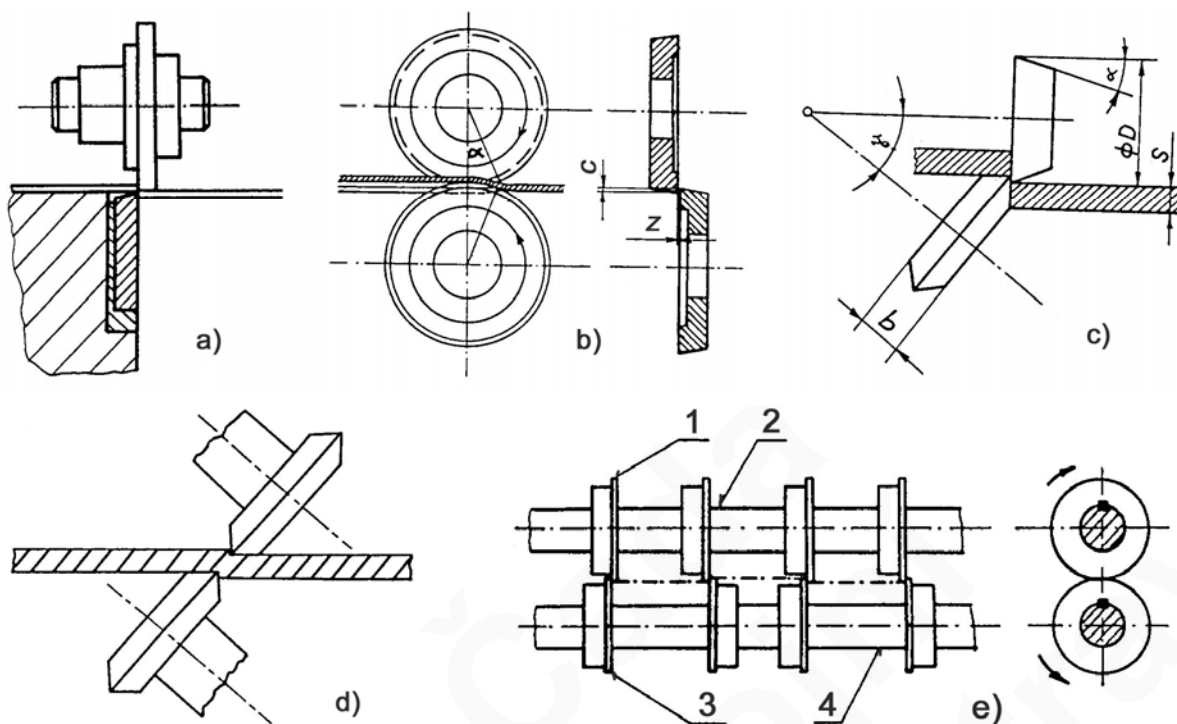
1. **mechanické lisy**,
 - a) **výstředníkové lisy** (LE, jednostranné, dvoustrostranné),
 - b) **klikové lisy** (univerzální – LU, ostřihovací – LO, vysekávací),
 - c) **vysekávací automaty** (v hromadné výrobě, 50 až 450 ks/min),
2. **hydraulické lisy**.



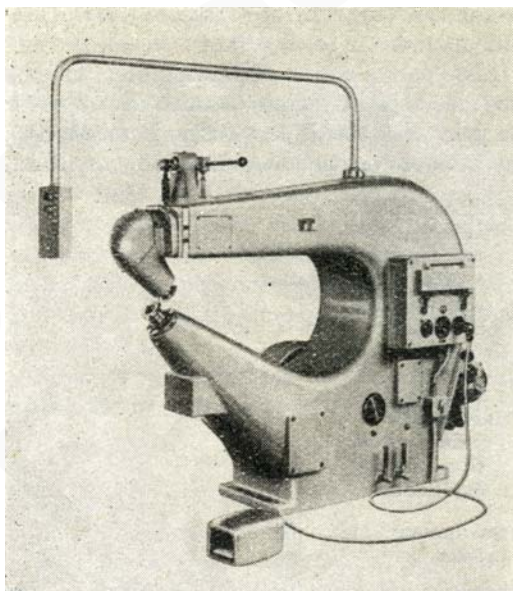
Obr. 5.10 Pákové nůžky



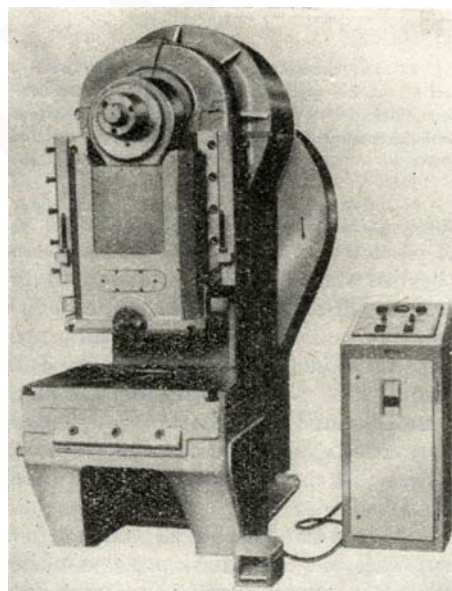
Obr. 5.11 Vibrační nůžky (1 – střížník, 2 – přidržovač, 3 – stříhaný materiál, 4 – střížnice)



Obr. 5.12 Kotoučové nůžky (a – jednokotoučové nůžky, b – okružní nůžky s rovnoběžnými osami, c – okružní nůžky s jedním skloněným nožem, d – křivkové nůžky, e – pásové nůžky)



Obr. 5.13 Křivkové nůžky na plech
NOT 1000/4



Obr. 5.14 Výstředníkový lis LE 160



Obr. 5.15 Univerzální klikový lis LU 400

5.1.5.1 Stříhadla

⇒ *tvar bříty* tvoří ve většině případů *uzavřená křivka*

Složení stříhadel:

- A) *část pohyblivá* (upnutá pomocí stopky do beranu lisu – *střížník*),
- B) *část pevná* (upnutá na stole lisu – *střížnice*).

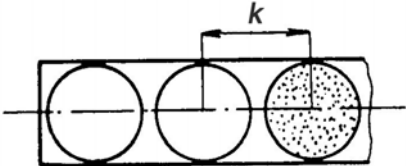
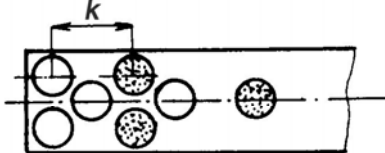
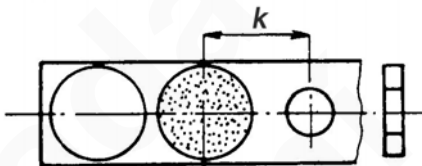
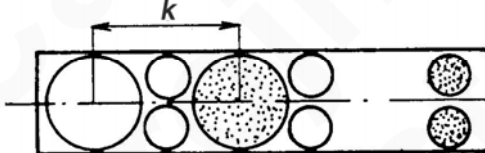
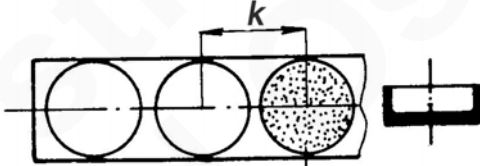
Rozdělení stříhadel podle funkce (obr. 5.16):

- a) *jednoduchá* (jedna operace na jednom výstřižku na jeden zdvih),
- b) *vícenásobná* (na jeden zdvih větší počet stejných výstřižků),
- c) *postupová* (několik operací na více zdvihů, mezi nimiž se výlisek podává na různá pracovní místa nástroje, z poslední operace vychází při každém zdvihu hotový výrobek),
- d) *sloučená* (na jeden zdvih se vyrobí dvě nebo více rozdílných součástek),
- e) *sdužená* (na jeden zdvih se provedou na výstřižku *různorodé operace* – např. stříhání a ohýbání nebo tažení).

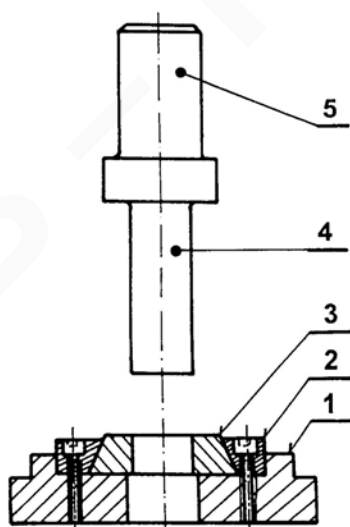
Rozdělení stříhadel podle druhu vedení:

- a) *otevřené* (bez vedení) (obr. 5.17),
- b) *s vodicí deskou* (obr. 5.18),
- c) *s vodicími sloupky* (obr. 5.19),
- d) *se sduženými vedeními*.

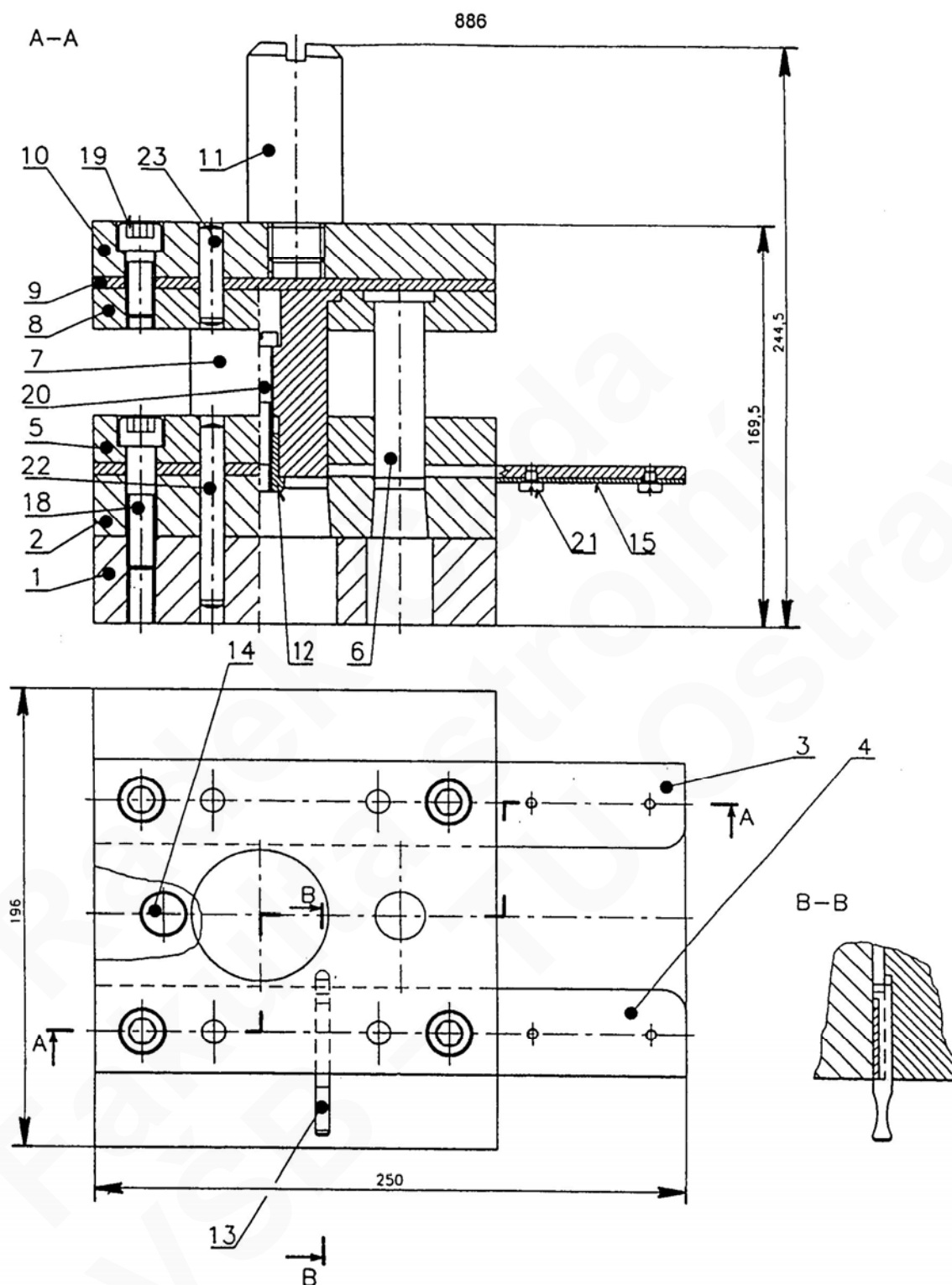
Použití vedení – eliminuje vůli beranu lisu, zvyšuje přesnost stříhání, zvyšuje životnost nástroje

1	jednoduchá	
2	vícenásobná (víceřadá)	
3	postupová	
4	sloučená	
5	sdužená	

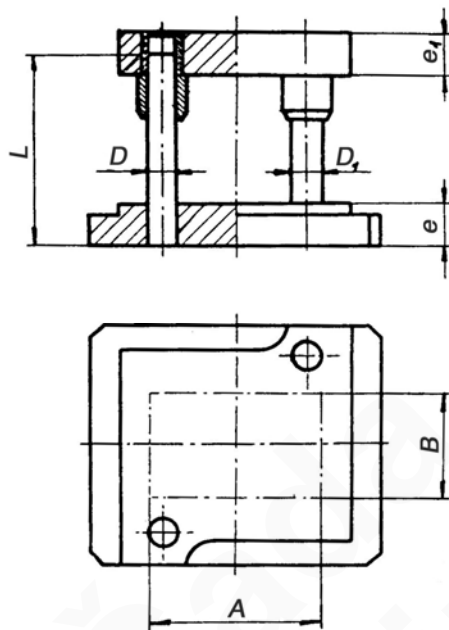
Obr. 5.16 Rozdělení stříhadel



Obr. 5.17 Otevřené stříhadlo (1 – základová deska, 2 – upínací kroužek, 3 – střížnice, 4 – střížník, 5 – upínací stopka)



Obr. 5.18 Postupové stříhadlo s vodící deskou (1 – základová deska, 2 – střížnice, 3 – vodící lišta, 4 – vodící lišta, 5 – vodící deska, 6 – střížník, 7 – střížník, 8 – upínací deska, 9 – opěrná vložka, 10 – upínací hlavice, 11 – stopka, 12 – hledáček, 13 – načínací doraz, 14 – pevný doraz, 15 – opěrný plech, 18 – spojovací šroub vodící desky, 19 – spojovací šroub upínací hlavice, 20 – šroub hledáčku, 21 – spojovací šroub vodící lišty, 22 – montážní kolík střížnice, 23 – montážní kolík upínací hlavice)

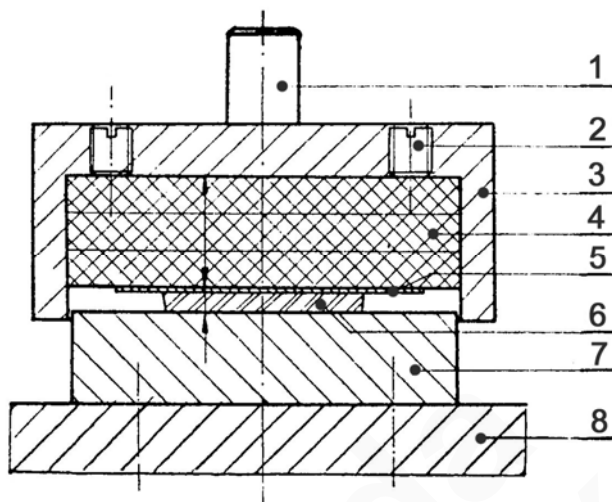


Obr. 5.19 Vodicí stojánek se dvěma vodicími sloupky

	Průvodce studiem
	Stříhadla se montují do vodicích stojánků, které mají zpravidla dva nebo čtyři vodicí sloupky, a to buď s kluzným vedením, nebo kuličkovým. Vodicí stojánky eliminují chyby vedení beranu stroje a zabezpečují správnou polohu střížníku a střížnice během stříhání. Střížná mezera je pak po celém obvodu střížné hrany stejná, takže vznikají výstřížky s potřebnou přesností.

5.1.5.2 Vystřihování součástí z tenkých plechů gumou

- ⇒ jedno pracovní ústrojí (zpravidla střížnici) tvoří **gumový polštář** složený zpravidla **z několika gumových desek** (je uložen v **pouzdr**u, které se při práci nasouvá na tzv. **ponornou desku**) (obr. 5.20),
- ⇒ lze stříhat plechy do tloušťek: hliník 2 mm, dural 1,5 mm, měkká ocel 1 mm,
- ⇒ tloušťka **střížné desky (šablony)** má být alespoň 4x větší než tloušťka stříhaného materiálu,
- ⇒ **aby došlo k ustřížení**, musí materiál přesahovat střížnou desku o délku rovnou 3 až 3,5 násobku její výšky,
- ⇒ vhodné **pro kusovou a malosériovou výrobu**.



Obr. 5.20 Stříhadlo k vystřihování gumou (1 – stopka, 2 – zátka, 3 – skříň, 4 – gumová vložka, 5 – materiál, 6 – střížná deska (šablona), 7 – ponorná deska, 8 – základová deska)

5.1.6 Nástřihové plány

- ⇒ **Nástřihový plán** je způsob rozmístění stříhaných součástí na výchozím polotovaru, tj. tabuli nebo pásu plechu (obr. 5.21),
- ⇒ jeho účelem je především *maximální využití materiálu*, *snadná manipulace při vystřihování* (krátký krok, vystřížení více součástí najednou apod.), *splnění jiných technologických požadavků* (přesnost, vhodný směr vláken apod.).

Nástřihový plán lze řešit:

- a) **početní metodou** – pro návrh nástřihových plánů *výstřížků jednoduchého, například kruhového tvaru* (lze stanovit buď největší možný počet výstřížků z daného polotovaru nebo vhodný formát výchozího materiálu pro daný počet výstřížků),
- b) **empiricky** – při návrhu hospodárného nástřihového plánu *složitých tvarových součástí* (např. s využitím papírových šablon budoucích výstřížků).

Zásady při konstrukci nástřihového plánu:

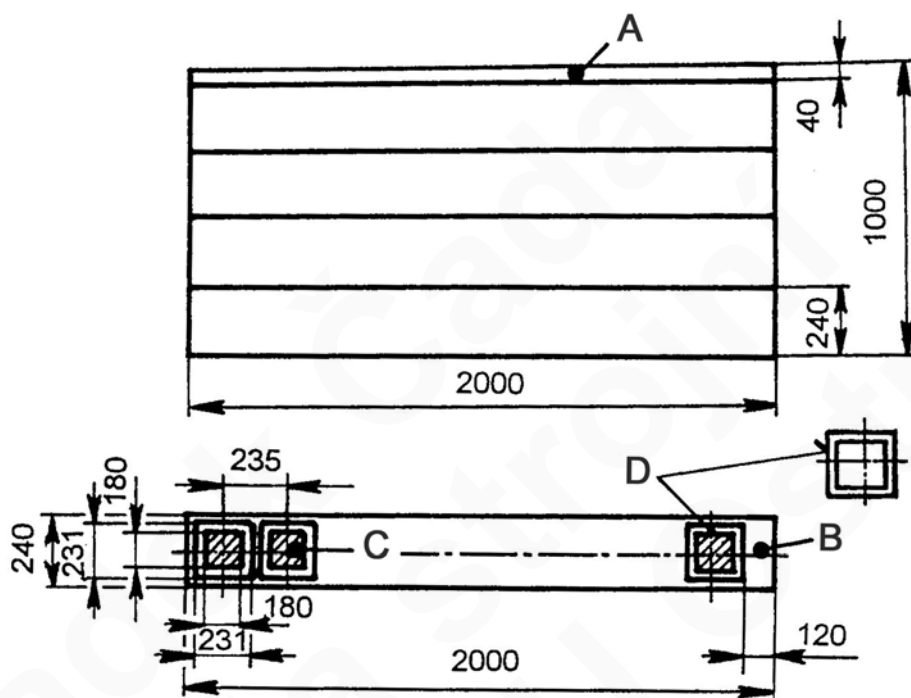
- a) kruhový obrys výstřížku není vhodný (vhodnější jsou rovnoběžníkové tvary),
- b) *seskupování výstřížků* (varianta *s přepážkou* a varianta *bez přepážky*) (obr. 5.22),
- c) zvýšení využití materiálu lze docílit stříháním různých součástí na jeden zdvih,
- d) u větších sérií je výhodné využívat *více střížníků stejného tvaru* (vystřížení více stejných výstřížků na jeden zdvih beranu lisu).

Přepážka – *mezi výstřížky*, její šířka závisí na tloušťce plechu, tvaru výstřížku, na druhu materiálu, způsobu podávání apod. (obr. 5.23)

Boční odpad – *u okrajů pásu nebo tabule plechu*

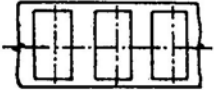
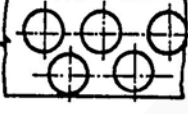
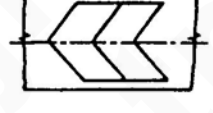
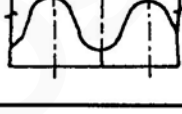
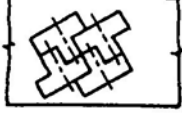
Vynechání přepážek a bočního odpadu – u tzv. *otevřeného stříhu* (obvod součástí je vytvořen více stříhy, dobrý výsledek závisí na přesnosti stříhadla a podávání, vzniknou úspory materiálu).

	Průvodce studiem
	U nástřihových plánů lze rozlišit využitelný a nevyužitelný odpad . Využitelný odpad je ten, který lze použít pro výrobu jiných výstřižků nebo součástí.

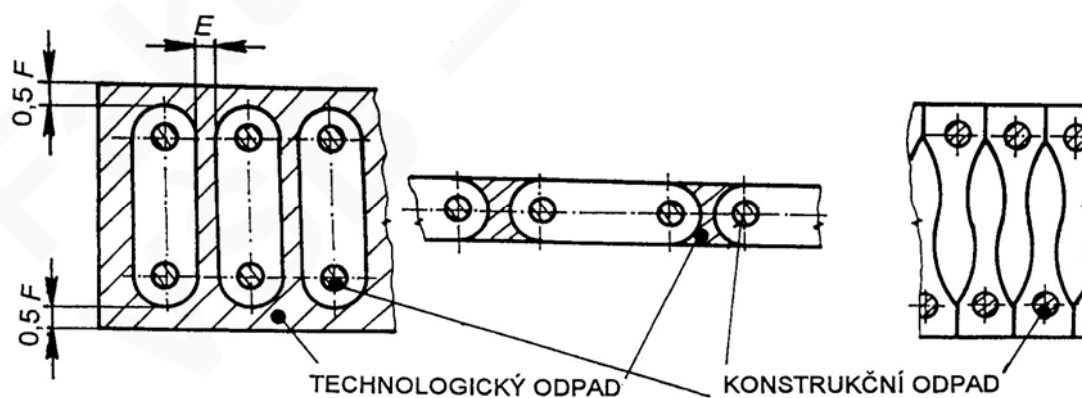


Obr. 5.21 Nástřihový plán (A, B – nevyužitelný odpad, C – využitelný odpad, D – výstřižek)

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte výhody a nevýhody stříhání v jedné řadě a ve více řadách najednou při výrobě součástí v praxi.

Typ stříhu	Nástřihový plán	
	s přepážkou	bez přepážky
přímý		
jednořadý		
víceřadý		
šikmý		
vstřícný přímý		
vstřícný šikmý		

Obr. 5.22 Základní způsoby seskupení výstřížků

Obr. 5.23 Rozmístění výstřížků na výchozím materiálu (E – velikost přepážky, $0,5 F$ – velikost bočního odpadu)

Hospodárnost nástřihového plánu:

Vyjadřuje se *součinitelem využití materiálu* η , tj. poměrem plochy rozmístěných výstřížků S_v k ploše polotovaru S_p :

$$\eta = \frac{S_v}{S_p} \cdot 100 \quad (\%). \quad (5.7)$$

	Průvodce studiem
	U plechových pásů není známa plocha celého polotovaru, protože není známa přesná délka pásu. Z tohoto důvodu se výpočet <i>součinitele využití materiálu</i> provádí na opakujícím se úseku pásu. Hospodárnost nástřihového plánu by měla být u tabulí i u pásů plechu tím vyšší, čím je větší sériovost výroby.

5.1.7 Přesné stříhání

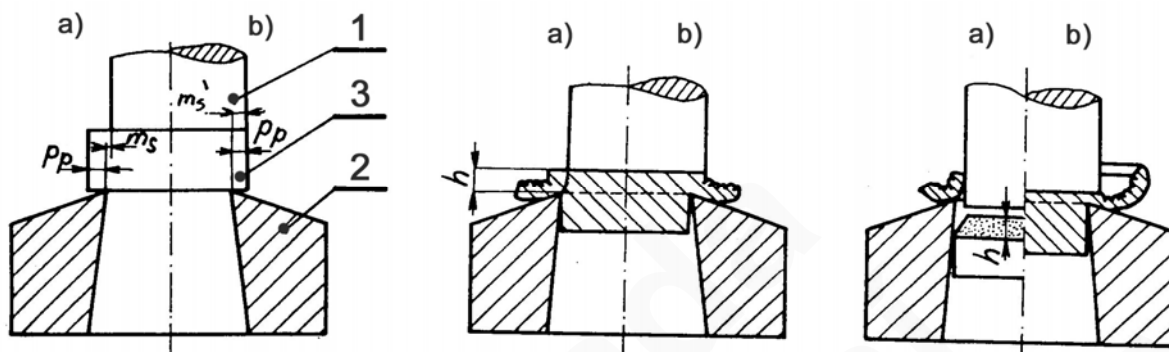
- dosahuje se *hladké střížné plochy* kolmé k rovině plechu,
- *tolerance* vysoko překračují přesnost dosahovanou normálním stříháním,
- vhodným *mazáním* se snižuje součinitel tření, zvyšuje se životnost funkčních částí a kvalita střížné plochy.

Materiály vhodné pro přesné stříhání – minimální mez kluzu, malý obsah přímíšenin (P, S, N, vměsky), ***dostatečná tvářitelnost zastudena*** (vhodné jsou uhlíkové nízkolegované oceli)

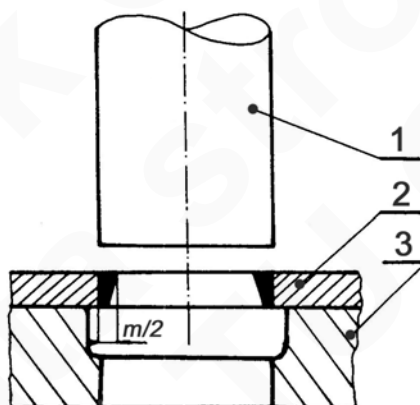
Rozdělení přesného stříhání:

1. **přistřihování** (oddělování malého množství kovu ze střížné plochy s cílem dosáhnout větší přesnosti a kvality povrchu. Polotovarem je výstřížek s *přídavkem na přistřihování*).
 - a) **přistřihování vnějších obrysů**,
 - *s kladnou střížnou vůlí* (v konečné fázi stříhu dochází k vylomení třísky) (obr. 5.24 a),
 - *se zápornou střížnou vůlí* (výstřížek je protlačen otvorem střížnice až v následujícím zdvihu dalším polotovarem) (obr. 5.24 b),
 - b) **přistřihování děrovaných tvorů** (lze přímo sloučit s děrováním) (obr. 5.25 a 5.26),
2. **stříhání se zaoblenou střížnou hranou**,
 - a) **zaoblená hrana střížnice** (docílí se vysoká hladkost vnějšího obrysu výstřížku) (obr. 5.27 a),
 - b) **zaoblená hrana střížníku** (docílí se hladkost vnitřního obrysu, tj. otvoru) (obr. 5.27 b),
3. **stříhání se zkoseným přidržovačem** (vrcholový úhel přidržovače $\alpha = 178^\circ 30'$, přidržovač způsobí vznik dvojosého stavu napjatosti) (obr. 5.28),
4. **stříhání s nátláčnou hranou** (před stříhem je do materiálu vtlačena nátláčná hrana, která způsobí *vznik víceosého stavu napjatosti*, pásmo plastického stříhu se tak rozšíří přes celou tloušťku materiálu) (obr. 5.29 až 5.33),
 - a) **nátláčná hrana na přidržovači** (plechy do tl. 4 mm) (obr. 5.32 a),

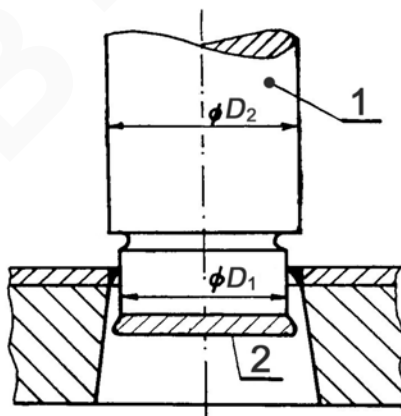
- b) **nátlačná hrana na přidržovači i na střížnici** (plechy nad tl. 4 mm) (obr. 5.32 b),
5. **reverzní stříhání** (přesné stříhání *ve dvou oddělených fázích*. Materiál je sevřen mezi obě části nástroje. *V první fázi* se plech vystřihuje jen potud, pokud materiál teče plasticky. *Ve druhé fázi* se materiál v opačném směru prostřihne. Tím vzniká hladká střížná plocha. Výstřižky mají charakteristické **sražení hran z obou stran** a jsou **bez otřepu**.) (obr. 5.34).



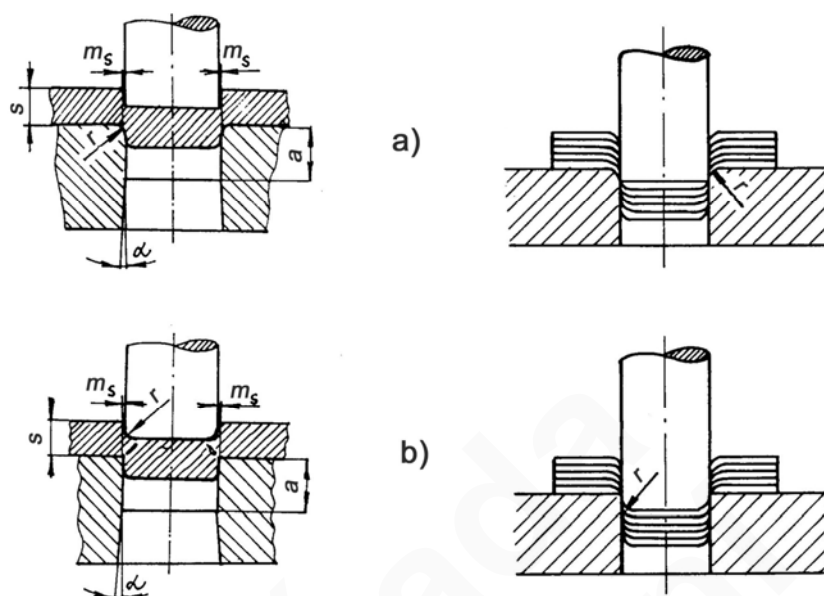
Obr. 5.24 Přistřihování (a – s kladnou střížnou vůlí, b – se zápornou střížnou vůlí, 1 – střížník, 2 – střížnice, 3 – výstřižek s přídavkem na přistřihování p_p , $z = 0,5 \cdot m_s$ – kladná střížná mezera, $z' = 0,5 \cdot m_s'$ – záporná střížná mezera, h – výška nedostřižené části)



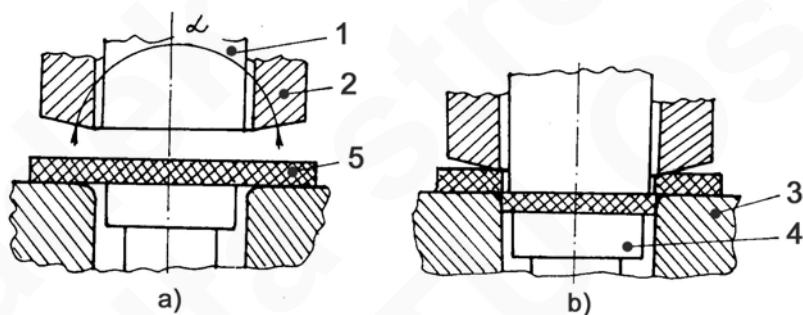
Obr. 5.25 Přistřihování děrovaných otvorů (1 – střížník, 2 – přistřihovaná součást, 3 – základová deska, $z = 0,5 \cdot m$ – kladná střížná mezera)



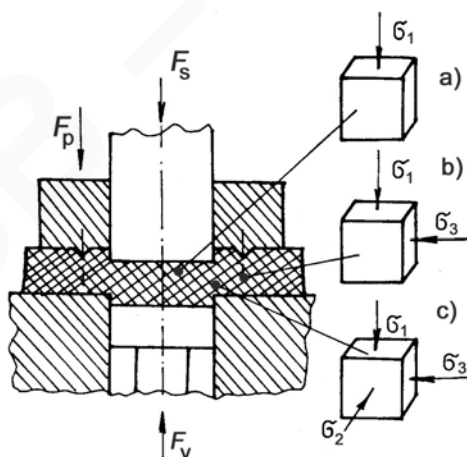
Obr. 5.26 Děrování a přistřihování otvorů (1 – střížník, 2 – odpad)



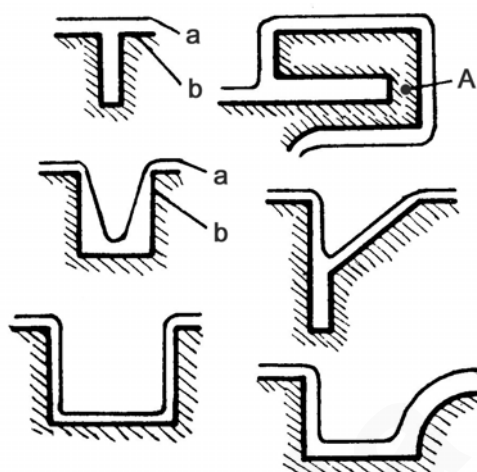
Obr. 5.27 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou (a – zaoblená hrana střížnice, b – zaoblená hrana střížníku, $z = 0,5 \cdot m_s$ – kladná střížná mezera, s – tloušťka stříhaného materiálu, r – poloměr zaoblení střížnice nebo střížníku, a – výška válcové části střížnice, α – úhel rozšiřující se části střížnice)



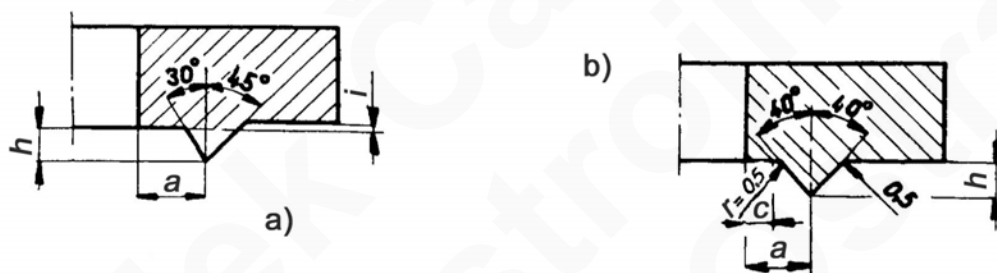
Obr. 5.28 Stříhání se zkoseným přidržovačem (1 – střížník, 2 – přidržovač, 3 – střížnice, 4 – vyhazovač, 5 – stříhaný materiál, α – vrcholový úhel přidržovače)



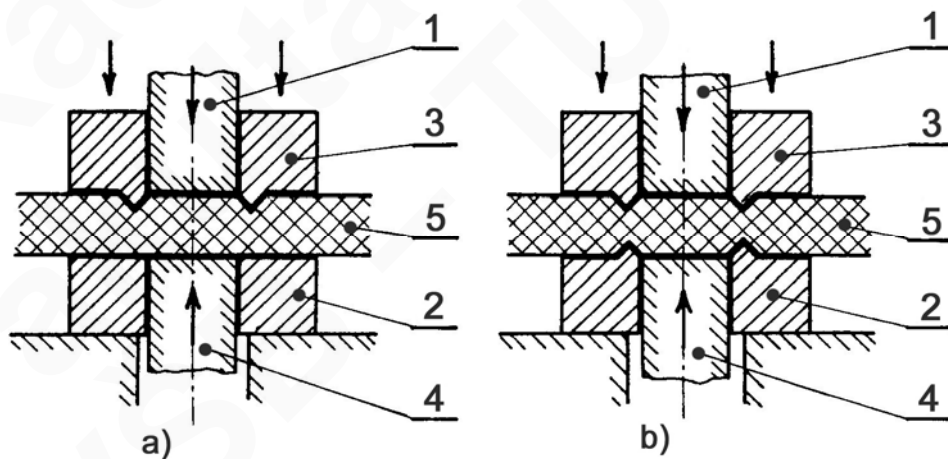
Obr. 5.29 Stavy napjatosti u přesného stříhání s nátlacnou hranou (a – oblast pod čelem střížníku, b – oblast pod nátlacnou hranou, c – oblast stříhu)



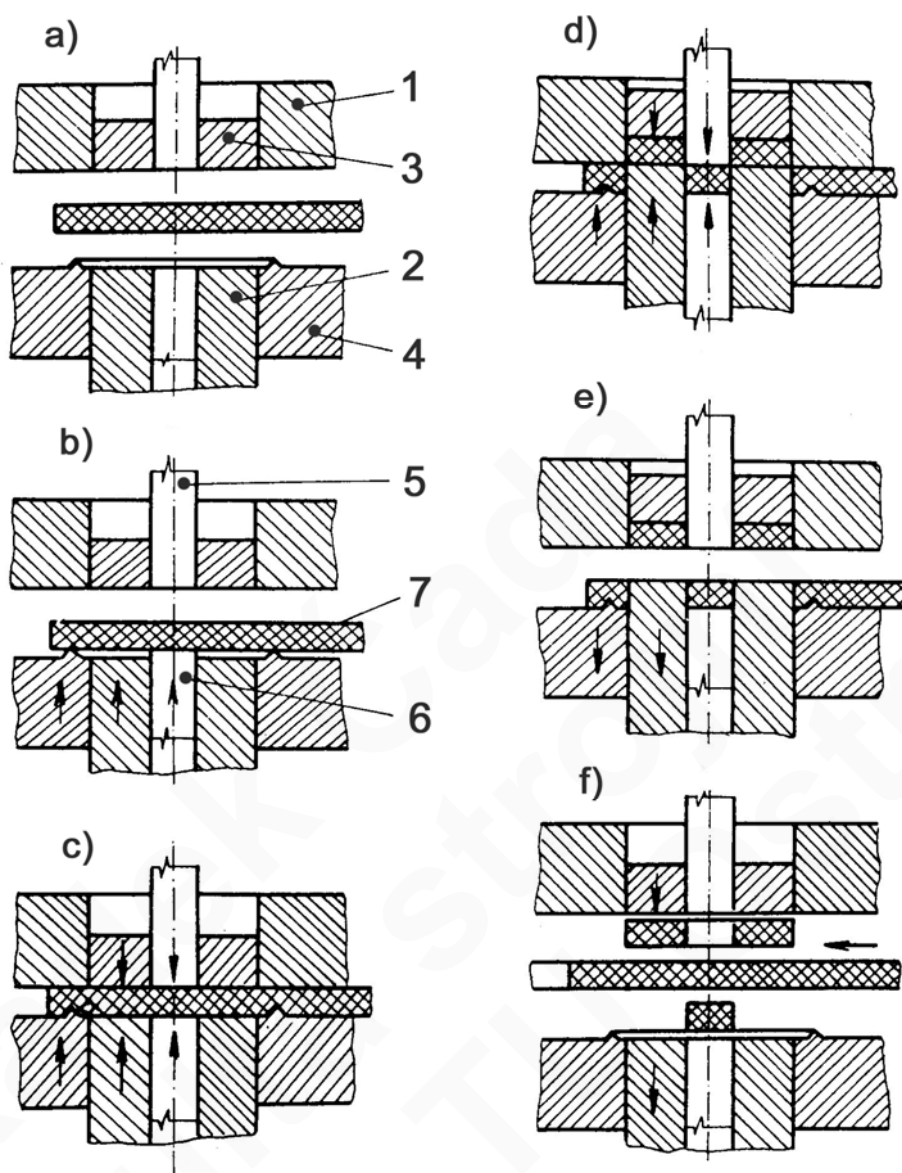
Obr. 5.30 Umístění nátlčné hrany kolem různých křivek stříhu (a – nátlčná hrana, b – křivka stříhu, A – místo s velkou blízkostí křivek stříhu)



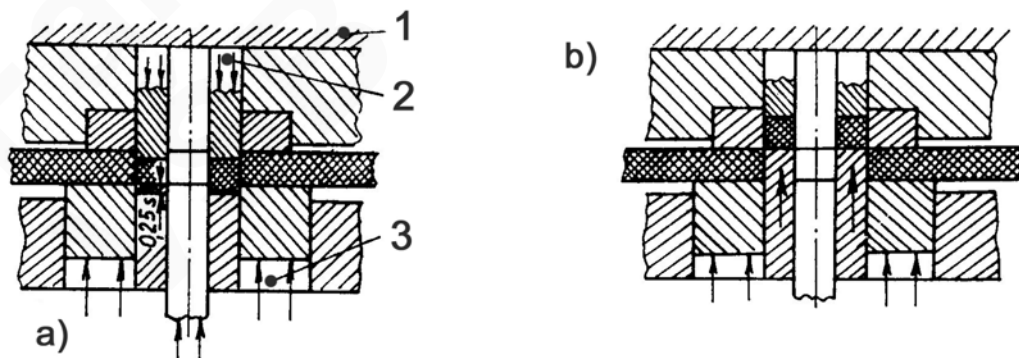
Obr. 5.31 Základní profily nátlčných hran (a – častější varianta, b – méně častá varianta)



Obr. 5.32 Stříhání s nátlčnou hranou (a – nátlčná hrana na přidržovači, b – nátlčná hrana na přidržovači i na střížnici, 1 – střížník, 2 – střížnice, 3 – tlačná deska, tj. přidržovač, 4 – vyhazovač, 5 – stříhaný materiál)



Obr. 5.33 Postup přesného stříhání s nátlacnou hranou (1 – střížnice, 2 – střížník, 3 – vyhazovač, 4 – přidržovač, 5 – střížník, 6 – vyhazovač, 7 – stříhaný materiál)



Obr. 5.34 Postup reverzního stříhání (a – první fáze stříhu, b – druhá fáze stříhu, 1 – základová deska, 2 – tlak působící na nastřihovací střížník, 3 – přidržovací tlak)

	Úkol k zamyšlení
	Uved'te příklady využití přesného stříhání při výrobě součástí v praxi.

5.2 Objemové stříhání

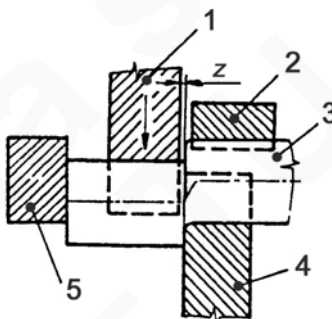
- stříhání *profilů a tyčí* různých průřezů

Rozdělení objemového stříhání:

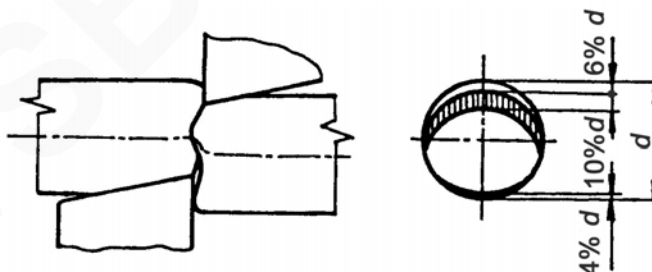
1. **objemové stříhání zastudena,**

- otevřenými noži** (při stříhu dochází před lomem k ohybu, střížná plocha je nekvalitní) (obr. 5.35 a 5.36),
- uzavřenými noži** (pro materiály loupané či broušené – h9) (obr. 5.37),
- přesné objemové stříhání** (v místě stříhu je vyvozen víceosý stav napjatosti, střížná plocha je pak bez lomové oblasti),
 - s **radiálním sevřením tyče i ústřížku**,
 - s **axiálním předpětím tyče**,
 - s **krutovým předpětím tyče**,

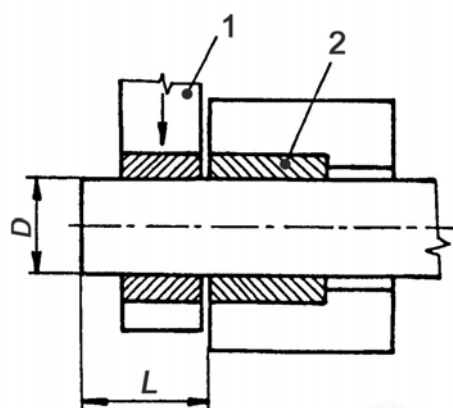
- objemové stříhání zatepla** (u profilů a tyčí velkých průřezů, aby se předešlo vzniku prasklin na střížné ploše. Měkké oceli třídy 11 a 12 se stříhají při teplotě přehřevu 200 až 300 °C, tzn. **v pásnu křehkosti**, ostatní při 450 až 700 °C).



Obr. 5.35 Objemové stříhání otevřenými noži (1 – pohyblivý otevřený nůž, 2 – prizmatické vedení, 3 – tyč, 4 – pevný otevřený nůž, 5 – doraz, z – střížná mezera)



Obr. 5.36 Střížná plocha (6 % d – oblast počátečního pěchování materiálu čelem pohyblivého nože, 10 % d – oblast plastického stříhu – je svisle šrafovaná, 80 % d – oblast lomu, 4 % d – oblast vtisku spodního nože)



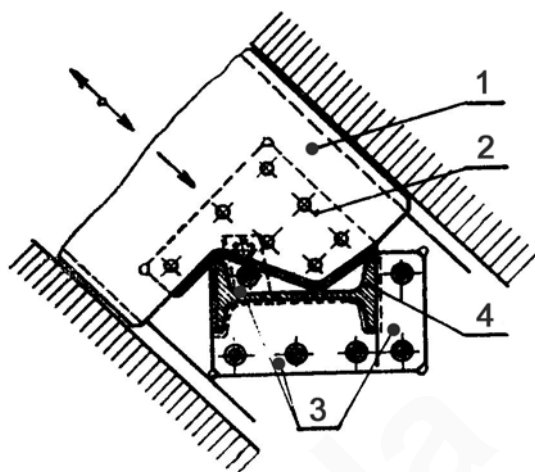
Obr. 5.37 Objemové stříhání uzavřenými noži (1 – pohyblivý nůž tvaru objímky, 2 – pevný nůž tvaru objímky, L – stříhaná délka, D – průměr loupané či broušené tyče, tj. s tolerancí $h9$)

	Úkol k zamyšlení
	Uved'te příklady využití objemového stříhání při výrobě součástí v praxi.

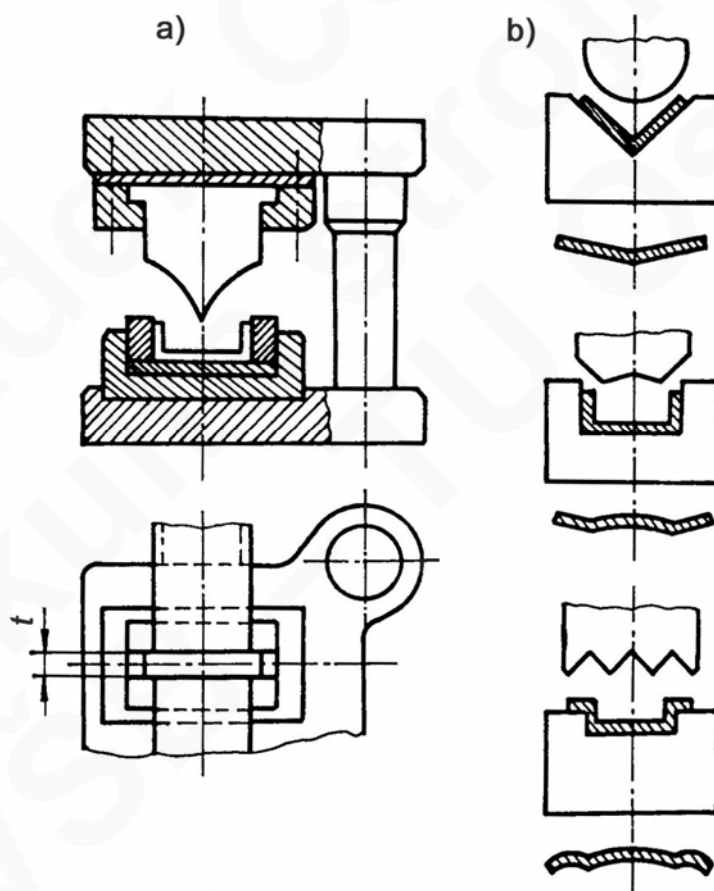
5.3 Stříhání tenkostěnných profilů a trubek

Rozdělení:

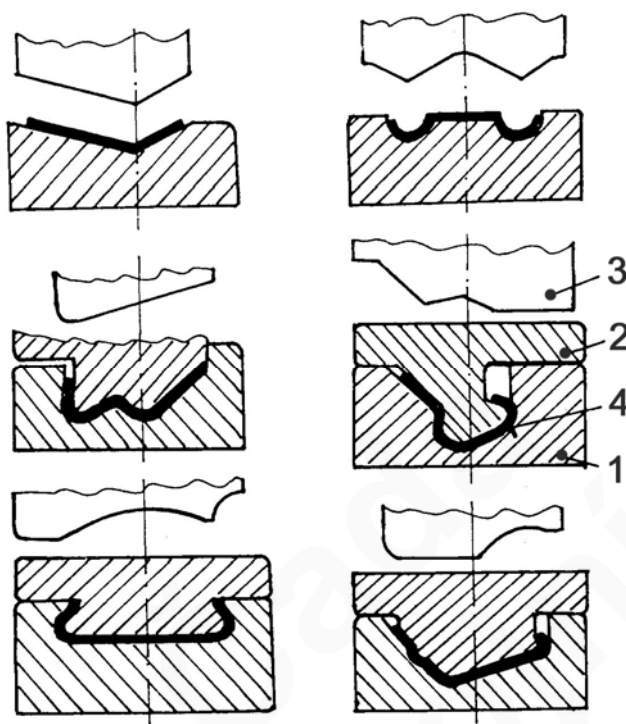
- na profilových nůžkách** (pro otevřené tenkostěnné profily L, T, U, I při použití **výměnných střížných desek**. Konce profilů bývají deformovány, střížná plocha je hrubá.) (obr. 5.38),
- v nástroji s odpadem** (kvalitní střížná plocha, deformován je pouze odpad. Šířka odpadu odpovídá tloušťce nože. Způsob vhodný pro velkosériovou výrobu.) (obr. 5.39),
 - stříhání otevřených a polouzavřených tenkostěnných profilů** (tvar nožů se musí řešit pro každý profil samostatně, nesmí nastat **stříhání svislé stěny**) (obr. 5.40),
 - stříhání tenkostěnných trubek a uzavřených profilů**,
 - **vertikálním způsobem** (**vertikální klínový nůž** stříhá dvojitým stříhem, odpadem je úzký prstenec, jehož šířka odpovídá tloušťce nože) (obr. 5.41),
 - **horizontálně - vertikálním způsobem** (po upnutí trubky stříhá **horizontální nůž** a následně **vertikální klínový nůž**) (obr. 5.42),
- v nástroji bez odpadu** (střížná plocha je méně kvalitní než u stříhání v nástroji s odpadem, pomocí **dvojice trnů** se odstraní deformace tvaru profilu při stříhu. Polotovar by měl být broušený nebo loupaný – $h9$.) (obr. 5.43 a 5.44),
- kotoučovými noži**
 - bez trnu** (někdy též **metodou Kleager**. Do trubky, která je uložena na válečkách, je vtlačován břit kotoučového nože.) (obr. 5.45 a 5.46),
 - stříhání s otočným trnem** (pro trubky s max. tloušťkou stěny 3 mm) (obr. 5.47).



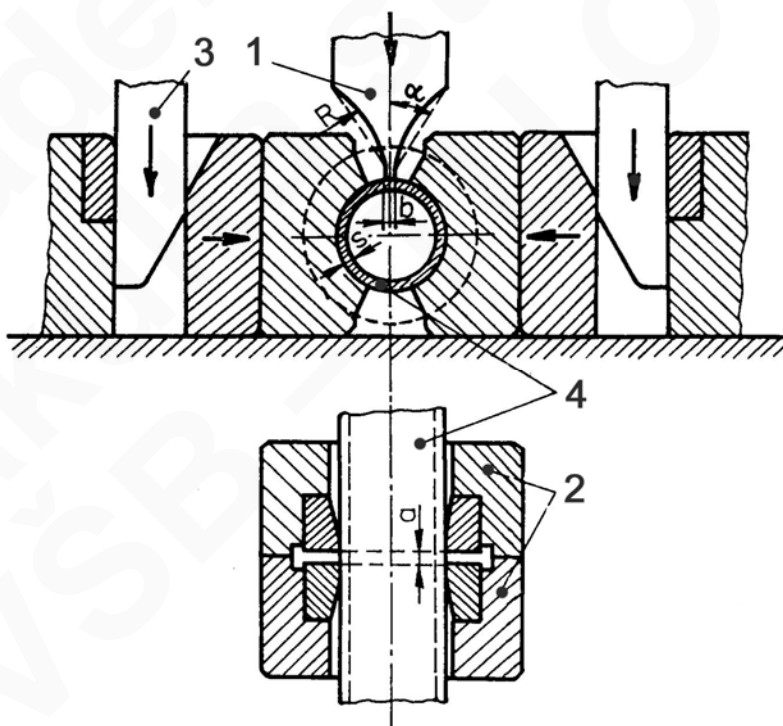
Obr. 5.38 Stříhání tenkostěnných profilů a trubek na profilových nůžkách (1 – beran nůžek, 2 – nůž, 3 – spodní pevný nůž, 4 – stříhaný profil)



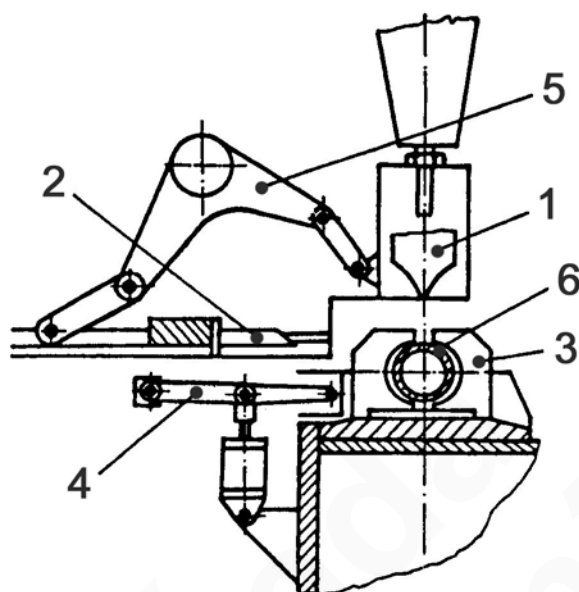
Obr. 5.39 Stříhání tenkostěnných profilů a trubek v nástroji s odpadem (t – šířka nože a tím i odpadu, vpravo jsou 3 příklady tvarů nožů a deformace odpadů)



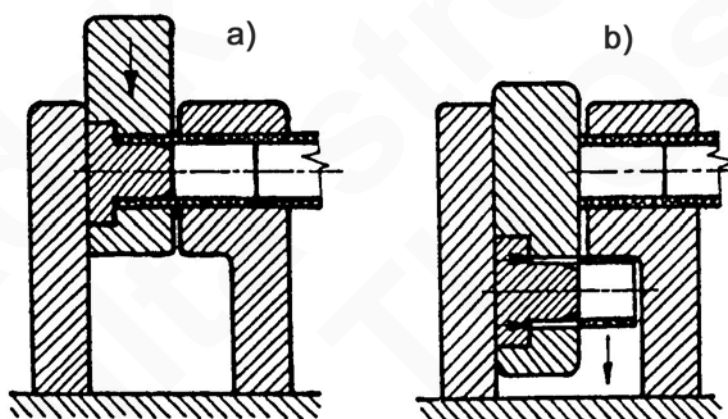
Obr. 5.40 Stříhání otevřených a polouzavřených tenkostěnných profilů (1 – pevný nůž, 2 – vnitřní odklopná čelist, 3 – pohyblivý nůž, 4 – stříhaný profil)



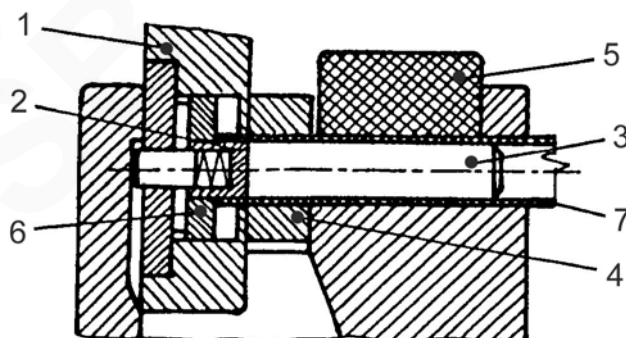
Obr. 5.41 Stříhání tenkostěnných trubek vertikálním způsobem (1 – nůž, 2 – čelisti, 3 – klínové ovládání čelistí, 4 – stříhaná trubka)



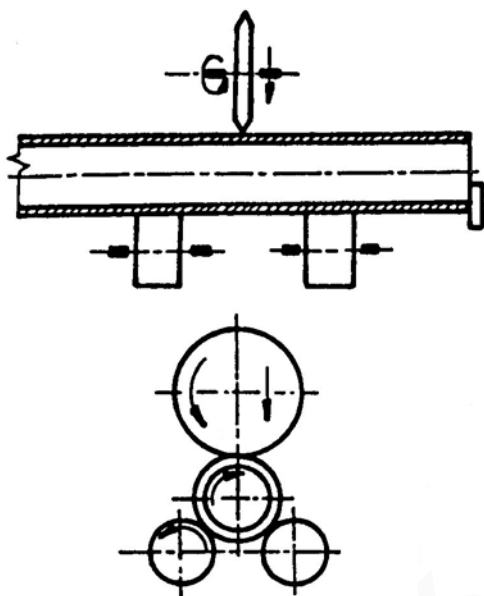
Obr. 5.42 Stříhání tenkostěnných trubek horizontálně-vertikálním způsobem (1 – vertikální klínový nůž, 2 – boční horizontální nůž, 3 – čelisti, 4 – upínání čelistí, 5 – pohon bočního horizontálního nože, 6 – stříhaná trubka)



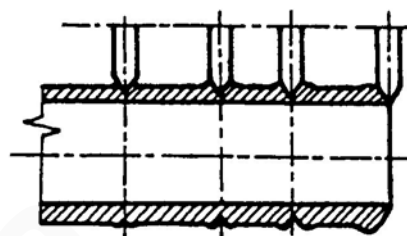
Obr. 5.43 Stříhání tenkostěnných profilů a trubek v nástroji bez odpadu (a – počáteční fáze, b – stříh)



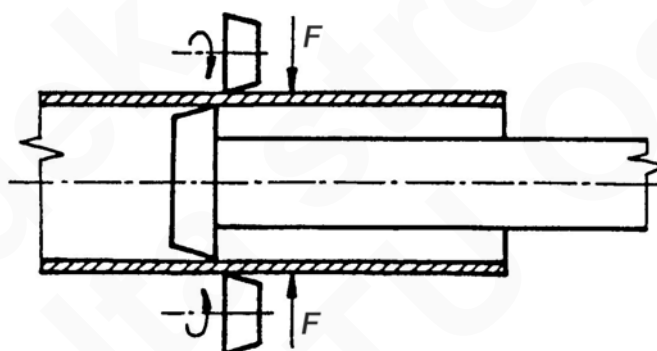
Obr. 5.44 Schéma nástroje pro sříchání tenkostěnných profilů a trubek bez odpadu (1 – pohyblivý nůž, 2 – trn, 3 – plovoucí trn, 4 – pevný nůž, 5 – přidržovač, 6 – vyhazovač, 7 – trubka)



Obr. 5.45 Sřihání trubek kotoučovým nožem bez trnu



Obr. 5.46 Postupné oddělování trubky při stříhání kotoučovým nožem bez trnu



Obr. 5.47 Sřihání trubek kotoučovými noži s otočným trnem

	Úkol k zamyšlení
	Uved'te příklady využití stříhání tenkostěnných profilů a trubek při výrobě součástí v praxi.

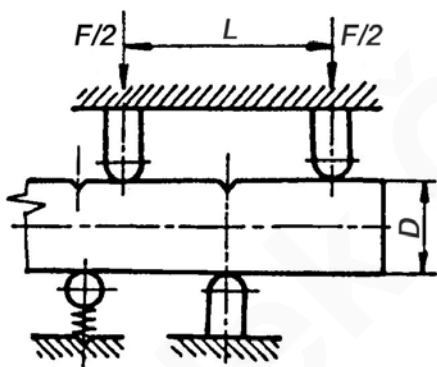
5.4 Lámání

- tyčový materiál velkých rozměrů (150 až 200 mm),
- láme se *ohybem*, rozdělení v žádaném místě se napomáhá *vrubem (koncentrátor napětí)*, který se vytvoří pilou nebo plamenem (vrub nemusí vést přes celý profil),
- síla potřebná k lámání může být vyvozena *statickým*, *dynamickým* nebo *cyklickým způsobem*,

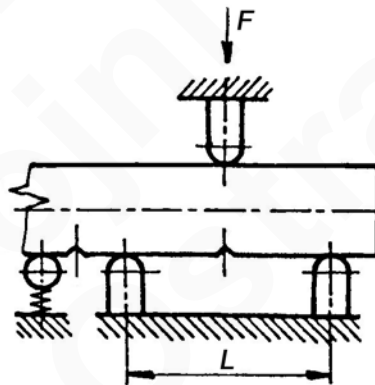
- vhodné pro *materiály s vysokou tvrdostí* ($R_m > 700 \text{ MPa}$) a *těžkoobrobitelné materiály* (*měkkí uhlíkové oceli* lze lámat při ohřevu na 300°C , tzn. *v pásmu křehkosti*),
- provádí se především ve *válcovnách a metalurgických provozech* na *hydraulických lisech*,
- **ve srovnání se stříháním** – odpadá broušení nožů, k přelomení je třeba menší síly, lomová plocha je horší kvality.

Rozdělení lámání:

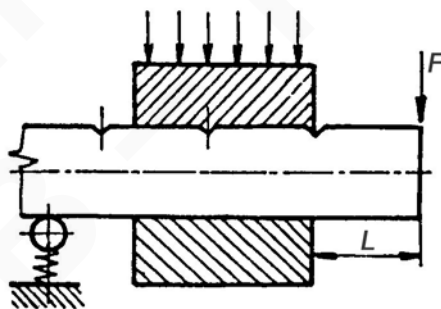
- lámání s jednou podpěrou** (obr. 5.48),
- lámání se dvěma podpěrami** (obr. 5.49),
- lámání konzolové** (obr. 5.50).



Obr. 5.48 Lámání s jednou podpěrou (L – rozteč tlačných trnů, F – síla potřebná k lámání)



Obr. 5.49 Lámání se dvěma podpěrami (L – rozteč podpěr, F – síla potřebná k lámání)



Obr. 5.50 Lámání konzolové (L – délka vysunutí tyče, F – síla potřebná k lámání)

	Úkol k zamyšlení
	Uved'te příklady využití lámání při výrobě součástí v praxi.



Shrnutí kapitoly

Technologii dělení materiálu lze rozdělit na **stříhání** (plošné a objemové) a **lámání**.

Stříhání je oddělování částic materiálu *smýkovým působením dvojice nástrojů* (nožů, nebo střížníku a střížnice) podél *křivky stříhu*.

Základní operace plošného stříhání:

- prosté stříhání** – rozdělování materiálu (pásů, tabulí, tyčí),
- děrování** – vytváření otvorů různých tvarů,
- vystřihování** – zhotovení výstřížku oddělením materiálu po uzavřeném obrysu,
- vystřihování zářezů** – oddělování částí v okraji, vystřižená část je odpad,
- přistřihování** – dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch,
- nastřihování** – částečné oddělení materiálu v okraji tak, že není úplně oddělen,
- prostřihování** – částečné oddělení materiálu v libovolném tvaru uvnitř dílce,
- protrhávání** – protržení materiálu pro vytvoření hrotů, otvorů,
- vysekávání** – oddělování materiálu výsečnickem na podložce,
- ostřihování** – oddělování přebytečného materiálu,
- přesné stříhání** – dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch.

Tvar a jakost střížné plochy závisí na vlastnostech materiálu, velikosti střížné mezery, tvaru a geometrii střížných hran, stavu napjatosti a rychlosti stříhání.

Oblasti na střížné ploše: *zeslabení tloušťky, oblast plastického stříhu, oblast lomu, oblast otěru otřep, vtisk spodního nože. Zpevněná oblast* dosahuje u měkkých ocelových plechů 20 až 30 % tloušťky plechu, zvětšuje se s ubývajícím tvárností materiálu a otupením břitů.

Velikost střížné mezery: ovlivňuje jakost střížné plochy, velikost střížné síly a trvanlivost nástroje, *správně zvolená velikost střížné mezery zaručuje*, že trhliny, které při stříhání vznikají, se setkají, *optimální velikost střížné mezery* je taková, při které se dosáhne kvalitní střížná plocha při nejmenší střížné síle, velikost střížné mezery *závisí na druhu a tloušťce stříhaného materiálu*, nové nástroje se zhotovují s nejmenší dovolenou střížnou mezerou (s ohledem na budoucí opotřebení), *střížná mezera* je rovna *polovině střížné vůle*.

Rozměry střížníků a střížnic:

- při vystřihování** (výrobkem je výstřížek) – rozměr výstřížku odpovídá rozměru střížnice, rozměr střížníku je menší o střížnou vůli,
- při děrování** (výrobkem je okolí otvoru) – rozměr otvoru odpovídá rozměru střížníku, rozměr střížnice je větší o střížnou vůli.

Střížná plocha: $S = L \cdot s$ (mm²).

Maximální střížná síla: $F_{\max} = S \cdot R_{ms} \cdot k$ (N).

Pevnost ve stříhu (přibližný výpočet): $R_{ms} = (0,75 \div 0,85) \cdot R_m$ (MPa).

Střížná práce: $A = \frac{\pi}{2} \cdot F_{\max} \cdot \frac{h}{2}$ (J).

Střih skloněnými noži: plech není stříhán v celé šířce najednou, ale *postupně* (zmenšení střížné síly a rázů), *pracovní zdvih*, potřebný k ustřižení plechu, je v porovnání s rovnoběžnými noži *větší* a je přímo úměrný úhlu sklonu horního nože λ , *úhel sklonu horního nože* $\lambda = 1$ až 5° , aby byla zaručena podmínka samosvornosti a stříhaný materiál před nožem neujížděl, **nevýhoda** – odstříhovaná část plechu se *ohýbá* (nevadí, pokud je

odpadem).

Zařízení ke stříhání: *nůžky* (vesměs k přestřihování materiálu), *lisy se střížným nástrojem* (vesměs k vystřihování a děrování).

Druhy nůžek: *pákové nůžky* (střih postupný, ústřížek je horním nožem postupně ohýbán), *vibrační nůžky*, *tabulové nůžky (s rovnoběžnými noži, se skloněnými noži)*, *kotoučové nůžky* (jednokotoučové nůžky, dvoukotoučové nůžky – pásové nůžky, okružní nůžky, křivkové nůžky), *nůžky na profily*, *letmé nůžky* (pro dělení vývalků v hutích, tj. plechu, drátu).

Lisy, používané ke stříhání: *mechanické lisy* (výstředníkové lisy, klikové lisy vysekávací automaty), *hydraulické lisy*.

Stříhadla: *tvár bříty* tvoří ve většině případů *uzavřená křivka*. Skládají se z *části pohyblivé* (upnuté pomocí stopky do beranu lisu – *střížník*), *části pevné* (upnuté na stole lisu – *střížnice*).

Rozdělení stříhadel podle funkce:

- jednoduchá* (jedna operace na jednom výstřížku na jeden zdvih),
- vícenásobná* (na jeden zdvih větší počet stejných výstřížků),
- postupová* (několik operací na více zdvihů, mezi nimiž se výlisek podává na různá pracovní místa nástroje, z poslední operace vychází při každém zdvihu hotový výrobek),
- sloučená* (na jeden zdvih se vyrobí dvě nebo více rozdílných součástí),
- sdužená* (na jeden zdvih se provedou na výstřížku různorodé operace – např. stříhání a ohýbání nebo tažení).

Rozdělení stříhadel podle druhu vedení: *otevřené* (bez vedení), *s vodicí deskou, s vodicími sloupky, se sduženými vedeními*. Vedení eliminuje vůli beranu lisu, zvyšuje přesnost stříhání, zvyšuje životnost nástroje.

Vystřihování součástí z tenkých plechů gumou: jedno pracovní ústrojí (zpravidla střížnici) tvoří *gumový polštář* složený zpravidla z *několika gumových desek* (je uložen v *pouzdru*, které se při práci nasouvá na tzv. *ponornou desku*), lze stříhat plechy do tlouštěk: hliník 2 mm, dural 1,5 mm, měkká ocel 1 mm, tloušťka *střížné desky (šablony)* má být alespoň 4x větší než tloušťka stříhaného materiálu, *aby došlo k ustřížení*, musí materiál přesahovat střížnou desku o délku rovnou 3 až 3,5 násobku její výšky, vhodné *pro kusovou a malosériovou výrobu*.

Nástřihový plán je způsob rozmístění stříhaných součástí na výchozím polotovaru, tj. tabuli nebo pásu plechu, jeho účelem je především *maximální využití materiálu, snadná manipulace při vystřihování* (krátký krok, vystřížení více součástí najednou apod.), *splnění jiných technologických požadavků* (přesnost, vhodný směr vláken apod.).

Nástřihový plán lze řešit:

- početní metodou* – pro návrh nástřihových plánů *výstřížků jednoduchého, například kruhového tvaru* (lze stanovit buď největší možný počet výstřížků z daného polotovaru nebo vhodný formát výchozího materiálu pro daný počet výstřížků),
- empiricky* – při návrhu hospodárného nástřihového plánu *složitých tvarových součástí* (např. s využitím papírových šablon budoucích výstřížků).

Zásady při konstrukci nástřihového plánu: kruhový obrys výstřížku není vhodný (vhodnější jsou rovnoběžníkové tvary), *seskupování výstřížků* (varianta *s přepážkou* a *varianta bez přepážky*) zvýšení využití materiálu lze docílit stříháním různých součástí na jeden zdvih, u větších sérií je výhodné využívat *více střížníků stejného tvaru* (vystřížení více stejných výstřížků na jeden zdvih beranu lisu).

Přepážka – mezi výstřižky, její šířka závisí na tloušťce plechu, tvaru výstřižku, na druhu materiálu, způsobu podávání apod.

Boční odpad – u okrajů pásu nebo tabule plechu

Vynechání přepážek a bočního odpadu – u tzv. *otevřeného stříhu* (obvod součásti je vytvořen více stříhy, dobrý výsledek závisí na přesnosti stříhadla a podávání, vzniknou úspory materiálu).

Hospodárnost nástřihového plánu: vyjadřuje se *součinitelem využití materiálu* η , tj. poměrem plochy rozmístěných výstřižků S_v k ploše polotovaru S_p :

$$\eta = \frac{S_v}{S_p} \cdot 100 \quad (\%).$$

Přesné stříhání: dosahuje se *hladké střížné plochy* kolmé k rovině plechu, *tolerance* vysoko překračují přesnost dosahovanou normálním stříháním, vhodným *mazáním* se snižuje součinitel tření, zvyšuje se životnost funkčních částí a kvalita střížné plochy.

Rozdělení přesného stříhání:

1. **přistřihování,**
 - a) **přistřihování vnějších obrysů,**
 - s kladnou střížnou vůlí,
 - se zápornou střížnou vůlí,
 - b) **přistřihování děrovaných tvorů,**
2. **stříhání se zaoblenou střížnou hranou,**
 - c) **zaoblená hrana střížnice** (pro vysokou hladkost vnějšího obrysu výstřižku),
 - d) **zaoblená hrana střížníku** (pro hladkost vnitřního obrysu, tj. otvoru),
3. **stříhání se zkoseným přidržovačem,**
4. **stříhání s nátláčnou hranou,**
 - c) **nátláčná hrana na přidržovači** (plechy do tl. 4 mm),
 - d) **nátláčná hrana na přidržovači i na střížnici** (plechy nad tl. 4 mm),
5. **reverzní stříhání.**

Rozdělení objemového stříhání (stříhání *profilů a tyčí* různých průřezů):

1. **objemové stříhání zastudena,**
 - a) **otevřenými noži** (při stříhu dochází před lomem k ohybu, střížná plocha je nekvalitní),
 - b) **uzavřenými noži** (pro materiály loupané či broušené – h9),
 - c) **přesné objemové stříhání** (v místě stříhu je vyvozen víceosý stav napjatosti, střížná plocha je pak bez lomové oblasti),
 - s radiálním sevřením tyče i ústřížku,
 - s axiálním předpětím tyče,
 - s krutovým předpětím tyče,
2. **objemové stříhání zatepla** (u profilů a tyčí velkých průřezů, aby se předešlo vzniku prasklin na střížné ploše. Měkké oceli třídy 11 a 12 se stříhají při teplotě předehřevu 200 až 300 °C, tzn. v *pásmu křehkosti*, ostatní při 450 až 700 °C).

Rozdělení stříhání tenkostěnných profilů a trubek:

1. **na profilových nůžkách** (pro otevřené tenkostěnné profily L, T, U, I při použití *výměnných střížných desek*),

	2. v nástroji s odpadem (kvalitní střížná plocha, deformován je pouze odpad. Šířka odpadu odpovídá tloušťce nože. Způsob vhodný pro velkosériovou výrobu.), a) stříhání otevřených a polouzavřených tenkostěnných profilů (tvar nožů se musí řešit pro každý profil samostatně, nesmí nastat <i>stříhání svislé stěny</i>), b) stříhání tenkostěnných trubek a uzavřených profilů, – vertikálním způsobem (vertikální klínový nůž stříhá dvojitým stříhem, odpadem je úzký prstenec, jehož šířka odpovídá tloušťce nože), – horizontálně - vertikálním způsobem (po upnutí trubky stříhá horizontální nůž a následně vertikální klínový nůž), 3. v nástroji bez odpadu (střížná plocha je méně kvalitní než u stříhání v nástroji s odpadem, pomocí dvojice trnů se odstraní deformace tvaru profilu při stříhu. Polotovar by měl být broušený nebo loupáný – h9.), 4. kotoučovými noži a) bez trnu (někdy též <i>metodou Kleager</i>. Do trubky, která je uložena na válečkách, je vtlačován břit kotoučového nože.), b) stříhání s otočným trnem (pro trubky s max. tloušťkou stěny 3 mm). Lámání: pro tyčový materiál velkých rozměrů (150 až 200 mm), láme se <i>ohybem</i>, rozdělení v žádaném místě se napomáhá <i>vrubem</i>, který se vytvoří pilou nebo plamenem, síla potřebná k lámání může být vyvozena <i>statickým, dynamickým nebo cyklickým způsobem</i>, vhodné pro <i>materiály s vysokou tvrdostí</i> ($R_m > 700 \text{ MPa}$) a <i>těžkoobrobitelné materiály</i> (měkkí uhlíkové oceli lze lámat při ohřevu na 300 °C, tzn. v <i>pásmu křehkosti</i>), provádí se především ve <i>válcovnách a metalurgických provozech na hydraulických lisech, ve srovnání se stříháním</i> – odpadá broušení nožů, k přelomení je třeba menší síly, lomová plocha je horší kvality. Rozdělení lámání: <i>lámání s jednou podpěrrou, lámání se dvěma podpěrami, lámání konzolové.</i>
--	--



Pojmy k zapamatování

Dělení materiálu, stříhání, smyk, břit, deformace, plošné stříhání, objemové stříhání, lámání, ohyb, vrub, střížník, střížnice, křivka stříhu, prosté stříhání, přestříhování, děrování, vystříhování, přistříhování, nastříhování, prostříhování, protrhávání, vysekávání, ostříhování, přesné stříhání, výsečník, střížná plocha, střížná hrana, napjatost, čelo nože, oblast plastického stříhu, lom, otěr, otřep, vtisk spodního nože, střížná vůle, pevnost materiálu ve stříhu, střížná síla, střížná práce, plastický stříh, stříh skloněnými noži, pracovní zdvih, samosvornost, tabulové nůžky, pružná deformace, pákové nůžky, ústřížek, vibrační nůžky, kotoučové nůžky, nůžky na profily, letmé nůžky, mechanický lis, výstředníkový lis, klikový lis, vysekávací automat, hydraulický lis, stříhadlo, vodící deska, vodící sloupky, vodící stojánek, postupové stříhadlo, sdružené stříhadlo, otevřené stříhadlo, guma, ponorná deska, nástřihový plán, krok, seskupování výstřížků, přepážka, boční odpad, hospodárnost nástřihového plánu, součinitel využití materiálu, mazání, zkosený přidržovač, nátláčná hrana, reverzní stříhání, otevřené nože, uzavřené nože, přesné objemové stříhání, radiální sevření, axiální předpětí, krutové předpětí, objemové stříhání zatepla, tenkostěnný profil, trubka, profilové nůžky, otevřený tenkostěnný profil, polouzavřený tenkostěnný profil, uzavřený tenkostěnný profil, tvrdost, uhlíková ocel, pásmo křehkosti, lámání s jednou podpěrrou, lámání se dvěma podpěrami, lámání konzolové.



Odměna a odpočinek

Výborně, právě jste zvládl(a) **pátou kapitolu**! Nyní se můžete proběhnout nebo nějakým způsobem protáhnout tělo a pak se pokuste vlastními slovy shrnout obsah kapitoly. Následně odpovězte na kontrolní otázky kapitoly.



Kontrolní otázky

Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo **páté kapitoly „Dělení materiálu“** zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek:

1. Dokážete rozdělit technologie dělení materiálu?
2. Co se rozumí stříháním?
3. Jaké jsou základní operace plošného stříhání?
4. Na čem závisí tvar a jakost střížné plochy?
5. Které oblasti lze rozlišit na střížné ploše? Jaké jsou příčiny vzniku jednotlivých oblastí?
6. Na co má vliv velikost střížné mezery?
7. Jaký je rozdíl mezi střížnou mezerou a střížnou vůlí?
8. Při vystřihování, kdy je výrobkem výstřížek, odpovídá rozměr výstřížku rozměru střížnice, nebo střížníku?
9. Jak se vypočte střížná plocha, maximální střížná síla a střížná práce?
10. Dokážete vysvětlit výhody stříhání skloněnými noži? Jaké jsou nevýhody této technologie?
11. Jak se dají rozdělit zařízení ke stříhání?
12. Jaké znáte druhy nůžek?
13. Jaké lisy se používají ke stříhání?
14. Co je to stříhadlo? Z jakých částí se stříhadlo skládá?
15. Jak lze stříhadla rozdělit podle funkce? Jak lze rozdělit podle způsobu vedení?
16. Za jakých podmínek lze použít technologii vystřihování součástí gumou?
17. Co je to nástřihový plán? Jakými způsoby se nástřihový plán konstruuje?
18. Co jsou u technologie stříhání přepážky? Co je boční odpad?
19. Jak lze stanovit hospodárnost nástřihového plánu?
20. Co je u technologie stříhání využitelný odpad? Co je nevyužitelný odpad?
21. Jaké metody přesného stříhání znáte?
22. Co je podstatou přesného stříhání, tj. proč je střížná plocha hladká?
23. Kdy se používá technologie objemového stříhání zastudena a kdy zatepla?
24. Jakými způsoby se provádí stříhání tenkostěnných profilů a trubek?
25. Jaké jsou výhody technologie lámání materiálu? Kdy se tato technologie používá?

	26. Jaké druhy lámání znáte? Jakým způsobem se docílí rozdělení materiálu v žádaném místě?
--	--

	Literatura
	[1] BŘEZINA, R. <i>Technologie I – část 1 : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 80 s. ISBN 80-7078-439-3. [2] ČADA, R. <i>Technologie I – část tváření a slévání : návody do cvičení : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 188 s. ISBN 80-7078-540-3. [3] PETRŽELA, Z. <i>Základy teorie a technologie strojírenského tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1980. 378 s. (bez ISBN). [4] PETRŽELA, Z., KUČERA, J. a BŘEZINA, R. <i>Technologie slévání, tváření a svařování : skriptum</i>. 2. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1987. 329 s. (bez ISBN). [5] ČABELKA, J. a kol. <i>Mechanická technológia</i>. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1967. 1036 s. (bez ISBN). [6] BŘEZINA, R. a ČADA, R. <i>Speciální technologie – technologie tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1992. 257 s. ISBN 80-7078-122-X. [7] NOVOTNÝ, K. a MACHÁČEK, Z. <i>Speciální technologie I : Plošné a objemové tváření : skriptum</i>. 2. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3.

	Náměty pro tutoriál
	Vysvětlete využitelný a nevyužitelný odpad u nástřihových plánů. Uveďte příklady z praxe, kdy se tyto odpady vyskytují při výrobě součástí. Popište metody přesného stříhání. Uveďte příklady z praxe, kdy se využívají.

	Průvodce studiem
	Další kapitola se věnuje jiné technologii, a to tažení plechu. Tato technologie se uplatňuje především při výrobě součástí v automobilovém průmyslu, ale ve větší nebo menší míře se používá ve většině strojírenských podniků.

6 TAŽENÍ PLECHU

	Rychlý náhled do problematiky kapitoly
	Šestá kapitola seznamuje s technologií tažení plechu. Je v ní popsáno rozdělení tažení, tažení bez ztenčení stěny, technologické parametry tažení – tvar a velikost přístřihu, počet tažných operací a jejich odstupňování, použití přidržovače, velikost tažné mezery, tvar tažníku a tažnice, tažná síla, rychlost tažení, drsnost plechu a funkčních částí nástroje, mazání. V této kapitole je dále objasněno tažení nerotačních výtažků (tažení čtyřhranných, stupňovitých, kuželových, sférických výtažků, tažení výtažků nepravidelných tvarů, použití brzdicích žeber a lišt), technologičnost tažení výtažků, postupové tažení v pásu (bez nástřihu, s nástřihem, s natrháváním pásu) a tažení se ztenčením stěny. Člení se na následující podkapitoly: 6.1 Technologické parametry tažení 6.1.1 Tvar a velikost přístřihu 6.1.2 Stanovení počtu tažných operací a jejich odstupňování 6.1.3 Použití přidržovače 6.1.4 Tažná mezera 6.1.5 Tvar tažnice 6.1.6 Tvar tažníku 6.1.7 Tažná síla 6.1.8 Rychlost tažení 6.1.9 Drsnost plechu a funkčních částí nástroje 6.1.10 Mazání při tažení 6.2 Tažení složitých výtažků 6.2.1 Tažení čtyřhranných výtažků 6.2.2 Tažení stupňovitých výtažků 6.2.3 Tažení kuželových výtažků 6.2.4 Tažení sférických výtažků 6.2.5 Tažení výtažků nepravidelných tvarů 6.3 Technologičnost tažení výtažků 6.4 Postupové tažení v pásu 6.5 Tažení se ztenčením stěny

	Cíle kapitoly
	Budete umět: • definovat a vysvětlit pojem tažení, • určit vhodný tvar a velikost přístřihu pro tažení, • stanovit počet tažných operací a jejich odstupňování, • rozhodnout o použití přidržovače v prvním a dalších tazích, • vypočítat velikost tažné mezery pro jednotlivé tažné operace, • navrhnout vhodný tvar tažnice i tažníku pro jednotlivé tažné operace, • vypočítat tažnou sílu a celkovou sílu tažného lisu pro jednotlivé tažné operace, • vysvětlit důvody mazání při tažení,

	• popsat problematiku tažení čtyřhranných výtažků, • objasnit problematiku tažení sférických výtažků, • pojmenovat a objasnit základní metody stanovení tvaru a velikosti přístřihu pro tažení výtažků nepravidelných tvarů, • vyložit základní zásady technologičnosti při tažení výtažků. Získáte: • přehled o rozdělení technologií tažení materiálu, • znalosti o technologických parametrech tažení, • informace o způsobech vyvozování přídržovací síly, • poznatky o rychlostech tažení tažných lisů, • přehled o základních druzích maziv, používaných při tažení, • znalosti o problematice tažení stupňovitých výtažků, • informace o použití technologie postupového tažení v pásu. Budete schopni: • charakterizovat technologii tažení bez ztenčení stěny, • vypočítat přídržovací sílu v jednotlivých tazích, • popsat vlivy drsnosti plechu a funkčních částí nástroje na tažení, • vysvětlit důvody použití a funkci brzdících žeborů a lišt, • objasnit problematiku tažení kuželových výtažků, • popsat zvláštnosti tažení výtažků nepravidelných tvarů, • rozdělit technologie postupového tažení v pásu, • vysvětlit možnosti technologie tažení se ztenčením stěny.
--	--

	Klíčová slova kapitoly
	Tažení, deformace, výtažek, plošné tváření, tažení prosté, přídržovač, tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování, přetahování, tažnice, tažník, tažná síla, přístřih, stupeň deformace, součinitel odstupňování tahu, poměrná tloušťka přístřihu, účinná plocha přídržovače, hlubokotažný plech, jmenovitá tloušťka plechu, tlak přídržovače, přídržovací síla, měrný tlak přídržovače, beran, dvojčinný lis, tažná mezera, zvlnění, kalibrace výtažku, jednočinný lis, zaoblení tažné hrany tažnice, vyhazovač, přechodový poloměr tažníku, sekundární zvlnění výtažku, tažná síla, celková síla tažného lisu, rychlost tažení, součinitel tření, deformační rychlost, drsnost plechu, vázané tažení, volné tažení, mazání, zadírání plechu, kapalná maziva, konzistentní maziva, tuhá maziva, nerotační výtažek, čtyřhranný výtažek, příruba, brzdící žebro, brzdící lišta, radiální napětí, stupňovitý výtažek, kuželový výtažek, kovotlačení, sférický výtažek, jednooperační tažení, víceoperační tažení, výtažek nepravidelného tvaru, vypínání, metoda řezů, metoda využívající trajektorii maximálních smykových napětí, ostřížení, technologičnost, postupové tažení v pásu, klikový lis, nastřížení, natrhnutí, zdvih.

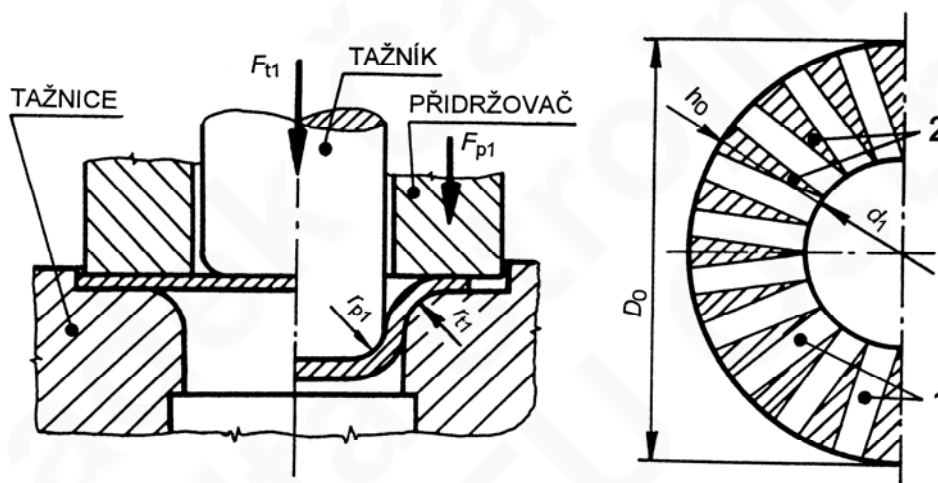
	Čas potřebný ke studiu kapitoly: 5 hodin
---	--

	Průvodce studiem
	Tato kapitola je důležitým teoretickým základem pro zpracování třetího korespondenčního úkolu – návrhu technologie tažení válcového výtažku z plechu na více operací.

Tažení plechu:

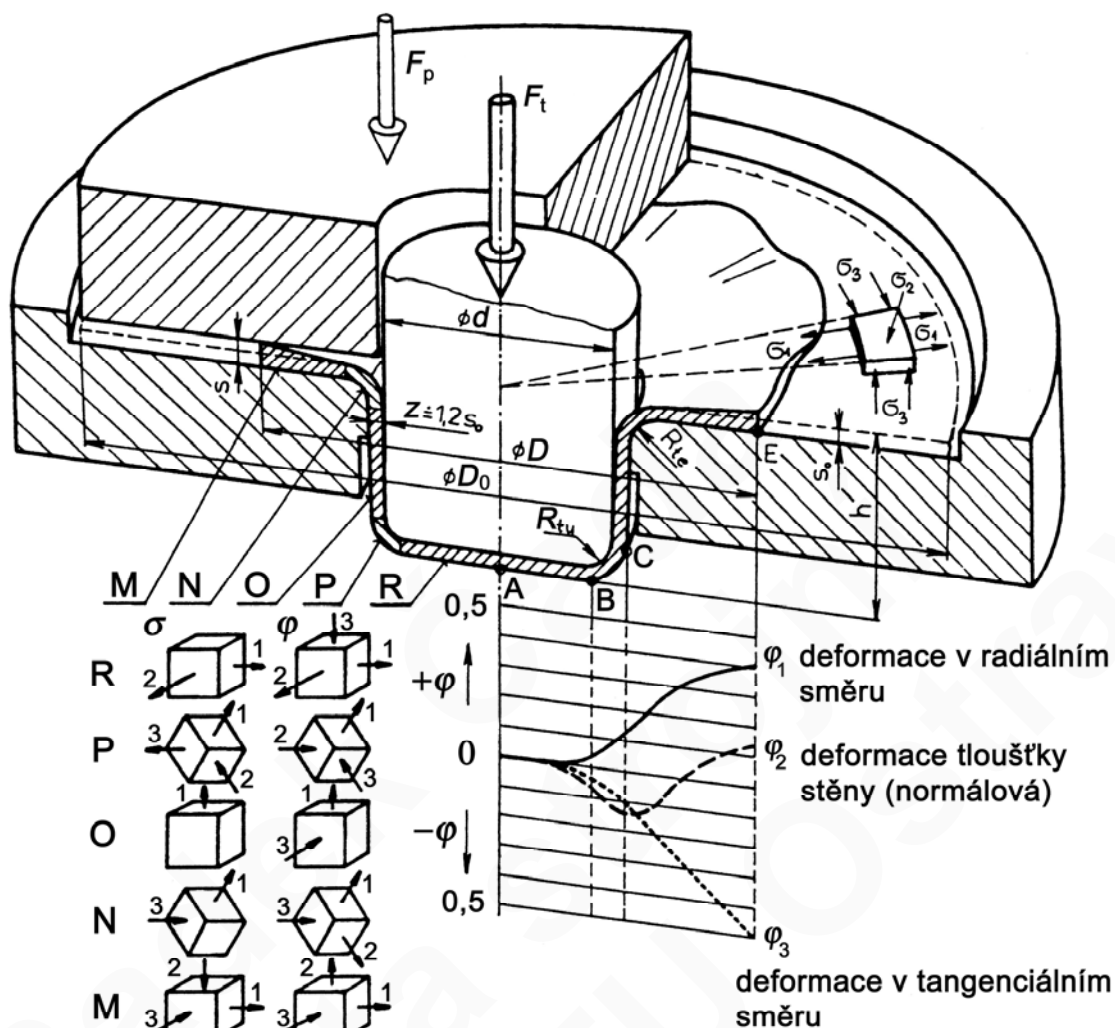
- trvalá deformace, při které vznikají z rovinných přístřihů *prostorové duté výtažky*, které nejsou rozvinutelné (obr. 6.1 a 6.2),
- jde o *plošné tváření*, protože požadovaný tvar výtažků se dosahuje bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu.

Výhody součástí vyrobených tváření z plechů – tuhost, sestavovatelnost, nízká hmotnost, dobrá kvalita povrchu, nízké výrobní náklady (zvláště při velkosériové výrobě)



Obr. 6.1 Schéma nástroje pro tažení plechu (1. tah) a náčrt přesouvání objemu materiálu plechu v procesu tažení (1 – obdélníkové plochy, tj. části rozvinuté z válcové části výtažku, 2 – trojúhelníkové části, z nichž musí být materiál přemístěn ve směru radiálním a tangenciálním, F_{t1} – tažná síla v prvním tahu, F_{p1} – přidržovací síla v prvním tahu, r_{p1} – poloměr zaoblení tažné hrany tažníku v prvním tahu, r_{t1} – poloměr zaoblení tažné hrany tažnice v prvním tahu, D_0 – průměr kruhového přístřihu, h_0 – výška výtažku, d_1 – průměr výtažku po prvním tahu)

	Část pro zájemce
	Pomocí odkazu níže můžete spustit animaci výroby na postupovém lisu. Pás plechu je z odvíječky přes rovnačku do lisu podáván z levé strany. Na beranu lisu je více nástrojů vedle sebe, přesun mezi operacemi se provádí pomocí kleštin. <u>Výroba na postupovém lisu</u>

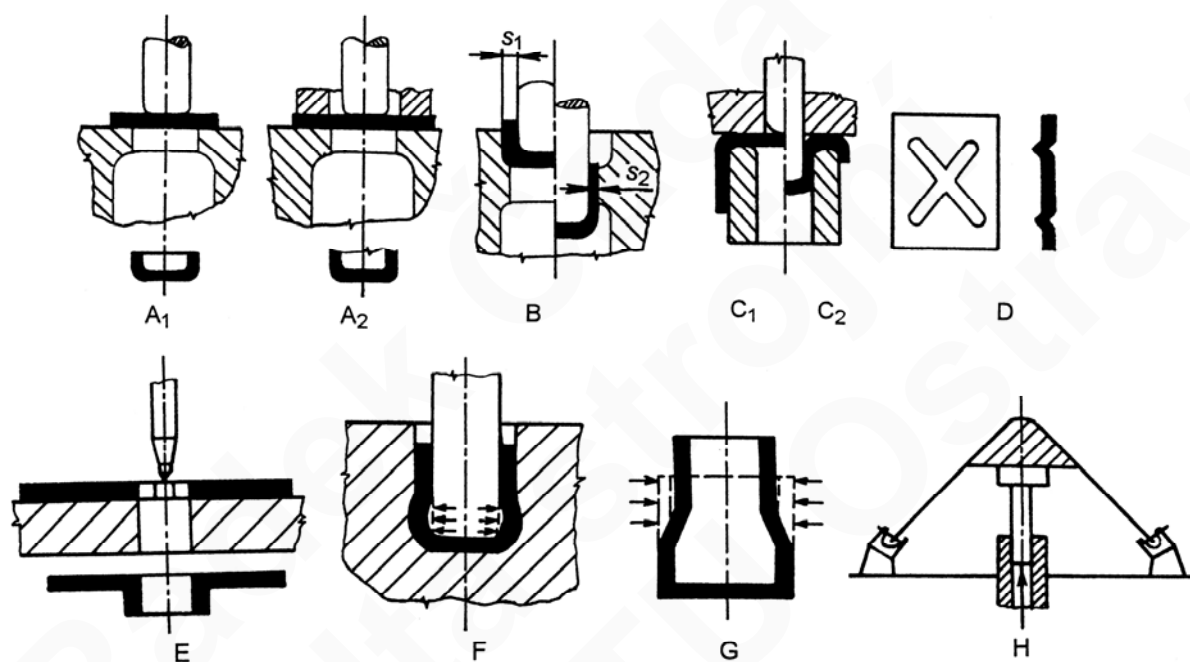


Obr. 6.2 Napjatost a deformace při jednooperačním tažení válcového výtažku bez ztenčení stěny ($F_{\text{taž}}$ – tažná síla v prvním tahu, $F_{\text{přidr}}$ – přidržovací síla v prvním tahu, s_0 – počáteční tloušťka plechu, s – konečná tloušťka plechu na okraji příruby, R_{tu} – poloměr zaoblení tažné hrany tažníku v prvním tahu, R_{te} – poloměr zaoblení tažné hrany tažnice v prvním tahu, D_0 – průměr kruhového přístřihu, D – průměr příruby výtažku, h – výška výtažku, d – průměr tažníku, σ_1 – hlavní normálové napětí ve směru 1, tj. ve směru radiálním, σ_2 – hlavní normálové napětí ve směru 2, tj. ve směru tloušťky stěny, σ_3 – hlavní normálové napětí ve směru 3, tj. ve směru tangenciálním, φ_1 – hlavní logaritmická deformace ve směru 1, tj. ve směru radiálním, φ_2 – hlavní logaritmická deformace ve směru 2, tj. ve směru tloušťky stěny, φ_3 – hlavní logaritmická deformace ve směru 3, tj. ve směru tangenciálním)

Rozdělení tažení:

1. **tažení prosté** – tváření rovinného přístřihu v prostorovou uzavřenou plochu **bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu**. Může být **bez přidržovače** (obr. 6.3 A₁) nebo **s přidržovačem** (obr. 6.3 A₂)
2. **tažení se ztenčením stěny** – tváření dutého polotovaru se zmenšením tloušťky stěny výtažku z hodnoty s_1 na s_2 (obr. 6.3 B)

3. **zpětné tažení** – ve druhé operaci se provede **tažení v obráceném směru** vůči tažení předchozímu (obr. 6.3 C₁ a C₂)
4. **žlábkování** – vytlačování **mělkých prohloubenin** pro zvýšení tuhosti polotovaru (obr. 6.3 D)
5. **protahování** – protahování materiálu po vnějším nebo vnitřním okraji tak, aby se vytvořila kolmá válcová plocha (obr. 6.3 E)
6. **rozšiřování** – místní zvětšování průměru výchozího válcového polotovaru (obr. 6.3 F)
7. **zužování** – místní zužování výchozího válcového polotovaru (obr. 6.3 G)
8. **přetahování** – tváření rovinného polotovaru v prostorovou plochu **napínáním přes šablonu** (obr. 6.3 H)



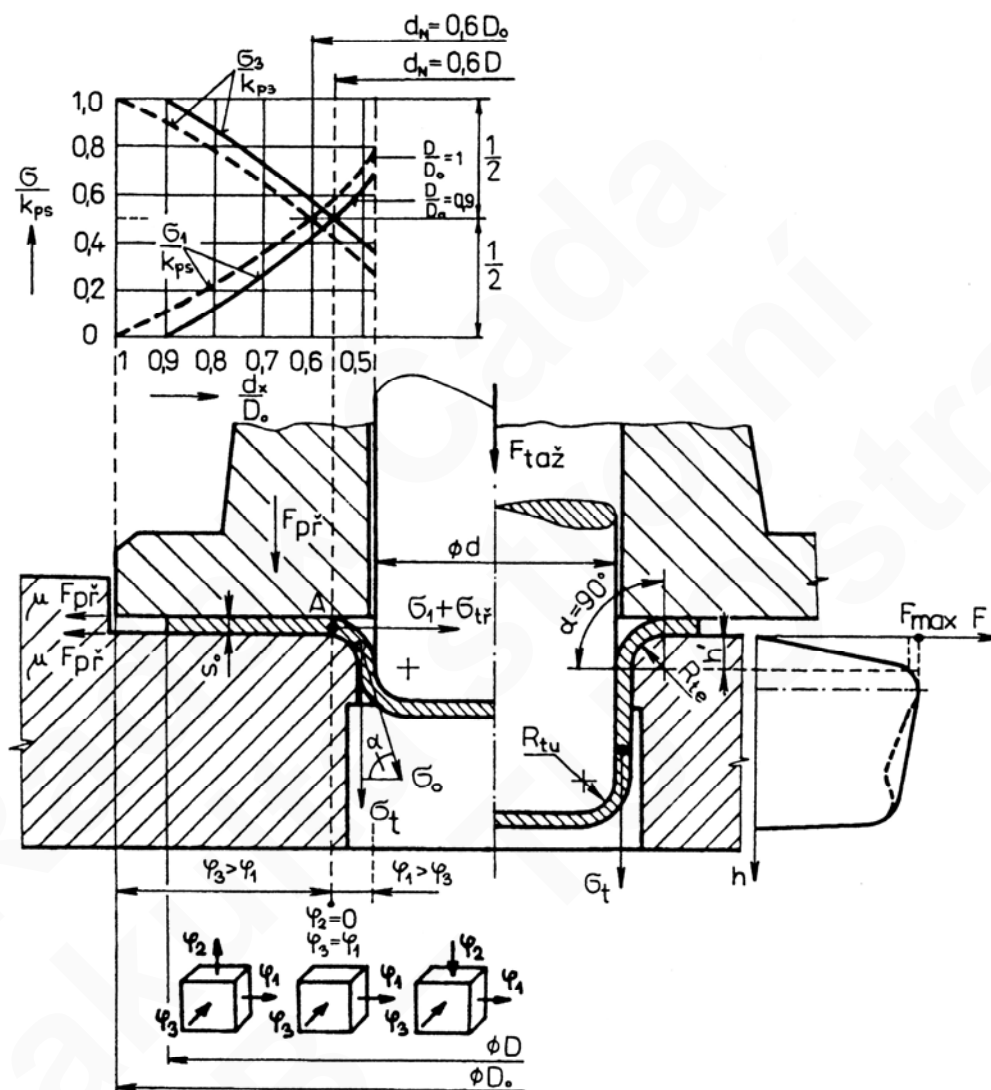
Obr. 6.3 Rozdělení procesů tažení (A₁ – tažení prosté bez přidržovače, A₂ – tažení prosté s přidržovačem, B – tažení se ztenčením stěny, C₁ – vložení polotovaru vyrobeného dle obr. 6.3 A₁ nebo A₂, C₂ – tažení v obráceném směru vůči tažení předchozímu, D – žlábkování, E – protahování, F – rozšiřování, G – zužování, H – přetahování)

	Část pro zájemce
	Pomocí odkazu níže můžete spustit animaci procesu rozšiřování trubky. Je vidět velká plastická deformace při místním zvětšování průměru výchozího polotovaru. <u>Proces rozšiřování trubky</u> Pomocí druhého odkazu níže můžete spustit animaci procesu rozšiřování trubky se zobrazením změn tloušťky materiálu. Je vidět velká změna tloušťky především v místě největšího rozšíření, a to z výchozí tloušťky 0,8 mm na tloušťku 0,68 mm. <u>Proces rozšiřování trubky se zobrazením změn tloušťky materiálu</u>



Úkol k zamyšlení

Uved'te příklady použití jednotlivých technologií tažení při výrobě součástí v praxi.



Obr. 6.4 Tažení válcového výtažku bez ztenčení stěny (1 – vlevo od osy – první fáze tažení, 2 – vpravo od osy – druhá fáze tažení a pracovní diagram, $F_{\text{taž}}$ – tažná síla, $F_{\text{př}}$ – přídržovací síla, μ – součinitel smykového tření mezi nástrojem a plechem v oblasti příruby, s_0 – počáteční tloušťka plechu, R_{tu} – poloměr zaoblení tažené hrany tažníku v prvním tahu, R_{te} – poloměr zaoblení tažené hrany tažnice v prvním tahu, D_0 – průměr kruhového přístřihu, D – průměr příruby výtažku, h – výška výtažku, d – průměr tažníku, σ_1 – hlavní normálové napětí ve směru 1, tj. ve směru radiálním, σ_2 – hlavní normálové napětí ve směru 2, tj. ve směru tloušťky stěny, σ_3 – hlavní normálové napětí ve směru 3, tj. ve směru tangenciálním, φ_1 – hlavní logaritmická deformace ve směru 1, tj. ve směru radiálním, φ_2 – hlavní logaritmická deformace ve směru 2, tj. ve směru tloušťky stěny, φ_3 – hlavní logaritmická deformace ve směru 3, tj. ve směru tangenciálním, k_{ps} – střední přetvárný odpor materiálu, F_{max} – maximální tažná síla)

Tažení prosté, tj. bez ztenčení stěny:

- *tloušťka plechu není ovlivňována geometrií nástroje* (mezi tažnicí a tažníkem je dostatečná vůle, aby jí prošly i zesílené okraje výtažku)
- *ve skutečnosti* se tloušťka plechu *u dna* zmenšuje, *u okraje výtažku* se napěchováním zvětšuje (*změna není příliš velká, proto se zanedbává* – zákon stálosti objemu přejde v *zákon stálosti ploch*)
- *největší ztenčení plechu* je těsně nad zaoblením mezi dnem a stěnou
- *stupeň deformace stěn výtažku* vzrůstá od jeho dna směrem k okraji
- při hlubokém tažení se zabraňuje tvorbě vln na přírubě *přidržovačem*
- *tažná síla dosáhne maxima*, když středy poloměrů zaoblení hran tažnice a tažníku jsou v jedné rovině (vliv úhlu opásání zaoblené hrany tažnice)

6.1 Technologické parametry tažení

Technologické parametry tažení jsou následující:

1. tvar a velikost přístřihu (viz 6.1.1),
2. počet tažných operací a jejich odstupňování (viz 6.1.2),
3. použití přidržovače (viz 6.1.3),
4. velikost tažné mezery (viz 6.1.4),
5. tvar tažníku (viz 6.1.5),
6. tvar tažnice (viz 6.1.6),
7. tažná síla (viz 6.1.7),
8. rychlost tažení (viz 6.1.8),
9. drsnost plechu a funkčních částí nástroje (viz 6.1.9),
10. mazání při tažení (viz 6.1.10).

6.1.1 Tvar a velikost přístřihu

Za předpokladu, že tloušťka plechu se při tažení nemění ($s = s_0$), zákon stálosti objemu přejde v *zákon stálosti ploch*

- a) *u válcových výtažků* – na základě stálosti ploch výpočet D_0 , pak jeho zvětšení vzhledem k cípovitosti (o 3 % D_0 pro první tah a o 1 % D_0 pro každý další tah),
- b) *u rotačních výtažků složitějšího tvaru* – lze použít **Guldinovy věty**: „Plocha rotačního tělesa, vytvořeného otáčením rovinné křivky délky l kolem osy rotace, se rovná součinu délky křivky a dráhy jejího těžiště při rotaci“.

$$S = 2 \pi \cdot R_T \cdot L \quad (\text{mm}^2), \quad (6.1)$$

kde jsou R_T – vzdálenost těžiště tvořící křivky od osy rotace (mm), L – délka tvořící křivky (mm).

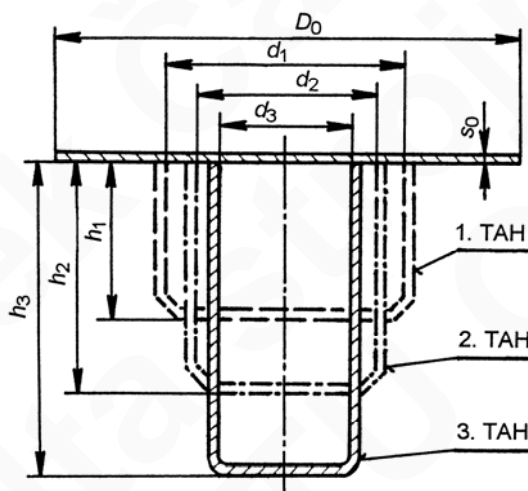
Průměr přístřihu:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{8R_T \cdot L} \quad (\text{mm}). \quad (6.2)$$

Délka tvořící křivky a poloha jejího těžiště se určuje buď *graficko-analyticky* nebo *graficky*.

6.1.2 Stanovení počtu tažných operací a jejich odstupňování

- *je snaha vyrobit výtažek na co nejmenší počet tažných operací* (deformace musí být v každé operaci tak velká, aby se plně využilo mechanických vlastností taženého materiálu, tj. *až na přípustnou mez*) (obr. 6.5)
- *stupeň deformace při jednom tahu nesmí překročit určitou maximální hodnotu*, jinak dojde k poškození výtažku (používají se tzv. **mezni součinitelé odstupňování tahu M**)



Obr. 6.5 Odstupňování tažných operací

Označí-li se průměr kruhového přístřihu D_0 , průměr výtažku po prvním tahu d_1 , po druhém tahu d_2 , po předposledním tahu d_{n-1} a po posledním tahu d_n , *mají součinitelé odstupňování tahu tyto hodnoty:*

$$M_1 = \frac{d_1}{D_0}, \quad M_2 = \frac{d_2}{d_1}, \quad M_{n-1} = \frac{d_{n-1}}{d_{n-2}}, \quad M_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} \quad (-). \quad (6.3)$$

Celkový součinitel odstupňování tahu:

$$M_c = \frac{d_n}{D_0} = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_{n-1} \cdot M_n \quad (-). \quad (6.4)$$

Součinitelé odstupňování tahu závisí na mechanických vlastnostech plechu, na rozměrech a členitosti povrchu taženého výtažku, jeho výšce, navrženém technologickém postupu, na poměrné tloušťce přístřihu s/D_0 atd.

Musí být splněna podmínka:

$$M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot \dots \cdot M_n \leq M_c \quad (-). \quad (6.5)$$

	Průvodce studiem
	Po výpočtu potřebného počtu tažných operací je účelné provést kontrolu , zda není poslední operace tažení jen malým zmenšením průměru výtažku s vysokou hodnotou součinitele odstupňování tahu. Pokud tomu tak je, lze provést rozvolnění tahů , které spočívá v úpravě jednotlivých součinitelů odstupňování tahu tak, že se zvýší bezpečnost tažení ve všech operacích. Úprava součinitelů se provede tak, že se všechny mimo součinitele pro poslední tah zvýší a hodnota součinitele pro poslední tah se sníží při zachování výchozí hodnoty součinu součinitelů pro všechny jednotlivé tahy.

6.1.3 Použití přidržovače

- *přidržovač brání vzniku přeložek a zvrásnění při tažení* tím, že svou funkční plochou přitlačuje plech k horní části tažnice,
- *nebezpečí vzniku vln je tím větší, čím je plech tenčí a součinitel odstupňování tahu nižší* (tažení výtažků z tenkého plechu bez přidržovače klasickými metodami je možné jen u mělkých výtažků s velkým součinitelem odstupňování),
- *při tažení tlustostěnných výtažků není zpravidla přidržovače potřeba* (stabilita příruby proti zborcení následkem tangenciálního pěchování je dostatečně velká),
- *dosedací plocha přidržovače pro druhý a další tahy* je přizpůsobená tvaru polotovaru z předchozího tahu a *není tedy rovinná* (obr. 6.6 a 6.7).

Přidržovač se používá:

a) při tažení hlubokotažného plechu tloušťky **$s < 0,5 \text{ mm}$** ,

b) **v prvním tahu** v případě, že:

$$\alpha \geq \frac{100d_1}{D_{0\text{skut}}} \quad (-), \quad (6.6)$$

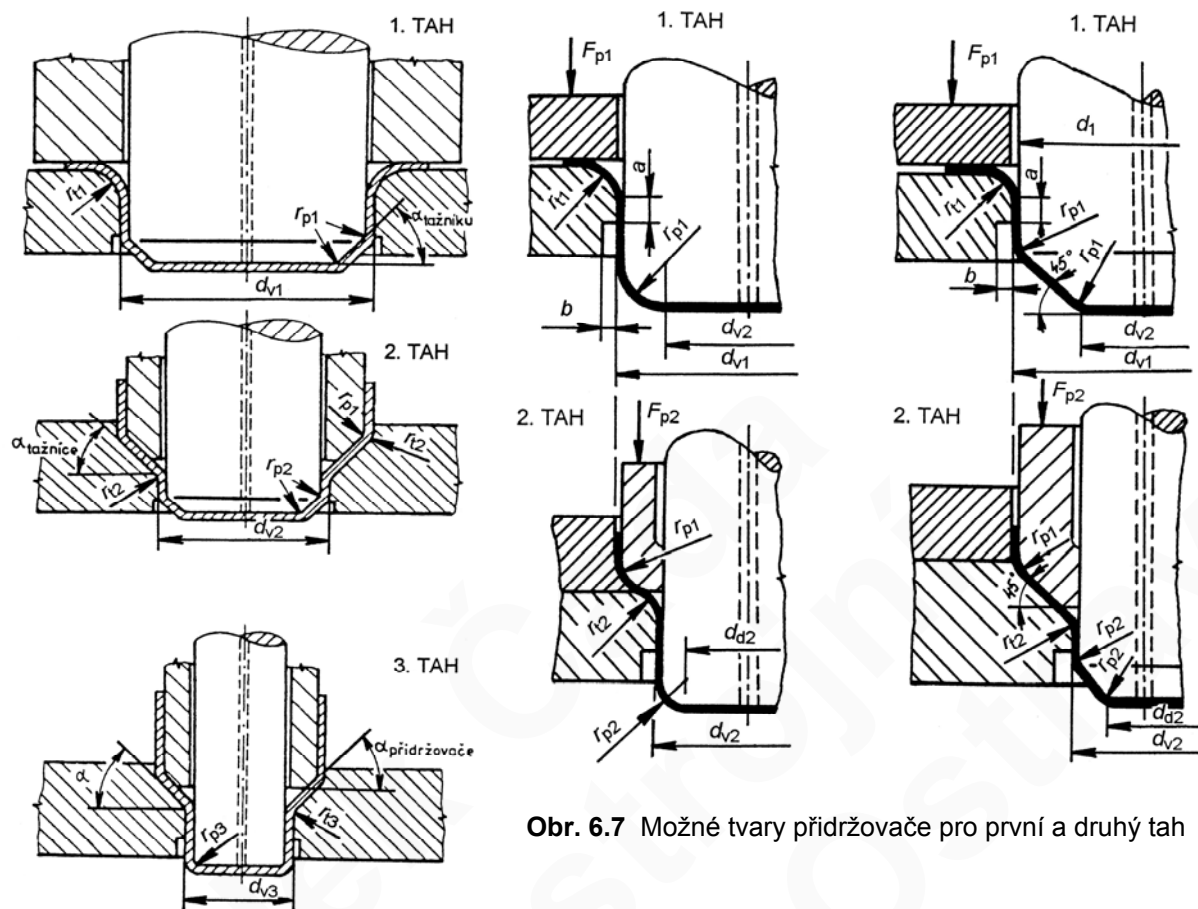
kde jsou α – součinitel, d_1 – průměr výtažku po prvním tahu (mm), $D_{0\text{skut}}$ – skutečný průměr kruhového přístřihu (mm).

c) **v dalších tazích**, jestliže součinitel odstupňování M je menší než 0,9.

Součinitel α se vypočte:

$$\alpha = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_{0\text{skut}}}} \right), \quad (6.7)$$

kde jsou s – jmenovitá tloušťka plechu (mm), $D_{0\text{skut}}$ – skutečný průměr kruhového přístřihu (mm), Z – materiálová konstanta (pro ocelový hlubokotažný plech 1,90, pro mosazný plech 1,95 a pro hliníkový a zinkový plech 2,00).



Obr. 6.6 Víceoperační tažení válcového výtazku

Obr. 6.7 Možné tvary přidržovače pro první a druhý tah

Tlak přidržovače závisí na **pevnosti taženého materiálu** a jeho **tloušťce** (čím je tloušťka plechu větší, tím menší může být přítlačná síla přidržovače). V praxi se používá v rozsahu 1 až 3 MPa.

Přidržovací síla v i-tém tahu:

$$F_{pi} = S_{pi} \cdot p_i \quad (\text{N}), \quad (6.8)$$

kde jsou S_{pi} – účinná plocha přidržovače v i-tém tahu (mm^2), p_i – měrný tlak přidržovače v i-tém tahu (MPa).

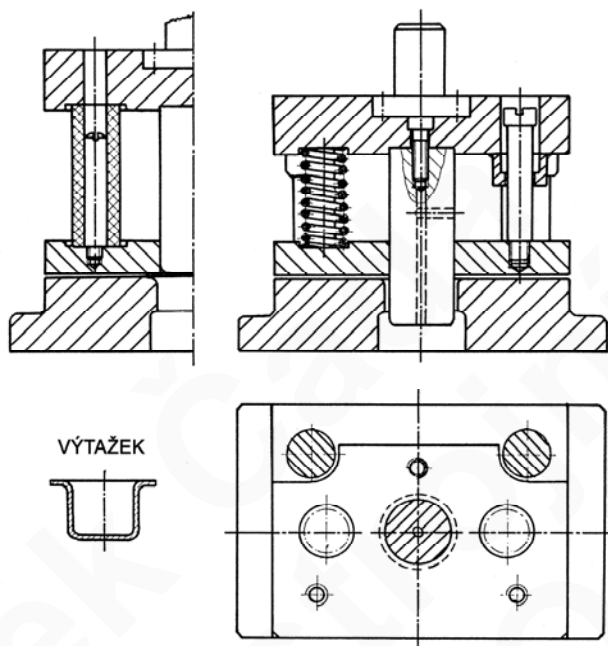


Průvodce studiem

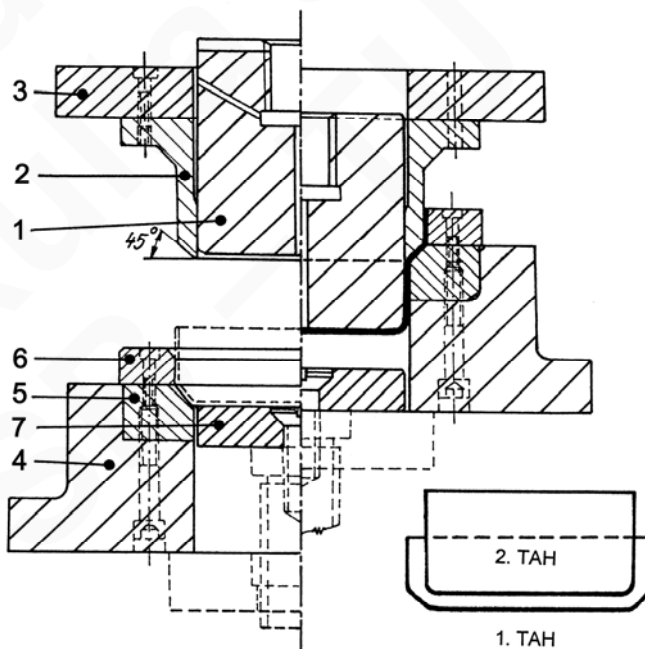
Účinná plocha přidržovače je plocha přidržovače, která je v kontaktu s tvářeným plechem. **V prvním tahu** jde o rovinné mezikruží, protože se používá rovinný prstencový přidržovač. **Ve druhém a dalších tazích** je účinnou plochou přidržovače zpravidla kuželová plocha. Pro výpočet přidržovací síly, která působí rovnoběžně s osou nástroje, lze vynásobit měrný tlak, působící kolmo na účinnou plochu přidržovače, hodnotou plochy mezikruží, které vznikne průmětem kuželové plochy do roviny kolmé k ose nástroje.

Přidržovací sílu mohou vyvozovat:

- a) **pružiny** (*ocelové* nebo *gumové*, stlačované pohybem přitlačné desky, upevněné na beranu) (obr. 6.8),
- b) **pneumatický přidržovač** (při hlubších tazích),
- c) **druhý beran** (*přidržovací*, je součástí dvojčinných lisů) (obr. 6.9).



Obr. 6.8 Tažidlo s horním pružinovým přidržovačem, určené pro jednočinné lisy



Obr. 6.9 Tažidlo pro druhý tah s horním přidržovačem, určené pro dvojčinný lis
(1 – tažník, 2 – přidržovač, 3 – deska přidržovače, 4 – základová deska, 5 – tažnice, 6 – středící kroužek, 7 – vyhazovač)

6.1.4 Tažná mezera

- má být taková, aby jí prošel *tažením zesílený okraj výtažku*, zvětšený o výrobní toleranci daného plechu,
- *příliš velká tažná mezera* způsobuje *zvlnění výtažku*, *menší než optimální* způsobí *zvětšení tažné síly*,
- *u druhého a dalších tahů* se velikost mezery postupně zmenšuje až k minimální hodnotě, odpovídající poslednímu tahu.

Tažná mezera se volí:

a) *pro první tah*

$$t_{m1} = (1,2 \div 1,3) s \quad (\text{mm}), \quad (6.9)$$

b) *pro poslední tah*

$$t_{mn} = (1,1 \div 1,2) s \quad (\text{mm}). \quad (6.10)$$

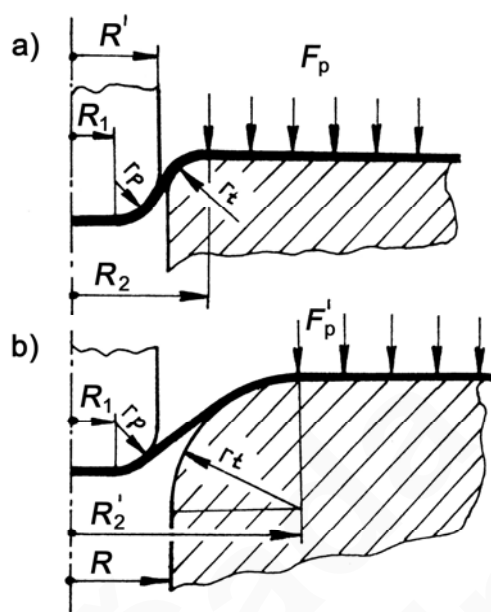
V případě, že se provádí kalibrace výtažku, volí se tažná mezera:

$$t_{mk} = (1,0 \div 1,1) s \quad (\text{mm}). \quad (6.11)$$

	Průvodce studiem
	Důsledkem příliš malé tažné mezery je zadírání plechu v tažném nástroji, které se projevuje svislými rýhami na plášti výtažku.

6.1.5 Tvar tažnice

- *zaoblení tažné hrany tažnice r_t* ovlivňuje velikost napětí v taženém materiálu, velikost tažné síly a vznik vad při tažení (obr. 6.10),
- *zvětší-li se poloměr zaoblení tažné hrany tažnice*, usnadní se tažení a je možno zvětšit hloubku i stupeň tažení na jednu operaci. Současně se však zmenší plocha pod přidržovačem, zvětší se nepřidržovaná plocha přístřihu, takže vznikne riziko vzniku vrásek a přeložek (tzv. *sekundární zvlnění*).



Obr. 6.10 Vliv poloměru zaoblení tažné hrany tažnice r_t na velikost přírby a velikost přidržovací síly (a – varianta s menším poloměrem zaoblení tažné hrany tažnice, b – varianta s větším poloměrem zaoblení tažné hrany tažnice, kdy je větší nebezpečí vzniku sekundárních vln, platí: $F_p' < F_p$)

Doporučená zaoblení tažné hrany tažnice:

a) pro první tah

$$r_{t1} = (8 \div 10) s \quad (\text{mm}), \quad (6.12)$$

b) pro druhý a další tahy

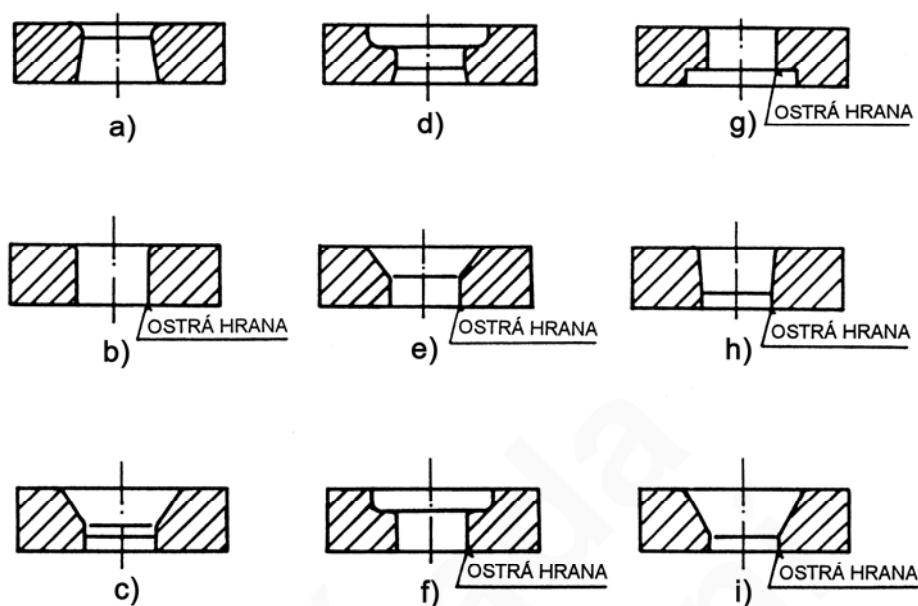
$$r_{tn} = (6 \div 8) s \quad (\text{mm}). \quad (6.13)$$

Výška válcové části funkčního otvoru tažnice má být s ohledem na povrch výtažku a velikost třecích sil nízká, zatímco životnost tažnice vyžaduje opak, *proto se používá kompromis*:

$$h_t = (2 \div 8) s \quad (\text{mm}). \quad (6.14)$$

Tvar výstupní části tažnice (obr. 6.11):

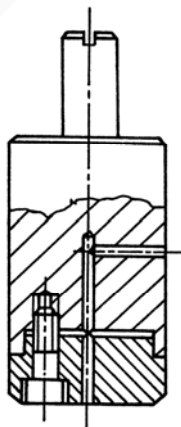
- a) **tažnice s ostrou hranou ve spodní části** – když výtažek odchází z nástroje spodem (propadem), o hranu se výtažek po odpružení okraje setře,
- b) **tažnice s kuželovým výstupním otvorem** – u nástrojů s vyhazovačem (kde výtažek je vyhozen zpět do nástroje).



Obr. 6.11 Funkční otvory tažnic

6.1.6 Tvar tažníku

- **přechodové poloměry tažníku r_p** jsou stejné nebo větší než zaoblení tažné hrany tažnice r_t (je-li zaoblení hran tažníku příliš velké, vzniká nebezpečí, že se na volné části plechu mezi čelem tažníku a tažnicí vytvoří tzv. **sekundární zvlnění**),
- **povrch tažníku má být hladký**, aby se usnadnilo stažení výtažku,
- **tažník má být provrtán k odvědušnění** tak, aby při stahování výtažku nevznikl podtlak pod čelem tažníku (osová díra v tažníku má průměr 5 až 6 mm, boční otvor stejného nebo většího průměru se umísťuje nad předpokládaným obvodem výtažku) (obr. 6.12),
- **pro postupové tahy do průměru 60 mm** lze používat **přidržovače s hranou zaoblenou** podle předcházejícího tažníku. **U výtažků s průměrem přes 60 mm** se používají **přidržovače s hranou zkosenou pod úhlem $\alpha = 30$ až 45°** , který odpovídá zkosení hrany tažníku předcházejícího tahu.



Obr. 6.12 Dělený tažník s odvědušňovacím otvorem

Poloměr zaoblení tažníku r_p u posledního tahu:

a) pro průměr výtažku 10 až 100 mm

$$r_p = (3 \div 4) s \quad (\text{mm}), \quad (6.15)$$

b) pro průměr výtažku 100 až 200 mm

$$r_p = (4 \div 5) s \quad (\text{mm}), \quad (6.16)$$

c) pro průměr výtažku 200 mm a výše

$$r_p = (5 \div 7) s \quad (\text{mm}). \quad (6.17)$$

Je-li zapotřebí táhnout výtažek s menším zaoblením hrany u dna, je třeba výtažek kalibrovat na příslušný poloměr.

6.1.7 Tažná síla

Jedna z možností výpočtu vychází z předpokladu, že dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být menší než napětí na mezi pevnosti a největší síla musí být menší než síla potřebná k utržení dna:

Tažná síla pro i-tý tah:

$$F_{ti} = \pi \cdot d_i \cdot s_0 \cdot k_i \cdot R_m \quad (\text{N}), \quad (6.18)$$

kde jsou d_i – střední průměr výtažku po i-tém tahu (mm), R_m – pevnost v tahu taženého materiálu (MPa), k_i – opravný silový součinitel pro i-tý tah (vyjadřuje vliv součinitele odstupňování tahu na velikost tažné síly)

Celková síla tažného lisu v i-tém tahu:

$$F_{ci} = F_{ti} + F_{pi} + F_{vi} \quad (\text{N}), \quad (6.19)$$

kde jsou F_{ti} – tažná síla v i-tém tahu (N), F_{pi} – přidržovací síla v i-tém tahu (N), F_{vi} – vyhazovací síla v i-tém tahu (N), často ji lze zanedbat.

6.1.8 Rychlost tažení

- *rychlost tažení ovlivňuje třecí poměry* (součinitel tření závisí na kluzné rychlosti) – *vyšší rychlosti tažení zhoršují dovolený stupeň tažení,*
- **tažné lisy jsou pomaloběžné:**
 - a) **velké tažné lisy** mají 8 až 12 zdvihů za minutu a *rychlost tažení* je 0,2 až 0,35 m/s,
 - b) **menší lisy** mají 80 až 150 zdvihů za minutu a *rychlost tažení* 0,5 až 0,7 m/s,
- protože u tažných lisů je nízká rychlost tažení, je i deformační rychlost malá – *nízké rychlosti tažení podstatně neovlivňují proces tažení, tedy ani hodnoty součinitele odstupňování tahu M .*

6.1.9 Drsnost plechu a funkčních částí nástroje

- *drsnost taženého plechu ovlivňuje* podmínky tření při tažení a tedy celkovou tažnou sílu,
- *u vázaného tažení* je povrch plechu ve styku s nástrojem a *drsnost plechu se během tažení zmenšuje*,
- *u volného tažení* se plech nástroje nedotýká a výsledná drsnost závisí na velikosti zrn materiálu (zpravidla vzroste, tzv. *pomerančová kůra*),
- *zdrsněním čela a boků tažníku*, případně *mazáním jen ze strany tažnice* lze zvýšit mezní přenášenou sílu tažníku, zmenšit ztenčení plechu v nebezpečném průřezu a tedy docílit *snižování součinitele M*.

	Úkol k zamyšlení
	Popište jaké důsledky bude mít použití plechu s příliš malou drsností povrchu při tažení a použití plechu s příliš velkou drsností povrchu při tažení.

6.1.10 Mazání při tažení

- pēchováním materiálu v tvářené oblasti se tvoří nový povrch, podobně jako ohýbáním okolo tažné hrany, který je drsnější než původní – to je příčinou, že *součinitel smykového tření bývá při tažení $\mu = 0,10$ až $0,15$* , ačkoliv je tažná hrana vyleštěna a dobře mazána,
- ztráty třením představují zvětšení tažné síly o 20 až 30 %, *mazání proto přináší i úsporu energie*,
- *mazání má za účel předejít zadírání plechu na styčných plochách nástroje*, čímž zajišťuje hladké stěny výtažků (polotovary se maže pouze ze strany tažnice, ze strany tažníku je výhodné tření co nejvyšší).

Základní druhy maziv:

- maziva kapalná (oleje minerální, organické a oleje vyrobené synteticky*. Minerální oleje nejsou vhodné pro tažení kovů. Organické oleje mají dobré mazací vlastnosti, ale jsou drahé. Nejvhodnější jsou oleje vyrobené synteticky. Oleje rozpustné ve vodě se používají k vytvoření *olejových emulzí*. *Mýdlové emulze*, tj. roztoky sodných i draselných mýdel, se používají v koncentraci 10 až 20 %. Výhodou mýdlových emulzí je značný chladicí účinek a snadné odstraňování z výlisků. Pro nejnáročnější tahy se používá *chlórparafín* ředěný olejem, trichlorethylenem, benzínem apod.),
- maziva konzistentní (mazací tuky*. Nositelem mazacích vlastností je minerální olej a mastná přísada, jejíž přilnavost je žádoucí. Používají se pro nenáročné tahy a při tažení barevných kovů.),
- maziva tuhá* (Používají se jako *přísady k běžným mazivům* při tažení hlubokých nebo složitých výtažků. Do teploty 400 °C se může používat *sírník molybdeničitý MoS₂*, do teploty 800 °C *grafit*).

	Část pro zájemce
	Pomocí odkazu níže můžete spustit animaci prvního tahu tažení válcového výtažku z rovinného kruhového přístřihu s použitím přidržovače. Je vidět velká plastická deformace příruby v procesu tažení a vznik mírného zvlnění jejího okraje v závěru tažení vlivem tlakových tečných napětí. <u>Tažení válcového výtažku z rovinného kruhového přístřihu s použitím přidržovače</u> Pomocí druhého odkazu níže můžete spustit animaci druhého tahu při víceoperačním tažení válcového výtažku. Je vidět, že tímto postupem vzniká z válcové nádoby o větším průměru válcová nádoba o menším průměru. Na animaci je rovněž vidět vznik primárního (na přírubě) a sekundárního (na plášti výtažku) zvlnění. <u>Druhý tah při víceoperačním tažení válcového výtažku</u> Pomocí třetího odkazu níže můžete spustit animaci kalibrace příruby při víceoperačním tažení válcového výtažku. Kalibrace zde spočívá ve vyrovnání zvlnění příruby, které vzniklo v předchozích tažných operacích. <u>Kalibrace příruby při víceoperačním tažení válcového výtažku</u>

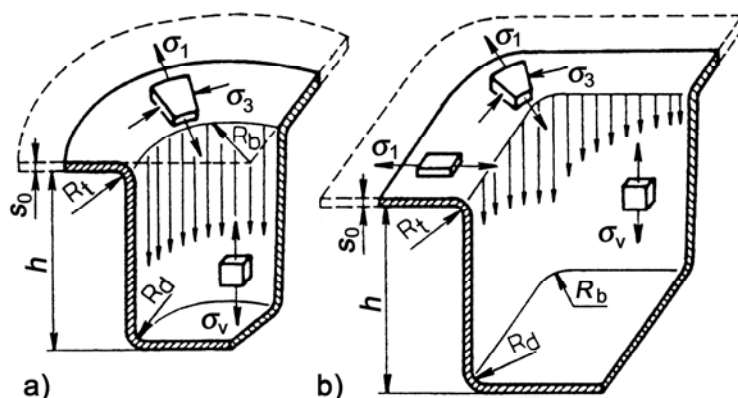
6.2 Tažení složitých výtažků

Tažení složitých výtažků je možné rozdělit na:

1. tažení čtyřhranných výtažků (viz 6.2.1),
2. tažení stupňovitých výtažků (viz 6.2.2),
3. tažení kuželových výtažků (viz 6.2.3),
4. tažení sférických výtažků (viz 6.2.4),
5. tažení výtažků nepravidelných tvarů (viz 6.2.5).

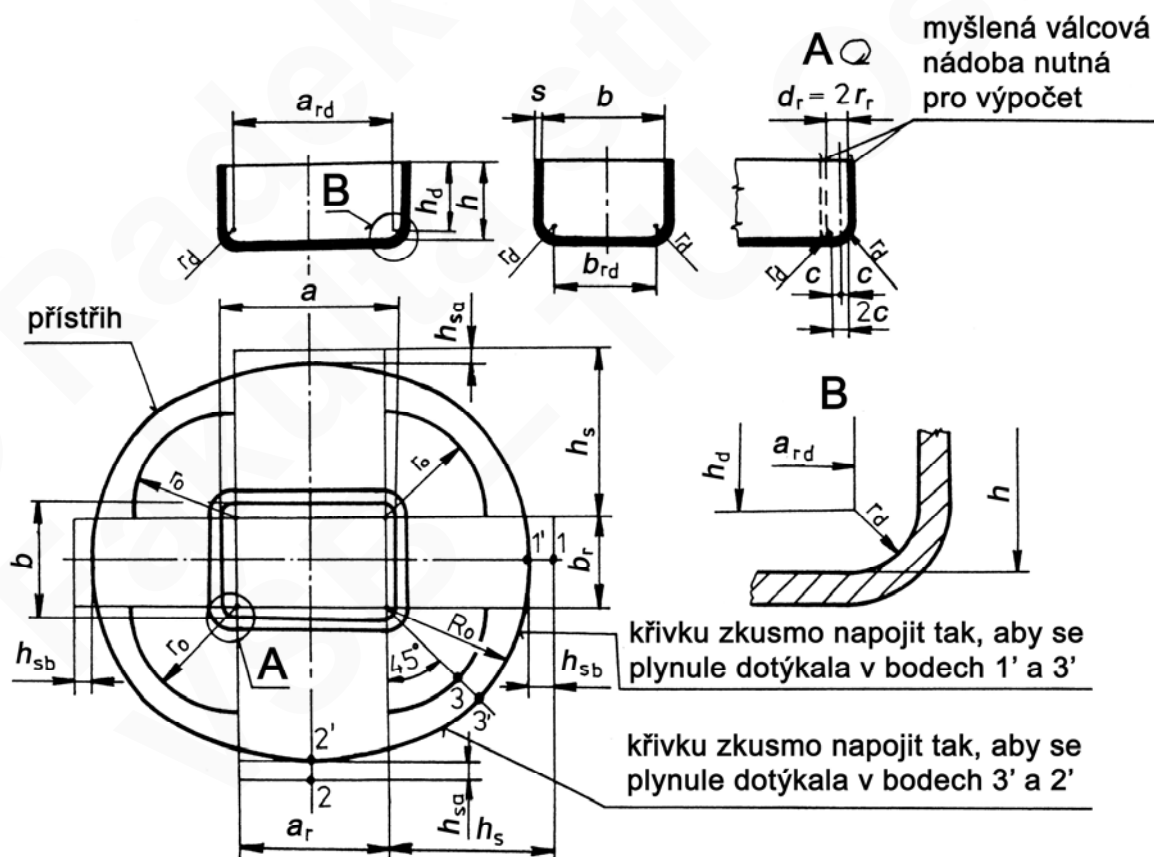
6.2.1 Tažení čtyřhranných výtažků

- *výtažky čtvercového nebo obdélníkového tvaru,*
- *existují dvě pásma s rozdílným stavem napjatosti – **pásma rohové** (podobné tažení válcových výtažků) a **pásma rovné** (podobné ohýbání) (obr. 6.13),*
- *tečná napětí v přírubě jsou menší, příruba lépe odolává zvlnění (ve srovnání s tažením válcových výtažků).*



Obr. 6.13 Napětí při tažení válcového a čtyřhranného výtažku

1. **Tvar a velikost přístřihu** – vychází se z předpokladu, že *plocha výtažku je rovna ploše přístřihu*. Stanovuje se výpočtem dle normy, nebo metodou trajektorií maximálních smykových napětí (TMSN). Následně se přidává přídavek na ostřížení 2 až 20 mm podle velikosti výtažku a ostříhovacího zařízení (obr. 6.14).



Obr. 6.14 Stanovení tvaru a velikosti přístřihu dle ČSN 22 7303

2. Součinitel odstupňování tahů:

$$M_1 = \frac{r_1}{R_0}, \quad (6.20)$$

kde jsou r_1 – poloměr zaoblení rohu výtažku (mm), R_0 – poloměr přístřihu v rohu výtažku (mm).

3. Použití přidržovače – pro ocelový hlubokotažný plech platí:

- a) $M_1 = 0,70$ až $0,90$ – tažení bez přidržovače,
- b) $M_1 = 0,25$ až $0,40$ – v prvním tahu při tažení s přidržovačem,
- c) $M_n = 0,50$ až $0,65$ – v dalších tazích při tažení s přidržovačem.

U hlubokotažných plechů z hliníku a mosazi jsou výše uvedené koeficienty nižší až o 10 %.

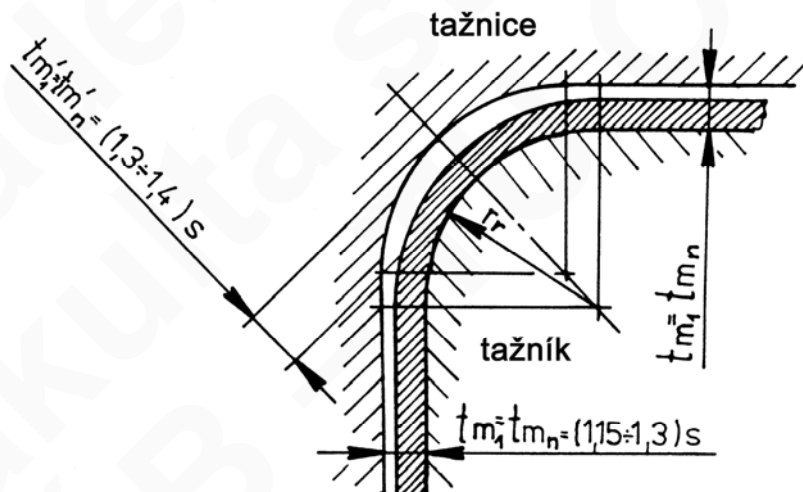
4. Velikost tažné mezery (obr. 6.15)

- a) **v podélných stranách**

$$t_{m1} = t_{mn} = (1,15 \text{ až } 1,30) s \quad (\text{mm}), \quad (6.21)$$

- b) **v rozích**

$$t_{mr} = (1,30 \text{ až } 1,40) s \quad (\text{mm}). \quad (6.22)$$



Obr. 6.15 Tažná mezera v rozích čtyřhranných výtažků

5. Poloměry zaoblení tažnice a tažníku

- a) **pro první tah**

$$r_{t1} = (8 \div 10) s \quad (\text{mm}), \quad (6.23)$$

- b) **pro druhý a další tahy**

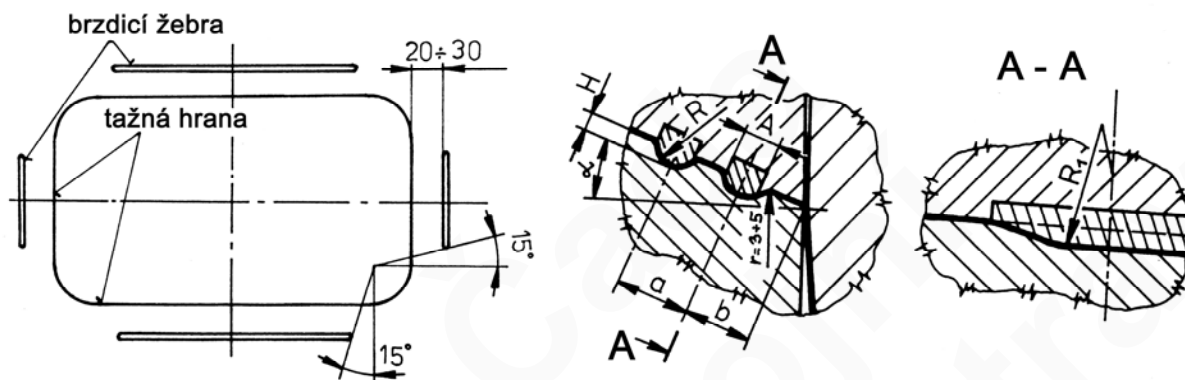
$$r_{tn} = (6 \div 8) s \quad (\text{mm}). \quad (6.24)$$

6. Umístění a tvar brzdících žeber nebo lišt

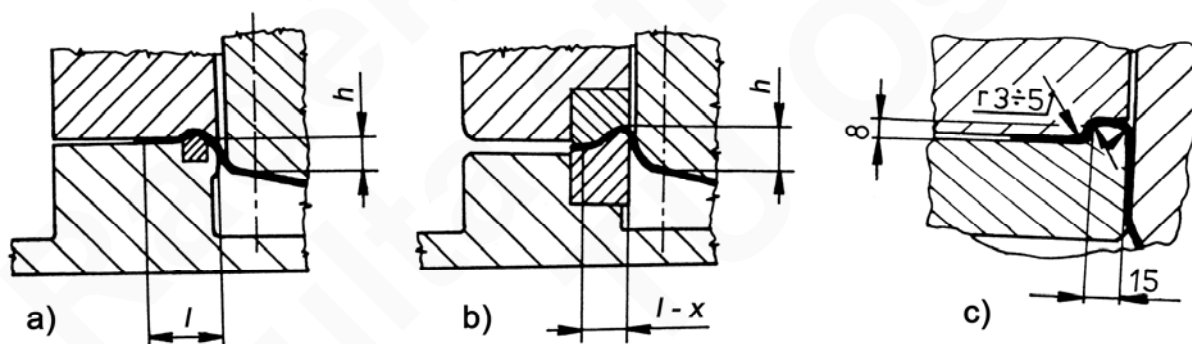
Nepříznivý účinek tlakového napětí v přímých částech výtažku (způsobující vznik vln) lze zmenšit **zvýšením radiálního tahového napětí**:

- zvýšením tření mezi plechem a tažnicí v rovných částech** (zdrsnnění hrany tažnice, menší poloměr zaoblení hrany tažnice),
- použitím brzdících žeber** (obr. 6.16).

Brzdící lišty – **po celém obvodu tažné hrany**, vhodné pro zvětšení radiálního tahového napětí např. při tažení sférických výtažků (obr. 6.17)



Obr. 6.16 Rozmístění a rozměry brzdících žeber



Obr. 6.17 Brzdící lišty (a – pro lité tažnice, b – pro vložkováné nástroje, c – pravoúhlé)



Úkol k zamyšlení

Uved'te příklady tažení čtyřhranných výtažků v praxi. Popište příklady využití brzdících žeber nebo brzdící lišty při tažení výtažků.



Část pro zájemce

Pomocí odkazu níže můžete spustit **animaci tažení čtyřhranného výtažku z rovinného přístřihu s použitím pdržovače**. Je vidět pohyb červeně zbarveného tažníku směrem

k přístříhu, který leží na tažnici a po obvodu je sevřen přidržovačem, který brání zvlnění příruby.

Tažení čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače

Pomocí druhého odkazu níže můžete spustit *animaci pohybu polotovaru v procesu tažení čtyřhranného výtažku*. Je vidět, že tímto postupem vzniká z rovinného přístříhu dutá nádoba.

Pohyb polotovaru v procesu tažení čtyřhranného výtažku

Pomocí třetího odkazu níže můžete spustit *animaci tažení čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače s analýzou deformací v diagramu mezních deformací použitého plechu*. Z analýzy je zřejmé, že výtažek vzniká především deformacemi tah-tlak, nikoli vypínáním. U stěn výtažku je zřejmá tendence k sekundárnímu zvlnění.

Tažení čtyřhranného výtažku s analýzou deformací v diagramu mezních deformací

Pomocí čtvrtého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení rohu čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače s analýzou deformací v diagramu mezních deformací použitého plechu*.

Tažení rohu čtyřhranného výtažku s analýzou v diagramu mezních deformací

Pomocí pátého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače s analýzou deformací pomocí deformační sítě na ploše použitého plechu*.

Tažení čtyřhranného výtažku s analýzou deformací pomocí deformační sítě

Pomocí šestého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení rohu čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače s analýzou deformací pomocí deformační sítě na ploše použitého plechu*.

Tažení rohu čtyřhranného výtažku s analýzou deformací pomocí deformační sítě

Pomocí sedmého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače s analýzou vektorů rychlostí*.

Tažení čtyřhranného výtažku s analýzou vektorů rychlostí

Pomocí osmého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače s analýzou vektorů deformací*.

Tažení čtyřhranného výtažku s analýzou vektorů deformací

Pomocí devátého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení rohu čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače s analýzou vektorů deformací*.

Tažení rohu čtyřhranného výtažku s analýzou vektorů deformací

Pomocí desátého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače s analýzou menší hlavní deformace*.

Tažení čtyřhranného výtažku s analýzou menší hlavní deformace

Pomocí jedenáctého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače s analýzou ztenčení plechu*.

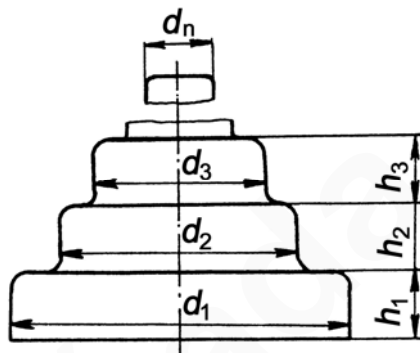
Tažení čtyřhranného výtažku s analýzou ztenčení plechu

Pomocí dvanáctého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení rohu čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače s analýzou tloušťky plechu*.

Tažení rohu čtyřhranného výtažku s analýzou tloušťky plechu

6.2.2 Tažení stupňovitých výtažků

- *počet operací* závisí na poměru výšky výtažku k průměru nejmenšího stupně
- pokud výtažek není možno vyrobit na jednu tažnou operaci, *nejprve se vytáhnou stupně s většími průměry*, potom s menšími přičemž se zvětšuje celková hloubka výtažku v každé operaci (obr. 6.18)



Obr. 6.18 Stupňovitý výtažek

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklad tažení stupňovitého výtažku z praxe.

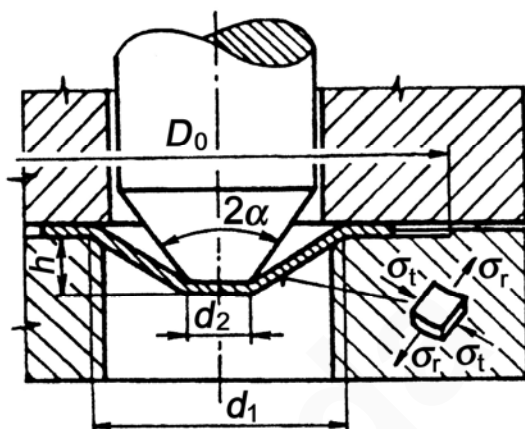
6.2.3 Tažení kuželových výtažků

- *existuje velká nepřídržovaná plocha přístřihu* (nebezpečí vzniku *sekundárního zvlnění*) (obr. 6.19)

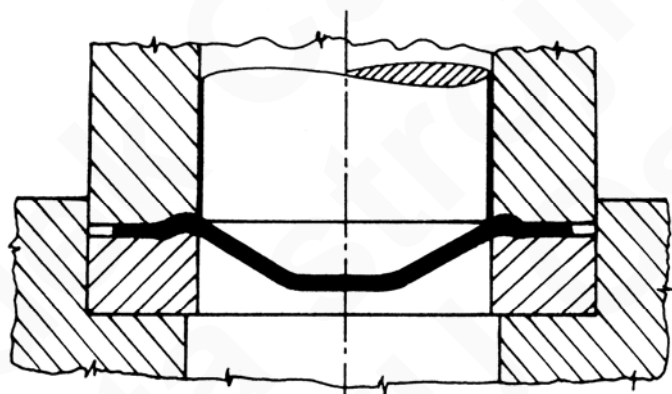
Způsoby tažení jednotlivých typů výtažků:

- nízké výtažky, s malou hodnotou h/d a vrcholovým úhlem 100 až 150°** (díky malé deformaci dochází k *rozpružování výtažku*, proto se používají brzdicí lišty nebo přidržovače s vysokým přidržovacím tlakem) (obr. 6.20),
- střední výtažky, s vrcholovým úhlem 30 až 80°** (obr. 6.21),
 - $100 \cdot s/D > 2,5$, tj. **relativně tlusté plechy** (tažení bez přidržovače + kalibrace),
 - $100 \cdot s/D > 1,5$ až $2,0$ (tažení s přidržovačem na jednu operaci),
 - $100 \cdot s/D < 1,5$ až $2,0$ (tažení jednoduchého tvaru + kalibrace),
- vysoké výtažky, kde $h/d > 0,8$, s vrcholovým úhlem až 20°**
 - **tažení stupňovitého výtažku** v několika operacích, poslední operací je kalibrování na kužel. *Nevýhoda*: nerovnoměrná tloušťka stěny výtažku – lze odstranit následným *kovotlačením* (obr. 6.22 A),

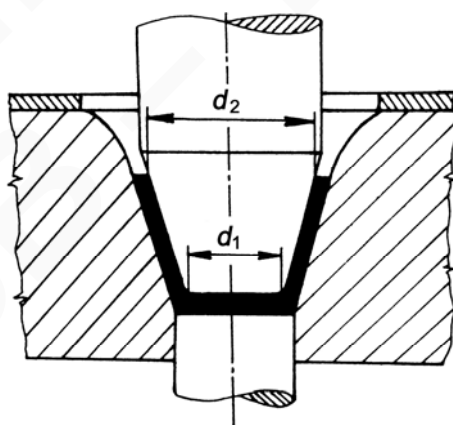
- **tažení kuželové plochy po částech** tak, že se postupně ve směru od příruby ke středu zvětšuje povrch kužele (obr. 6.22 B).



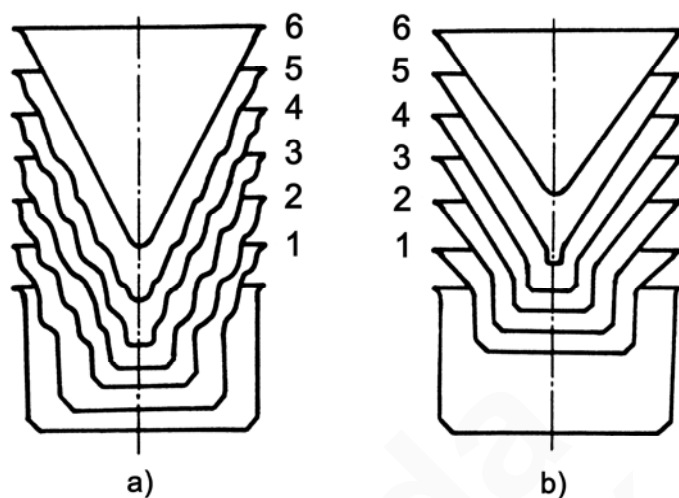
Obr. 6.19 Tažení kuželových výtažků



Obr. 6.20 Tažení nízkého kužele s brzdící lištou



Obr. 6.21 Tažení středního kužele



Obr. 6.22 Tažení vysokého kužele (a – tažení stupňovitého výtažku a kalibrování na kužel, b – tažení kuželové plochy po částech)

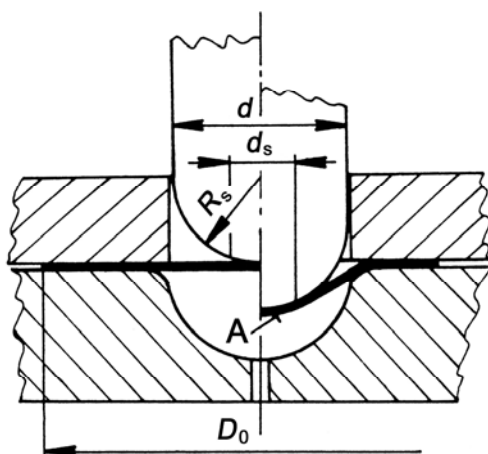
	Úkol k zamyšlení
	Uved'te příklad tažení kuželového výtažku v praxi.

6.2.4 Tažení sférických výtažků

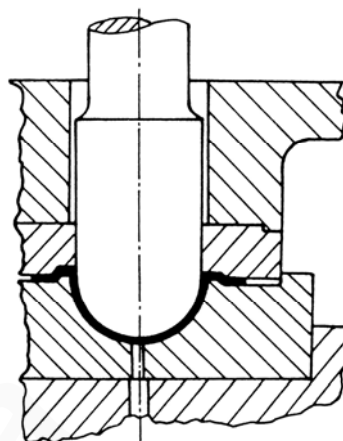
- *polokoule, paraboloidy* (dochází ke značným deformacím v oblasti dna),
- *tažník se dotýká přístřihu pouze malou plochou* (nebezpečí vzniku *sekundárního zvlnění*).

Způsoby tažení:

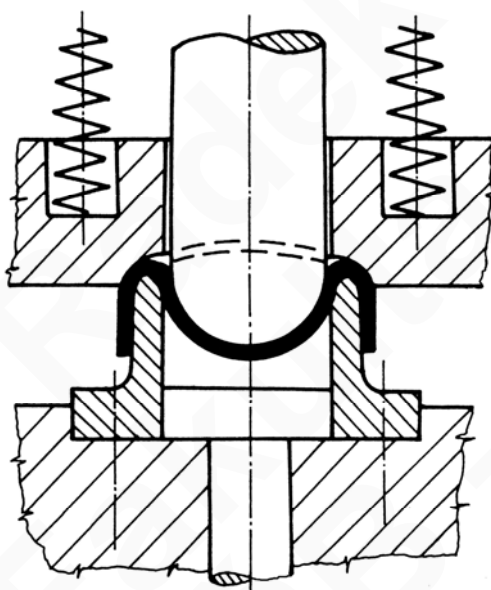
- tažení jednooperační** (radiální napětí se zvětšuje *zvětšením síly přidržovače, brzdící lištou* nebo *tažením přetahováním* – tzv. *převrácený tah*) (obr. 6.23 až 6.25),
- tažení víceoperační** (s vysokými hodnotami součinitele odstupňování tahů *M*. *Nevýhoda*: nestejná tloušťka stěn a stopy po stupních – lze odstranit následným *kovotlačením*) (obr. 6.26 a 6.27).



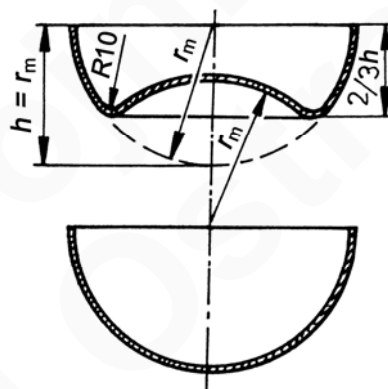
Obr. 6.23 Jednooperační tažení sférického výtažku



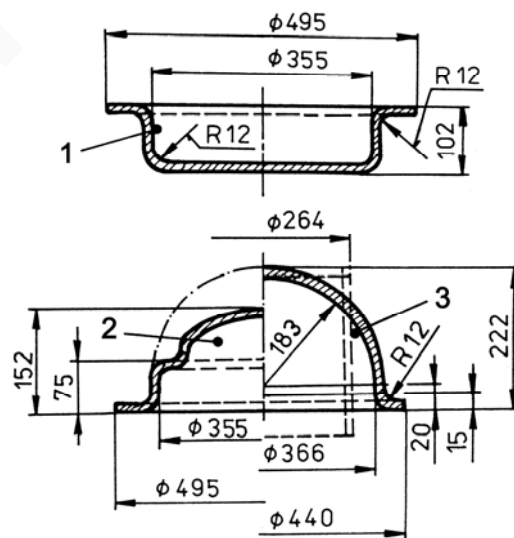
Obr. 6.24 Jednooperační tažení sférického výtažku s brzdící lištou



Obr. 6.25 Jednooperační tažení sférického výtažku přetahováním



Obr. 6.26 Dvouoperační tažení sférického výtažku



Obr. 6.27 Tříoperační tažení sférického výtažku

	Úkol k zamyšlení
	Uved'te příklad tažení sférického výtažku v praxi.

	Část pro zájemce
	Pomocí odkazu níže můžete spustit animaci tažení výtažku vany s analýzou deformací v diagramu mezních deformací použitého plechu. Z analýzy je zřejmá náchylnost okrajů výtažku k tvorbě vln. <u>Tažení výtažku vany s analýzou deformací v diagramu mezních deformací</u>

6.2.5 Tažení výtažků nepravidelných tvarů

- *obrys výtažků je nepravidelný a složitý*, pracovní část tažníku, tažnice a někdy i přidržovače je tvořena složitými křivočarými plochami,
- při tažení jsou u výtažků *nerovnoměrné stavy napjatosti a deformací* (materiál je podroben komplexním deformacím, které v sobě zahrnují *hluboké tažení, vypínání, ohýbání a narovnávání*).

Zvláštnosti tažení těchto výtažků:

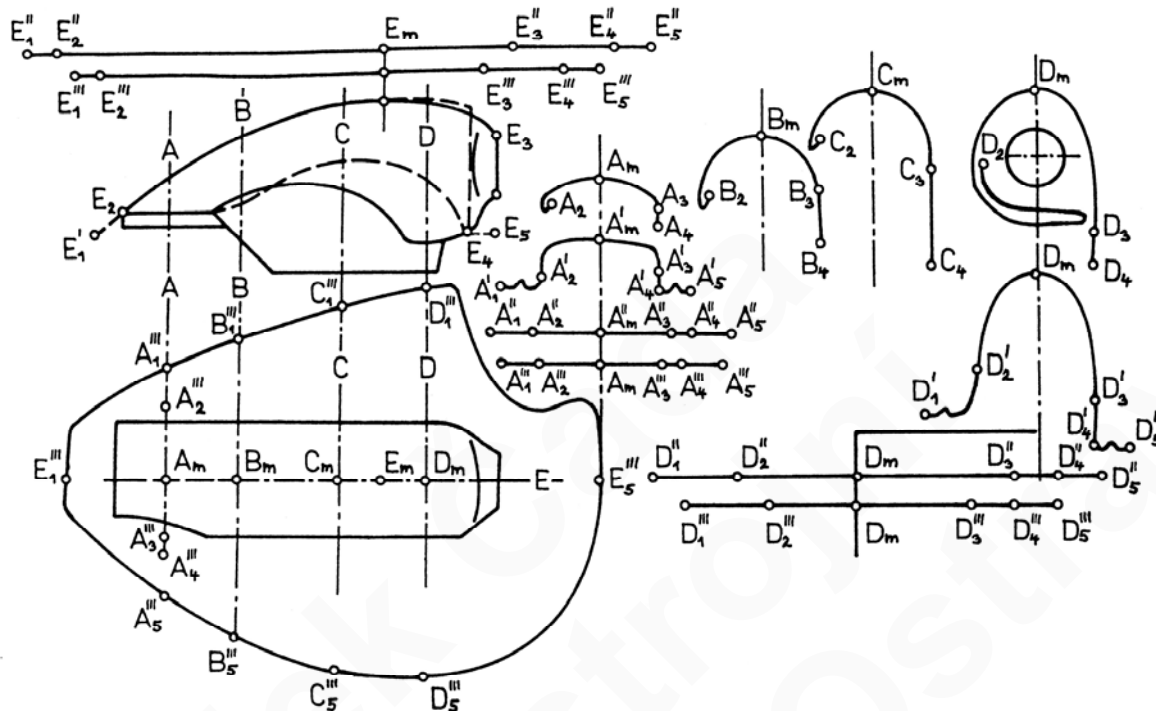
- a) k deformaci plechu dochází převážně za působení *tahových napětí* (tlaková napětí jsou především v oblasti přidržovače),
- b) *pro získání výtažku bez zvlnění je třeba plech brzdit* s různou intenzitou po obvodu tažné hrany,
- c) *průběh tažení lze ovlivňovat pomocí* technologických prolisů, otvorů v přístřihu, orientací přístřihu v nástroji, tvarem plochy přidržovače a někdy i seskupením výtažků.

	Úkol k zamyšlení
	Uved'te příklady tažení výtažků nepravidelných tvarů v praxi.

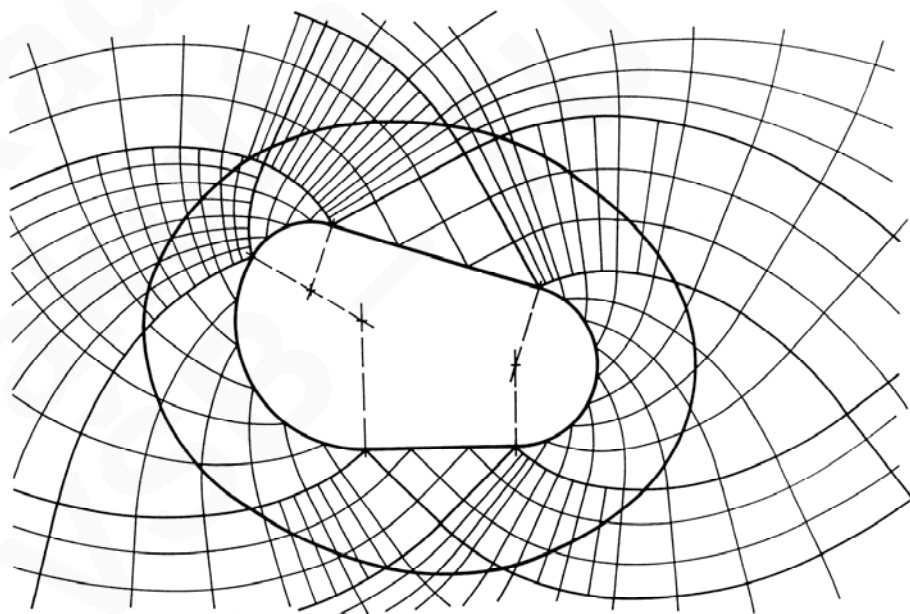
Stanovení tvaru a velikosti přístřihu:

- a) *metoda řezů* (obr. 6.28) – princip spočívá v rozvinování povrchových křivek v jednotlivých řezech, vedených konečným tvarem výtažku. Délka povrchových křivek se koriguje s ohledem na předpokládané prodloužení vlivem tažení (hodnota *koeficientu pro přepočet* je 0,80 až 0,90). Rozměry přístřihu se zvětšují o *technologický přídavek na ostřížení*, který se volí 2 až 20 mm podle velikosti výtažku a podle ostřihovacího zařízení. *Pokud se táhne výtažek s přírubou*, připočítává se k rozměrům přístřihu i její šířka.

- b) **metoda využívající trajektorii maximálních smykových napětí (TMSN)** (obr. 6.29) – kolem obrysu oblasti kontaktu tažníku s přístřihem na počátku tažení se sestavuje síť TMSN, do které se zakresluje **obrysová křivka přístřihu** při dodržování podmínky, aby protínala síť TMSN pod úhlem $\pm 45^\circ$.



Obr. 6.28 Stanovení tvaru a velikosti přístřihu metodou řezů



Obr. 6.29 Stanovení tvaru a velikosti přístřihu metodou využívající trajektorií maximálních smykových napětí (TMSN)

Výhody optimálního tvaru a velikosti přístřihu:

- a) optimální kinematické poměry při tažení, lze využít i materiál horší jakosti,
- b) snížení zmetkovitosti při tažení,
- c) malá plocha přístřihu, racionálnější nástřihový plán, úspory materiálu,
- d) menší tažná síla, úspory energie,
- e) snížení opotřebení nástrojů, snížení vnitřních pnutí a vyšší přesnost výtažků,
- f) zvýšení produktivity práce.

	Část pro zájemce
	Pomocí odkazu níže můžete spustit animaci tažení výtažku potrubí z rovinného přístřihu s použitím přidržovače. Je vidět adaptivní síťování metody konečných prvků, které se projevuje zahuštěním sítě v místech velkých deformací. <u>Tažení výtažku potrubí z rovinného přístřihu s použitím přidržovače</u> Pomocí druhého odkazu níže můžete spustit animaci tažení výtažku potrubí z rovinného přístřihu s použitím přidržovače s analýzou deformací v diagramu mezních deformací použitého plechu. Z analýzy je zřejmé, že všechny deformace jsou pod křivkami mezních deformací, proto nedojde při tažení k lokalizaci plastické deformace. <u>Tažení výtažku potrubí s analýzou deformací v diagramu mezních deformací</u> Pomocí třetího odkazu níže můžete spustit animaci tažení výtažku nepravidelného tvaru (poloviny roz dvojky) z rovinného přístřihu s použitím přidržovače s analýzou deformací v diagramu mezních deformací použitého plechu. Z analýzy je zřejmé, že všechny deformace leží pod křivkami mezních deformací, proto v žádné oblasti výtažku nenastává lokální ztenčení. Fialovou barvou jsou vyznačeny oblasti, ve kterých dochází k přechování materiálu a je v nich nebezpečí vzniku vln. <u>Tažení výtažku nepravidelného tvaru s analýzou v diagramu mezních deformací</u> Pomocí čtvrtého odkazu níže můžete spustit animaci tažení výtažku nepravidelného tvaru (blatníku) s prohnutým přidržovačem. Na přírubě lze pozorovat oblasti s tendencí ke zvlnění. <u>Tažení výtažku nepravidelného tvaru s prohnutým přidržovačem</u> Pomocí pátého odkazu níže můžete spustit animaci tažení výtažku nepravidelného tvaru (blatníku) s analýzou napětí v plechu. Z analýzy je zřejmé, že v přírubě jsou oblasti, ve kterých je napětí tlakové a dochází v nich při tažení k přechování materiálu. <u>Tažení výtažku nepravidelného tvaru s analýzou napětí</u> Pomocí šestého odkazu níže můžete spustit animaci tažení výtažku nepravidelného tvaru (blatníku) s analýzou tloušťky plechu. Z analýzy jsou zřejmá místa největšího ztenčení plechu. <u>Tažení výtažku nepravidelného tvaru s analýzou tloušťky plechu</u>

6.3 Technologičnost tažení výtažků

1. **technologičnost materiálu** (*volba materiálu výtažku* tak, aby při postačujících technologických a funkčních vlastnostech byl levný, *tloušťka plechu zpravidla co nejmenší*),
2. **technologičnost tvaru a rozměrů**
 - a) *vyhýbat se složitým, nesymetrickým tvarům výtažků*,
 - b) *poloměry zaoblení velké* (jinak nutná kalibrace),
 - c) *co nejmenší výška výtažku* (zvětšení vede ke zvýšení počtu tahů),
 - d) *nenavrhovat širokou přírubu* (potřebuje více operací),
 - e) *u hranatých výtažků se vyhýbat ostrým rohům* mezi stěnami a v přechodech dna a stěny výtažku,
 - f) *volba minimální možné přesnosti rozměrů* (jinak nutná kalibrace),
 - g) *minimální požadavky na kvalitu povrchu*.

	Úkol k zamyšlení
	Vyberte si výtažek z plechu ve svém okolí a okomentujte podle jeho tvaru dodržení technologických zásad při jeho výrobě.

6.4 Postupové tažení v pásu

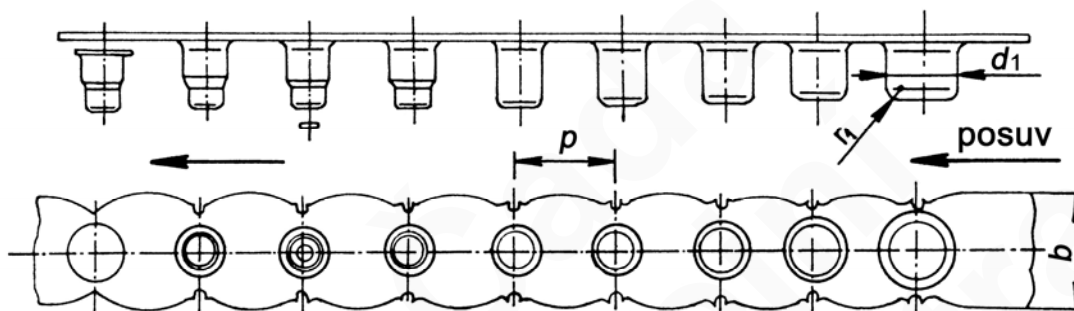
- používá se pro výrobu, *drobných dutých výtažků*, (s max. průměrem 80 mm), převážně *při velkosériové výrobě*
- *tažení se provádí v pásu postupně, v řadě operací* a hotová součást se z pásu obvykle vystřihne,
- případné stárnutí materiálu po tváření za studena se zde eliminuje *rychlým sledem operací*,
- provádí se na *excentrických* nebo *speciálních klikových lisech* s počtem zdvihů 60 až 160 za minutu.

	Průvodce studiem
	Příkladem použití technologie postupového tažení v pásu je výroba dutých nýtů a obuvních kroužků.

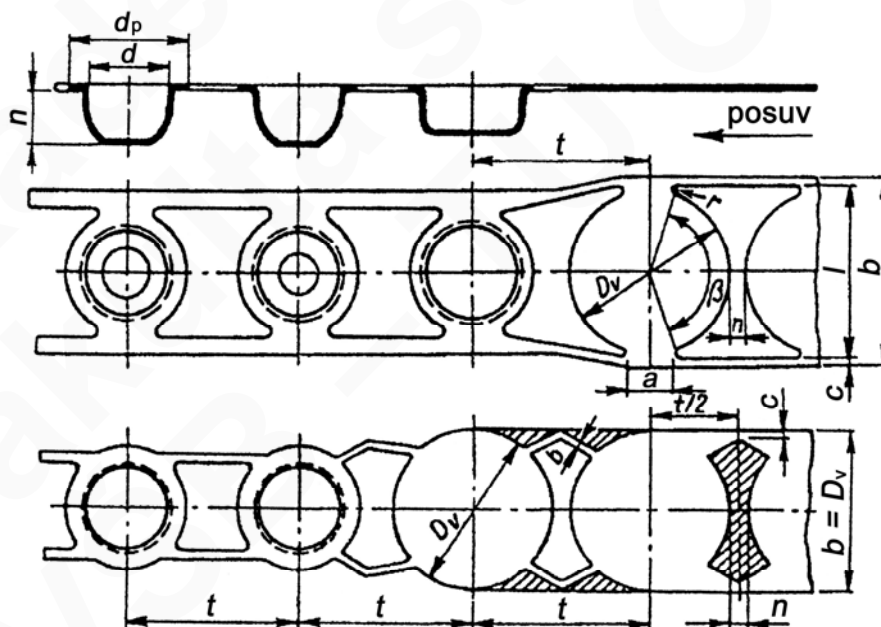
Rozdělení tažení:

1. **bez nástřihu v jedné řadě s částečným ztenčením stěn výtažku** (deformace okrajů pásu, potíže při vedení pásu v příčném i podélném směru, nástroje jsou levnější. Součinitel odstupňování tahu se volí jednotný $M = 0,9$) (obr. 6.30),

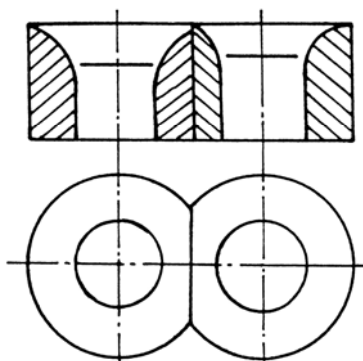
2. **bez nástřihu několikařadé se ztenčením stěn výtažku** (deformace okrajů pásu, pro všechny tahy se volí $M = 0,9$),
3. **s nástřihem v jedné nebo více řadách bez ztenčení stěn výtažku** (u materiálů s tloušťkou větší než 0,6 mm a v případech, kdy je ztenčení stěn nežádoucí. Výtažky jsou v pásu drženy jen *úzkými můstky*. Vhodné nastřížení pásu zamezuje jeho deformaci, nástroj je dražší o střížné části. Součinitel odstupňování tahu se volí o něco vyšší, než u normálního tažení.) (obr. 6.31),
4. **s natrháváním pásu a částečným ztenčením stěn výtažku** (natržení se docílí zabroušením dvou sousedních vložek tažného nástroje) (obr. 6.32).



Obr. 6.30 Postupové tažení v pásu bez nástřihu v jedné řadě bez ztenčení stěn výtažku (t – krok pásu, b – šířka pásu, D_v – průměr materiálu potřebného pro výtažek)



Obr. 6.31 Postupové tažení v pásu s nástřihem v jedné řadě s částečným ztenčením stěn výtažku (p – krok pásu, b – šířka pásu, d_1 – průměr výtažku po prvním tahu, r_1 – poloměr zaoblení u dna výtažku po prvním tahu)



Obr. 6.32 Přesazené tažnice pro natrhávání pásu

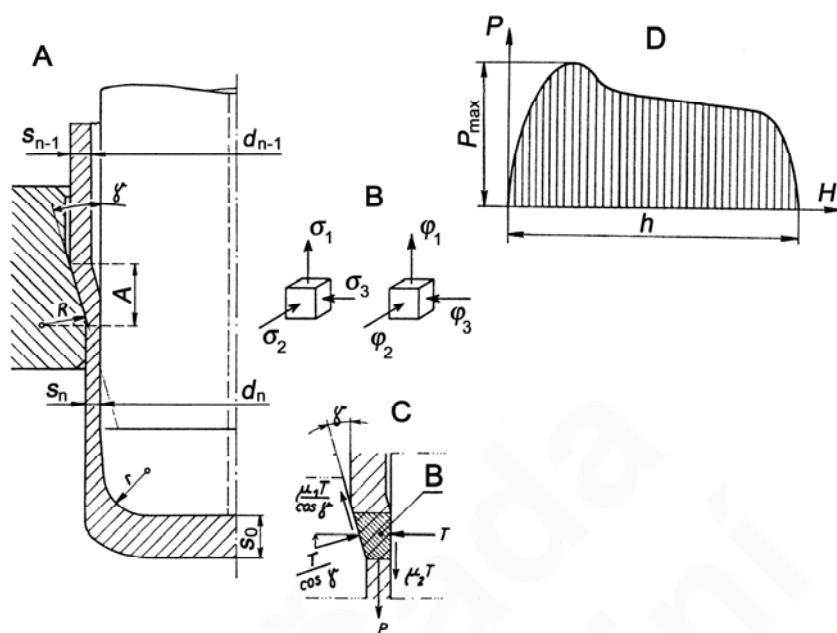
Pro návrh technologického postupu výroby je nutné stanovit:

- povrch konečného výtažku,
- velikost a tvar prvního tahu,
- celkový počet tahů s jejich rozměry,
- velikost posuvu pásu (krok),
- poloměry zaoblení tažné hrany tažníku a tažnice,
- průměr kružnice, ohraničující potřebný materiál v pásu,
- šířku pásu.

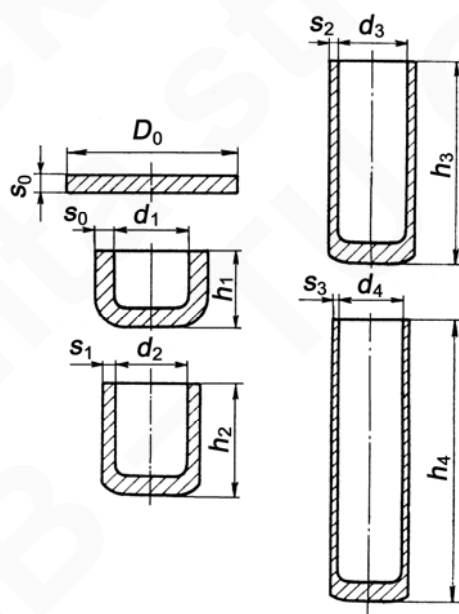
	Úkol k zamyšlení
	Vyjmenujte ve svém regionu podniky, ve kterých se využívá technologie postupového tažení v pásu.

6.5 Tažení se ztenčením stěny

- používá se *pro válcové výtažky bez příruby se stěnou tenčí než dno* (tloušťka dna odpovídá tloušťce přístříhu),
- stěny se obvykle ztenčují *až při druhém a dalších tazích*, ztenčení stěny se využívá k prodloužení výtažku (stěnu lze ztenčovat až na dvacetinu původní tloušťky) (obr. 6.33 a 6.34),
- tažný nástroj má **zápornou vůli**, tj. $t_m < s$,
- průměr výchozího přístříhu D_0* se určuje ze zákona stálosti objemu,
- počet tahů** závisí na celkovém stupni deformace (je *menší počet nutných tažných operací než při obyčejném tažení* následkem příznivějšího stavu napjatosti),
- malé zmenšování průměru výtažku umožňuje *seskupit dvě i tři tažnice za sebou při jediném rozměru tažníku* a provádět tak *v jednom zdvihu více operací současně*,
- lze táhnout na *jednočinných lisech*, další výhodou je *jednoduchost nástroje*.



Obr. 6.33 Napjatost a pracovní diagram při tažení se ztenčením stěny (A – geometrie tažného nástroje, B – napětí a deformace v oblasti deformace, C – síly působící v oblasti deformace, D – pracovní diagram)



Obr. 6.34 Postup tažení se ztenčením stěny (D_0 – průměr kruhového přístřihu, s_0 – počáteční tloušťka materiálu)

	Průvodce studiem
	Příkladem použití technologie tažení se ztenčením stěny je výroba nábojnic .

Σ	Shrnutí kapitoly
	Tažení plechu: trvalá deformace, při které vznikají z rovinných přístřihů <i>prostorové duté výtažky</i>, které nejsou rozvinutelné. Jedná se o <i>plošné tváření</i>, protože požadovaný tvar výtažků se dosahuje bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu. Výhody součástí vyrobených tváření z plechů – tuhost, sestavovatelnost, nízká hmotnost, dobrá kvalita povrchu, nízké výrobní náklady (zvláště při velkosériové výrobě). Rozdělení tažení: tažení prosté (bez přidržovače nebo s přidržovačem), tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování, přetahování (napínání přes šablonu). Tažení prosté, tj. bez ztenčení stěny: <i>tloušťka plechu není ovlivňována geometrií nástroje</i> (mezi tažnicí a tažníkem je dostatečná vůle, aby jí prošly i zesílené okraje výtažku). Tloušťka plechu se <i>u dna</i> zmenšuje, <i>u okraje výtažku</i> se napěchováním zvětšuje. <i>Největší ztenčení plechu</i> je těsně nad zaoblením mezi dnem a stěnou, <i>stupeň deformace stěn výtažku</i> vzrůstá od jeho dna směrem k okraji. Při hlubokém tažení se zabraňuje tvorbě vln na přírubě <i>přidržovačem</i>. <i>Tažná síla dosáhne maxima</i>, když středy poloměrů zaoblení hran tažnice a tažníku jsou v jedné rovině (vliv úhlu opásání zaoblené hrany tažnice). Technologické parametry tažení jsou následující: 1. tvar a velikost přístřihu, 2. počet tažných operací a jejich odstupňování, 3. použití přidržovače, 4. velikost tažné mezery, 5. tvar tažníku, 6. tvar tažnice, 7. tažná síla, 8. rychlost tažení, 9. drsnost plechu a funkčních částí nástroje, 10. mazání při tažení. Stanovení tvaru a velikosti přístřihu: za předpokladu, že tloušťka plechu se při tažení nemění, zákon stálosti objemu přejde v zákon stálosti ploch. a) u válcových výtažků – na základě stálosti ploch výpočet D_0, pak jeho zvětšení vzhledem k cípovitosti (o 3 % D_0 pro první tah a o 1 % D_0 pro každý další tah) b) u rotačních výtažků složitého tvaru – lze použít Guldinovy věty: „Plocha rotačního tělesa, vytvořeného otáčením rovinné křivky délky l kolem osy rotace, se rovná součinu délky křivky a dráhy jejího těžiště při rotaci“. $S = 2 \pi \cdot R_T \cdot L \quad (\text{mm}^2).$ Průměr přístřihu: $D_0 = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{8 R_T \cdot L} \quad (\text{mm}).$ Stanovení počtu tažných operací a jejich odstupňování: <i>stupeň deformace při jednom tahu nesmí překročit určitou maximální hodnotu</i>, jinak dojde k poškození výtažku (používají se tzv. mezní součinitelé odstupňování tahu M). Součinitelé odstupňování tahu: $M_1 = \frac{d_1}{D_0}, \quad M_2 = \frac{d_2}{d_1}, \quad M_{n-1} = \frac{d_{n-1}}{d_{n-2}}, \quad M_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} \quad (-).$

Celkový součinitel odstupňování tahu: $M_c = \frac{d_n}{D_0} = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_{n-1} \cdot M_n \quad (-)$.

Musí být splněna podmínka: $M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot \dots \cdot M_n \leq M_c \quad (-)$.

Použití přidržovače: přidržovač brání vzniku přeložek a zvrásnění při tažení tím, že svou funkční plochou přitlačuje plech k horní části tažnice.

Přidržovač se používá:

a) při tažení hlubokotažného plechu tloušťky $s < 0,5 \text{ mm}$,

b) **v prvním tahu** v případě, že:

$$\alpha \geq \frac{100d_1}{D_{0\text{skut}}} \quad (-), \quad \text{součinitel } \alpha \text{ se vypočte: } \alpha = 50 \left(Z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_{0\text{skut}}}} \right).$$

c) **v dalších tazích**, jestliže součinitel odstupňování M je menší než 0,9.

Tlak přidržovače závisí na *pevnosti taženého materiálu* a jeho *tloušťce* (čím je tloušťka plechu větší, tím menší může být přitlačná síla přidržovače). V praxi se používá v rozsahu 1 až 3 MPa.

Přidržovací síla v i -tém tahu:

$$F_{pi} = S_{pi} \cdot p_i \quad (\text{N}),$$

kde jsou S_{pi} – účinná plocha přidržovače v i -tém tahu (mm^2), p_i – měrný tlak přidržovače v i -tém tahu (MPa).

Přidržovací sílu mohou vyvozovat: *pružiny* (ocelové nebo gumové, stlačované pohybem přitlačné desky, upevněné na beranu), **pneumatický přidržovač** (při hlubších tazích), **druhý beran** (přidržovací, je součástí dvojčinných lisů).

Tažná mezera má být taková, aby jí prošel *tažením zesílený okraj výtažku*, zvětšený o výrobní toleranci daného plechu. *Příliš velká tažná mezera* způsobuje *zvlnění výtažku*, *menší než optimální* způsobí *zvětšení tažné síly*. U *druhého a dalších tahů* se velikost mezery postupně zmenšuje až k minimální hodnotě, odpovídající poslednímu tahu.

Tvar tažnice: *zaoblení tažné hrany tažnice* ovlivňuje velikost napětí v taženém materiálu, velikost tažné síly a vznik vad při tažení. *Zvětší-li se poloměr zaoblení tažné hrany tažnice*, usnadní se tažení a je možno zvětšit hloubku i stupeň tažení na jednu operaci. Současně se však zmenší plocha pod přidržovačem, zvětší se nepřidržovaná plocha přístřihu, takže vznikne riziko vzniku vrásek a přeložek (tzv. *sekundární zvlnění*).

Výška válcové části funkčního otvoru tažnice má být s ohledem na povrch výtažku a velikost třecích sil nízká, zatímco životnost tažnice vyžaduje opak, *proto se používá kompromis:* $h_t = (2 \div 8) s \quad (\text{mm})$

Tvar výstupní části tažnice: *tažnice s ostrou hranou ve spodní části* (když výtažek odchází z nástroje spodem o hranu se výtažek po odpružení okraje setře), *tažnice s kuželovým výstupním otvorem* (u nástrojů s vyhazovačem).

Tvar tažníku: *přechodové poloměry tažníku* jsou stejné nebo větší než zaoblení tažné hrany tažnice (je-li zaoblení hran tažníku příliš velké, vzniká nebezpečí, že se na volné části plechu mezi čelem tažníku a tažnicí vytvoří tzv. *sekundární zvlnění*). *Povrch tažníku má být hladký*, aby se usnadnilo stažení výtažku. *Tažník má být provrtán k odvzdušnění* tak, aby při stahování výtažku nevznikl podtlak pod čelem tažníku. *Pro postupové tahy do průměru 60 mm lze používat přidržovače s hranou zaoblenou* podle předcházejícího tažníku. *U výtažků s průměrem přes 60 mm se používají přidržovače s hranou zkosenou pod úhlem $\alpha = 30$ až 45°* , který odpovídá zkosení hrany tažníku předcházejícího tahu

Tažná síla pro i-tý tah: $F_{ti} = \pi \cdot d_i \cdot s_0 \cdot k_i \cdot R_m$ (N) kde jsou d_i – střední průměr výtažku po i-tém tahu (mm), R_m – pevnost v tahu taženého materiálu (MPa), k_i – opravný silový součinitel pro i-tý tah (vyjadřuje vliv součinitele odstupňování tahu na velikost tažné síly) Celková síla tažného lisu v i-tém tahu: $F_{ci} = F_{ti} + F_{pi} + F_{vi}$ (N) kde jsou F_{ti} – tažná síla v i-tém tahu (N), F_{pi} – přidržovací síla v i-tém tahu (N), F_{vi} – vyhazovací síla v i-tém tahu (N), často ji lze zanedbat. Rychlost tažení ovlivňuje třecí poměry (součinitel tření závisí na kluzné rychlosti) – vyšší rychlosti tažení zhoršují dovolený stupeň tažení. Protože u tažných lisů je nízká rychlost tažení, je i deformační rychlost malá – nízké rychlosti tažení podstatně neovlivňují proces tažení, tedy ani hodnoty součinitele odstupňování tahu M. Drsnost plechu a funkčních částí nástroje: drsnost taženého plechu ovlivňuje podmínky tření při tažení a tedy celkovou tažnou sílu. U vázaného tažení je povrch plechu ve styku s nástrojem a drsnost plechu se během tažení zmenšuje. U volného tažení se plech nástroje nedotýká a výsledná drsnost závisí na velikosti zrn materiálu (zpravidla vzroste, tzv. pomerančová kůra). Zdrsněním čela a boků tažníku, případně mazáním jen ze strany tažnice lze zvýšit mezní přenášenou sílu tažníku, zmenšit ztenčení plechu v nebezpečném průřezu a tedy docílit snížení součinitele M. Mazání při tažení: ztráty třením představují zvětšení tažné síly o 20 až 30 %, mazání proto přináší úsporu energie. Mazání má za účel předejít zadírání plechu na styčných plochách nástroje, čímž zajišťuje hladké stěny výtažků (polotovary se maže pouze ze strany tažnice, ze strany tažníku je výhodné tření co nejvyšší). Základní druhy maziv: maziva kapalná (oleje minerální, organické a oleje vyrobené synteticky.), maziva konzistentní (mazací tuky. Používají se pro nenáročná tahy a při tažení barevných kovů.), maziva tuhá (Používají se jako přísady k běžným mazivům při tažení hlubokých nebo složitých výtažků.). Tažení složitých výtažků je možné rozdělit na: 1. tažení čtyřhranných výtažků, 2. tažení stupňovitých výtažků, 3. tažení kuželových výtažků, 4. tažení sférických výtažků, 5. tažení výtažků nepravidelných tvarů. Tažení čtyřhranných výtažků: výtažky čtvercového nebo obdélníkového tvaru. Existují dvě pásma s rozdílným stavem napjatosti – pásmo rohové (podobné tažení válcových výtažků) a pásmo rovné (podobné ohýbání). Tečná napětí v přírubě jsou menší, příruba lépe odolává zvlnění (ve srovnání s tažením válcových výtažků). Součinitel odstupňování tahů: $M_1 = \frac{r_1}{R_0}$ kde jsou r_1 – poloměr zaoblení rohu výtažku (mm), R_0 – poloměr přístřihu v rohu výtažku (mm). Velikost tažné mezery se volí v rozích větší, než v podélných stranách výtažku. Nepříznivý účinek tlakového napětí v přímých částech výtažku (způsobující vznik vln) lze zmenšit zvýšením radiálního tahového napětí: a) zvýšením tření mezi plechem a tažnicí v rovných částech (zdrsněním hrany tažnice, menší poloměr zaoblení hrany tažnice), b) použitím brzdících žeber.
--

Brzdicí lišty: <i>po celém obvodu tažné hrany</i>, vhodné pro zvětšení radiálního tahového napětí např. při tažení sférických výtažků. Tažení stupňovitých výtažků: <i>počet operací</i> závisí na poměru výšky výtažku k průměru nejmenšího stupně. Pokud výtažek není možno vyrobit na jednu tažnou operaci, <i>nejprve se vytáhnou stupně s většími průměry</i>, potom s menšími přičemž se zvětšuje celková hloubka výtažku v každé operaci. Tažení kuželových výtažků: <i>existuje velká nepřidržovaná plocha přístřihu</i> (nebezpečí vzniku sekundárního zvlnění). Způsoby tažení kuželových výtažků: nízké výtažky, s malou hodnotou h/d a vrcholovým úhlem 100 až 150° (díky malé deformaci dochází k <i>rozpružování</i> výtažku, proto se používají brzdicí lišty nebo přidržovače s vysokým přidržovacím tlakem) střední výtažky, s vrcholovým úhlem 30 až 80° $100 \cdot s/D > 2,5$, tj. relativně tlusté plechy (tažení bez přidržovače + kalibrace), $100 \cdot s/D > 1,5$ až $2,0$ (tažení s přidržovačem na jednu operaci), $100 \cdot s/D < 1,5$ až $2,0$ (tažení jednoduchého tvaru + kalibrace). vysoké výtažky, kde $h/d > 0,8$, s vrcholovým úhlem až 20° tažení stupňovitého výtažku v několika operacích, poslední operací je kalibrování na kužel. <i>Nevýhoda:</i> nerovnoměrná tloušťka stěny výtažku – lze odstranit následným <i>kovotlačením</i>. tažení kuželové plochy po částech tak, že se postupně ve směru od příruby ke středu zvětšuje povrch kužele. Tažení sférických výtažků: <i>polokoule, paraboloidy</i> (dochází ke značným deformacím v oblasti dna). <i>Tažník se dotýká přístřihu pouze malou plochou</i> (nebezpečí vzniku sekundárního zvlnění). Pro tažení lze použít tažení jednooperační (radiální napětí se zvětšuje <i>zvětšením síly přidržovače, brzdicí lištou</i> nebo <i>tažením přetahováním</i> – tzv. <i>převrácený tah</i>) nebo tažení víceoperační (s vysokými hodnotami součinitele odstupňování tahů M). Tažení výtažků nepravidelného tvaru: k deformaci plechu dochází převážně za působení <i>tahových napětí</i> (tlaková napětí jsou především v oblasti přidržovače). <i>Pro získání výtažku bez zvlnění je třeba plech brzdít s různou intenzitou po obvodu tažné hrany. Průběh tažení lze ovlivňovat pomocí technologických prolisů, otvorů v přístřihu, orientací přístřihu v nástroji, tvarem plochy přidržovače a někdy i seskupením výtažků.</i> Stanovení tvaru a velikosti přístřihu se provádí <i>metodou řezů</i> nebo <i>metodou využívající trajektorií maximálních smykových napětí</i>. Technologičnost tažení výtažků: spočívá v technologičnosti materiálu (volba materiálu výtažku tak, aby při postačujících technologických a funkčních vlastnostech byl levný, <i>tloušťka plechu zpravidla co nejmenší</i>) a technologičnosti tvaru a rozměrů (vyhýbat se složitým, nesymetrickým tvarům výtažků, poloměry zaoblení velké, co nejmenší výška výtažku, nenavrhovat širokou přírubu, u hranatých výtažků se vyhýbat ostrým rohům mezi stěnami a v přechodech dna a stěny výtažku, volba minimální možné přesnosti rozměrů, minimální požadavky na kvalitu povrchu. Postupové tažení v pásu: používá se pro výrobu <i>drobných dutých výtažků</i>, převážně při <i>velkosériové výrobě</i>. Tažení se provádí v pásu <i>postupně, v řadě operací</i> a hotová součást se z pásu obvykle <i>vystřihne</i>. Případné stárnutí materiálu po tváření za studena se zde eliminuje <i>rychlým sledem operací</i>. Provádí se na <i>excentrických</i> nebo <i>speciálních klikových lisech</i> s počtem zdvihů 60 až 160 za minutu. Rozdělení postupového tažení v pásu:
--

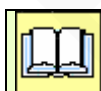
	1. bez nástřihu v jedné řadě s částečným ztenčením stěn výtažku (deformace okrajů pásu, potíže při vedení pásu v příčném i podélném směru), 2. bez nástřihu několikařadě se ztenčením stěn výtažku (deformace okrajů pásu), 3. s nástřihem v jedné nebo více řadách bez ztenčení stěn výtažku, 4. s natrháváním pásu a částečným ztenčením stěn výtažku (natržení se docílí zabroušením dvou sousedních vložek tažného nástroje). Tažení se ztenčením stěny: používá se <i>pro válcové výtažky bez příruby se stěnou tenčí než dno</i>. Stěny se obvykle ztenčují až při druhém a dalších tazích, ztenčení stěny se využívá k prodloužení výtažku. Tažný nástroj má zápornou vůli. Malé zmenšování průměru výtažku umožňuje <i>seskupit dvě i tři tažnice za sebou při jediném rozměru tažníku</i> a provádět tak v jednom zdvihu více operací současně. Lze táhnout na <i>jednočinných lisech</i>, další výhodou je <i>jednoduchost nástroje</i>.
--	--

	Pojmy k zapamatování
	Tažení, deformace, výtažek, plošné tváření, tažení prosté, přidržovač, tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování, přetahování, šablona, tažnice, tažník, vůle, ztenčení, tažná síla, přístřih, Guldinova věta, těžiště, stupeň deformace, součinitel odstupňování tahu, poměrná tloušťka přístřihu, přelozka, zvrásnění, účinná plocha přidržovače, tangenciální pěchování, tah, hlubokotažný plech, jmenovitá tloušťka plechu, tlak přidržovače, přidržovací síla, měrný tlak přidržovače, pružina, beran, dvojčinný lis, tažná mezera, výrobní tolerance plechu, zvlnění, kalibrace výtažku, jednočinný lis, zaoblení tažné hrany tažnice, vyhazovač, přechodový poloměr tažníku, sekundární zvlnění výtažku, odvodušnění, tažná síla, pevnost v tahu, celková síla tažného lisu, rychlost tažení, součinitel tření, deformační rychlost, drsnost plechu, vázané tažení, volné tažení, pomerančová kůra, mazání, zadírání plechu, kapalná maziva, konzistentní maziva, tuhá maziva, nerotační výtažek, čtyřhranný výtažek, tečné napětí, příruba, brzdící žebro, brzdící lišta, radiální napětí, stupňovitý výtažek, kuželový výtažek, kovotlačení, sférický výtažek, jednooperační tažení, víceoperační tažení, výtažek nepravidelného tvaru, vypínání, metoda řezů, metoda využívající trajektorií maximálních smykových napětí, ostřížení, technologičnost, postupové tažení v pásu, klikový lis, pás, můstek, nastřížení, natrhnutí, zdvih.

	Odměna a odpočinek
	Výborně, právě jste zvládl(a) šestou kapitolu! Jste za polovinou učiva studijní opory! Ještě jednou tolik a je to hotovo. Nyní si udělejte přestávku, pusťte si nějakou svou oblíbenou hudební skladbu, lehněte si a zrelaxujte. Po uvolnění a načerpání nových duševních sil odpovězte na jednotlivé kontrolní otázky.

	Kontrolní otázky
	Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo šesté kapitoly „Tažení plechu“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek: 1. Definujte pojem tažení. Dokážete popsat výhody součástí vyrobených touto technologií?

	2. Které způsoby výroby patří do technologie tažení? 3. Co je charakteristické pro tažení bez ztenčení stěny? 4. Jaké jsou základní technologické parametry tažení? 5. Jakým způsobem lze určit tvar a velikost přístřihu? 6. Jaký je postup stanovení počtu tažných operací a jejich odstupňování? 7. Jaký je účel přidržovače při tažení plechu? Ve kterých případech tažení se přidržovač používá? 8. Jak se vypočte přidržovací síla? 9. Jakými způsoby se mohou vyvozovat přidržovací síly? 10. Co je tažná mezera? Jaká je její vhodná velikost? 11. Jaký vliv na tažení má velikost zaoblení tažné hrany tažnice? 12. Jaké tvary mohou mít výstupní části tažnic? 13. Dokážete popsat zásady pro konstrukci tažníku? 14. Jak se vypočte tažná síla a celková síla tažného lisu v libovolném tahu? 15. Dokážete objasnit vliv rychlosti tažení na proces tažení? 16. Jak ovlivňují tažení drsnost plechu a drsnost funkčních částí nástroje? 17. Jaký je účel mazání při tažení a jaké jsou základní druhy maziv? 18. Dokážete popsat tažení čtyřhranných výtažků? 19. Jaký je rozdíl mezi brzdícím žebrem a brzdící lištou? 20. Jak se provádí tažení stupňovitých výtažků? 21. Dokážete objasnit jednotlivé způsoby tažení kuželových výtažků? 22. Jak se provádí tažení sférických výtažků? 23. Jaké jsou zvláštnosti tažení výtažků nepravidelných tvarů? 24. Dokážete popsat metody stanovení tvaru a velikosti přístřihu pro tažení výtažků nepravidelných tvarů? 25. Jaké jsou výhody použití optimálního tvaru a velikosti přístřihu při tažení? 26. Dokážete objasnit technologičnost tažení výtažků? 27. Co je charakteristické pro technologii postupového tažení v pásu? 28. Jak lze rozdělit technologie postupového tažení v pásu? 29. Dokážete popsat technologii tažení se ztenčením stěny?
--	--



Literatura

- [1] BŘEZINA, R. *Technologie I – část 1 : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 80 s. ISBN 80-7078-439-3.
- [2] PETRŽELA, Z. *Základy teorie a technologie strojírenského tváření : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1980. 378 s. (bez ISBN).
- [3] ČABELKA, J. a kol. *Mechanická technológia*. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV,

	1967. 1036 s. (bez ISBN).
[4]	BŘEZINA, R. a ČADA, R. <i>Speciální technologie – technologie tváření : skriptum</i> . 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1992. 257 s. ISBN 80-7078-122-X.
[5]	NOVOTNÝ, K. a MACHÁČEK, Z. <i>Speciální technologie I : Plošné a objemové tváření : skriptum</i> . 2. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3.
[6]	DOUBRAVSKÝ, M. <i>Vybrané stati z tváření : II díl : Zpracování plechů stříháním : skriptum</i> . 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1969. 90 s. (bez ISBN).

	Náměty pro tutoriál
	Popište jednotlivé způsoby výroby, které patří do technologie tažení. Uveďte příklady z praxe, kdy se vyskytují při výrobě součástí. Vysvětlete technologii postupového tažení v pásu. Uveďte příklady z praxe, kdy se využívá. Objasněte technologii tažení se ztenčením stěny. Uveďte příklady z praxe, kdy se používá.

	Korespondenční úkol
	Program č. 3 „Stříhání a tažení plechu“ Zadání: Navrhněte technologický postup výroby válcového výtažku tažením z plechu: - zvolte vhodný materiál pro výrobu zadaného výtažku, stanovte velikost přístřihu, - stanovte počet tažných operací a rozměry výtažku v jednotlivých operacích, - uveďte předpoklady o sériovosti výroby, nakreslete v měřítku (tužkou, nebo s využitím PC) nástřihový plán a vypočtěte jeho hospodárnost, - vypočtěte střižnou plochu, sílu a vůli, stanovte rozměry střižníku a střižnice, - rozhodněte o použití přidržovačů v jednotlivých tazích a vypočtěte potřebné přidržovací tlaky a síly, - vypočtěte tažné síly podle empirických a teoretických vztahů a proveďte jejich vzájemné porovnání, - stanovte rozměry tažných nástrojů ve všech operacích tažení, tj. velikost tažné mezery, zaoblení tažné hrany tažnice, výšku válcové části tažnice, přechodové poloměry tažníku, - nakreslete v měřítku (tužkou, nebo s využitím PC) pracovní prostor tažných nástrojů pro 1. a 2. tah a okótujte.

	Průvodce studiem
	Další kapitola se věnuje jiné technologii, a to ohýbání. Tato technologie se používá ve větší nebo menší míře ve většině strojírenských podniků.

7 OHÝBÁNÍ

	Rychlý náhled do problematiky kapitoly
	Sedmá kapitola obsahuje technologii ohýbání. Je v ní popsáno rozdělení ohýbání, ohyb úzkých a širokých tyčí, zpevnění materiálu při ohýbání, technologické parametry ohýbání – poloměr ohybu, ztenčení stěny v místě ohybu, odpružení po ohýbání, zbytková pnutí, geometrie činných částí nástroje, výchozí délka materiálu, technologičnost konstrukce ohýbaných součástí, technologické metody ohýbání – ohýbání na ohýbacích strojích, na ohýbačkách, ohraňovacích lisech, ohýbání válcováním, zakružování, rovnání. Člení se na následující podkapitoly: 7.1 Ohyb úzkých tyčí 7.2 Ohyb širokých tyčí 7.3 Technologické parametry ohýbání 7.3.1 Poloměr ohybu 7.3.2 Ztenčení stěny v místě ohybu 7.3.3 Odpružení po ohýbání 7.3.4 Zbytková pnutí 7.3.5 Geometrie činných částí nástroje 7.4 Výchozí délka materiálu 7.5 Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí 7.6 Technologické metody ohýbání

	Cíle kapitoly
	Budete umět: • popsat proces ohýbání materiálu, • vysvětlit rozdíly mezi ohýbáním úzkých a širokých tyčí, • objasnit vznik zbytkových pnutí po ohýbání, • vysvětlit rozdíly mezi prostým ohybem bez ražení a ohybem ražením, • vypočítat výchozí délku materiálu pro ohýbání. Získáte: • přehled o rozdělení technologií ohýbání materiálu a názvosloví nástrojů, • znalosti o technologických parametrech ohýbání, • informace o odpružení po ohýbání, • poznatky o technologičnosti konstrukce ohýbaných součástí. Budete schopni: • stanovit nejmenší dovolený poloměr ohybu, nejmenší délku ohýbaného ramene a největší poloměr ohybu, • popsat ztenčení stěny v místě ohybu, • vysvětlit posunutí neutrální vrstvy při ohýbání, • popsat technologické metody ohýbání.

	Klíčová slova kapitoly
	Ohýbání, ohybový moment, ohybová síla, prosté ohýbání, ohýbadlo, lis, ohraňování, ohraňovací lis, ohraňovadlo, rovnání, rovnací válec, rovnadlo, zakružování, zakružovadlo, lemování, lemovadlo, obrubování, obrubovadlo, osazování, prosazování, osazovadlo, drápkování, drápkovadlo, zkrucování, zkrucovadlo, ohyb, vlákno, plastická deformace, radiální směr, zpevnění, mez kluzu, vrstva materiálu, poloměr ohybu, válcování, osa ohybu, ohýbací čelist, odpružení, mez pevnosti, prodloužení, ohýbané rameno, modul pružnosti, ztenčení, úhel ohybu, zbytkové pnutí, ražení, ohybník, ohybnice, razicí síla, jmenovitá síla lisu, úvrať, beran, plech, neutrální vrstva, vnitřní poloměr ohybu, součinitel posunutí neutrální vrstvy, úhel otevření, technologičnost, hledáček ohybníku, vystřihování, stříhadlo, nastřížení, ohýbačka, navinování, ohraňování, mechanický lis, hydraulický lis, stůl lisu, pás, profilový válec, válcovací trať, tenkostěnný profil, trubka, symetrická zakružovačka, nesymetrická zakružovačka, rovnačka.

	Čas potřebný ke studiu kapitoly: 3 hodiny
---	--

	Průvodce studiem
	Tato kapitola je důležitým teoretickým základem pro návrhy technologií ohýbání plechů i tyčí.

Ohýbání:

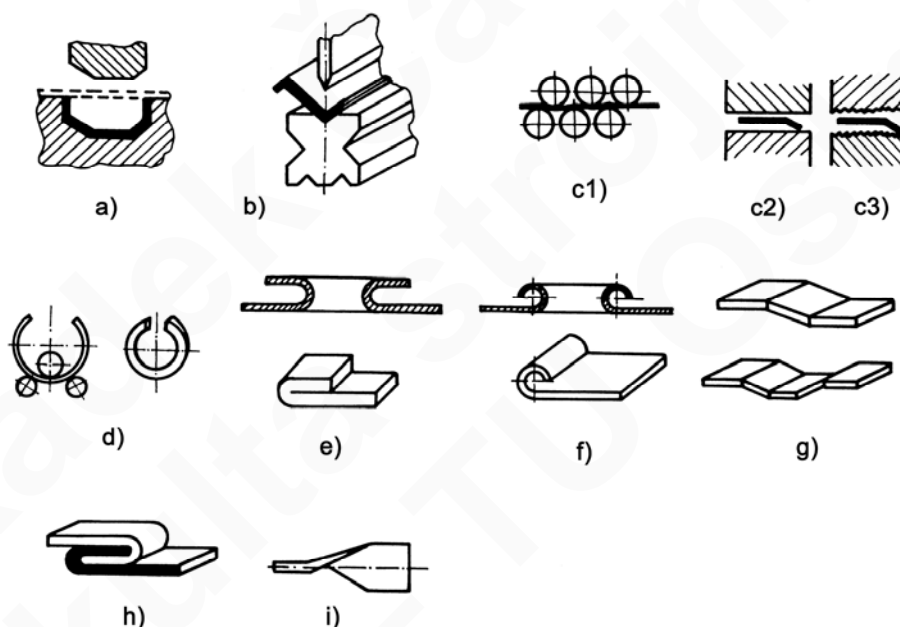
- proces, při kterém **vlivem působení ohybového momentu od ohybové síly dochází k trvalé změně tvaru polotovaru**,
- při ohýbání nedochází k podstatné změně průřezu, proto patří do oblasti **plošného tváření**
- tvary těles, vzniklé ohýbáním, **jsou rozvinutelné**,
- většinou se ohýbá **zastudena**, tvrdé a křehké materiály i průřezy s velkým W_0 se ohýbají **zatepla**.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití ohýbání zatepla při výrobě součástí v praxi. Uvedte příklady využití ohýbání zastudena při výrobě součástí v praxi.

Rozdělení ohýbání:

1. **prosté ohýbání** (tváření rovinné plochy v plochy různě vůči sobě orientované. Nástroj se nazývá **ohýbadlo**, ohýbá se na lisech, a to bez přidržení nebo s přidržením.) (obr. 7.1 A),
2. **ohraňování** (ohýbání plechu v jednoúčelových, tzv. **ohraňovacích lisech**. nástroj se nazývá **ohraňovadlo**.) (obr. 7.1 B),

3. **rovnání** (dodatečné vyrovňávání plechů, trubek a profilů. Rovnání plechů se provádí *mezi rovnacími válci*, rovnání menších polotovarů se provádí *v rovnadlech mezi čelistmi rovnými nebo rýhovanými*. Nástroj se nazývá *rovnadlo*.) (obr. 7.1 C₁ až C₃),
4. **zakružování** (tváření rovinné nebo členité plochy v plochu válcovou, kuželovou nebo i části těchto ploch. Nástroj se nazývá *zakružovadlo*.) (obr. 7.1 D),
5. **lemování** (ohýbání rovinné nebo prostorové plochy k získání lepšího vzhledu, vyztužení okrajů, k odstranění ostrých hran apod. Nástroj se nazývá *lemovadlo*.) (obr. 7.1 E),
6. **obrubování** (vyztužování okrajů rovinné nebo prostorové plochy ke zvýšení jakosti okraje. Nástroj se nazývá *obrubovadlo*.) (obr. 7.1 F),
7. **osazování** (někdy též *prosazování*, ohnutí plechu promáčknutím na okraji nebo uvnitř rovinné plochy. Nástroj se nazývá *osazovadlo*.) (obr. 7.1 G),
8. **drápkování** (pevné spojení předehtnutých okrajů plechu tím, že se do sebe vzájemně zaklesnou a společně ohnou. Nástroj se nazývá *drápkovadlo*.) (obr. 7.1 H),
9. **zkrucování** (natáčení plochého nebo profilového polotovaru vzhledem k sousední části kolem společné osy o určitý úhel. Nástroj se nazývá *zkrucovadlo*.) (obr. 7.1 I).

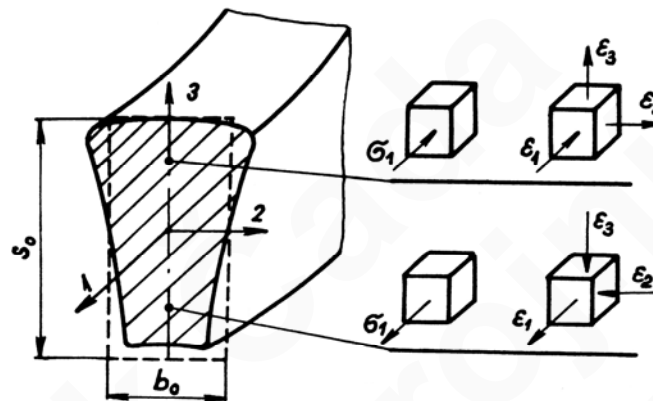


Obr. 7.1 Rozdělení ohýbání (a – prosté ohýbání, b – ohraňování, c1 – rovnání mezi rovnacími válci, c2 – rovnání mezi rovnými čelistmi, c3 – rovnání mezi rýhovanými čelistmi, d – zakružování, e – lemování, f – obrubování, g – osazování, h – drápkování, i – zkrucování)

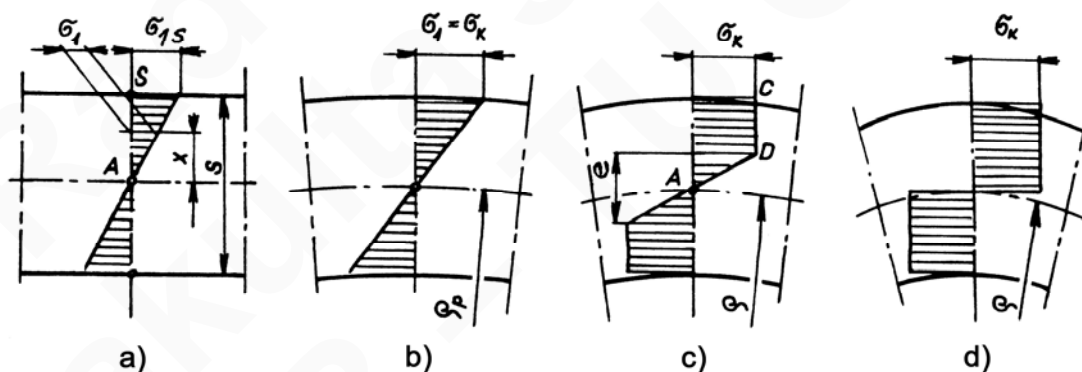
	Úkol k zamyšlení
	Uved'te příklady využití základních operací ohýbání při výrobě součástí v praxi.

7.1 Ohyb úzkých tyčí

- šířka je podstatně menší než tloušťka, proto *lze napětí působící ve směru šířky zanedbat* – napjatost vláken ležících na vnější straně neutrální vrstvy odpovídá *jednoosému tahu*, napjatost vláken na straně vnitřní odpovídá *jednoosému tlaku*,
- prodloužení vláken materiálu v podélném směru na vnější straně ohybu je provázáno *zmenšováním příčných rozměrů*, zkrácení vláken na vnitřní straně ohybu je provázáno *zvětšováním příčných rozměrů* (*deformace je prostorová*) (obr. 7.2),
- fáze ohybu* – pružný ohyb, ohyb s částečnou plastickou deformací, ohyb s úplnou plastickou deformací (obr. 7.3).



Obr. 7.2 Napjatost a deformace průřezu při ohybu úzkých tyčí (s_0 – počáteční tloušťka tyče, b_0 – počáteční šířka tyče)



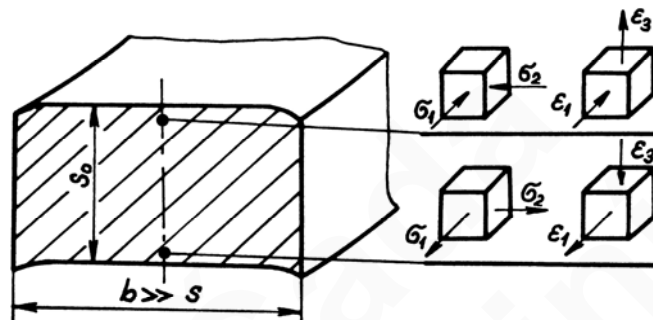
Obr. 7.3 Průběh napětí v jednotlivých fázích ohybu (a – pružný ohyb, b – dosažení meze kluzu v krajních vláknech, c – pružně-plastický ohyb, d – plastický ohyb)

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady ohybu úzkých tyčí při výrobě součástí v praxi.

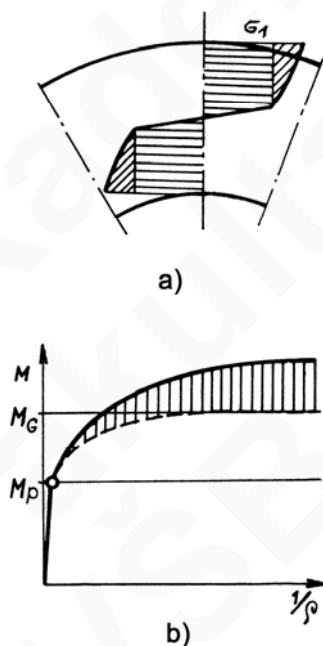
7.2 Ohyb širokých tyčí

- *deformace materiálu v jeho šířce jsou malé*, ve střední oblasti prakticky žádné – změna délky vláken v podélném směru se kompenzuje výhradně *změnou jeho tloušťky v radiálním směru* (*deformace je rovinná*) (obr. 7.4).

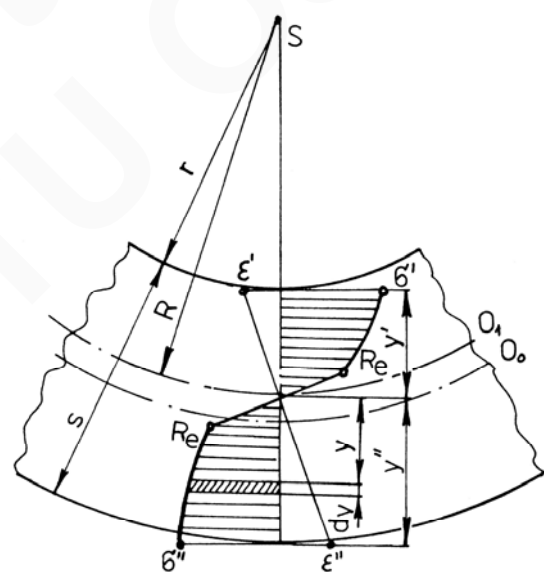
Zpevnění materiálu při ohýbání – při ohýbání zastudena vzrůstá mez kluzu v závislosti na stupni plastické deformace (tento vzrůst je největší *v krajních deformovaných vrstvách materiálu*) (obr. 7.5 a 7.6).



Obr. 7.4 Napjatost a deformace průřezu při ohybu širokých tyčí (s_0 – počáteční tloušťka tyče, b – šířka tyče)



Obr. 7.5 Vliv zpevnění materiálu při ohýbání (A – vliv na rozložení napětí, B – vliv na velikost ohybového momentu)



Obr. 7.6 Rozložení napětí a deformací podél průřezu při ohýbání se zpevněním materiálu (O_0 – počáteční poloha neutrální vrstvy v ose ohýbaného materiálu, O_1 – poloha neutrální vrstvy v dané fázi ohybu, tj. posunutá směrem ke středu křivosti ohybu)



Úkol k zamyšlení

Uvedte příklady ohybu širokých tyčí při výrobě součástí v praxi.

7.3 Technologické parametry ohýbání

1. poloměr ohybu (viz 7.3.1),
2. ztenčení stěny v místě ohybu (viz 7.3.2),
3. odpružení po ohýbání (viz 7.3.3),
4. zbytková pnutí (viz 7.3.4),
5. geometrie činných částí nástroje (viz 7.3.5).

7.3.1 Poloměr ohybu

a) Nejmenší dovolený poloměr ohybu

- *je nejmenší vnitřní poloměr ohybu, při kterém se ještě neporuší materiál* (tahové napětí ve vnějších vláknech nesmí překročit R_m),
- *závisí na orientaci ohybu vzhledem ke směru válcování* (je-li osa ohybu ve směru vláken materiálu, je $r_{\min}$ asi 2x větší, než $r_{\min}$ při ose ohybu kolmé na směr vláken,
- *malé poloměry hrany ohýbací čelisti* způsobují sice větší namáhání materiálu, ale vykazují *menší odpružení po ohýbání*.

Nejmenší dovolený poloměr ohybu:

$$r_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_m} - 1 \right) \quad (\text{mm}), \quad (7.1)$$

kde je ε_m – maximální rovnoměrné prodloužení na mezi pevnosti.

Nejmenší délka ohýbaného ramene:

$$a_{\min} = 2s \quad (\text{mm}). \quad (7.2)$$

b) Největší poloměr ohybu

- *v krajních vláknech průřezu musí dojít k trvalé deformaci*, jinak by prohnutí bylo jen pružné a materiál by se opět narovnal,
- součásti s malou křivostí lze ohýbat *s přídavným tahovým napětím*.

Největší poloměr ohybu:

$$r_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_e} - 1 \right) = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad (\text{mm}), \quad (7.3)$$

kde jsou s – tloušťka ohýbaného materiálu, ε_e – deformace na mezi kluzu, E – modul pružnosti ohýbaného materiálu, R_e – výrazná mez kluzu ohýbaného materiálu.

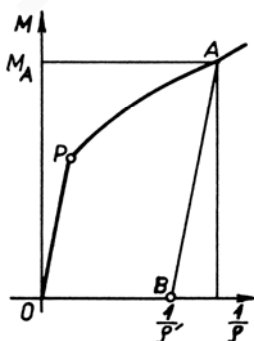
7.3.2 Ztenčení stěny v místě ohybu

- **je tím větší, čím** větší je úhel ohybu, čím větší je tření mezi materiálem a nástrojem, čím menší je poloměr ohybu, čím méně je materiál tvárný,
- **nepřípustnému ztenčení stěny** v místě ostrého ohybu lze zabránit jen předchozím vytvořením zásoby materiálu.

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte možné způsoby vytvoření zásoby materiálu v místě ohybu.

7.3.3 Odpružení po ohýbání

- **vzniká vlivem pružných napětí**, doprovázejících každé tváření zastudena (obr. 7.7),
- **je tím větší, čím** je materiál tvrdší a čím je větší poloměr ohybu (zmenšuje se s rostoucím úhlem ohybu),
- odpružení se projeví **zvětšením poloměru ohybu** a **zmenšením úhlu ohybu** (obr. 7.8),
- **odpružení lze omezit nebo vyloučit** vyztužením místa ohybu žebry, pružným předehnutím dna, kalibrací rohů (tj. zplastizováním místa ohybu a tím zmenšením oblasti pružné deformace),
- **při ohybech o velkém poloměru se zamezuje odpružení tím**, že se materiál současně s ohýbáním natáhne o 2 až 4 % své délky.



Obr. 7.7 Závislost ohybového momentu na převrácené hodnotě poloměru ohybu neutrální vrstvy (ρ – poloměr ohybu neutrální vrstvy před odpružením, ρ' – poloměr ohybu neutrální vrstvy po odpružení)



Obr. 7.8 Odpružení po ohýbání (α_1 – úhel otevření, tj. mezi ohnutými rameny, před odpružením, r_1 – vnitřní poloměr ohybu před odpružením, α_2 – úhel otevření, tj. mezi ohnutými rameny, po odpružení, r_2 – vnitřní poloměr ohybu po odpružení)

Velikost odpružení:

$$K = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \cong \frac{r_1 + 0,5 \cdot s_0}{r_2 + 0,5 \cdot s_0} \quad (-), \quad (7.4)$$

kde jsou α_1 – úhel otevření, tj. mezi ohnutými rameny, před odpružením, r_1 – vnitřní poloměr ohybu před odpružením, s_0 – počáteční tloušťka ohýbaného materiálu, α_2 – úhel otevření, tj. mezi ohnutými rameny, po odpružení, r_2 – vnitřní poloměr ohybu po odpružení.

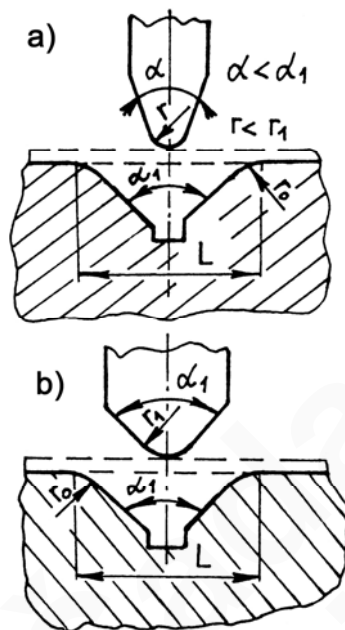
7.3.4 Zbytková pnutí

- při postupném odlehčování materiálu *brání vlákna již trvale deformovaná vláknům, deformovaným pružně, získat po odlehčení původní délku (na vnější straně ohybu, tedy ve vláknech, které byly taženy, vzniknou po odlehčení tlaková pnutí a naopak na vnitřní straně ohybu vzniknou po odlehčení zbytková pnutí tahová)*,
- existence zbytkových pnutí má vliv na pevnost ohnuté součásti* – je-li zatížena *momentem, působícím ve stejném smyslu jako při ohybu*, nastane plastická deformace, až hodnota momentu překročí hodnotu původního momentu při ohýbání, zatíží-li se ohnutá součást *momentem opačného směru*, vznikne plastická deformace již při nižší hodnotě momentu (zbytková pnutí se v krajních vláknech v prvním případě odečítají od napětí, vyvolaných opětovným zatížením a ve druhém případě se sčítají).

	Úkol k zamyšlení
	Uved'te možné způsoby odstranění zbytkových pnutí při výrobě součástí v praxi.

7.3.5 Geometrie činných částí nástroje

- prostý ohyb bez ražení* (nástroje mají univerzální tvar, *ohybník má menší úhel než ohybnice*, která má úhel odpovídající požadovanému úhlu ohybu) (obr. 7.9 a),
- ohyb ražením* (*ohybník i ohybnice mají úhel odpovídající požadovanému úhlu ohybu. Lze provádět jen při ohýbání na lisech*). Aby razicí síla nepřekročila jmenovitou sílu lisu, je třeba přesně seřídít spodní úvrať beranu na plechu s maximální tolerancí. (obr. 7.9 b).



Obr. 7.9 Geometrie činných částí ohýbacího nástroje (a – prostý ohyb bez ražení, b – ohyb ražením)

7.4 Výchozí délka materiálu

- čím je ohyb ostřejší, tím více je neutrální vrstva posunuta k ose ohybu

Poloměr ohybu neutrální vrstvy:

$$\rho = r + \frac{s}{2} \cdot x \quad (\text{mm}), \quad (7.5)$$

kde jsou r – vnitřní poloměr ohybu, s – tloušťka ohýbaného materiálu.

Součinitel posunutí neutrální vrstvy:

$$x = \left(0,642932593 \cdot \frac{r}{s} \right)^{0,289311855} \quad (-), \quad (7.6)$$

Délka oblouku neutrální vrstvy:

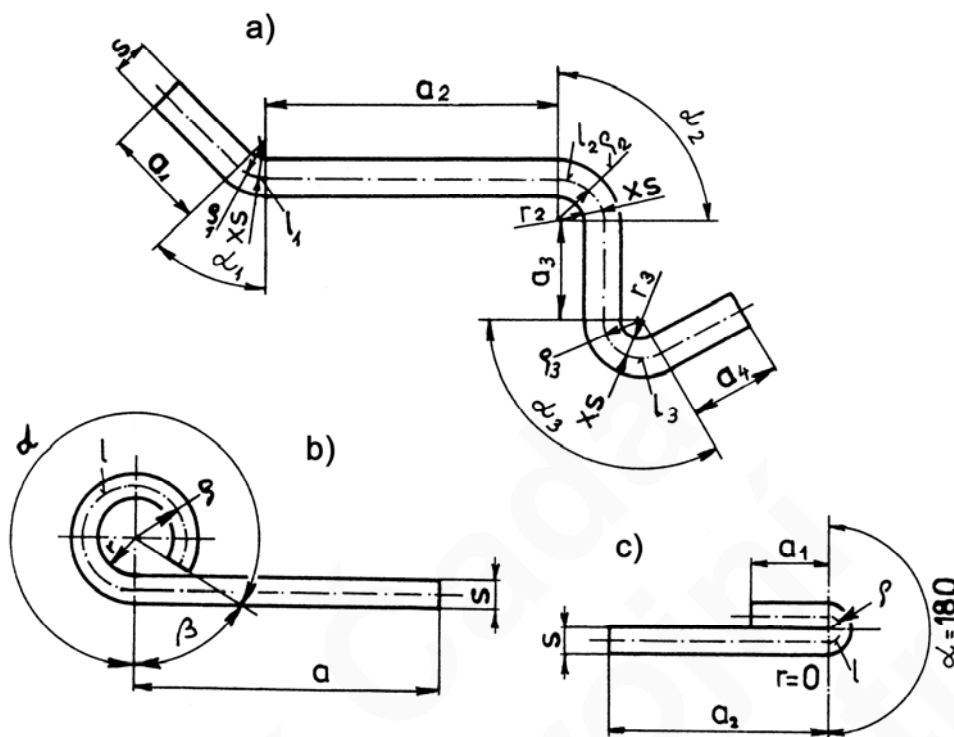
$$l = \alpha \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \rho \quad (\text{mm}), \quad (7.7)$$

kde je α – úhel otevření, tj. mezi ohnutými rameny.

Výchozí délka materiálu (součet částí, obr. 7.10):

$$L = \sum_i l_i + \sum_i a_i \quad (\text{mm}), \quad (7.8)$$

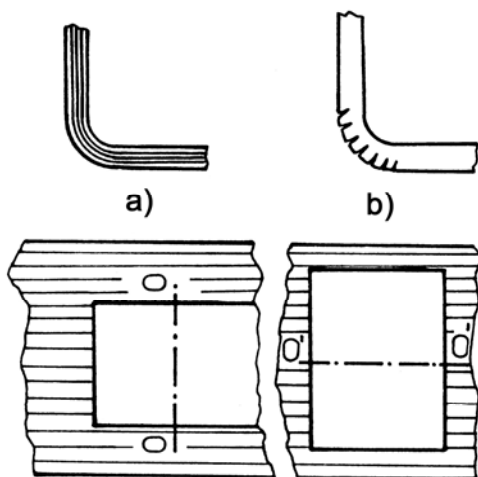
kde je a_i – délka i -té rovné části.



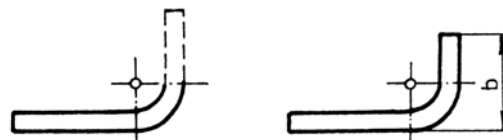
Obr. 7.10 Stanovení výchozí délky materiálu při ohýbání (příklady tří ohýbaných součástí)

7.5 Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí

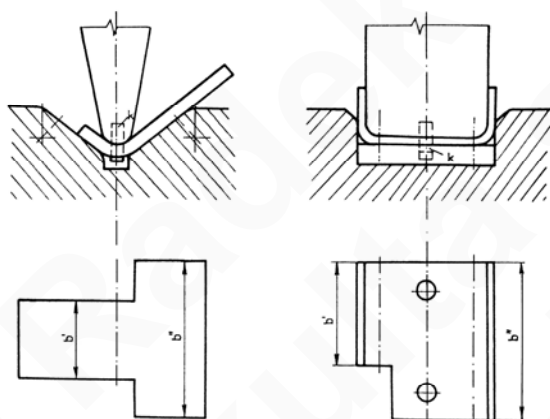
- volit malý poloměr ohybu*, aby se zmenšilo odpružení,
- volit *osu ohybu pokud možno kolmo na směr vláken materiálu* (obr. 7.11),
- nezmenšovat tolerance* ohýbaných součástí pod hranici, která se dosahuje běžným ohýbáním,
- vzdálenost místa ohybu od okraje materiálu* má být tím větší, čím je materiál tvrdší (aby se kratší rameno nevtahovalo do ohýbadla při ohýbání blízko okraje, je nutné materiál v místě ohybu upevnit – např. zavěsit otvorem na hledáček ohybníku) (obr. 7.12 a 7.13),
- přesné otvory v místě ohybu* je nutno vystříhnout dodatečně, což vyžaduje složité stříhadlo (předem vystřižené otvory nebudou deformovány, budou-li jejich okraje alespoň ve vzdálenosti $a = s$ od oblasti ohybu) (obr. 7.14),
- osa ohybu má směřovat kolmo k obrysu součástky* (někdy je nutná úprava obrysu nebo nastřížení) (obr. 7.15),
- ostrých ohybů je možno docílit jen dodatečným ražením* (je však třeba v místě ohybu vytvořit zásobu materiálu, nemá-li se tam tloušťka nepřipustně zmenšit nebo materiál porušit,
- různě velkému odpružení materiálů s proměnlivými mechanickými vlastnostmi lze zabránit *vyztužením místa ohybu prolisovanými žebry nebo ražením* (stejným způsobem lze zvýšit tuhost výlisků s velkými poloměry ohybu) (obr. 7.16 a 7.17).



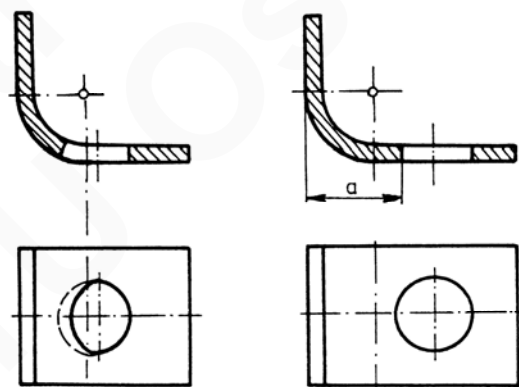
Obr. 7.11 Vliv směru osy ohybu vůči směru vláken materiálu na kvalitu v místě ohybu (a – osa ohybu kolmá na směr vláken materiálu – vhodné, b – osa ohybu rovnoběžná se směrem vláken materiálu – nevhodné)



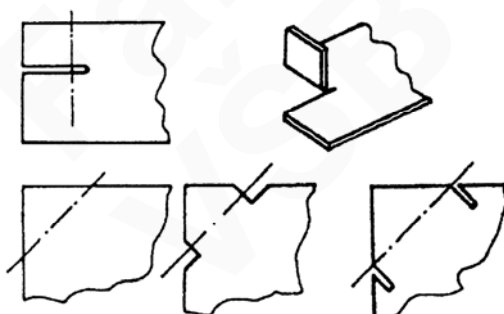
Obr. 7.12 Vzdálenost místa ohybu od okraje materiálu



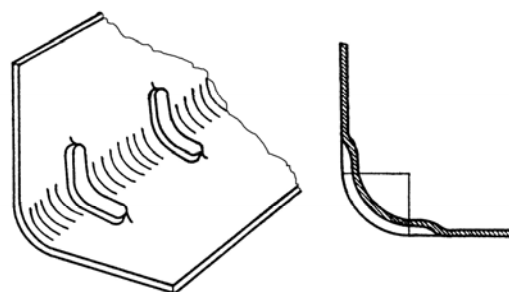
Obr. 7.13 Zavěšení otvorem za hledáček ohybníku



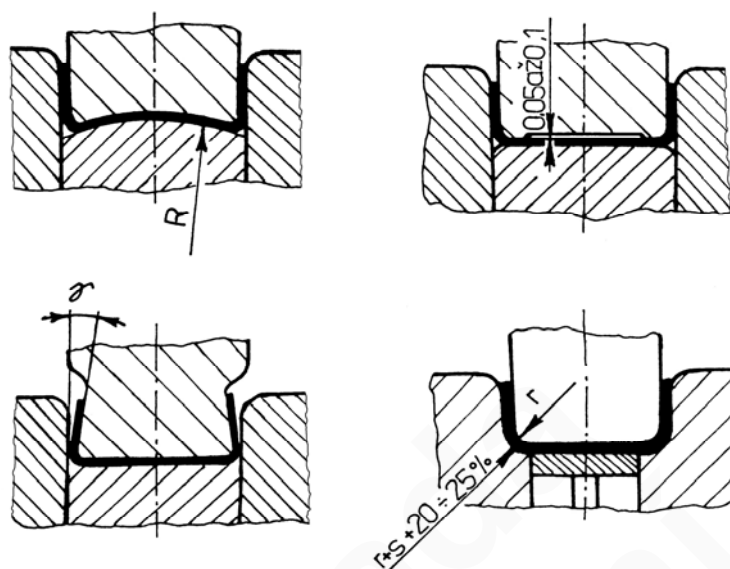
Obr. 7.14 Vzdálenost otvoru od místa ohybu



Obr. 7.15 Nastřížení a úpravy obrysu pro ohýbání



Obr. 7.16 Vyztužení místa ohybu prolisovanými žebry



Obr. 7.17 Způsoby odstranění odpružení (a – vyboulené dno výrobku, b – provedení vybrání na čele nástroje, c – podbroušení ohybníku o úhel γ , d – zúžení mezery mezi ohybníkem a ohybnicí v poloměrech zaoblení u dna)

	Úkol k zamyšlení
	Uved'te důsledky nedodržení technologičnosti konstrukce ohýbaných součástí.

7.6 Technologické metody ohýbání

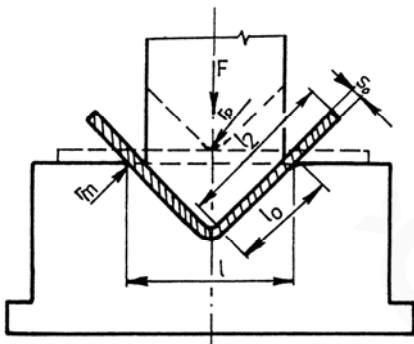
- ohýbání na ohýbacích strojích** (ohýbání do tvaru U, V apod. *v ohýbadlech na lisech*) (obr. 7.18 až 7.21),
- ohýbání na ohýbačkách** (ohýbají *navinováním*) (obr. 7.22),
- ohýbání na ohraňovacích lisech** (též *ohraňování*). Používají se mechanické nebo hydraulické lis, jejichž *stůl a beran jsou rozšířeny* – lze ohýbat pásy a součásti i několik metrů dlouhé. Nářadí je univerzální, snadno vyměnitelné.) (obr. 7.23 až 7.25),
- ohýbání válcováním**
 - ohýbání na obrubovačkách** (ohýbá se postupně pomocí *univerzálních tvarových kotoučů*, osa ohybu nemusí být přímková) (obr. 7.26),
 - plynulé ohýbání profilovými válci** (sestavují se do *válcovacích tratí* k hromadné výrobě tenkostěnných profilů a trubek z plechu) (obr. 7.27),
- zakružování** (stáčení plechu nebo profilového materiálu do kruhu, válcové, kuželové či šroubové plochy, místo plastické deformace materiálu se mění. *Zakružuje se válci nebo tvarovými kotouči*, podle jejich polohy se *zakružovačky* dělí na *symetrické* a *nesymetrické*.) (obr. 7.28 až 7.31),

6. **rovnání** (*ohýbání materiálu v opačném směru, než je deformován, místo plastické deformace materiálu se mění. Ohnutí při rovnání je třeba přehnat tak, aby po odpružení byl materiál právě rovný. Rovnačky plechu se skládají z většího množství válců.*) (obr. 7.32).

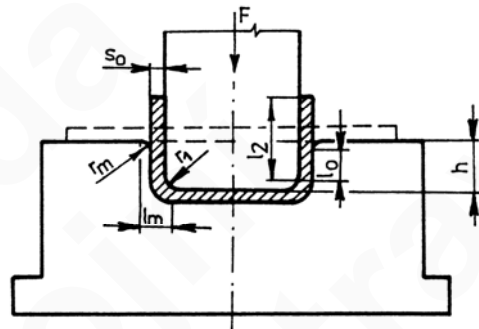


Úkol k zamyšlení

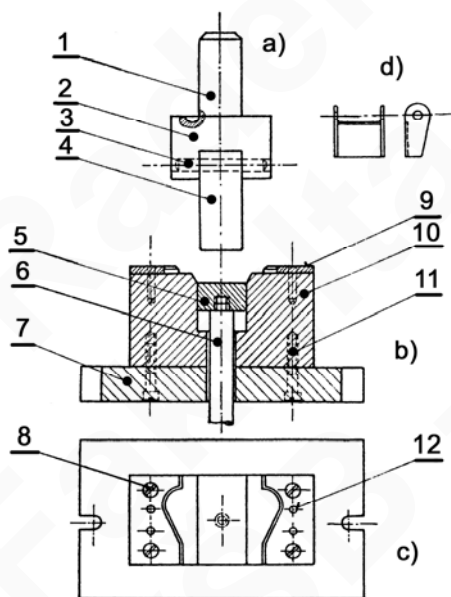
Uvedte příklady plynulého ohýbání profilovými válci při výrobě součástí v praxi.



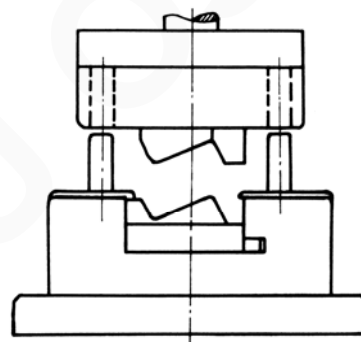
Obr. 7.18 Ohýbadlo do tvaru V



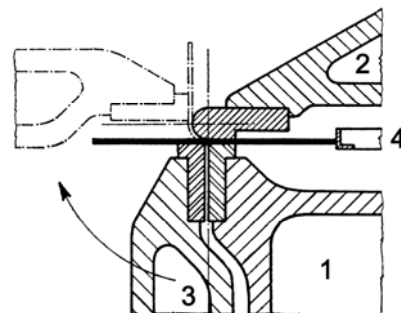
Obr. 7.19 Ohýbadlo do tvaru U



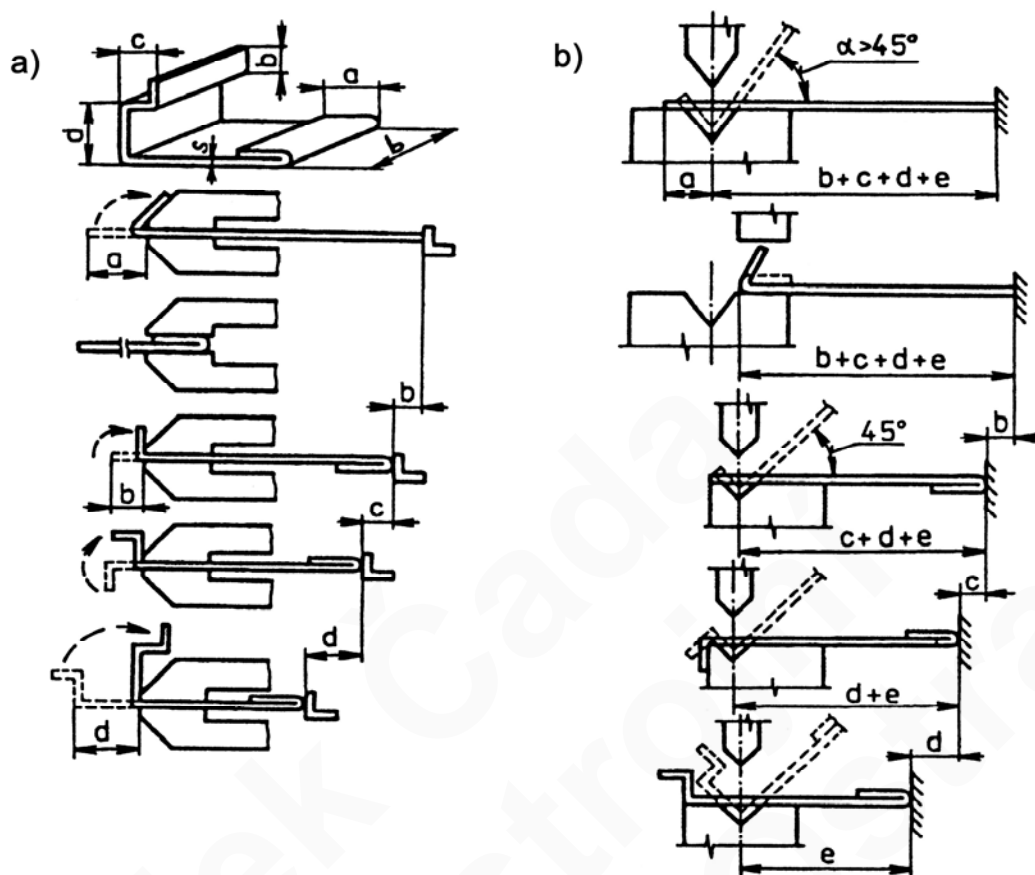
Obr. 7.21 Sestava ohýbadla do tvaru U (a – ohybník v hlavici, b – ohybnice v základové desce, c – půdorys ohybnice, d – ohýbaná součást, 1 – stopka, 2 – hlavice, 3 – montážní kolík, 4 – ohybník, 5 – vyrážec, 6 – kolík vyrážec, 7 – základová deska, 8 – spojovací šroub, 9 – doraz, 10 – ohybnice, 11 – spojovací šroub, 12 – montážní kolík)



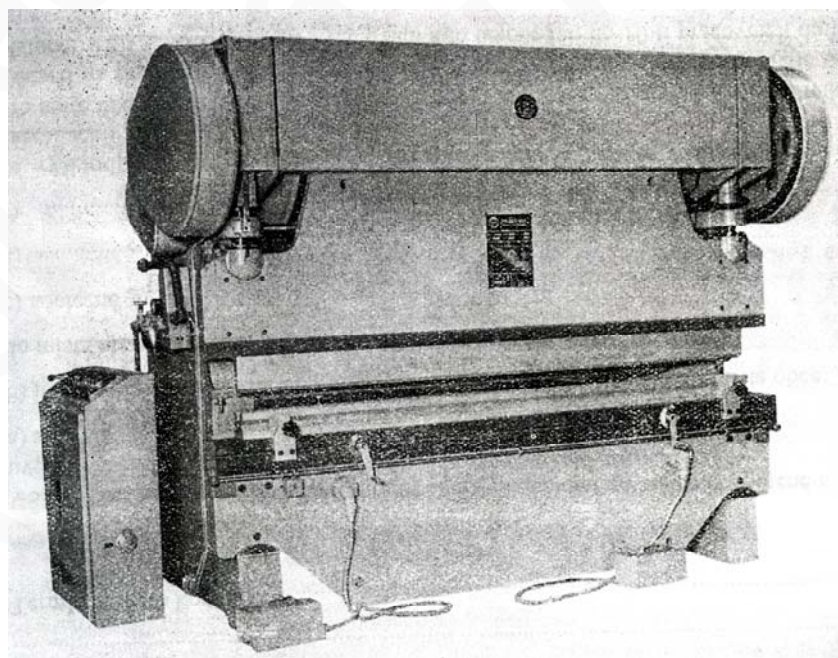
Obr. 7.20 Ohýbadlo pro výlisky tvaru Z



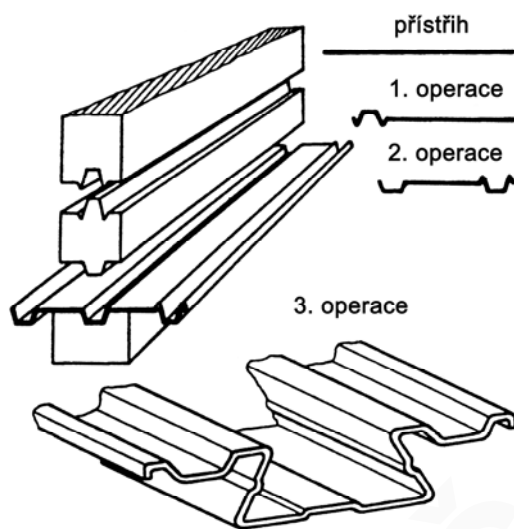
Obr. 7.22 Pracovní ústrojí ohýbačky s otočnou deskou (1 – pevná lišta, 2 – svěrací lišta, 3 – lišta na otočné desce, 4 – doraz)



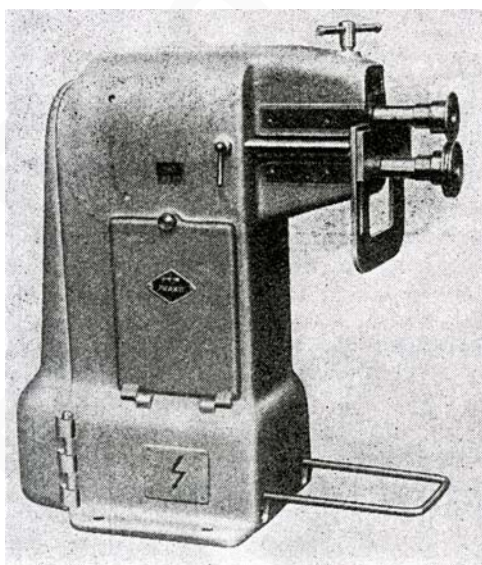
Obr. 7.23 Postup výroby ohýbané součásti (a – na ohýbačce, b – na ohraňovacím lisu)



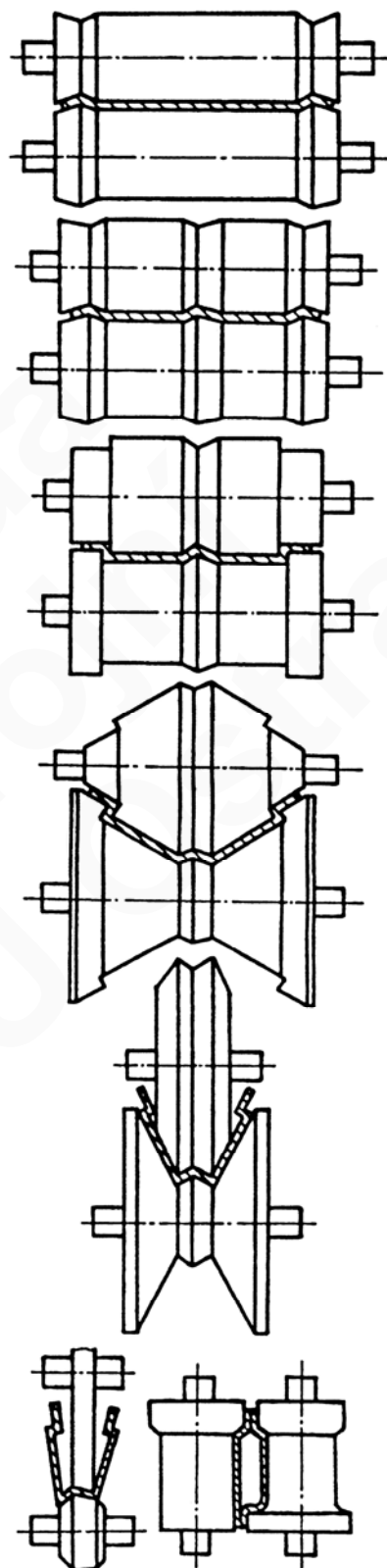
Obr. 7.24 Ohraňovací lis LO 50



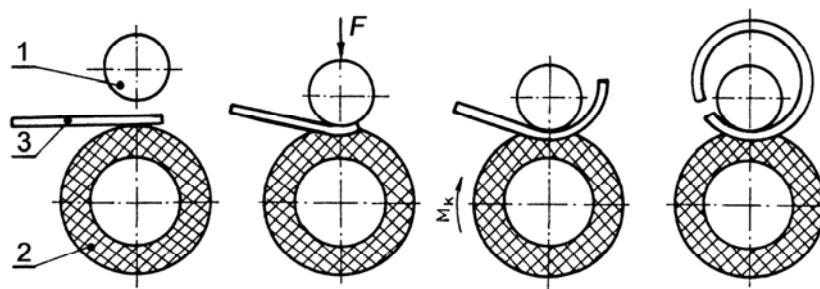
Obr. 7.25 Výroba dlouhé ohýbané součásti na ohraňovacím lisu



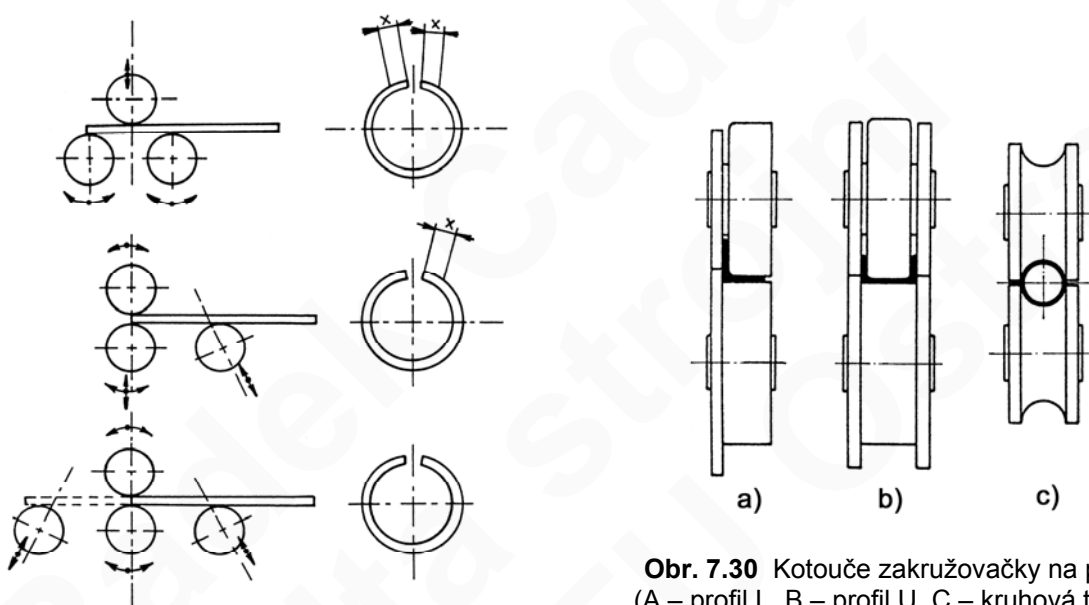
Obr. 7.26 Obrubovačka XBM 120/400



Obr. 7.27 Postup plynulého ohýbání profilovými válci

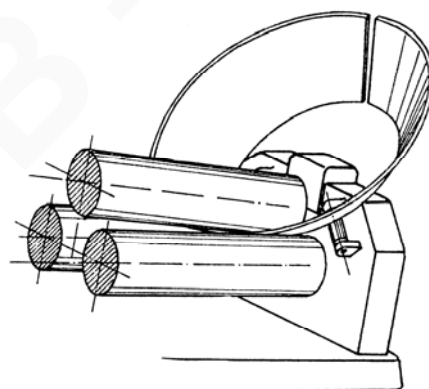


Obr. 7.28 Princip práce dvojválnové zakružovačky (1 – tuhý válec, 2 – elastický válec, 3 – plech)

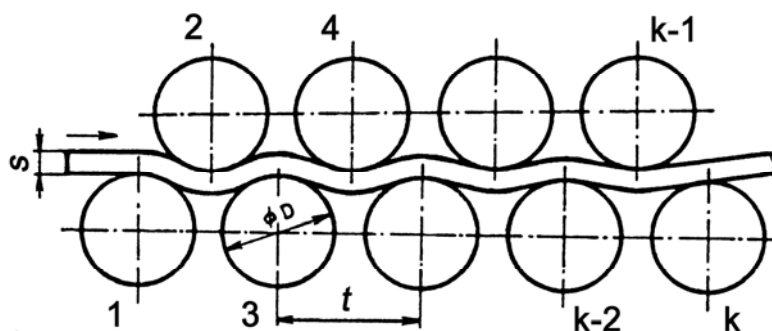


Obr. 7.29 Schémata zakružovaček (a – tříválcová symetrická, b – tříválcová nesymetrická, c – čtyřválcová)

Obr. 7.30 Kotouče zakružovačky na profily (A – profil L, B – profil U, C – kruhová trubka)



Obr. 7.31 Zakružování plechu do kuželové plochy



Obr. 7.32 Princip rovnání na rovnačce plechu (všechny válce jsou poháněny)



Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady rovnání při výrobě součástí v praxi.



Shrnutí kapitoly

Ohýbání je proces, při kterém **vlivem působení ohybového momentu od ohybové síly dochází k trvalé změně tvaru polotovaru**. Při ohýbání nedochází k podstatné změně průřezu, proto patří do oblasti **plošného tváření**. Tvary těles, vzniklé ohýbáním, **jsou rozvinutelné**. Většinou se ohýbá **zastudena**, tvrdé a křehké materiály i průřezy s velkým W_0 se ohýbají **zatepla**.

Rozdělení ohýbání:

1. **prosté ohýbání** (tváření rovinné plochy v plochy různě vůči sobě orientované. Nástroj se nazývá *ohýbadlo*, ohýbá se na lisech, a to bez přidržení nebo s přidržením.),
2. **ohraňování** (ohýbání plechu v jednoúčelových, tzv. *ohraňovacích lisech*. Nástroj se nazývá *ohraňovadlo*.),
3. **rovnání** (dodatečné vyrovnávání plechů, trubek a profilů. Rovnání plechů se provádí *mezi rovnacími válci*, rovnání menších polotovarů se provádí v *rovnadlech mezi čelistmi rovnými nebo rýhovanými*. Nástroj se nazývá *rovnadlo*.),
4. **zakružování** (tváření rovinné nebo členité plochy v plochu válcovou, kuželovou nebo i části těchto ploch. Nástroj se nazývá *zakružovadlo*.),
5. **lemování** (ohýbání rovinné nebo prostorové plochy k získání lepšího vzhledu, vyztužení okrajů, k odstranění ostrých hran apod. Nástroj se nazývá *lemovadlo*.),
6. **obrubování** (vyztužování okrajů rovinné nebo prostorové plochy ke zvýšení jakosti okraje. Nástroj se nazývá *obrubovadlo*.),
7. **osazování** (někdy též *prosazování*, ohnutí plechu promáčknutím na okraji nebo uvnitř rovinné plochy. Nástroj se nazývá *osazovadlo*.),
8. **drápkování** (pevné spojení předehtnutých okrajů plechu tím, že se do sebe vzájemně zaklesnou a společně ohnou. Nástroj se nazývá *drápkovadlo*.),

9. **zkřivování** (natáčení plochého nebo profilového polotovaru vzhledem k sousední části kolem společné osy o určitý úhel. Nástroj se nazývá *zkřivadlo*.).

Ohyb úzkých tyčí: šířka je podstatně menší než tloušťka, proto lze napětí působící ve směru šířky zanedbat – napjatost vláken ležících na vnější straně neutrální vrstvy odpovídá jednoosému tahu, napjatost vláken na straně vnitřní odpovídá jednoosému tlaku. Prodloužení vláken materiálu v podélném směru na vnější straně ohybu je provázáno zmenšováním příčných rozměrů, zkrácení vláken na vnitřní straně ohybu je provázáno zvětšováním příčných rozměrů (**deformace je prostorová**). Fáze ohybu – pružný ohyb, ohyb s částečnou plastickou deformací, ohyb s úplnou plastickou deformací.

Ohyb širokých tyčí: deformace materiálu v jeho šířce jsou malé, ve střední oblasti prakticky žádné – změna délky vláken v podélném směru se kompenzuje výhradně **změnou jeho tloušťky v radiálním směru (deformace je rovinná)**.

Zpevnění materiálu při ohýbání. při ohýbání zastudena vzrůstá mez kluzu v závislosti na stupni plastické deformace (tento vzrůst je největší v *krajních deformovaných vrstvách materiálu*).

Technologickými parametry ohýbání jsou: poloměr ohybu, ztenčení stěny v místě ohybu, odpružení při ohýbání, zbytková pnutí a geometrie činných částí nástroje.

Nejmenší dovolený poloměr ohybu: je nejmenší vnitřní poloměr ohybu, při kterém se ještě neporuší materiál (tahové napětí ve vnějších vláknech nesmí překročit R_m). Závisí na orientaci ohybu vzhledem ke směru válcování (je-li osa ohybu ve směru vláken materiálu, je $r_{\min}$ asi 2x větší, než $r_{\min}$ při ose ohybu kolmé na směr vláken. Malé poloměry hrany ohýbací čelisti způsobují sice větší namáhání materiálu, ale vykazují *menší odpružení po ohýbání*.

Největší poloměr ohybu: v *krajních vláknech průřezu musí dojít k trvalé deformaci*, jinak by prohnutí bylo jen pružné a materiál by se opět narovnal. Součásti s malou křivostí lze ohýbat s *přídavným tahovým napětím*.

Ztenčení stěny v místě ohybu: je tím větší, čím větší je úhel ohybu, čím větší je tření mezi materiálem a nástrojem, čím menší je poloměr ohybu, čím méně je materiál tvárný. *Nepřípustnému ztenčení stěny v místě ostrého ohybu lze zabránit jen předchozím vytvořením zásoby materiálu.*

Odpružení po ohýbání: vzniká vlivem pružných napětí, doprovázejících každé tváření zastudena. Je tím větší, čím je materiál tvrdší a čím je větší poloměr ohybu (zmenšuje se s rostoucím úhlem ohybu). Odpružení se projeví **zvětšením poloměru ohybu a zmenšením úhlu ohybu**. Odpružení lze omezit nebo vyloučit vyztužením místa ohybu žebry, pružným předehtnutím dna, kalibrací rohů (tj. zplastizováním místa ohybu a tím zmenšením oblasti pružné deformace). Při ohybech o velkém poloměru se zamezuje odpružení tím, že se materiál současně s ohýbáním natáhne o 2 až 4 % své délky.

Zbytková pnutí: při postupném odlehčování materiálu brání vlákna již trvale deformovaná vláknům, deformovaným pružně, získat po odlehčení původní délku (na vnější straně ohybu, tedy ve vláknech, které byly taženy, vzniknou po odlehčení tlaková pnutí a naopak na vnitřní straně ohybu vzniknou po odlehčení zbytková pnutí tahová). **Existence zbytkových pnutí má vliv na pevnost ohnuté součásti** – je-li zatížena momentem, působícím ve stejném smyslu jako při ohybu, nastane plastická deformace, až hodnota momentu překročí hodnotu původního momentu při ohýbání, zatíží-li se ohnutá součást momentem opačného směru, vznikne plastická deformace již při nižší hodnotě momentu (zbytková pnutí se v krajních vláknech v prvním případě odečítají od napětí, vyvolaných opětovným zatížením a ve druhém případě se sčítají).

Geometrie činných částí nástroje:

- a) **prostý ohyb bez ražení** (nástroje mají univerzální tvar, ohybník má menší úhel než ohybnice, která má úhel odpovídající požadovanému úhlu ohybu),

- b) **ohyb ražením** (ohybník i ohybnice mají úhel odpovídající požadovanému úhlu ohybu. Lze provádět jen při ohýbání na lisech. Aby razicí síla nepřekročila jmenovitou sílu lisu, je třeba přesně seřadit spodní úvrať beranu na plechu s maximální tolerancí.

Výchozí délka materiálu (součet částí): $L = \sum_i l_i + \sum_i a_i$ (mm),

kde je l_i – délka oblouku neutrální vrstvy i-té obloukové části a_i – délka i-té rovné části.

Čím je ohyb ostřejší, tím více je neutrální vrstva posunuta k ose ohybu.

Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí:

- volit malý poloměr ohybu**, aby se zmenšilo odpružení,
- volit **osu ohybu pokud možno kolmo na směr vláken materiálu**,
- nezmenšovat tolerance** ohýbaných součástí pod hranici, která se dosahuje běžným ohýbáním,
- vzdálenost místa ohybu od okraje materiálu** má být tím větší, čím je materiál tvrdší (aby se kratší rameno nevtahovalo do ohýbadla při ohýbání blízko okraje, je nutné materiál v místě ohybu upevnit – např. zavěsit otvorem na hledáček ohybníku),
- přesné otvory v místě ohybu** je nutno vystříhnout dodatečně, což vyžaduje složité stříhadlo (předem vystřižené otvory nebudou deformovány, budou-li jejich okraje alespoň ve vzdálenosti $a = s$ od oblasti ohybu),
- osa ohybu má směřovat kolmo k obrysu součástky** (někdy je nutná úprava obrysu nebo nastřížení),
- ostrých ohybů je možno docílit jen dodatečným ražením** (je však třeba v místě ohybu vytvořit zásobu materiálu, nemá-li se tam tloušťka nepřipustně zmenšit nebo materiál porušit,
- různě velkému odpružení materiálů s proměnlivými mechanickými vlastnostmi lze zabránit **vyztužením místa ohybu prolisovanými žebry nebo ražením** (stejným způsobem lze zvýšit tuhost výlisků s velkými poloměry ohybu).

Technologické metody ohýbání:

- ohýbání na ohýbacích strojích** (ohýbání do tvaru U, V apod. v ohýbadlech na lisech),
- ohýbání na ohýbačkách** (ohýbají navinováním),
- ohýbání na ohraňovacích lisech** (též ohraňování. Používají se mechanické nebo hydraulické lisy, jejichž stůl a beran jsou rozšířeny – lze ohýbat pásy a součásti i několik metrů dlouhé. Nářadí je univerzální, snadno vyměnitelné.),
- ohýbání válcováním**
 - ohýbání na obrubovačkách** (ohýbá se postupně pomocí univerzálních tvarových kotoučů, osa ohybu nemusí být přímková),
 - plynulé ohýbání profilovými válci** (sestavují se do válcovacích tratí k hromadné výrobě tenkostěnných profilů a trubek z plechu),
- zakružování** (stáčení plechu nebo profilového materiálu do kruhu, válcové, kuželové či šroubové plochy, místo plastické deformace materiálu se mění. Zakružuje se válci nebo tvarovými kotouči, podle jejich polohy se zakružovačky dělí na symetrické a nesymetrické.),
- rovnání** (ohýbání materiálu v opačném směru, než je deformován, místo plastické deformace materiálu se mění. Ohnutí při rovnání je třeba přehnat tak, aby po odpružení byl materiál právě rovný. Rovnačky plechu se skládají z většího množství válců.).

	Pojmy k zapamatování
	Ohýbání, ohybový moment, ohybová síla, průřez, plošné tváření, prosté ohýbání, ohýbadlo, lis, ohraňování, ohraňovací lis, ohraňovadlo, rovnání, rovnací válec, rovnadlo, čelist, zakružování, zakružovadlo, lemování, lemovadlo, obrubování, obrubovadlo, osazování, prosazování, osazovadlo, drápkování, drápkovadlo, zkrucování, zkrucovadlo, ohyb, jednoosý tah, napjatost, vlákno, jednoosý tlak, deformace, plastická deformace, radiální směr, zpevnění, mez kluzu, vrstva materiálu, poloměr ohybu, válcování, osa ohybu, ohýbací čelist, odpružení, mez pevnosti, prodloužení, ohýbané rameno, modul pružnosti, ztenčení, pružné napětí, úhel ohybu, žebro, kalibrace, zbytkové pnutí, ražení, ohybník, ohybnice, razicí síla, jmenovitá síla lisu, úvrat', beran, plech, tolerance, neutrální vrstva, vnitřní poloměr ohybu, součinitel posunutí neutrální vrstvy, úhel otevření, technologičnost, hledáček ohybníku, vystřihování, stříhadlo, nastřižení, tuhost, ohýbačka, navinování, ohraňování, mechanický lis, hydraulický lis, stůl lisu, pás, kotouč, profilový válec, válcovací trať, tenkostěnný profil, trubka, symetrická zakružovačka, nesymetrická zakružovačka, rovnačka.

	Odměna a odpočinek
	Výborně, jde vám to velmi dobře – sedmou kapitolu máte za sebou! Nyní si dejte zdravotní přestávku, protáhněte se třeba někde na čerstvém vzduchu a pak se pusťte do jednotlivých kontrolních otázek této kapitoly.

	Kontrolní otázky
	Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo sedmé kapitoly „Ohýbání“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek: 1. Dokážete charakterizovat technologii ohýbání? 2. Jaké je rozdělení technologií ohýbání? 3. Jaké jsou rozdíly mezi ohybem úzkých a širokých tyčí? 4. Jakým způsobem vzniká zpevnění materiálu při ohýbání? 5. Které jsou základní technologické parametry ohýbání? 6. Co je to nejmenší dovolený poloměr ohybu? Na čem závisí jeho velikost? 7. Co je to největší poloměr ohybu? 8. Na čem závisí ztenčení stěny v místě ohybu? Jak se dá tomuto ztenčení zabránit? 9. Umíte objasnit odpružení po ohýbání? 10. Jaká je příčina vzniku zbytkových pnutí po ohýbání? Jaký mají zbytková pnutí vliv na pevnost ohýbaných součástí? 11. Jaký je rozdíl mezi prostým ohybem bez ražení a ohybem ražením? 12. Co je to neutrální vrstva? Kterým směrem se při ohýbání neutrální vrstva posunuje ve vztahu ke středu křivosti ohybu? 13. Jak se vypočte výchozí délka materiálu pro ohýbání?

	14. Dokážete objasnit technologičnost konstrukce ohýbaných součástí? 15. Jaké jsou způsoby zamezení nebo omezení odpružení po ohýbání? 16. Jaké znáte technologické metody ohýbání? 17. Ze kterých částí se skládá ohýbadlo? 18. Jak se provádí plynulé ohýbání profilovými válci? 19. Jaké znáte způsoby rovnání?
--	--

	Literatura
	[1] BŘEZINA, R. <i>Technologie I – část 1 : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 80 s. ISBN 80-7078-439-3. [2] ČADA, R. <i>Technologie I – část tváření a slévání : návody do cvičení : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 188 s. ISBN 80-7078-540-3. [3] PETRŽELA, Z. <i>Základy teorie a technologie strojírenského tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1980. 378 s. (bez ISBN). [4] BŘEZINA, R. a ČADA, R. <i>Speciální technologie – technologie tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1992. 257 s. ISBN 80-7078-122-X. [5] NOVOTNÝ, K. a MACHÁČEK, Z. <i>Speciální technologie I : Plošné a objemové tváření : skriptum</i>. 2. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3. [6] PETRŽELA, Z., KUČERA, J. a BŘEZINA, R. <i>Technologie slévání, tváření a svařování : skriptum</i>. 2. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1987. 329 s. (bez ISBN). [7] ČABELKA, J. a kol. <i>Mechanická technológia</i>. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1967. 1036 s. (bez ISBN). [8] HRIVŇÁK, A., EVIN, E. a SPIŠÁK, E. <i>Technológia plošného tvárnenia : skriptum</i>. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1985. 264 s. (bez ISBN). [9] PETRŽELA, Z. <i>Tváření II : Strojírenská technologie a tvářecí stroje : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1975. 335 s. (bez ISBN).

	Náměty pro tutoriál
	Popište jednotlivé metody ohýbání. Uveďte příklady z praxe, kdy se vyskytují při výrobě součástí. Rozeberte technologičnost konstrukce ohýbaných součástí. Uveďte příklady z praxe, kdy se uplatnila. Popište technologické metody ohýbání. Uveďte příklady jejich využití v praxi.

	Průvodce studiem
	Další kapitola se věnuje zcela odlišné technologii, a to slévání. Tato technologie se uplatňuje především při výrobě součástí složitých tvarů, které by bylo neekonomické vyrábět

	jinými způsoby.
--	-----------------

8 SLÉVÁNÍ



Rychlý náhled do problematiky kapitoly

Osmá kapitola se věnuje technologii **slévání**. Jsou popsány slévárenské formovací směsi (základní složky, rozdělení formovacích směsí, zkoušení formovacích směsí, úprava formovacích materiálů, pomocné formovací látky), rovnovážné soustavy železa s uhlíkem, materiály používané na odlitky, technologický proces výroby odlitků, rozdělení a výroba slévárenských forem, způsoby odlévání do kokil (gravitační, tlakové, odstředivé a plynulé lití), zvláštní způsoby výroby odlitků (odlívání do forem z CT směsí, skořepinových a keramických forem), základní druhy pecí podle způsobu ohřevu, vytloukání odlitků, čištění a oprava chyb, kontrola odlitků. Kapitola rovněž popisuje výrobní dokumentaci odlitku (slévárenský postupový výkres, volbu polohy odlitku ve formě, zásady pro stanovení dělicí plochy, smrštění odlévaných slitin, přídavky na obrábění a přídavky technologické, slévárenské úkosy, druhy modelů a jader, výkres odlitku), výpočet vtokové soustavy, navržení výfuku, nálitkování odlitků, výpočet vztlačové síly působící na vršek formy, tepelné zpracování odlitků, vady odlitků a konstrukční zásady pro navrhování odlitků.

Členění se na následující podkapitoly:

- 8.1 Slévárenské formovací směsi
 - 8.1.1 Zkoušení slévárenských formovacích směsí
 - 8.1.2 Úprava formovacích materiálů
 - 8.1.3 Pomocné formovací látky
- 8.2 Rovnovážné soustavy železa s uhlíkem
- 8.3 Materiály používané na odlitky
- 8.4 Technologický proces výroby odlitků
 - 8.4.1 Výroba slévárenských forem
 - 8.4.2 Příprava tekutého kovu
 - 8.4.3 Vytloukání odlitků, čištění a oprava chyb
 - 8.4.4 Kontrola odlitků a expedice
- 8.5 Výrobní dokumentace odlitku
 - 8.5.1 Slévárenský postupový výkres
 - 8.5.1.1 Volba polohy odlitku ve formě při odlévání
 - 8.5.1.2 Zásady pro stanovení dělicí plochy
 - 8.5.1.3 Smrštění odlévaných slitin
 - 8.5.1.4 Mezní úchytky rozměrů a tvaru odlitků
 - 8.5.1.5 Přídavky na obrábění ploch odlitků
 - 8.5.1.6 Přídavky technologické
 - 8.5.1.7 Slévárenské úkosy modelů a odlitků
 - 8.5.2 Výrobní postup modelového zařízení
 - 8.5.3 Výrobní postup odlitku
 - 8.5.4 Výkres odlitku
- 8.6 Ověřování, nultá série a sériová výroba odlitků
- 8.7 Vtoková soustava
- 8.8 Navržení výfuku
- 8.9 Nálitkování odlitků
- 8.10 Vztlačová síla působící na vršek formy

	8.11 Tepelné zpracování odlitků 8.11.1 Tepelné zpracování odlitků ze šedé litiny 8.11.2 Tepelné zpracování odlitků z ocelí uhlíkových a nízkoaloyovaných 8.11.3 Tepelné zpracování odlitků z austenitických ocelí 8.11.4 Tepelné zpracování odlitků ze slitin hliníku 8.12 Vady odlitků 8.13 Konstrukční zásady pro navrhování odlitků
--	--

	Cíle kapitoly
	Budete umět: • popsat proces slévání materiálu a vhodnost jeho použití, • uvést základní složky slévárenských formovacích směsí, • objasnit rovnovážné soustavy železa s uhlíkem, • vysvětlit způsoby výroby slévárenských forem, • popsat přípravu tekutého kovu pro odlévání, • nakreslit slévárenský postupový výkres odlitku, • zvolit vhodnou polohu odlitku ve formě při odlévání, • navrhnout vhodné slévárenské úkopy modelů a odlitků, • objasnit druhy modelů a způsoby jejich výroby, • vysvětlit základní části vtokové soustavy, • najít na odlitku tepelné uzly a popsat způsoby nálitkování, • popsat vady odlitků, • rozebrat konstrukční zásady pro navrhování odlitků. Získáte: • přehled o slévárenských formovacích směsích, a jejich rozdělení, • znalosti o způsobech zkoušení slévárenských formovacích směsí, • informace o pomocných formovacích látkách, • poznatky o jednotlivých etapách technologického procesu výroby odlitků, • znalosti o zvláštních způsobech výroby odlitků, • přehled o základních druzích pecí pro tavení vsázky podle způsobu ohřevu, • znalosti o zásadách pro stanovení polohy odlitku ve formě a dělicí plochy, • informace o smrštění odlévaných slitin, • poznatky o výfuku ve formě, • přehled o vztahové síle, působící na vršek formy a o způsobech zabraňujících nadzvednutí horního formovacího rámu, • znalosti o způsobech tepelného zpracování odlitků z různých materiálů. Budete schopni: • vysvětlit způsoby úpravy formovacích materiálů, • uvést materiály používané na odlitky, • popsat druhy forem, • objasnit způsoby odlévání do kovových forem, • vysvětlit vytloukání odlitků, čištění, opravu chyb a kontrolu odlitků, • objasnit mezní úchytky rozměrů a tvaru odlitků, přídavky na obrábění a přídavky technologické, • vysvětlit rozdíly mezi vtokovou soustavou pro šedou litinu a pro ocel na odlitky.

	Klíčová slova kapitoly
	Slévání, odlitek, slitina, kov, chemické složení, teplota, odlití, dutina formy, mikrostruktura, formovací směs, forma, jádro, ostřivo, písek, zrno, pojivo, soudržnost, pojivo, zrnitost, formování, ocel, prodyšnost, síto, vaznost, žáruvzdornost, rozpadavost, houževnatost, regenerace, sušení, bubnová sušárna, drcení, grafit, koks, jíl, kulový mlýn, výsypka, prosévání, bubnové síto, střásací síto, magnetický separátor, mísení, kolový mísič, žebrový mísič, kypření, dezintegrátor, areátor, suchá regenerace, mokrá regenerace, tepelná regenerace, bubnová pec, pomocná formovací látka, rovnovážná soustava železa s uhlíkem, cementit, grafit, rychlost ochlazování, litina, ocel na odlitky, uhlíková ocel, legovaná ocel, šedá litina, očkovaná litina, očkovaadlo, krystalizace, mechanická vlastnost, žárupevnost, bílá litina, karbidotvorný prvek, perlit, metastabilní soustava, stabilní soustava, globulární tvar, kokila, tavenina, neželezný kov, silumin, vytvrzování, bronz, smrštivost, mosaz, jaderník, jádro, vytloukání odlitku, vtokový kanál, nálitek, tepelné zpracování, forma, model, šablona, formovací rám, formovací stroj, lisování, střásání, metání, vstřelování, lití, tavenina, krystalizátor, šablonování, model, pec, legování, prvek, odpich, pánev, vyzdívka, teplota likvidu, předpecí, elektroda, lázeň, vytloukací rošt, otryskávání, omílání, moření, slévárenský postupový výkres, usměrněné tuhnutí, dělicí plocha, smrštění, jmenovitý rozměr, směrodatný rozměr, přídavek na obrábění, funkční plocha, technologický přídavek, slévárenský úkos, modelové zařízení, modelová deska, výfuk, vtoková soustava, vtoková jamka, vtokový kanál, struskový kanál, rozváděcí kanál, zářez, struska, tepelný uzel, nálitek, podnálitková vložka, vztlačková síla, úkladek, žíhání, kalení, popouštění, vada, žebro, vnitřní pnutí.

	Čas potřebný ke studiu kapitoly: 6 hodin
--	---

	Průvodce studiem
	Tato kapitola je důležitým teoretickým základem pro zpracování čtvrtého korespondenčního úkolu – návrhu technologie výroby součástí sléváním včetně nakreslení slévárenského postupového výkresu.

Slévání:

- **úkolem slévárenské výroby** je ekonomickým způsobem vyrobit **odlitek** požadovaného tvaru, mechanických, fyzikálních, chemických a užitných vlastností,
- **výrobou odlitků se rozumí** natavení slitiny kovů předepsaného chemického složení a teploty, upravené s využitím metalurgických procesů, odlití tekutého kovu do dutiny formy, kde se po ztuhnutí slitiny vytvoří **odlitek** požadované mikrostruktury, a tím i vlastností.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití technologie slévání při výrobě součástí v praxi.

8.1 Slévárenské formovací směsi

- látky, používané k výrobě forem a jader,
- musí mít dobrou **soudržnost** (aby odolaly mechanickému působení tekutého kovu), dobrou **tvárnost** (pro snadné zpracování do žádaného tvaru formy) a dostatečnou **ohnivzdornost** (aby se nepřipékaly na odlitek).

Základní složky formovacích směsí:

- A) **ostřivo** – je souhrn písků se **zrny většími než 0,02 mm**. Podmiňuje tvárnost formovacích látek a tvoří jejich podstatnou část (80 až 98 %). Ostřivo má tedy velký vliv na vlastnosti formovacích směsí za syrova i při odlévání a tunutí odlitků.
- B) **pojivo** – dává formovacím směsím soudržnost za syrova, případně za vyšších teplot. Jde o podíl formovacích směsí, který má **velikost zrna nejvýše 0,02 mm**, bez ohledu na jeho mineralogické a chemické složení.

Formovací směsi lze rozdělit:

- podle původu ostřiva** – na **ostřiva přirozená** (křemenné písky), **ostřiva umělá** (korundové písky), **ostřiva původu živočišného** (křemelina),
- podle chemického složení** – na **ostřiva kyselá** (křemenné písky, korundové písky), **ostřiva zásaditá** (magnezitové písky),
- podle druhu pojiva** – na hlinité směsi, cementové směsi, jádrové a olejové směsi,
- podle obsahu hlíny** – na směsi ostré, polomastné a mastné,
- podle zrnitosti ostřiva** – na směsi hrubé a jemné,
- podle výskytu v přírodě a úpravy** – na směsi přirozené nebo syntetické.

Formovací směsi lze dále rozdělit podle těchto hledisek:

- podle účelu použití** – na formovací směsi jednotné, modelové nebo výplňové, případně na jádrové směsi,
- podle způsobu formování a odlévání** – na směsi určené pro formování na syrovo a na sušení, na směsi pro ruční formování a strojní formování,
- podle druhu odlévaných slitin** – na směsi určené pro ocel, šedou litinu a směsi pro neželezné a lehké slitiny,
- podle velikosti odlitků a tloušťky stěny**,
- podle dalších význačných vlastností formovacích látek** – na formovací látky zvlášť vazné, rozpadavé za tepla, vysoce žáruvzdorné apod.

Slévárenské formovací směsi se označují klasifikačními znaky, složenými z písmen a číslic, vyjadřujícími hlavní kritéria jakosti směsi.

8.1.1 Zkoušení slévárenských formovacích směsí

- **technologické a mechanické zkoušky** umožňují rozřadit formovací směsi podle jakosti a účelu (např. na směsi modelové a výplňové)

Základní zkoušky:

- stanovení vlhkosti formovací směsi** (ovlivňuje chování při formování i během odlévání, pohybuje se kolem 5 %),

- b) **stanovení obsahu vyplavitelných látek** (jde o **zemité pojivo**, tj. podíl písku s částicemi menšími než 0,02 mm. Velikost tohoto podílu se stanovuje sedimentační zkouškou.),
- c) **stanovení zrnitosti ostřiva** (granulometrická skladba ostřiva ovlivňuje formovatelnost, jakost povrchu odlitků a prodyšnost forem. Ostřivo, získané po stanovení obsahu vyplavitelných látek, se prosévá sadou normalizovaných sít a podíly na jednotlivých sítích se zváží.),
- d) **stanovení hustoty formovací směsi** (udává se v g/cm^3 a vzrůstá s rostoucí velikostí zrna, obsahem vlhkosti a oblejším tvarem zrn),
- e) **stanovení prodyšnosti formovací směsi** (prodyšnost je schopnost upěchované směsi propouštět plyny a páry. Vyjadřuje se počtem krychlových metrů vzduchu teploty 15 až 20 °C, který se protlačí za 1 sekundu plochou směsí 1 m^2 po délce 1 m při přetlaku 1 Pa.),
- f) **stanovení pevnosti formovací směsi v tlaku za syrova** (**Vaznost** je základní vlastností formovacích směsí s jílovými pojivy. Je to schopnost zachovat tvar získaný formováním a klást odpor deformačním silám bez porušení souvislosti.),
- g) **stanovení pevnosti formovací směsi ve stříhu, tahu a ohybu** (zkoušky se provádí na stejném přístroji, jako zkouška pevnosti v tlaku, použijí se pouze jiné čelisti),
- h) **stanovení tvrdosti formy** (provádí se přístrojem, který vtlačuje do formy kuličku. Hloubka vtisku udává na stupnici přímo tvrdost formy.).

U formovacích směsí se též sledují: žáruvzdornost, rozpadavost a drobivost, tekutost, deformace a houževnatost.

8.1.2 Úprava formovacích materiálů

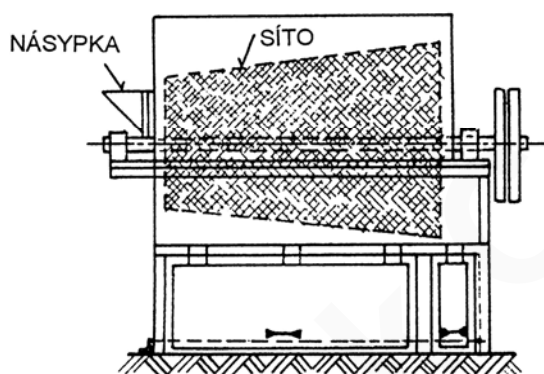
Účelem úpravy slévarenských písků je:

- a) homogenizace slévarenských písků,
- b) docílení požadovaných technologických vlastností,
- c) úprava směsí různých druhů surovin a pomocných látek,
- d) opětné použití starého písku, nebo jeho úplná regenerace.

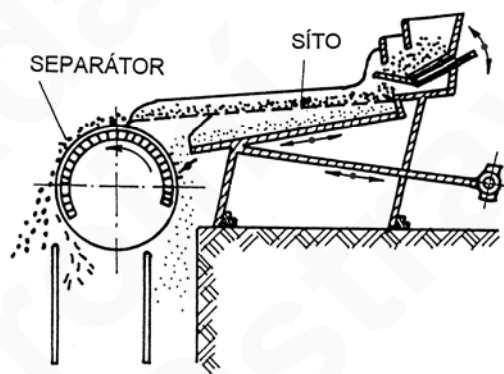
Úpravu slévarenských písků a formovacích směsí lze rozdělit na:

- a) **sušení písku** (suší se nový písek z lomu, hlavně pro lití na syrovo, při kterém musí být co nejmenší vlhkost. K sušení písku se používají **bubnové vodorovné sušárny**.),
- b) **drcení** (slouží k rozemílání hrudek hlíny nebo šamotových a magnezitových cihel. Na jemné mletí grafitu, koksu, jílu a jiných přísad se používají **kulové mlýny** – materiál je drcen ocelovými koulemi a průběžně propadáva přes dvě síta do výsypky.),
- c) **prosévání písku** (slouží k vyřízení písku na vhodnou jemnost. U starého písku se prosévání spojuje s magnetickým odloučením železných částic. K prosévání písku slouží **bubnová síta**, staré písky se prosévají **střásacími sítmi**, která jsou doplněna magnetickými separátory.) (obr. 8.1 a 8.2),
- d) **mísení formovacích směsí** (slouží k vyrovnání nestejnomyšnosti složení, přidávání přísad a vlhčení. Nejrozšířenější jsou **kolové mísiče**, k mísení písků s tekutým pojivem se používá **žebrový mísič**.) (obr. 8.3 a 8.4),
- e) **kypření formovacích směsí** (slouží k rozbíjení hrudek spečeného písku a k jeho provzdušnění. Používá se pro starý i nový písek. Kypření se provádí v **dezintegrátorech** a **areátorech**.) (obr. 8.5 a 8.6),

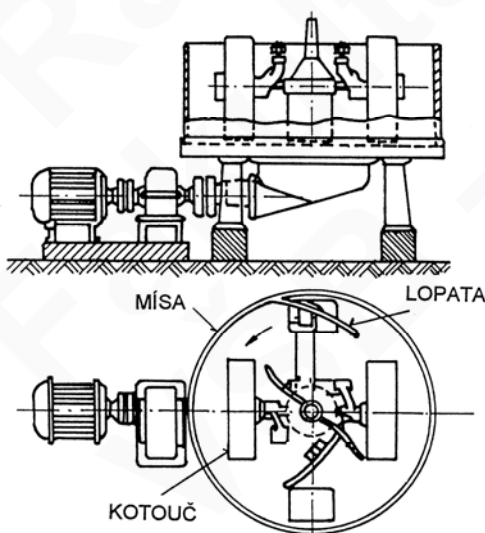
- f) **regenerace starých formovacích směsí** (spočívá v oddělení spálených a znehodnocených částí pojiva od zrn ostřiva, jakož i prachových podílů, vzniklých rozpraskáním zrn při ohřevu na vysokou teplotu),
- **suchá regenerace** spočívá v **profukování proudem vzduchu** a oddělení hrubých podílů písku od jemných,
 - **mokrý regenerace** je účinnější a spočívá v **rozplavení písku vodou** a roztřídění síty na žádanou jemnost,
 - **tepelná regenerace** se provádí **vypalováním formovací směsi** v bubnových pecích s oxidační atmosférou. Tím se spálí zbytky uhlíku a organických pojiv. Po ochlazení se písek rozestírá za sucha v mísiči a nakonec odprašuje.



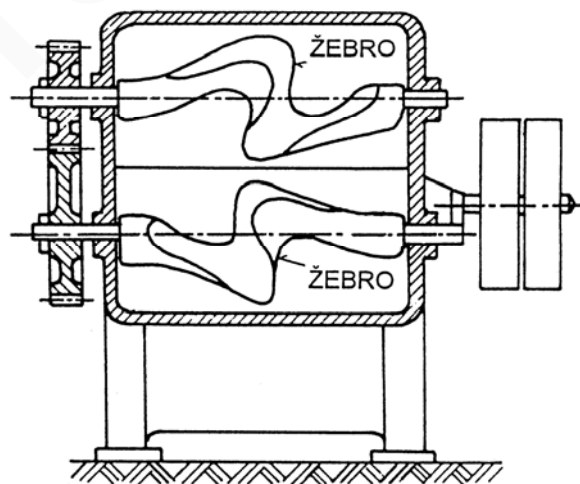
Obr. 8.1 Bubnové síto na prosévání písku



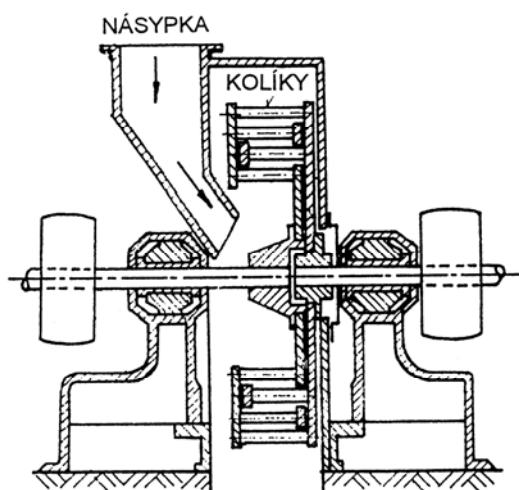
Obr. 8.2 Střásací síto se separátorem na prosévání starých písků



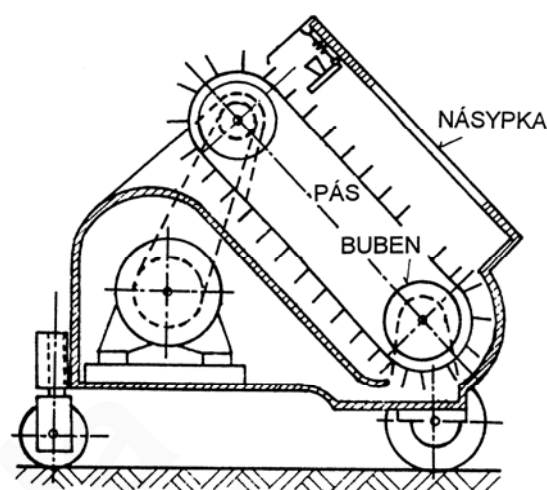
Obr. 8.3 Kolový mísič



Obr. 8.4 Žebrový mísič



Obr. 8.5 Dezintegrátor



Obr. 8.6 Areátor

8.1.3 Pomocné formovací látky

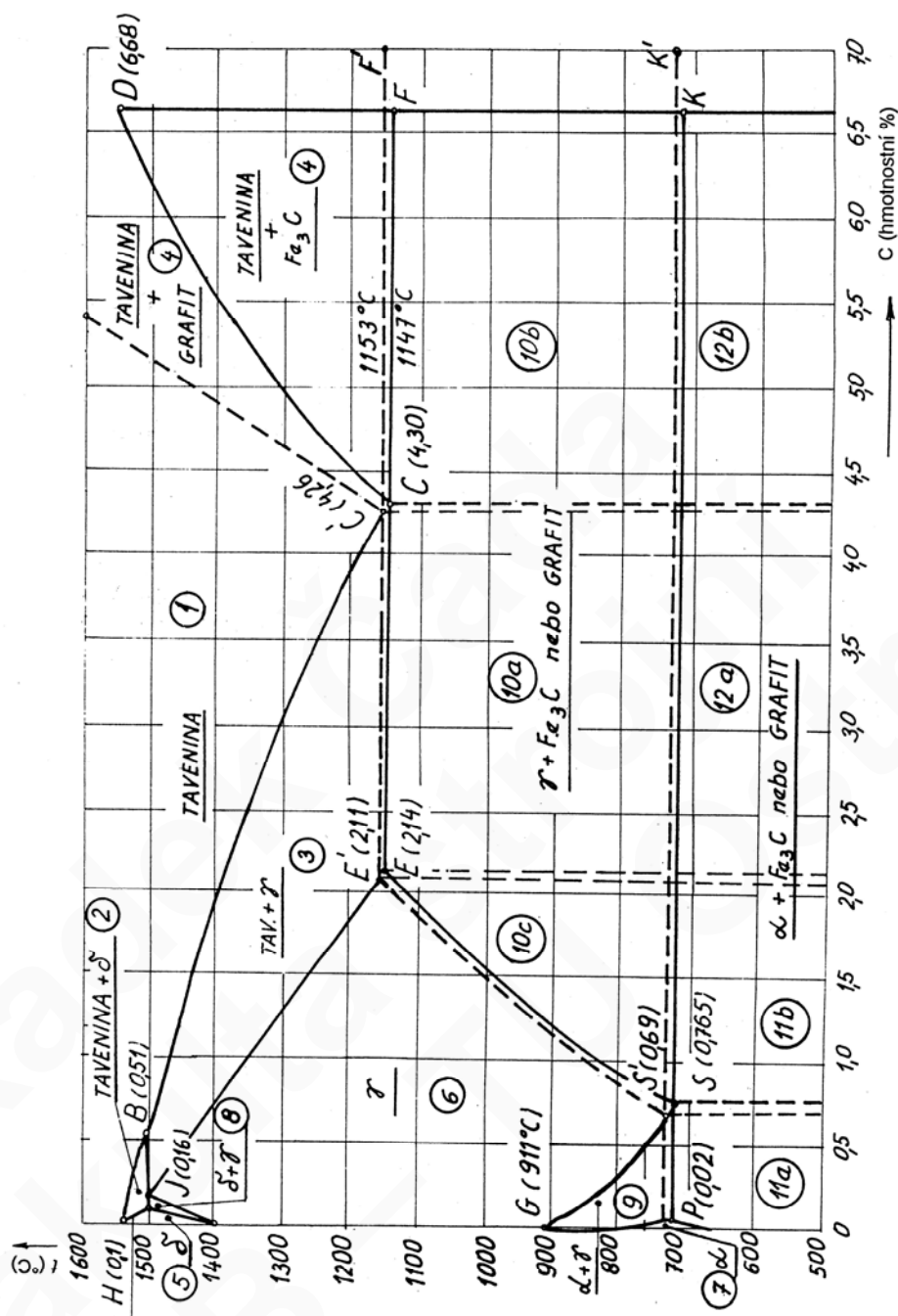
- upravují některé nevhodné vlastnosti formovacích nebo jádrových směsí a hotových forem

Pomocné formovací látky lze rozdělit na:

- přísady zlepšující povrch odlitku** – černouhelná moučka a mazut. Uhlík u těchto přísad vytvoří izolační vrstvu mezi formou a roztaveným kovem.
- přísady upravující technologické vlastnosti směsi** – např. organické polymery zlepšující formovatelnost, smáčedla zkracující dobu míchání směsi, rašelina, kysličník železitý, dřevěná moučka, piliny snižující množství vad (zapékání, vznik bodlin), látky snižující pnutí ve formě,
- látky k povrchové úpravě forem** – např. slévárenská tuha (nátěry forem pro odlitky ze šedé litiny a barevných kovů), křemenná a zirkonová moučka (nátěry forem ocelových odlitků),
- dělicí prostředky snižující adhezi pojiva k povrchu modelu** – např. jemně mletý vápenec, silikonový olej, petrolej, nafta, uhelný prach, spálený písek.

8.2 Rovnovážné soustavy železa s uhlíkem

- nad mezí rozpustnosti tvoří uhlík v soustavách se železem samostatnou fázi – **cementit** nebo **grafit**,
- vyloučení uhlíku v podobě cementitu či grafitu závisí především na **množství uhlíku ve slitině** a na **rychlosti ochlazování**. Při větších obsazích uhlíku (nad 2 % C) a dostatečně pomalém ochlazování se vylučuje přednostně grafit.
- **v praktických slitinách**, kde mimo základní dva prvky existují ještě další příměsi, ovlivňuje způsob vyloučení uhlíku i grafitotvorný nebo karbidotvorný účinek těchto prvků (**Si** – grafitotvorný, **Mn** – karbidotvorný).



Obr. 8.7 Rovnovážný diagram železo – uhlík (plnými čarami – metastabilní soustava Fe – Fe₃C, čárkovanými čarami – stabilní soustava Fe – grafit, 1 – tavenina, 2 – směs taveniny a krystalů tuhého roztoku železa δ , 3 – směs taveniny a krystalů tuhého roztoku železa γ , 4 – směs taveniny a primárních krystalů cementitu, 5 – tuhý roztok železa δ , 6 – tuhý roztok železa γ (austenit), 7 – tuhý roztok železa α (ferit), 8 – směs krystalů tuhého roztoku železa δ a tuhého roztoku železa γ , 9 – směs krystalů tuhého roztoku železa γ a tuhého roztoku železa α , 10a – primární krystaly tuhého roztoku železa γ a sekundární cementit, obklopené ledeburitem, 10b – primární krystaly cementitu obklopené ledeburitem a sekundární cementit, 10c – směs primárních krystalů železa γ a sekundární cementit, 11a – směs feritu, terciárního cementitu a perlitu, 11b – směs sekundárního a terciárního cementitu a perlitu, 12a – ledeburit, sekundární cementit, terciární cementit a perlit, 12b – primární cementit, sekundární cementit, terciární cementit a perlit)

Cementit (Fe_3C) – je intermetalická sloučenina, obsahující 6,67 % C. Je velmi tvrdý a křehký.

Grafit – je měkký a drobný. Krystalizuje v šesterečné mřížce. Jeho přítomnost ve slitinách Fe – C značně ovlivňuje vlastnosti slitin, a to v závislosti na způsobu vyloučení.

Podle způsobu vyloučení uhlíku se rozeznávají dvě rovnovážné soustavy (obr. 8.7):

- a) **metastabilní soustava Fe – Fe_3C** (Karbid železa – Fe_3C není stabilní fází, neodpovídá stavu s minimální s volnou entalpií. Studium nestabilní soustavy má praktický význam do obsahu 2,14 % C, tj. pro **oceli**),
- b) **stabilní soustava Fe – grafit** (má praktický význam v oblastech vyššího obsahu uhlíku, tj. pro **litiny**. Charakteristické rovnovážné struktury jsou obdobné se strukturami v metastabilní soustavě. Místo cementitu se ve strukturách vyskytuje grafit – primární, sekundární, terciární, místo perlitu grafitový eutektoid a místo ledeburitu grafitové eutektikum.).

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady tuhnutí slitin železa s uhlíkem podle rovnovážné metastabilní a rovnovážné stabilní soustavy při výrobě součástí v praxi.

8.3 Materiály používané na odlitky

1. **oceli na odlitky** (jsou to slitiny železa s C, Si, Mn a dalšími prvky. **Množství C nepřesahuje 2,14 %**. Patří mezi ně oceli uhlíkové, nízkolegované a středně legované, slitiny pro trvalé magnety, vysokolegované oceli.),
2. **šedá litina** (nejpoužívanější materiál při výrobě odlitků. **C je vyloučen převážně ve formě grafitu**. Nejrozšířenější je odlévání **šedé litiny nelegované**, méně se užívá **šedá litina legovaná**.) (obr. 8.8 a),
3. **očkováná litina** (do roztaveného kovu, přehřátého na dostatečně vysokou teplotu, se přidává 0,1 až 0,8 % **očkovadla**, které ovlivní jeho krystalizaci. Tato litina má oproti šedé lepší mechanické vlastnosti, odolnost proti opotřebení, žárupevnost.) (obr. 8.8 b),
4. **bílá litina** (díky nízkému obsahu Si, velké rychlosti ochlazování nebo obsahu karbidotvorných prvků je **C vyloučen ve formě karbidu železa Fe_3C** . Struktura bílé litiny obsahuje perlit a cementit. Vlivem cementitu je velmi tvrdá, křehká a obrobitelná jen broušením. Hodí se pro odlitky pro mlecí desky, mlecí tělesa, rošty. **Používá se převážně pro další zpracování na temperovanou litinu**.),
5. **temperovaná litina** (vyrábí se žíháním bílé litiny v neutrálním nebo oksydujícím prostředí. Při temperování nastává rozpad cementitu a metastabilní soustava přechází do soustavy stabilní.) (obr. 8.8 c),
 - a) **temperovaná litina s bílým lomem** (**odlitky se temperují v mírně oxidačním prostředí**, nejčastěji v zrnité železné rudě, která způsobuje povrchové oduhličení do hloubky několika desetin mm. **Struktura odlitků po temperování** je pod povrchovou feritickou vrstvou perlitická s vločkami temperového grafitu. Vhodná pro odlitky vystavené účinkům koroze, povrch se snadno cínuje nebo zinkuje.),
 - b) **temperovaná litina s černým lomem** (**odlitky se temperují v neutrálním prostředí**. **Struktura odlitků** je homogenní v celém průřezu, je čistě feritická s vločkami temperového grafitu. Je velmi houževnatá a dobře obrobitelná – vhodná pro dynamicky namáhané součásti, které nejsou vystaveny otěru.),

6. **tvárná litina** (grafit je vyloučen ve tvaru globulárním již v litém stavu. Nejprve se provede **očkování** tekutého kovu **hořčíkem**, který je prvkem karbidotvorným, po této operaci následuje **očkování ferosiliciem**, takže se vytvoří šedá litina s kuličkovým grafitem.) (obr. 8.8 d),
7. **tvrzená litina** (získá se odléváním šedé litiny do kovových forem. Při styku s kokilou se tavenina prudce ochlazuje. **Grafitizace v blízkosti kokily proto neproběhne a litina ztuhne podle metastabilní soustavy – bílá litina**. Množství grafitu ve struktuře se zvětšuje se vzrůstající hloubkou od povrchu odlitku. Vhodná pro odlitky namáhané otěrem – desky drtičů, válce válcovacích stolic, vagónová kola.),
8. **neželezné kovy** (především **slitiny hliníku nebo mědi**. Používají se zřídka pro vyšší cenu. Jsou vhodné tam, kde se uplatní jejich větší tepelná a elektrická vodivost, větší korozivzdornost a nižší měrná hmotnost.),
 - a) **slitiny hliníku** (nejčastějším **přídavným prvkem je Si**, který v množství 9 až 13 % zvyšuje pevnost, houževnatost a korozivzdornost. Slitiny Al-Si jsou označovány společným názvem **silumin**. Slitiny Al-Si, které lze tepelně zpracovat vytvrzováním, obsahují jako další přísadu Mg nebo Cu.),
 - b) **bronz** (slitiny Cu-Sn, přísada Sn snižuje tavicí teplotu, zlepšuje slévarenské vlastnosti, zvyšuje pevnost v tahu a tvrdost. Předností je malá smrštitivost – asi 1 %. Kromě **cínových bronzů** sem též patří slitiny Cu s Pb, Al, Sb a Si – tj. **olověné, hliníkové, antimonové a křemíkové bronz**.),
 - c) **mosazi** (slitiny Cu-Zn, v nichž je obsah Zn vyšší než 15 %. Na odlitky se používají mosazi s obsahem Zn 37 až 43 %. Jsou lépe slévatelné než bronz, mají však větší objemové smrštění. Vhodné pro součásti, které nesmějí korodovat, např. vodní armatury.).



Obr. 8.8 Tvar grafitu v litinách (a – šedá litina, b – očkováná litina, c – temperovaná litina, d – tvárná litina)

	Úkol k zamyšlení
	Uved'te příklady využití jednotlivých materiálů při výrobě odlitků v praxi.

8.4 Technologický proces výroby odlitků

Tento proces lze rozdělit na následující etapy:

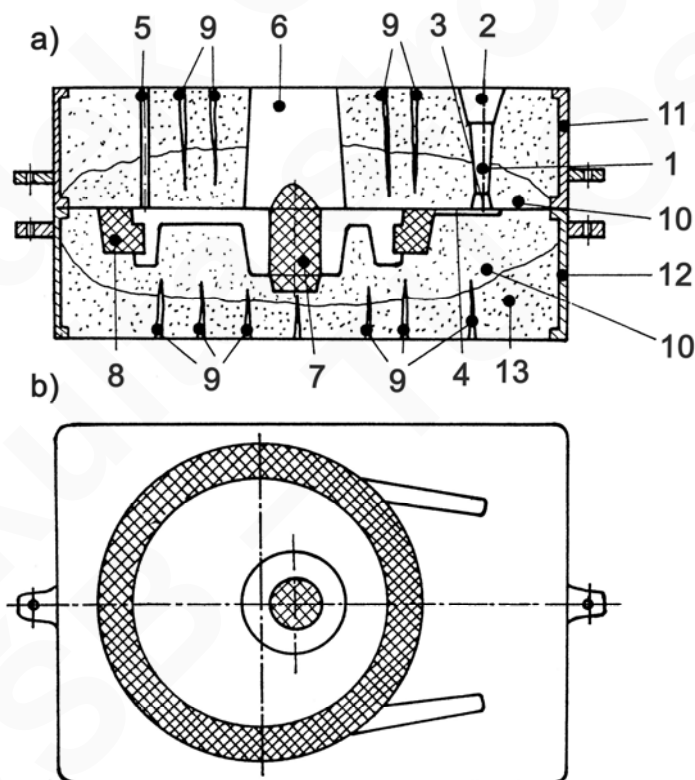
- a) **příprava formovací směsi** – cílem je výroba formovací směsi pro zhotovení formy, u jádrové směsi výroba jader požadované kvality.

- b) **výroba formy** – cílem je vytvořit ve formovací směsi dutinu, jejíž vnější obrysy odpovídají tvarem budoucímu odlitku. Úkolem výroby jader v jadernících je zhotovení jader, kterými se v odlitku vytváří dutina (*jádra pravá*) nebo se usnadňuje formování (*jádra nepravá*).
- c) **skládání formy** – části formy se spolu s jádry skládají a vytváří tak kompletní dutinu ve formě, odpovídající tvarem budoucímu surovému odlitku.
- d) **příprava a tavení vsázky** – vhodně sestavená *kovová vsázka* (např. surové železo, kovový odpad, vratný materiál a přísady) získává přivedeným teplem tekutý stav, přičemž se získává optimální chemické složení taveniny o určité teplotě.
- e) **odlévání formy** – dutinu formy vyplňuje tekutý kov, který v ní ztuhne. *Vzniká odlitek*.
- f) **dokončovací práce** – pracovní operace, potřebné na dokončení odlitku po ztuhnutí tekutého kovu, např. rozebírání formy (*vytloukání odlitku z formy*), odstraňování vtokových kanálů a nálitků, oprava slévárenských chyb, tepelné zpracování odlitku.

8.4.1 Výroba slévárenských forem

Formy se dělí na:

- a) **netrvalé** – slouží na jedno použití, tvoří přibližně 95 % používaných forem (obr. 8.9 až 8.11),
- b) **trvalé** – používají se vícekrát (u slitin zinku např. až 150 000 x).



Obr. 8.9 Základní části netrvalých forem (a – složená forma, b – spodní část formy, 1 – vtokový kanál, 2 – vtoková jamka, 3 – struskový kanál, 4 – zářezy, 5 – výfuk, 6 – náliček, 7 – pravé jádro, 8 – nepravé jádro, 9 – průduchy, 10 – modelová směs, 11 – horní formovací rám, 12 – dolní formovací rám, 13 – plnicí směs)

Netrvalé formy se vyrábí **formováním z formovacích směsí** (formování na model, formování šablonováním). **Vyrábí se ručně nebo strojně pomocí modelů a jaderníků**. Formovací směsi, používané na výrobu netrvalých forem, se po odlití odlitku a jeho vyjmutí z formy rozpadnou a po regeneraci se znovu používají. Opakovaně se používají **formovací rámy** a **formovací zařízení**.

	Úkol k zamyšlení
	Popište postup výroby netrvalé syrové formy pro odlévání.

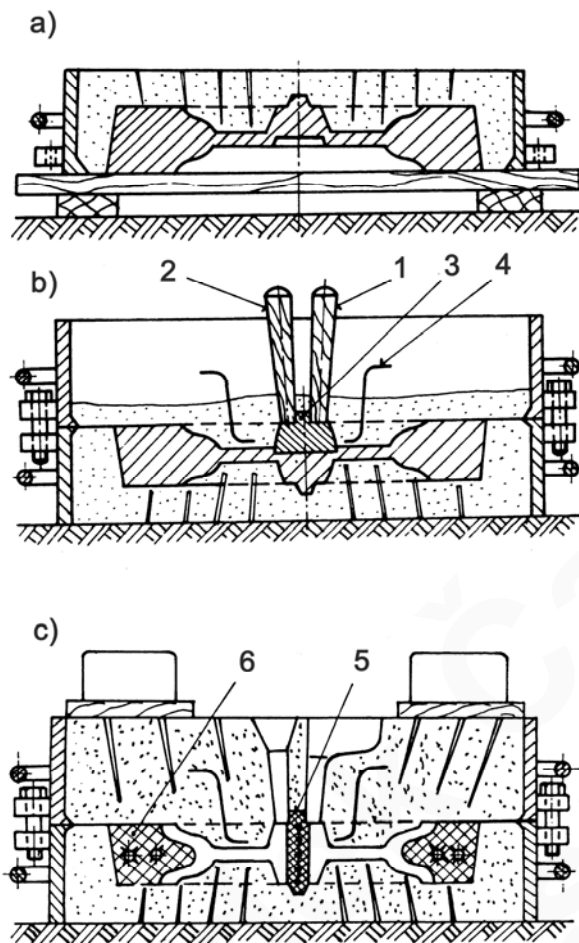
	Průvodce studiem
	Modelový postup výroby netrvalé syrové formy pro lití včetně vyobrazení jednotlivých fází postupu najdete ve skriptu ČADA, R., ADAMEC, J., TICHÁ, Š., OCHODEK, V., HLAVATÝ, I. a ŠIMČÍK, S. <i>Základy strojírenské technologie : skriptum</i> . 1. vyd. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 1996. 115 s. ISBN 80-7078-300-1.

Pro strojní výrobu netrvalých forem se používají **formovací stroje, formovací linky a formovací automaty**. Při strojní výrobě forem a jader se využívá pro zpevnění formovací směsi mechanická energie (upěchování – lisováním, střešáním, metáním, vstřelováním), teplo (vytvzování teplem), chemické reakce, případně kombinace předešlých.

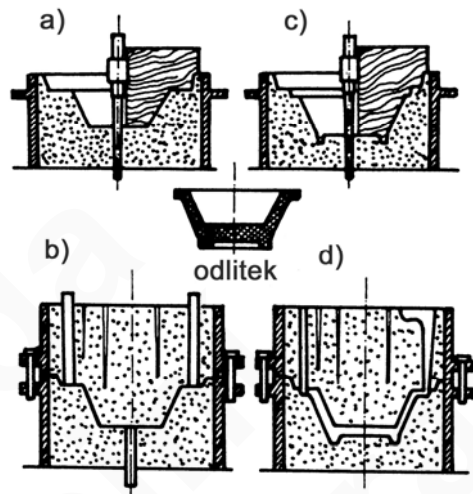
	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady využití strojní výroby netrvalých forem při výrobě odlitků v praxi.

Základním materiálem pro **trvalé formy** jsou **slitiny kovů** (litiny, legované oceli, ale i speciální materiály, jako jsou slitiny wolframu, molybdenu apod.). Formy se vyrábí z bloků třískovým obráběním, někdy i pomocí práškové metalurgie.

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady využití trvalých forem v praxi.



Obr. 8.10 Výroba netrvalé formy – formování lanovnice na model (a – formování spodní poloviny formy, b – formování horní poloviny formy, c – složená forma připravená k lití, 1 – vtokový kůl, 2 – výfuk, 3 – známka jádra, 4 – výztuha, 5 – pravé jádro, 6 – nepravé jádro)



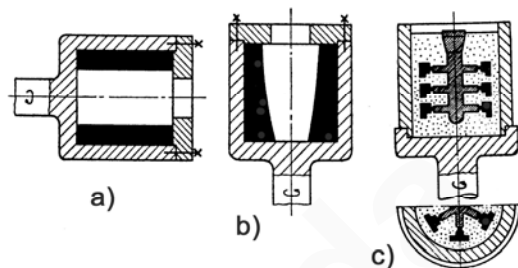
Obr. 8.11 Výroba netrvalé formy rotačním šablonováním (a – šablonování tvaru odpovídajícímu horní části formy, b – zaformování horní části formy, c – šablonování dolní části formy pomocí šablony s tloušťkou, d – složená forma)

Způsoby odlévání do kovových forem (kokil):

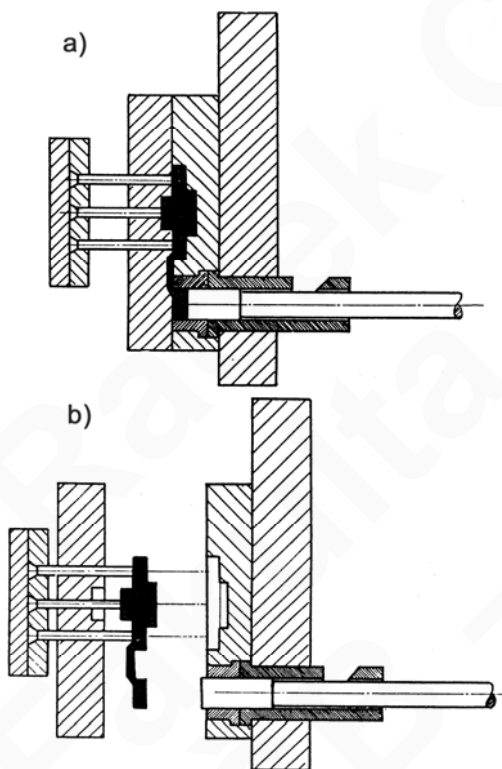
- a) **gravitační lití** (k plnění formy kovem dochází gravitačně, tj. vlastní tíhou a působením metalostatického tlaku odlévaného kovu),
- b) **tlakové lití** (forma se plní taveninou pod vysokým tlakem, který působí na odlitek až do jeho ztuhnutí.) (obr. 8.12),
- c) **odstředivé lití** (kov se odlévá do formy, která se rychle otáčí, takže plnění formy a tuhnutí odlitku v rotující formě probíhá pod vlivem odstředivé síly, působící na nalitý kov)
 - **pravé odstředivé lití** (*forma rotuje kolem své osy*. Vnější tvar odlitku určuje dutina formy. Vnitřní tvar a velikost dutiny záleží na počtu otáček formy a množství vlité taveniny, případně na tvaru jádra.) (obr. 8.13 a, b),
 - **nepravé odstředivé lití** (tavenina se vlévá do licího kanálku v ose rotace a odtud se vtokovými kanály přivádí odstředivou silou do dutin jednotlivých forem, symetricky

rozmístěných vůči ose rotace. *Odstředivá síla zvyšuje plnicí tlak taveniny*, čímž se docílí dokonalejší vyplnění formy a větší hustota materiálu odlitku.) (obr. 8.13 c),

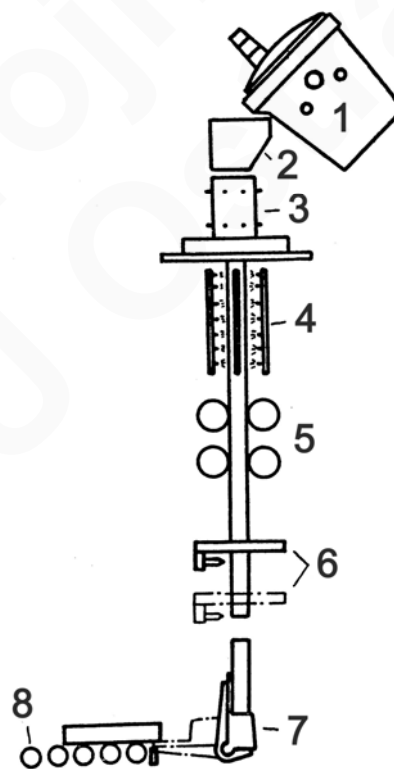
- d) **plynulé lití** (tavenina se přivádí nepřetržitým proudem do chladicího zařízení – *krystalizátoru*. Při průchodu krystalizátorem vlitý kov krystalizuje a tuhne a vzniklý odlitek se z něj nepřetržitě odvádí. Odlitek má délku mnohonásobně větší než rozměry průřezu. Využívá se v hutní výrobě pro výrobu polotovarů.) (obr. 8.14).



Obr. 8.13 Schémata odstředivého lití (a – pravé odstředivé lití s vodorovnou osou rotace, b – pravé odstředivé lití se svislou osou rotace, c – nepravé odstředivé lití se svislou osou rotace)



Obr. 8.12 Schéma stroje pro tlakové lití s vodorovnou tlakovou komorou (a – plnění formy tlakem pístu, b – rozevření formy a vyhození odlitku)



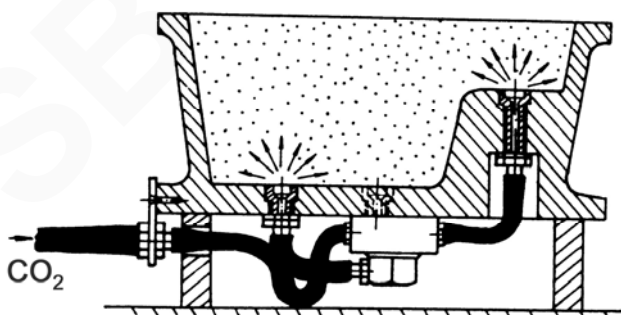
Obr. 8.14 Plynulé lití s pevným krystalizátorem (1 – lící pánev, 2 – regulace přítoku oceli, 3 – krystalizátor, 4 – dochlazovací zařízení, 5 – vytahovací zařízení, 6 – stříhání nebo řezání, 7 – otáčení polotovarů, 8 – transport polotovarů)

	Úkol k zamyšlení Uved'te příklady využití jednotlivých způsobů odlévání do kokil při výrobě odlitků v praxi.
---	--

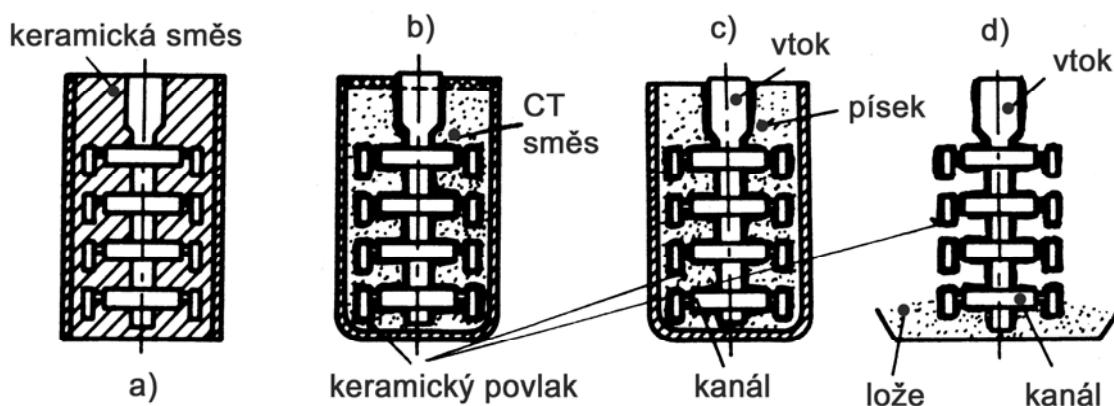
Zvláštní způsoby výroby odlitků:

- a) **odlévání do forem vyrobených metodou chemicky tvrzených směsí** (označení CT. Forma se mírně upěchuje ze směsi obsahující *vodní sklo*, pak se nechá formou proudit CO_2 , který způsobí okamžité ztvdnutí formy.) (obr. 8.15),
- b) **odlévání do skořepinových forem** (stěnu formy tvoří pouze lehká písková skořepina o tloušťce stěn 5 až 10 mm. Vyrábí se nasypáním formovací směsi – *z křemenného písku napojeného umělou pryskyřicí* – na horký kovový model nebo do kovového jaderníku. Účinkem tepla dojde ke slepení přichycené vrstvy formovací směsi natavenou pryskyřicí a při následném vyhřívání celé formy i s modelem k pevnému spojení písku vytvrzením pryskyřice. *Skořepina může být samonosná, nebo se před odlitím zasype hrubým pískem ve formovacím hrnci.*),
- c) **odlévání do keramických forem (přesné lití)**,
 - **lisované keramické formy** (vyrábí se z polosuchých směsí lisováním na kovový model, jsou vhodné pro souměrné a rotační odlitky),
 - **formy vyrobené metodou trvalého modelu, zhotovené z kašovitých směsí** (model se zalije v pomocném formovacím rámu kašovitou formovací směsí, případnou vibrační formy se dosáhne odstranění vzduchových bublinek, které ulpěly na modelu.),
 - **formy vyrobené metodou vytavitelného** (voskového nebo z nízkotavitelného kovu), **spalitelného** (polystyrénového) **nebo vyplavitelného modelu** (z vhodné soli), u kterých se model zalije kašovitou formovací směsí nebo se povleče vrstvou keramické směsi a následně se model odstraní (u voskového např. vyvařením ve vodě) (obr. 8.16).

	Úkol k zamyšlení Uved'te příklady využití jednotlivých zvláštních způsobů výroby odlitků v praxi.
---	---



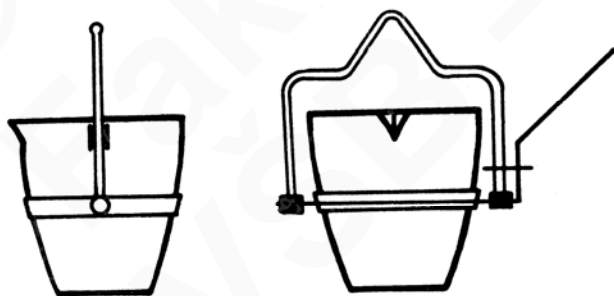
Obr. 8.15 Vytvrzování jádra pomocí CO_2



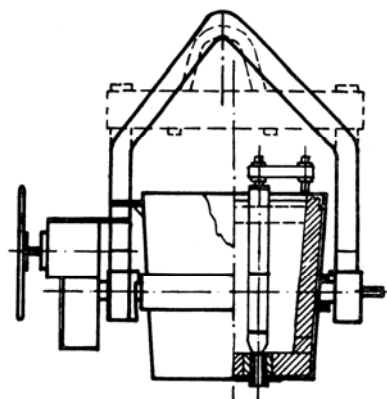
Obr. 8.16 Zvláštní způsoby výroby odlítků – formování metodou vytavitelného modelu (a – bezobalový způsob výroby formy z keramické směsi, b – výroba formy pomocí keramického povlaku a její následné zpevnění pomocí CT směsi ve formovacím hrnci, c – výroba formy pomocí keramického povlaku a její následné zpevnění zasypáním do písku ve formovacím hrnci, d – výroba samonosné formy pomocí keramického povlaku a její postavení na lože s pískem)

8.4.2 Příprava tekutého kovu

- *cílem přípravy tekutého kovu je* dosáhnout jeho předepsaného chemického složení a čistoty (minimální obsah plynů a nečistot),
- *na přípravu tekutého kovu má vliv* kvalita vsázkových materiálů, typ tavicí pece a použitý metalurgický postup (oxidací prvků, legováním lze ovlivnit chemické složení, obsah plynů a nečistot v tekutém kovu),
- po natavení a metalurgických pochodech v peci následuje ohřev nataveného kovu na *teplotu odpichu*, pak vylití tekutého kovu z pece do *pánve* (obr. 8.17 a 8.18), vyzdžené žáruvzdornou vyzdívkou. Teplota odpichu je vyšší než teplota likvidu dané slitiny (důvodem je pokles teploty taveniny při vylévání z pece do pánve, při manipulaci s pánví před odléváním a při odlévání odlítků).
- jakost tekutého kovu po natavení lze ovlivňovat i *mimopecním zpracováním tekutého kovu v pánvi* (příkladem je *očkování* a *mikrolegování*).



Obr. 8.17 Pánev pro odlévání šedé litiny

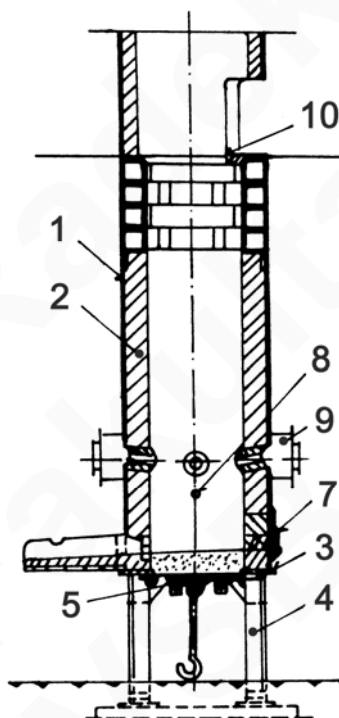


Obr. 8.18 Pánev pro odlévání oceli na odlítky

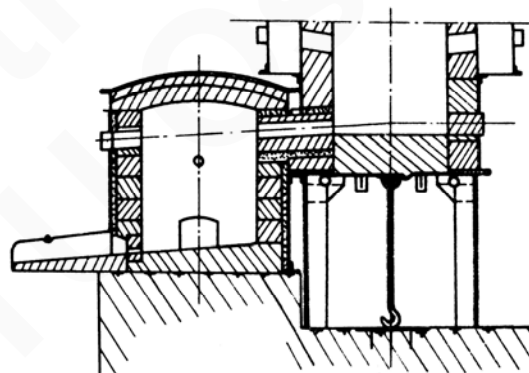
Základní druhy pecí podle způsobu ohřevu:

1. **pece plynové** – pro tavení materiálů s nízkou teplotou tavení (např. hliník),
2. **pece na tuhá paliva** – tzv. **kuplové pece** (*kuplovny*). Jsou to válcové šachtové pece bez (obr. 8.19) nebo s předpecím (obr. 8.20). Palivem je koks, používají se pouze na tavení litin.
3. **elektrické pece**
 - a) **pece odporové** – *elektrický proud prochází vodičem o určitém odporu*, čímž se uvolňuje určité množství tepla, úměrné času. Vhodné pro slitiny s nízkou teplotou tavení (hliník, silumin, slitiny zinku).
 - b) **pece indukční** – využívají *přeměny energie indukovaných proudů na teplo* (oceli, litiny apod.) (obr. 8.21),
 - c) **pece obloukové** – využívají teplo, vznikající *hořením oblouku buď mezi elektrodami, nebo mezi elektrodou a lázní* (oceli, litiny) (obr. 8.22),
4. **pece speciální**, jako např. **plazmové pece**.

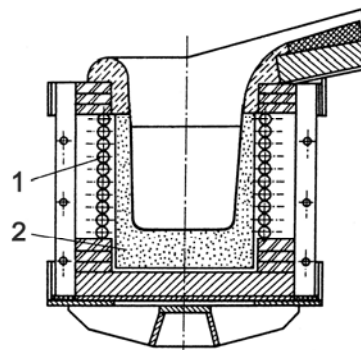
	Úkol k zamyšlení
	Uved'te příklady využití jednotlivých pecí pro tavení vsázky při výrobě odlitků v praxi.



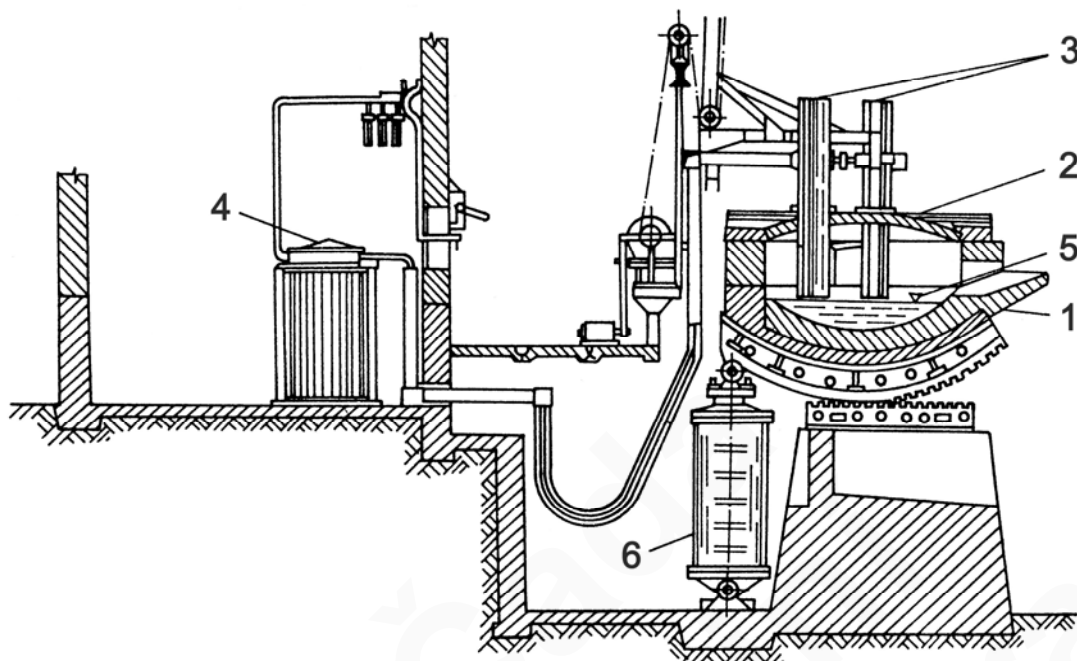
Obr. 8.19 Kuplovna bez předpecí (1 – kovový plášť, 2 – žáruvzdorná vyzdívka, 3 – základní deska, 4 – nosné sloupky, 5, 6, 7 – dvířka, 8 – otvor pro vypouštění strusky, 9 – okružní větrovod, 10 – vsázecí plošina)



Obr. 8.20 Předpecí kuplovny



Obr. 8.21 Elektrická indukční pec (1 – induktor, 2 – vyzdívka)



Obr. 8.22 Elektrická oblouková pec (1 – nístějová část pece, 2 – víko pece, 3 – elektrody, 4 – pecní transformátor, 5 – kovová lázeň, 6 – naklápěcí mechanismus)

8.4.3 Vytlučování odlitků, čištění a oprava chyb

- *po odlití odlitek ve formě tuhne a chladne* (vhodná rychlost tuhnutí a chladnutí souvisí s druhem odlévaného materiálu),
- po ochlazení na požadovanou teplotu se odlitek z formy *vytluče* (forma se rozbije). *K vytlučování odlitků se používají vibrační zařízení, vytlučovací rošty nebo kladivo.* Formovací směs se spolu s formovacími rámy vrací do výrobního cyklu.
- odlitek se očistí od zbytků formovací směsi. Čištění povrchu se provádí *otryskáváním zrnitým materiálem* (kovové broky, písek) *nebo vodním paprskem, případně omíláním.* Složité odlitky se čistí *mořením*. Čím vyšší byla lící teplota, tím obtížněji se povrch odlitku čistí.
- *odstraní se vtoky a nálitky* (uražením, odřezáním, řezáním plamenem), *nežádoucí výstupky* (švy a menší povrchové vady) *se zabrousí,*
- případné chyby odlitků se opraví *zavařením,* případně *zatmelením,*
- v případě nutnosti zlepšení mechanických vlastností a odstranění lící struktury se odlitky *tepelně zpracovávají.*



Úkol k zamyšlení

Uvedte příklady použití vytlučování a čištění při výrobě odlitků v praxi.

8.4.4 Kontrola odlitků a expedice

Odlitky se kontrolují z hlediska rozměrové přesnosti, jakosti povrchu, požadované struktury a mechanických vlastností, vnitřní homogenity apod.

V případě, že odlitky splňují vlastnosti předepsané přejímacími podmínkami, jsou připraveny k expedici.

8.5 Výrobní dokumentace odlitku

- A) slévárenský postupový výkres (viz 8.5.1),
- B) výrobní postup modelového zařízení (viz 8.5.2),
- C) výrobní postup odlitku (viz 8.5.3),
- D) výkres odlitku (viz 8.5.4).

8.5.1 Slévárenský postupový výkres

- *je základním technologickým podkladem pro výrobu modelu a odlitku* – je to výkres součásti, doplněný grafickými a textovými údaji, určujícími požadavky na *modelové zařízení a způsob formování*,
- grafické údaje se zakreslují do výkresu *předepsanými značkami podle normy*, další údaje lze uvést v *textové části slévárenského postupu*, která se používá zejména u složitých modelů a odlitků (obr. 8.23).

8.5.1.1 Volba polohy odlitku ve formě při odlévání

Poloha odlitku ve formě se volí podle zásad:

- a) *usměrněného tuhnutí*,
- b) *kladení důležitých ploch větších tloušťek do té části formy, kde je nejčistší kov* (u odlitků ze šedé litiny do dolní části formy). U ocelových odlitků se důležité plochy větších tloušťek umísťují v horní části formy (doplnění smršťujícího se tuhnoucího kovu z nálitků),
- c) *spolehlivého uložení jader* a možnosti kontroly tloušťky stěn odlitku,
- d) *uložení tenkých stěn ve spodní části formy*, šikmo nebo svisle.

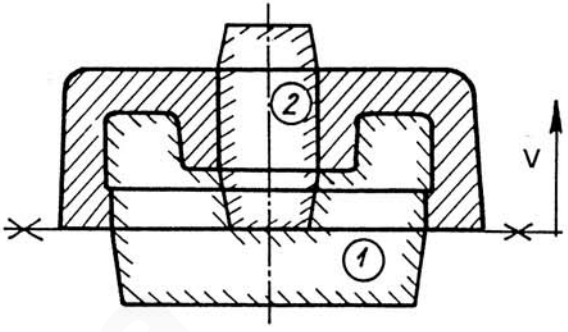
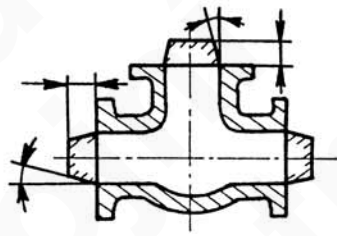
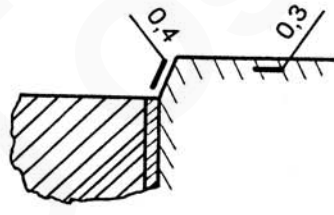
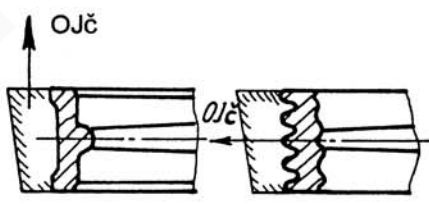
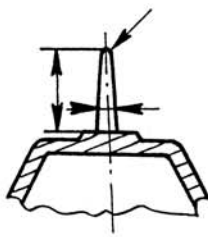
	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití zásad pro volbu polohy odlitku ve formě při výrobě odlitků v praxi.

Č.	Název a určení	Barva	Vyobrazení
1	Razítko slévárenského postupu - uvádí se samotné, nebo společně s textovou částí slévárenského postupu v jejím záhlaví, v pravém horním rohu výkresu. Doporučený rozměr razítka je 140 x 95 mm.	-	Razítko slévárenského postupu obsahuje údaje o materiálu odlitku, úkosech, stupni přesnosti, velikosti smrštění, modelovém zařízení, jadernicích, formovacích rámech, způsobu formování, apod.
2	Úkos - značí se pouze u ploch, u nichž se požaduje úkos odlišný od údaje, uvedeného v razítku slévárenského postupu. Úkoso, odlišné od hodnot udaných ČSN, se značí kótami nebo různou velikostí přídavků na obrábění.	červená	
3	Dělicí plocha děleného modelu - značí se plnou čarou s křížky na koncích. Směr šipky s písmenem V udává část modelu, formovanou do vršku formy. Dělicí plocha formy u neděleného modelu se značí čárkovanou čarou.	zelená	
4	Volné části - dělení se značí plnou čarou s křížky. Připisuje se poznámka o způsobu provedení volné části.	zelená	
5	Části k protažení - dělení se značí plnou čarou s křížky. Připisuje se poznámka.	zelená	
6	Přídavky na obrábění - zakreslují se plnou čarou, v řezu se šrafuje. Velikost přídavku udává číslice, rádiusy se kótují. V případě kusové výroby rozměrných odlitků se udává přídavek pouze číslicí, připsanou ke značce drsnosti povrchu, a to ve stejném směru.	červená	

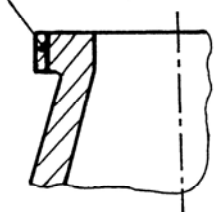
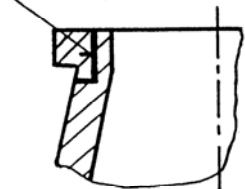
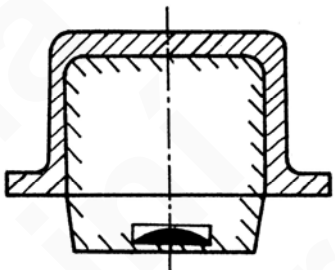
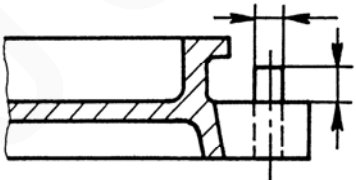
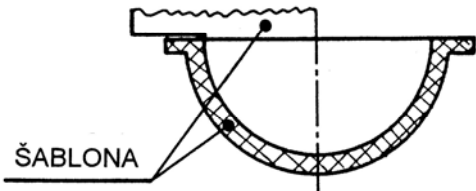
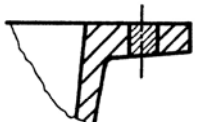
Obr. 8.23 Příklady značení postupu na slévárenském postupovém výkresu (1. část)

č.	Název a určení	Barva	Vyobrazení
7	Vtoková soustava - zakresluje se plnou čarou a kótuje se.	červená nebo modrá	
8	Nálitky - zakreslují se plnou čarou a okótují. V případě, že jsou nálitky normalizované, napíše se příslušné označení podnikové normy.	červená nebo modrá	
9	Slévárenský technologický přídavek - kreslí se plnou čarou, v řezu se šrafuje.	červená	
10	Nálitky pro zhotovení zkušebních tyčí - zakreslí se plnou čarou, okótují a v řezu vyšrafuji.	červená	
11	Obrisy jader - vnitřní obvod řezu se vyšrafuje krátkými čarami. Je přípustné užít i šrafování křížkováním, vyžaduje-li to přehlednost výkresu. Pořadí barev není nutno dodržet, pokud by snižovalo přehlednost výkresu.	v pořadí: zelená modrá hnědá fialová oranžová žlutá mimo červenou a černou	

Obr. 8.23 Příklady značení postupu na slévárenském postupovém výkresu (2. část)

č.	Název a určení	Barva	Vyobrazení
12	Číslování jader - jádra se číslují podle pořadí arabskými číslicemi v černém kroužku, přičemž barva vepsaných číslic je shodná s barvou obrysu příslušného jádra.	ve shodě se značením příslušného jádra	
13	Známky - zakreslují se plnou čarou, kótují se jejich úkosy a výšky. Tím jsou dány rozměry známek v jaderníku. Známky na modelu se vyrábí větší o vůli, určenou kótou (viz 14).	ve shodě se značením příslušného jádra	
14	Vůle mezi modelem a jádrem - udává se kótou, v případě potřeby se uvádí i tolerance. Poloha tlusté úsečky udává, zda vůle bude provedena v jaderníku, nebo na známce modelu.	černá	
15	Otevření jaderníku - směr šipky s označením OJč udává, na které straně se provede jaderník otevřený.	zelená	
16	Výfuky - zakreslují se plnou čarou a kótují se.	červená nebo černá	

Obr. 8.23 Příklady značení postupu na slévárenském postupovém výkresu (3. část)

č.	Název a určení	Barva	Vyobrazení
17	Okování modelu, kovová část - zakresluje se plnou čarou v příslušném místě. Připisuje se poznámka "OKOVAT" nebo "KOVOVÁ ČÁST".	modrá	OKOVAT  KOVOVÁ ČÁST 
18	Odplynění jader - v místě, kde bude provedeno odplynění, se zakreslí značka.	modrá	
19	Chladítka - kreslí se plnou čarou, šrafuji se křížkováním a kótují. Uvádí se poznámka "MODEL CHLADÍTEK NEZHOTOVOVAT". V opačném případě bez této poznámky.	modrá	
20	Známky pro chladítka - kreslí se plnou čarou a celé kótují. Vnitřní tvar chladítka se značí čárkovaně.	modrá	
21	Šablona s tloušťkou - šablona se kreslí zeleně plnou čarou, tloušťka se kreslí oranžově a šrafuje se křížkováním oranžově.	zelená oranžová	
22	Nepředlévaný otvor - v pohledu, ve kterém se jeví otvor jako obdélník, se jeho plocha šrafuje.	červená	

Obr. 8.23 Příklady značení postupu na slévárenském postupovém výkresu (4. část)

8.5.1.2 Zásady pro stanovení dělicí plochy

- dosažení *nejmenšího počtu jader*,
- dosažení *minimální výšky formy*,
- umístění základních povrchů odlitku do jedné poloviny formy* (dolní),
- uložení hlavních jader v dolní polovině formy*,
- dosažení *rovné dělicí plochy*.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití zásad pro stanovení dělicí plochy při výrobě odlitků v praxi.

8.5.1.3 Smrštění odlévaných slitin

- v průběhu ochlazování se kovy a slitiny smršťují, proto je nutno *zhotovit modelové zařízení větší o míru smrštění dané slitiny*,
- brání-li některé části formy, eventuálně konstrukce odlitku, průběhu smršťování, bude docházet k tzv. *brzděnému smrštění*, které je menší, než *volné lineární smrštění*.

8.5.1.4 Mezní úchytky rozměrů a tvaru odlitků

Velikost úchylek je určena:

- stupněm přesnosti odlitku** (určuje se na základě dohody mezi odběratelem a dodavatelem. *Značí se na výkresu nad rohovým razítkem číslem normy a příslušným záčíslem* – např. přesnost ČSN 01 4470.3, mimo rozměry 63, 100, $\varnothing$ 24. ČSN 01 4470 udává 6 stupňů přesnosti.),
- jmenovitým rozměrem** (*je to rozměr, předepsaný na výkresu odlitku*. K němu se vztahují mezní úchytky rozměrů a tvaru odlitku. U ploch, které budou obráběny, se rozumí jmenovitý rozměr včetně přídávku na obrábění.),
- směrodatným rozměrem** (*je to největší kótovaný rozměr*, nebo součet kót největšího rozměru odlitku v rovině kolmé na jmenovitý rozměr),
- zvláštními požadavky**.

8.5.1.5 Přídavky na obrábění ploch odlitků

- funkční plochy odlitků*, které nelze litím vyrobit s potřebnou přesností a drsností povrchu, *se obrábějí* – odlitek se proto na těchto plochách zvětšuje o přídavek na obrábění,
- jmenovitý přídavek na obrábění* je přídavek, předepsaný na slévárenském postupovém výkresu.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady použití přídavek na obrábění při výrobě součástí odléváním v praxi.

8.5.1.6 Přídávky technologické

- *nejsou normalizované, stanovují se v závislosti na technologii výroby odlitku* (např. přídávky na zajištění usměrněného tuhnutí, nepředlévání otvorů, výztužná žebra),
- *odstraňují se při čištění odlitků nebo až při obrábění.*

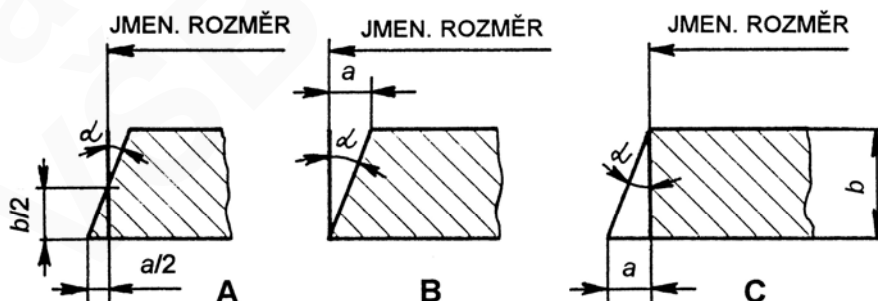
	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady použití technologických přídavek při výrobě součástí odléváním v praxi.

8.5.1.7 Slévárenské úkosy modelů a odlitků

- slouží ke snadnému vyjímání modelů z formy, případně jader z jaderníků, *provádějí se na stěnách kolmých k dělicí rovině*,
- *jejich velikost závisí na* rozměrech odlitku, technologii výroby, modelovém zařízení a materiálu odlitku.

Podle vztahu úkosu k jmenovitému rozměru odlitku se rozeznávají (obr. 8.24):

1. **úkos A** – obvykle se dělá u neobrobených ploch a *je nejčastěji používaným úkosem. Nemusí být na výkresu součásti předepsán.*
2. **úkos B** – volí se tehdy, *lze-li zmenšit rozměr odlitku* (úspora hmotnosti). Musí být na výkresu součásti vždy předepsán.
3. **úkos C** – používá se *na obráběných plochách nebo tam, kde rozměr odlitku nelze zmenšit.* Pokud plochy odlitku s úkosem C nebudou obrobena, musí být tento úkos na výkresu součásti vždy předepsán.



Obr. 8.24 Slévárenské úkosy typu A, B, C

	Úkol k zamyšlení Uvedte příklady použití slévárenských úkosů při výrobě součástí odléváním v praxi.
---	---

8.5.2 Výrobní postup modelového zařízení

- *modelové zařízení zahrnuje kromě modelu vlastního odlitku i modely vtokové soustavy a nálitků, jaderníky, šablony, modelové desky a další příslušenství* (obr. 8.25),
- pro výrobu modelového zařízení se používá *slévárenský postupový výkres* (u kusové výroby jednoduchých modelů) nebo samostatná dokumentace pro výrobu modelů, tj. *výrobní postup modelového zařízení* (u složitých modelů a při větším počtu modelů).

Model může být:

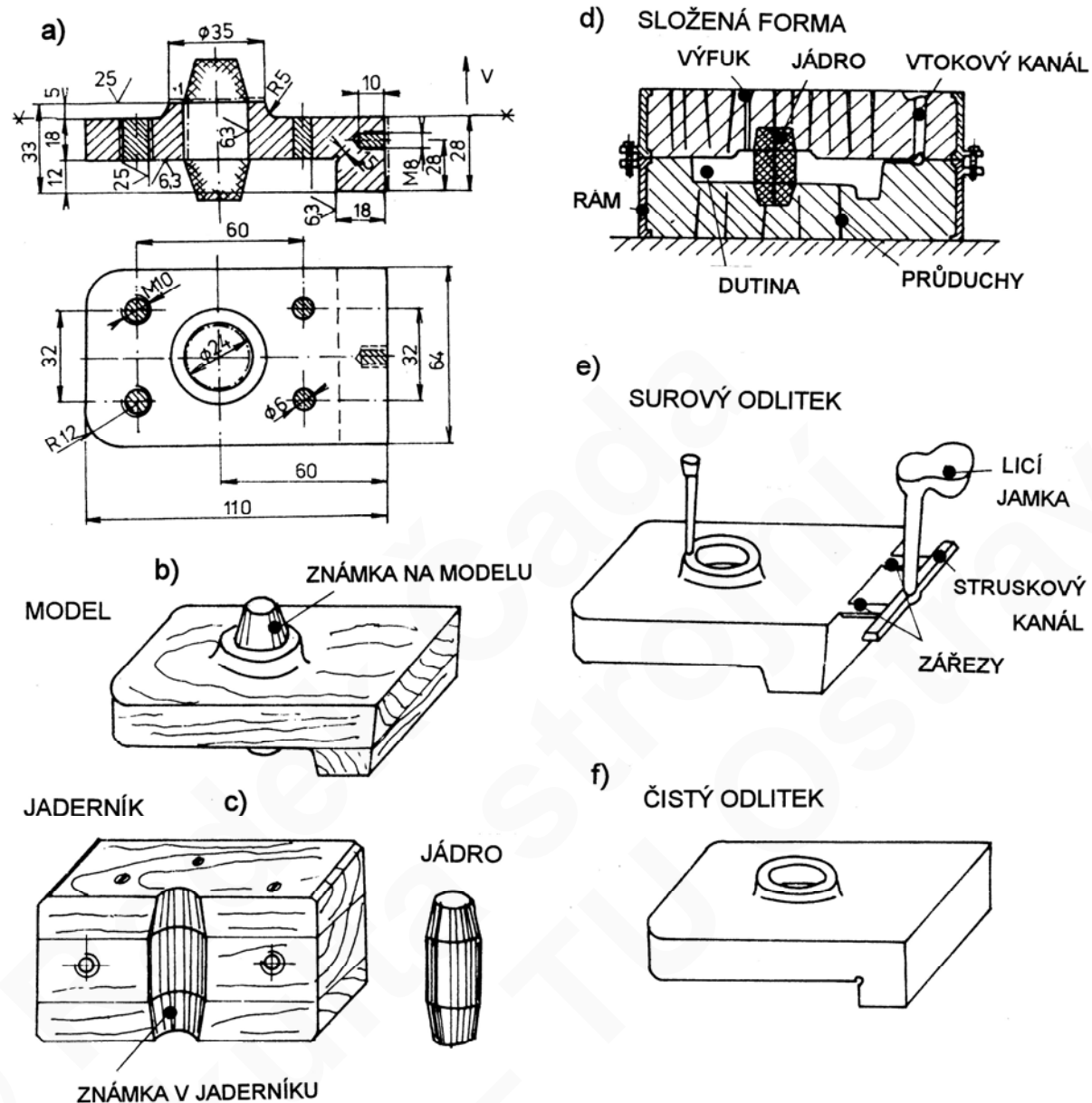
- a) *nedělený* (pro kusovou výrobu),
- b) *dělený* (pro kusovou a malosériovou výrobu),
- c) *uložený na modelových deskách* (pro strojní formování při sériové a hromadné výrobě. Vtoková soustava, nálitky a výfuky jsou součástí modelové desky.).

	Úkol k zamyšlení Uvedte příklady použití jednotlivých druhů modelů při výrobě slévárenských forem v praxi.
---	--

Pro výrobu modelů a jaderníků se používají různé hmoty – dřevo, kovy, sádra, hlína, cement, kamenina, guma, vosk, umělé pryskyřice apod. Každý z uvedených materiálů má své přednosti a nedostatky. Jakost modelového zařízení výrazně ovlivňuje *přesnost odlitku* a *kvalitu povrchu odlitku*.

Povrch modelu se chrání před přímým účinkem formovacích směsí *nátěry* (musí být tvrdé a otěruvzdorné). Nejčastěji se používají nátěry epoxidové a polyesterové, které odolávají několikanásobně více otěru než laky lihové.

Barevné označení modelů pro *odlitky z šedé litiny* je *světle červené*, pro *odlitky z oceli tmavě modré*, pro *odlitky z bronzu a mosazi žluté*, pro *odlitky z hliníku* se používá barva *modrošedá* a pro *odlitky ze slitin hořčíku* se používá barva modelů *zelená*.



Obř. 8.25 Postup výroby jednoduchého odlitku s průchozím otvorem (a – slévárenský postupový výkres, b – model, c – jaderník s jádrem, d – složená forma, e – surový odlitek, f – čistý odlitek)

8.5.3 Výrobní postup odlitku

- je *souhrn závazných směrnic a údajů*, které jednoznačně určují podmínky výroby konkrétního odlihtu,
- *je podkladem pro* ekonomický rozbor výroby a kalkulace, určení potřeby materiálu, potřeby zaměstnanců, strojního zařízení apod.

8.5.4 Výkres odlitku

- je závazným podkladem pro přebírání a expedici odlitků,
- na výkresu odlitku jsou zachyceny *odchyly rozměrů a tvaru odlitku vzhledem ke konečnému výrobku* (obrobenému odlitku),
- *u jednoduchých součástí při malých počtech vyráběných kusů* se v praxi nekreslí samostatný výkres odlitku – výkres odlitku se většinou zakresluje barevně přímo do kopie výkresu součásti, jejímž polotovarem je odlitek.

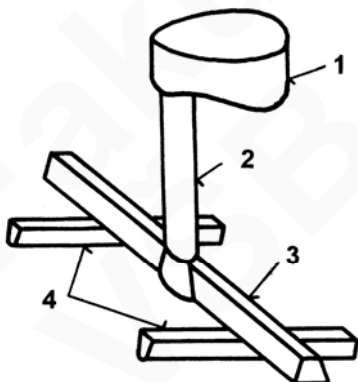
8.6 Ověřování, nultá série a sériová výroba odlitků

- po zhotovení modelu následuje *ověřování návrhu v praxi* (účelem ověřování je zjištění nedostatků technologie výroby a její úprava),
- *nultá série odlitků* je potřebná pro poslední zjištění případných nedostatků technologie výroby a *pro poslední zásahy do technologie výroby* – výsledky nulté série jsou základním podkladem pro *zahájení sériové výroby*.

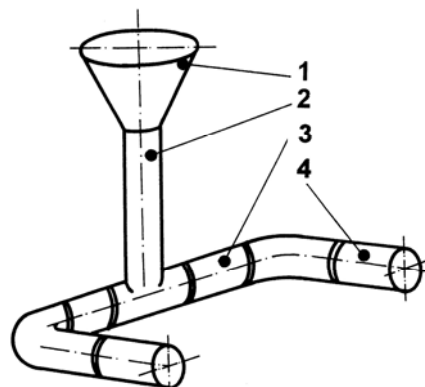
8.7 Vtoková soustava

Základní části vtokové soustavy (obr. 8.26 a 8.27):

- vtoková jamka** (k zachycení proudu kovu z lící pánve a jeho usměrnění do vtokového kanálu, musí zachytit strusku z pánve – proto musí být od začátku do konce lití neustále plná),
- vtokový kanál** (je obvykle svislý, má kruhový průřez, který se směrem dolů zužuje s kuželovitostí 3 až 5°),
- struskový nebo rozváděcí kanál** (**Struskový kanál** bývá zpravidla vodorovný, upravený v dělicí rovině formy. Rozvádí kov od vtokového kanálu k vtokovým zářezům a zachycuje strusku a nečistoty, tj. oxidy, písek apod., které byly strženy proudem kovu. Při odlévání oceli na odlitky se používá **rozváděcí kanál** kruhového průřezu.),
- zářezy** (jsou zpravidla rozmístěny na obvodu odlitku proto, aby kov zaplňoval formu stejnoměrně, bez víření a střikání.).



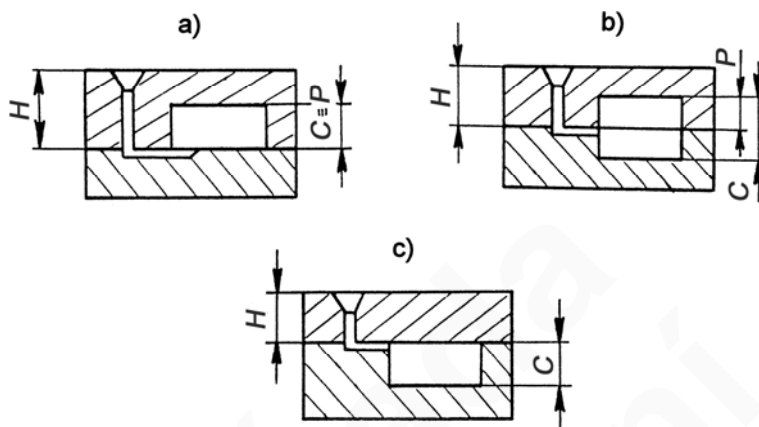
Obr. 8.26 Standardní typ vtokové soustavy pro odlitek ze šedé litiny (1 – vtoková jamka, 2 – vtokový kanál, 3 – struskový kanál, 4 – zářez)



Obr. 8.27 Standardní typ vtokové soustavy pro odlitek z oceli (1 – lící nálevka, 2 – vtokový kanál, 3 – rozváděcí kanál, 4 – zářez)

Podle místa, kudy proudí kov do dutiny formy, se rozeznávají **formy se spodním, vrchním a středním vtokem** (obr. 8.28).

Při návrhu vtokové soustavy se určuje velikost průřezů jednotlivých částí vtokové soustavy (výpočet vychází z **Bernoulliho rovnice** pro nejužší místo vtokové soustavy, kterým jsou zářezy).



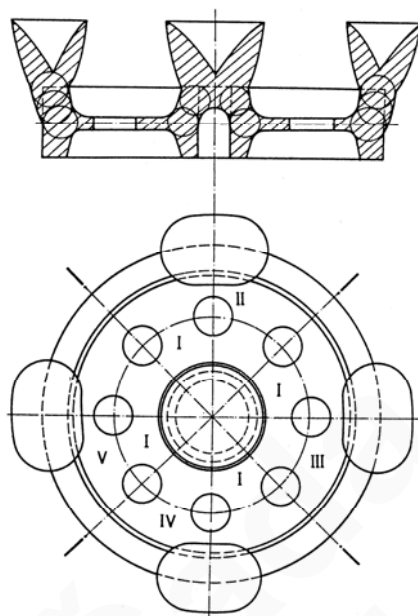
Obr. 8.28 Typy zaústění vtoků do formy (a – spodní, b – střední, c – vrchní vtok)

8.8 Navržení výfuku

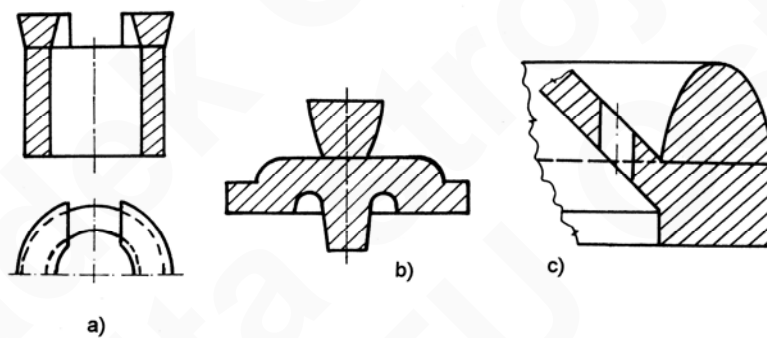
- výfuk** je **hlavní odplyňovací kanál**, který se umísťuje na nejvyšším místě odlitku, případně též v místech, kde je nebezpečí, že bude vzduch uzavřen tekutým kovem (obvykle na opačném konci, než je vtok),
- výfuky se dělají jako **svislé kanály kruhového průřezu**, které spojují odlitek s horním povrchem formy a směrem vzhůru se rozšiřují o 2 až 4°,
- výfuky též** zmírňují náraz tekutého kovu na horní povrch dutiny formy v okamžiku jejího zaplnění kovem, signalizují okamžik zaplnění formy, soustřeďují v sobě nečistoty z formy a odtékají jimi přebytečný kov,
- funkci výfuku mohou rovněž plnit otevřené nálítky** (jejich horní povrch je spojen s atmosférou).

8.9 Nálitkování odlitků

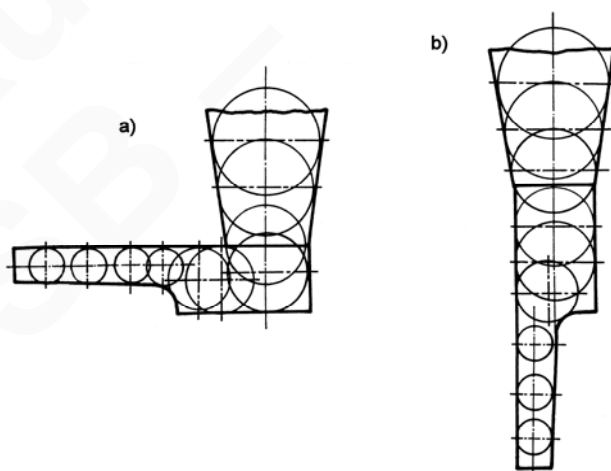
- u odlitků s rozdílnou tloušťkou stěny v tlustých částech (**tepelných uzlech**) chladne odlitek pomaleji, než v tenkých částech. **K zabránění vzniku staženiny v těchto místech je nutno nad ně připojit nálítek** (obr. 8.29 a 8.30).
- nálítek musí mít takovou velikost a polohu, aby **koule vepsaná do tepelného uzlu odlitku prošla snadno do nálitku** (nálítek má tuhnout z celého odlitku nejpozději, aby mohl doplňovat tekutý kov do odlitku během tuhnutí) (obr. 8.31 a 8.32),
- u některých slévarenských slitin, jejichž smršťivost je nízká (např. šedá litina) **se nálítky užívají jen zřídka**, u ocelových odlitků téměř vždy.



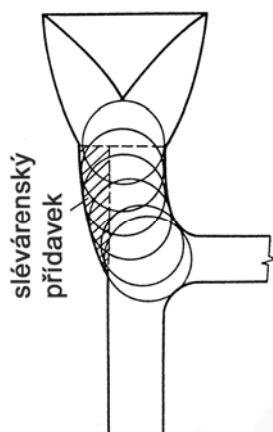
Obr. 8.29 Nálitkování odlitku setrvačníku



Obr. 8.30 Příklady nálitkování tlustých stěn odlitků (a – nálitkování trubkového tvaru odlitku, b – nálitkování náboje spojového kotouče, c – nálitkování věnce spojového kotouče)



Obr. 8.31 Připojení nálitků k tlustým částem odlitku (a – uspořádání vodorovné, b – uspořádání svislé, které je vhodnější, vzhledem k doplňovacímu hydrostatickému tlaku)



Obr. 8.32 Použití pravidla vepsaných kružnic při nálitkování tepelného uzlu (přidání slévarenského technologického přídavek)

Základní rozdělení nálitků (obr. 8.33):

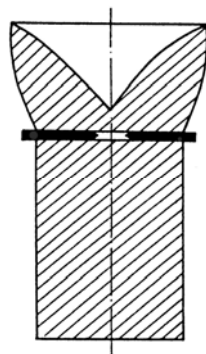
- a) **otevřené**,
- b) **uzavřené** – *atmosférické, podtlakové a přetlakové*.

ZNAK	SCHÉMATICKÝ OBRÁZEK	ZNAK	SCHÉMATICKÝ OBRÁZEK
Tvar	 koule válec hranol ostatní	Poloha	 odlehlý přilehlý kombinace
Umístění	 čelní boční spodní	Uspořádání	 samostatný společný
Tepelný režim	 normální izolovaný exotermický	Způsob oddělení	 řezání urážení
Tlak	 podtlakový atmosférický přetlakový	Provedení	 otevřený uzavřený

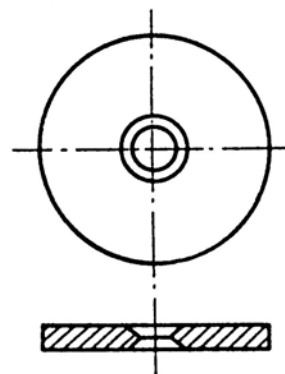
Obr. 8.33 Schématický přehled typů nálitků

Snadno oddělitelné nálitky – používají se k usnadnění odstraňování nálitků, které je zvláště u tvrdých materiálů velmi obtížné a znamená značné zdražení výroby. Mezi odlitek a náletek se umístí **podnálitková vložka** (obr. 8.34) která mezi oběma vytvoří úzký krček s vrubem, v němž se náletek snadno urazí.

Podnálitková vložka – tenká destička ze žáruvzdorného materiálu (šamot), která má ve svém středu otvor pro spojení mezi nálitkem a odlitkem (obr. 8.35).



Obr. 8.34 Umístění podnálitkové vložky



Obr. 8.35 Podnálitková vložka

	Úkol k zamyšlení
	Popište etapy usměrněného tuhnutí odlitku s nálitky včetně vysvětlení vzniku staženiny v nálitku.

8.10 Vztlková síla působící na vršek formy

- vypočtená hodnota vztlkové síly se zvyšuje o 20 až 50 %, neboť při lití je nutno počítat s rázovým účinkem kovu ve formě, s expanzí plynů apod.,*
- proti nadzvednutí horního formovacího rámu působením vztlkové síly při lití se forma spojuje šrouby nebo se zatěžuje tzv. úkladky (kladou se přes okraje formovacích rámu, aby nepoškodily vlastní formu).*

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady zajištění forem proti nadzvednutí horního formovacího rámu působením vztlkové síly při výrobě odlitků v praxi.

8.11 Tepelné zpracování odlitků

8.11.1 Tepelné zpracování odlitků ze šedé litiny

- žihání ke snížení pnutí** (ohřev na teplotu, kdy je šedá litina dostatečně plastická, takže *dojde k částečným deformacím působením vnitřního pnutí*, které se tím částečně odstraní),
- feritizační žihání** (ohřev do pásma grafitizace, tj. na 650 až 750 °C, po dobu 1 až 3 hodin. Tímto žiháním *se odstraní perlit, čímž se sníží tvrdost, zvýší se plastické vlastnosti a zlepší obrábitelnost*).

- c) **normalizační žíhání** (ohřev na teplotu austenitizace, tj. na 800 až 850 °C, ochlazení na vzduchu. Získá se *rovnoměrná perlitická struktura s dobrými mechanickými vlastnostmi.*),
- d) **grafitizační žíhání** (*k odstranění ledeburitického cementitu*, který může vzniknout v rychleji chladnoucích částech odlitku. Žíháním se sníží tvrdost, zlepší obrobitelnost a zvýší plastické vlastnosti.),
- e) **sferoidizační žíhání** (*ke zlepšení obrobitelnosti litin s velmi jemným a tvrdým lamelárním perlitem*. Žíháním se sbalují lamely perlitického cementitu a snižuje se tvrdost litiny.),
- f) **kalení a popouštění** (k zušlechťování jsou vhodné perlitické litiny s jemně vyloučeným grafitem a litiny legované prvky zvyšujícími prokalitelnost – Mo, Ni, Cr, Cu. Teplota austenitizace se volí 800 až 900 °C. Ke snížení vnitřních pnutí a křehkosti se po kalení zařazuje popouštění při teplotách 250 až 600 °C.).

8.11.2 Tepelné zpracování odlitků z ocelí uhlíkových a nízkolegovaných

- *cílem je odstranění hrubozrnné lící struktury, zlepšení mechanických vlastností a odstranění vnitřních pnutí*
- a) **žíhání ke snížení pnutí** (používá se tam, kde by vysoká vnitřní pnutí mohla snížit únosnost součástí nebo způsobit deformace),
- b) **žíhání na měkko** (*ke snížení tvrdosti a zlepšení obrobitelnosti*. Provádí se při teplotách 620 až 700 °C, kdy dochází ke koagulaci karbidů.),
- c) **normalizační žíhání** (nejčastěji používané tepelné zpracování ocelových odlitků, *ke zjemnění zrna a vytvoření rovnoměrné struktury s příznivými mechanickými vlastnostmi*. Normalizační žíhání se provádí 30 až 50 °C nad teplotou A_{c3} , resp. A_{cm} .),
- d) **žíhání homogenizační** (*k vyrovnaní chemické nestejnorodosti odlitků*. Provádí se při teplotách 1000 až 1250 °C, výdrž na teplotě bývá až několik desítek hodin. Značné zhrubnutí zrna při homogenizačním žíhání musí být odstraněno následujícím normalizačním žíháním.
- e) **kalení** (*pro zvýšení tvrdosti i odolnosti proti opotřebení vysoce namáhaných odlitků*. Nutnou podmínkou pro kalení je obsah uhlíku nad 0,2 %. Značná pnutí, provázející vznik martenzitu, se odstraňují popouštěním při teplotách 300 až 700 °C, kdy se zároveň zlepšují plastické vlastnosti za cenu snížení pevnosti a tvrdosti.),
- f) **termální kalení** (*k omezení vnitřních pnutí, vznikajících při kalení složitých odlitků*. Ochlazování z austenitizační teploty se provádí v lázni, jejíž teplota je o něco vyšší než teplota M_s kalené oceli. Prodleva v lázni umožní vyrovnaní teplot v celém průřezu odlitku.),
- g) **izotermické kalení** (*vhodné pro tenkostěnné odlitky*. Kalí se do teploty vyšší než je teplota M_s a nižší než 550 °C s výdrží až do ukončení rozpadu austenitu na bainit. Po ochlazení na vzduchu již není nutné popouštění.).

8.11.3 Tepelné zpracování odlitků z austenitických ocelí

Nejznámější v této skupině je austenitická ocel 18/8, která obsahuje přibližně 18 % Cr, 8 % Ni a max. 0,2 % C. Austenitické oceli jsou nekalitelné a pro výsledné vlastnosti je rozhodující rychlost chlazení ve formě. **Tepelné zpracování se skládá z austenitizačního žíhání a stabilizačního žíhání.**

Při **austenizačním žhání** se odlitky ohřívají na 1050 až 1100 °C s následujícím prudkým ochlazením do vody nebo na vzduchu. Takto se zabrání vylučování karbidů a získá se pouze austenitická struktura.

Stabilizační žhání snižuje koncentrační rozdíly v zrnech austenitu, a tím **zvyšuje korozivzdornost**. Spočívá v ohřevu na teploty 850 až 900 °C.

8.11.4 Tepelné zpracování odlitků ze slitin hliníku

- tepelně se zpracovávají v malé míře, z používaných způsobů má největší význam **vytvrzování**

Vytvrzování – pro **zvýšení pevnosti, tvrdosti a meze kluzu**. Vytvrzovat je možno pouze slitiny, které tvoří tuhé roztoky s omezenou rozpustností složek v tuhém stavu (Al-Si, Al-Si-Cu, Al-Si-Mg). Vytvrzování se skládá z **rozpouštěcího žhání (homogenizace)** při 500 až 530 °C, po němž se prudkým ochlazením vytvoří **nestabilní přesycený tuhý roztok**. Při následujícím **stárnutí za normální nebo zvýšené teploty** (150 až 175 °C) dochází k rozpadu přesyceného tuhého roztoku za vzniku jemnozrnné struktury se zvýšenou pevností a dobrou tažností.

8.12 Vady odlitků

- vadou odlitku se rozumí** každá odchylka rozměrů, hmotnosti, vzhledu, makrostruktury nebo vlastností, zjištěných laboratorními zkouškami, od příslušných norem nebo sjednaných technických podmínek.

Vady odlitků mohou být:

- zjevné** (zjistitelné prohlídkou neobrobeného odlitku prostým okem nebo jednoduchými pomocnými měřidly),
- skryté** (zjistitelné až po obrobení odlitku nebo pomocí přístrojů či laboratorních zkoušek).

Nepřípustná vada – nelze ji hospodárně odstranit opravou, nebo její oprava je podle norem nebo sjednaných podmínek nepřípustná.

Přípustná vada – normy nebo sjednané technické dodací podmínky ji připouštějí, aniž by požadovaly její odstranění u výrobce odlitků.

Opravitelná vada – její oprava vhodným způsobem je normou nebo sjednanými technickými podmínkami dovolena, nebo není výslovně zakázána (oprava zavařením, vyrovnáním, vyžiháním apod.).

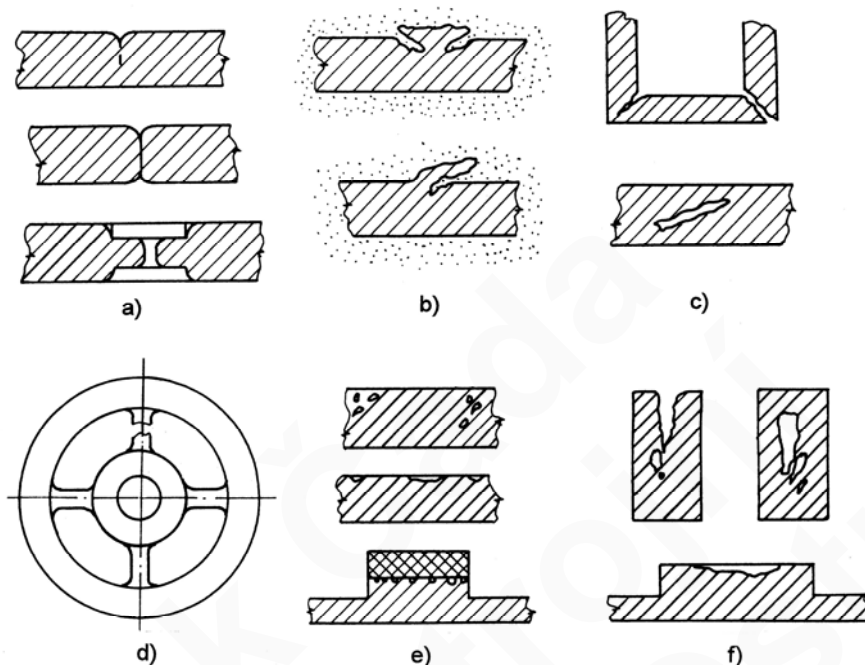
Odstranitelná vada – je možno ji odstranit po dohodě se zákazníkem jen zvláštními úpravami, nepředpokládanými výrobním postupem (např. vypouzdřením, nepředepsaným tepelným zpracováním).

Podle ČSN 42 1240 se jednotlivé vady označují dvojmístným číslem (**první číslice** vyjadřuje skupinu vad, **druhá** specifikuje vadu v rámci dané skupiny).

Základní skupiny vad:

- vady tvaru, rozměrů a hmotností** (**1 až 18**, např. 11 – nezaběhnutí),
- vady povrchu** (**21 až 28**, např. 21 – připečeniny, 22 – zavaleniny, 23 – zálupy) (obr. 8.36 a, b),
- přerušeni souvislosti** (**31** – trhliny, **32** – praskliny) (obr. 8.36 c, d),
- dutiny** (**41 až 46**, např. 41 – bubliny, 43 – staženiny, 44 – řediny) (obr. 8.36 e, f),
- vměstky** (**51 až 55**, např. 52 – zadrobeniny),

- f) **vady struktury** (61 až 65, např. 63 – zatvrdlina),
 g) **vady chemického složení, nesprávné fyzikální nebo mechanické vlastností** (71 až 73).



Obr. 8.36 Vady odlitků (a – zavaleniny, b – zálupy, c – trhliny, d – praskliny, e – bubliny, f – staženiny)

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady vzniku vad při výrobě odlitků v praxi.

8.13 Konstrukční zásady pro navrhování odlitků

- a) **tloušťky stěn** ve směru k předpokládaným nálitkům se mají zvětšovat,
- b) odlitek má mít **hladké, jednoduché tvary a stejnou tloušťku stěn**, která je větší než minimální pro daný materiál,
- c) **stěny a žebra** se nemají stýkat v ostrých úhlech, styk stěn musí mít dostatečné zaoblení,
- d) mezi různými tloušťkami stěn musí být provedeno **spojení pozvolnými přechody**,
- e) v jednom místě odlitku **se má stýkat co nejméně stěn**,
- f) konstrukce odlitku má **zabránit vzniku velkých vnitřních pnutí**,
- g) protože vnitřní stěny odlitku chladnou pomaleji než vnější, má být **tloušťka vnitřních stěn 0,7 až 0,8 tloušťky stěn vnějších**,
- h) tvar odlitku má dovolit výrobu **jednoduchého modelu**, aby se forma dala vyrobit s požadovanou přesností,

- i) **otvory v odlitcích** předlévat až od určitého minimálního průměru,
- j) **důležité plochy**, které mají být bez vad, **umístit do spodku formy**, kde je větší hydrostatický tlak kovu a nečistoty jsou při lití vyneseny vzhůru,
- k) ke zvýšení pevnosti a zabránění tvorby trhlin je možno na odlitcích navrhnout **žebrování** (jsou-li umísťována výztužná žebra oboustranně, nikdy nesmí ústít proti sobě, ale musí být střídavě přesazena),
- l) vzít v úvahu hledisko **snadného čištění** a hledisko **minimalizace obrábění**.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití jednotlivých konstrukčních zásad pro navrhování odlitků při výrobě odlitků v praxi.

	Shrnutí kapitoly
	Slévání: <i>úkolem slévárenské výroby je ekonomickým způsobem vyrobit odlitek požadovaného tvaru, mechanických, fyzikálních, chemických a užitných vlastností. Výrobou odlitků se rozumí natavení slitiny kovů předepsaného chemického složení a teploty, upravené s využitím metalurgických procesů, odlití tekutého kovu do dutiny formy, kde se po ztuhnutí slitiny vytvoří odlitek požadované mikrostruktury, a tím i vlastností.</i> Slévárenské formovací směsi: látky, používané k výrobě forem a jader. Musí mít dobrou <i>soudržnost</i> (aby odolaly mechanickému působení tekutého kovu), dobrou <i>tvárnost</i> (pro snadné zpracování do žádaného tvaru formy) a dostatečnou <i>ohnivzdornost</i> (aby se nepřipékaly na odlitek). Základní složky formovacích směsí: ostřivo (souhrn písků se zrny většími než 0,02 mm) a pojivo (dává formovacím směsím soudržnost). Formovací směsi lze rozdělit: a) podle původu ostřiva – na <i>ostřiva přirozená</i> (křemenné písky), <i>ostřiva umělá</i> (korundové písky), <i>ostřiva původu živočišného</i> (křemelina), b) podle chemického složení – na <i>ostřiva kyselá</i> (křemenné písky, korundové písky), <i>ostřiva zásaditá</i> (magnezitové písky), c) podle druhu pojiva – na hlinité směsi, cementové směsi, jádrové a olejové směsi, d) podle obsahu hlíny – na směsi ostré, polomastné a mastné, e) podle zrnitosti ostřiva – na směsi hrubé a jemné, f) podle výskytu v přírodě a úpravy – na směsi přirozené nebo syntetické. Formovací směsi lze dále rozdělit podle těchto hledisek: a) podle účelu použití – na formovací směsi jednotné, modelové nebo výplňové, případně na jádrové směsi, b) podle způsobu formování a odlévání – na směsi určené pro formování na syrovo a na sušení, na směsi pro ruční formování a strojní formování, c) podle druhu odlévaných slitin – na směsi určené pro ocel, šedou litinu a směsi pro neželezné a lehké slitiny, d) podle velikosti odlitků a tloušťky stěny, e) podle dalších význačných vlastností formovacích látek – na formovací látky

zvlášť vazné, rozpadavé za tepla, vysoce žáruvzdorné apod.

Základní zkoušky slévárenských formovacích směsí:

- stanovení vlhkosti formovací směsi** (ovlivňuje chování při formování i během odlévání, pohybuje se kolem 5 %),
- stanovení obsahu vyplavitelných látek** (jde o *zemité pojivo*, tj. podíl písku s částicemi menšími než 0,02 mm. Velikost tohoto podílu se stanovuje sedimentační zkouškou.),
- stanovení zrnitosti ostřiva** (granulometrická skladba ostřiva ovlivňuje formovatelnost, jakost povrchu odlitků a prodyšnost forem. Ostřivo, získané po stanovení obsahu vyplavitelných látek, se prosévá sadou normalizovaných sít a podíly na jednotlivých sítích se zváží.),
- stanovení hustoty formovací směsi** (udává se v g/cm^3 a vzrůstá s rostoucí velikostí zrna, obsahem vlhkosti a oblejším tvarem zrn),
- stanovení prodyšnosti formovací směsi** (prodyšnost je schopnost upěchované směsi propouštět plyny a páry),
- stanovení pevnosti formovací směsi v tlaku za syrova** (Vaznost je základní vlastností formovacích směsí s jílovými pojivy. Je to schopnost zachovat tvar získaný formováním a klást odpor deformačním silám bez porušení souvislosti.),
- stanovení pevnosti formovací směsi ve stříhu, tahu a ohybu** (zkoušky se provádí na stejném přístroji, jako zkouška pevnosti v tlaku, použijí se pouze jiné čelisti),
- stanovení tvrdosti formy** (provádí se přístrojem, který vtlačuje do formy kuličku. Hloubka vtisku udává na stupnici přímo tvrdost formy.).

Účelem úpravy slévárenských písků je: jejich homogenizace, docílení požadovaných technologických vlastností, úprava směsí různých druhů surovin a pomocných látek, opětné použití starého písku, nebo jeho úplná regenerace.

Úpravu slévárenských písků a formovacích směsí lze rozdělit na:

- sušení písku** (suší se nový písek z lomu, hlavně pro lití na syrovo, při kterém musí být co nejmenší vlhkost. K sušení písku se používají *bubnové vodorovné sušárny*.),
- drcení** (slouží k rozemílání hrudek hlíny nebo šamotových a magnezitových cihel. Na jemné mletí grafitu, koksu, jílu a jiných přísad se používají *kulové mlýny* – materiál je drcen ocelovými koulemi a průběžně propadává přes dvě síta do výsypky.),
- prosévání písku** (slouží k vytřídění písku na vhodnou jemnost. U starého písku se prosévání spojuje s magnetickým odloučením železných částic. K prosévání písku slouží *bubnová síta*, staré písky se prosévají *střásacími síty*, která jsou doplněna magnetickými separátory.),
- mísení formovacích směsí** (slouží k vyrovnání nestejnomyšlosti složení, přidávání přísad a vlhčení. Nejrozšířenější jsou *kolové mísiče*, k mísení písku s tekutým pojivem se používá *žebrový mísič*.),
- kypření formovacích směsí** (slouží k rozbíjení hrudek spečeného písku a k jeho provzdušnění. Používá se pro starý i nový písek. Kypření se provádí v *dezintegrátorech* a *areátorech*.),
- regenerace starých formovacích směsí** (spočívá v oddělení spálených a znehodnocených částí pojiva od zrn ostřiva, jakož i prachových podílů, vzniklých rozpraskáním zrn při ohřevu na vysokou teplotu),
 - **suchá regenerace** spočívá v *profukování proudem vzduchu* a oddělení hrubých podílů písku od jemných,
 - **mokrý regenerace** je účinnější a spočívá v *rozplavení písku vodou* a

roztřídění síty na žádanou jemnost,

- **tepelná regenerace** se provádí *vypalováním formovací směsi* v bubnových pecích s oxidační atmosférou. Tím se spálí zbytky uhlíku a organických pojiv. Po ochlazení se písek rozestírá za sucha v mísiči a nakonec odprašuje.

Pomocné formovací látky lze rozdělit na:

- a) **příspěvky zlepšující povrch odlitku** – černouhelná moučka a mazut. Uhlík u těchto přísad vytvoří izolační vrstvu mezi formou a roztaveným kovem.
- b) **příspěvky upravující technologické vlastnosti směsi** – např. organické polymery zlepšující formovatelnost, smáčedla zkracující dobu míchání směsi, rašelina, kysličník železitý, dřevěná moučka, piliny snižující množství vad (zapékání, vznik bodlin), látky snižující pnutí ve formě,
- c) **látky k povrchové úpravě forem** – např. slévárenská tuha (nátěry forem pro odlitky ze šedé litiny a barevných kovů), křemenná a zirkonová moučka (nátěry forem ocelových odlitků),
- d) **dělicí prostředky snižující adhezi pojiva k povrchu modelu** – např. jemně mletý vápenec, silikonový olej, petrolej, nafta, uhelný prach, spálený písek.

Rovnovážné soustavy železa s uhlíkem: nad mezí rozpustnosti tvoří uhlík v soustavách se železem samostatnou fázi – **cementit (Fe_3C)** nebo **grafit**. Vyloučení uhlíku v podobě cementitu či grafitu závisí především na *množství uhlíku ve slitině* a na *rychlosti ochlazování*. Při větších obsazích uhlíku (nad 2 % C) a dostatečně pomalém ochlazování se vylučuje přednostně grafit. V *praktických slitinách*, kde mimo základní dva prvky existují ještě další příměsi, ovlivňuje způsob vyloučení uhlíku i grafitotvorný nebo karbidotvorný účinek těchto prvků (**Si** – grafitotvorný, **Mn** – karbidotvorný).

Podle způsobu vyloučení uhlíku se rozeznávají dvě rovnovážné soustavy:

- a) **metastabilní soustava Fe – Fe_3C** (Karbid železa – Fe_3C není stabilní fází, neodpovídá stavu s minimální s volnou entalpií. Studium nestabilní soustavy má praktický význam do obsahu 2,14 % C, tj. pro **oceli**).
- b) **stabilní soustava Fe – grafit** (má praktický význam v oblastech vyššího obsahu uhlíku, tj. pro **litiny**. Charakteristické rovnovážné struktury jsou obdobné se strukturami v metastabilní soustavě. Místo cementitu se ve strukturách vyskytuje grafit – primární, sekundární, terciární, místo perlitu grafitový eutektoid a místo ledeburitu grafitové eutektikum.)

Materiály používané na odlitky:

1. **oceli na odlitky** (jsou to slitiny železa s C, Si, Mn a dalšími prvky. Množství C nepřesahuje 2,14 %. Patří mezi ně oceli uhlíkové, nízkolegované a středně legované, slitiny pro trvalé magnety, vysokolegované oceli.)
2. **šedá litina** (nejpoužívanější materiál při výrobě odlitků. C je vyloučen převážně ve formě grafitu. Nejrozšířenější je odlévání *šedé litiny nelegované*, méně se užívá *šedá litina legovaná*.)
3. **očkováná litina** (do roztaveného kovu, přehřátého na dostatečně vysokou teplotu, se přidává 0,1 až 0,8 % *očkovadla*, které ovlivní jeho krystalizaci. Tato litina má oproti šedé lepší mechanické vlastnosti, odolnost proti opotřebení, žárupevnost.)
4. **bílá litina** (díky nízkému obsahu Si, velké rychlosti ochlazování nebo obsahu karbidotvorných prvků je C vyloučen ve formě karbidu železa Fe_3C . Struktura bílé litiny obsahuje perlit a cementit. Vlivem cementitu je velmi tvrdá, křehká a obrobitelná jen broušením. Hodí se pro odlitky pro mlecí desky, mlecí tělesa, rošty. Používá se převážně pro další zpracování na temperovanou litinu.)
5. **temperovaná litina** (vyrábí se žháním bílé litiny v neutrálním nebo okysličujícím prostředí. Při temperování nastává rozpad cementitu a metastabilní soustava

přechází do soustavy stabilní.)

- a) **temperovaná litina s bílým lomem** (odlitky se temperují v mírně oxidačním prostředí, nejčastěji v zrnité železné rudě, která způsobuje povrchové oduhličení do hloubky několika desetin mm. *Struktura odlitků po temperování* je pod povrchovou feritickou vrstvou perlitická s vločkami temperového grafitu. Vhodná pro odlitky vystavené účinkům koroze, povrch se snadno cínuje nebo zinkuje.)
 - b) **temperovaná litina s černým lomem** (odlitky se temperují v neutrálním prostředí. *Struktura odlitků* je homogenní v celém průřezu, je čistě feritická s vločkami temperového grafitu. Je velmi houževnatá a dobře obrobitelná – vhodná pro dynamicky namáhané součásti, které nejsou vystaveny otěru.)
6. **tvárná litina** (grafit je vyloučen ve tvaru globulárním již v litém stavu. Nejprve se provede *očkování* tekutého kovu *hořčíkem*, který je prvkem karbidotvorným, po této operaci následuje *očkování ferosiliciem*, takže se vytvoří šedá litina s kuličkovým grafitem.)
7. **tvrdá litina** (získá se odléváním šedé litiny do kovových forem. Při styku s kokilou se tavenina prudce ochlazuje. *Grafitizace v blízkosti kokily proto neproběhne a litina ztuhne podle metastabilní soustavy – bílá litina*. Množství grafitu ve struktuře se zvyšuje se vzrůstající hloubkou od povrchu odlitku. Vhodná pro odlitky namáhané otěrem – desky drtičů, válce válcovacích stolic, vagónová kola.)
8. **neželezné kovy** (především *slitiny hliníku nebo mědi*. Používají se zřídka pro vyšší cenu. Jsou vhodné tam, kde se uplatní jejich větší tepelná a elektrická vodivost, větší korozivzdornost a nižší měrná hmotnost.)
- d) **slitiny hliníku** (nejčastějším přídavným prvkem je Si, který v množství 9 až 13 % zvyšuje pevnost, houževnatost a korozivzdornost. Slitiny Al-Si jsou označovány společným názvem *silumin*. Slitiny Al-Si, které lze tepelně zpracovat vytvrzováním, obsahují jako další přísadu Mg nebo Cu.)
 - e) **bronz** (slitiny Cu-Sn, přísada Sn snižuje tavicí teplotu, zlepšuje slévarenské vlastnosti, zvyšuje pevnost v tahu a tvrdost. Předností je malá smrštivost – asi 1 %. Kromě *cínových bronzů* sem též patří slitiny Cu s Pb, Al, Sb a Si – tj. *olověné, hliníkové, antimonové a křemíkové bronz*.)
 - f) **mosazi** (slitiny Cu-Zn, v nichž je obsah Zn vyšší než 15 %. Na odlitky se používají mosazi s obsahem Zn 37 až 43 %. Jsou lépe slévatelné než bronz, mají však větší objemové smrštění. Vhodné pro součásti, které nesmějí korodovat, např. vodní armatury.)

Technologický proces výroby odlitků lze rozdělit na etapy:

- a) **příprava formovací směsi** – cílem je výroba formovací směsi pro zhotovení formy, u jádrové směsi výroba jader požadované kvality.
- b) **výroba formy** – cílem je vytvořit ve formovací směsi dutinu, jejíž vnější obrysy odpovídají tvarem budoucímu odlitku. Úkolem výroby jader v jadernících je zhotovení jader, kterými se v odlitku vytváří dutina (*jádra pravá*) nebo se usnadňuje formování (*jádra nepravá*).
- c) **skládání formy** – části formy se spolu s jádry skládají a vytváří tak kompletní dutinu ve formě, odpovídající tvarem budoucímu surovému odlitku.
- d) **příprava a tavení vsázky** – vhodně sestavená kovová vsázka (např. surové železo, kovový odpad, vratný materiál a přísady) získává přivedeným teplem tekutý stav, přičemž se získává optimální chemické složení taveniny o určité teplotě.
- e) **odlévání formy** – dutinu formy vyplňuje tekutý kov, který v ní ztuhne. *Vzniká odlitek*.
- f) **dokončovací práce** – pracovní operace, potřebné na dokončení odlitku po

ztuhnutí tekutého kovu, např. rozebírání formy (*vytloukání odlitku z formy*), odstraňování vtokových kanálů a náliťků, oprava slévárenských chyb, tepelné zpracování odlitku.

Slévárenské formy jsou: netrvalé – (slouží na jedno použití, tvoří přibližně 95 % používaných forem) a **trvalé** – (používají se vícekrát).

Netrvalé formy se vyrábí *formováním z formovacích směsí* (formování na model, formování šablonováním). *Vyrábí se ručně nebo strojně pomocí modelů a jaderníků*. Formovací směsi, používané na výrobu netrvalých forem, se po odlití odlitku a jeho vyjmutí z formy rozpadnou a po regeneraci se znovu používají. Opakovaně se používají *formovací rámy a formovací zařízení*.

Pro strojní výrobu netrvalých forem se používají *formovací stroje, formovací linky a formovací automaty*. Při strojní výrobě forem a jader se využívá pro zpevnění formovací směsi mechanická energie (upěchování – lisováním, střešáním, metáním, vstřelováním), teplo (vytvrzování teplem), chemické reakce, případně kombinace předešlých.

Základním materiálem pro **trvalé formy** jsou *slitiny kovů* (litiny, legované oceli, ale i speciální materiály, jako jsou slitiny wolframu, molybdenu apod.). Formy se vyrábí z bloků třískovým obráběním, někdy i pomocí práškové metalurgie.

Způsoby odlévání do kovových forem (kokil):

- a) **gravitační lití** (k plnění formy kovem dochází gravitačně, tj. vlastní tíhou a působením metalostatického tlaku odlévaného kovu),
- b) **tlakové lití** (forma se plní taveninou pod vysokým tlakem, který působí na odlitek až do jeho ztuhnutí.),
- c) **odstředivé lití** (kov se odlévá do formy, která se rychle otáčí, takže plnění formy a tuhnutí odlitku v rotující formě probíhá pod vlivem odstředivé síly, působící na nalitý kov)
 - **pravé odstředivé lití** (forma *rotuje kolem své osy*. Vnější tvar odlitku určuje dutina formy. Vnitřní tvar a velikost dutiny záleží na počtu otáček formy a množství vlité taveniny, případně na tvaru jádra.),
 - **nepravé odstředivé lití** (tavenina se vlévá do lícího kanálku v ose rotace a odtud se vtokovými kanály přivádí odstředivou silou do dutin jednotlivých forem, symetricky rozmístěných vůči ose rotace. *Odstředivá síla zvyšuje plnicí tlak taveniny*, čímž se docílí dokonalejší vyplnění formy a větší hustota materiálu odlitku.),
- d) **plynulé lití** (tavenina se přivádí nepřetržitým proudem do chladicího zařízení – *krystalizátoru*. Při průchodu krystalizátorem vlitý kov krystalizuje a tuhne a vzniklý odlitek se z něj nepřetržitě odvádí. Odlitek má délku mnohonásobně větší než rozměry průřezu. Využívá se v hutní výrobě pro výrobu polotovarů.).

Zvláštní způsoby výroby odlitků:

- a) **odlévání do forem vyrobených metodou chemicky tvrzených směsí** (označení CT. Forma se mírně upěchuje ze směsi obsahující *vodní sklo*, pak se nechá formou proudit CO₂, který způsobí okamžité ztvrdnutí formy.),
- b) **odlévání do skořepinových forem** (stěnu formy tvoří pouze lehká písková skořepina o tloušťce stěn 5 až 10 mm. Vyrábí se nasypáním formovací směsi – *z křemenného písku napojeného umělou pryskyřicí* – na horký kovový model nebo do kovového jaderníku. Účinkem tepla dojde ke slepení přichycené vrstvy formovací směsi natavenou pryskyřicí a při následném vyhřívání celé formy i s modelem k pevnému spojení písku vytvrzením pryskyřice. *Skořepina může být samonosná, nebo se před odlitím zasype hrubým pískem ve formovacím hrnci.*),
- c) **odlévání do keramických forem (přesné lití)**
 - **lisované keramické formy** (vyrábí se z polosuchých směsí lisováním na

	kovový model, jsou vhodné pro souměrné a rotační odlitky), - formy vyrobené metodou trvalého modelu, zhotovené z kašovitéh směsí (model se zalije v pomocném formovacím rámu kašovitou formovací směsí, případnou vibrací formy se dosáhne odstranění vzduchových bublinek, které ulpěly na modelu.), - formy vyrobené metodou vytavitelného (voskového nebo z nízkotavitelného kovu), spalitelného (polystyrénového) nebo vyplavitelného modelu (z vhodné soli), u kterých se model zalije kašovitou formovací směsí nebo se povleče vrstvou keramické směsi a následně se model odstraní (u voskového např. vyvařením ve vodě). Příprava tekutého kovu: cílem je dosáhnout jeho předepsaného chemického složení a čistoty (minimální obsah plynů a nečistot). Na přípravu tekutého kovu má vliv kvalita vsázkových materiálů, typ tavicí pece a použitý metalurgický postup. Po natavení a metalurgických pochodech v peci následuje ohřev nataveného kovu na <i>teplotu odpichu</i>, pak vylití tekutého kovu z pece do <i>pánve</i>, vyzdéné žáruvzdornou vyzdívkou. Jakost tekutého kovu po natavení lze ovlivňovat i <i>mimopecním zpracováním tekutého kovu v pánvi</i> (příkladem je <i>očkování a mikrolegování</i>). Základní druhy pecí podle způsobu ohřevu: 1. pece plynové – pro tavení materiálů s nízkou teplotou tavení (např. hliník), 2. pece na tuhá paliva – tzv. kuplové pece (<i>kuplovny</i>). Jsou to válcové šachtové pece bez nebo s předpecím. Palivem je koks, používají se pouze na tavení litin. 3. elektrické pece a) pece odporové – <i>elektrický proud prochází vodičem o určitém odporu</i>, čímž se uvolňuje určité množství tepla, úměrné času. Vhodné pro slitiny s nízkou teplotou tavení (hliník, silumin, slitiny zinku). b) pece indukční – využívají <i>přeměny energie indukovaných proudů na teplo</i> (oceli, litiny apod.), c) pece obloukové – využívají teplo, vznikající <i>hořením oblouku buď mezi elektrodami, nebo mezi elektrodou a lázní</i> (oceli, litiny), 4. pece speciální, jako např. plazmové pece. Vytlučkání odlitků: <i>po odlití odlitek ve formě tuhne a chladne</i> (vhodná rychlost tuhnutí a chladnutí souvisí s druhem odlévaného materiálu). Po ochlazení na požadovanou teplotu se odlitek z formy vytluče (forma se rozbije). <i>K vytlučkání odlitků se používají vibrační zařízení, vytlučací rošty nebo kladivo</i>. Formovací směs se spolu s formovacími rámy vrací do výrobního cyklu. Čištění odlitků a oprava chyb: Odlitek se očistí od zbytků formovací směsi. Čištění povrchu se provádí <i>otryskáváním zrnitým materiálem</i> (kovové broky, písek) <i>nebo vodním paprskem, případně omíláním</i>. Složité odlitky se čistí <i>mořením</i>. Čím vyšší byla lící teplota, tím obtížněji se povrch odlitku čistí. <i>Odstraní se vtoky a nálitky</i> (uražením, odfezáním, řezáním plamenem), <i>nežádoucí výstupky</i> (švy a menší povrchové vady) <i>se zabrousí</i>, případné chyby odlitků se opraví <i>zavařením</i>, případně <i>zatmelením</i>. V případě nutnosti zlepšení mechanických vlastností a odstranění lící struktury se odlitky <i>teplelně zpracovávají</i>. Kontrola odlitků a expedice: <i>odlitky se kontrolují z hlediska rozměrové přesnosti, jakosti povrchu, požadované struktury a mechanických vlastností, vnitřní homogenity apod.</i> V případě, že odlitky splňují vlastnosti předepsané přejímacími podmínkami, jsou připraveny k expedici. Výrobní dokumentace odlitku: slévárenský postupový výkres výrobní postup modelového zařízení, výrobní postup odlitku výkres odlitku. Slévárenský postupový výkres: je základním technologickým podkladem pro výrobu modelu a odlitku – je to výkres součásti, doplněný grafickými a textovými údaji, určujícími
--	---

požadavky na *modelové zařízení a způsob formování*. Grafické údaje se zakreslují do výkresu *předepsanými značkami podle normy*, další údaje lze uvést v *textové části slévárenského postupu*, která se používá zejména u složitých modelů a odlitků.

Poloha odlitku ve formě se volí podle zásad:

- a) *usměrněného tuhnutí*,
- b) *kladení důležitých ploch větších tloušťek do té části formy, kde je nejčistší kov* (u odlitků ze šedé litiny do dolní části formy). U ocelových odlitků se důležité plochy větších tloušťek umísťují v horní části formy (doplnění smršťujícího se tuhnoucího kovu z nálitků),
- c) *spolehlivého uložení jader* a možnosti kontroly tloušťky stěn odlitku,
- d) *uložení tenkých stěn ve spodní části formy, šikmo nebo svisle*.

Zásady pro stanovení dělicí plochy:

- a) *dosažení nejmenšího počtu jader*,
- b) *dosažení minimální výšky formy*,
- c) *umístění základních povrchů odlitku do jedné poloviny formy* (dolní),
- d) *uložení hlavních jader v dolní polovině formy*,
- e) *dosažení rovné dělicí plochy*.

Smršťení odlévaných slitin: v průběhu ochlazování se kovy a slitiny smršťují, proto je nutno *zhotovit modelové zařízení větší o míru smršťení dané slitiny*. Brání-li některé části formy, eventuálně konstrukce odlitku, průběhu smršťování, bude docházet k tzv. *brzděnému smršťení*, které je menší, než *volné lineární smršťení*.

Velikost mezních úchylek rozměrů a tvaru odlitků je určena:

- a) **stupněm přesnosti odlitku** (určuje se na základě dohody mezi odběratelem a dodavatelem. *Značí se na výkresu nad rohovým razítkem číslem normy a příslušným záčíslem* – např. přesnost ČSN 01 4470.3, mimo rozměry 63, 100, Ø 24. ČSN 01 4470 udává 6 stupňů přesnosti.),
- b) **jmenovitým rozměrem** (je to rozměr, předepsaný na výkresu odlitku. K němu se vztahují mezní úchytky rozměrů a tvaru odlitku. U ploch, které budou obráběny, se rozumí jmenovitý rozměr včetně přídávku na obrábění.),
- c) **směrodatným rozměrem** (je to největší kótovaný rozměr, nebo součet kót největšího rozměru odlitku v rovině kolmé na jmenovitý rozměr),
- d) **zvláštními požadavky**.

Přídavky na obrábění ploch odlitků: *funkční plochy odlitků*, které nelze litím vyrobit s potřebnou přesností a drsností povrchu, *se obrábějí* – odlitek se proto na těchto plochách zvětšuje o přídavek na obrábění. *Jmenovitý přídavek na obrábění* je přídavek, předepsaný na slévárenském postupovém výkresu.

Přídavky technologické: nejsou normalizované, stanovují se v závislosti na technologii výroby odlitku (např. přídavky na zajištění usměrněného tuhnutí, nepředlévání otvorů, výztužná žebra), odstraňují se při čištění odlitků nebo až při obrábění.

Slévárenské úkosity modelů a odlitků: slouží ke snadnému vyjímání modelů z formy, případně jader z jaderníků, *provádějí se na stěnách kolmých k dělicí rovině*. Jejich velikost závisí na rozměrech odlitku, technologii výroby, modelovém zařízení a materiálu odlitku.

Podle vztahu úkosu k jmenovitému rozměru odlitku se rozeznávají:

1. **úkos A** – obvykle se dělá u neobrobených ploch a je nejčastěji používaným úkosem. *Nemusí být na výkresu součástí předepsán*.
2. **úkos B** – volí se tehdy, *lze-li zmenšit rozměr odlitku* (úspora hmotnosti). Musí být na výkresu součástí vždy předepsán.

3. **úkos C** – používá se *na obráběných plochách nebo tam, kde rozměr odlitku nelze zmenšit*. Pokud plochy odlitku s úkosem C nebudou obrobeny, musí být tento úkos na výkresu součásti vždy předepsán.

Výrobní postup modelového zařízení: modelové zařízení zahrnuje kromě modelu vlastního odlitku i modely vtokové soustavy a nálitků, jaderníky, šablony, modelové desky a další příslušenství. Pro výrobu modelového zařízení se používá *slévárenský postupový výkres* (u kusové výroby jednoduchých modelů) nebo samostatná dokumentace pro výrobu modelů, tj. *výrobní postup modelového zařízení* (u složitých modelů a při větším počtu modelů).

Model může být: *nedělený* (pro kusovou výrobu), *dělený* (pro kusovou a malosériovou výrobu), *uložený na modelových deskách* (pro strojní formování při sériové a hromadné výrobě).

Pro výrobu modelů a jaderníků se používají různé hmoty – dřevo, kovy, sádra, hlína, cement, kamenina, guma, vosk, umělé pryskyřice apod. Jakost modelového zařízení výrazně ovlivňuje *přesnost odlitku a kvalitu povrchu odlitku*.

Povrch modelu se chrání před přímým účinkem formovacích směsí *nátěry* (musí být tvrdé a otěruvzdorné).

Barevné označení modelů pro odlitky z *šedé litiny* je *světle červené*, pro odlitky z *oceli* *tmavě modré*, pro odlitky z *bronz* a *mosazi* *žluté*, pro odlitky z *hliníku* se používá barva *modrošedá* a pro odlitky ze *slitin hořčíku* se používá barva *modelů zelená*.

Výrobní postup odlitku: je *souhrn závazných směrnic a údajů*, které jednoznačně určují podmínky výroby konkrétního odlitku. Je *podkladem pro* ekonomický rozbor výroby a kalkulace, určení potřeby materiálu, potřeby zaměstnanců, strojního zařízení apod.

Výkres odlitku: je závazným podkladem pro přebírání a expedici odlitků. Na výkresu odlitku jsou zachyceny odchylky rozměrů a tvaru odlitku vzhledem ke konečnému výrobku (obrobenému odlitku). U jednoduchých součástí při malých počtech vyráběných kusů se v praxi nekreslí samostatný výkres odlitku – výkres odlitku se většinou zakresluje barevně přímo do kopie výkresu součásti, jejímž polotovarem je odlitek.

Ověřování, nultá série a sériová výroba odlitků: po zhotovení modelu následuje *ověřování návrhu v praxi* (účelem ověřování je zjištění nedostatků technologie výroby a její úprava). *Nultá série odlitků* je potřebná pro poslední zjištění případných nedostatků technologie výroby a *pro poslední zásahy do technologie výroby* – výsledky nulté série jsou základním podkladem pro *zahájení sériové výroby*.

Základní části vtokové soustavy:

- vtoková jamka** (k zachycení proudu kovu z lící pánve a jeho usměrnění do vtokového kanálu, musí zachytit strusku z pánve – proto musí být od začátku do konce lití neustále plná),
- vtokový kanál** (je obvykle svislý, má kruhový průřez, který se směrem dolů zužuje s kuželovitostí 3 až 5°),
- struskový nebo rozváděcí kanál (Struskový kanál)** bývá zpravidla vodorovný, upravený v dělicí rovině formy. Rozvádí kov od vtokového kanálu k vtokovým zářezům a zachycuje strusku a nečistoty, tj. oxidy, písek apod., které byly strženy proudem kovu. Při odlévání oceli na odlitky se používá **rozváděcí kanál** kruhového průřezu.),
- zářezy** (jsou zpravidla rozmístěny na obvodu odlitku proto, aby kov zaplňoval formu stejnoměrně, bez víření a střikání.).

Podle místa, kudy proudí kov do dutiny formy, se rozeznávají **formy se spodním, vrchním a středním vtokem**.

Navržení výfuku: *výfuk je hlavní odplyňovací kanál*, který se umísťuje na nejvyšším místě

odlitku, případně též v místech, kde je nebezpečí, že bude vzduch uzavřen tekutým kovem (obvykle na opačném konci, než je vtok). Výfuky se dělají jako *svislé kanály kruhového průřezu*, které spojují odlitek s horním povrchem formy a směrem vzhůru se rozšiřují o 2 až 4°. Výfuky též zmírňují náraz tekutého kovu na horní povrch dutiny formy v okamžiku jejího zaplnění kovem, signalizují okamžik zaplnění formy, soustřeďují v sobě nečistoty z formy a odtékají jimi přebytečný kov. *Funkci výfuku mohou rovněž plnit otevřené nálitky* (jejich horní povrch je spojen s atmosférou).

Nálitkování odlitků: u odlitků s rozdílnou tloušťkou stěny v tlustých částech (*tepelných uzlech*) chladne odlitek pomaleji, než v tenkých částech. *K zabránění vzniku staženiny v těchto místech je nutno nad ně připojit nálitek*. Náletek musí mít takovou velikost a polohu, aby koule vepsaná do tepelného uzlu odlitku prošla snadno do nálitku (náletek má tuhnout z celého odlitku nejpozději, aby mohl doplňovat tekutý kov do odlitku během tuhnutí). U některých slévarenských slitin, jejichž smrštitivost je nízká (např. šedá litina) se *nálitky užívají jen zřídka*, u ocelových odlitků téměř vždy.

Základní rozdělení nálitků: *otevřené, uzavřené – atmosférické, podtlakové a přetlakové.*

Snadno oddělitelné nálitky: používají se k usnadnění odstraňování nálitků, které je zvláště u tvrdých materiálů velmi obtížné a znamená značné zdražení výroby. Mezi odlitek a náletek se umístí *podnálitková vložka* která mezi oběma vytvoří úzký krček s vrubem, v němž se náletek snadno urazí. **Podnálitková vložka** – tenká destička ze žáruvzdorného materiálu (šamot), která má ve svém středu otvor pro spojení mezi nálitkem a odlitkem.

Vztlková síla působící na vršek formy: *vypočtená hodnota vztlkové síly se zvyšuje o 20 až 50 %, neboť při lití je nutno počítat s rázovým účinkem kovu ve formě, s expanzí plynů apod. Proti nadzvednutí horního formovacího rámu působením vztlkové síly při lití se forma spojuje šrouby nebo se zatěžuje tzv. úkladky* (kladou se přes okraje formovacích rámu, aby nepoškodily vlastní formu).

Tepelné zpracování odlitků ze šedé litiny:

- žihání ke snížení pnutí** (ohřev na teplotu, kdy je šedá litina dostatečně plastická, takže *dojde k částečným deformacím působením vnitřního pnutí*, které se tím částečně odstraní),
- feritizační žihání** (ohřev do pásma grafitizace, tj. na 650 až 750 °C, po dobu 1 až 3 hodin. Tímto žiháním se *odstraní perlit*, čímž se *sníží tvrdost, zvýší se plastické vlastnosti alepší obrobiteľnosť*).
- normalizační žihání** (ohřev na teplotu austenitizace, tj. na 800 až 850 °C, ochlazení na vzduchu. Získá se *rovnoměrná perlitická struktura s dobrými mechanickými vlastnostmi*.),
- grafitizační žihání** (k odstranění ledeburitického cementitu, který může vzniknout v rychleji chladnoucích částech odlitku. Žiháním se *sníží tvrdost,lepší obrobiteľnosť a zvýší plastické vlastnosti*.),
- sferoidizační žihání** (ke zlepšení obrobiteľnosti litin s velmi jemným a tvrdým lamelárním perlitem. Žiháním se *sbalují lamely perlitického cementitu a snižuje se tvrdost litiny*.),
- kalení a popouštění** (k zušlechťování jsou vhodné perlitické litiny s jemně vyloučeným grafitem a litiny legované prvky zvyšujícími prokalitelnost – Mo, Ni, Cr, Cu. Teplota austenitizace se volí 800 až 900 °C. Ke snížení vnitřních pnutí a křehkosti se po kalení zařazuje popouštění při teplotách 250 až 600 °C.).

Tepelné zpracování odlitků z ocelí uhlíkových a nízkolegovaných: cílem je odstranění hrubozrnné líc struktury, zlepšení mechanických vlastností a odstranění vnitřních pnutí.

- žihání ke snížení pnutí** (používá se tam, kde by vysoká vnitřní pnutí mohla snížit únosnost součásti nebo způsobit deformace),
- žihání na měkko** (ke snížení tvrdosti a zlepšení obrobiteľnosti. Provádí se při

- teplotách 620 až 700 °C, kdy dochází ke koagulaci karbidů.),
- c) **normalizační žíhání** (nejčastěji používané tepelné zpracování ocelových odlitků, ke zjemnění zrna a vytvoření rovnoměrné struktury s příznivými mechanickými vlastnostmi. Normalizační žíhání se provádí 30 až 50 °C nad teplotou A_{c3} , resp. A_{cm} .),
 - d) **žíhání homogenizační** (k vyrovnání chemické nestejnorodosti odlitků. Provádí se při teplotách 1000 až 1250 °C, výdrž na teplotě bývá až několik desítek hodin. Značné zhrubnutí zrna při homogenizačním žíhání musí být odstraněno následujícím normalizačním žíháním.
 - e) **kalení** (pro zvýšení tvrdosti i odolnosti proti opotřebení vysoce namáhaných odlitků. Nutnou podmínkou pro kalení je obsah uhlíku nad 0,2 %. Značná pnutí, provázející vznik martenzitu, se odstraňují popouštěním při teplotách 300 až 700 °C, kdy se zároveň zlepšují plastické vlastnosti za cenu snížení pevnosti a tvrdosti.),
 - f) **termální kalení** (k omezení vnitřních pnutí, vznikajících při kalení složitých odlitků. Ochlazování z austenitizační teploty se provádí v lázni, jejíž teplota je o něco vyšší než teplota M_S kalené oceli. Prodleva v lázni umožní vyrovnání teplot v celém průřezu odlitku.),
 - g) **izotermické kalení** (vhodné pro tenkostěnné odlitky. Kalí se do teploty vyšší než je teplota M_S a nižší než 550 °C s výdrží až do ukončení rozpadu austenitu na bainit. Po ochlazení na vzduchu již není nutné popouštění.).

Tepelné zpracování odlitků z austenitických ocelí: Nejznámější je austenitická ocel 18/8, která obsahuje přibližně 18 % Cr, 8 % Ni a max. 0,2 % C. Austenitické oceli jsou nekalitelné a pro výsledné vlastnosti je rozhodující rychlost chladnutí ve formě. Tepelné zpracování se skládá z **austenitizačního žíhání** a **stabilizačního žíhání**. Při **austenitizačním žíhání** se odlitky ohřívají na 1050 až 1100 °C s následujícím prudkým ochlazením do vody nebo na vzduchu. Takto se zabrání vylučování karbidů a získá se pouze austenitická struktura. **Stabilizační žíhání** snižuje koncentrační rozdíly v zrnech austenitu, a tím zvyšuje korozivzdornost. Spočívá v ohřevu na teploty 850 až 900 °C.

Tepelné zpracování odlitků ze slitin hliníku: tepelně se zpracovávají v malé míře, z používaných způsobů má největší význam **vytvrzování** – pro zvýšení pevnosti, tvrdosti a meze kluzu. Vytvrzovat je možno pouze slitiny, které tvoří tuhé roztoky s omezenou rozpustností složek v tuhém stavu (Al-Si, Al-Si-Cu, Al-Si-Mg). Vytvrzování se skládá z **rozpouštěcího žíhání (homogenizace)** při 500 až 530 °C, po němž se prudkým ochlazením vytvoří **nestabilní přesycený tuhý roztok**. Při následujícím **stárnutí za normální nebo zvýšené teploty** (150 až 175 °C) dochází k rozpadu přesyceného tuhého roztoku za vzniku jemnozrnné struktury se zvýšenou pevností a dobrou tažností.

Vady odlitků: každá odchylka rozměrů, hmotnosti, vzhledu, makrostruktury nebo vlastností, zjištěných laboratorními zkouškami, od příslušných norem nebo sjednaných technických podmínek. **Vady odlitků mohou být: zjevné** (zjistitelné prohlídkou neobrobeného odlitku prostým okem nebo jednoduchými pomocnými měřidly) nebo **skryté** (zjistitelné až po obrobení odlitku nebo pomocí přístrojů či laboratorních zkoušek).

Nepřípustná vada – nelze ji hospodárně odstranit opravou, nebo její oprava je podle norem nebo sjednaných podmínek nepřípustná.

Přípustná vada – normy nebo sjednané technické dodací podmínky ji připouštějí, aniž by požadovaly její odstranění u výrobce odlitků.

Opravitelná vada – její oprava vhodným způsobem je normou nebo sjednanými technickými podmínkami dovolena, nebo není výslovně zakázána (oprava zavařením, vyrovnáním, vyžíháním apod.).

Odstranitelná vada – je možno ji odstranit po dohodě se zákazníkem jen zvláštními úpravami, nepředpokládanými výrobním postupem (např. vypouzdřením, nepředepsaným

	tepelným zpracováním). Základní skupiny vad: a) vady tvaru, rozměrů a hmotnosti (např. nezaběhnutí), b) vady povrchu (např. připečeniny, zavaleniny, zálupy), c) přerušování souvislosti (trhliny, praskliny), d) dutiny (např. bubliny, staženiny, řediny), e) vměstky (např. zadrobeniny), f) vady struktury (např. zatvrdlina), g) vady chemického složení, nesprávné fyzikální nebo mechanické vlastností. Konstrukční zásady pro navrhování odlitků: a) <i>tloušťky stěn</i> ve směru k předpokládaným nálitkům se mají zvětšovat, b) odlitek má mít <i>hladké, jednoduché tvary a stejnoměrnou tloušťku stěn</i>, která je větší než minimální pro daný materiál, c) <i>stěny a žebra</i> se nemají stýkat v ostrých úhlech, styk stěn musí mít dostatečné zaoblení, d) mezi různými tloušťkami stěn musí být provedeno <i>spojení pozvolnými přechody</i>, e) v jednom místě odlitku <i>se má stýkat co nejméně stěn</i>, f) konstrukce odlitku má <i>zabránit vzniku velkých vnitřních pnutí</i>, g) protože vnitřní stěny odlitku chladnou pomaleji než vnější, má být <i>tloušťka vnitřních stěn 0,7 až 0,8 tloušťky stěn vnějších</i>, h) tvar odlitku má dovést výrobu <i>jednoduchého modelu</i>, aby se forma dala vyrobit s požadovanou přesností, i) <i>otvory v odlitcích</i> předlévat až od určitého minimálního průměru, j) <i>důležité plochy</i>, které mají být bez vad, <i>umístit do spodku formy</i>, kde je větší hydrostatický tlak kovu a nečistoty jsou při lití vyneseny vzhůru, k) ke zvýšení pevnosti a zabránění tvorby trhlin je možno na odlitcích navrhnout <i>žebrování</i> (jsou-li umísťována výztužná žebra oboustranně, nikdy nesmí ústít proti sobě, ale musí být střídavě přesazena), l) vzít v úvahu hledisko snadného čištění a hledisko minimalizace obrábění.
--	--



Pojmy k zapamatování

Slévání, odlitek, slitina, kov, chemické složení, teplota, odlití, dutina formy, mikrostruktura, formovací směs, forma, jádro, tvárnost, ohnivzdornost, ostřivo, písek, zrno, pojivo, soudržnost, přirozené ostřivo, umělé ostřivo, pojivo, hlína, zrnitost, jednotná směs, modelová směs, výplňová směs, jádrová směs, ruční formování, strojní formování, ocel, vyplavitelná látka, sedimentační zkouška, granulometrická skladba, formovatelnost, jakost povrchu, prodyšnost, síto, hustota, vaznost, tvrdost formy, žáruvzdornost, rozpadavost, drobivost, tekutost, deformace, houževnatost, úprava, regenerace, sušení, lom, bubnová sušárna, drcení, grafit, koks, jíl, kulový mlýn, výsypka, prosévání, bubnové síto, střešovací síto, magnetický separátor, mísení, kolový mísič, žebrový mísič, kypření, dezintegrátor, areátor, suchá regenerace, mokrá regenerace, tepelná regenerace, bubnová pec, pomocná formovací látka, rovnovážná soustava železa s uhlíkem, cementit, grafit, rychlost ochlazování, litina, ocel na odlitky, uhlíková ocel, legovaná ocel, šedá litina, očkovaná litina, očkovač, krystalizace, mechanická vlastnost, žárupevnost, bílá litina, karbidotvorný prvek, perlit, temperovaná litina, metastabilní soustava, stabilní soustava, koroze, tvárná litina, globulární tvar, tvrzená litina, kokila, tavenina, neželezný kov, silumin, vytvrzování, bronz, smrtivost, mosaz, jaderník, pravé jádro, nepravé jádro, vytloutání odlitku, vtokový kanál,

	náletek, tepelné zpracování, netrvalá forma, trvalá forma, model, šablona, formovací rám, formovací stroj, formovací linka, lisování, strásání, metání, vstřelování, obrábění, prášková metalurgie, gravitační lití, tlakové lití, tavenina, odstředivé lití, plynulé lití, krystalizátor, rotační šablonování, rovinné šablonování, vodní sklo, skořepinová forma, pryskyřice, formovací hrnec, keramická forma, přesné lití, kašovitá směs, vytavitelný model, spalitelný model, vyplavitelný model, vsázka, tavicí pec, oxidace, legování, prvek, odpich, pánev, vyzdívka, teplota likvidu, mikrolegování, plynová pec, kuplová pec, šachtová pec, předpecí, odporová pec, indukční pec, indukovaný proud, oblouková pec, elektroda, lázeň, plazmová pec, vytloukáč rošt, otryskávání, omílání, moření, slévárenský postupový výkres, usměrněné tuhnutí, dělicí plocha, brzděné smrštění, volné lineární smrštění, jmenovitý rozměr, výkres odlitku, směrodatný rozměr, kóta, přídavek na obrábění, funkční plocha, technologický přídavek, slévárenský úkos, modelové zařízení, nedělený model, dělený model, modelová deska, výfuk, vtoková soustava, vtoková jamka, vtokový kanál, struskový kanál, rozváděcí kanál, zářez, struska, tepelný uzel, otevřený náletek, uzavřený náletek, podnálitková vložka, vrub, vztlaková síla, úkladek, žíhání, sferoidizační žíhání, kalení, popouštění, vada, žebro, vnitřní pnutí.
--	--

	Odměna a odpočinek
	Výborně, pomalu, ale jistě, se blížíte k úspěšnému zakončení studia učiva této studijní opory. Právě máte nastudováno učivo z osmé kapitoly ! Uvařte si svůj oblíbený čaj a dejte si k němu svou oblíbenou dobrůtku. Po relaxaci se pusťte do odpovědí na kontrolní otázky kapitoly.

	Kontrolní otázky
	Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo osmé kapitoly „Slévání“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek: 1. Co se rozumí technologií slévání? Na výrobu čeho je tato technologie vhodná? 2. Co jsou a na co slouží slévárenské formovací směsi? 3. Jaké jsou základní složky formovacích směsí? 4. Podle jakých hledisek se dají formovací směsi rozdělit? Na jaké druhy se dají formovací směsi následně rozdělit podle jednotlivých hledisek? 5. Dokážete popsat základní zkoušky slévárenských formovacích směsí? 6. Jaký je účel a etapy úpravy formovacích směsí? 7. Jaké jsou způsoby regenerace formovacích směsí? 8. K čemu slouží pomocné formovací látky? 9. Jaké rovnovážné soustavy železa s uhlíkem znáte? Na čem záleží, ve které z nich slitina krystalizuje? 10. Které materiály jsou používány na odlitky? 11. Jaké jsou etapy technologického procesu výroby odlitků? 12. Jaké druhy slévárenských forem znáte? Jakými způsoby se tyto formy vyrábí? 13. Dokážete popsat způsoby odlévání do kovových forem? 14. Jaké jsou zvláštní způsoby výroby odlitků?

	15. Jakým způsobem se připravuje tekutý kov pro odlévání? 16. Které jsou základní druhy pecí podle způsobu ohřevu? 17. Jak se provádí vytlačování a čištění odlitků? 18. Které vlastnosti se u hotových odlitků kontrolují? 19. Co je slévárenský postupový výkres? Co je výkres odlitku? 20. Jaké jsou zásady pro volbu polohy odlitku ve formě? 21. Jaké jsou zásady pro stanovení dělicí plochy? 22. Co je příčinou smrštění odlévaných slitin? Jakých dosahuje smrštění přibližně hodnot? Jakým způsobem se při výrobě odlitků smrštění zohledňuje? 23. Jaký je rozdíl mezi přídávky na obrábění a přídávky technologickými u odlitků? 24. Jaký je účel slévárenských úkosů modelů a odlitků? Jaké jsou druhy těchto úkosů? 25. Jaké jsou druhy modelů? Jakými způsoby se modely vyrábí? 26. Z jakých částí se skládá vtoková soustava? Jak se liší tvary kanálů pro šedou litinu a pro ocel? 27. Co je účelem výfuku? Kam se výfuk u odlitku umísťuje? 28. Jak se u odlitku pozná tepelný uzel? 29. Co je účelem nálitkování odlitků? Jak náletek funguje při tuhnutí odlitku? 30. Co je to usměrněné tuhnutí odlitku? 31. Jaké druhy nálitků znáte? 32. Jaký je účel použití podnálitkové vložky? Jak tato vložka funguje při tuhnutí odlitku? 33. Čím je způsobena vztahová síla působící na vršek formy? Jak se zabraňuje nadzvednutí horního formovacího rámu při odlévání? 34. Jaké jsou účely tepelného zpracování odlitků? 35. Jaké jsou druhy vad odlitků? 36. Dokážete vysvětlit konstrukční zásady pro navrhování odlitků?
--	---



Literatura

- [1] ČADA, R. *Technologie I – část tváření a slévání : návody do cvičení : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 188 s. ISBN 80-7078-540-3.
- [2] PETRŽELA, Z., KUČERA, J. a BŘEZINA, R. *Technologie slévání, tváření a svařování : skriptum*. 2. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1987. 378 s. (bez ISBN).
- [3] ČABELKA, J. a kol. *Mechanická technológia*. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1967. 1036 s. (bez ISBN).
- [4] SLOVÁK, S. a RUSÍN, K. *Teorie slévání*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. 232 s. (bez ISBN).
- [5] SILBERNAGEL, A. *Nauka o materiálu I : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1982. 331 s. (bez ISBN).
- [6] PLUHAŘ, J. a KORITTA, J. *Strojírenské materiály*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1977. 568 s. (bez ISBN).

	[7] BLAŠČÍK, F. a kol. <i>Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvárania</i>. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1988. 832 s. (bez ISBN). [8] KOŘENÝ, R. <i>Slévárenství neželezných kovů a slitin : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1971. 251 s. (bez ISBN). [9] PÍŠEK, F. a PLEŠINGER, A. <i>Slévárenství – II : Speciální část</i>. 1. vyd. Praha : SNTL, 1975. 408 s. (bez ISBN). [10] BŘEZINA, R. <i>Technologie I – část 2 : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1999. 86 s. ISBN 80-7078-639-6.
--	--

	Náměty pro tutoriál
	Uveďte příklady součástí, zhotovených technologií slévání. Objasněte důvody, proč bylo použití této technologie při jejich výrobě účelné. Popište postup výroby netvalé syrové formy pro lití. Objasněte konstrukční zásady pro navrhování odlitků a uveďte na konkrétních odlitcích příklady jejich uplatnění v praxi.

	Korespondenční úkol
	Program č. 4 „Slévání“ Zadání: Navrhňte technologický postup výroby zadané součásti sléváním: - nakreslete (tužkou, nebo s využitím PC) výrobní výkres součásti vyrobené z odlitku (tj. obrobený odlitek) při dodržení technologických zásad pro navrhování odlitků, - zvolte vhodný materiál součásti a vypočítejte hmotnost součásti, - navrhňte a zdůvodněte polohu odlitku ve formě a dělicí plochu, zvolte způsob zaústění vtoku do formy, - vypočítejte rozměry částí vtokové soustavy a výfuku, - v případě, že budou použity nálitky, vypočítejte dvěma způsoby (dle Chvorinova a dle Příbyla) jejich velikost a výsledky porovnejte, - vypočítejte vztlak kovu ve formě, - nakreslete slévárenský postupový výkres pro kusovou výrobu a ruční formování, - ke slévárenskému postupovému výkresu zpracujte výrobní postup odlitku, - popište postup výroby formy a jader pro zadaný odlitek, - navrhňte tepelné zpracování odlitku.

	Průvodce studiem
	Další kapitola se věnuje zcela odlišným technologiím, a to nekonvenčním způsobům tváření. Tyto technologie se uplatňují při výrobě součástí, když se docílí jejich vyšší kvalita, nebo když se docílí ekonomicky výhodnější výroba oproti klasickým technologiím.

© Radek Čada
Fakulta strojní
VŠB – TU Ostrava

9 NEKONVENČNÍ ZPŮSOBY TVÁŘENÍ

	Rychlý náhled do problematiky kapitoly
	Devátá kapitola objasňuje nekonvenční způsoby tváření, mezi nimi především tváření vysokými tlaky a energiemi. Je popsáno tažení s pružnou tažnicí, tažení s pružným tažníkem, termální tažení, tažení superplastických materiálů, tažení expanzním tažníkem, kovotlačení, tváření elektrohydraulické, elektromagnetické, hydromechanické, frekvenční a ultrazvukové tváření, tváření výbuchem a tváření expanzí plynů. Člení se na následující podkapitoly: 9.1 Tváření vysokými rychlostmi 9.1.1 Tváření expanzí plynů 9.1.2 Tváření výbuchem 9.1.3 Tváření elektrohydraulické 9.1.4 Tváření elektromagnetické 9.2 Tváření vysokými tlaky 9.3 Tváření nepevnými nástroji 9.3.1 Stříhání pryží 9.3.2 Tažení pryží 9.3.3 Tažení plechů pomocí kapaliny 9.4 Radiální vypínání 9.5 Tažení expanzním tažníkem 9.6 Tažení s použitím místního ohřevu 9.7 Tváření v superplastickém stavu 9.8 Frekvenční a ultrazvukové tváření 9.9 Kovotlačení 9.10 Lisování součástí z práškových materiálů

	Cíle kapitoly
	Budete umět: • popsat podstatu tváření vysokými rychlostmi, • objasnit tváření expanzí plynů včetně jeho výhod, • vysvětlit technologii elektromagnetického tváření, • popsat technologie stříhání a tažení pryží, • vysvětlit technologii frekvenčního a ultrazvukového tváření, • objasnit způsoby výroby součástí kovotlačením, • vysvětlit podstatu práškové metalurgie a její výhody a nevýhody, • popsat způsoby tváření práškových materiálů. Získáte: • znalosti o elektrohydraulickém tváření, • přehled o technologii tváření vysokými tlaky, • poznatky o technologiích tváření nepevnými nástroji, • informace o technologiích radiálního vypínání,

	• přehled o technologii tváření v superplastickém stavu, • znalosti o hlavních způsobech výroby práškového kovu. Budete schopni: • vysvětlit způsoby tváření výbuchem plynové směsi, střeliviny nebo trhaviny, • popsat různá přenosová prostředí mezi zdrojem energie a polotovarem, • uvést technologie tažení plechů pomocí kapaliny, • objasnit technologii tažení expanzním tažníkem, • vysvětlit podstatu technologie tažení s použitím místního ohřevu, • objasnit etapy technologického procesu výroby součástí z práškových materiálů, • popsat použití práškových materiálů.
--	---

	Klíčová slova kapitoly
	Tváření, buchar, výbuch, střelivina, trhavina, zápustka, dynamická mez kluzu, kubická mřížka, dvojčatění, tepelný efekt, zotavení, rekrystalizace, deformační rychlost, exponent deformačního zpevnění, napětí, deformace, expanze, plyn, beran, pneumaticko-mechanické tváření, tvářecí stroj, lis, rázová vlna, plynová směs, přenosové médium, vodní vak, nálož, vodní beran, tvárnice, plátování, difúzní spoj, mechanický spoj, odpružení, elektrohydraulické tváření, impulzní tlak, vysokonapěťový výboj, tlaková vlna, kapalina, elektroda, explodující drátek, reflektor, odrážec, tvářitelnost, kondenzátor, elektromagnetické tváření, cívka, magnetické pole, indukovaný vířivý proud, expanzní tváření, kompresní tváření, koncentrátor, měrný tlak, tření, mazivo, deformační odpor materiálu, hydrostatické protlačování, průtláčník, polotovar, zásobník, průtláčnice, nepevný nástroj, polytan, pryžový polštář, tažnice, měrný tlak, výtažek, sekundární zvlnění, aktivní tření, plech, součinitel odstupňování tahu, víceoperační tažení, membrána, gumový vak, hydromechanické tažení, těsnění, přidržovač, tažná komora, přístřih, radiální vypínání, rozšiřování trubek, zdvih, segment, kužel, expanzní tažník, příruba, odporový ohřev, superplastický stav, ochranná atmosféra, frekvenční tváření, ultrazvukové tváření, plasticita, kovotlačení, rotační tlačení plechů, kroužlení, tvářecí kladka, tvářecí váleček, prášková metalurgie, prášek, buben, kulový mlýn, slinování, spékání, kalibrování, tepelné zpracování, kalení, napájení, fosfátování, mletí, kolový mlýn, rozprašování, oběhové tváření, lisovník, žárové lisování, matrice, izostatické lisování, kování, předlisek, průběžná pec, bimetalický pás, slinutý karbid, kluzný materiál, kovový filtr, pórovitost.

	Čas potřebný ke studiu kapitoly: 4 hodiny
---	---

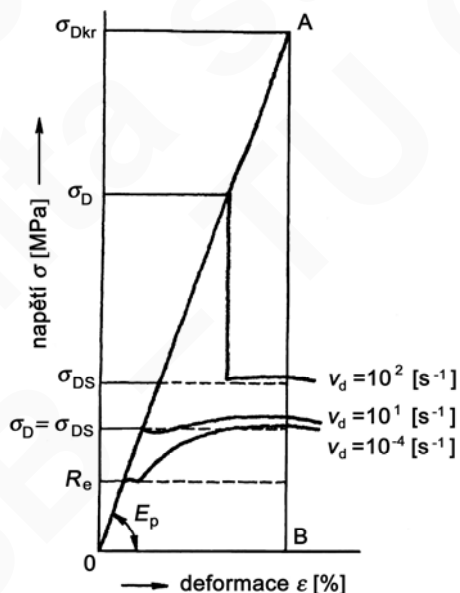
	Průvodce studiem
	Tato kapitola je důležitým teoretickým základem pro pochopení nekonvenčních výrobních technologií, které se používají pro výrobu součástí, když se docílí jejich vyšší kvalita, nebo když se docílí ekonomicky výhodnější výroba než při použití klasických technologií.

Mezi základní nekonvenční způsoby tváření je možné zařadit:

1. tváření vysokými rychlostmi (viz 9.1),
2. tváření vysokými tlaky (viz 9.2),
3. tváření nepevnými nástroji (viz 9.3),
4. radiální vypínání (viz 9.4),
5. tažení expanzním tažníkem (viz 9.5),
6. tažení s použitím místního ohřevu (viz 9.6),
7. tváření v superplastickém stavu (viz 9.7),
8. frekvenční a ultrazvukové tváření (viz 9.8),
9. kovotlačení (viz 9.9),
10. lisování součástí z práškových materiálů (viz 9.10).

9.1 Tváření vysokými rychlostmi

- využívá se několikanásobně vyšších tvářecích rychlostí oproti klasickému tažení – klasické technologie tváření: 0,1 až 10 m/s, rychloběžné buchary (pneumaticko-mechanické): 15 až 60 m/s, tváření výbuchem střelivin nebo plyných směsí: 10 až 140 m/s, tváření výbuchem trhavin: 250 m/s, vzorek vystřelený proti zápuště: až 800 m/s,
- se zvyšující se rychlostí deformace *vzrůstá mez kluzu materiálu na hodnotu dynamické meze kluzu* (při rychlosti tváření nad 10 m/s je nutno rozlišovat dvě dynamické meze kluzu – stabilní σ_{Ds} a nestabilní σ_D) (obr. 9.1),



Obr. 9.1 Závislost $\sigma - \epsilon$ pro různé deformační rychlosti (R_e – statická výrazná mez kluzu, σ_{Ds} – stabilní dynamická mez kluzu, σ_D – nestabilní dynamická mez kluzu)

- kovy s prostorově středěnou kubickou mřížkou se při tváření vysokými rychlostmi deformují prakticky jen *dvoučatěním*,
- vlivem tepelného efektu při velkých tvářecích rychlostech nastává v materiálu *zotavení a rekrytalizace* (*zpevňování materiálu je minimální*),

- při růstu deformační rychlosti se zmenšuje oblast plastických deformací, **stoupá kritická teplota křehkosti**, při které se skokem mění vlastnosti materiálu (pokud by dosáhla tvářecí teploty, došlo by ke křehkému porušení).

Stabilní dynamická mez kluzu:

$$\sigma_{Ds} = R_e \left(\frac{v_d}{v_s} \right)^n, \quad (9.1)$$

kde jsou R_e – statická výrazná mez kluzu (MPa), v_d – deformační rychlost při dynamickém zatížení (s^{-1}), v_s – deformační rychlost při statickém zatížení (s^{-1}), n – exponent deformačního zpevnění materiálu (–).

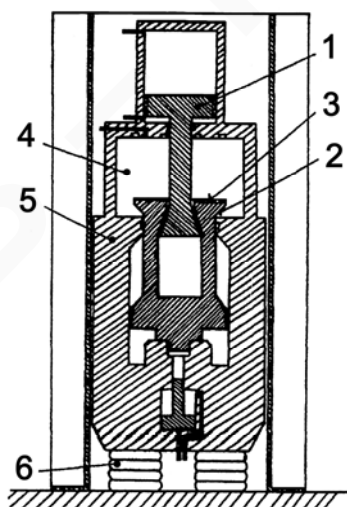
Nestabilní dynamická mez kluzu (*špičkové napětí trvajících jen po dobu průchodu pružné vlny deformace*):

$$\sigma_D = \rho \cdot c \cdot v, \quad (9.2)$$

kde jsou ρ – deformační rychlost při dynamickém zatížení (s^{-1}), c – rychlost pružné vlny (E/ρ)^{1/2} ($m \cdot s^{-1}$), pro oceli dosahuje hodnot cca $5000 \text{ m} \cdot s^{-1}$, E – modul pružnosti (MPa), v – rychlost hmotných částic ($m \cdot s^{-1}$).

9.1.1 Tváření expanzí plynů

- principem je **expanze plynu, stlačeného na vysoký tlak (vzduch)** nebo **plynu, který se prudce odpaří z kapalného stavu (kapalný dusík – je poměrně levný, inertní)**,
- **zvýšením rychlosti tváření lze** snížit hmotnost beranu při konstantní kinetické energii ($W_k = 1/2 m v^2$) – např. u **pneumaticko-mechanického tváření** na bucharech (obr. 9.2),
- **výhody:** menší hmotnost tvářecího stroje, menší základy stroje, složité tvary lze tvářet jedním úderem, snížení hmotnosti výkovek vlivem dokonalejšího plnění zápustky, možnost tváření těžkovtavitelných materiálů.



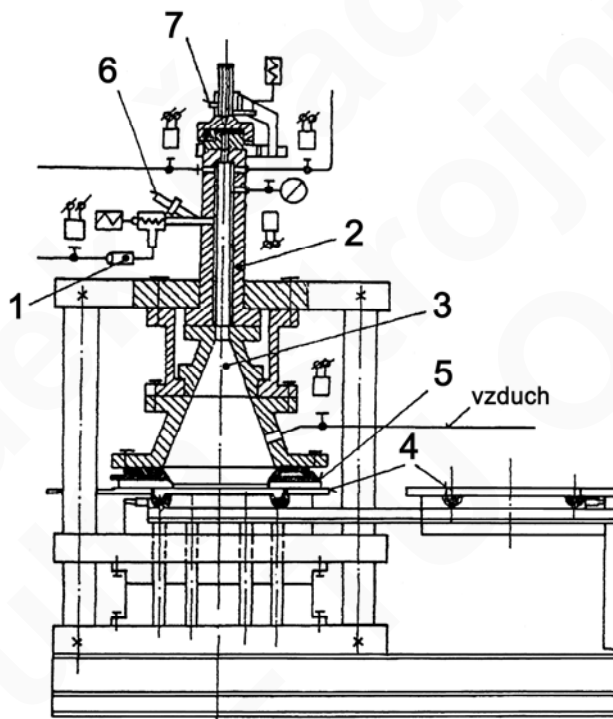
Obr. 9.2 Pneumaticko-mechanický buchar YVK (1 – píst, 2 – beran, 3 – mezikruží, 4 – pracovní válec, 5 – protiběžná část, 6 – odpružení)

9.1.2 Tváření výbuchem

- Podstatou metody je *nahrazení lisovníků a lisů účinkem rázové vlny z hoření plynové směsi, střeliviny, nebo trhaviny*.

a) tváření výbuchem plynové směsi (obr. 9.3)

- energie se uvolňuje hořením *paliva* (vodík, metan, propan-butan) s *okysličovadlem* (kyslík, vzduch),
- působit na tvářený materiál lze *přímo, pomocí přenosového média* (kapalina), nebo *pomocí pístu* (buchar),
- výhody*: plynová směs může být připravena k odpálení v krátkém čase, směs zaujímá tvar vnitřního prostoru nádoby, složení směsi lze upravovat a tím regulovat rychlost hoření,
- použití *pro velkorozměrové tenkostěnné součásti*.

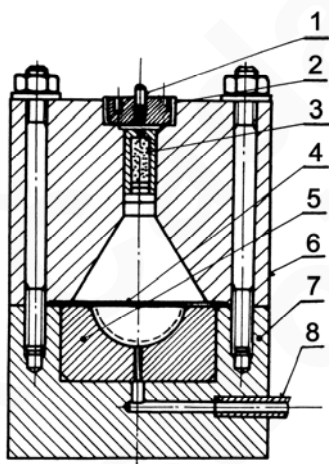


Obr. 9.3 Nástroj pro tváření výbuchem plynové směsi (1 – přívod okysličovadla, 2 – detonační trubka, 3 – spalovací komora, 4 – polotovar, 5 – těsnění, 6 – zážeh plynu, 7 – přívod plynu)

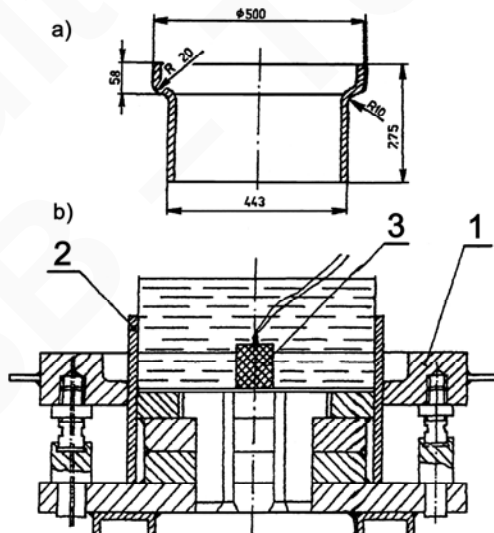
b) tváření výbuchem střeliviny nebo trhaviny

- kontakt tvářeného materiálu se zdrojem energie může být *bezprostřední* (kontaktní technologie), *zprostředkovaný nosným médiem*, nebo *pevným nástrojem*,
- přenosovým prostředím mezi zdrojem energie a polotovarem může být *vzduch* (nálož ve výšce nad polotovarem, obr. 9.4), *vodní vak* (s náloží uvnitř, tzv. *vodní beran*, obr. 9.5), *vodní nádrž* (v ní nálož i polotovar, obr. 9.6), *písek nebo zemina* (v něm nálož i polotovar, obr. 9.7), *plastické médium* (zvyšuje potřebnou hmotnost nálož, zajišťuje však rovnoměrnější rozložení tlaku, obr. 9.8),

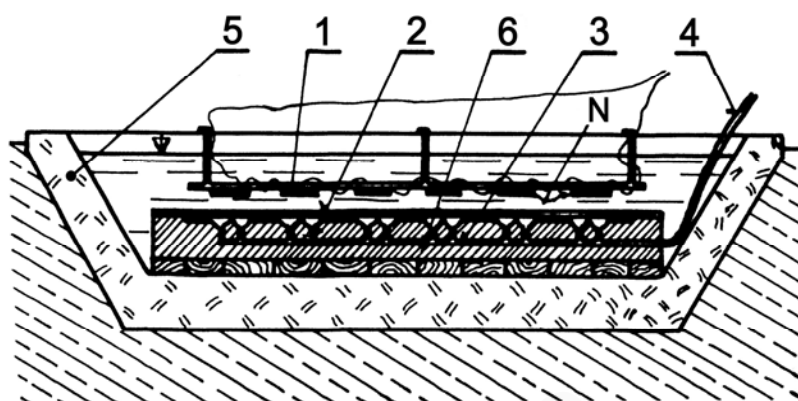
- k dokonalému vytvarování je třeba, aby měl vzduch, nacházející se mezi tvárnici a tvářeným materiálem, v průběhu tvářecího procesu možnost úniku (*dostatečně velký otvor* nebo *vytvoření vakua odsáním vzduchu trubkou*),
- vhodné *pro kusovou výrobu rozměrných součástí*, pro které nelze použít tvářecí stroje (obr. 9.9 a 9.10),
- využívanou aplikací je *plátování materiálů* (lze spojovat i metalurgicky nespojitelné materiály, tlaková vlna vytvoří mechanický spoj, který se při dalším zpracování transformuje do spoje difúzního) (obr. 9.11),
- *výhody*: minimální náklady na rozměrné nástroje, tvářený plech vykazuje malé odpružení,
- *nevýhody*: velká hlučnost, otřesy, nízká produktivita práce.



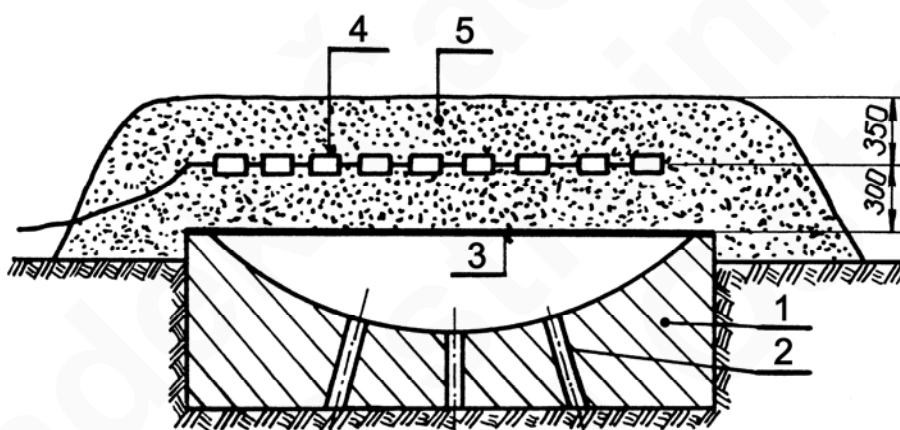
Obr. 9.4 Tváření výbuchem střeliviny nebo trhaviny, kdy přenosovým prostředím je vzduch
(1 – elektrická pilule k zážehu, 2 – uzávěr expanzního prostoru, 3 – pouzdro se střelným prachem, 4 – tvářený plech, 5 – tvárnice, 6 – horní část nástroje, 7 – dolní část nástroje, 8 – trubka k odsávání vzduchu)



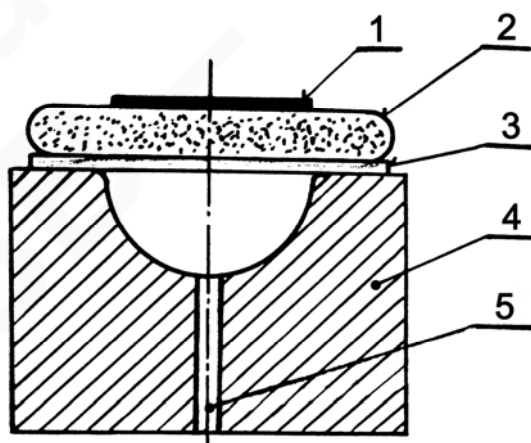
Obr. 9.5 Tváření výbuchem střeliviny nebo trhaviny, kdy přenosovým prostředím je vodní vak
(a – hotový výlisek, b – sestava tvářecího nástroje pro rozšiřování trubek, 1 – matrice, 2 – polotovaz, 3 – nálož)



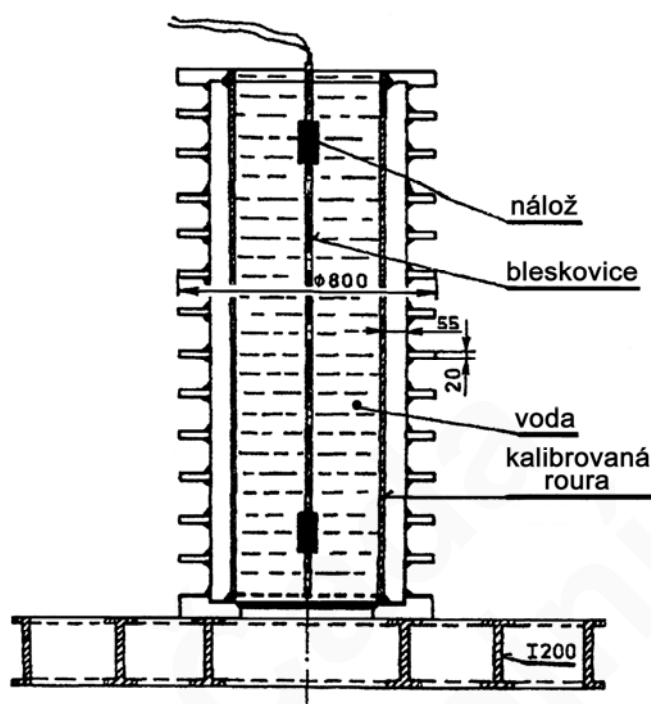
Obr. 9.6 Tváření výbuchem střeliviny nebo trhaviny, kdy přenosovým prostředím je vodní nádrž (1 – konstrukce s náložemi, 2 – plech, 3 – tvárnice, 4 – hadice k odsávání vzduchu, 5 – betonová nádrž s vodou, 6 – spojovací otvor)



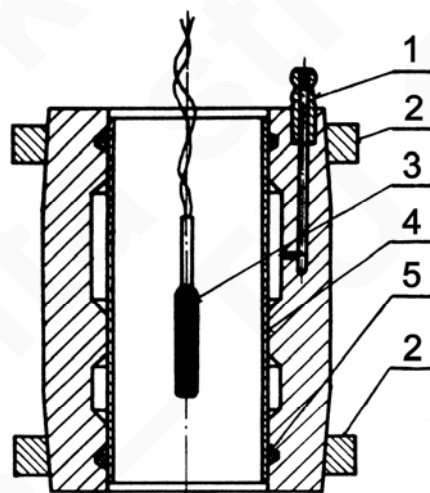
Obr. 9.7 Tváření výbuchem střeliviny nebo trhaviny, kdy přenosovým prostředím je písek nebo zemina (1 – tvárnice, tj. nástroj, 2 – odvědušňovací otvor, 3 – plech, 4 – nálož trhaviny, 5 – písek nebo zemina)



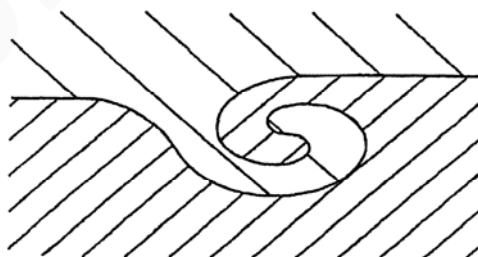
Obr. 9.8 Tváření výbuchem střeliviny nebo trhaviny, kdy přenosovým prostředím je plastické médium (1 – trhavina, 2 – plastická látka, 3 – plech, 4 – tvárnice, 5 – otvor pro odchod vzduchu)



Obr. 9.9 Tváření výbuchem válcových polotovarů – kalibrace rozměrných trubek



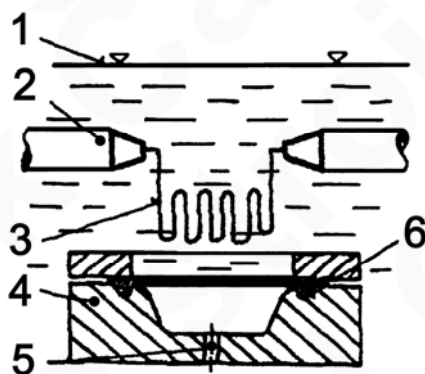
Obr. 9.10 Tváření výbuchem válcových polotovarů – rozšiřování rozměrné trubky (1 – odsávací trubka, 2 – zděř, která stahuje tvárnici, 3 – nálož s rozbuškou, 4 – polotovar, 5 – pryžové těsnění)



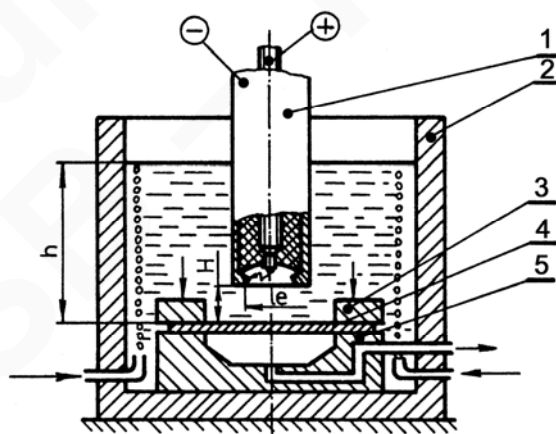
Obr. 9.11 Spoj vzniklý výbuchovým plátováním

9.1.3 Tváření elektrohydraulické

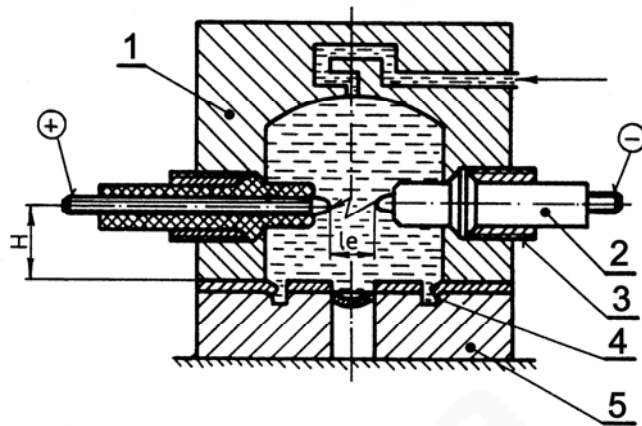
- změna tvaru polotovaru je způsobena **impulzním tlakem**, který vzniká v kapalině v důsledku **vysokonapětového výboje** (tlaková vlna se v kapalině šíří nadzvukovou rychlostí),
- výboj může být uvolněn **mezi dvěma elektrodami**, nebo **přes explodující drátek** (drátkem lze směřovat postup expanzní vlny, zvyšuje se účinnost výboje, páry odpařeného drátku zvyšují expanzní tlak, obr. 9.12),
- elektrohydraulické tváření lze provádět **v otevřeném objemu** (v nádrži s hladinou, obr. 9.13 a 9.15), nebo **v uzavřeném objemu** (v kapalině v uzavřené komoře, obr. 9.14),
- u součástí se složitou geometrií lze tlakovou vlnu směřovat a koncentrovat odražeči – **reflektory** (obr. 9.16),
- **výhody**: lze tvářet i plechy s vyšší R_m a nižší tvářitelností, snadná opakovatelnost, zařízení je šetrné k životnímu prostředí,
- **nevýhody**: nízká produktivita díky vedlejším časům, rozměry dílců jsou limitovány velikostí zařízení a kapacitou kondenzátorů.



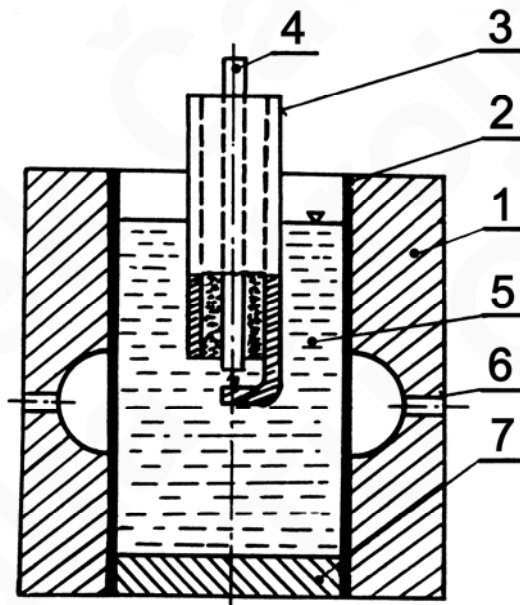
Obr. 9.12 Elektrohydraulické tváření s explodujícím drátkem (1 – vodní hladina, 2 – elektroda, 3 – drátek, 4 – nástroj, 5 – odvodušnění, 6 – těsnění polotovaru)



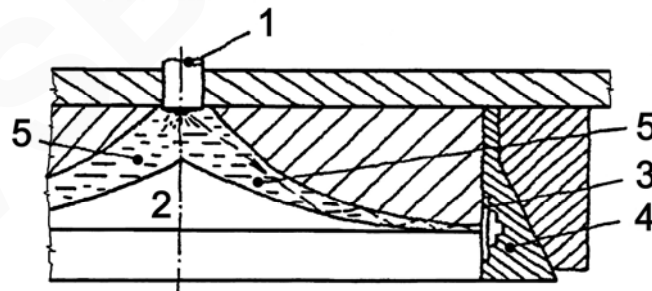
Obr. 9.13 Elektrohydraulické tváření v otevřeném objemu (1 – elektroda, 2 – nádrž, 3 – přídržovač, 4 – plech, 5 – matrice)



Obr. 9.14 Elektrohydraulické tváření v uzavřeném objemu (1 – komora, 2 – elektroda, 3 – matrice, 4 – součást, 5 – matrice)



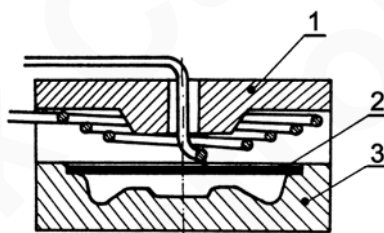
Obr. 9.15 Elektrohydraulické tváření válcového polotovaru v otevřeném objemu (1 – tvárnice, 2 – tvářený plech, 3 – vnější elektroda, 4 – vnitřní elektroda, 5 – voda, 6 – odvěšňovací otvor, 7 – pryžová zátka)



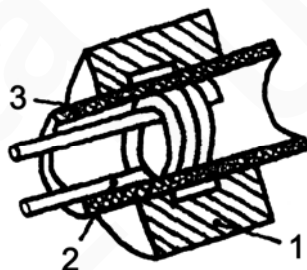
Obr. 9.16 Elektrohydraulické tváření v nástroji s reflektorem (1 – elektroda, 2 – reflektor, 3 – polotovar, 4 – nástroj, 5 – kapalina)

9.1.4 Tváření elektromagnetické

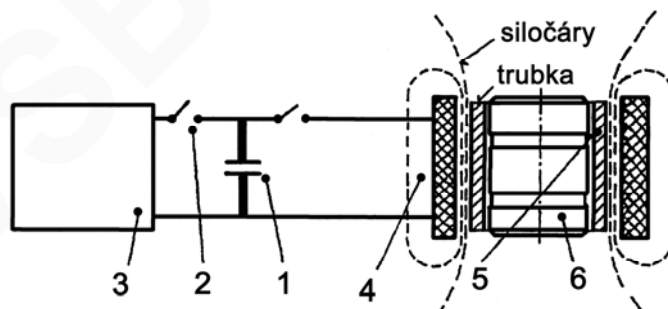
- elektrická energie akumulovaná v kondenzátorech je vybita během 10 až 100 milisekund přes *indukční cívku* (tzv. *tvářecí cívka* – plošná nebo prostorová), čímž dochází k vytvoření silného impulzního magnetického pole (*primární magnetické pole*) (obr. 9.17),
- indukovaný vířivý proud vybudí v okolí povrchu vloženého polotovaru *sekundární magnetické pole*, ke tváření se využívá *odpudivá síla obou polí* (tato síla je rázová)
- materiál polotovaru musí být vodivý* (nejméně 10 % vodivosti mědi), proto se používá Cu a její slitiny, Al a jeho slitiny, mosaz, Ni, Zn a méně často ocel,
- podle vzájemné polohy cívky a polotovaru se tváření dělí na *expanzní* (cívka je v dutině polotovaru, obr. 9.18) a *kompresní* (polotovar je uvnitř cívky, obr. 9.19),
- magnetické pole lze usměrňovat *tzv. koncentrátory* (koncentrují měrný tlak do určitých míst) (obr. 9.20),
- tváření probíhá bez kontaktu*, proto nenastává tření a není tedy třeba používat mazivo,
- výhody*: možnost tváření polotovarů pokrytých izolačními povrchy, možnost spojování kovových materiálů s nevodiči a křehkými materiály, jednoduchý nástroj (malá hlučnost, velká životnost), technologická pružnost (výměnou koncentrátorů).



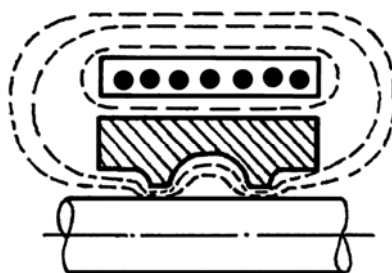
Obr. 9.17 Elektromagnetické tváření (1 – tvářecí cívka, 2 – plech, 3 – tvárnice)



Obr. 9.18 Expanzní elektromagnetické tváření (1 – matrice, 2 – cívka, 3 – polotovar)



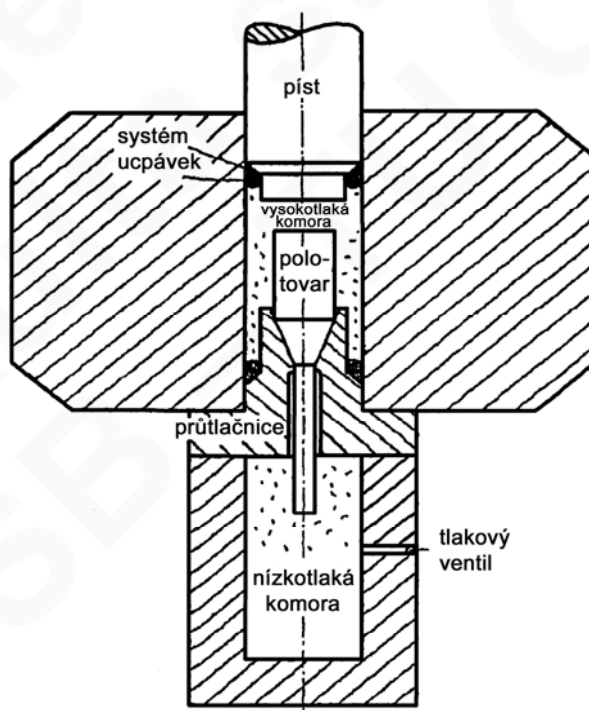
Obr. 9.19 Kompresní elektromagnetické tváření (1 – kondenzátor, 2 – spínač, 3 – zdroj, 4 – cívka, 5 – siločáry, 6 – matrice)



Obr. 9.20 Koncentrace magnetického pole při elektromagnetickém tváření
(1 – cívka, 2 – koncentrátor, 3 – polotovar)

9.2 Tváření vysokými tlaky

- *všestranný tlak zvyšuje tvářitelnost materiálu* (vznik a rozvoj mikrotrhlin je silně omezen), zvyšuje také deformační odpor materiálu,
- příkladem je *hydrostatické protlačování* (není přímý kontakt průtlačníku s materiálem, vysokotlaké médium obklopuje polotovar ze všech stran, obr. 9.21),
- *tlaková média*: voda, petrolej, benzín, olej, etylalkohol atd.,
- *výhody*: odpadá tření mezi polotovarem a zásobníkem, lze tvářet křehké materiály, lze použít různý profil polotovaru pro stejnou průtlačnici, lze zvýšit stupeň deformace a rychlost protlačování,
- *nevýhody*: složité zařízení, problémy s vyvozením vysokých tlaků (těsnicí elementy, viskozita a stlačitelnost kapaliny).



Obr. 9.21 Schéma nástroje pro hydrostatické protlačování

9.3 Tváření nepevnými nástroji

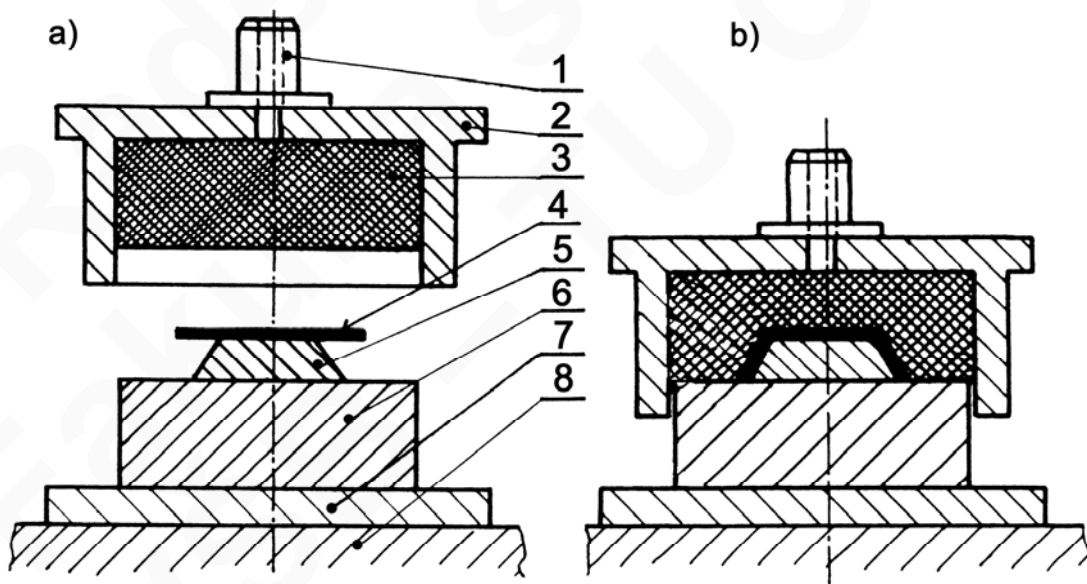
- *jedna část nástroje je nepevná a tvoří ji tlakové médium* (pryž, polytan, tlaková kapalina).

9.3.1 Stříhání pryží

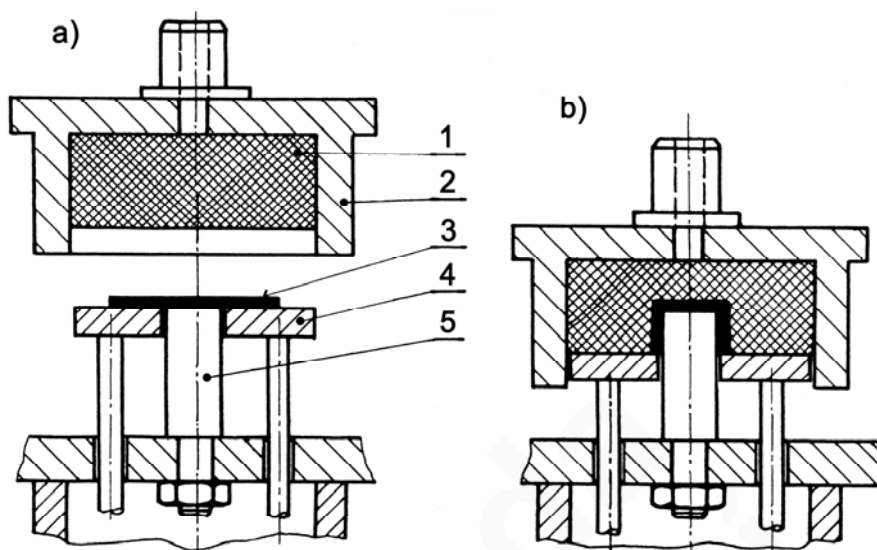
- charakteristika vystřihování součástí z tenkých plechů gumou je uvedena v dřívější kapitole věnované *stříhání*.

9.3.2 Tažení pryží

- *tažnicí je univerzální pouzdro s pryžovým polštářem* – tváření metodou **Guerin** (bez přidržovače, vhodné pro mělké tahy, obr. 9.22) a **Marform** (s přidržovačem, vhodné pro hlubší tahy, obr. 9.23),
- *měrný tlak je rovnoměrně rozložen*, působí účinně i na stěny výtažků (odstranění rizika sekundárního zvlnění, vznik aktivních třecích sil mezi tažníkem a plechem),
- lze dosáhnout *nižších hodnot součinitelů odstupňování tahů* (pro měkkou ocel až $M_1 = 0,41$) a tím menšího počtu tahů u víceoperačního tažení,
- *nevýhody*: větší spotřeba energie – nutná na deformaci pryže, než se dosáhne potřebných měrných tlaků (používané lisy musí mít až 4x vyšší tonáž, než u konvenčního tažení),
- pryž lze nahradit *polytanem* (jde o polyuretan, který vyniká značnou otěruvzdorností a vysokými dovolenými měrnými tlaky).



Obr. 9.22 Tažení pryží metodou Guerin (a – situace při vložení přístřihu, b – situace při dokončení tažení, 1 – upínací trn, 2 – objímka, 3 – pryžový polštář, 4 – přístřih z plechu, 5 – tažník, 6 – ponorná deska, 7 – upínací deska, 8 – stůl lisu)

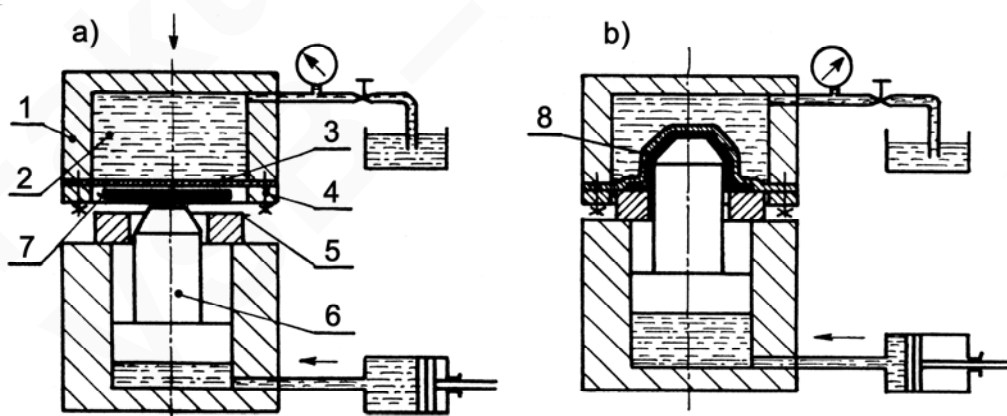


Obr. 9.23 Tažení pryže metodou Marform (a – situace při vložení přístřihu, b – situace při dokončení tažení, 1 – pryžový polštář, 2 – objímka, 3 – přístřih z plechu, 4 – přídržovač, 5 – tažník)

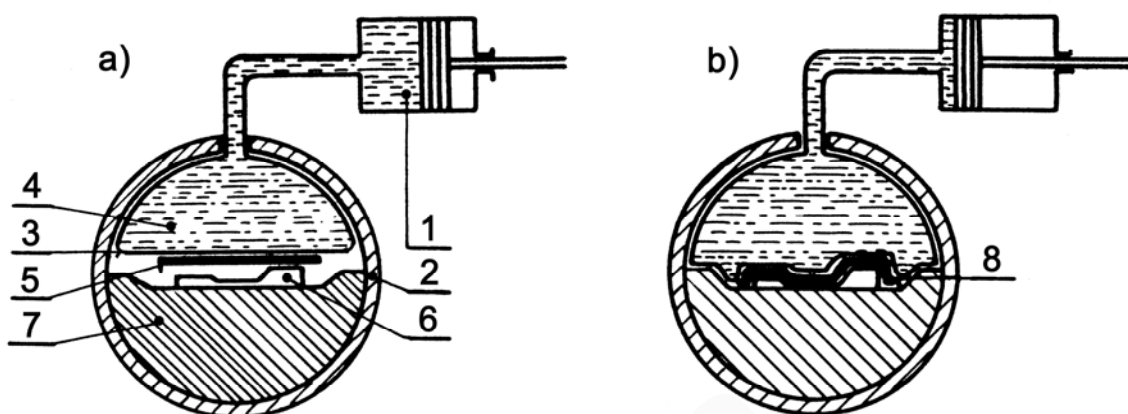
9.3.3 Tažení plechů pomocí kapaliny

Rozdělení:

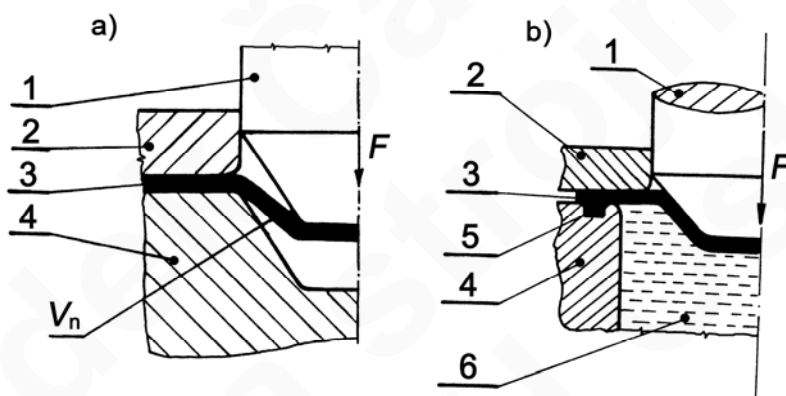
- a) **tažení metodou Hydroform** (*tvářecí kapalina je uzavřena ve speciálním pouzdru, které je utěsněno pryžovou nebo polytanovou membránou*, obr. 9.24),
- b) **tažení metodou Wheelon** (*tažení gumovým vakem, ovládaným tlakovou kapalinou*, obr. 9.25),
- c) **hydromechanické tažení** (*na čelní ploše tažnice je těsnění, řídicími parametry jsou síla přídržovače a tlak kapaliny v tažné komoře, jejíž odtok je řízen regulačním ventilem hydraulického obvodu, výhody: lze dosahovat nižší hodnoty součinitelů odstupňování tahů, menší nebezpečí ztenčování stěn, v jedné tažné komoře lze výměnou tažníků táhnout různé tvary výtažků, možnost tažení složitých tvarů* obr. 9.26).



Obr. 9.24 Tažení metodou Hydroform (a – situace při vložení přístřihu, b – situace při dokončení tažení, 1 – objímka, 2 – tlaková kapalina, 3 – pryžová membrána, 4 – příruba, 5 – přídržovač, 6 – tažník, 7 – přístřih, 8 – výtažek)



Obr. 9.25 Tažení metodou Wheelon (a – situace při vložení přístřihu, b – situace při dokončení tažení, 1 – tlakový válec, 2 – objímka, 3 – pryžový vak, 4 – tlaková kapalina, 5 – přístřih, 6 – tažník, 7 – základová deska, 8 – výtažek)



Obr. 9.26 Porovnání konvenčního a hydromechanického tažení (a – konvenční tažení, b – hydromechanické tažení, 1 – tažník, 2 – přidržovač, 3 – polotovar, 4 – tažnice, 5 – těsnění, 6 – tlaková kapalina, V_n – nepřidržívaná část výtažku)



Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady využití hydromechanického tažení při výrobě výtažků v praxi.

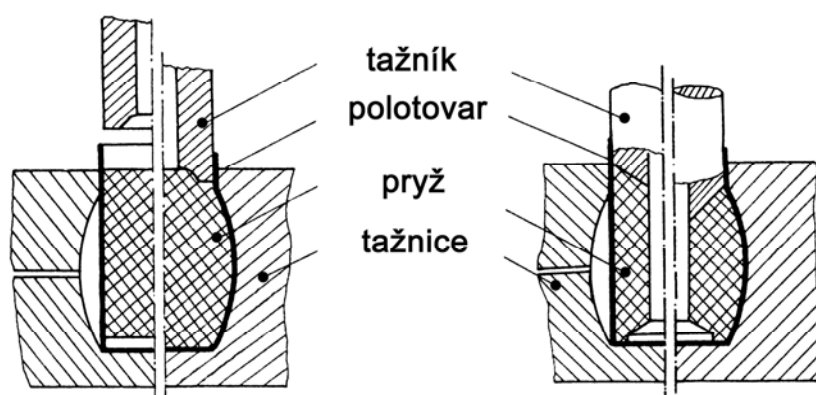
9.4 Radiální vypínání

- provádí se *s využitím nepevných nebo pevných nástrojů* (cílem obou metod je *dosažení rovnoměrně rozloženého tlaku na vnitřním povrchu polotovarů*).

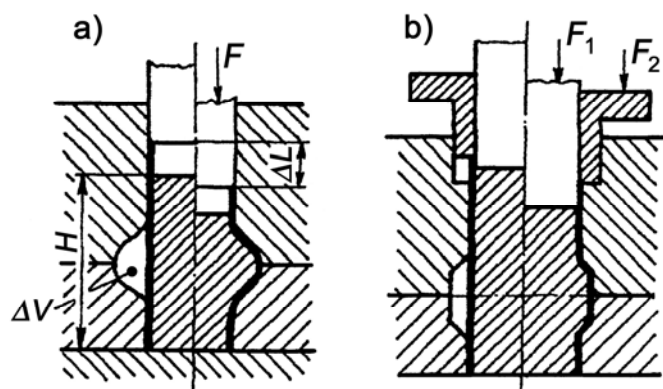
Rozdělení:

- a) **radiální vypínání s aktivní tlakovou osovou silou** (vhodné pro rozšiřování trubek, *dosáhne se* zvýšení přesnosti rozměrů, snížení ztenčení stěny, snížení síly pro stlačení polytanu, větších stupňů deformace do porušení, obr. 9.27 a 9.28),

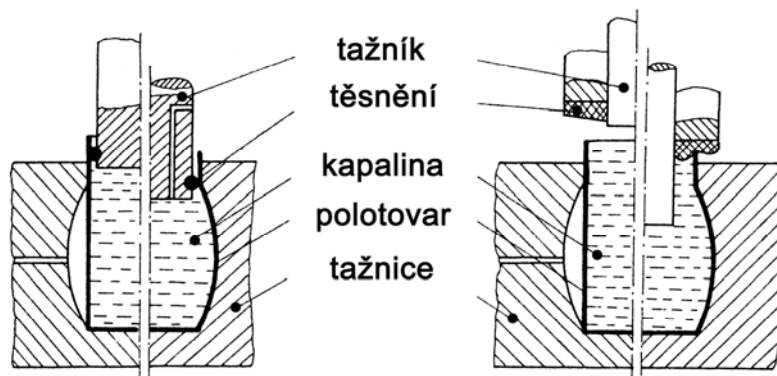
- b) **radiální vypínání s využitím kapalinových systémů** (tlak kapaliny je řízen v závislosti na zdvihu lisovníku hydraulickým okruhem, obr. 9.29 a 9.30),
- c) **radiální vypínání expanzí segmentů pevného nástroje** (nevýhodou je vznik *otisků hran jednotlivých segmentů*, větší ztenčení materiálu v mezeře mezi segmenty, než v úsecích pod segmenty. *Tyto vady lze zmírnit* dobrým mazáním, dostatečným počtem segmentů – min. 12, pootáčením polotovarů během vypínání o poloviční rozteč segmentů, případně pokrytím segmentů a mezer gumovým oddělovacím pláštěm, obr. 9.31 a 9.32),
- d) **radiální vypínání součástí tvaru kužele** – je nebezpečí zvlnění konce o menším průměru vlivem tlakových napětí (řešením je *uchycení konce o větším průměru přídržovačem* nebo postupným nabalováním polotovaru ode dna tažnice směrem k hornímu okraji pomocí *polytanových desek různého průměru*, obr. 9.33 a 9.34).



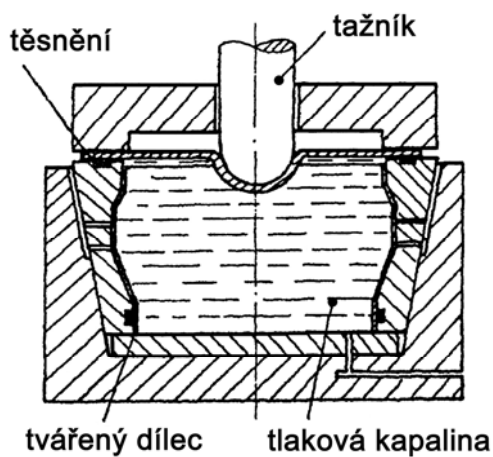
Obr. 9.27 Radiální vypínání s využitím pryže (1 – tažník, 2 – polotovar, 3 – pryž, 4 – tažnice)



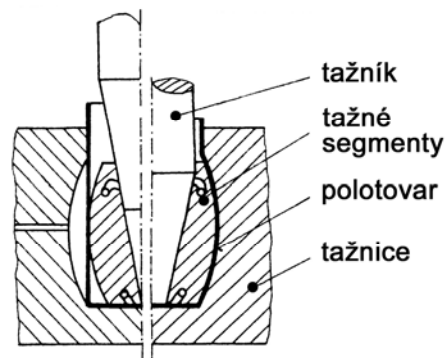
Obr. 9.28 Radiální vypínání trubek s aktivní tlakovou osovou silou (a – lisovník zajišťuje stlačování polytanu i osovou silou, b – obě síly jsou řízeny samostatně)



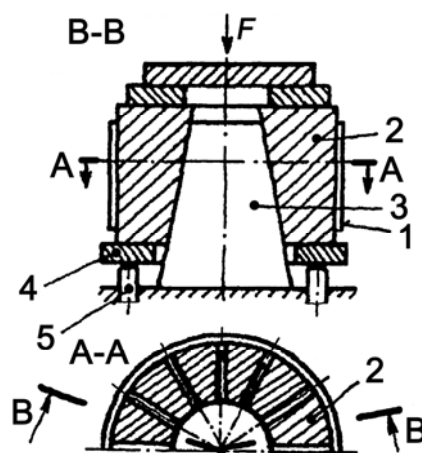
Obr. 9.29 Radiální vypínání s využitím kapalinových systémů (1 – tažník, 2 – těsnění, 3 – kapalina, 4 – polotovár, 5 – tažnice)



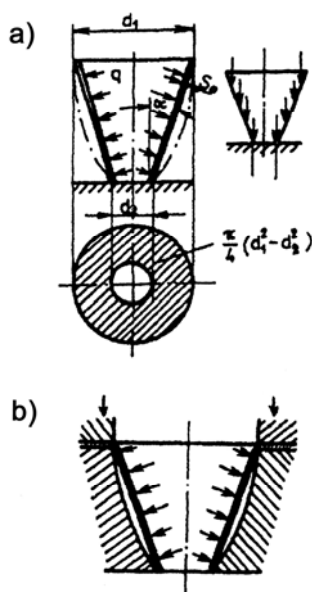
Obr. 9.30 Radiální vypínání trubkového polotovaru kapalinou



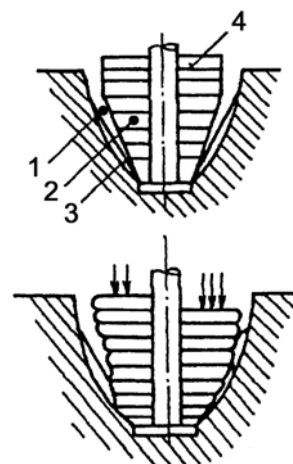
Obr. 9.31 Radiální vypínání expanzí segmentů pevného nástroje (1 – tažník, 2 – tažné segmenty, 3 – polotovár, 4 – tažnice)



Obr. 9.32 Radiální vypínání trubkového polotovaru expanzí segmentů pevného nástroje (1 – vypínaný trubkový polotovár, 2 – tažné segmenty, 3 – rozpínací trn, 4 – podložka, 5 – vyhazovač)



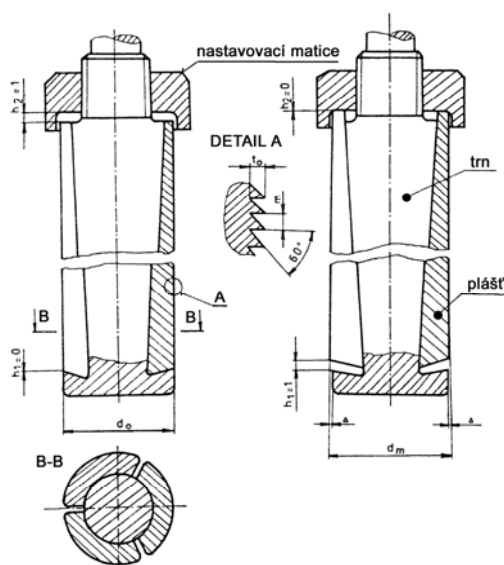
Obr. 9.33 Mechanismus zatížení kuželového polotovaru (a – bez vypínání, b – s uchycením konce o větším průměru přidržovačem, tj. s vypínáním)



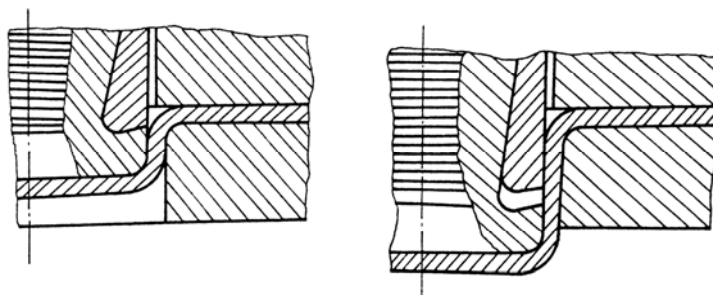
Obr. 9.34 Radiální vypínání součástí tvaru kužele s použitím kruhových polytanových desek (1 – nestejná mezera, 2 – kruhová polytanová deska, 3 – polotovar, 4 – kruhová vložka z plechu opatřená kruhovými ryskami umístěná mezi polytanovými deskami)

9.5 Tažení expanzním tažníkem

- *tažník je složen z trnu a děleného pláště, který je vroubkovaný* (obr. 9.35 a 9.36),
- vlivem tření na počátku tažení dojde ke skluzu pláště tažníku po kuželovém trnu a jeho roztažení, tím dojde ke *vtlačení zubů vroubkovaného pláště do vnitřní stěny výtažku* (dojde tím k přesunu kritické oblasti přenosu tažné síly do stěny výtažku, která je již zpevněna předešlou deformací),
- lze dosáhnout *snížení hodnoty součinitele odstupňování tahů o 20 až 25 %*.



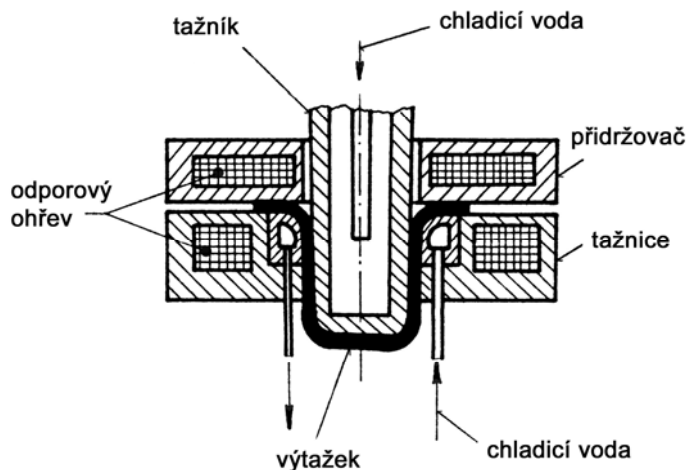
Obr. 9.35 Sestava expanzního tažníku před a po rozšíření děleného pláště, který je vroubkovaný



Obr. 9.36 Princip tažení expanzním tažníkem

9.6 Tažení s použitím místního ohřevu

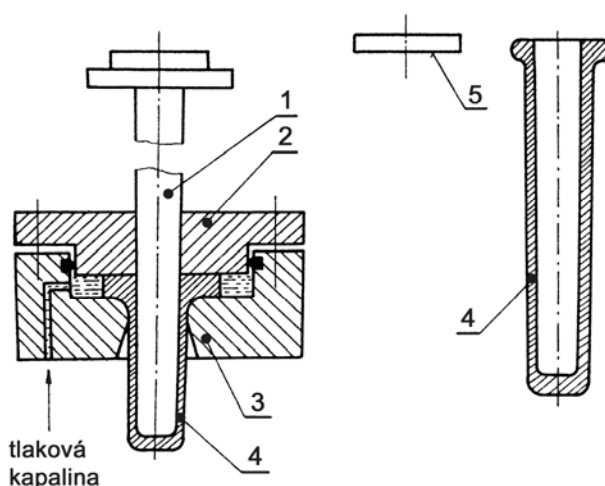
- *místním ohřevem příruby* (zpravidla odporový ohřev) *se sníží její deformační odpor* (docílí se snížení hodnoty součinitele odstupňování tahů) (obr. 9.37),
- *nebezpečný průřez* by neměl být ohříván.



Obr. 9.37 Tažení s použitím místního ohřevu

9.7 Tváření v superplastickém stavu

- *superplastický stav materiálu je podmíněn* teplotou deformace, rychlostí deformace a strukturou materiálu (podmínkou je velmi jemné zrna) (obr. 9.38),
- deformace probíhá *při nízkých napětích, velmi nízké rychlosti deformace* (řádově hodina až několik hodin),
- *je možné dosáhnout mimořádně velké deformace* (řádově 200 až 300 %),
- toto tváření je vhodné u slitin Ti, Al, Zn, Ni a vysokolegovaných ocelí,
- *nevýhody*: malá rychlost tváření je nevhodná pro velkosériovou výrobu, dlouhá doba působení vyšší teploty vyžaduje použití ochranné atmosféry, vyšší cena superplastických materiálů.

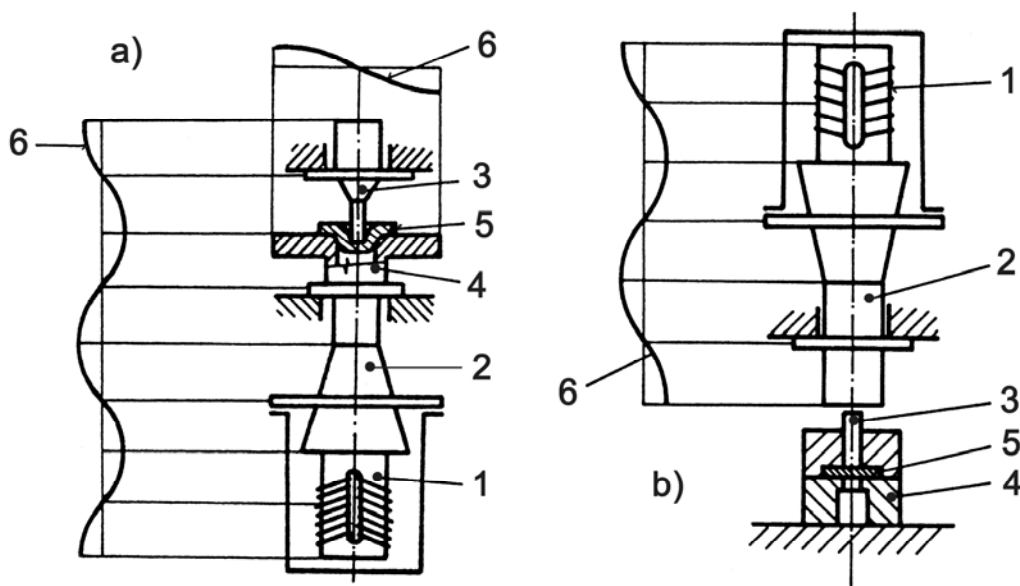


Obr. 9.38 Tažení v superplastickém stavu (1 – tažník, 2 – přidržovač, 3 – tažnice, 4 – výtažek, 5 – polotovár)

9.8 Frekvenční a ultrazvukové tváření

Periodicky se měnící kompresí a dekompresí nastává v látkách **kmitání**, které při určité frekvenci podle místa působení:

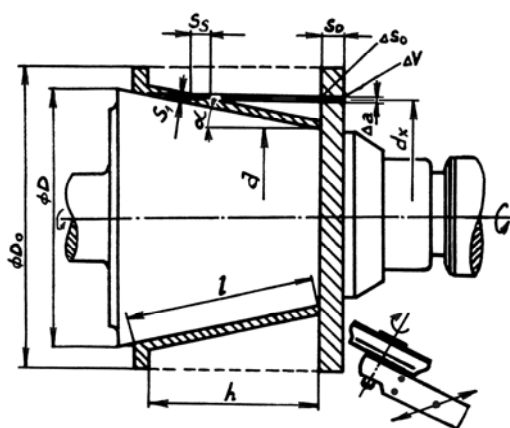
- a) **snižuje tření** (působíštěm je nástroj),
 - b) **zvyšuje plasticitu** (působíštěm je ohnisko plastické deformace),
 - c) **zvyšuje účinnost mazání** (působíštěm je mazací vrstva).
- nejčastějšími zdroji kmitání jsou **piezokrystaly** a **piezomagnetismus**
 - když je počet kmitů **větší než 15 až 20 kHz**, jde o **ultrazvuk** (obr. 9.39)



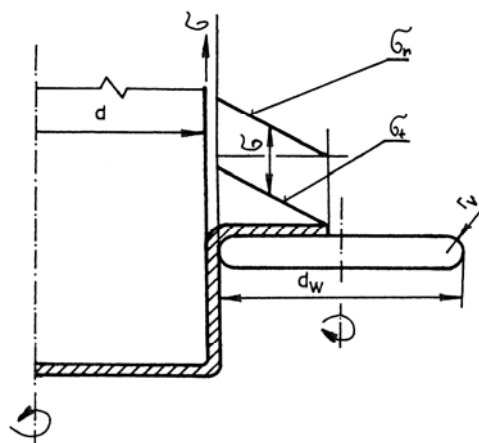
Obr. 9.39 Ultrazvukové tváření (a – uzavřená soustava, b – otevřená soustava, 1 – měnič, 2 – vlnovod, 3 – trn, 4 – matrice, 5 – materiál, 6 – průběh výchylky)

9.9 Kovotlačení

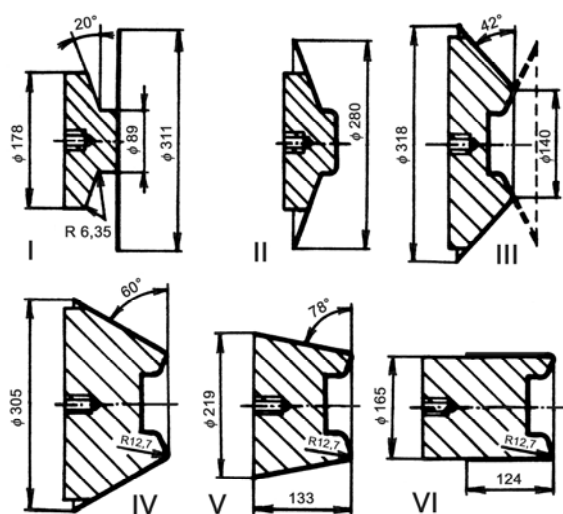
- někdy též *rotační tlačení plechů* nebo *kroužlení* (polotovary je centricky upnut na čelní straně tvárnice, která se otáčí),
- jde o způsob tváření rotačně symetrických součástí *postupným tlakovým účinkem tvářecích kladek či válečků podél povrchu*,
- kovotlačení může být *bez ztenčení stěny* nebo *se ztenčením stěny* (redukce průřezu může mít hodnotu až 50 %, obr. 9.40), na jednu operaci (obr. 9.41) nebo na větší počet tlačných operací (obr. 9.42 a 9.43),
- tlačný nástroj může být veden *rukou*, nebo *automaticky* (např. kopírováním),
- *výhody*: zpevněná povrchová vrstva, jednoduchý a levný nástroj, lze docílit velké deformace (protože tváření se děje postupně),
- *nevýhoda*: delší výrobní čas.



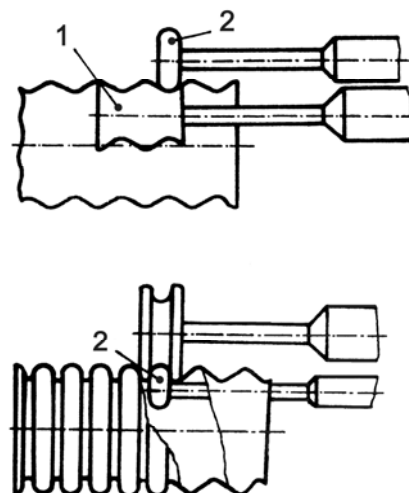
Obr. 9.40 Kovotlačení se ztenčením stěny



Obr. 9.41 Kovotlačení na jednu operaci



Obr. 9.42 Kovotlačení členité součásti v šesti operacích



Obr. 9.43 Kovotlačení trubkové součásti ve dvou operacích (a – předtvarování, b – dokončení tvarování s kalibrací, 1 – opěrná kladka, 2 – tvarovací kladka)



Úkol k zamyšlení

Uvedte příklady využití technologie kovotlačení při výrobě součástí v praxi.

9.10 Lisování součástí z práškových materiálů

Prášková metalurgie – technologický proces, zabývající se výrobou součástí z kovových i nekovových prášků, jež se lisují v kovových formách, spékají a dodatečně upravují.

- **výhody:** dokonalé využití materiálu, vysoká přesnost rozměrů, možnost výroby součástí ze směsi kovů a nekovů, možnost výroby součástí z vrstvených materiálů (bimetalické nebo trimetalické) nebo s proměnlivým složením, lze získat nové fyzikální vlastnosti součástí (pórovitost, homogenní struktura bez anizotropie, zmenšený součinitel tření, magnetické vlastnosti, odolnost proti korozi apod.), vysoká produktivita práce,
- **nevýhoda:** prášek je dražší než jiné polotovary.

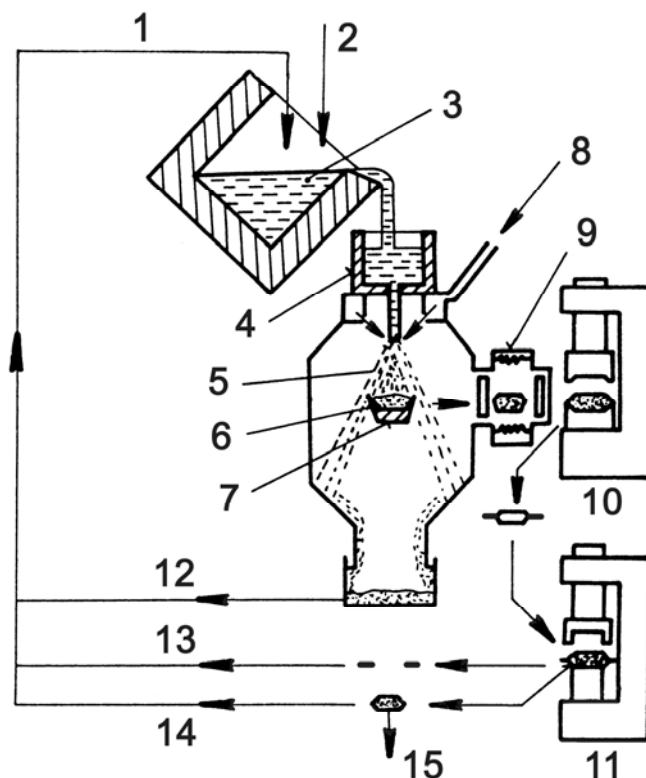
Technologický proces výroby součástí z práškových materiálů (obr. 9.44):

- výroba práškového kovu,**
- příprava směsi** – *úprava hmotnostních charakteristik materiálu* prosíváním, sedimentací, domíláním apod., *žihání kovového prášku v ochranné atmosféře* (pro zvýšení tvářitelnosti), *míchání směsi* (provádí se v bubnech nebo spolu s domíláním v kulových mlýnech, přidávají se *vazné prostředky, mazadla* apod.),
- lisování** – *spojení práškové směsi v soudržný celek* (pěchováním na lisech v dutinách speciálních nástrojů, válcováním, protlačováním, lisováním hydrostatickým tlakem apod.),
- slinování (spékání)** – nedochází k úplnému natavení kovového prášku, množství tekuté fáze nepřesahuje několik procent z celkového objemu spékané součásti (*účelem je zvětšení soudržnosti výlisků*, dochází k difúzi atomů, rekrytalizaci, objemovým změnám a fázovým přeměnám),
- dokončovací operace** – *kalibrování, opakované lisování a slinování* (zvýšení měrné hmotnosti a pevnosti výlisků), *tepelné zpracování* (odstranění pnutí po kalibrování, nauhličení výlisků po kalení apod.), *napájení* (naplňování pórů v polotovaru mazivem – pro ložisková a samomazná pouzdra, parafinem, mědí), *povrchová ochrana výlisků* (pokovením, fosfátováním, lakováním apod.).

Hlavní způsoby výroby práškového kovu:

- z kovů a slitin v tuhém stavu** (*řezáním* na třísky soustružením, frézováním, broušením, stříháním apod. a následným *mletím v kulových nebo kolových mlýnech*. Získaný prášek má zrna o velikostech **10 až 100 μm**.),
- z kovů a slitin v tekutém stavu,**
 - litím tekutého kovu do vody** (vytvoří se kulatá zrníčka o velikostech **0,1 až 0,5 mm**),
 - rozprašováním a tříštěním materiálu** (kov se lije na rychle se otáčející kovovou desku),
 - rozprašováním kovu stlačeným vzduchem, parou nebo dusíkem** (získaná zrna mají velikost **20 až 400 μm**),

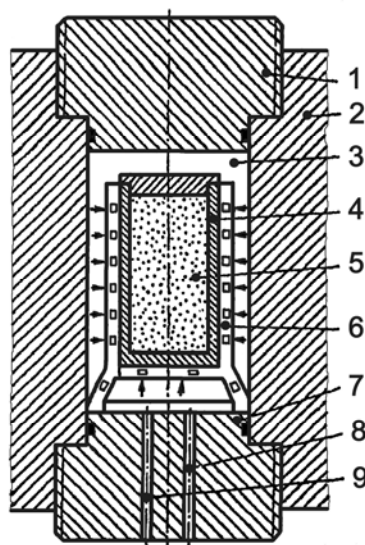
3. **z kovů ve stavu plynném** (*srážením kovových par* lze získat nejjemnější prášek – u Zn mají získaná zrna velikost **0,1 až 10 μm**),
4. **z kovových sloučenin redukcí** (především pro výrobu prášků vzácných a těžko tavitelných kovů – W, Mo, V, Co, Ti, Ni. Dosahuje se zrnitosti **0,1 až 30 μm**).



Obr. 9.44 Princip výroby výkovků z kovových prášků (1 – vratný materiál z výrobního procesu, 2 – tříděný šrot, 3 – tavenina, 4 – vyhřívaná pánev, 5 – částice, 6 – předkovek, 7 – kovová forma, 8 – tlakový dusík, 9 – zásobní pec, 10 – kovací lis, 11 – ostříhovací lis, 12 – přebytečný prášek, 13 – ostřižený výronek, 14 – případné zmetky, 15 – dobré výkovky)

Tváření práškových materiálů:

1. **lisování zastudena** (*klasická technologie*, tlaky kolem 600 MPa, dvojčinným lisováním se zmenšuje oblast s nižší teplotou),
2. **oběhové tváření** (vysoký měrný tlak se docílí *rotací lisovníku*),
3. **žárové lisování** (spojuje proces lisování a spékání, používají se keramické nebo grafitové matrice, které snesou teploty 1500 až 3000 °C),
4. **izostatické lisování** (*tváření všestranným tlakem v elastickém pouzdře*, které musí snést tlaky 600 MPa a teploty 2000 °C, dělí se na *lisování za studena* a *lisování za tepla*, obr. 9.45),
5. **kování** (buď *neslinutého předlisku*, nebo *slinutého předlisku*),
6. **protlačování zatepla** (protlačují se prášky, uzavřené ve vakuovaném pouzdru, nebo předslinuté polotovary),
7. **válcování** (slouží *k výrobě pásů ze spékaných práškových kovů*, po válcování následuje spékání v průběžné peci, lze takto vyrábět bimetalické a vícekomponentní pásy).



Obr. 9.45 Izostatické lisování (1 – uzávěr, 2 – vysokotlaká komora, 3 – vysokotlaká kapalina, 4 – elastická forma, 5 – prášek, 6 – perforovaný koš, 7 – uzávěr, 8 – přívod tlakové kapaliny, 9 – odvod kapaliny)

Použití práškových materiálů:

- slinuté karbidy* (patří k nejdůležitějším výrobkům práškové metalurgie, **nejčastěji karbidy W se slinovadlem Co**, tj. WC+Co nebo WC+TiC+Co, používají se pro řezné a tvářecí nástroje),
- kluzné materiály* (k výrobě ložisek, která jsou levná, nepotřebují údržbu, jsou samomazná, mají tichý chod),
- vysokoteplotní slinuté materiály* (**obsahují kovy s vysokou teplotou tání** – nad 2000 °C, jako W, Ta, Ti, Mo, Nb a jejich oxidy, silicidy, boridy, nitridy. Používají se na součásti spalovacích turbin, trysky hořáků, odporová topná tělesa apod. Tyto strojní součásti snesou teploty až 1600 °C.),
- třecí materiály* (vyznačují se **vysokou a stálou hodnotou součinitele smykového tření $f = 0,4$ až $0,6$ a nízkým opotřebením**),
- kovové filtry* (rovnoměrná pórovitost, mechanická pevnost, použitelnost při vyšších teplotách, možnost jednoduché regenerace).

	Úkol k zamyšlení
	Uved'te příklady součástí vyrobených práškovou metalurgií.

	Shrnutí kapitoly
	Základní nekonvenční způsoby tváření: 1. tváření vysokými rychlostmi,

2. tváření vysokými tlaky,
3. tváření nepevnými nástroji,
4. radiální vypínání,
5. tažení expanzním tažníkem,
6. tažení s použitím místního ohřevu,
7. tváření v superplastickém stavu,
8. frekvenční a ultrazvukové tváření,
9. kovotlačení,
10. lisování součástí z práškových materiálů.

Tváření vysokými rychlostmi: využívá se několikanásobně vyšších tvářecích rychlostí oproti klasickému tažení – klasické technologie tváření: 0,1 až 10 m/s, rychloběžné buchary (pneumaticko-mechanické): 15 až 60 m/s, tváření výbuchem střeliviny nebo plyných směsí: 10 až 140 m/s, tváření výbuchem trhavin: 250 m/s, vzorek vystřelený proti zápusťce: až 800 m/s. Se zvyšující se rychlostí deformace vzrůstá mez kluzu materiálu na hodnotu dynamické meze kluzu. Kovy s prostorově středěnou kubickou mřížkou se při tváření vysokými rychlostmi deformují prakticky jen dvojčatením. Vlivem tepelného efektu při velkých tvářecích rychlostech nastává v materiálu zotavení a rekrytalizace..

Tváření expanzí plynů: principem je expanze plynu, stlačeného na vysoký tlak (vzduch) nebo plynu, který se prudce odpaří z kapalného stavu (kapalný dusík – je poměrně levný, inertní). Zvýšením rychlosti tváření lze snížit hmotnost beranu při konstantní kinetické energii ($W_k = 1/2 m v^2$) – např. u pneumaticko-mechanického tváření na bucharech. Výhody: menší hmotnost tvářecího stroje, menší základy stroje, složité tvary lze tvářet jedním úderem, snížení hmotnosti výrobků vlivem dokonalejšího plnění zápusťky, možnost tváření těžkovtážitelných materiálů.

Tváření výbuchem: podstatou metody je nahrazení lisovníků a lisů účinkem rázové vlny z hoření plynové směsi, střeliviny, nebo trhaviny.

- a) **tváření výbuchem plynové směsi** – energie se uvolňuje hořením paliva (vodík, metan, propan-butan) s okysličovadlem (kyslík, vzduch). Působit na tvářený materiál lze přímo, pomocí přenosového média (kapalina), nebo pomocí pístu (buchar). Výhody: plynová směs může být připravena k odpálení v krátkém čase, směs zaujímá tvar vnitřního prostoru nádoby, složení směsi lze upravovat a tím regulovat rychlost hoření. Použití pro velkorozměrové tenkostěnné součásti.
- b) **tváření výbuchem střeliviny nebo trhaviny** – kontakt tvářeného materiálu se zdrojem energie může být bezprostřední (kontaktní technologie), zprostředkovaný nosným médiem, nebo pevným nástrojem. Přenosovým prostředím mezi zdrojem energie a polotovarem může být vzduch, vodní vak (tzv. vodní beran), vodní nádrž, písek nebo zemina, plastické médium. Vhodné pro kusovou výrobu rozměrných součástí, pro které nelze použít tvářecí stroje. Využívanou aplikací je plátování materiálů. Výhody: minimální náklady na rozměrné nástroje, tvářený plech vykazuje malé odpružení. Nevýhody: velká hluchost, otřesy, nízká produktivita práce.

Tváření elektrohydraulické: změna tvaru polotovaru je způsobena impulzním tlakem, který vzniká v kapalině v důsledku vysokonapětového výboje (tlaková vlna se v kapalině šíří nadzvukovou rychlostí). Výboj může být uvolněn mezi dvěma elektrodami, nebo přes explodující drátek (drátkem lze směřovat postup expanzní vlny, zvyšuje se účinnost výboje, páry odpařeného drátku zvyšují expanzní tlak). Elektrohydraulické tváření lze provádět v otevřeném objemu (v nádrži s hladinou), nebo v uzavřeném objemu (v kapalině v uzavřené komoře). U součástí se složitou geometrií lze tlakovou vlnu směřovat a koncentrovat odrážecí – reflektory. Výhody: lze tvářet i plechy s vyšší R_m a nižší tvářitelností, snadná opakovatelnost, zařízení je šetrné k životnímu prostředí. Nevýhody: nízká produktivita díky vedlejším časům, rozměry dílců jsou limitovány velikostí zařízení a kapacitou kondenzátorů.

Tváření elektromagnetické: elektrická energie akumulovaná v kondenzátorech je vybita během 10 až 100 milisekund přes <i>indukční cívku</i> (tzv. <i>tvářecí cívka</i> – plošná nebo prostorová), čímž dochází k vytvoření silného impulzního magnetického pole (<i>primární magnetické pole</i>). Indukovaný vířivý proud vybudí v okolí povrchu vloženého polotovaru <i>sekundární magnetické pole</i>, ke tváření se využívá <i>odpudivá síla obou polí</i> (tato síla je rázová). <i>Materiál polotovaru musí být vodivý</i> (nejméně 10 % vodivosti mědi), proto se používá Cu a její slitiny, Al a jeho slitiny, mosaz, Ni, Zn a méně často ocel. Podle vzájemné polohy cívky a polotovaru se tváření dělí na <i>expanzní</i> (cívka je v dutině polotovaru) a <i>kompresní</i> (polotovar je uvnitř cívky). Magnetické pole lze usměrňovat tzv. <i>koncentrátory</i> (koncentrují měrný tlak do určitých míst). <i>Tváření probíhá bez kontaktu</i>, proto nenastává tření a není tedy třeba používat mazivo. <i>Výhody:</i> možnost tváření polotovarů pokrytých izolačními povrchy, možnost spojování kovových materiálů s nevodiči a křehkými materiály, jednoduchý nástroj (malá hlučnost, velká životnost), technologická pružnost (výměnou koncentrátorů). Tváření vysokými tlaky: <i>všestranný tlak zvyšuje tvářitelnost materiálu</i> (vznik a rozvoj mikrotrhlin je silně omezen), zvyšuje také deformační odpor materiálu. Příkladem je <i>hydrostatické protlačování</i> (není přímý kontakt průtlačníku s materiálem, vysokotlaké médium obklopuje polotovar ze všech stran). <i>Tlaková média:</i> voda, petrolej, benzín, olej, etylalkohol atd. <i>Výhody:</i> odpadá tření mezi polotovarem a zásobníkem, lze tvářet křehké materiály, lze použít různý profil polotovaru pro stejnou průtlačnici, lze zvýšit stupeň deformace a rychlost protlačování. <i>Nevýhody:</i> složité zařízení, problémy s vyvozením vysokých tlaků (těsnicí elementy, viskozita a stlačitelnost kapaliny). Tváření nepevnými nástroji: <i>jedna část nástroje je nepevná a tvoří ji tlakové médium</i> (pryž, polytan, tlaková kapalina). Patří sem stříhání pryží (charakteristika vystřihování součástí z tenkých plechů gumou je uvedena v dřívější kapitole věnované <i>stříhání</i>), tažení pryží a tažení plechů pomocí kapaliny. Tažení pryží: <i>tažnicí je univerzální pouzdro s pryžovým polštářem</i> – tváření metodou Guerin (bez přidržovače, vhodné pro mělké tahy) a Marform (s přidržovačem, vhodné pro hlubší tahy). <i>Měrný tlak je rovnoměrně rozložen</i>, působí účinně i na stěny výtažků (odstranění rizika sekundárního zvlnění, vznik aktivních třecích sil mezi tažníkem a plechem). Lze dosáhnout <i>nižších hodnot součinitelů odstupňování tahů</i> (pro měkkou ocel až $M_1 = 0,41$) a tím menšího počtu tahů u víceoperačního tažení. <i>Nevýhody:</i> větší spotřeba energie – nutná na deformaci pryže, než se dosáhne potřebných měrných tlaků (používané lisy musí mít až 4x vyšší tonáž, než u konvenčního tažení). Pryž lze nahradit <i>polytanem</i> (jde o polyuretan, který vyniká značnou otěruvzdorností a vysokými dovolenými měrnými tlaky). Tažení plechů pomocí kapaliny: tažení metodou Hydroform (<i>tvářecí kapalina je uzavřena ve speciálním pouzdru</i>, které je utěsněno pryžovou nebo polytanovou membránou), tažení metodou Wheelon (<i>tažení gumovým vakem</i>, ovládaným tlakovou kapalinou), hydromechanické tažení (<i>na čelní ploše tažnice je těsnění</i>, řídicími parametry jsou síla přidržovače a tlak kapaliny v tažné komoře, jejíž odtok je řízen regulačním ventilem hydraulického obvodu. <i>Výhody:</i> lze dosahovat nižší hodnoty součinitelů odstupňování tahů, menší nebezpečí ztenčování stěn, v jedné tažné komoře lze výměnou tažníků táhnout různé tvary výtažků, <i>možnost tažení složitých tvarů</i>). Radiální vypínání: provádí se s využitím <i>nepevných nebo pevných nástrojů</i> (cílem obou metod je dosažení rovnoměrně rozloženého tlaku na vnitřním povrchu polotovaru). radiální vypínání s aktivní tlakovou osovou silou (vhodné pro rozšiřování trubek, <i>dosáhne se zvýšení přesnosti rozměrů, snížení ztenčení stěny, snížení síly pro stlačení polytanu, větších stupňů deformace do porušení</i>), radiální vypínání s využitím kapalinových systémů (tlak kapaliny je řízen v

	závislosti na zdvihu lisovníku hydraulickým okruhem), c) radiální vypínání expanzí segmentů pevného nástroje (nevýhodou je vznik otisků hran jednotlivých segmentů, větší ztenčení materiálu v mezeře mezi segmenty, než v úsecích pod segmenty. Tyto vady lze zmírnit dobrým mazáním, dostatečným počtem segmentů – min. 12, pootáčením polotovarů během vypínání o poloviční rozteč segmentů, případně pokrytím segmentů a mezer gumovým oddělovacím pláštěm), d) radiální vypínání součástí tvaru kužele – je nebezpečí zvlnění konce o menším průměru vlivem tlakových napětí (řešením je uchycení konce o větším průměru přídržovačem nebo postupným nabalováním polotovaru ode dna tažnice směrem k hornímu okraji pomocí polytanových desek různého průměru). Tažení expanzním tažníkem: tažník je složen z trnu a děleného pláště, který je vroubkovaný. Vlivem tření na počátku tažení dojde ke skluzu pláště tažníku po kuželovém trnu a jeho roztažení, tím dojde ke vtlačení zubů vroubkovaného pláště do vnitřní stěny výtažku (dojde tím k přesunu kritické oblasti přenosu tažné síly do stěny výtažku, která je již zpevněna předešlou deformací). Lze dosáhnout snížení hodnoty součinitele odstupňování tahu o 20 až 25 %. Tažení s použitím místního ohřevu: místním ohřevem příruby (zpravidla odporový ohřev) se sníží její deformační odpor (docílí se snížení hodnoty součinitele odstupňování tahu). Nebezpečný průřez by neměl být ohříván. Tváření v superplastickém stavu: superplastický stav materiálu je podmíněn teplotou deformace, rychlostí deformace a strukturou materiálu (podmínkou je velmi jemné zrna). Deformace probíhá při nízkých napětích, velmi nízké rychlosti deformace (řádově hodina až několik hodin). Je možné dosáhnout mimořádně velké deformace (řádově 200 až 300 %). Toto tváření je vhodné u slitin Ti, Al, Zn, Ni a vysokolegovaných ocelí. Nevýhody: malá rychlost tváření je nevhodná pro velkosériovou výrobu, dlouhá doba působení vyšší teploty vyžaduje použití ochranné atmosféry, vyšší cena superplastických materiálů. Frekvenční a ultrazvukové tváření: periodicky se měnící kompresí a dekompresí nastává v látkách kmitání, které při určité frekvenci podle místa působení: snižuje tření (působíštěm je nástroj), zvyšuje plasticitu (působíštěm je ohnisko plastické deformace), zvyšuje účinnost mazání (působíštěm je mazací vrstva). Nejčastějšími zdroji kmitání jsou piezokrystaly a piezomagnetismus. Když je počet kmitů větší než 15 až 20 kHz, jde o ultrazvuk. Kovotlačení: polotovar je centricky upnut na čelní straně tvárnice, která se otáčí. Jde o způsob tváření rotačně symetrických součástí postupným tlakovým účinkem tvářecích kladek či válečků podél povrchu. Kovotlačení může být bez ztenčení stěny nebo se ztenčením stěny, na jednu operaci nebo na větší počet tlačných operací. Tlačný nástroj může být veden rukou, nebo automaticky (např. kopírováním). Výhody: zpevněná povrchová vrstva, jednoduchý a levný nástroj, lze docílit velké deformace. Nevýhoda: delší výrobní čas. Prášková metalurgie: technologický proces, zabývající se výrobou součástí z kovových i nekovových prášků, jež se lisují v kovových formách, spékají a dodatečně upravují. Výhody: dokonalé využití materiálu, vysoká přesnost rozměrů, možnost výroby součástí ze směsi kovů a nekovů, možnost výroby součástí z vrstvených materiálů (bimetalické nebo trimetalické) nebo s proměnlivým složením, lze získat nové fyzikální vlastnosti součástí (pórovitost, homogenní struktura bez anizotropie, zmenšený součinitel tření, magnetické vlastnosti, odolnost proti korozi apod.), vysoká produktivita práce. Nevýhoda: prášek je dražší než jiné polotovary. Technologický proces výroby součástí z práškových materiálů: a) výroba práškového kovu, b) příprava směsi – úprava hmotnostních charakteristik materiálu prosíváním, sedimentací, domíláním apod., žihání kovového prášku v ochranné atmosféře
--	---

	(pro zvýšení tvářitelnosti), <i>míchání směsí</i> (provádí se v bubnech nebo spolu s domíláním v kulových mlýnech, přidávají se <i>vazné prostředky, mazadla</i> apod.), c) lisování – <i>spojení práškové směsi v soudržný celek</i> (pěchováním na lisech v dutinách speciálních nástrojů, válcováním, protlačováním, lisováním hydrostatickým tlakem apod.), d) slinování (spékání) – nedochází k úplnému natavení kovového prášku, množství tekuté fáze nepřesahuje několik procent z celkového objemu spékané součásti (<i>účelem je zvětšení soudržnosti výlisků</i>, dochází k difúzi atomů, rekrystalizaci, objemovým změnám a fázovým přeměnám), e) dokončovací operace – <i>kalibrování, opakované lisování a slinování</i> (zvýšení měrné hmotnosti a pevnosti výlisků), <i>tepelné zpracování</i> (odstranění pnutí po kalibrování, nauhličení výlisků po kalení apod.), <i>napájení</i> (naplňování pórů v polotovaru mazivem – pro ložisková a samomazná pouzdra, parafinem, mědí), <i>povrchová ochrana výlisků</i> (pokovením, fosfátováním, lakováním apod.). Hlavní způsoby výroby práškového kovu: 1. z kovů a slitin v tuhém stavu (<i>řezáním</i> na třísky soustružením, frézováním, broušením, stříháním apod. a následným <i>mletím v kulových nebo kolových mlýnech</i>. Získaný prášek má zrna o velikostech 10 až 100 μm.), 2. z kovů a slitin v tekutém stavu a) litím tekutého kovu do vody (vytvoří se kulatá zrníčka o velikostech 0,1 až 0,5 mm), b) rozprašováním a tříštěním materiálu (kov se lije na rychle se otáčející kovovou desku), c) rozprašováním kovu stlačeným vzduchem, parou nebo dusíkem (získaná zrna mají velikost 20 až 400 μm), 3. z kovů ve stavu plynném (<i>srážením kovových par</i> lze získat nejjemnější prášek – u Zn mají získaná zrna velikost 0,1 až 10 μm), 4. z kovových sloučenin redukcí (především pro výrobu prášků vzácných a těžko tavitelných kovů – W, Mo, V, Co, Ti, Ni. Dosahuje se zrnitosti 0,1 až 30 μm.). Tváření práškových materiálů: 1. lisování zastudena (<i>klasická technologie</i>, tlaky kolem 600 MPa), 2. oběhové tváření (vysoký měrný tlak se docílí <i>rotací lisovníku</i>), 3. žárové lisování (spojuje proces lisování a spékání), 4. izostatické lisování (<i>tváření všestranným tlakem v elastickém pouzdře</i>, které musí snést tlaky 600 MPa a teploty 2000 °C, dělí se na <i>lisování za studena</i> a <i>lisování za tepla</i>), 5. kování (buď <i>neslinutého předlisku</i>, nebo <i>slinutého předlisku</i>), 6. protlačování zatepla (protlačují se prášky, uzavřené ve vakuovaném pouzdru, nebo předslinuté polotovary), 7. válcování (slouží k výrobě pásů ze spékaných práškových kovů, po válcování následuje spékání v průběžné peci, lze takto vyrábět bimetalické a vícekomponentní pásy). Použití práškových materiálů: a) slinuté karbidy (patří k nejdůležitějším výrobkům práškové metalurgie, nejčastěji karbidy W se slinovadlem Co, tj. WC+Co nebo WC+TiC+Co, používají se pro řezné a tvářecí nástroje), b) kluzné materiály (k výrobě ložisek, která jsou levná, nepotřebují údržbu, jsou samomazná, mají tichý chod),
--	--

	c) <i>vysokoteplotní slinuté materiály (obsahují kovy s vysokou teplotou tání – nad 2000 °C, jako W, Ta, Ti, Mo, Nb a jejich oxidy, silicidy, boridy, nitridy. Používají se na součásti spalovacích turbin, trysky hořáků, odporová topná tělesa apod. Tyto strojní součásti snesou teploty až 1600 °C.),</i> d) <i>třecí materiály (vyznačují se vysokou a stálou hodnotou součinitele smykového tření $f = 0,4$ až $0,6$ a nízkým opotřebením),</i> e) <i>kovové filtry (rovnoměrná pórovitost, mechanická pevnost, použitelnost při vyšších teplotách, možnost jednoduché regenerace).</i>
--	--



Pojmy k zapamatování

Tváření, buchar, výbuch, střelivina, trhavina, zápustka, mez kluzu, dynamická mez kluzu, kubická mřížka, dvojčatění, tepelný efekt, zotavení, rekrytalizace, stabilní dynamická mez kluzu, nestabilní dynamická mez kluzu, deformační rychlost, exponent deformačního zpevnění, napětí, deformace, modul pružnosti, expanze, plyn, tlak, beran, pneumaticko-mechanické tváření, tvářecí stroj, lis, rázová vlna, plynová směs, hoření, palivo, okysličovadlo, přenosové médium, píst, součást, nástroj, vodní vak, nálož, vodní beran, tvárnice, materiál, vakuum, trubka, plátování, difúzní spoj, mechanický spoj, odpružení, elektrohydraulické tváření, impulzní tlak, vysokonapěťový výboj, tlaková vlna, kapalina, elektroda, explodující drátek, otevřený objem, uzavřený objem, reflektor, odrážec, tvářitelnost, produktivita, vedlejší časy, dílec, kondenzátor, elektromagnetické tváření, elektrická energie, indukční cívka, tvářecí cívka, impulzní magnetické pole, indukovaný vířivý proud, odpudivá síla, expanzní tváření, kompresní tváření, koncentrátor, měrný tlak, tření, mazivo, izolační povrch, životnost, mikrotrhlina, deformační odpor materiálu, hydrostatické protlačování, průtlačník, polotovar, tlakové médium, zásobník, profil polotovaru, průtlačnice, viskozita, stlačitelnost, nepevný nástroj, polytan, pryž, stříhání, pryžový polštář, tažnice, pouzdro, měrný tlak, výtažek, sekundární zvlnění, aktivní tření, plech, součinitel odstupňování tahu, víceoperační tažení, membrána, gumový vak, hydromechanické tažení, těsnění, přidržovač, tažná komora, regulační ventil, hydraulický obvod, ztenčování stěny, konvenční tažení, přístřih, základová deska, radiální vypínání, rozšiřování trubek, zdvih, segment, kužel, expanzní tažník, plášť, příruba, odporový ohřev, nebezpečný průřez, superplastický stav, zrna kovu, teplota, ochranná atmosféra, frekvenční tváření, ultrazvukové tváření, plasticita, kovotlačení, rotační tlačení plechů, kroužení, tvářecí kladka, tvářecí váleček, povrch, prášková metalurgie, prášek, buben, kulový mlýn, vazný prostředek, slinování, spékání, kalibrování, měrná hmotnost, pevnost, tepelné zpracování, kalení, napájení, fosfátování, lakování, soustružení, frézování, broušení, stříhání, mletí, kolový mlýn, rozprašování, redukce, oběhové tváření, lisovník, žárové lisování, matrice, izostatické lisování, kování, předlisek, válcování, pás, průběžná pec, bimetalický pás, slinutý karbid, řezný nástroj, kluzný materiál, ložisko, součinitel smykového tření, opotřeben, kovový filtr, pórovitost, regenerace.



Odměna a odpočinek

Výborně, právě jste zvládl předposlední, **devátou kapitolu!** Je třeba vytrvat a neusnout na vavřínech! Nyní se běžte občerstvit, dejte si svůj oblíbený nápoj a nahlédněte do denního tisku, ať přijdete na jiné myšlenky. Po relaxaci odpovězte na jednotlivé kontrolní otázky kapitoly.

	Kontrolní otázky
	Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo deváté kapitoly „Nekonvenční způsoby tváření“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek: 1. Které technologie lze zařadit mezi nekonvenční způsoby tváření? 2. Co je typické pro tváření vysokými rychlostmi? 3. Dokážete popsat technologii tváření expanzí plynů? 4. Jaká je podstata technologie tváření výbuchem? 5. Dokážete vysvětlit tváření výbuchem plynové směsi? 6. Jak se provádí tváření výbuchem střeliviny nebo trhaviny? 7. Jaká přenosová prostředí mezi zdrojem energie a polotovarem se dají při tváření výbuchem střeliviny nebo trhaviny použít? 8. Dokážete popsat technologii elektrohydraulického tváření, její výhody a nevýhody? 9. Jak se provádí elektromagnetické tváření? 10. Jaký je rozdíl mezi expanzním a kompresním elektromagnetickým tvářením? 11. Dokážete vysvětlit podstatu technologie tváření vysokými tlaky, její výhody a nevýhody? 12. Které technologie lze zařadit do skupiny tváření nepevnými nástroji? 13. Jakým způsobem se provádí tažení pryží? 14. Dokážete objasnit způsoby tažení plechů pomocí kapaliny? 15. Jaké způsoby radiálního vypínání znáte? 16. Jaký je princip a účel tažení expanzním tažníkem? 17. V čem spočívá podstata technologie tažení s použitím místního ohřevu? 18. Dokážete vysvětlit podstatu tváření v superplastickém stavu? 19. Jaká je podstata a jaké jsou výhody frekvenčního a ultrazvukového tváření? 20. K čemu se používá technologie kovotlačení? 21. Co je prášková metalurgie? Jaké má výhody a nevýhody? 22. Dokážete popsat etapy výroby součástí z práškových materiálů? 23. Jaké jsou hlavní způsoby výroby práškového kovu? 24. Jakými způsoby se provádí tváření práškových materiálů? 25. Jaké materiály a výrobky se vyrábí z práškových materiálů?

	Literatura
	[1] PETRŽELA, Z., KUČERA, J. a BŘEZINA, R. <i>Technologie slévání, tváření a svařování : skriptum</i>. 2. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1987. 329 s. (bez ISBN). [2] BŘEZINA, R. a ČADA, R. <i>Speciální technologie – technologie tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1992. 257 s. ISBN 80-7078-122-X. [3] PETRŽELA, Z. <i>Základy teorie a technologie strojírenského tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1980. 378 s. (bez ISBN). [4] PETRŽELA, Z. <i>Tváření II : Strojírenská technologie a tvářecí stroje : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1975. 335 s. (bez ISBN). [5] PETRŽELA, Z. <i>Tváření III : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1975. 325 s. (bez ISBN). [6] NOVOTNÝ, K. a MACHÁČEK, Z. <i>Speciální technologie I : Plošné a objemové tváření : skriptum</i>. 2. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3. [7] HRIVNÁK, A., EVIN, E. a SPIŠÁK, E. <i>Technológia plošného tvárnenia : skriptum</i>. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1985. 264 s. (bez ISBN). [8] PROCHÁZKA, J., KOTOUČ, J. a ZAPOTIL, M. <i>Technologie I : Část 2 : skriptum</i>. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1967. 178 s. (bez ISBN). [9] BŘEZINA, R. <i>Technologie I – část 2 : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1999. 86 s. ISBN 80-7078-639-6. [10] ČABELKA, J. a kol. <i>Mechanická technológia</i>. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1967. 1036 s. (bez ISBN).

	Náměty pro tutoriál
	Uveďte příklady součástí zhotovených nekonvenčními způsoby tváření. Vysvětlete důvody, proč bylo použít příslušné technologie při jejich výrobě účelné. Popište postupy výroby různých typů čajových konvic z plechu. Objasněte výhody a nevýhody použití technologie tažení plechu nepevnými nástroji, srovnajte tuto technologii s konvenčním tažením. Uveďte příklady uplatnění těchto technologií při výrobě součástí v praxi.

	Průvodce studiem
	Další kapitola se věnuje zcela odlišné problematice, a to plastům a technologiím jejich zpracování. Plasty se uplatňují při výrobě součástí, když se docílí ekonomicky výhodnější výroba a potřebné užité vlastnosti ve srovnání s použitím kovů.

10 PLASTY

	Rychlý náhled do problematiky kapitoly
	Desátá kapitola se zabývá plasty a jejich zpracováním. Je uvedena charakteristika plastů, rozdělení plastů podle vzhledu makromolekul a podle chování za tepla, jsou uvedeny stavy plastů, vlastnosti plastů, úprava plastů před zpracováním, pomocné látky, kompozitní materiály, způsoby zpracování plastů v tekutém stavu – odlévání, lití, máčení natírání, zpěňování, způsoby zpracování plastů v plastickém stavu – vstřikování, lisování, přetlačování, tvarování, vytlačování, vyfukování, válcování, zpracování plastů v tuhém stavu, technologičnost součástí z plastů). Člení se na následující podkapitoly: 10.1 Rozdělení plastů 10.2 Stavy plastů 10.3 Vlastnosti plastů 10.4 Úprava plastů před zpracováním 10.5 Kompozitní materiály 10.6 Zpracování plastů 10.6.1 Zpracování plastů v tekutém stavu 10.6.2 Zpracování plastů v plastickém stavu 10.7 Technologičnost součástí z plastů

	Cíle kapitoly
	Budete umět: • charakterizovat plasty a složky, ze kterých se skládají, • popsat vlastnosti plastů a čím se liší od kovů, • uvést úpravy plastů před zpracováním, • objasnit způsoby zpracování plastů v tekutém stavu, • vysvětlit hlavní zásady tvarového řešení výstřiků z reaktoplastů. Získáte: • přehled stavech plastů, • znalosti o základních druzích kompozitních materiálů, • informace o technologičnosti součástí z plastů. Budete schopni: • rozdělit plasty podle vzhledu makromolekul a podle chování za tepla, • popsat pomocné látky v plastech, • objasnit způsoby zpracování plastů v plastickém stavu, • vysvětlit hlavní zásady tvarového řešení výstřiků z termoplastů.

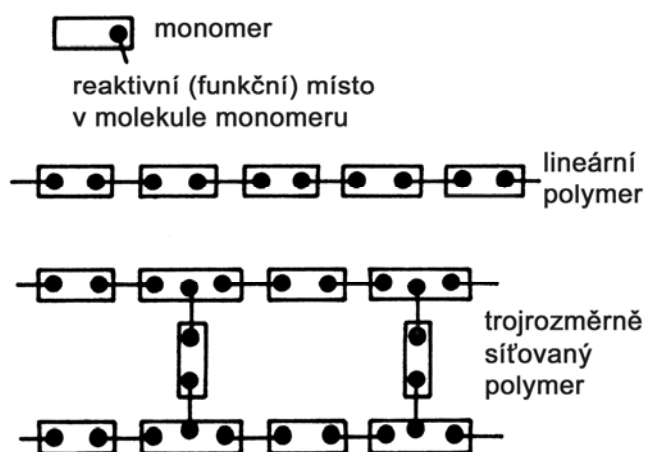
	Klíčová slova kapitoly
	Plast, makromolekulární látka, polymer, řetězec, molekula, chemická vazba, hmota, pryskyřice, nízkomolekulární sloučenina, monomer, polyreakce, polykondenzace, polymerace, polyadice, lineární polymer, kaučuk, polyetylén, semikrystalický polymer, termoplastičnost, kaučukovitost, válcování, vytlačování, vstřikování, rozvětvený polymer, postranní řetězec, zesítný polymer, příčná vazba, elastomer, termoplast, polystyrén, reaktoplast, termoset, vytvrzování, fenolformaldehydová pryskyřice, degradace polymeru, sklovitý stav, teplota skelného přechodu, kaučukovitý stav, viskoelastická deformace, viskózní stav, teplota měknutí, teplota tání, semikrystalický termoplast, tepelná vodivost, teplotní roztažnost, teplotní odolnost, stárnutí, stárnutí, stabilizátor, navlhavost, nasákavost, pojivo, zrnění, granulování, granulát, želatinová směs, změkčovadlo, granulátor, drtič, předlisování, tabletování, tabletovací stroj, tableta, přetok, předeřívání, předplastikace, želatinace, hnětací stroj, vytlačovací stroj, šnek, míchání, hnětení, míchací buben, sušení, pigment, barvivo, plnivo, pórovitost, ztužovadlo, laminát, nadouvadlo, lehčená plastická hmota, hořlavost, separační činidlo, forma, fólie, kompozitní materiál, vyztužený polymer, matrice, makroskopický kompozit, odlévání, lití, máčení, natírání, zpěňování, lisování, přetlačování, tvarování, vyfukování, odstředivé lití, licí pás, koženka, natírací stroj, předželatinování, doželatinování, želatinovací stroj, dezénovací válec, předpěnění, stroj pro vypěňování, dopěňování, pěnový polystyrén, tavicí komora, rozváděcí kužel, torpédo, plastikační šnek, vstřikovací válec, plnění formy, dotlak, propadlina, lisostřik, fólie, vakuové tvarování, vytlačovací hlava, hubice, vytlačovací stroj, vstřikovací vyfukování, vstřikovací stroj, předlisek, vyfukovací trn, vyfukovací forma, technologičnost, součást, tavenina, studený spoj, smrštění, dělicí rovina, vyhazování, jádro, vtok, výstřik, staženina, tekutost, úkos, žebro, dosedací plocha, upevňovací výstupek, zálisek, matování, pískování, rýhování, kanál.

	Čas potřebný ke studiu kapitoly: 4 hodiny
---	--

	Průvodce studiem
	Tato kapitola je důležitým teoretickým základem pro návrhy technologií výroby součástí z plastů, které se v řadě případů používají místo kovů.

Plasty:

- jsou to *makromolekulární látky (polymery)*, jejichž *základními stavebními atomy jsou* C, H, O, N, F, Cl, u silikonů Si,
- jsou tvořeny *makromolekulárními řetězci*, tj. dlouhými molekulami s opakujícími se základními strukturními jednotkami (obr. 10.1). Tyto řetězce mohou, nebo nemusí být mezi sebou spojeny chemickými vazbami.
- *plasty lze formovat teplem* nebo *tlakem*, případně *oběma činiteli současně*.



Obr. 10.1 Schéma vzniku polymerů

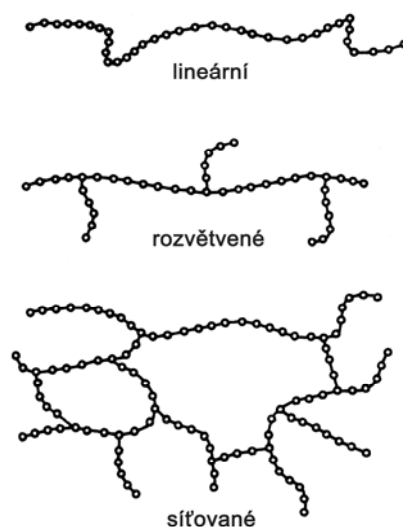
Plasty se skládají ze složek:

1. **makromolekulární látka** (určuje charakteristické vlastnosti hmoty),
 - a) **přírodní makromolekulární látky a jejich deriváty** – přírodní kaučuk, deriváty celulózy, přírodní pryskyřice,
 - b) **syntetické makromolekulární látky (umělé pryskyřice)** – vyrábí se synteticky z nízkomolekulárních sloučenin (monomerů) polyreakcemi: **polykondenzací** (fenolplasty, aminoplasty, polyamidy, polyester, silikony), **polymerací** (polyetylen, PVC, polyakryláty) nebo **polyadicí** (epoxidové pryskyřice),
2. **pomocné látky** (plniva a další přísady).

10.1 Rozdělení plastů

Rozdělení plastů podle struktury makromolekul (obr. 10.2):

1. **lineární polymery** (mají vždy vedle lineárních řetězců také makromolekuly částečně rozvětvené),
 - a) **polymery samovolně nekrytalizující (amorfní)** – např. **kaučuk, polyetylén** (nekrytalizují samovolně, ale s poklesem teploty. Jsou kaučukovité, termoplastické, dobře rozpustné v organických rozpouštědlech.),
 - b) **polymery se sklonem k samovolné krystalizaci (semikrystalické)** – např. **polyamidy, celulóza, hedvábí** (jsou vláknotvorné s vysokou pevností a houževnatostí, termoplastické a špatně rozpustné v organických rozpouštědlech. Mají úzkou oblast kaučukovitosti, proto se nehodí pro válcování, vytlačování, ale hodí se pro postupy vyžadující rychlé roztavení, jako je **vstřikování**.),
2. **rozvětvené polymery** (velký počet rozvětvení a délka postranních řetězců brání přechodu molekul do uspořádané krystalické struktury),
3. **zesítěné polymery (prostorově uspořádané)** (jejich vlastnosti závisí na počtu příčných vazeb. Do určitého stupně zesíťování si zachovávají tepelnou tvarovatelnost, která klesá se vzrůstajícím počtem příčných vazeb. Jsou **nerozpustné** v organických rozpouštědlech a jsou **netavitelné**. **Elastomery** – mají prostorovou strukturu, jejíž síť ještě není tak hustá, aby došlo ke ztrátě elastických vlastností.).



Obr. 10.2 Schéma typů makromolekul

Rozdělení plastů podle chování za tepla:

1. **termoplasty** (je možné je tvářet. Patří sem např. polystyrén, polyetylén, polyamid. *Působením tepla vždy měknou* a chemicky se přitom nemění, při ochlazení opět tuhnou.),
2. **reaktoplasty** (dříve název *termosety*. Patří sem např. fenolformaldehydová pryskyřice, melaminová pryskyřice. *Teplem se vytvrzují* – vznikne husté příčné zesíťování, tedy přejdou nevratně do netavitelného a nerozpustného stavu. Nemohou být krystalické, protože příčné vazby nedovolují těsné uložení řetězců.).

Při nadměrném ohřevu se u všech polymerů (lineárních i zesíťovaných) vlivem vysoké teploty, případně v kombinaci s oxidací, *přetrhávají chemické vazby, hmota se rozrušuje a ztrácí pevnost*. Tento proces se nazývá *degradace polymeru* a je nevratný.

	Úkol k zamyšlení
	Uved'te příklady součástí vyrobených z termoplastů a reaktoplastů.

10.2 Stavy plastů

1. **sklovitý stav** (*tuhý stav*, pod teplotou skelného přechodu T_g . Makromolekuly jako celky jsou tuhé, polymer je v tomto stavu tvrdý a křehký. Platí zde *Hookův zákon*, tj. lineární úměrnost napětí a deformace.),
2. **kaučukovitý stav** (*nad teplotou skelného přechodu T_g* . Při působení zatížení se řetězce snadno rozvinují, ale až po určité době. Po uvolnění napětí se opět pozvolna vracejí do původního stavu, který je pro ně nejstabilnější – *viskoelastická deformace*. Amorfni termoplasty a elastomery jsou v tomto stádiu měkké a pružně tvárné, semikrystalické termoplasty jsou pevné a houževnaté. Kaučukovitý stav se projevuje jen v amorfních oblastech polymeru. Reaktoplasty v této oblasti měknou jen málo.),

3. **viskózní stav** (kapalný stav, který nastává *u lineárních polymerů amorfních nad teplotou měknutí T_f , u lineárních polymerů semikrystalických nad teplotou tání krystalů T_m*).

Reaktoplasty a amorfní plasty se používají nejčastěji ve stavu sklovitém, elastomery a semikrystalické termoplasty ve stavu kaučukovitém.

10.3 Vlastnosti plastů

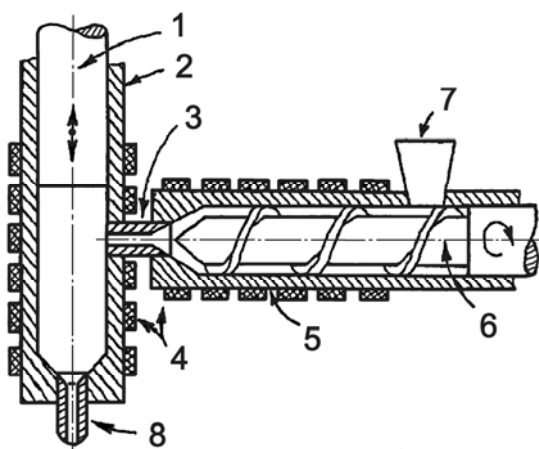
- Liší se od mechanických vlastností kovů tím, že *jsou podstatně více závislé na teplotě a ještě více závislé na čase*.
1. **mechanické vlastnosti při krátkodobém namáhání** (*zjišťují se tahovou zkouškou – mez kluzu, pevnost, tažnost, modul pružnosti, celkové chování při deformaci, zkouškami rázové a vrubové houževnatosti*),
 2. **mechanické vlastnosti při dlouhodobém konstantním namáhání** (*křipová zkouška – ke zjištění časového růstu celkové deformace při konstantním napětí, relaxační zkouška – zjišťuje se časový pokles napětí při konstantní deformaci. Rozměrová a tvarová stálost plastů je horší než u kovů. Snižováním teploty pod teplotu T_g plasty křehnou.*),
 3. **mechanické vlastnosti při cyklickém namáhání** (*zjišťuje se časová mez únavy materiálu. Plasty mají schopnost tlumit rázy a vibrace, zvláště ve stavu kolem teploty T_g .*),
 4. **fyzikální vlastnosti** (*tepelná vodivost – je podstatně menší, než u kovů. Teplotní roztažnost – je podstatně vyšší, než u kovů. Teplotní odolnost – souvisí s teplotou skelného přechodu T_g , je horší než u kovů – běžné plasty odolávají teplotám 60 až 80 °C, speciální plasty až 200 °C.*),
 5. **stárnutí plastů** (*tepelné a oxidační, vlivem povětrnosti a vlivem záření. Způsobuje křehnutí, žloutnutí, ztrátu lesku, zvýšení pevnosti na úkor tažnosti. Snižuje se zamezením přístupu vzduchu, přísadami stabilizátorů, vhodnou volbou záření. Odolnost proti stárnutí, vzdušné oxidaci a slunečnímu záření je horší než u kovů.*),
 6. **koroze plastů za napětí** (*způsobují ji roztoky mýdel, oleje, maziva, mastné kyseliny, benzín, aceton, horká voda apod. Jde o povrchové vytváření trhlin, které se postupně šíří a prudce zhoršují mechanické vlastnosti. Vyskytuje se především u termoplastů, reaktoplasty jsou vlivem zesíťování odolnější. Chemická odolnost plastů je větší než u kovů – plasty dobře odolávají korozi vlivem vlhkosti.*),
 7. **navlhavost a nasákavost plastů** (*při uložení plastu ve vlhkém ovzduší – navlhavost, při uložení ve vodě – nasákavost. Anorganická pojiva, tj. břídlcová moučka, skleněná vlákna, navlhavost snižují, organická pojiva, tj. dřevitá moučka, papírová, bavlněná pojiva, navlhavost zvyšují. Probíhá směrem dovnitř plastu až do rovnovážného stavu. Přijímáním vody se rozměry plastové součásti zvětšují, mění se její mechanické vlastnosti.*

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady součástí z plastů a u každé popište její vlastnosti.

10.4 Úprava plastů před zpracováním

Nejčastější úpravy:

1. **zrnění (granulování)** – *úprava plastů zvětšováním jejich sypné hmoty. Granulát* – stejnoměrně oblé, nebo vícehranné částice plastu nebo želatinové směsi plastu se změkčovadlem. *Vyrábí se v granulátorech nebo v drtičích.* Stejnomořný tvar granulí je výhodný pro plnění násypných komor strojů – nedochází k nalepení na stěny násypky.
2. **předlisování (tabletování)** – *tabletovacími stroji* se vyrábějí *tablety určité hmotnosti*, což usnadňuje dávkování – nedochází ke ztrátám velkými přetoky nebo nedolisky a odstraňuje se převážná část vzduchu, takže u menších výlisků odpadá odvdzdušňování nástroje.
3. **předehřívání** – *plast se před zpracováním předehřívá* na teplotu nejbližší tepelným podmínkám v nástroji, nebo na teplotu, kterou jeho zpracování bezprostředně vyžaduje – např. tažení, ohýbání.
4. **předplastikace** – *hmota se na jiném stroji působením tepla přivede do plastického stavu* a pak se teprve dává do vlastního zpracovatelského zařízení (obr. 10.3). Zlepšuje jakost a homogenitu výrobků a zkracuje výrobní cyklus.
5. **želatínace** – *zpracování polymeru se změkčovadly*, kdy vzniká z koloidních roztoků tzv. *gel*. Používají se *hnětačí a vícešnekové vytlačovací stroje*. Provádí se u všech výrobků z PVC.
6. **míchání a hnětení** – míchací postupy lze rozdělit podle skupenství míchaných hmot na *suché, viskózní a kapalné*. Provádí se v míchacích bubnech.
7. **sušení** – *odstranění vlhkosti*, která znesnadňuje zpracování a zhoršuje kvalitu výrobků.



Obr. 10.3 Vstřikování se šnekovou předplastikací (1 – píst, 2 – plášť komory, 3 – přívod hmoty, 4 – topení, 5 – topení, 6 – šnek, 7 – násypka, 8 – vstřikovací tryska)

Pomocné látky:

- a) **změkčovadla** (poskytují organickým polymerům ohebnost, tvárnost, snižují teplotu zesklenní a modul pružnosti. Principem působení změkčovadel v plastech je *zvýšení vnitřní pohyblivosti makromolekul.*),
- b) **maziva** (*usnadňují zpracování těžko zpracovatelných polymerů*, přičemž nemají ovlivňovat ostatní vlastnosti. Např. kyselina stearová, přírodní vosky, minerální a rostlinné oleje, velrybí tuk.),

- c) **pigmenty a barviva** (*zajišťují požadovaný estetický vzhled polymerů*). Pigmenty jsou barevné organické látky, které jsou v daném prostředí rozpustné a dávají nátěrům pouze transparentní zbarvení – např. přírodní sádrovec, křída, grafit. Z umělých to jsou titanová běloba, kadmiová červeň, rumělka, zinková běloba.),
- d) **plniva** (*pro úpravu vlastností, nebo snížení ceny výrobku*). Mohou zvýšit pevnost, zlepšit elektrické vlastnosti, odolnost proti otěru, chemickou odolnost apod. Nesmí odírat nástroje, zhoršovat vzhled nebo způsobovat pórovitost. *Nejvíce se používají u reaktoplastů*, u termoplastů zřídka. *Organická plniva*: dřevěná moučka, textilní vlákna, papír apod. *Anorganická plniva*: azbest, slída, sloučeniny olova, skleněná vlákna, cement, grafit apod.),
- e) **ztužovadla** (*svým tvarem a strukturou zpevňují použité pryskyřice*). Získané vrstvené materiály neboli *lamináty* mají dobré mechanické vlastnosti. Jako ztužovadla se používají vláknité materiály na bázi bavlny, papíru, skla, apod.),
- f) **nadouvadla** (při určité teplotě se snadno rozkládají za mocného vývoje plynu. Jsou přísadami *pro výrobu lehčených plastických hmot a kaučuků*.),
- g) **čínidla snižující hořlavost** (*pro nehořlavé nátěry* – kysličník antimonitý, chromitý, kaolín, křída, azbest, mletá slída, grafit, škrob, močovina atd.),
- h) **separační čínidla** (*ke snazšímu uvolňování výrobků z forem*. *Pro termoplasty* – vosky, mýdla, silikonové nátěry. *Pro pryskyřice* – celofánové fólie, vosky, maziva, prášky apod.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití pomocných látek při výrobě součástí z plastů.

10.5 Kompozitní materiály

- skládají se z vlastních *makromolekulárních látek* a z *plniva* (*plnivy lze ovlivňovat vlastnosti* – zvyšovat modul pružnosti, pevnost, houževnatost a ovlivňovat také fyzikální vlastnosti)

Rozdělení kompozitů:

- porézní materiály plněné polymery, které nevytvářejí spojitou fázi** (*porézní materiály*: keramika, beton, dřevo. Dutiny se vyplní reakce schopným monomerem.),
- vyztužené polymery** (polymerní složka vytváří základní spojitou matici),
 - kompozity s práškovým plnivem** (*plniva*: saze, minerální látky – SiO_2 , CaCO_3 , kovy – Al, oxidy kovů),
 - kompozity s vláknovým plnivem** (*plniva*: *anorganická* – sklo, azbest, kovy, nebo *organická* – bavlna, celulóza. *Lamináty* – mají navzájem spojená vlákna ve formě tkanin.),
- makroskopické kompozity** (polymerní i nepolymerní složky jsou zřetelně rozlišitelné pouhým okem).



Úkol k zamyšlení

Uved'te příklady využití kompozitních materiálů při výrobě součástí v praxi.

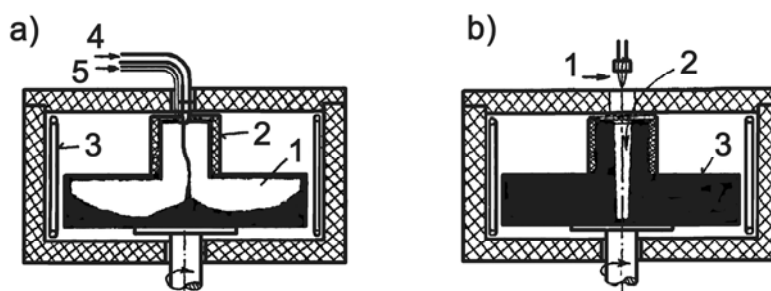
10.6 Zpracování plastů

Plasty se zpracovávají ve stavu:

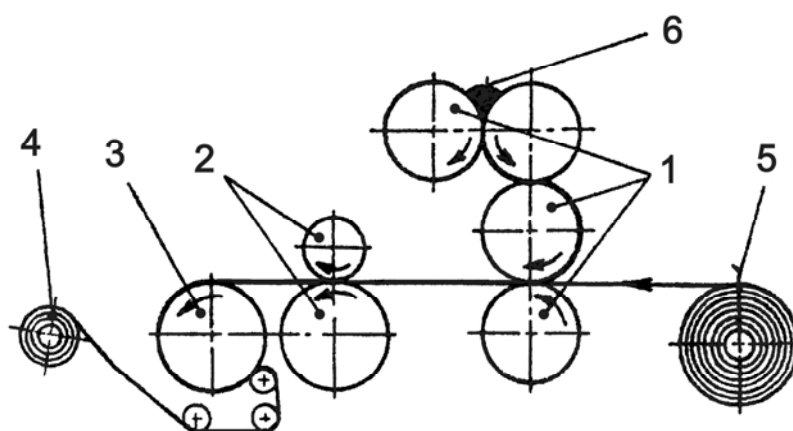
1. **tekutém** – odléváním, litím, máčením, natíráním, zpěňováním,
2. **plastickém** – vstřikováním, lisováním, přetlačováním, tvarováním, vytlačováním, vyfukováním, válcováním,
3. **tuhém** – obráběním.

10.6.1 Zpracování plastů v tekutém stavu

- a) **odlévání** (používá se u termoplastů i reaktoplastů. Formy bývají olověné, skleněné, z plastů, z kovů. Odlévá se *do statických forem* nebo *odstředivým litím*.) (obr. 10.4),
- b) **lití** (*nepřetržitě lití plastické hmoty na větší plochu* – licí nebo dopravní pás, používá se u termoplastů. Vyrábí se tak fólie a filmy.),
- c) **máčení** (forma se ponoří *do nádrže s plastem v tekutém stavu*. Když na formě ulpí dostatečné množství hmoty, vysune se zvolna z nádrže a vytvořená vrstva se tepelně zpracuje. Takto se např. vyrábí ochranné rukavice, duše nafukovacích míčů.),
- d) **natírání** (používá se především při výrobě koženky, voskových pláten a linolea. *Pasta* o složení 60 až 70 % polymeru + 40 až 30 % změkčovadla se natírá na podložní, obvykle textilní, materiál *natíracími noži* na *natíracích strojích* a pak se při 100 až 140 °C *předželatinuje*, aby se nános navíjených rolí na konci natíracího zařízení neslepoval a mohly se případně provést další nátěry bez porušení předchozího nánosu. Nakonec se předželatinované nánosy *doželatinují* při teplotě 160 až 170 °C na *želatinovacích strojích* a za tepla se *dezénovacími válci* vylisuje žádaný povrch a nános se ochladí.) (obr. 10.5),
- e) **zpěňování** (ve speciálně upravené válcové míchačce pohybuje základním materiálem šnek a *tryskami ve dně se přivádí pára* k *předpěnění*. Zpěněný materiál je vytlačován přes přepadový otvor do zásobníku, kde zraje. Stroje pro *vypěňování* jsou jednoúčelová zařízení, předpěněný granulát se do formy dopravuje injektorem. *Po naplnění formy se do ní vpouští pára*. Po skončení *dopěňování* se nástroj ochladí vodní sprchou, nebo tlakovou vodou. Takto lze vyrobit tvarové díly z pěnového polystyrénu.).



Obr. 10.4 Odstředivé lití (a – odlévání při malých otáčkách, b – dokončení lití a zahuštění při vysokých otáčkách)



Obr. 10.5 Výroba koženky natíráním (a – válce, b – dezénovací válce, c – chladicí a napínací válec, d – role koženky, e – role papíru nebo textilu, který tvoří nosnou vrstvu koženky, f – fólie)



Úkol k zamyšlení

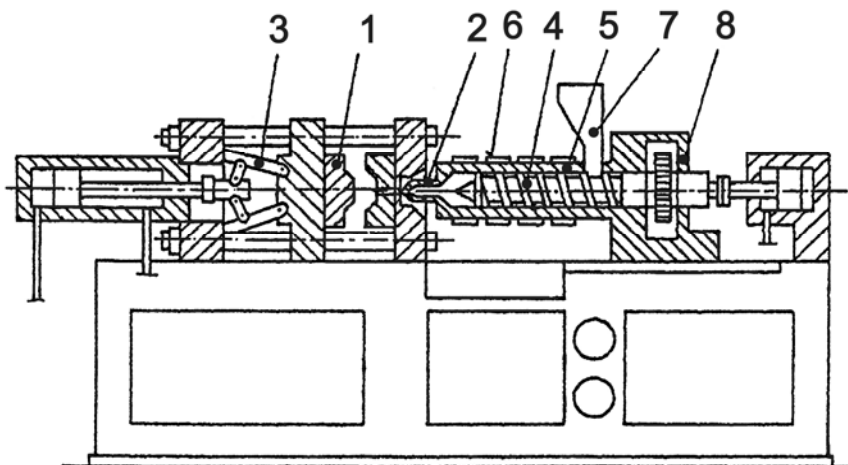
Uved'te příklady součástí vyrobených zpracováním plastů v tekutém stavu.

10.6.2 Zpracování plastů v plastickém stavu

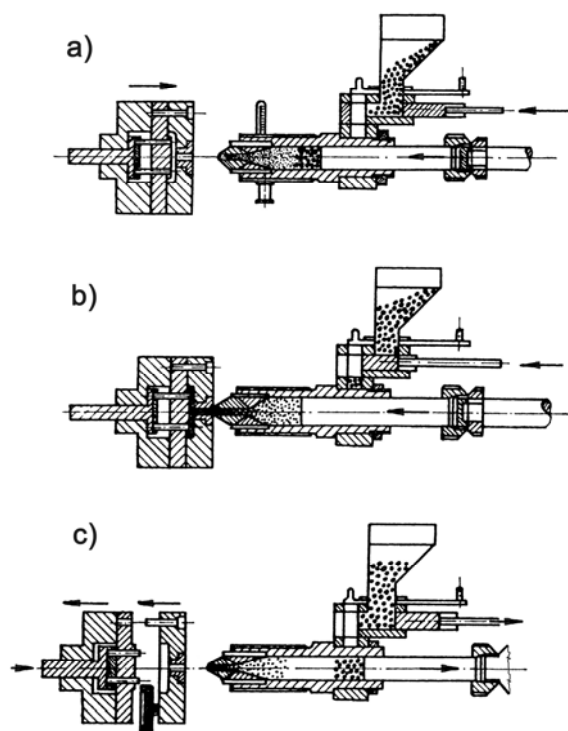
- a) **vstřikování** (*granule termoplastu* se přivádí do tavicí komory. Aby byl styk hmoty s vyhřátými stěnami tavicí komory co největší, obtéká plastikovaná hmota rozváděcí kužel, tzv. **torpédo**, nebo je podávána **plastikačním šnekem**. Z tavicí komory se vstřikuje tlakem pístu vstřikovacího válce kalenou ocelovou tryskou do formy, a to pod tlakem 50 až 200 MPa. Fáze vstříknutí se dělí na **plnění formy** a **stlačení hmoty ve formě**. Vstřikovací tlak se sníží na tzv. **dotlak** – pro zabránění vzniku propadlin. Následuje rychlé ochlazení na teplotu měknutí, takže výlisek lze bezpečně vyjmout.) (obr. 10.6 až 10.12),
- b) **lisování** (lisuje se do forem při zvýšených teplotách a tlacích. Podle tlaku se rozlišuje: **kontaktní lisování** – při tlacích do 0,5 MPa, **nízkotlaké lisování** – při tlacích 0,5 až 3 MPa (obr. 10.13 až 10.15), **vysokotlaké lisování** – 15 až 60 MPa. **Vysokotlaké lisování se**

dělí na: přímé lisování – v lisovací formě na lisu (obr. 10.17), lisuje se s přetoky, lisování rázem – pro drobné výrobky z termoplastů, používá se rychlost 3 m/min, **nepřímé lisování** – též **přetlačování, lisostřík**, hmota se převede teplem do plastického stavu v plnicí komoře, která je součástí formy, a tlakem pístu se pak prudce vytlačí kovovým kanálkem do dutiny formy (obr. 10.17 a 10.18). **Výhody lisostříku**: kratší lisovací časy, přesnější otisk tvarovacího prostoru, menší opotřebení formy.),

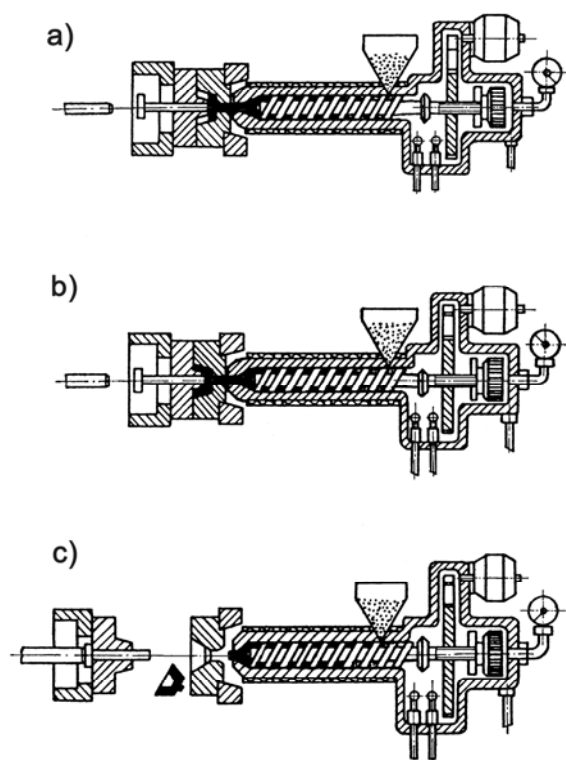
- c) **tvarování** (*polotovary jsou fólie nebo desky. Vakuové tvarování* – účinkem tepla se fólie zahřeje na vhodnou tvarovací teplotu a za vakua se snadno přisaje na formu, jejíž tvar přesně otiskne. Po ochlazení se získá trvalý tvar výlisku. Polotovary mohou být z měkčeného PVC, celuloidu, polyetylenu apod.) (obr. 10.19 až 10.21),
- d) **vytlačování** (hmota je v plastickém stavu vytlačována z tlakové komory **vytlačovací hlavou s hubicí** do volného prostoru (obr. 10.22 až 10.24). U termoplastů se používají **šnekové vytlačovací stroje** (obr. 10.25), u reaktoplastů **pístové vytlačovací stroje** (obr. 10.27). **Použití**: k opláštování kabelů a drátů izolační vrstvou, při použití plochých hubic – k výrobě fólií, především z polyetylenu, obr. 10.27),
- e) **vyfukování** (*pro výrobu dutých nádob. Výtlačné vyfukování* – nevýhodou je nepravidelná tloušťka stěny (obr. 10.28 až 10.30). **Vstřikovací vyfukování** – ve vstřikovací stroji se zhotoví předlisek přímo na vyfukovacím trnu, s ním se ještě za tepla přesune do vyfukovací formy, do níž se vyfoukne vzduch z vyfukovacího trnu.),
- f) **válcování** (*pro výrobu fólií nebo desek z plastických hmot*, převážně z PVC. Zplastikovaná hmota se přivádí **do štěrbin mezi dvěma vyhřívanými otáčejícími se válci** s nepatrným skluzem. Zde končí želatinační nebo plastikační proces. Materiál pak prochází do dalších štěrbin, kde se tvaruje fólie hladkým povrchem válců. Lze docílit tloušťku fólie 0,07 až 0,6 mm.).



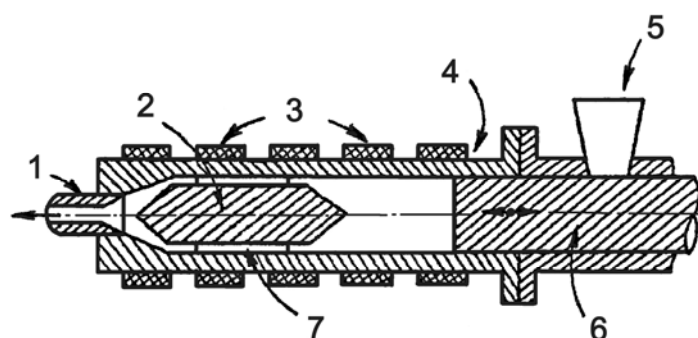
Obr. 10.6 Vodorovný vstřikovací lis (1 – nástroj, 2 – vstřikovací tryska, 3 – uzavírací mechanismus, 4 – šnek, 5 – komora, 6 – topné pásy, 7 – násypka, 8 – převodovka)



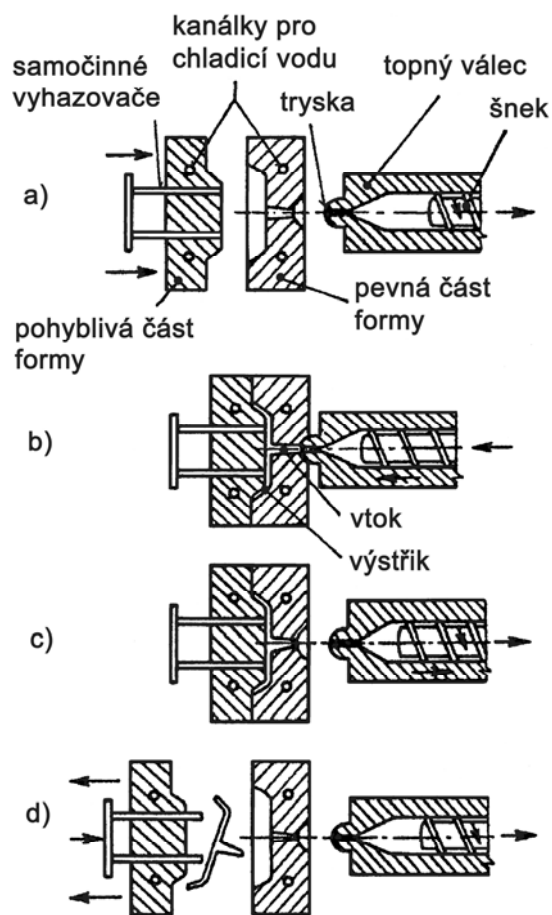
Obr. 10.7 Pístový vstřikovací lis (a – uzavření formy vysokým tlakem, doplnění tavicí komory dávkou, zrněné hmoty, začátek nového dávkování, plastikace v topném válci, b – přísuv formy k vstřikovací trubici tavicí a plastikační komory, vstříknutí taveniny do formy a dotlak, chlazení hmoty, dokončení dávkování nad vstřikovací píst, c – odsuv formy od vstřikovací trubice, otevření formy a vyhození výstřiku, vrácení vstřikovacího pístu a nadávkování tavicí komory hmotou, vrácení dávkovacího zařízení)



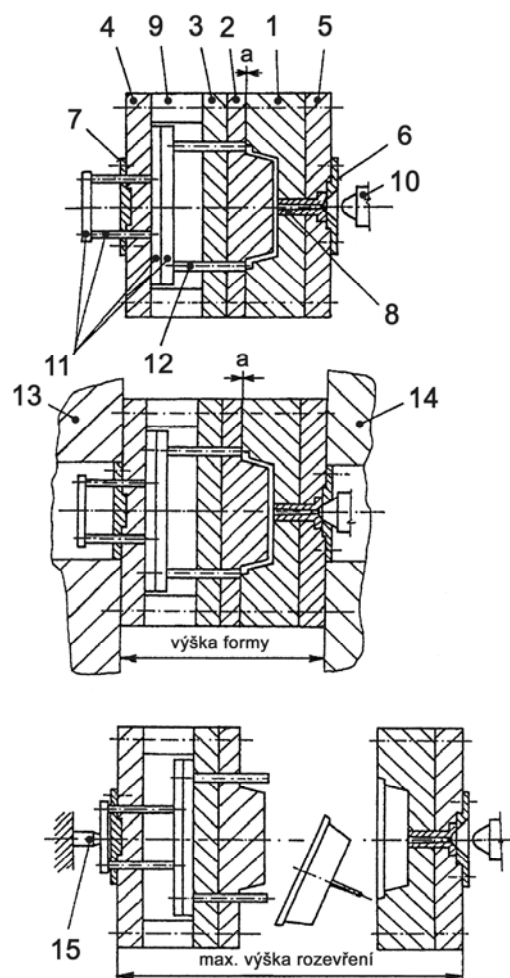
Obr. 10.8 Šnekový vstřikovací lis (a – plastikace v topném válci, uzavření formy a přískok formy k vstřikovací trubici, začátek naplňování tvářecí dutiny taveninou, šnek se otáčí, b – dokončení naplňování formy, šnek se otáčí, chlazení hmoty, zapnutí otáčení pro zpětný pohyb šneku a začátek předplastikace, c – odskok formy a vyhození výstřiku, ukončení dávkování a plastikace po zastavení otáčení šneku)



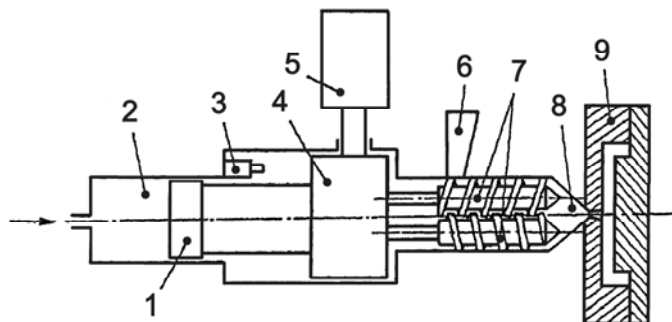
Obr. 10.9 Vstřikování s plastikací torpédem (1 – tryska, 2 – torpédo, 3 – vyhřívání, 4 – topný válec, 5 – násypka, f – fólie)



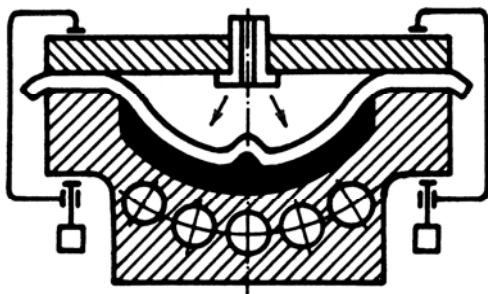
Obr. 10.10 Fáze vstřikování termoplastu (a – plastikace v topném válci, b – vstříknutí taveniny do formy a dotlak, c – chladnutí hmoty ve formě, d – vyhození výstřiku z formy a pokračování plastikace)



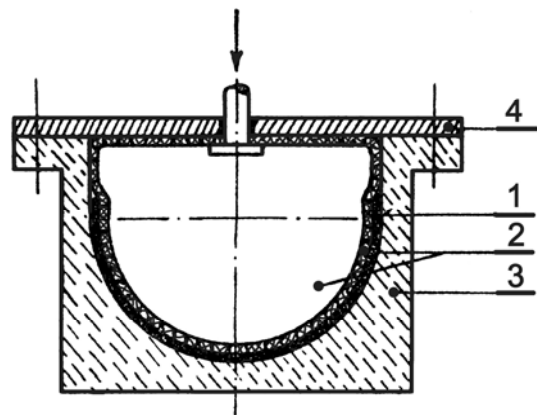
Obr. 10.11 Jednonásobná forma se středovým vtokem (1 – kotevní deska tvárnice, 2 – kotevní deska tvárníku, 3 – opěrná deska, 4, 5 – základová deska, 6 – středící kroužek, 7 – středící kroužek, 8 – vtoková vložka, 9 – rozpěrky, 10 – tryska, 11 – vyhazovací systém, 12 – vyhazovací kolík, 13 – odjížděcí deska stroje, 14 – pevná deska stroje, 15 – pevný doraz stroje, a – dělicí rovina)



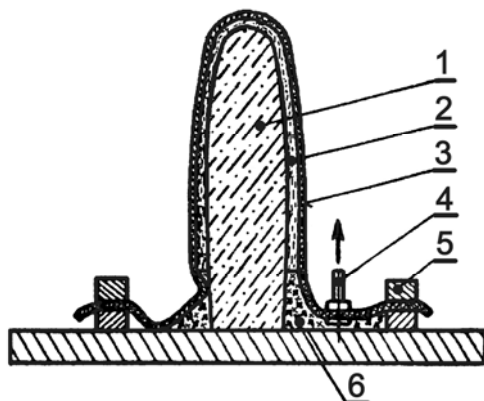
Obr. 10.12 Vstřikování pomocí dvou plastikačních šneků (1 – píst, 2 – tlaková komora pístu, 3 – čidlo, 4 – převodovka, 5 – pohon, 6 – násypka, 7 – šneky, 8 – vstřikovací tryska, 9 – vstřikovací forma)



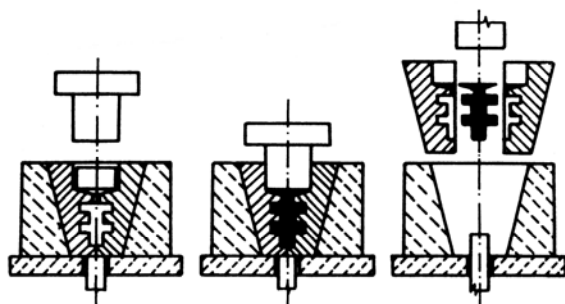
Obr. 10.13 Nízkotlaké lisování pomocí pružné pleny



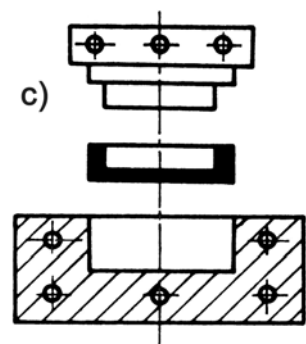
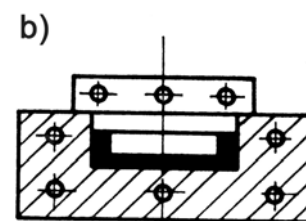
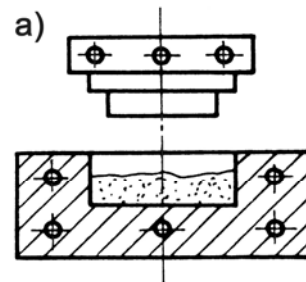
Obr. 10.14 Nízkotlaké lisování pomocí pružného vaku (1 – výlisek, 2 – vak, 3 – forma, 4 – víko formy)



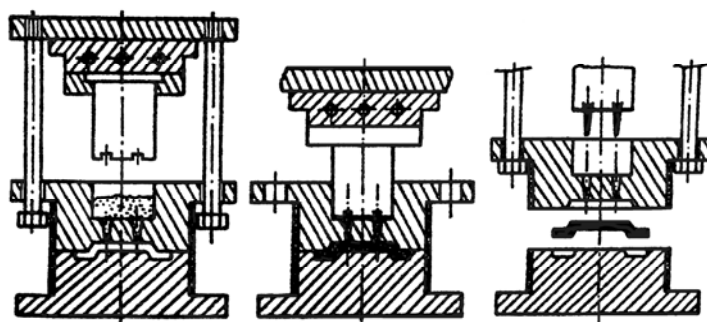
Obr. 10.15 Nízkotlaké lisování pomocí pružné plachetky za použití vaku (1 – forma, 2 – výlisek, 3 – plachetka, 4 – připoj k vakuovému čerpadlu, 5 – těsnění, 6 – neprodyšná plst')



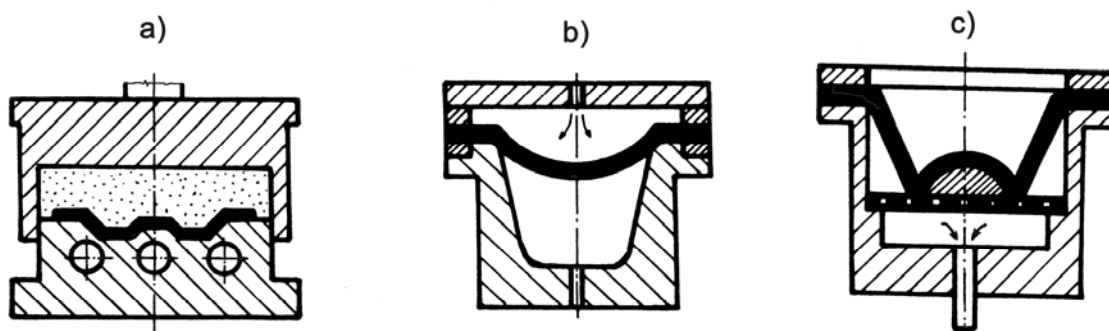
Obr. 10.17 Postup nepřímého vysokotlakého lisování (přetlačování, lisostřiku) čepovité součásti



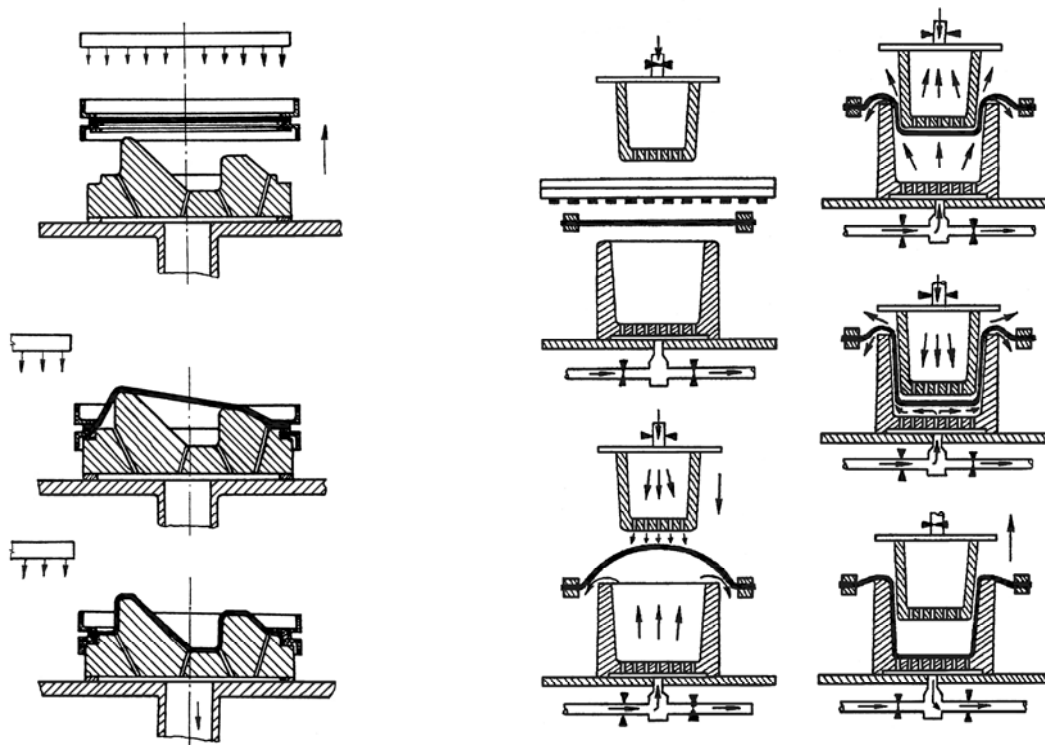
Obr. 10.16 Postup přímého vysokotlakého lisování



Obr. 10.18 Postup nepřímého vysokotlakého lisování (přetlačování, lisostřiku) víka

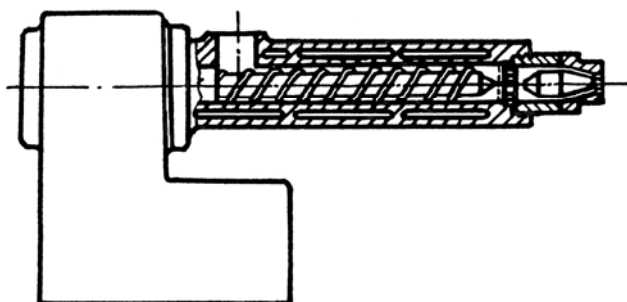


Obr. 10.19 Tvarování (a – tažení a přetahování tvárníkem lisu pomocí pryžového polštáře, b – tažení a foukání tlakovým vzduchem nebo parou, c – tažení a přetahování vakuem)

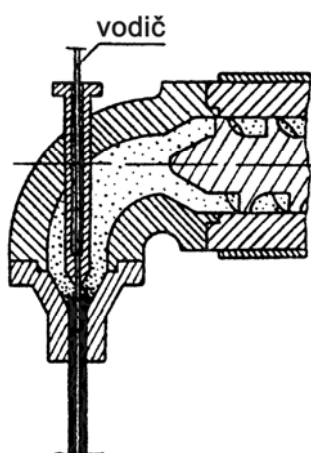


Obr. 10.20 Postup pozitivního tvarování

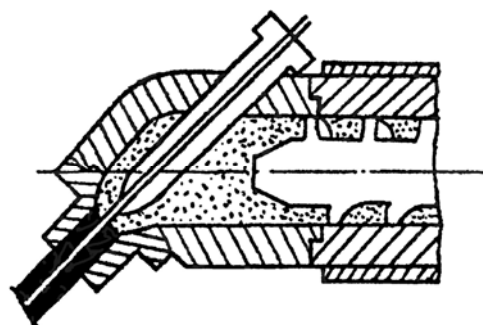
Obr. 10.21 Postup negativního tvarování – vakuové tvarování metodou vyfukovaného vzduchu



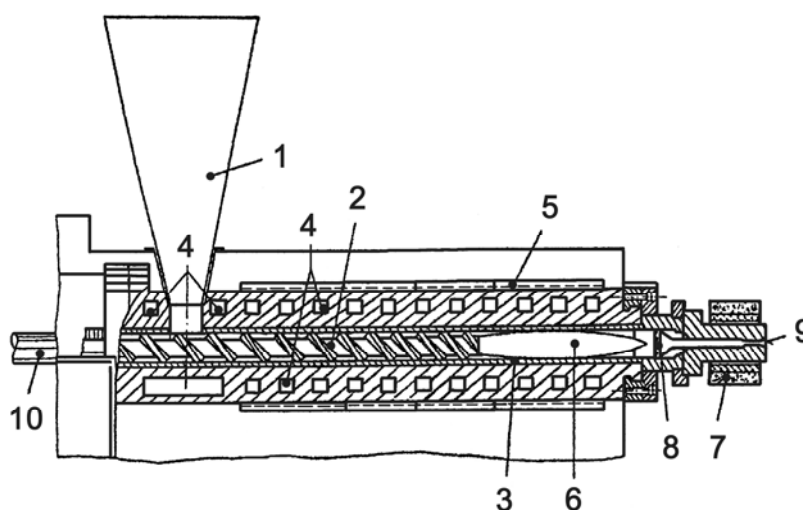
Obr. 10.22 Jednošnekový vytlačovací stroj



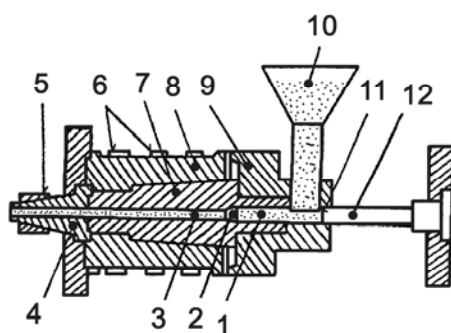
Obr. 10.23 Příčná vytlačovací hlava



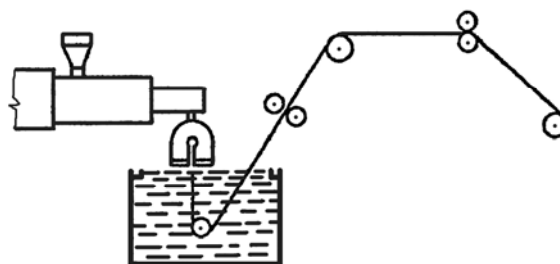
Obr. 10.24 Šikmá vytlačovací hlava



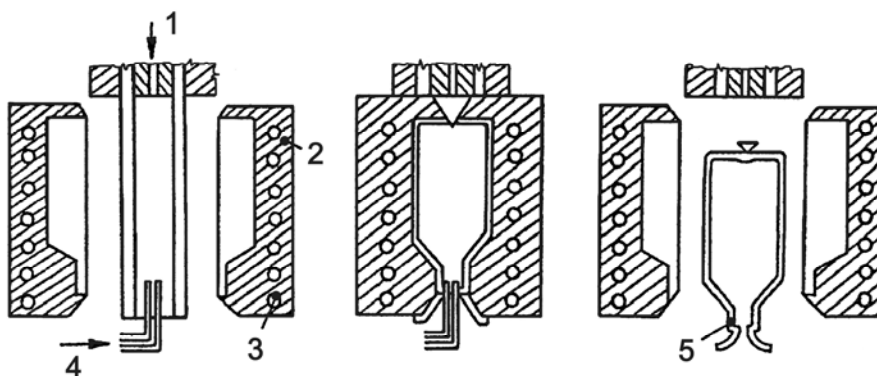
Obr. 10.25 Šnekový vytlačovací stroj (1 – násypka, 2 – šnek, 3 – plášť komory, 4 – vyhřívání, 5 – chlazení, 6 – torpédo, 7 – vytlačovací hlava, 8 – lamač toku, 9 – hubice)



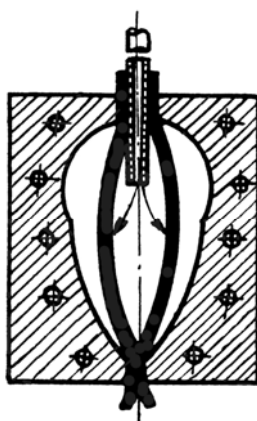
Obr. 10.26 Pístový vytlačovací stroj (1 – prostor s granulátem, 2 – redukce, 3 – zplastikovaná hmota, 4 – vytlačovací hlava, 5 – hubice, 6 – vyhřívání, 7 – plášť komory, 8 – obal pláště, 9 – držák násypky, 10 – násypka, 11 – čelo pístu, 12 – píst)



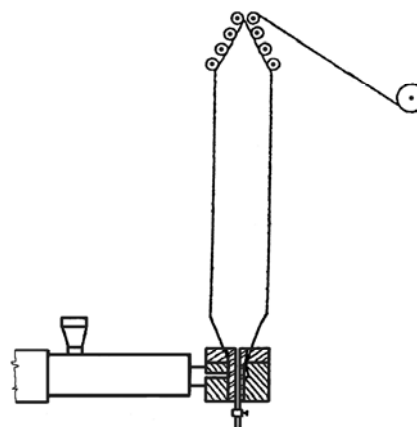
Obr. 10.27 Schéma vytlačování fólie štěrbinovou hlavou s plochou hubicí kolem leštěného válce s ochlazením v chladicí lázni



Obr. 10.28 Výtlačné vyfukování lahví (1 – vytlačovací hlava, 2 – forma, 3 – vyhřívání, 4 – přívod vzduchu)



Obr. 10.29 Vyfukování parou



Obr. 10.30 Schéma vyfukování fólie rozfukováním tlustostěnné hadice v plastickém stavu tlakem plynu (přítlačné válečky odvíjejí vzniklou fólii na navíjecí zařízení)



Úkol k zamyšlení

Uvedte příklady součástí vyrobených zpracováním plastů v plastickém stavu.

10.7 Technologičnost součástí z plastů

Řešení tvaru musí respektovat:

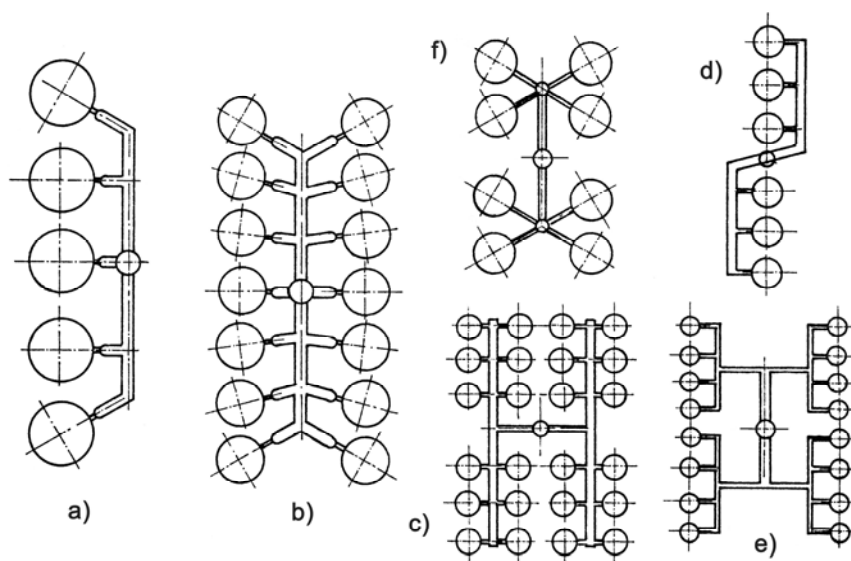
1. **funkčnost součástí** (používání *vícefunkčních součástí*. Zabezpečení funkčnosti vyžaduje provedení pevnostních výpočtů. U mechanicky zatížených součástí je třeba *vyloučit vruby* a dbát na *rovnoměrné rozložení napjatosti* ve všech nosných průřezech.),
2. **technologičnost tvaru** (*dodržení zásady co nejplynulejšího a nejrychlejšího naplnění formy taveninou*. Náhlé změny průřezu, ostré rohy a kouty, zářezy a otvory způsobují víření proudu taveniny, orientaci makromolekul, vnitřní pnutí, studené spoje, nerovnoměrné smrštění apod.),
3. **estetické řešení** (součást musí být v souladu s funkcí a prostředím, v němž bude využívána, s materiálem a technologií. Vhodné jsou oblé tvary, plynulé přechody.),
4. **ekonomičnost tvaru** (Aby byla forma levná, má mít *jednoduchý tvar*, který rovněž zvýší provozní spolehlivost a usnadní automatickou výrobu. U menších sérií lze připustit i menší *dodatečné opracování*, pokud se tím sníží náklady na výrobu formy.).

Hlavní zásady tvarového řešení výstřiků z termoplastů:

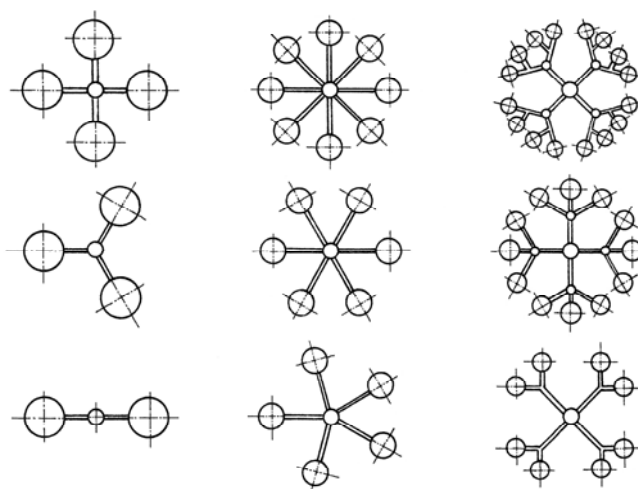
- a) **dělicí rovina** (*má být jednoduchá, pokud možno rovinná*. Je to plocha, v níž dosedá jedna část formy na druhou. *Ovlivňuje* vyhazování výrobku z formy, možnost zjednodušení tvaru, polohu jader.),
- b) **umístění vtoků** (*ovlivňuje proudění taveniny ve formě*, a tím i vlastnosti výstřiku) (obr. 10.31 až 10.33),
- c) **tloušťka stěny** (*má být pokud možno malá*, aby se omezila možnost vzniku povrchových propadlin a vnitřních staženin, *má být rovnoměrná*, což je podmínka pro stejnou a rovnoměrnou rychlost proudu taveniny ve formě. *Minimální tloušťka stěny* závisí na délce toku taveniny ve formě – při snižování tekutosti musí být větší tloušťka stěny.) (obr. 10.34 až 10.36),
- d) **zaoblení** (*minimální hodnota je čtvrtina tloušťky stěny*. Malý rádius může být příčinou deformace vlivem špatného odvodu tepla v okolí vnitřní hrany. *Ostré hrany* mohou být jen na vnější straně tam, kde stěny výstřiku končí v dělicí rovině formy.),
- e) **úkosy** (*jsou nutné pro snazší vyjímání výstřiků z formy*. Pro vnější stěny jsou minimální úkosy *0,5 až 1°*, pro vnitřní stěny *1 až 2°*.),
- f) **žeбра** (*k vyztužení výstřiků*, umožňují použití tenkých stěn. V místě protínání žeber nesmí dojít k hromadění materiálu.),
- g) **dosedací plochy** (mají být malé a má jich být co nejméně – *ideální je dosednutí na tři body*) (obr. 10.37),
- h) **okraje výrobků** (*nemají být zesílené*, aby se zamezilo hromadění materiálu. Totéž platí pro upevňovací výstupky pro průchozí, nebo závrtné šrouby.) (obr. 10.38 a 10.39),
- i) **kovové vložky** (tzv. *zálsky*, *slouží pro zpevnění závitového spoje, kolíků, upevnění elektrických kontaktů apod.* Prodlužují však výrobní cyklus a mohou mít nepříznivý vliv na

chladnutí taveniny ve formě – studené spoje, trhliny. Existuje i *varianta dodatečného vsazování těchto vložek do výstřiku*. Vložky mají mít malou hmotnost, zaoblené dno i vnější hrany, zajištění proti vytažení a pootočení.),

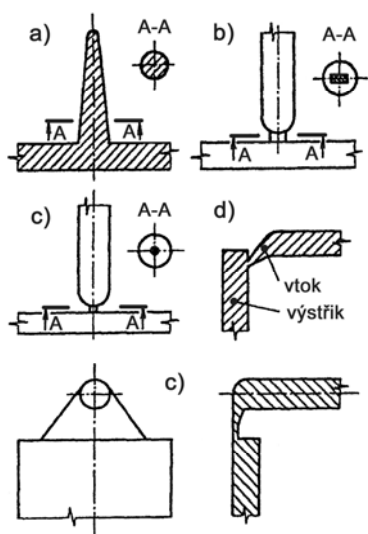
- j) **povrchová úprava** (**Matování** – pískováním nebo fotochemicky se matuje část lícni plochy vstřikovací formy. **Rýhování** – jemným frézováním části lícni plochy formy. **Barvení** – dvoubarevné vstřikování speciálními vstřikovacími stroji se dvěma vstřikovacími jednotkami. **Sítotisk** – protlačování tiskové barvy přes síťovou šablonu. **Obtisky** – barevné obrázky lze nalepovat přímo na výrobek, nebo se vkládají do formy a zastříknou se taveninou. **Ražení** – přes kovovou fólii za tepla, vyhřívaný kovový razník vtlačí do povrchu výstřiku otěruvzdorný vzor s různobarevným kovovým odstínem. **Vakuové pokovování** – kondenzace par rozžhaveného kovu – Al, Cr na povrchu plastového výrobku umístěného ve vakuové komoře. **Galvanické pokovování** – nejčastěji se nanáší lesklý Cr, podmínkou je vysoce lesklý a čistý povrch, vznikne trvanlivý povlak o větší tloušťce.).



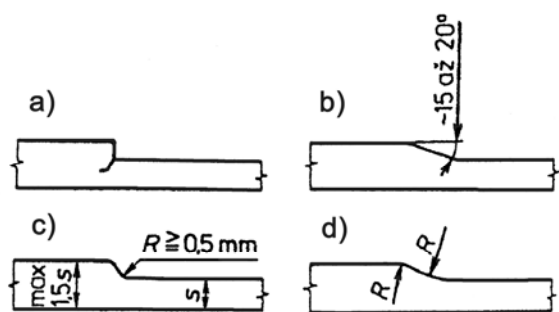
Obr. 10.31 Řadové uspořádání vtokové soustavy vícenásobných forem (a, b – s nesterjnou délkou toku taveniny, c, d, e, f – se stejnou délkou toku taveniny)



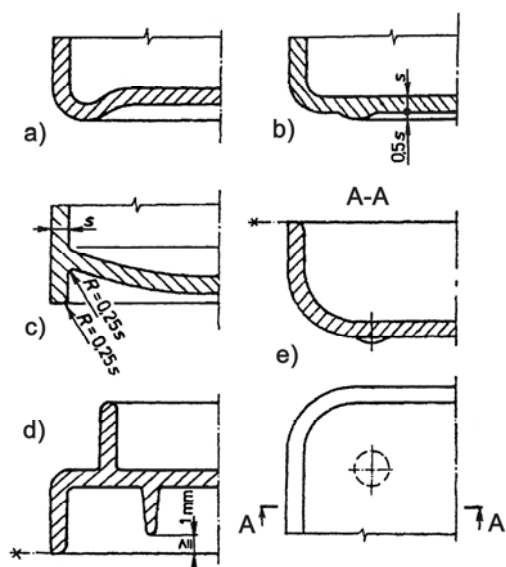
Obr. 10.32 Symetrické uspořádání vtokové soustavy vícenásobných forem



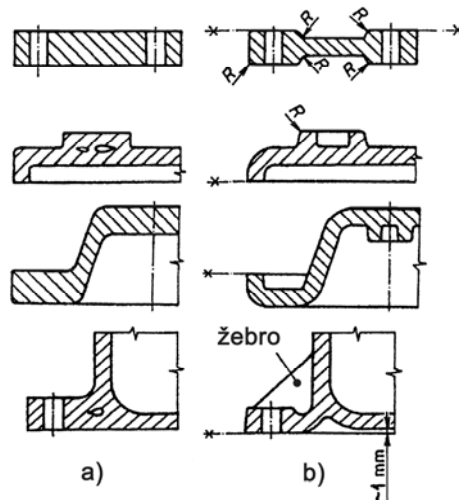
Obr. 10.33 Základní druhy vtoků (a – plný, b – obdélníkový, c – bodový, d – tunelový, e – membránový)



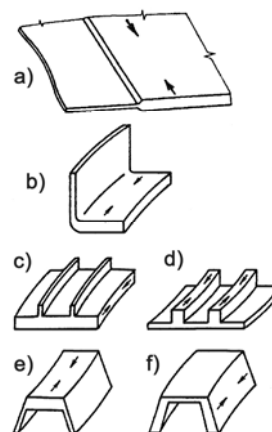
Obr. 10.35 Přečty v tloušťce stěny (a – nevhodný, d – nejvhodnější)



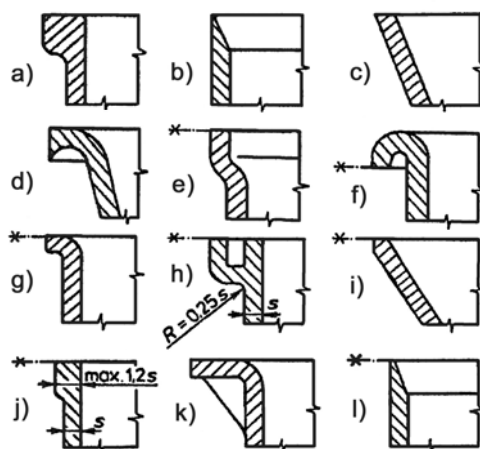
Obr. 10.37 Vhodná řešení dosedacích ploch



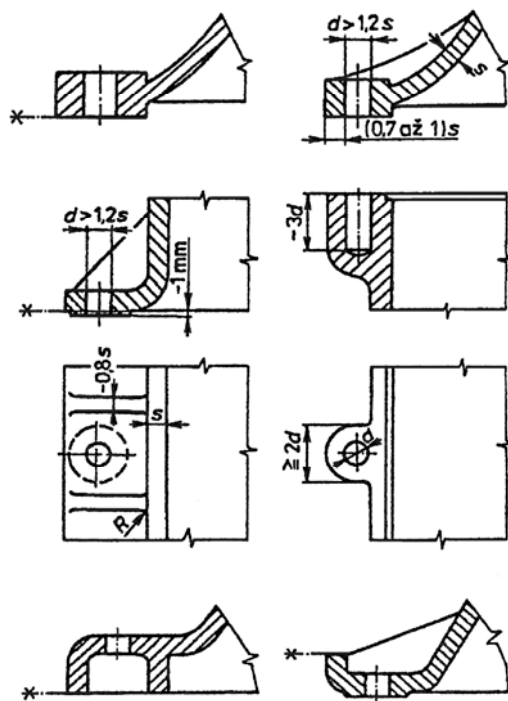
Obr. 10.34 Úpravy rovnoměrnosti tloušťky stěn (a – nevhodné, b – po úpravě)



Obr. 10.36 Deformace výstřiků následkem rozdílných tloušťek stěn



Obr. 10.38 Řešení okrajů nádob z plastů



Obr. 10.39 Upevňovací výstupky pro šrouby

Hlavní zásady tvarového řešení výstřiků z reaktoplastů:

- umístění vtoků** (vzhledem k horší tekutosti reaktoplastů je třeba zvlášť dbát na to, aby dráhy toku taveniny byly co nejkratší a hydraulické odpory v kanálech co nejmenší a aby se omezil vznik orientace plniva. Proto se často u větších a složitějších výstřiků používají **vícenásobné vtoky**.),
- tloušťka stěny** (bývá větší, 2 až 6 mm, a **nemusí být rovnoměrná**, přechod mezi tlustou a tenkou stěnou musí být pozvolný, nikoliv ostrý),
- zaoblení a úkopy** (jsou na výstřicích nutné. Úkopy musí být na stěnách, rovnoběžných se směrem otevírání formy.),
- ostré hrany** (**nejsou žádoucí**. Je třeba **se vyhnout hlavně vnitřním ostrým hranám**, protože reaktoplasty jsou křehké, mají nízkou rázovou a vrubovou houževnatost.),
- použití závitorezných šroubů** (**není vhodné** vzhledem ke křehkosti reaktoplastů a **nebezpečí vyštípnutí závitu**, vhodné jsou hladké kruhové díry a průchozí kovové šrouby),
- nýtování a svařování** (**nelze použít** ke spojování, protože jsou reaktoplasty netavitelné),
- spojení pružným zaskočením** (**nelze použít** vzhledem k nepatrné tažnosti a deformovatelnosti reaktoplastů).

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady součástí z plastů a popište, které zásady technologičnosti byly respektovány při jejich výrobě..

	Shrnutí kapitoly
	Plasty: jsou <i>makromolekulární látky (polymery)</i>, jejichž <i>základními stavebními atomy</i> jsou C, H, O, N, F, Cl, u silikonů Si. Jsou tvořeny <i>makromolekulárními řetězci</i>, tj. dlouhými molekulami s opakujícími se základními strukturními jednotkami. Tyto řetězce mohou, nebo nemusí být mezi sebou spojeny chemickými vazbami. <i>Plasty lze formovat teplem nebo tlakem, případně oběma činiteli současně.</i> Plasty se skládají ze složek: 1. makromolekulární látka (určuje charakteristické vlastnosti hmoty), a) přírodní makromolekulární látky a jejich deriváty – přírodní kaučuk, deriváty celulózy, přírodní pryskyřice, b) syntetické makromolekulární látky (umělé pryskyřice) – vyrábí se synteticky z <i>nízkomolekulárních sloučenin (monomerů)</i> polyreakcemi: <i>polykondenzací</i> (fenolplasty, aminoplasty, polyamidy, polyester, silikony), <i>polymerací</i> (polyetylen, PVC, polyakryláty) nebo <i>polyadící</i> (epoxidové pryskyřice), 2. pomocné látky (plniva a další přísady). Rozdělení plastů podle vzhledu makromolekul: 1. lineární polymery (mají vždy vedle lineárních řetězců také makromolekuly částečně rozvětvené), a) polymery samovolně nekrytalizující (amorfní) – např. <i>kaučuk, polyetylén</i> (nekrytalizují samovolně, ale s poklesem teploty. Jsou kaučukovité, termoplastické, dobře rozpustné v organických rozpouštědlech.), b) polymery se sklonem k samovolné krystalizaci (semikrystalické) – např. <i>polyamidy, celulóza, hedvábí</i> (jsou vláknotvorné s vysokou pevností a houževnatostí, termoplastické a špatně rozpustné v organických rozpouštědlech. Mají úzkou oblast kaučukovitosti, proto se nehodí pro válcování, vytlačování, ale hodí se pro postupy vyžadující rychlé roztavení, jako je <i>vstřikování</i>.), 2. rozevřené polymery (velký počet rozvětvení a délka postranních řetězců brání přechodu molekul do uspořádané krystalické struktury), 3. zesíťované polymery (prostorově uspořádané) (jejich vlastnosti závisí na počtu příčných vazeb. Do určitého stupně zesíťování si zachovávají tepelnou tvarovatelnost, která klesá se vzrůstajícím počtem příčných vazeb. Jsou <i>nerozpustné</i> v organických rozpouštědlech a jsou <i>netavitelné</i>. <i>Elastomery</i> – mají prostorovou strukturu, jejíž síť ještě není tak hustá, aby došlo ke ztrátě elastických vlastností.). Rozdělení plastů podle chování za tepla: 1. termoplasty (je možné je tvářet. Patří sem např. polystyrén, polyetylén, polyamid. <i>Působením tepla vždy měknou</i> a chemicky se přitom nemění, při ochlazení opět tuhnou.), 2. reaktoplasty (dříve název <i>termosety</i>. Patří sem např. fenolformaldehydová pryskyřice, melaminová pryskyřice. <i>Teplem se vytvrzují</i> – vznikne husté příčné zesíťování, tedy přejdou nevratně do netavitelného a nerozpustného stavu. Nemohou být krystalické, protože příčné vazby nedovolují těsné uložení řetězců.). Při nadměrném ohřevu se u všech polymerů (lineárních i zesíťovaných) vlivem vysoké teploty, případně v kombinaci s oxidací, <i>přetrhávají chemické vazby, hmota se rozrušuje a</i>

ztrácí pevnost. Tento proces se nazývá **degradace polymeru** a je nevratný.

Stavy plastů:

1. **sklovitý stav** (*tuhý stav*, pod teplotou skelného přechodu T_g . Makromolekuly jako celky jsou tuhé, polymer je v tomto stavu tvrdý a křehký. Platí zde *Hookův zákon*, tj. lineární úměrnost napětí a deformace.),
2. **kaučukovitý stav** (nad teplotou skelného přechodu T_g . Při působení zatížení se řetězce snadno rozvinují, ale až po určité době. Po uvolnění napětí se opět pozvolna vrací do původního stavu, který je pro ně nejstabilnější – *viskoelastická deformace*. Amorfni termoplasty a elastomery jsou v tomto stádiu měkké a pružně tvárné, semikrystalické termoplasty jsou pevné a houževnaté. Kaučukovitý stav se projevuje jen v amorfních oblastech polymeru. Reaktoplasty v této oblasti měknou jen málo.),
3. **viskózní stav** (kapalný stav, který nastává u *lineárních polymerů amorfních* nad teplotou měknutí T_f , u *lineárních polymerů semikrystalických* nad teplotou tání krystalů T_m).

Vlastnosti plastů: liší se od mechanických vlastností kovů tím, že *jsou podstatně více závislé na teplotě a ještě více závislé na čase*.

1. **mechanické vlastnosti při krátkodobém namáhání** (zjišťují se *tahovou zkouškou* – mez kluzu, pevnost, tažnost, modul pružnosti, celkové chování při deformaci, *zkouškami rázové a vrubové houževnatosti*),
2. **mechanické vlastnosti při dlouhodobém konstantním namáhání** (*krípková zkouška* – ke zjištění časového růstu celkové deformace při konstantním napětí, *relaxační zkouška* – zjišťuje se časový pokles napětí při konstantní deformaci. Rozměrová a tvarová stálost plastů je *horší než u kovů*. Snižováním teploty pod teplotu T_g plasty křehnou.),
3. **mechanické vlastnosti při cyklickém namáhání** (zjišťuje se *časová mez únavy materiálu*. Plasty *mají schopnost tlumit rázy a vibrace*, zvláště ve stavu kolem teploty T_g .),
4. **fyzikální vlastnosti** (*tepelná vodivost* – je podstatně menší, než u kovů. *Teplotní roztažnost* – je podstatně vyšší, než u kovů. *Teplotní odolnost* – souvisí s teplotou skelného přechodu T_g , je *horší než u kovů* – běžné plasty odolávají teplotám 60 až 80 °C, speciální plasty až 200 °C.),
5. **stárnutí plastů** (*tepelné a oxidační, vlivem povětrnosti a vlivem záření*. *Způsobuje křehnutí, žloutnutí, ztrátu lesku, zvýšení pevnosti na úkor tažnosti*. *Snižuje se zamezením přístupu vzduchu, přísadami stabilizátorů, vhodnou volbou záření*. Odolnost proti stárnutí, vzdušné oxidaci a slunečnímu záření je *horší než u kovů*.),
6. **koroze plastů za napětí** (*způsobují ji roztoky mýdel, oleje, maziva, mastné kyseliny, benzín, aceton, horká voda apod.* Jde o *povrchové vytváření trhlin*, které se postupně šíří a prudce zhoršují mechanické vlastnosti. Vyskytuje se především u termoplastů, reaktoplasty jsou vlivem zesíťování odolnější. *Chemická odolnost plastů je větší než u kovů* – plasty dobře odolávají korozi vlivem vlhkosti.),
7. **navlhavost a nasákavost plastů** (při uložení plastu ve vlhkém ovzduší – *navlhavost*, při uložení ve vodě – *nasákavost*. *Anorganická pojiva*, tj. břídlcová moučka, skleněná vlákna, navlhavost snižují, *organická pojiva*, tj. dřevitá moučka, papírová, bavlněná pojiva, navlhavost zvyšují. Probíhá směrem dovnitř plastu až do rovnovážného stavu. Přijímáním vody se rozměry plastové součásti zvětšují, mění se její mechanické vlastnosti.).

Nejčastější úpravy plastů před zpracováním:

1. **zrnění (granulování)** – *úprava plastů zvětšováním jejich sypané hmoty. Granulát*

	– stejnoměrně oblé, nebo vícehranné částice plastu nebo želatinové směsi plastu se změkčovadlem. Vyrábí se v <i>granulátorech</i> nebo v <i>drtičích</i>. Stejnomořný tvar granulí je výhodný pro plnění násypných komor strojů – nedochází k nalepení na stěny násypky. 2. předlisování (tabletování) – <i>tabletovacími stroji</i> se vyrábějí <i>tablety určité hmotnosti</i>, což usnadňuje dávkování – nedochází ke ztrátám velkými přetoky nebo nedolisky a odstraňuje se převážná část vzduchu, takže u menších výlisků odpadá odvodušňování nástroje. 3. předehřívání – <i>plast se před zpracováním předehřívá</i> na teplotu nejbližší tepelným podmínkám v nástroji, nebo na teplotu, kterou jeho zpracování bezprostředně vyžaduje – např. tažení, ohýbání. 4. předplastikace – <i>hmota se na jiném stroji působením tepla přivede do plastického stavu</i> a pak se teprve dává do vlastního zpracovatelského zařízení. Zlepšuje jakost a homogenitu výrobků a zkracuje výrobní cyklus. 5. želatinace – <i>zpracování polymeru se změkčovadly</i>, kdy vzniká z koloidních roztoků tzv. <i>gel</i>. Používají se <i>hnětací a vícešnekové vytlačovací stroje</i>. Provádí se u všech výrobků z PVC. 6. míchání a hnětení – míchací postupy lze rozdělit podle skupenství míchaných hmot na <i>suché, viskózní a kapalné</i>. Provádí se v míchacích bubnech. 7. sušení – <i>odstranění vlhkosti</i>, která znesnadňuje zpracování a zhoršuje kvalitu výrobků. Pomocné látky: a) změkčovadla (poskytují organickým polymerům ohebnost, tvárnost, snižují teplotu zesklnění a modul pružnosti. Principem působení změkčovadel v plastech je <i>zvýšení vnitřní pohyblivosti makromolekul</i>.), b) maziva (usnadňují zpracování <i>těžko zpracovatelných polymerů</i>, přičemž nemají ovlivňovat ostatní vlastnosti. Např. kyselina stearová, přírodní vosky, minerální a rostlinné oleje, velrybí tuk.), c) pigmenty a barviva (zajišťují požadovaný <i>estetický vzhled polymerů</i>. Pigmenty jsou barevné organické látky, které jsou v daném prostředí rozpustné a dávají nátěrům pouze transparentní zbarvení – např. přírodní sádrovec, křída, grafit. Z umělých to jsou titanová běloba, kadmiová červen, rumělka, zinková běloba.), d) plniva (pro <i>úpravu vlastností, nebo snížení ceny výrobku</i>. Mohou zvýšit pevnost, zlepšit elektrické vlastnosti, odolnost proti ořezu, chemickou odolnost apod. Nesmí odírat nástroje, zhoršovat vzhled nebo způsobovat pórovitost. <i>Nejvíce se používají u reaktoplastů</i>, u termoplastů zřídka. <i>Organická plniva</i>: dřevěná moučka, textilní vlákna, papír apod. <i>Anorganická plniva</i>: azbest, slída, sloučeniny olova, skleněná vlákna, cement, grafit apod.), e) ztužovadla (svým tvarem a strukturou <i>zpevňují použité pryskyřice</i>. Získané vrstvené materiály neboli <i>lamináty</i> mají dobré mechanické vlastnosti. Jako ztužovadla se používají vláknité materiály na bázi bavlny, papíru, skla, apod.) f) nadouvadla (při určité teplotě se snadno rozkládají za mocného vývoje plynu. Jsou přísadami <i>pro výrobu lehčených plastických hmot a kaučuků</i>.), g) čínidla snižující hořlavost (pro <i>nehořlavé nátěry</i> – kysličník antimonitý, chromitý, kaolín, křída, azbest, mletá slída, grafit, škrob, močovina atd.), h) separační čínidla (ke <i>snazšímu uvolňování výrobků z forem</i>. Pro termoplasty – vosky, mýdla, silikonové nátěry. Pro pryskyřice – celofánové fólie, vosky, maziva, prášky apod. Kompozitní materiály: skládají se z vlastních <i>makromolekulárních látek</i> a z <i>plniva</i> (plnivy lze ovlivňovat vlastnosti – zvyšovat modul pružnosti, pevnost, houževnatost a ovlivňovat také fyzikální vlastnosti).
--	--

Rozdělení kompozitů:

1. **porézní materiály plněné polymery, které nevytvářejí spojitou fázi** (porézní materiály: keramika, beton, dřevo. Dutiny se vyplní reakce schopným monomermem.),
2. **vyztužené polymery** (polymerní složka vytváří základní spojitou matici),
 - a) **kompozity s práškovým plnivem** (plniva: saze, minerální látky – SiO_2 , CaCO_3 , kovy – Al, oxidy kovů),
 - b) **kompozity s vláknovým plnivem** (plniva: anorganická – sklo, azbest, kovy, nebo organická – bavlna, celulóza. **Lamináty** – mají navzájem spojená vlákna ve formě tkanin.),
3. **makroskopické kompozity** (polymerní i nepolymerní složky jsou zřetelně rozlišitelné pouhým okem).

Plasty se zpracovávají ve stavu:

1. **tekutém** – odléváním, litím, máčením, natíráním, zpěňováním,
2. **plastickém** – vstřikováním, lisováním, přetlačováním, tvarováním, vytlačováním, vyfukováním, válcováním,
3. **tuhém** – obráběním.

Zpracování plastů v tekutém stavu:

- a) **odlévání** (používá se u termoplastů i reaktoplastů. Formy bývají olověné, skleněné, z plastů, z kovů. Odlévá se *do statických forem* nebo *odstředivým litím*.),
- b) **lití** (nepřetržitě lití plastické hmoty na větší plochu – licí nebo dopravní pás, používá se u termoplastů. Vyrábí se tak fólie a filmy.),
- c) **máčení** (forma se ponoří *do nádrže s plastem v tekutém stavu*. Když na formě ulpí dostatečné množství hmoty, vysune se zvolna z nádrže a vytvořená vrstva se tepelně zpracuje. Takto se např. vyrábí ochranné rukavice, duše nafukovacích míčů.),
- d) **natírání** (používá se především při výrobě koženky, voskových pláten a linolea. *Pasta* o složení 60 až 70 % polymeru + 40 až 30 % změkčovačů se natírá na podložní, obvykle textilní, materiál *natíracími noži* na *natíracích strojích* a pak se při 100 až 140 °C *předželatinuje*, aby se nános navíjených rolí na konci natíracího zařízení neslepoval a mohly se případně provést další nátěry bez porušení předchozího nánosů. Nakonec se předželatinované nánosy *doželatinují* při teplotě 160 až 170 °C na *želatinovacích strojích* a za tepla se *dezénovacími válci* vylisuje žádaný povrch a nános se ochladí.),
- e) **zpěňování** (ve speciálně upravené válcové míchačce pohybuje základním materiálem šnek a *tryskami ve dně se přivádí pára k předpěnění*. Zpěněný materiál je vytlačován přes přepadový otvor do zásobníku, kde zraje. Stroje pro *vypěňování* jsou jednoúčelová zařízení, předpěněný granulát se do formy dopravuje injektorem. *Po naplnění formy se do ní vpouští pára*. Po skončení *dopěňování* se nástroj ochladí vodní sprchou, nebo tlakovou vodou. Takto lze vyrobit tvarové díly z pěnového polystyrénu.).

Zpracování plastů v plastickém stavu:

- a) **vstřikování** (*granule termoplastu* se přivádí do tavicí komory. Aby byl styk hmoty s vyhřátými stěnami tavicí komory co největší, obtéká plastikovaná hmota rozváděcí kužel, tzv. *torpédo*, nebo je podávána *plastikačním šnekem*. Z tavicí komory se vstřikuje tlakem pístu vstřikovacího válce kalenou ocelovou tryskou do formy, a to pod tlakem 50 až 200 MPa. Fáze vstříknutí se dělí na *plnění formy* a *stlačení hmoty ve formě*. Vstřikovací tlak se sníží na tzv. *dotlak* – pro zabránění vzniku propadlin. Následuje rychlé ochlazení na teplotu měknutí,

takže výlisek lze bezpečně vyjmout.),

- b) **lisování** (lisuje se do forem při zvýšených teplotách a tlacích. Podle tlaku se rozlišuje: *kontaktní lisování* – při tlacích do 0,5 MPa, *nízkotlaké lisování* – při tlacích 0,5 až 3 MPa, *vysokotlaké lisování* – 15 až 60 MPa. **Vysokotlaké lisování se dělí na:** *přímé lisování* – v lisovací formě na lisu, lisuje se s přetoky, *lisování rázem* – pro drobné výrobky z termoplastů, používá se rychlost 3 m/min, *nepřímé lisování* – též *přetlačování*, *lisostřík*, hmota se převede teplem do plastického stavu v plnicí komoře, která je součástí formy, a tlakem pístu se pak prudce vytlačí kovovým kanálkem do dutiny formy. *Výhody lisostříku:* kratší lisovací časy, přesnější otisk tvarovacího prostoru, menší opotřebení formy.),
- c) **tvarování** (*polotovary jsou fólie nebo desky*. *Vakuové tvarování* – účinkem tepla se fólie zahřeje na vhodnou tvarovací teplotu a za vakua se snadno přisaje na formu, jejíž tvar přesně otiskne. Po ochlazení se získá trvalý tvar výlisku. Polotovary mohou být z měkčeného PVC, celulódu, polyetylenu apod.),
- d) **vytlačování** (hmota je v plastickém stavu vytlačována z tlakové komory *vytlačovací hlavou s hubicí* do volného prostoru. U termoplastů se používají *šnekové vytlačovací stroje*, u reaktoplastů *pístové vytlačovací stroje*. *Použití:* k opláštňování kabelů a drátů izolační vrstvou, při použití plochých hubic – k výrobě fólií, především z polyetylenu.
- e) **vyfukování** (*pro výrobu dutých nádob*. *Výtlačné vyfukování* – nevýhodou je nepravidelná tloušťka stěny. *Vstříkovací vyfukování* – ve vstříkovacím stroji se zhotoví předlisek přímo na vyfukovacím trnu, s ním se ještě za tepla přesune do vyfukovací formy, do níž se vyfoukne vzduch z vyfukovacího trnu.),
- f) **válcování** (*pro výrobu fólií nebo desek z plastických hmot*, převážně z PVC. Zplastikovaná hmota se přivádí *do štěrbin mezi dvěma vyhřívanými otáčejícími se válci* s nepatrným skluzem. Zde končí želatinační nebo plastikační proces. Materiál pak prochází do dalších štěrbin, kde se tvaruje fólie hladkým povrchem válců. Lze docílit tloušťku fólie 0,07 až 0,6 mm.).

Řešení tvaru součásti z plastu musí z hlediska technologičnosti respektovat:

1. **funkčnost součásti** (používání *vícefunkčních součástí*. Zabezpečení funkčnosti vyžaduje provedení pevnostních výpočtů. U mechanicky zatížených součástí je třeba *vyloučit vruby* a dbát na *rovnoměrné rozložení napjatosti* ve všech nosných průřezech.),
2. **technologičnost tvaru** (*dodržení zásady co nejplynulejšího a nejrychlejšího naplnění formy taveninou*. Náhlé změny průřezu, ostré rohy a kouty, zářezy a otvory způsobují víření proudu taveniny, orientaci makromolekul, vnitřní pnutí, studené spoje, nerovnoměrné smrštění apod.),
3. **estetické řešení** (součást musí být v souladu s funkcí a prostředím, v němž bude využívána, s materiálem a technologií. Vhodné jsou oblé tvary, plynulé přechody.),
4. **ekonomičnost tvaru** (Aby byla forma levná, má mít *jednoduchý tvar*, který rovněž zvýší provozní spolehlivost a usnadní automatickou výrobu. U menších sérií lze připustit i menší *dodatečné opracování*, pokud se tím sníží náklady na výrobu formy.).

Hlavní zásady tvarového řešení výstřiků z termoplastů:

- a) **dělicí rovina** (*má být jednoduchá, pokud možno rovinná*. Je to plocha, v níž dosedá jedna část formy na druhou. *Ovlivňuje vyhazování výrobku z formy, možnost zjednodušení tvaru, polohu jader*.),
- b) **umístění vtoků** (*ovlivňuje proudění taveniny ve formě, a tím i vlastnosti výstřiku*),
- c) **tloušťka stěny** (*má být pokud možno malá, aby se omezila možnost vzniku*

	povrchových propadlin a vnitřních staženin, <i>má být rovnoměrná</i>, což je podmínka pro stejnou a rovnoměrnou rychlost proudu taveniny ve formě. <i>Minimální tloušťka stěny</i> závisí na délce toku taveniny ve formě – při snižování tekutosti musí být větší tloušťka stěny.), d) zaoblení (<i>minimální hodnota je čtvrtina tloušťky stěny</i>. Malý rádius může být příčinou deformace vlivem špatného odvodu tepla v okolí vnitřní hrany. <i>Ostré hrany</i> mohou být jen na vnější straně tam, kde stěny výstřiku končí v dělicí rovině formy.), e) úkosity (<i>jsou nutné pro snazší vyjímání výstřiků z formy</i>. Pro vnější stěny jsou minimální úkosity 0,5 až 1°, pro vnitřní stěny 1 až 2°.), f) žebra (<i>k vyztužení výstřiků</i>, umožňují použití tenkých stěn. V místě protínání žeber nesmí dojít k hromadění materiálu.), g) dosedací plochy (mají být malé a má jich být co nejméně – <i>ideální je dosednutí na tři body</i>), h) okraje výrobků (<i>nemají být zesílené</i>, aby se zamezilo hromadění materiálu. Totéž platí pro upevňovací výstupky pro průchozí, nebo závrtné šrouby.), i) kovové vložky (tzv. <i>zálsky</i>, <i>slouží pro zpevnění závitového spoje, kolíků, upevnění elektrických kontaktů apod.</i> Prodlužují však výrobní cyklus a mohou mít nepříznivý vliv na chladnutí taveniny ve formě – studené spoje, trhliny. Existuje i <i>varianta dodatečného vsazování těchto vložek do výstřiku</i>. Vložky mají mít malou hmotnost, zaoblené dno i vnější hrany, zajištění proti vytažení a pootočení.), j) povrchová úprava (Matování – pískováním nebo fotochemicky se matuje část lícni plochy vstřikovací formy. Rýhování – jemným frézováním části lícni plochy formy. Barvení – dvoubarevné vstřikování speciálními vstřikovacími stroji se dvěma vstřikovacími jednotkami. Sítotisk – protlačování tiskové barvy přes síťovou šablonu. Obtisky – barevné obrázky lze nalepovat přímo na výrobek, nebo se vkládají do formy a zastříknou se taveninou. Ražení – přes kovovou fólii za tepla, vyhřívání kovový razník vtlačí do povrchu výstřiku otěruvzdorný vzor s různobarevným kovovým odstínem. Vakuové pokovování – kondenzace par rozžhaveného kovu – Al, Cr na povrchu plastového výrobku umístěného ve vakuové komoře. Galvanické pokovování – nejčastěji se nanáší lesklý Cr, podmínkou je vysoce lesklý a čistý povrch, vznikne trvanlivý povlak o větší tloušťce.). Hlavní zásady tvarového řešení výstřiků z reaktoplastů: a) umístění vtoků (vzhledem k horší tekutosti reaktoplastů je třeba zvlášť dbát na to, aby dráhy toku taveniny byly co nejkratší a hydraulické odpory v kanálech co nejmenší a aby se omezil vznik orientace plniva. Proto se často u větších a složitějších výstřiků používají <i>vícenásobné vtoky</i>.), b) tloušťka stěny (bývá větší, 2 až 6 mm, a <i>nemusí být rovnoměrná</i>, přechod mezi tlustou a tenkou stěnou musí být pozvolný, nikoliv ostrý), c) zaoblení a úkosity (jsou na výstřicích nutné. Úkosity musí být na stěnách, rovnoběžných se směrem otevírání formy.), d) ostré hrany (<i>nejsou žádoucí</i>. Je třeba se <i>vyhnout hlavně vnitřním ostrým hranám</i>, protože reaktoplasty jsou křehké, mají nízkou rázovou a vrubovou houževnatost.), e) použití závitorezných šroubů (<i>není vhodné</i> vzhledem ke křehkosti reaktoplastů a <i>nebezpečí vyštípnutí závitu</i>, vhodné jsou hladké kruhové díry a průchozí kovové šrouby), f) nýtování a svařování (<i>nelze použít</i> ke spojování, protože jsou reaktoplasty netavitelné), g) spojení pružným zaskočením (<i>nelze použít</i> vzhledem k nepatrné tažnosti a
--	--

deformovatelnosti reaktoplastů).



Pojmy k zapamatování

Plast, makromolekulární látka, polymer, atom, silikon, řetězec, molekula, chemická vazba, hmota, derivát, pryskyřice, nízkomolekulární sloučenina, monomer, polyreakce, polykondenzace, polymerace, polyadice, lineární polymer, amorfni, kaučuk, polyetylen, semikrystalický polymer, polyamid, celulóza, pevnost, houževnatost, termoplastičnost, kaučukovitost, válcování, vytlačování, vstřikování, rozvětvený polymer, postranní řetězec, krystalická struktura, zesílený polymer, příčná vazba, elastomer, termoplast, polystyrén, reaktoplast, termoset, vytvrzování, fenolformaldehydová pryskyřice, degradace polymeru, sklovitý stav, teplota skelného přechodu, kaučukovitý stav, viskoelastická deformace, amorfni, viskózní stav, teplota měknutí, teplota tání, semikrystalický termoplast, mechanická vlastnost, mez kluzu, pevnost, tažnost, modul pružnosti, vrubová houževnatost, krípková zkouška, relaxační zkouška, časová mez únavy materiálu, cyklické namáhání, ráz, vibrace, tepelná vodivost, teplotní roztažnost, teplotní odolnost, stárnutí, tepelné stárnutí, oxidační stárnutí, stabilizátor, záření, koroze, trhлина, navlhavost, nasákavost, pojivo, zrnění, granulování, granulát, částice, želatinová směs, změkčovaadlo, granulátor, drtič, násypka, předlisování, tabletování, tabletovací stroj, tableta, přetok, předehřívání, předplastikace, homogenita, želatinace, koloidní roztok, gel, hnětací stroj, vytlačovací stroj, šnek, míchání, hnětení, míchací buben, sušení, vlhkost, mazivo, vosk, olej, tuk, pigment, barvivo, plnivo, pórovitost, ztužovaadlo, laminát, nadouvaadlo, lehčená plastická hmota, činidlo, hořlavost, separační činidlo, forma, vosk, mýdlo, fólie, prášek, kompozitní materiál, fyzikální vlastnost, porézní materiál, dutina, vyztužený polymer, matrice, oxid, práškové plnivo, vláknové plnivo, tkanina, makroskopický kompozit, odlévání, lití, máčení, natírání, zpěňování, lisování, přetlačování, tvarování, vyfukování, obrábění, statická forma, odstředivé lití, licí pás, film, koženka, linoleum, pasta, natírací nůž, natírací stroj, předželatinování, doželatinování, želatinovací stroj, dezénovací válec, nános, tryska, pára, předpěnění, zásobník, stroj pro vypěňování, injektor, dopěňování, vodní sprcha, tlaková voda, pěnový polystyrén, tavicí komora, rozváděcí kužel, torpédo, plastikační šnek, píst, vstřikovací válec, tryska, tlak, plnění formy, dotlak, propadlina, kontaktní lisování, nízkotlaké lisování, vysokotlaké lisování, přímé lisování, nepřímé lisování, lisostřík, fólie, deska, vakuové tvarování, vytlačovací hlava, hubice, šnekový vytlačovací stroj, pístový vytlačovací stroj, výtlačné vyfukování, dutá nádoba, vstřikovací vyfukování, vstřikovací stroj, předlisek, vyfukovací trn, vyfukovací forma, funkčnost, vrub, napjatost, technologičnost, součást, zářez, otvor, tavenina, vnitřní pnutí, studený spoj, smrštění, dělicí rovina, vyhazování, jádro, vtok, výstřik, stěna, staženina, tekutost, zaoblení, radius, teplo, úkos, žebro, dosedací plocha, upevňovací výstupek, závrtný šroub, zálisek, závitový spoj, matování, pískování, rýhování, frézování, barvení, sítotisk, tisková barva, obtisk, ražení, razník, vakuové pokovování, kondenzace, vakuová komora, galvanické pokovování, hydraulický odpor, kanál, vícenásobný vtok, bodový vtok, membránový vtok, tunelový vtok, plný vtok, obdélníkový vtok.



Odměna a odpočinek

Jste opravu dobrý(á), prokázal(a) jste vůli ve studiu učiva této studijní opory – poslední, **desátou kapitolu** máte za sebou! Nyní vás čeká jen několik kontrolních otázek poslední kapitoly, na které si pro svou kontrolu odpovíte a budete mít zvládnuto veškeré učivo. Udělejte si předtím za odměnu pauzu, dejte si pro osvěžení nějaké ovoce, nebo si udělejte zmrzlinový pohár, který si za své úsilí jistě zasloužíte. Po vychutnání těchto dobrot se vrhněte na zodpovězení posledních kontrolních otázek.

	Kontrolní otázky
	Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo desáté kapitoly „Plasty“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek: 1. Dokážete charakterizovat plasty? 2. Ze kterých složek se plasty skládají? 3. Jak lze plasty rozdělit podle struktury makromolekul? 4. Jak lze rozdělit plasty podle chování za tepla? 5. Co se rozumí degradací polymeru? 6. Dokážete popsat stavy plastů? 7. Jaké vlastnosti mají plasty? Čím se tyto vlastnosti liší od vlastností kovů? 8. Co způsobuje stárnutí plastů? Jak se stárnutí plastů projevuje? 9. Které jsou nejčastější úpravy plastů před zpracováním? 10. Jaké znáte pomocné látky v plastech? 11. Dokážete definovat kompozitní materiály? 12. Jak lze provést rozdělení kompozitů? 13. V jakých stavech se plasty zpracovávají? 14. Jaké způsoby zpracování plastů v tekutém stavu znáte? 15. Co je podstatou technologie máčení plastů? 16. Kterou technologií se vyrábí koženka? 17. Jaké způsoby zpracování plastů v plastickém stavu znáte? 18. Dokážete popsat etapy vstřikování na vstřikovacím lisu? 19. Jakým způsobem se provádí vytlačování? Které výrobky se vytlačováním vyrábí? 20. Co je podstatou technologie vyfukování? Které výrobky se vyfukováním vyrábí? 21. Které obecné technologické zásady musí respektovat součásti z plastů? 22. Jaké jsou hlavní zásady řešení výstřiků z termoplastů? 23. Jaké druhy vtoků znáte? 24. Co jsou u součástí z plastů zálisky? Jaký je účel zálisků? 25. Jaké znáte povrchové úpravy výstřiků z termoplastů? 26. Jaké jsou hlavní zásady tvarového řešení výstřiků z reaktoplastů?

	Literatura
	[1] PETRŽELA, Z., KUČERA, J. a BŘEZINA, R. <i>Technologie slévání, tváření a svařování : skriptum</i>. 2. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1987. 329 s. (bez ISBN).

	[2] PROCHÁZKA, J., KOTOUČ, J. a ZAPOTIL, M. <i>Technologie I : Část 2 : skriptum</i>. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1967. 178 s. (bez ISBN) [3] ŠAFARÍK, M. <i>Nástroje pro tváření kovů a plastů I : Nástroje pro plasty : skriptum</i>. 1. vyd. Liberec : Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1987. 227 s. (bez ISBN). [4] BŘEZINA, R. <i>Technologie I – část 2 : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1999. 86 s. ISBN 80-7078-639-6. [5] SILBERNAGEL, A. <i>Nauka o materiálu I : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1982. 331 s. (bez ISBN). [6] ČABELKA, J. a kol. <i>Mechanická technológia</i>. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1967. 1036 s. (bez ISBN).
--	---

	Náměty pro tutoriál
	Uved'te příklady součástí, zhotovených z plastů a vysvětlete důvody, proč bylo použítí této technologie při jejich výrobě účelné. Uved'te jednotlivé vlastnosti plastů a srovnajte je s vlastnostmi kovů. Objasněte konstrukční zásady pro navrhování součástí z plastů. Uved'te na konkrétních výrobcích příklady jejich uplatnění v praxi.

	Průvodce studiem
	Tato desátá kapitola je poslední kapitolou studijní opory. Abyste měli možnost zpětné vazby a samokontroly, zda jste dobře a úplně učivo jednotlivých kapitol zvládli, je dále uveden klíč k řešení kontrolních otázek z jednotlivých kapitol studijní opory.



Klíč k řešení

Výsledky kontrolních teoretických otázek z jednotlivých kapitol studijní opory, tj. odkazy na kapitoly a podkapitoly, které obsahují odpovědi:

Klíč k řešení teoretických otázek **první kapitoly „Vliv tváření na vlastnosti a strukturu materiálu“**:

1. Pro jaké materiály je vhodná technologie tváření? (viz 1.1 Tváření)
2. Jak vzniká polyedrický tvar zrn kovů? (viz 1.2 Plastická deformace kovů)
3. V čem spočívá mozaiková struktura krystalů kovů? (viz 1.2 Plastická deformace kovů)
4. Jaký je rozdíl mezi jednoduchým a složitým kluzem v krystalových mřížkách? (viz 1.3 Základní mechanismy plastické deformace)
5. Jaké jsou základní předpoklady pro existenci plastické deformace difúzí? (viz 1.3 Základní mechanismy plastické deformace)
6. Jaký typ krystalové mřížky má Fe? (viz 1.4.1 Vliv struktury materiálu na plastickou deformaci)
7. Jaký je vliv obsahu uhlíku na vlastnosti ocelí? (viz 1.4.1 Vliv struktury materiálu na plastickou deformaci)
8. Proč má jemnozrnná struktura větší deformační odpor a zpravidla nižší plastičnost než hrubozrnná struktura? (viz 1.4.1 Vliv struktury materiálu na plastickou deformaci. Jemnozrnnější struktura má více hranic zrn, které brání pohybu dislokací.)
9. Jaký je princip zotavení materiálu? (viz 1.4.2 Vliv teploty deformovaného materiálu na proces plastické deformace)
10. Za jakých podmínek a jakým způsobem probíhá rekrystalizace struktury? (viz 1.4.2 Vliv teploty deformovaného materiálu na proces plastické deformace)
11. Jaké jsou základní rozdíly mezi technologiemi tváření zastudena a zatepla? (viz 1.4.2.1 Tváření zastudena, 1.4.2.2 Tváření zatepla)
12. Jak ovlivňuje tření na styčných plochách nástroje s materiálem průběh plastické deformace? (viz 1.4.3 Vliv tření na styčných plochách nástroje s materiálem na průběh plastické deformace)
13. Jaký je vliv napjatosti na plastickou deformaci? (viz 1.4.4 Vliv napjatosti na plastickou deformaci)
14. Jaký je vliv rychlosti deformace na plastickou deformaci? (viz 1.4.5 Vliv rychlosti deformace na plastickou deformaci)

Klíč k řešení teoretických otázek **druhé kapitoly „Základní zákony plastické deformace“**:

1. Dokážete vyjmenovat základní zákony plastické deformace? (viz 2 Základní zákony plastické deformace)
2. Uveďte zákon stálosti objemu. Jak se dá zapsat pomocí hlavních logaritmických deformací? (viz 2.1 Zákon stálosti objemu)
3. Ve kterých případech zákon stálosti objemu neplatí zcela? (viz 2.1 Zákon stálosti objemu)
4. Dokážete objasnit zákon nejmenšího odporu? (viz 2.2 Zákon nejmenšího odporu)

	5. Jak se zákon nejmenšího odporu uplatňuje při zápusťkovém kování? (viz 2.2 Zákon nejmenšího odporu) 6. Dokážete vysvětlit zákon závislosti deformace na napětovém stavu? (viz 2.3 Zákon závislosti deformace na napětovém stavu) 7. V čem je podstata zákona stálosti potenciální energie na změnu tvaru? (viz 2.4 Zákon stálosti potenciální energie na změnu tvaru) 8. Dokážete vysvětlit zákon smykových napětí? (viz 2.5 Zákon smykových napětí) 9. Dokážete popsat zákon pružného odlehčení? (viz 2.6 pružného odlehčení) 10. Uvedte zákon zpevnění. Co je jeho příčinou? (viz 2.7 Zákon zpevnění) 11. V čem spočívá zákon tření? (viz 2.8 Zákon tření) 12. Dokážete objasnit zákon přídavných napětí? Jaký mají přídavná napětí vliv na deformované těleso? (viz 2.9 Zákon přídavných napětí) 13. Znáte nějaké způsoby snížení přídavných napětí? (viz 2.9 Zákon přídavných napětí) 14. Uvedte zákon podobnosti. Jaké podmínky musí být splněny, aby tento zákon při tváření určitého tělesa platil? (viz 2.10 Zákon podobnosti) Klíč k řešení teoretických otázek třetí kapitoly „Objemové tváření zatepla“: 1. Jaké jsou rozdíly mezi volným a zápusťkovým kováním? (viz 3 Objemové tváření zatepla) 2. Jaké jsou základní operace volného kování? (viz 3 Objemové tváření zatepla) 3. Jaký je rozdíl mezi přípravnými a dokončovacími zápusťkami? (viz 3 Objemové tváření zatepla) 4. Jaké druhy strojů používaných ke kování znáte a pro jaký druh výroby je každý z nich vhodný? (viz 3.1.2 Určení druhu tvářecího stroje) 5. Jaké druhy technologických přídavek při konstrukci zápusťkových výkovků znáte? (viz 3.1.3 Nakreslení výkresu výkovku) 6. Dokážete uvést názvy jednotlivých přesností provedení výkovku? (viz 3.1.3 Nakreslení výkresu výkovku) 7. Jaké jsou rozměrové a tvarové úchytky zápusťkových výkovků? (viz 3.1.3 Nakreslení výkresu výkovku) 8. Jaké jsou hlavní zásady pro volbu dělicí roviny? (viz 3.1.3 Nakreslení výkresu výkovku) 9. Dokážete popsat konstrukci průřezového obrazce a ideálního předkovku? (viz 3.1.5 Výběr a sled potřebných operací) 10. Jaké jsou názvy základních typů předkovacích dutin a na co se která používá? (viz 3.1.5 Výběr a sled potřebných operací) 11. Jak se u výkovků stanoví objem výchozího materiálu a délka polotovaru? (viz 3.1.6 Stanovení objemu a tvaru výchozího materiálu) 12. Jaké jsou typy výronkových drážek? Kdy se která varianta používá? (viz 3.1.7 Konstrukce tvářecího nástroje) 13. Z jakých částí se skládá nástroj pro zápusťkové kování? (viz 3.1.7 Konstrukce tvářecího nástroje) 14. Jaké jsou důvody pro vložkování zápusťek? Jak se vložkování prakticky provádí? (viz 3.1.7 Konstrukce tvářecího nástroje)
--	---

	15. Dokážete vysvětlit rozdíly mezi horní a dolní kovací teplotou a dokovací teplotou? (viz 3.1.8 Ohřev materiálu, mazání, ostřížení, kalibrace) 16. Jaký je rozdíl mezi přehřátím a spálením kovu? (viz 3.1.8 Ohřev materiálu, mazání, ostřížení, kalibrace) 17. Proč se provádí mazání zápusťek? (viz 3.1.8 Ohřev materiálu, mazání, ostřížení, kalibrace) 18. Jaké jsou způsoby odstranění okují u výkovků? (viz 3.1.9 Konečné úpravy výkovků) 19. Dokážete vyjmenovat a popsat podstatu jednotlivých způsobů válcování zatepla? (viz 3.2 Válcování zatepla) Klíč k řešení teoretických otázek čtvrté kapitoly „Objemové tváření zastudena“: 1. Jaké jsou výhody technologie objemového tváření materiálu zastudena? (viz 4 Objemové tváření zastudena) 2. Dokážete popsat základní způsoby objemového tváření zastudena? (viz 4 Objemové tváření zastudena) 3. Jaké druhy součástí je vhodné vyrábět objemovým tvářením zastudena? (viz 4 Objemové tváření zastudena) 4. Jaké rovnice se používají pro výpočet poměrných a logaritmických deformací? (viz 4 Objemové tváření zastudena) 5. Jakou výhodu má použití logaritmických deformací oproti poměrným? (viz 4 Objemové tváření zastudena) 6. Jaké jsou etapy návrhu technologického postupu výroby protlačku? (viz 4.1 Návrh technologického postupu výroby protlačku) 7. Jaké vlastnosti má mít materiál pro zpracování objemovým tvářením zastudena? (viz 4.1.1 Volba materiálu) 8. Znáte postup stanovení tvaru a rozměrů polotovaru pro objemové tváření zastudena? (viz 4.1.2 Stanovení tvaru a rozměrů polotovaru) 9. Jaké jsou druhy polotovarů pro objemové tváření zastudena? (viz 4.1.2 Stanovení tvaru a rozměrů polotovaru) 10. Dokážete vyjmenovat přípravné operace před tvářením? (viz 4.1.3 Volba přípravných operací před tvářením) 11. Jakým způsobem se vyrábějí kaloty? (viz 4.1.2 Stanovení tvaru a rozměrů polotovaru) 12. Jaký je účel a vhodné varianty tepelného zpracování polotovarů pro objemové tváření zastudena? (viz 4.1.3 Volba přípravných operací před tvářením) 13. Jaké jsou způsoby odstranění okují z polotovarů pro objemové tváření zastudena? (viz 4.1.3 Volba přípravných operací před tvářením) 14. Co je to fosfátování? Jaký je účel fosfátování při úpravě polotovarů před tvářením? (viz 4.1.3 Volba přípravných operací před tvářením) 15. Proč se provádí mazání polotovarů při objemovém tvářením zastudena? (viz 4.1.3 Volba přípravných operací před tvářením) 16. Jak se stanoví počet tvářecích operací při objemovém tvářením zastudena? (viz 4.1.4 Stanovení počtu tvářecích operací) 17. Jaké jsou technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů? (viz 4.1.5 Dodržení technologických zásad pro návrh protlačků a nástrojů)
--	---

18. Jak se vypočte tvářecí síla při objemovém tváření zastudena? Jak se vypočte při stejném procesu tvářecí práce? (viz 4.1.6 Výpočet tvářecí síly a práce)
19. Proč se vyrábí průtlačnice bandážované? (viz 4.1.5 Dodržení technologických zásad pro návrh protlačků a nástrojů)
20. Jak se změní vlastnosti výchozího materiálu po objemovém tváření zastudena? (viz 4.1.4 Stanovení počtu tvářecích operací, 1.4.2.1 Tváření zastudena)
21. Z jakých příčin vznikají nerovné okraje výlisků při objemovém tváření zastudena? (viz 4.1.7 Dokončování výlisků)
22. Jaké jsou druhy dokončování výlisků po objemovém tváření zastudena? (viz 4.1.7 Dokončování výlisků)
23. Jak se usnadňuje dokončování dutin protlačků vrtáním? (viz 4.1.7 Dokončování výlisků)

Klíč k řešení teoretických otázek **páté kapitoly „Dělení materiálu“**:

1. Dokážete rozdělit technologie dělení materiálu? (viz 5 Dělení materiálu)
2. Co se rozumí stříháním? (viz 5 Dělení materiálu, 5.1 Plošné stříhání)
3. Jaké jsou základní operace plošného stříhání? (viz 5.1 Plošné stříhání)
4. Na čem závisí tvar a jakost střížné plochy? (viz 5.1.1 Střížná plocha a její kvalita)
5. Které oblasti lze rozlišit na střížné ploše? Jaké jsou příčiny vzniku jednotlivých oblastí? (viz 5.1.1 Střížná plocha a její kvalita)
6. Na co má vliv velikost střížné mezery? (viz 5.1.2 Velikost střížné mezery)
7. Jaký je rozdíl mezi střížnou mezerou a střížnou vůlí? (viz 5.1.2 Velikost střížné mezery)
8. Při vystřihování, kdy je výrobkem výstřížek, odpovídá rozměr výstřížku rozměru střížnice, nebo střížníku? (viz 5.1.2 Velikost střížné mezery)
9. Jak se vypočte střížná plocha, maximální střížná síla a střížná práce? (viz 5.1.3 Střížná plocha, síla a práce)
10. Dokážete vysvětlit výhody stříhání skloněnými noži? Jaké jsou nevýhody této technologie? (viz 5.1.4 Střih skloněnými noži)
11. Jak se dají rozdělit zařízení ke stříhání? (viz 5.1.5 Zařízení ke stříhání)
12. Jaké znáte druhy nůžek? (viz 5.1.5 Zařízení ke stříhání)
13. Jaké lisy se používají ke stříhání? (viz 5.1.5 Zařízení ke stříhání)
14. Co je to stříhadlo? Z jakých částí se stříhadlo skládá? (viz 5.1.5.1 Stříhadla)
15. Jak lze stříhadla rozdělit podle funkce? Jak je lze rozdělit podle způsobu vedení? (viz 5.1.5.1 Stříhadla)
16. Za jakých podmínek lze použít technologii vystřihování součástí gumou? (viz 5.1.5.2 Vystřihování součástí z tenkých plechů gumou)
17. Co je to nástřihový plán? Jakými způsoby se nástřihový plán konstruuje? (viz 5.1.6 Nástřihové plány)
18. Co jsou u technologie stříhání přepážky? Co je boční odpad? (viz 5.1.6 Nástřihové plány)
19. Jak lze stanovit hospodárnost nástřihového plánu? (viz 5.1.6 Nástřihové plány)
20. Co je u technologie stříhání využitelný odpad? Co je nevyužitelný odpad? (viz

	5.1.6 Nástřihové plány) 21. Jaké metody přesného stříhání znáte? (viz 5.1.7 Přesné stříhání) 22. Co je podstatou přesného stříhání, tj. proč je střížná plocha hladká? (viz 5.1.7 Přesné stříhání) 23. Kdy se používá technologie objemového stříhání zastudena a kdy zatepla? (viz 5.2 Objemové stříhání) 24. Jakými způsoby se provádí stříhání tenkostěnných profilů a trubek? (viz 5.3 Stříhání tenkostěnných profilů a trubek) 25. Jaké jsou výhody technologie lámání materiálu? Kdy se tato technologie používá? (viz 5.4 Lámání) 26. Jaké druhy lámání znáte? Jakým způsobem se docílí rozdělení materiálu v žádaném místě? (viz 5.4 Lámání) Klíč k řešení teoretických otázek šesté kapitoly „Tažení plechu“: 1. Definujte pojem tažení. Dokážete popsat výhody součástí vyrobených touto technologií? (viz 6 Tažení plechu) 2. Které způsoby výroby patří do technologie tažení? (viz 6 Tažení plechu) 3. Co je charakteristické pro tažení bez ztenčení stěny? (viz 6 Tažení plechu) 4. Jaké jsou základní technologické parametry tažení? (viz 6.1 Technologické parametry tažení) 5. Jakým způsobem lze určit tvar a velikost přístřihu? (viz 6.1.1 Tvar a velikost přístřihu) 6. Jaký je postup stanovení počtu tažných operací a jejich odstupňování? (viz 6.1.2 Stanovení počtu tažných operací a jejich odstupňování) 7. Jaký je účel přidržovače při tažení plechu? Ve kterých případech tažení se přidržovač používá? (viz 6.1.3 Použití přidržovače) 8. Jak se vypočte přidržovací síla? (viz 6.1.3 Použití přidržovače) 9. Jakými způsoby se mohou vyvozovat přidržovací síly? (viz 6.1.3 Použití přidržovače) 10. Co je tažná mezera? Jaká je její vhodná velikost? (viz 6.1.4 Tažná mezera) 11. Jaký vliv na tažení má velikost zaoblení tažné hrany tažnice? (viz 6.1.5 Tvar tažnice) 12. Jaké tvary mohou mít výstupní části tažnic? (viz 6.1.5 Tvar tažnice) 13. Dokážete popsat zásady pro konstrukci tažníku? (viz 6.1.6 Tvar tažníku) 14. Jak se vypočte tažná síla a celková síla tažného lisu v libovolném tahu? (viz 6.1.7 Tažná síla) 15. Dokážete objasnit vliv rychlosti tažení na proces tažení? (viz 6.1.8 Rychlost tažení) 16. Jak ovlivňují tažení drsnost plechu a drsnost funkčních částí nástroje? (viz 6.1.9 Drsnost plechu a funkčních částí nástroje) 17. Jaký je účel mazání při tažení a jaké jsou základní druhy maziv? (viz 6.1.10 Mazání při tažení) 18. Dokážete rozebrat tažení čtyřhranných výtahů? (viz 6.2.1 Tažení čtyřhranných výtahů)
--	---

	19. Jaký je rozdíl mezi brzdícím žebrem a brzdící lištou? (viz 6.2.1 Tažení čtyřhranných výtažků) 20. Jak se provádí tažení stupňovitých výtažků? (viz 6.2.2 Tažení stupňovitých výtažků) 21. Dokážete objasnit jednotlivé způsoby tažení kuželových výtažků? (viz 6.2.3 Tažení kuželových výtažků) 22. Jak se provádí tažení sférických výtažků? (viz 6.2.4 Tažení sférických výtažků) 23. Jaké jsou zvláštnosti tažení výtažků nepravidelných tvarů? (viz 6.2.5 Tažení výtažků nepravidelných tvarů) 24. Dokážete popsat metody stanovení tvaru a velikosti přístřihu pro tažení výtažků nepravidelných tvarů? (viz 6.2.5 Tažení výtažků nepravidelných tvarů) 25. Jaké jsou výhody použití optimálního tvaru a velikosti přístřihu při tažení? (viz 6.2.5 Tažení výtažků nepravidelných tvarů) 26. Dokážete objasnit technologičnost tažení výtažků? (viz 6.3 Technologičnost tažení výtažků) 27. Co je charakteristické pro technologii postupového tažení v pásu? (viz 6.4 Postupové tažení v pásu) 28. Jak lze rozdělit technologie postupového tažení v pásu? (viz 6.4 Postupové tažení v pásu) 29. Dokážete popsat technologii tažení se ztenčením stěny? (viz 6.5 Tažení se ztenčením stěny) Klíč k řešení teoretických otázek sedmé kapitoly „Ohýbání“: 1. Dokážete charakterizovat technologii ohýbání? (viz 7 Ohýbání) 2. Jaké je rozdělení technologií ohýbání? (viz 7 Ohýbání) 3. Jaké jsou rozdíly mezi ohybem úzkých a širokých tyčí? (viz 7.1 Ohyb úzkých tyčí, 7.2 Ohyb širokých tyčí) 4. Jakým způsobem vzniká zpevnění materiálu při ohýbání? (viz 7.2 Ohyb širokých tyčí) 5. Které jsou základní technologické parametry ohýbání? (7.3 Technologické parametry ohýbání) 6. Co je to nejmenší dovolený poloměr ohybu? Na čem závisí jeho velikost? (7.3.1 Poloměr ohybu) 7. Co je to největší poloměr ohybu? (7.3.1 Poloměr ohybu) 8. Na čem závisí ztenčení stěny v místě ohybu? Jak se dá tomuto ztenčení zabránit? (7.3.2 Ztenčení stěny v místě ohybu) 9. Umíte objasnit odpružení po ohýbání? (7.3.3 Odpružení po ohýbání) 10. Jaká je příčina vzniku zbytkových pnutí po ohýbání? Jaký mají zbytková pnutí vliv na pevnost ohýbaných součástí? (7.3.4 Zbytková pnutí) 11. Jaký je rozdíl mezi prostým ohybem bez ražení a ohybem ražením? (7.3.5 Geometrie činných částí nástroje) 12. Co je to neutrální vrstva? Kterým směrem se při ohýbání neutrální vrstva posunuje ve vztahu ke středu křivosti ohybu? (7.4 Výchozí délka materiálu) 13. Jak se vypočte výchozí délka materiálu pro ohýbání? (7.4 Výchozí délka materiálu) 14. Dokážete objasnit technologičnost konstrukce ohýbaných součástí?
--	--

	(7.5 Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí) 15. Jaké jsou způsoby zamezení nebo omezení odpružení po ohýbání? (7.5 Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí) 16. Jaké znáte technologické metody ohýbání? (7.6 Technologické metody ohýbání) 17. Ze kterých částí se skládá ohýbadlo? (7.6 Technologické metody ohýbání. Hlavními částmi ohýbadla jsou ohybník a ohybnice.) 18. Jak se provádí plynulé ohýbání profilovými válci? (7.6 Technologické metody ohýbání) 19. Jaké znáte způsoby rovnání? (7.6 Technologické metody ohýbání, 7 Ohýbání) Klíč k řešení teoretických otázek osmé kapitoly „Slévání“: 1. Co se rozumí technologií slévání? Na výrobu čeho je tato technologie vhodná? (viz 8 Slévání) 2. Co jsou a na co slouží slévárenské formovací směsi? (viz 8.1 Slévárenské formovací směsi) 3. Jaké jsou základní složky formovacích směsí? (viz 8.1 Slévárenské formovací směsi) 4. Podle jakých hledisek se dají formovací směsi rozdělit? Na jaké druhy se dají formovací směsi následně rozdělit podle jednotlivých hledisek? (viz 8.1 Slévárenské formovací směsi) 5. Dokážete popsat základní zkoušky slévárenských formovacích směsí? (viz 8.1.1 Zkoušení slévárenských formovacích směsí) 6. Jaký je účel a etapy úpravy formovacích směsí? (viz 8.1.2 Úprava formovacích materiálů) 7. Jaké jsou způsoby regenerace formovacích směsí? (viz 8.1.2 Úprava formovacích materiálů) 8. K čemu slouží pomocné formovací látky? (viz 8.1.3 Pomocné formovací látky) 9. Jaké rovnovážné soustavy železa s uhlíkem znáte? Na čem záleží, ve které z nich slitina krystalizuje? (viz 8.2 Rovnovážné soustavy železa s uhlíkem) 10. Které materiály jsou používány na odlitky? (viz 8.3 Materiály používané na odlitky) 11. Jaké jsou etapy technologického procesu výroby odlitků? (viz 8.4 Technologický proces výroby odlitků) 12. Jaké druhy slévárenských forem znáte? Jakými způsoby se tyto formy vyrábí? (viz 8.4.1 Výroba slévárenských forem) 13. Dokážete popsat způsoby odlévání do kovových forem? (viz 8.4.1 Výroba slévárenských forem) 14. Jaké jsou zvláštní způsoby výroby odlitků? (viz 8.4.1 Výroba slévárenských forem) 15. Jakým způsobem se připravuje tekutý kov pro lití? (viz 8.4.2 Příprava tekutého kovu) 16. Které jsou základní druhy pecí podle způsobu ohřevu? (viz 8.4.2 Příprava tekutého kovu) 17. Jak se provádí vytloukání a čištění odlitků? (viz 8.4.3 Vytloukání odlitků, čištění a oprava chyb) 18. Které vlastnosti se u hotových odlitků kontrolují? (viz 8.4.4 Kontrola odlitků a expedice)
--	--

	19. Co je slévárenský postupový výkres? Co je výkres odlitku? (viz 8.5.1 Slévárenský postupový výkres) 20. Jaké jsou zásady pro volbu polohy odlitku ve formě? (viz 8.5.1.1 Volba polohy odlitku ve formě při odlévání) 21. Jaké jsou zásady pro stanovení dělicí plochy? (viz 8.5.1.2 Zásady pro stanovení dělicí plochy) 22. Co je příčinou smrštění odlévaných slitin, jakých dosahuje přibližně hodnot a jakým způsobem se při výrobě odlitků zohledňuje? (viz 8.5.1.3 Smrštění odlévaných slitin) 23. Jaký je rozdíl mezi přídavky na obrábění a přídavky technologickými u odlitků? (viz 8.5.1.5 Přídavky na obrábění ploch odlitků, 8.5.1.6 Přídavky technologické) 24. Jaký je účel slévárenských úkosů modelů a odlitků? Jaké jsou druhy těchto úkosů? (viz 8.5.1.7 Slévárenské úkosy modelů a odlitků) 25. Jaké jsou druhy modelů? Jakými způsoby se modely vyrábí? (viz 8.5.2 Výrobní postup modelového zařízení) 26. Z jakých částí se skládá vtoková soustava? Jak se liší tvary kanálů pro šedou litinu a pro ocel? (viz 8.7 Vtoková soustava) 27. Co je účelem výfuku? Kam se výfuk u odlitku umísťuje? (viz 8.8 Navržení výfuku) 28. Jak se u odlitku pozná tepelný uzel? (viz 8.9 Nálitkování odlitků) 29. Co je účelem nálitkování odlitků? Jak nálietek funguje při tuhnutí odlitku? (viz 8.9 Nálitkování odlitků) 30. Co je to usměrněné tuhnutí odlitku? (viz 8.5.1.1 Volba polohy odlitku ve formě při odlévání, 8.9 Nálitkování odlitků. Usměrněné tuhnutí odlitku znamená tuhnutí odspoda směrem nahoru, čehož se docílí tím, že tloušťky stěn se ve směru k nálitkům zvětšují. Žádná vyšší část odlitku by neměla z taveniny utuhnout dříve, než část pod ní, aby v daném místě díky objemovému smrštění nevznikla dutina, tzv. lunkr. Poslední tuhnutí by mělo být v nálitku, kde vznikne staženina.) 31. Jaké druhy nálitků znáte? (viz 8.9 Nálitkování odlitků) 32. Jaký je účel použití podnálitkové vložky? Jak tato vložka funguje při tuhnutí odlitku? (viz 8.9 Nálitkování odlitků) 33. Čím je způsobena vztlaková síla působící na vršek formy? Jak se zabraňuje nadzvednutí horního formovacího rámu při odlévání? (viz 8.10 Vztlaková síla působící na vršek formy) 34. Jaké jsou účely tepelného zpracování odlitků? (viz 8.11 Tepelné zpracování odlitků) 35. Jaké jsou druhy vad odlitků? (viz 8.12 Vady odlitků) 36. Dokážete vysvětlit konstrukční zásady pro navrhování odlitků? (viz 8.13 Konstrukční zásady pro navrhování odlitků) Klíč k řešení teoretických otázek deváté kapitoly „Nekonvenční způsoby tváření“: 1. Které technologie lze zařadit mezi nekonvenční způsoby tváření? (viz 9 Nekonvenční způsoby tváření) 2. Co je typické pro tváření vysokými rychlostmi? (viz 9.1 Tváření vysokými rychlostmi) 3. Dokážete popsat technologii tváření expanzí plynů? (viz 9.1.1 Tváření expanzí plynů) 4. Jaká je podstata technologie tváření výbuchem? (viz 9.1.2 Tváření výbuchem)
--	--

	5. Dokážete vysvětlit tváření výbuchem plynové směsí? (viz 9.1.2 Tváření výbuchem) 6. Jak se provádí tváření výbuchem střeliviny nebo trhaviny? (viz 9.1.2 Tváření výbuchem) 7. Jaká přenosová prostředí mezi zdrojem energie a polotovarem se dají při tváření výbuchem střeliviny nebo trhaviny použít? (viz 9.1.2 Tváření výbuchem) 8. Dokážete popsat technologii elektrohydraulického tváření, její výhody a nevýhody? (viz 9.1.3 Tváření elektrohydraulické) 9. Jak se provádí elektromagnetické tváření? (viz 9.1.4 Tváření elektromagnetické) 10. Jaký je rozdíl mezi expanzním a kompresním elektromagnetickým tvářením? (viz 9.1.4 Tváření elektromagnetické) 11. Dokážete vysvětlit podstatu technologie tváření vysokými tlaky, její výhody a nevýhody? (viz 9.2 Tváření vysokými tlaky) 12. Které technologie lze zařadit do skupiny tváření nepevnými nástroji? (viz 9.3 Tváření nepevnými nástroji) 13. Jakým způsobem se provádí tažení pryží? (viz 9.3.2 Tažení pryží) 14. Dokážete objasnit způsoby tažení plechů pomocí kapaliny? (viz 9.3.4 Tažení plechů pomocí kapaliny) 15. Jaké způsoby radiálního vypínání znáte? (viz 9.4 Radiální vypínání) 16. Jaký je princip a účel tažení expanzním tažníkem? (viz 9.5 Tažení expanzním tažníkem) 17. V čem spočívá podstata technologie tažení s použitím místního ohřevu? (viz 9.6 Tažení s použitím místního ohřevu) 18. Dokážete vysvětlit podstatu tváření v superplastickém stavu? (viz 9.7 Tváření v superplastickém stavu) 19. Jaká je podstata a jaké jsou výhody frekvenčního a ultrazvukového tváření? (viz 9.8 Frekvenční a ultrazvukové tváření) 20. K čemu se používá technologie kovotlačení? (viz 9.9 Kovotlačení) 21. Co je prášková metalurgie? Jaké má výhody a nevýhody? (viz 9.10 Lisování součástí z práškových materiálů) 22. Dokážete popsat etapy výroby součásti z práškových materiálů? (viz 9.10 Lisování součástí z práškových materiálů) 23. Jaké jsou hlavní způsoby výroby práškového kovu? (viz 9.10 Lisování součástí z práškových materiálů) 24. Jakými způsoby se provádí tváření práškových materiálů? (viz 9.10 Lisování součástí z práškových materiálů) 25. Jaké materiály a výrobky se vyrábí z práškových materiálů? (viz 9.10 Lisování součástí z práškových materiálů) Klíč k řešení teoretických otázek desáté kapitoly „Plasty“: 1. Dokážete charakterizovat plasty? (viz 10 Plasty) 2. Ze kterých složek se plasty skládají? (viz 10 Plasty) 3. Jak lze plasty rozdělit podle struktury makromolekul? (viz 10.1 Rozdělení plastů) 4. Jak lze rozdělit plasty podle chování za tepla? (viz 10.1 Rozdělení plastů)
--	---

	5. Co se rozumí degradací polymeru? (viz 10.1 Rozdělení plastů) 6. Dokážete popsat stavy plastů? (viz 10.2 Stavy plastů) 7. Jaké vlastnosti mají plasty? Čím se tyto vlastnosti liší od vlastností kovů? (viz 10.3 Vlastnosti plastů) 8. Co způsobuje stárnutí plastů? Jak se stárnutí plastů projevuje? (viz 10.3 Vlastnosti plastů) 9. Které jsou nejčastější úpravy plastů před zpracováním? (viz 10.4 Úprava plastů před zpracováním) 10. Jaké znáte pomocné látky v plastech? (viz 10.4 Úprava plastů před zpracováním) 11. Dokážete definovat kompozitní materiály? (viz 10.5 Kompozitní materiály) 12. Jak lze provést rozdělení kompozitů? (viz 10.5 Kompozitní materiály) 13. V jakých stavech se plasty zpracovávají? (viz 10.6 Zpracování plastů) 14. Jaké způsoby zpracování plastů v tekutém stavu znáte? (viz 10.6.1 Zpracování plastů v tekutém stavu) 15. Co je podstatou technologie máčení plastů? (viz 10.6.1 Zpracování plastů v tekutém stavu) 16. Kterou technologií se vyrábí koženka? (viz 10.6.1 Zpracování plastů v tekutém stavu) 17. Jaké způsoby zpracování plastů v plastickém stavu znáte? (viz 10.6.2 Zpracování plastů v plastickém stavu) 18. Dokážete popsat etapy vstřikování na vstřikovacím lisu? (viz 10.6.2 Zpracování plastů v plastickém stavu) 19. Jakým způsobem se provádí vytlačování? Které výrobky se vytlačováním vyrábí? (viz 10.6.2 Zpracování plastů v plastickém stavu) 20. Co je podstatou technologie vyfukování? Které výrobky se vyfukováním vyrábí? (viz 10.6.2 Zpracování plastů v plastickém stavu) 21. Které obecné technologické zásady musí respektovat součásti z plastů? (viz 10.7 Technologičnost součástí z plastů) 22. Jaké jsou hlavní zásady řešení výstřiků z termoplastů? (viz 10.7 Technologičnost součástí z plastů) 23. Jaké druhy vtoků znáte? (viz 10.7 Technologičnost součástí z plastů) 24. Co jsou u součástí z plastů zálisky? Jaký je účel zálisků? (viz 10.7 Technologičnost součástí z plastů) 25. Jaké znáte povrchové úpravy výstřiků z termoplastů? (viz 10.7 Technologičnost součástí z plastů) 26. Jaké jsou hlavní zásady tvarového řešení výstřiků z reaktoplastů? (viz 10.7 Technologičnost součástí z plastů)
--	--

Σ	Shrnutí studijní opory
	Tváření je zpracování materiálu velkými plastickými deformacemi při stavu napjatosti za mezí kluzu, a to bez porušení tvářeného materiálu. Hlavními výhodami technologie tváření jsou zvyšování užitečných vlastností kovů (zpevnění, nedochází k přerušení vláken), minimální množství odpadu, vysoká produktivita práce a vhodnost pro velkosériovou výrobu. Plastická deformace kovů se uskutečňuje na hranicích bloků, tedy uvnitř krystalu, a to kluzem na krystalových rovinách bloků. Dochází přitom k prostorové orientaci bloků a prodlužování zrn ve směru převládající deformace, tedy vzniku textury. Nežádoucí je deformace na hranicích zrn, tedy mezikrystalová, protože soudržnost hranic zrn se brzy poruší. Základními mechanismy plastické deformace jsou deformace kluzem, dvojčatěním a difúzí. První plastická deformace tělesa vznikne na rovině, která je skloněna vůči působícímu napětí pod úhlem 45° v okamžiku, kdy osová napětí dosáhne hodnoty meze kluzu R_e. V tu chvíli existuje na této rovině tzv. kritické smykové napětí. Křivka zpevnění má nejprve přímkovou část, která odpovídá pružné deformaci až do meze úměrnosti, resp. meze pružnosti materiálu. Existence horní meze kluzu je způsobena zakotvením dislokací na vměstcích ve struktuře materiálu a nutnosti většího napětí pro docílení jejich odtržení. Pro následný pohyb dislokací mřížkou je třeba napětí nižší, proto se napětí sníží na hodnotu dolní meze kluzu. U některých materiálů existuje tzv. Lüdersova deformace, což je deformace bez růstu napětí. Po zapojení kluzu ve více rovinách a vzniku tzv. složitého kluzu dojde ke vzniku parabolického zpevnění až do meze pevnosti. Za mezí pevnosti dochází k lokalizaci plastické deformace, vzniku krčku a následně vzniku lomu. Plošné tváření je tváření plochých polotovarů, tedy plechů. Objemové tváření znamená tváření polotovarů, které nemají malou tloušťku, např. tyčí, přičemž se provádí zastudena nebo zatepla. Při tváření zastudena vzniká tvářecí textura, mění se mechanické vlastnosti, vzniká zpevnění v závislosti na velikosti deformace, mění se fyzikální vlastnosti a vzniká vláknitost struktury. Při tváření zatepla, tedy nad teplotou rekrytalizace, vzniká jen velmi malé zpevnění. Struktura materiálu má vliv na plastickou deformaci. Chemické složení – se stoupajícím obsahem C se zvětšují deformační odpory a roste pevnost, vysokolegované a nástrojové oceli mají zpravidla větší deformační odpory, než oceli uhlíkové a nízkolegované, většina neželezných kovů má malý odpor proti deformaci. Krystalová mřížka – plošně centrovanou kubickou mřížku lze nejnárodněji přetvářet, prostorově centrovaná kubická mřížka má menší schopnost plastické deformace, u hexagonální mřížky s těsným uspořádáním atomů je obtížné dosažení plastického stavu. Velikost zrn – jemnozrnnější struktura má větší deformační odpor a často i nižší plastičnost. Stejnorodost zrn – různá velikost zrn zhoršuje plastické vlastnosti vlivem nerovnoměrného postupu deformace. Vliv mezikrystalické hmoty a jejího rozdělení – přítomnost snadno tavitelných příměsí nebo místní koncentrace těchto příměsí, nerovnoměrné rozdělení mezikrystalické hmoty způsobuje oslabení vazby mezi zrny. Podle teploty deformovaného materiálu při procesu plastické deformace lze tvářecí procesy rozdělit na: tváření zastudena – do teploty $0,3 \cdot T_{\text{tav}}$, tváření se zotavením – v rozmezí teplot $(0,3 \text{ až } 0,5) \cdot T_{\text{tav}}$, tváření s částečnou rekrytalizací struktury – v rozmezí teplot $(0,5 \text{ až } 0,7) \cdot T_{\text{tav}}$, tváření zatepla s úplnou rekrytalizací – při teplotách nad $0,7 \cdot T_{\text{tav}}$. Tření na styčných plochách nástroje s materiálem lze rozdělit na aktivní, tedy žádoucí, a pasivní, tedy nežádoucí (toto brzdí rozvoj plastické deformace, zvyšuje spotřebu energie a zvyšuje opotřebení tvářecích nástrojů). Vliv napjatosti na plastickou deformaci lze vyjádřit pomocí schémat napjatosti. Čím více

ve schématu napjatosti převládají **tlaková napětí**, tím je **tvářitelnost materiálu vyšší**.

Vliv rychlosti deformace v_d na plastickou deformaci – s růstem v_d roste **napětí potřebné pro deformaci materiálu**, rostou tvářecí síly, s růstem v_d se **zvyšuje teplota tvářeného materiálu** (tzv. tepelný efekt). To působí příznivě na tvářitelnost, pokud se nepřekročí max. teplota ohřevu. S růstem v_d se **zvyšuje kritická teplota**, při které nastává přechod od chování plastického ke křehkému.

Základní zákony plastické deformace:

1. **zákon stálosti objemu** – objem před deformací je roven objemu po deformaci, tj. součet hlavních logaritmických deformací je roven nule,
2. **zákon nejmenšího odporu** – elementy deformovaného tělesa se přemísťují ve směru nejmenšího odporu,
3. **zákon závislosti deformace na napětovém stavu** – průběh plastické deformace je závislý na napětovém stavu,
4. **zákon stálosti potenciální energie na změnu tvaru** – množství měrné potenciální energie na změnu tvaru, která je obsažena v deformovaném tělese při plastické deformaci, závisí na podmínkách plastické deformace (teplota, rychlost a stupeň deformace) a na materiálu, ale nezávisí na stavu napjatosti,
5. **zákon smykových napětí** – k plastické deformaci ve tvářeném tělese dojde tehdy, když smykové napětí vznikající v něm působením vnějších sil dosáhne určité hodnoty (kritické smykové napětí), která je závislá na materiálu a podmínkách plastické deformace (teplotě, stupni a rychlosti deformace, schématu hlavních napětí),
6. **zákon pružného odlehčení** – v případě přerušení plastické deformace (odlehčením a opětovným zatížením) při zachování charakteru a způsobu zatížení nemění deformační diagram svůj tvar,
7. **zákon zpevnění** – při deformačních procesech pod rekrytalizační teplotou převládá kluzový mechanismus deformace se zpevněním,
8. **zákon tření** – v procesu plastické deformace vzniká na styčných plochách mezi nástrojem a tvářeným materiálem aktivní nebo pasívní tření, které je definováno Coulombovým zákonem,
9. **zákon přídavných napětí** – v procesu plastické deformace tělesa, která vede ke zvětšení (zmenšení) jeho rozměrů, vznikají ve tvářeném tělese přídavná napětí, způsobující naopak zmenšení (zvětšení) jeho rozměrů,
10. **zákon podobnosti** – při plastické deformaci dvou těles, která splňují podmínky geometrické, mechanické a fyzikální podobnosti, platí: poměr deformačních prací je roven třetí mocnině poměru lineárních rozměrů, poměr deformačních sil je roven druhé mocnině poměru lineárních rozměrů, měrný deformační odpor (měrný tlak) je shodný.

Zákon stálosti objemu zcela neplatí:

- a) **při deformaci litého kovu** (první deformace ingotů) – dochází k zaválcování, zakování a zavaření vnitřních dutin, pórů a necelistvostí,
- b) **při tváření** (hlavně zastudena) – dochází ke vzniku poruch krystalových mřížek (snižuje se měrná hmotnost – cca o 0,1 až 0,2 %).

Kování lze rozdělit na **volné** a **zápustkové**. **Základními operacemi volného kování** jsou **pěchování a místní napěchování, prodlužování, osazování, děrování a rozkování na trnu**.

Zápustky se dají rozdělit na: přípravné (bez výronku, prodlužovací, zužovací, tvarovací, pěchovací, ohýbací, stříhací) a **dokončovací** (stříhací, dokončovací s výronkem, dokončovací bez výronku, kalibrovací plošné, kalibrovací objemové)

Návrh technologického postupu výroby výkovku se skládá z fází: rozbor výkresu

součásti, určení druhu tvářecího stroje, nakreslení výkresu výkovku, výpočet silových parametrů tvářecího stroje, výběr a sled potřebných operací, stanovení hmotnosti a tvaru výchozího materiálu, konstrukce tvářecího nástroje, ohřev materiálu, mazání, ostřihování, kalibrace, konečná úprava výkovků. Na základě rozboru výkresu součásti, tj. podle rozměrů, tvaru součásti a velikosti série, se provádí volba nejvýhodnější technologie výroby. Tváření zatepla se používá u rozměrnějších součástí, které by při tváření zastudena vyžadovaly neúměrně velké tvářecí síly. Pro výrobu výkovků je možno použít následující stroje: <i>buchary, vřetenové lisy a mechanické klikové lisy.</i> Podkladem pro zhotovení výkresu výkovku je výkres součásti, jejímž polotovarem je výkovek. Provedení výkovku může být obvyklé, přesné, velmi přesné, nebo provedení dle dohody. Přidávky na obrábění se dávají na funkční plochy, u kterých se teprve obráběním dosáhne kvalitní povrch s předepsanou drsností. Technologickými přidávkami jsou zaoblení hran a přechodů, tloušťka dna, případně blány výkovku, tloušťka stěny výkovku, boční úkosy – vnější a vnitřní. Rozměrovými a tvarovými úchytkami zápustkového výkovku jsou <i>úchytky rozměrů, dovolené přesazení, otřep, dovolené sestřížení, dovolená jehla, dovolený průhyb, úchytky souososti kovaných otvorů, úchytky souososti děrovaných otvorů.</i> Hlavní zásady pro volbu dělicí roviny: musí zajistit snadné vyjímání výkovku ze zápustky, obvykle se umísťuje do roviny dvou největších vzájemně kolmých rozměrů výkovku, nebo do roviny souměrnosti výkovku, měla by umožnit dokonalé ostřížení výronku, zaplňování dutiny zápustky je výhodnější pěchováním než protlačováním, vyšší část výkovku se umísťuje do horního dílu zápustky, její poloha by měla kladně ovlivnit průběh vláken a tím i pevnost součásti, volí se rovněž s ohledem na možnost kontroly vzájemného přesazení zápustek. Přípravné předkovací dutiny mají zvětšená zaoblení hran, větší úkosy a zjednodušení tvaru, nemají výronkovou drážku, jsou otevřené nebo uzavřené. Patří mezi ně dutiny <i>zužovací, rozdělovací, ohýbací, zplošťovací, tvarovací a utínka.</i> Objem výchozího polotovaru pro výrobu výkovku se vypočte jako součet objemu výkovku a objemu výronku, přičemž získaná hodnota se zvětší o opal. Délka polotovaru se získá, když se objem výchozího polotovaru podělí plochou příčného průřezu polotovaru. Výronková drážka slouží k odvodu přebytečného materiálu z dutiny dokončovací zápustky. Může být otevřená (pro klikové lisy) nebo uzavřená (pro vřetenové lisy a buchary), přičemž u každé varianty existují tři podtypy podle provedení zásobníku. Zásobník výronkové drážky se provádí v tom díle zápustky, který má větší životnost. Zápustky lze rozdělit na jednodutinové (u velkosériové výroby je pro každou operaci nástroj) a několikadutinové (vhodné pro malosériovou výrobu). Nástroj pro zápustkové kování se skládá z následujících částí: <i>držák horních částí zápustek, horní část zápustky</i> (uchycena do držáku pomocí rybiny, pera a podélného klínu), <i>dolní část zápustky</i> (uchycena do držáku pomocí rybiny, pera a podélného klínu), <i>držák dolních částí zápustek.</i> Vložkování zápustek se používá u členitých zápustek, kdy se vložkují místa, která se rychleji opotřebovávají. Rychlost ohřevu – závisí převážně na chemickém složení materiálu (nizkouhlíkové oceli lze ohřívat rychleji než oceli legované). Při překročení dovolené rychlosti ohřevu dochází k velkým teplotním rozdílům v průřezu materiálu což je příčinou tepelných pnutí. Horní kovací teplota – musí být nižší než teplota, při které se začínají tavit složky s nejnižší tavicí teplotou, u ocelí 200 až 300 °C pod solidem. Dolní kovací teplota – je dána teplotou, při níž se pevnost materiálu nezvýší do té míry, že by tváření vyžadovalo příliš vysoké měrné tlaky. Dokovací teplota – konečná tvářecí teplota, je omezena rekrytalizační teplotou. Ovlivňuje
--

krystalickou strukturu materiálu a tím i jeho mechanické vlastnosti (jejím snížením se docílí jemnější krystalická struktura). **Přehřátí kovu** – je způsobeno ohřevem nad dovolenou horní hranici ohřevu, vzniká *hrubo zrná struktura*. **Spálení kovu** – nastává u teploty solidu, kdy jsou nataveny hranice zrn.

Mazání zápustek: účelem je snížení tření mezi zápustkou a tvářeným materiálem, snadnější uvolňování výkovku ze zápustky, snížení otěru zápustky, ochlazující účinek. **Ostřihování a děrování výkovků:** na ostřihovacích lisech zatepla (tj. kolem 550 °C) nebo zastudena, z výkovků se tak odstraňují *výronky* a *blány na prostřížení*. **Kalibrování a rovnání výkovků:** u malých výkovků zastudena, u větších zatepla. Kalibrováním se zpřesňují rozměry a zlepšuje jakost povrchu. **Odstranění okují** lze provádět **chemicky** – mořením, nebo **mechanicky** – otloukáním v bubnech nebo pískováním.

Způsoby válcování zatepla: podélné válcování na kovacích, příčné klínové válcování, periodické válcování (*podélné válcování periodických profilů, šikmé periodické válcování*), rozválcování, válcování závitů, válcování ozubených kol (*válcování s osovým posuvem předvalku, válcování s radiálním posuvem válců*).

Technologie objemového tváření zastudena poskytuje následující výhody: působení *prostorové napjatosti* (vhodné pro velké plastické deformace), malá spotřeba materiálu, krátké výrobní časy, vysoká kvalita výrobků (jakost povrchu, rozměrová přesnost, zpevnění, nepřerušeny průběh vláken, zvýšení meze únavy vylisků).

Základní způsoby objemového tváření zastudena: *dopředné protlačování, zpětné protlačování, sdružené protlačování, stranové protlačování, pěchování, kombinované tváření, radiální tváření*.

Součásti tvarově vhodné pro objemové tváření zastudena: především rotačně symetrické součásti (*součásti kalíškového tvaru, součásti čepového tvaru, nízké rotační součásti s průchozím otvorem, součásti nepravidelného tvaru*).

Výpočet deformací při protlačování: je výhodnější používat *logaritmické deformace*, protože je možno sčítat několik po sobě následujících deformací.

Etapy návrhu technologického postupu výroby protlačku jsou následující: volba materiálu, stanovení tvaru a rozměrů polotovaru, volba přípravných operací před tvářením, stanovení počtu tvářecích operací, dodržení technologických zásad pro návrh protlačků a nástrojů, výpočet tvářecí síly a práce, dokončování vylisků.

Požadované vlastnosti materiálu pro objemové tváření zastudena: **stav oceli** – nejvhodnější je *žíhaná na měkko, struktura* – nejlépe *feriticko-perlitická s globulárním perlitem, průměrná velikost zrna 5 až 8* podle ČSN 42 0463, **mechanické vlastnosti** – co nejnižší R_e , co nejvyšší A , co nejvyšší Z (min. 55 %), R_e/R_m od 0,5 do 0,6, *malý sklon ke zpevnění, dostatečná tvárnost, chemické složení oceli* – nízký obsah C, P a S, minimální výskyt staženin, vycezenin a nekovových vměstků.

Stanovení tvaru a rozměrů polotovaru: *objem výchozího polotovaru se rovná objemu konečného protlačku, tvar a rozměry výchozího polotovaru mají být co nejvíce podobné konečnému tvaru a rozměrům hotového protlačku* (mohou se určovat s ohledem na *průběh zpevnění v protlačku*). **Druhy polotovarů** pro objemové tváření zastudena: **plné špalíky kruhového i jiného průřezu, kaloty kruhového, čtvercového i jiného průřezu** (jejich výška je menší než polovina vnějšího průměru nebo rozměru), **špalíky s průchozím otvorem, prstence kruhového, obdélníkového, oválného i jiného průřezu**.

Přípravné operace před tvářením: dělení materiálu, tepelné zpracování, odstranění okují, povrchová úprava polotovarů, mazání polotovarů. **Druhy tepelného zpracování polotovarů:** normalizační žíhání, žíhání na měkko, rekrytalizační žíhání. **Fosfátování** – přípravná operace před tvářením. Provádí se *ve fosfatizační lázni* (teplota nad 90 °C). Na povrchu polotovaru se vytvoří **pórovitý fosfátový povlak**, tj. tenká vrstva fosforečnanu zinečnatého s malým přídatkem fosforečnanu železa. **Maziva** – ve vodě rozpustná mýdla, neemulgující minerální oleje, živočišné a rostlinné tuky. K uvedeným mazivům může být

přidán buď <i>grafit</i> nebo <i>sírník molybdeničitý</i> (MoS_2), obchodní název Molyko. Maziva se obvykle nanáší <i>ponorem</i>. Počet tvářecích operací je závislý na rozměrech polotovaru a konečného protlačku a přípustné poměrné nebo logaritmické deformaci, kterou lze dosáhnout jednou tvářecí operací při určitém způsobu protlačování podle druhu tvářené oceli. Je-li vyčerpána tvárnost materiálu, je nutno zařadit před další tvářecí operaci tepelné zpracování a tím odstranit zpevnění. Technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů: Rozměry polotovarů v každé jednotlivé tvářecí operaci je nutno stanovit na základě zákona stálosti objemu výlisku. Je nutno počítat se snadným zasouváním jednotlivých polotovarů do následujících průtlačnic. Průtlačnice má na vnějším tvaru nalisovanou bandáž (jednu nebo dvě <i>zděře</i>), kterou se dosahuje předpětí průtlačnice zvyšující její trvanlivost. Délka protlačovaného díku je omezena vzpěrnou pevností průtlačníku. Nerovné okraje výlisků vznikají z následujících příčin: u rotačních výlisků tvářených z kalot vlivem anizotropie mechanických vlastností výchozích pásů nebo plechů, u nerotačních výlisků tvářených z kalot vlivem nerovnoměrného toku tvářeného materiálu, u všech výlisků tvářených přímo ze stříhaných špalíků s deformací jejich konců vlivem stříhu, nestejnými objemy výchozích polotovarů (jsou způsobeny poměrně širokými výrobními tolerancemi tloušťky pásů, z nichž se stříhají kaloty, nebo tolerancemi průměrů tyčí dělených na špalíky). Druhy dokončování výlisků: zarovnání okrajů (zarovnání soustružením trubkovým nožem, zarovnání kruhovým nožem), ostřihování okraje výlisků, dokončování dutin vrtáním, odstranění otřepů z dosedacích ploch (omíláním v bubnech vibračním omíláním). Dělení materiálu lze rozdělit na stříhání (plošné a objemové) a lámání. Stříhání je oddělování částic materiálu <i>smýkovým působením dvojice nástrojů</i> (nožů, nebo střížníku a střížnice) podél <i>křivky stříhu</i>. Základní operace plošného stříhání: <i>prosté stříhání, děrování, vystřihování, vystřihování zářezů, přistřihování, nastřihování, prostřihování, protrhávání, vysekávání, ostřihování, přesné stříhání</i>. Tvar a jakost střížné plochy závisí na vlastnostech materiálu, velikosti střížné mezery, tvaru a geometrii střížných hran, stavu napjatosti a rychlosti stříhání. Oblasti na střížné ploše: <i>zeslabení tloušťky, oblast plastického stříhu, oblast lomu oblast otěru otřep, vtisk spodního nože</i>. Zpevněná oblast dosahuje u měkkých ocelových plechů 20 až 30 % tloušťky plechu, zvětšuje se s ubývajícím tvárností materiálu a otupením břitů. Velikost střížné mezery: ovlivňuje jakost střížné plochy, velikost střížné síly a trvanlivost nástroje, <i>správně zvolená velikost střížné mezery zaručuje</i>, že trhliny, které při stříhání vznikají, se setkají. Rozměry střížníků a střížnic: při vystřihování (výrobkem je <i>výstřížek</i>) – rozměr výstřížku odpovídá rozměru střížnice, rozměr střížníku je menší o střížnou vůli, při děrování (výrobkem je <i>okolí otvoru</i>) – rozměr otvoru odpovídá rozměru střížníku, rozměr střížnice je větší o střížnou vůli. Střih skloněnými noži: plech není stříhán v celé šířce najednou, ale <i>postupně</i> (zmenšení střížné síly a rázů), <i>pracovní zdvih</i>, potřebný k ustřížení plechu, je v porovnání s rovnoběžnými noži <i>větší</i> a je přímo úměrný úhlu sklonu horního nože λ, <i>úhel sklonu horního nože</i> $\lambda = 1$ až 5°, aby byla zaručena podmínka samosvornosti a stříhaný materiál před nožem neujížděl, nevýhoda – odstřihovaná část plechu se <i>ohýbá</i> (nevadí, pokud je odpadem). Zařízení ke stříhání: nůžky (vesměs k přestřihování materiálu), lisy se střížným nástrojem (vesměs k vystřihování a děrování). Druhy nůžek: <i>pákové nůžky, vibrační nůžky, tabulové nůžky, kotoučové nůžky</i> (jednokotoučové nůžky, dvoukotoučové nůžky – pásové nůžky, okružní nůžky, křivkové nůžky), nůžky na profily, letmé nůžky (pro dělení vývalků v hutích, tj. plechu, drátu). Lisy používané ke stříhání: mechanické lisy

(výstředníkové lisy, klikové lisy vysekávací automaty), hydraulické lisy. Stříhadla: <i> tvar bříty tvoří ve většině případů uzavřená křivka. Skládají se z částí pohyblivé (upnuté pomocí stopky do beranu lisu – střížník), částí pevné (upnuté na stole lisu – střížnice). Rozdělení stříhadel podle funkce: jednoduchá, vícenásobná, postupová, sloučená, sdružená. Rozdělení stříhadel podle druhu vedení: otevřené (bez vedení), s vodicí deskou, s vodicími sloupky, se sdruženými vedeními.</i> Vystřihování součástí z tenkých plechů gumou: jedno pracovní ústrojí (zpravidla střížnicí) tvoří gumový polštář složený zpravidla z několika gumových desek (je uložen v pouzdru, které se při práci nasouvá na tzv. <i>ponornou desku</i>), lze stříhat plechy do tloušťek: hliník 2 mm, dural 1,5 mm, měkká ocel 1 mm, tloušťka <i>střížné desky (šablony)</i> má být alespoň 4x větší než tloušťka stříhaného materiálu, <i>aby došlo k ustřížení</i>, musí materiál přesahovat střížnou desku o délku rovnou 3 až 3,5 násobku její výšky, vhodné <i>pro kusovou a malosériovou výrobu</i>. Nástřihový plán je způsob rozmístění stříhaných součástí na výchozím polotovaru, tj. tabuli nebo pásu plechu, jeho účelem je především <i>maximální využití materiálu, snadná manipulace při vystřihování</i> (krátký krok, vystřížení více součástí najednou apod.), <i>splnění jiných technologických požadavků</i> (přesnost, vhodný směr vláken apod.). Nástřihový plán lze řešit: početní metodou nebo empiricky. Hospodárnost nástřihového plánu: vyjadřuje se <i>součinitelem využití materiálu η</i>, tj. poměrem plochy rozmístěných výstřížků S_v k ploše polotovaru S_p. Přesné stříhání: dosahuje se <i>hladké střížné plochy</i> kolmé k rovině plechu, <i>tolerance</i> vysoko překračují přesnost dosahovanou normálním stříháním, vhodným <i>mazáním</i> se snižuje součinitel tření, zvyšuje se životnost funkčních částí a kvalita střížné plochy. Rozdělení přesného stříhání: <i>přístřihování, stříhání se zaoblenou střížnou hranou</i> (zaoblená hrana střížníku nebo střížnice), <i>stříhání se zkoseným přidržovačem, stříhání s nátlakovou hranou, reverzní stříhání</i>. Rozdělení objemového stříhání (stříhání <i>profilů a tyčí</i> různých průřezů): <i>objemové stříhání zastudena (otevřenými noži, uzavřenými noži, přesné objemové stříhání – s radiálním sevřením tyče i ústřížku, s axiálním předpětím tyče, s krutovým předpětím tyče), objemové stříhání zatepla</i>. Rozdělení stříhání tenkostěnných profilů a trubek: <i>na profilových nůžkách</i> (pro otevřené tenkostěnné profily L, T, U, I), <i>v nástroji s odpadem</i> (stříhání otevřených a polouzavřených tenkostěnných profilů, stříhání tenkostěnných trubek a uzavřených profilů – vertikálním způsobem, nebo horizontálně-vertikálním způsobem), <i>v nástroji bez odpadu, kotoučovými noži (bez trnu nebo stříhání s otočným trnem</i>. Lámání: pro tyčový materiál velkých rozměrů (150 až 200 mm), láme se <i>ohybem</i>, rozdělení v žádaném místě se napomáhá <i>vrubem</i>. Rozdělení lámání: <i>lámání s jednou podpěrou, lámání se dvěma podpěrami, lámání konzolové</i>. Tažení plechu: trvalá deformace, při které vznikají z rovinných přístřihů <i>prostorové duté výtažky</i>, které nejsou rozvinutelné. Jde o <i>plošné tváření</i>, protože požadovaný tvar výtažků se dosahuje bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu. Výhody součástí vyrobených tvářením z plechů – tuhost, sestavovatelnost, nízká hmotnost, dobrá kvalita povrchu, nízké výrobní náklady (zvláště při velkosériové výrobě). Rozdělení tažení: tažení prosté (bez přidržovače nebo s přidržovačem), tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování, přetahování (napínání přes šablonu). Tažení prosté, tj. bez ztenčení stěny: <i>tloušťka plechu není ovlivňována geometrií nástroje</i> (mezi tažnicí a tažníkem je dostatečná vůle, aby jí prošly i zesílené okraje výtažku). Tloušťka plechu se <i>u dna</i> zmenšuje, <i>u okraje výtažku</i> se napěchováním zvětšuje. <i>Největší ztenčení plechu</i> je těsně nad zaoblením mezi dnem a stěnou, <i>stupeň deformace stěn výtažku</i> vzrůstá od jeho dna směrem k okraji. Při hlubokém tažení se zabraňuje tvorbě vln na přírubě <i>přidržovačem</i>. <i>Tažná síla dosáhne maxima</i>, když středy poloměrů zaoblení hran
--

tažnice a tažníku jsou v jedné rovině (vliv úhlu opásání zaoblené hrany tažnice). Technologické parametry tažení: tvar a velikost přístřihu, počet tažných operací a jejich odstupňování, použití přidržovače, velikost tažné mezery, tvar tažníku, tvar tažnice, tažná síla, rychlost tažení, drsnost plechu a funkčních částí nástroje, mazání při tažení. Stanovení tvaru a velikosti přístřihu: za předpokladu, že tloušťka plechu se při tažení nemění, zákon stálosti objemu přejde v zákon stálosti ploch. Stanovení počtu tažných operací a jejich odstupňování: <i>stupeň deformace při jednom tahu nesmí překročit určitou maximální hodnotu, jinak dojde k poškození výtažku (používají se tzv. mezní součinitele odstupňování tahu M).</i> Použití přidržovače: <i>přidržovač brání vzniku přeložek a zvrásnění při tažení tím, že svou funkční plochou přitlačuje plech k horní části tažnice. Přidržovací sílu mohou vyvozovat: pružiny (ocelové nebo gumové, stlačované pohybem přitlačné desky, upevněné na beranu), pneumatický přidržovač (při hlubších tazích), druhý beran (přidržovací, je součástí dvojčinných lisů).</i> Tažná mezera má být taková, aby jí prošel <i>tažením zesílený okraj výtažku</i>, zvětšený o výrobní toleranci daného plechu. <i>Příliš velká tažná mezera způsobuje zvlnění výtažku, menší než optimální způsobí zvětšení tažné síly. U druhého a dalších tahů se velikost mezery postupně zmenšuje až k minimální hodnotě, odpovídající poslednímu tahu.</i> Tvar tažnice: zaoblení tažné hrany tažnice ovlivňuje velikost napětí v taženém materiálu, velikost tažné síly a vznik vad při tažení. <i>Zvětší-li se poloměr zaoblení tažné hrany tažnice, usnadní se tažení a je možno zvětšit hloubku i stupeň tažení na jednu operaci. Současně se však zmenší plocha pod přidržovačem, zvětší se nepřidržovaná plocha přístřihu, takže vznikne riziko vzniku vrásek a přeložek (tzv. sekundární zvlnění).</i> Výška válcové části funkčního otvoru tažnice má být s ohledem na povrch výtažku a velikost třecích sil nízká, zatímco životnost tažnice vyžaduje opak, <i>proto se používá kompromis: $h_t = (2 \div 8) s$ (mm)</i> Tvar výstupní části tažnice: tažnice s ostrou hranou ve spodní části (když výtažek odchází z nástroje spodem o hranu se výtažek po odpružení okraje setře), tažnice s kuželovým výstupním otvorem (u nástrojů s vyhazovačem). Tvar tažníku: přechodové poloměry tažníku jsou stejné nebo větší než zaoblení tažné hrany tažnice. <i>Povrch tažníku má být hladký, aby se usnadnilo stažení výtažku. Tažník má být provrtán k odvzdušnění tak, aby při stahování výtažku nevznikl podtlak pod čelem tažníku. Pro postupové tahy do průměru 60 mm lze používat přidržovače s hranou zaoblenou podle předcházejícího tažníku. U výtažků s průměrem přes 60 mm se používají přidržovače s hranou zkosenou pod úhlem $\alpha = 30$ až 45°, který odpovídá zkosení hrany tažníku předcházejícího tahu</i> Rychlost tažení ovlivňuje třecí poměry – vyšší rychlosti tažení zhoršují dovolený stupeň tažení. Protože u tažných lisů je nízká rychlost tažení, je i deformační rychlost malá – <i>nízké rychlosti tažení podstatně neovlivňují proces tažení, tedy ani hodnoty součinitele odstupňování tahu M.</i> Drsnost plechu a funkčních částí nástroje: <i>drsnost taženého plechu ovlivňuje podmínky tření při tažení a tedy celkovou tažnou sílu. U vázaného tažení je povrch plechu ve styku s nástrojem a drsnost plechu se během tažení zmenšuje. U volného tažení se plech nástroje nedotýká a výsledná drsnost závisí na velikosti zrn materiálu (zpravidla vzroste, tzv. pomerančová kůra). Zdrsněním čela a boků tažníku, případně mazáním jen ze strany tažnice lze zvýšit mezní přenášenou sílu tažníku, zmenšit ztenčení plechu v nebezpečném průřezu a tedy docílit snížení součinitele M.</i> Mazání při tažení: ztráty třením představují zvětšení tažné síly o 20 až 30 %, <i>mazání proto přináší úsporu energie. Mazání má za účel předejit zadírání plechu na styčných plochách nástroje, čímž zajišťuje hladké stěny výtažků (polotovary se maže pouze ze strany tažnice, ze strany tažníku je výhodné tření co nejvyšší).</i>

	Základní druhy maziv: <i>maziva kapalná</i> (oleje minerální, organické a oleje vyrobené synteticky.), <i>maziva konzistentní</i> (mazací tuky. Používají se pro nenáročné tahy a při tažení barevných kovů.), <i>maziva tuhá</i> (Používají se jako přísady k běžným mazivům při tažení hlubokých nebo složitých výtažků.). Tažení složitých výtažků je možné rozdělit na: tažení čtyřhranných výtažků, stupňovitých výtažků, kuželových výtažků, sférických výtažků a tažení výtažků nepravidelných tvarů. Tažení čtyřhranných výtažků: <i>výtažky čtvercového nebo obdélníkového tvaru. Existují dvě pásma s rozdílným stavem napjatosti – pásma rohové (podobné tažení válcových výtažků) a pásma rovné (podobné ohýbání). Tečná napětí v přírubě jsou menší, příruba lépe odolává zvlnění (ve srovnání s tažením válcových výtažků). Velikost tažné mezery se volí v rozích větší, než v podélných stranách výtažku. Nepříznivý účinek tlakového napětí v přímých částech výtažku (způsobující vznik vln) lze zmenšit zvýšením radiálního tahového napětí (zvýšením tření mezi plechem a tažnicí v rovných částech nebo použitím brzdících žeber.</i> Brzdící lišty: <i>po celém obvodu tažné hrany, vhodné pro zvětšení radiálního tahového napětí např. při tažení sférických výtažků.</i> Tažení stupňovitých výtažků: <i>počet operací závisí na poměru výšky výtažku k průměru nejmenšího stupně. Pokud výtažek není možno vyrobit na jednu tažnou operaci, nejprve se vytáhnou stupně s většími průměry, potom s menšími přičemž se zvětšuje celková hloubka výtažku v každé operaci.</i> Tažení kuželových výtažků: <i>existuje velká nepřidržovaná plocha přístřihu (nebezpečí vzniku sekundárního zvlnění).</i> Způsoby tažení kuželových výtažků: <i>nízké výtažky, s malou hodnotou h/d a vrcholovým úhlem 100 až 150°</i> (díky malé deformaci dochází k rozpružování výtažku, proto se používají brzdící lišty nebo přidržovače s vysokým přidržovacím tlakem), <i>střední výtažky, s vrcholovým úhlem 30 až 80°,</i> <i>100 . s/D > 2,5, tj. relativně tlusté plechy</i> (tažení bez přidržovače + kalibrace), <i>100 . s/D > 1,5 až 2,0</i> (tažení s přidržovačem na jednu operaci), <i>100 . s/D < 1,5 až 2,0</i> (tažení jednoduchého tvaru + kalibrace), <i>vysoké výtažky, kde h/d > 0,8, s vrcholovým úhlem až 20°,</i> <i>tažení stupňovitého výtažku</i> v několika operacích, poslední operací je kalibrování na kužel. <i>Nevýhoda:</i> nerovnoměrná tloušťka stěny výtažku – lze odstranit následným kovotlačením. <i>tažení kuželové plochy po částech</i> tak, že se postupně ve směru od příruby ke středu zvětšuje povrch kužele. Tažení sférických výtažků: <i>polokoule, paraboloidy</i> (dochází ke značným deformacím v oblasti dna). <i>Tažník se dotýká přístřihu pouze malou plochou</i> (nebezpečí vzniku sekundárního zvlnění). Pro tažení lze použít <i>tažení jednooperační</i> (radiální napětí se zvětšuje zvětšením síly přidržovače, brzdící lištou nebo tažením přetahováním – tzv. <i>převrácený tah</i>) nebo <i>tažení víceoperační</i> (s vysokými hodnotami součinitele odstupňování tahů M). Tažení výtažků nepravidelného tvaru: k deformaci plechu dochází převážně za působení <i>tahových napětí</i>. Pro získání výtažku bez zvlnění je třeba plech brzdít s různou intenzitou po obvodu tažné hrany. <i>Stanovení tvaru a velikosti přístřihu</i> se provádí <i>metodou řezů</i> nebo <i>metodou využívající trajektorií maximálních smykových napětí</i>. Technologičnost tažení výtažků: spočívá v <i>technologičnosti materiálu</i> (volba materiálu výtažku tak, aby při postačujících technologických a funkčních vlastnostech byl levný,
--	---

tloušťka plechu zpravidla co nejmenší) a **technologičnosti tvaru a rozměrů** (vyhýbat se složitým, nesymetrickým tvarům výtažků, poloměry zaoblení velké, co nejmenší výška výtažku, nenavrhovat širokou přírubu, u hranatých výtažků se vyhýbat ostrým rohům mezi stěnami a v přechodech dna a stěny výtažku, volba minimální možné přesnosti rozměrů, minimální požadavky na kvalitu povrchu).

Postupové tažení v pásu: používá se pro výrobu drobných dutých výtažků, převážně při velkosériové výrobě. Tažení se provádí v pásu postupně, v řadě operací a hotová součást se z pásu obvykle vystřihne. Případné stárnutí materiálu po tváření za studena se zde eliminuje rychlým sledem operací. Provádí se na excentrických nebo speciálních klikových lisech s počtem zdvihů 60 až 160 za minutu.

Rozdělení postupového tažení v pásu: **bez nástřihu v jedné řadě s částečným ztenčením stěn výtažku** (deformace okrajů pásu, potíže při vedení pásu v příčném i podélném směru), **bez nástřihu několikařadé se ztenčením stěn výtažku** (deformace okrajů pásu), **s nástřihem v jedné nebo více řadách bez ztenčení stěn výtažku, s natrháváním pásu a částečným ztenčením stěn výtažku** (natržení se docílí zabroušením dvou sousedních vložek tažného nástroje).

Tažení se ztenčením stěny: používá se pro válcové výtažky bez příruby se stěnou tenčí než dno. Stěny se obvykle ztenčují až při druhém a dalších tazích, ztenčení stěny se využívá k prodloužení výtažku. Tažný nástroj má **zápornou vůli**. Malé zmenšování průměru výtažku umožňuje seskupit dvě i tři tažnice za sebou při jediném rozměru tažníku a provádět tak v jednom zdvihu více operací současně. Lze táhnout na jednočinných lisech, další výhodou je jednoduchost nástroje.

Ohýbání je proces, při kterém **vlivem působení ohybového momentu od ohybové síly dochází k trvalé změně tvaru polotovaru**. Při ohýbání nedochází k podstatné změně průřezu, proto patří do oblasti *plošného tváření*. Tvary těles, vzniklé ohýbáním, jsou rozvinutelné. Většinou se ohýbá zastudena, tvrdé a křehké materiály i průřezy s velkým W_0 se ohýbají zatepla. **Rozdělení ohýbání:** prosté ohýbání, ohraňování, rovnání, zakružování, lemování, obrubování, osazování, drápkování, zkrucování.

Ohyb úzkých tyčí: šířka je podstatně menší než tloušťka, proto lze napětí působící ve směru šířky zanedbat – napjatost vláken ležících na vnější straně neutrální vrstvy odpovídá jednoosému tahu, napjatost vláken na straně vnitřní odpovídá jednoosému tlaku. Prodloužení vláken materiálu v podélném směru na vnější straně ohybu je provázáno zmenšováním příčných rozměrů, zkrácení vláken na vnitřní straně ohybu je provázáno zvětšováním příčných rozměrů (**deformace je prostorová**). Fáze ohybu – pružný ohyb, ohyb s částečnou plastickou deformací, ohyb s úplnou plastickou deformací.

Ohyb širokých tyčí: deformace materiálu v jeho šířce jsou malé, ve střední oblasti prakticky žádné – změna délky vláken v podélném směru se kompenzuje výhradně **změnou jeho tloušťky v radiálním směru (deformace je rovinná)**.

Zpevnění materiálu při ohýbání. při ohýbání zastudena vzrůstá mez kluzu v závislosti na stupni plastické deformace (tento vzrůst je největší v krajních deformovaných vrstvách materiálu).

Technologickými parametry ohýbání jsou: poloměr ohybu, ztenčení stěny v místě ohybu, odpružení při ohýbání, zbytková pnutí a geometrie činných částí nástroje.

Nejmenší dovolený poloměr ohybu: je nejmenší vnitřní poloměr ohybu, při kterém se ještě neporuší materiál (tahové napětí ve vnějších vláknech nesmí překročit R_m). Závisí na orientaci ohybu vzhledem ke směru válcování.

Největší poloměr ohybu: v krajních vláknech průřezu musí dojít k trvalé deformaci, jinak by prohnutí bylo jen pružné a materiál by se opět narovnal. Součásti s malou křivostí lze ohýbat s přidavným tahovým napětím.

Ztenčení stěny v místě ohybu: je tím větší, čím větší je úhel ohybu, čím větší je tření mezi

materiálem a nástrojem, čím menší je poloměr ohybu, čím méně je materiál tvárný. *Nepřípustnému ztenčení stěny v místě ostrého ohybu lze zabránit jen předchozím vytvořením zásoby materiálu.*

Odpružení po ohýbání: vzniká vlivem pružných napětí, doprovázejících každé tváření zastudena. Je tím větší, čím je materiál tvrdší a čím je větší poloměr ohybu (zmenšuje se s rostoucím úhlem ohybu). *Odpružení lze omezit nebo vyloučit vyztužením místa ohybu žebry, pružným předehtnutím dna, kalibrací rohů (tj. zplastizováním místa ohybu a tím zmenšením oblasti pružné deformace). Při ohybech o velkém poloměru se zamezuje odpružení tím, že se materiál současně s ohýbáním natáhne o 2 až 4 % své délky.*

Zbytková pnutí: při postupném odlehčování materiálu brání vlákna již trvale deformovaná vláknům, deformovaným pružně, získat po odlehčení původní délku (na vnější straně ohybu, tedy ve vláknech, které byly taženy, vzniknou po odlehčení tlaková pnutí a naopak na vnitřní straně ohybu vzniknou po odlehčení zbytková pnutí tahová). **Existence zbytkových pnutí má vliv na pevnost ohnuté součásti** – je-li zatížena momentem, působícím ve stejném smyslu jako při ohybu, nastane plastická deformace, až hodnota momentu překročí hodnotu původního momentu při ohýbání, zatíží-li se ohnutá součást momentem opačného směru, vznikne plastická deformace již při nižší hodnotě momentu (zbytková pnutí se v krajních vláknech v prvním případě odečítají od napětí, vyvolaných opětovným zatížením a ve druhém případě se sčítají).

Geometrie činných částí nástroje: prostý ohyb bez ražení (nástroje mají univerzální tvar, ohybník má menší úhel než ohybnice, která má úhel odpovídající požadovanému úhlu ohybu), **ohyb ražením** (ohybník i ohybnice mají úhel odpovídající požadovanému úhlu ohybu. Lze provádět jen při ohýbání na lisech. Aby razicí síla nepřekročila jmenovitou sílu lisu, je třeba přesně seřadit spodní úvrať beranu na plechu s maximální tolerancí).

Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí: volit malý poloměr ohybu, aby se zmenšilo odpružení, volit osu ohybu pokud možno kolmo na směr vláken materiálu, nezmenšovat tolerance ohýbaných součástí pod hranici, která se dosahuje běžným ohýbáním, vzdálenost místa ohybu od okraje materiálu má být tím větší, čím je materiál tvrdší, přesné otvory v místě ohybu je nutno vystříhnout dodatečně, což vyžaduje složité stříhadlo, osa ohybu má směřovat kolmo k obrysu součástky, ostrých ohybů je možno docílit jen dodatečným ražením, různě velkému odpružení materiálů s proměnlivými mechanickými vlastnostmi lze zabránit vyztužením místa ohybu prolisovanými žebry nebo ražením.

Technologické metody ohýbání: ohýbání na ohýbacích strojích (ohýbání do tvaru U, V apod. v ohýbadlech na lisech), ohýbání na ohýbačkách (ohýbají navinováním), ohýbání na ohraňovacích lisech (též ohraňování), ohýbání válcováním (ohýbání na obrubovačkách, plynulé ohýbání profilovými), zakružování, rovnání.

Slévání: úkolem slévárenské výroby je ekonomickým způsobem vyrobit odlitek požadovaného tvaru, mechanických, fyzikálních, chemických a užitných vlastností. Výrobou odlitků se rozumí natavení slitiny kovů předepsaného chemického složení a teploty, upravené s využitím metalurgických procesů, odlití tekutého kovu do dutiny formy, kde se po ztuhnutí slitiny vytvoří odlitek požadované mikrostruktury, a tím i vlastností.

Slévárenské formovací směsi: látky, používané k výrobě forem a jader. Musí mít dobrou soudržnost, dobrou tvárnost a dostatečnou ohnivzdornost (aby se nepřipékaly na odlitek). **Základní složky formovacích směsí: ostřívo** (souhrn písků se zrny většími než 0,02 mm) a **pojivo** (dává formovacím směsím soudržnost).

Formovací směsi lze rozdělit: podle původu ostříva – na ostříva přirozená (křemenné písky), ostříva umělá (korundové písky), ostříva původu živočišného (křemelina), **podle chemického složení** – na ostříva kyselá (křemenné písky, korundové písky), ostříva zásaditá (magnezitové písky), **podle druhu pojiva** – na hlinité směsi, cementové směsi, jádrové a olejové směsi, **podle obsahu hlíny** – na směsi ostré, polomastné a mastné, **podle zrnitosti ostříva** – na směsi hrubé a jemné, **podle výskytu v přírodě a úpravy** – na směsi přirozené nebo syntetické.

Formovací směsi lze dále rozdělit podle těchto hledisek: *podle účelu použití* – na formovací směsi jednotné, modelové nebo výplňové, případně na jádrové směsi, *podle způsobu formování a odlévání* – na směsi určené pro formování na syrovo a na sušení, na směsi pro ruční formování a strojní formování, *podle druhu odlévaných slitin* – na směsi určené pro ocel, šedou litinu a směsi pro neželezné a lehké slitiny, *podle velikosti odlitků a tloušťky stěny*, *podle dalších význačných vlastností formovacích látek* – na formovací látky zvlášť vazné, rozpadavé za tepla, vysoce žáruvzdorné apod.

Základní zkoušky slévárenských formovacích směsí: *stanovení vlhkosti formovací směsi, stanovení obsahu vyplavitelných látek, stanovení zrnitosti ostříva, stanovení hustoty formovací směsi, stanovení prodyšnosti formovací směsi, stanovení pevnosti formovací směsi v tlaku za syrova, stanovení pevnosti formovací směsi ve střihu, tahu a ohybu, stanovení tvrdosti formy.*

Účelem úpravy slévárenských písků je: jejich homogenizace, docílení požadovaných technologických vlastností, úprava směsi různých druhů surovin a pomocných látek, opětné použití starého písku, nebo jeho úplná regenerace. **Úpravu slévárenských písků a formovacích směsí lze rozdělit na:** *sušení písku, drcení, prosévání písku, mísení formovacích směsí, kypření formovacích směsí, regenerace starých formovacích směsí (suchá regenerace, mokrá regenerace, tepelná regenerace).*

Pomocné formovací látky lze rozdělit na: *přísady zlepšující povrch odlitku, přísady upravující technologické vlastnosti směsí, látky k povrchové úpravě forem, dělicí prostředky snižující adhezi pojiva k povrchu modelu.*

Rovnovážné soustavy železa s uhlíkem: nad mezí rozpustnosti tvoří uhlík v soustavách se železem samostatnou fází – **cementit (Fe_3C)** nebo **grafit**. Vyloučení uhlíku v podobě cementitu či grafitu závisí především na *množství uhlíku ve slitině* a na *rychlosti ochlazování*. Při větších obsazích uhlíku (nad 2 % C) a dostatečně pomalém ochlazování se vylučuje přednostně grafit. V *praktických slitinách*, kde mimo základní dva prvky existují ještě další příměsi, ovlivňuje způsob vyloučení uhlíku i grafitotvorný nebo karbidotvorný účinek těchto prvků (**Si** – grafitotvorný, **Mn** – karbidotvorný). **Podle způsobu vyloučení uhlíku se rozeznávají dvě rovnovážné soustavy: metastabilní soustava Fe – Fe_3C** (Karbid železa – Fe_3C není stabilní fází, neodpovídá stavu s minimální s volnou entalpií. Studium nestabilní soustavy má praktický význam do obsahu 2,14 % C, tj. pro **oceli**). **Stabilní soustava Fe – grafit** (má praktický význam v oblastech vyššího obsahu uhlíku, tj. pro **litiny**. Charakteristické rovnovážné struktury jsou obdobné se strukturami v metastabilní soustavě. Místo cementitu se ve strukturách vyskytuje grafit – primární, sekundární, terciární, místo perlitu grafitový eutektoid a místo ledeburitu grafitové eutektikum.)

Materiály používané na odlitky: oceli na odlitky, šedá litina, očkovaná litina, bílá litina, temperovaná litina (s bílým lomem nebo s černým lomem), tvárná litina, tvrzená litina, neželezné kovy (slitiny hliníku, bronz, mosaz).

Technologický proces výroby odlitků lze rozdělit na etapy: *příprava formovací směsi, výroba formy, skládání formy, příprava a tavení vsázky, odlévání formy, dokončovací práce.*

Slévárenské formy jsou: **netrvalé** – (slouží na jedno použití, tvoří přibližně 95 % používaných forem) a **trvalé** – (používají se vícekrát). **Netrvalé formy** se vyrábí *formováním z formovacích směsí* (formování na model, formování šablonováním). *Vyrábí se ručně nebo strojně pomocí modelů a jader.* Formovací směsi, používané na výrobu netrvalých forem, se po odlití odlitku a jeho vyjmutí z formy rozpadnou a po regeneraci se znovu používají. Opakovaně se používají *formovací rámy a formovací zařízení*. Pro strojní výrobu netrvalých forem se používají *formovací stroje, formovací linky a formovací automaty*. Při strojní výrobě forem a jader se využívá pro zpevnění formovací směsi mechanická energie (upěchování – lisováním, střešáním, metáním, vstřelováním), teplo (vytvzování teplem), chemické reakce, případně kombinace předešlých. Základním materiálem pro **trvalé formy** jsou *slitiny kovů* (litiny, legované oceli, ale i speciální materiály, jako jsou slitiny wolframu, molybdenu apod.). Formy se vyrábí z bloků třískovým obráběním, někdy i pomocí práškové

metalurgie.

Způsoby odlévání do kovových forem (kokil): gravitační lití, tlakové lití, odstředivé lití (pravé a nepravé), plynulé lití.

Zvláštní způsoby výroby odlitků: odlévání do forem vyrobených metodou chemicky tvrzených směsí, odlévání do skořepinových forem, odlévání do keramických forem – přesné lití (lisované keramické formy, formy vyrobené metodou trvalého modelu, zhotovené z kašovitých směsí, formy vyrobené metodou vytavitelného, spalitelného nebo vyplavitelného modelu).

Příprava tekutého kovu: cílem je dosáhnout jeho předepsaného chemického složení a čistoty. Na přípravu tekutého kovu má vliv kvalita vsázkových materiálů, typ tavicí pece a použitý metalurgický postup. Po natavení a metalurgických pochodech v peci následuje ohřev nataveného kovu na *teplotu odpichu*, pak vylití tekutého kovu z pece do *pánve*, vyzdžené žáruvzdornou vyzdívkou. Jakost tekutého kovu po natavení lze ovlivňovat i *mimopečním zpracováním tekutého kovu v pánvi* (příkladem je očkování a mikrolegování).

Základní druhy pecí podle způsobu ohřevu: *pece plynové* – pro tavení materiálů s nízkou teplotou tavení (např. hliník), *pece na tuhá paliva (kuplové pece – kuplovny)*. Jsou to válcové šachtové pece bez nebo s předpecím. Palivem je koks, používají se pouze na tavení litin., *elektrické pece* (pece odporové, indukční, obloukové), *pece speciální* (např. *plazmové pece*).

Vytlučování odlitků: *po odlití odlitek ve formě tuhne a chladne*. Po ochlazení na požadovanou teplotu se odlitek z formy vytluče (forma se rozbije). *K vytlučování odlitků se používají vibrační zařízení, vytlučovací rošty nebo kladivo*. Formovací směs se spolu s formovací rámy vrací do výrobního cyklu.

Čištění odlitků a oprava chyb: Odlitek se očistí od zbytků formovací směsi. Čištění povrchu se provádí *otryskáváním zrnitým materiálem* (kovové broky, písek) *nebo vodním paprskem, případně omíláním*. Složité odlitky se čistí *mořením*. *Odstraní se vtoky a nálitky* (uražením, odřezáním, řezáním plamenem), *nežádoucí výstupky* (švy a menší povrchové vady) se *zabrousí*, případné chyby odlitků se opraví *zavařením*, případně *zatmelením*. V případě nutnosti zlepšení mechanických vlastností a odstranění lící struktury se odlitky *tepelně zpracovávají*.

Kontrola odlitků a expedice: *odlitky se kontrolují z hlediska rozměrové přesnosti, jakosti povrchu, požadované struktury a mechanických vlastností, vnitřní homogenity apod.* V případě, že odlitky splňují vlastnosti předepsané přejímacími podmínkami, jsou připraveny k expedici.

Výrobní dokumentace odlitku: slévárenský postupový výkres výrobní postup modelového zařízení, výrobní postup odlitku výkres odlitku.

Slévárenský postupový výkres: je základním technologickým podkladem pro výrobu modelu a odlitku – je to výkres součásti, doplněný grafickými a textovými údaji, určujícími požadavky na modelové zařízení a způsob formování. Grafické údaje se zakreslují do výkresu předepsanými značkami podle normy, další údaje lze uvést v textové části slévárenského postupu, která se používá zejména u složitých modelů a odlitků.

Poloha odlitku ve formě se volí podle zásad: *usměrněného tuhnutí, kladení důležitých ploch větších tloušťek do té části formy, kde je nejčistší kov* (u odlitků ze šedé litiny do dolní části formy). U ocelových odlitků se důležité plochy větších tloušťek umísťují v horní části formy (doplnění smršťujícího se tuhnoucího kovu z nálitků), *spolehlivého uložení jader* a možnosti kontroly tloušťky stěn odlitku, *uložení tenkých stěn ve spodní části formy*, šikmo nebo svisle.

Zásady pro stanovení dělicí plochy: dosažení *nejmenšího počtu jader*, dosažení *minimální výšky formy*, umístění *základních povrchů odlitku do jedné poloviny formy* (dolní), *uložení hlavních jader v dolní polovině formy*, dosažení *rovné dělicí plochy*.

Smrštění odlévaných slitin: v průběhu ochlazování se kovy a slitiny smršťují, proto je nutno *zhotovit modelové zařízení větší o míru smrštění dané slitiny*. Brání-li některé části formy, eventuálně konstrukce odlitku, průběhu smršťování, bude docházet k tzv. *brzděnému smrštění*, které je menší, než *volné lineární smrštění*.

Velikost mezních úchylek rozměrů a tvaru odlitků je určena: stupněm přesnosti odlitku (určuje se na základě dohody mezi odběratelem a dodavatelem. *Značí se na výkresu nad rohovým razítkem číslem normy a příslušným záčíslicím.*), **jmenovitým rozměrem** (je to rozměr, předepsaný na výkresu odlitku. K němu se vztahují mezní úchytky rozměrů a tvaru odlitku. U ploch, které budou obráběny, se rozumí jmenovitý rozměr včetně přídávku na obrábění.), **směrodatným rozměrem** (je to největší kótovaný rozměr, nebo součet kót největšího rozměru odlitku v rovině kolmé na jmenovitý rozměr), **zvláštními požadavky**.

Přídavky na obrábění ploch odlitků: *funkční plochy odlitků*, které nelze litím vyrobit s potřebnou přesností a drsností povrchu, *se obrábějí* – odlitek se proto na těchto plochách zvětšuje o přídavek na obrábění. *Jmenovitý přídavek na obrábění* je přídavek, předepsaný na slévárenském postupovém výkresu.

Přídavky technologické: nejsou normalizované, stanovují se v závislosti na technologii výroby odlitku (např. přídavky na zajištění usměrněného tuhnutí, nepředlévání otvorů, výtuzná žebra), odstraňují se při čištění odlitků nebo až při obrábění.

Slévárenské úkopy modelů a odlitků: slouží ke snadnému vyjímání modelů z formy, případně jader z jaderníků, *provádějí se na stěnách kolmých k dělicí rovině*. Jejich velikost závisí na rozměrech odlitku, technologii výroby, modelovém zařízení a materiálu odlitku.

Výrobní postup modelového zařízení: modelové zařízení zahrnuje kromě modelu vlastního odlitku i modely vtokové soustavy a nálitků, jaderníky, šablony, modelové desky a další příslušenství. Pro výrobu modelového zařízení se používá *slévárenský postupový výkres* (u kusové výroby jednoduchých modelů) nebo samostatná dokumentace pro výrobu modelů, tj. *výrobní postup modelového zařízení* (u složitých modelů a při větším počtu modelů).

Model může být: nedělený (pro kusovou výrobu), **dělený** (pro kusovou a malosériovou výrobu), **uložený na modelových deskách** (pro strojní formování při sériové a hromadné výrobě). **Pro výrobu modelů a jaderníků se používají různé hmoty** – dřevo, kovy, sádra, hlína, cement, kamenina, guma, vosk, umělé pryskyřice apod. Jakost modelového zařízení výrazně ovlivňuje *přesnost odlitku a kvalitu povrchu odlitku*. **Povrch modelu se chrání** před přímým účinkem formovacích směsí *nátěry* (musí být tvrdé a otěruvzdorné). **Barevné označení modelů** pro odlitky z šedé litiny je světle červené, pro odlitky z oceli tmavě modré, pro odlitky z bronzů a mosazí žluté, pro odlitky z hliníku se používá barva modrošedá a pro odlitky ze slitin hořčíku se používá barva modelů zelená.

Výkres odlitku: je závazným podkladem pro přebírání a expedici odlitků. Na výkresu odlitku jsou zachyceny odchylky rozměrů a tvaru odlitku vzhledem ke konečnému výrobku (obrobenému odlitku). U jednoduchých součástí při malých počtech vyráběných kusů se v praxi nekreslí samostatný výkres odlitku – výkres odlitku se většinou zakresluje barevně přímo do kopie výkresu součástí, jejímž polotovarem je odlitek.

Ověřování, nultá série a sériová výroba odlitků: po zhotovení modelu následuje *ověřování návrhu v praxi* (účelem ověřování je zjištění nedostatků technologie výroby a její úprava). *Nultá série odlitků* je potřebná pro poslední zjištění případných nedostatků technologie výroby a *pro poslední zásahy do technologie výroby* – výsledky nulté série jsou základním podkladem pro *zahájení sériové výroby*.

Základní části vtokové soustavy: vtoková jamka, vtokový kanál, struskový nebo rozváděcí kanál, zářezy.

Podle místa, kudy proudí kov do dutiny formy, se rozeznávají formy se spodním, vrchním

a středním vtokem.

Navržení výfuku: výfuk je *hlavní odplyňovací kanál*, který se umísťuje na nejvyšším místě odlitku, případně též v místech, kde je nebezpečí, že bude vzduch uzavřen tekutým kovem. Výfuky se dělají jako *svislé kanály kruhového průřezu*, které spojují odlitek s horním povrchem formy a směrem vzhůru se rozšiřují o 2 až 4°. Výfuky též zmírňují náraz tekutého kovu na horní povrch dutiny formy v okamžiku jejího zaplnění kovem, signalizují okamžik zaplnění formy, soustřeďují v sobě nečistoty z formy a odtéká jimi přebytečný kov. *Funkci výfuku mohou rovněž plnit otevřené nálitky.*

Nálitkování odlitků: u odlitků s rozdílnou tloušťkou stěny v tlustých částech (*tepelných uzlech*) chladne odlitek pomaleji, než v tenkých částech. *K zabránění vzniku staženiny v těchto místech je nutno nad ně připojit nálietek.* Nálietek musí mít takovou velikost a polohu, aby koule vepsaná do *tepelného uzlu odlitku prošla snadno do nálitku* (nálietek má tuhnout z celého odlitku nejpozději, aby mohl doplňovat tekutý kov do odlitku během tuhnutí). U některých slévárenských slitin, jejichž smrštivost je nízká (např. šedá litina) *se nálitky užívají jen zřídka*, u ocelových odlitků téměř vždy. **Základní rozdělení nálitků:** *otevřené, uzavřené – atmosférické, podtlakové a přetlakové.*

Snadno oddělitelné nálitky: používají se k usnadnění odstraňování nálitků, které je zvláště u tvrdých materiálů velmi obtížné a znamená značné zdražení výroby. Mezi odlitek a nálietek se umístí *podnálitková vložka* která mezi oběma vytvoří úzký krček s vrubem, v němž se nálietek snadno urazí. **Podnálitková vložka** – tenká destička ze žáruvzdorného materiálu (šamot), která má ve svém středu otvor pro spojení mezi nálitkem a odlitkem.

Vztlková síla působící na vršek formy: *vypočtená hodnota vztlkové síly se zvyšuje o 20 až 50 %, neboť při lití je nutno počítat s rázovým účinkem kovu ve formě, s expanzí plynů apod. Proti nadzvednutí horního formovacího rámu působením vztlkové síly při lití se forma spojuje šrouby nebo se zatěžuje tzv. úkladky* (kladou se přes okraje formovacích rámu, aby nepoškodily vlastní formu).

Tepelné zpracování odlitků ze šedé litiny: *žihání ke snížení pnutí, feritizační žihání, normalizační žihání, grafitizační žihání, sferoidizační žihání, kalení a popouštění.*

Tepelné zpracování odlitků z ocelí uhlíkových a nízkolegovaných: cílem je odstranění hrubozrnné lící struktury, zlepšení mechanických vlastností a odstranění vnitřních pnutí. Používá se: *žihání ke snížení pnutí, žihání na měkko, normalizační žihání, žihání homogenizační, kalení, termální kalení, izotermické kalení.*

Tepelné zpracování odlitků z austenitických ocelí: Nejznámější je austenitická ocel 18/8, která obsahuje přibližně 18 % Cr, 8 % Ni a max. 0,2 % C. Austenitické oceli jsou nekalitelné a pro výsledné vlastnosti je rozhodující rychlost chladnutí ve formě. Tepelné zpracování se skládá z *austenitizačního žihání a stabilizačního žihání.* Při *austenitizačním žihání* se odlitky ohřívají na 1050 až 1100 °C s následujícím prudkým ochlazením do vody nebo na vzduchu. Takto se zabrání vylučování karbidů a získá se pouze austenitická struktura. *Stabilizační žihání* snižuje koncentrační rozdíly v zrnech austenitu, a tím *zvyšuje korozivzdornost.* Spočívá v ohřevu na teploty 850 až 900 °C.

Tepelné zpracování odlitků ze slitin hliníku: tepelně se zpracovávají v malé míře, z používaných způsobů má největší význam *vytvrzování* – pro *zvýšení pevnosti, tvrdosti a meze kluzu.* Vytvrzovat je možno pouze slitiny, které tvoří tuhé roztoky s omezenou rozpustností složek v tuhém stavu (Al-Si, Al-Si-Cu, Al-Si-Mg). Vytvrzování se skládá z *rozpouštěcího žihání (homogenizace)* při 500 až 530 °C, po němž se prudkým ochlazením vytvoří *nestabilní přesycený tuhý roztok.* Při následujícím *stárnutí za normální nebo zvýšené teploty* (150 až 175 °C) dochází k rozpadu přesyceného tuhého roztoku za vzniku jemnozrnné struktury se zvýšenou pevností a dobrou tažností.

Vady odlitků: každá odchylka rozměrů, hmotnosti, vzhledu, makrostruktury nebo vlastností, zjištěných laboratorními zkouškami, od příslušných norem nebo sjednaných technických podmínek. **Vady odlitků mohou být: zjevné** (zjistitelné prohlídkou neobrobeného odlitku

prostým okem nebo jednoduchými pomocnými měřidly) nebo **skryté** (zjistitelné až po obrobení odlitku nebo pomocí přístrojů či laboratorních zkoušek).

Nepřípustná vada – nelze ji hospodárně odstranit opravou, nebo její oprava je podle norem nebo sjednaných podmínek nepřípustná. **Přípustná vada** – normy nebo sjednané technické dodací podmínky ji připouštějí, aniž by požadovaly její odstranění u výrobce odlitků. **Opravitelná vada** – její oprava vhodným způsobem je normou nebo sjednanými technickými podmínkami dovolena, nebo není výslovně zakázána (oprava zavařením, vyrovnaním, vyžiháním apod.). **Odstranitelná vada** – je možno ji odstranit po dohodě se zákazníkem jen zvláštními úpravami, nepředpokládanými výrobním postupem (např. vypouzdřením, nepředepsaným tepelným zpracováním).

Základní skupiny vad: *vady tvaru, rozměrů a hmotnosti* (např. nezaběhnutí), *vady povrchu* (např. připečeniny, zavaleniny, zálupy), *přerušení souvislosti* (trhliny, praskliny), *dutiny* (např. bubliny, staženiny, řediny), *vměstky* (např. zadrobeniny), *vady struktury* (např. zatvrdlina), *vady chemického složení, nesprávné fyzikální nebo mechanické vlastností*.

Konstrukční zásady pro navrhování odlitků:

- tloušťky stěn* ve směru k předpokládaným nálitkům se mají zvětšovat,
- odlitek má mít *hladké, jednoduché tvary a stejnoměrnou tloušťku stěn*, která je větší než minimální pro daný materiál,
- stěny a žebra* se nemají stýkat v ostrých úhlech, styk stěn musí mít dostatečné zaoblení,
- mezi různými tloušťkami stěn musí být provedeno *spojení pozvolnými přechody*,
- v jednom místě odlitku *se má stýkat co nejméně stěn*,
- konstrukce odlitku má *zabránit vzniku velkých vnitřních prutů*,
- protože vnitřní stěny odlitku chladnou pomaleji než vnější, má být *tloušťka vnitřních stěn 0,7 až 0,8 tloušťky stěn vnějších*,
- tvar odlitku má dovolit výrobu *jednoduchého modelu*, aby se forma dala vyrobit s požadovanou přesností,
- otvory v odlitcích* předlévat až od určitého minimálního průměru,
- důležité plochy*, které mají být bez vad, *umístit do spodku formy*, kde je větší hydrostatický tlak kovu a nečistoty jsou při lití vyneseny vzhůru,
- ke zvýšení pevnosti a zabránění tvorby trhlin je možno na odlitcích navrhnout *žebrování*,
- vzít v úvahu hledisko *snadného čištění* a hledisko *minimalizace obrábění*.

Nekonvenční způsoby tváření: tváření vysokými rychlostmi, tváření vysokými tlaky, tváření nepevnými nástroji, radiální vypínání, tažení expanzním tažníkem, tažení s použitím místního ohřevu, tváření v superplastickém stavu, frekvenční a ultrazvukové tváření, kovotlačení, lisování součástí z práškových materiálů.

Tváření vysokými rychlostmi: využívá se *několikanásobně vyšších tvářecích rychlostí oproti klasickému tažení* – *klasické technologie tváření*: 0,1 až 10 m/s, *rychloměrné buchary* (pneumaticko-mechanické): 15 až 60 m/s, *tváření výbuchem střelivin nebo plyných směsí*: 10 až 140 m/s, *tváření výbuchem trhavin*: 250 m/s, *vzorek vystřelený proti zápusťce*: až 800 m/s. Se zvyšující se rychlostí deformace *vzrůstá mez kluzu materiálu na hodnotu dynamické meze kluzu*. Kovy s prostorově středěnou kubickou mřížkou se při tváření vysokými rychlostmi deformují prakticky jen *dvojčatením*. Vlivem tepelného efektu při velkých tvářecích rychlostech nastává v materiálu *zotavení a rekrytalizace*..

Tváření expanzí plynů: principem je *expanze plynu, stlačeného na vysoký tlak (vzduch) nebo plynu, který se prudce odpaří z kapalného stavu (kapalný dusík* – je poměrně levný, inertní). *Zvýšením rychlosti tváření lze snížit hmotnost beranu při konstantní kinetické energii* – např. u *pneumaticko-mechanického tváření* na bucharech. *Výhody*: menší hmotnost tvářecího stroje, menší základy stroje, složité tvary lze tvářet jedním úderem,

snížení hmotnosti výkovků vlivem dokonalejšího plnění zápustky, možnost tváření těžkovtavitelných materiálů.

Tváření výbuchem: podstatou metody je *nahrazení lisovníků a lisů účinkem rázové vlny z hoření plynové směsi, střeliviny, nebo trhaviny*.

- a) **tváření výbuchem plynové směsi** – energie se uvolňuje hořením *paliva* (vodík, metan, propan-butan) s *okysličovadlem* (kyslík, vzduch). Působit na tvářený materiál lze *přímo, pomocí přenosového média* (kapalina), nebo *pomocí pístu* (buchar). Použití *pro velkorozměrové tenkostěnné součásti*.
- b) **tváření výbuchem střeliviny nebo trhaviny** – kontakt tvářeného materiálu se zdrojem energie může být *bezprostřední* (kontaktní technologie), *zprostředkovaný nosným médiem*, nebo *pevným nástrojem*. Přenosovým prostředím mezi zdrojem energie a polotovarem může být *vzduch, vodní vak* (tzv. *vodní beran*), *vodní nádrž, písek nebo zemina, plastické médium*. Vhodné *pro kusovou výrobu rozměrných součástí*, pro které nelze použít tvářecí stroje. Využívanou aplikací je *plátování materiálů*.

Tváření elektrohydraulické: změna tvaru polotovaru je způsobena *impulzním tlakem*, který vzniká v kapalině v důsledku *vysokonapětového výboje* (tlaková vlna se v kapalině šíří nadzvukovou rychlostí). Výboj může být uvolněn *mezi dvěma elektrodami*, nebo *přes explodující drátek* (drátkem lze směřovat postup expanzní vlny, zvyšuje se účinnost výboje, páry odpařeného drátku zvyšují expanzní tlak). Elektrohydraulické tváření lze provádět v *otevřeném objemu* (v nádrži s hladinou), nebo v *uzavřeném objemu* (v kapalině v uzavřené komoře). U součástí se složitou geometrií lze tlakovou vlnu směřovat a koncentrovat odražeči – *reflektory*.

Tváření elektromagnetické: elektrická energie akumulovaná v kondenzátorech je vybita během 10 až 100 milisekund přes *indukční cívku* (tzv. *tvářecí cívka* – plošná nebo prostorová), čímž dochází k vytvoření silného impulzního magnetického pole (*primární magnetické pole*). Indukovaný vířivý proud vybudí v okolí povrchu vloženého polotovaru *sekundární magnetické pole*, ke tváření se využívá *odpudivá síla obou polí* (tato síla je rázová). *Materiál polotovaru musí být vodivý* (nejméně 10 % vodivosti mědi), proto se používá Cu a její slitiny, Al a jeho slitiny, mosaz, Ni, Zn a méně často ocel. Podle vzájemné polohy cívky a polotovaru se tváření dělí na *expanzní* (cívka je v dutině polotovaru) a *kompresní* (polotovar je uvnitř cívky). Magnetické pole lze usměrňovat *tzv. koncentrátory*. *Tváření probíhá bez kontaktu*, proto nenastává tření a není tedy třeba používat mazivo. *Výhody:* možnost tváření polotovarů pokrytých izolačními povrchy, možnost spojování kovových materiálů s nevodiči a křehkými materiály, jednoduchý nástroj (malá hlučnost, velká životnost), technologická pružnost (výměnou koncentrátorů).

Tváření vysokými tlaky: *všestranný tlak zvyšuje tvářitelnost materiálu* (vznik a rozvoj mikrotrhlin je silně omezen), zvyšuje také deformační odpor materiálu. Příkladem je *hydrostatické protlačování* (není přímý kontakt průtlačníku s materiálem, vysokotlaké médium obklopuje polotovar ze všech stran). *Tlaková média:* voda, petrolej, benzín, olej, etylalkohol atd. *Výhody:* odpadá tření mezi polotovarem a zásobníkem, lze tvářet křehké materiály, lze použít různý profil polotovaru pro stejnou průtlačnici, lze zvýšit stupeň deformace a rychlost protlačování. *Nevýhody:* složité zařízení, problémy s vyvozením vysokých tlaků (těsnicí elementy, viskozita a stlačitelnost kapaliny).

Tváření nepevnými nástroji: *jedna část nástroje je nepevná a tvoří ji tlakové médium* (pryž, polytan, tlaková kapalina). Patří sem **stříhání pryží** (charakteristika vystřihování součástí z tenkých plechů gumou je uvedena v dřívější kapitole věnované *stříhání*), **tažení pryží** a **tažení plechů pomocí kapaliny**.

Tažení pryží: *tažnicí je univerzální pouzdro s pryžovým polštářem* – tváření metodou Guerin (bez přidržovače, vhodné pro mělké tahy) a Marform (s přidržovačem, vhodné pro hlubší tahy). *Měrný tlak je rovnoměrně rozložen*, působí účinně i na stěny výtažků (odstranění rizika sekundárního zvlnění, vznik aktivních třecích sil mezi tažníkem a plechem). Lze

dosáhnout *nižších hodnot součinitelů odstupňování tahů* (pro měkkou ocel až $M_1 = 0,41$) a tím menšího počtu tahů u víceoperačního tažení. *Nevýhody:* větší spotřeba energie – nutná na deformaci pryže, než se dosáhne potřebných měrných tlaků (používané lisy musí mít až 4x vyšší tonáž, než u konvenčního tažení). Pryž lze nahradit *polytanem* (jde o polyuretan, který vyniká značnou otěruvzdorností a vysokými dovolenými měrnými tlaky).

Tažení plechů pomocí kapaliny: tažení metodou Hydroform (tvářecí kapalina je uzavřena ve speciálním pouzdru, které je utěsněno pryžovou nebo polytanovou membránou), **tažení metodou Wheelon** (tažení gumovým vakem, ovládaným tlakovou kapalinou), **hydromechanické tažení** (na čelní ploše tažnice je těsnění, řídicími parametry jsou síla přidržovače a tlak kapaliny v tažné komoře, jejíž odtok je řízen regulačním ventilem hydraulického obvodu. Výhody: lze dosahovat nižší hodnoty součinitelů odstupňování tahů, menší nebezpečí ztenčování stěn, v jedné tažné komoře lze výměnou tažníků táhnout různé tvary výtažků, možnost tažení složitých tvarů.).

Radiální vypínání: provádí se s využitím nepevných nebo pevných nástrojů (cílem obou metod je dosažení rovnoměrně rozloženého tlaku na vnitřním povrchu polotovaru). **Lze je rozdělit na: radiální vypínání s aktivní tlakovou osovou silou** (vhodné pro rozšiřování trubek), **radiální vypínání s využitím kapalinových systémů** (tlak kapaliny je řízen v závislosti na zdvihu lisovníku hydraulickým okruhem), **radiální vypínání expanzí segmentů pevného nástroje** (nevýhodou je vznik *otisků hran jednotlivých segmentů*, větší ztenčení materiálu v mezeře mezi segmenty, než v úsecích pod segmenty), **radiální vypínání součástí tvaru kužele** – je nebezpečí zvlnění konce o menším průměru vlivem tlakových napětí (řešením je *uchycení konce o větším průměru přidržovačem* nebo postupným nabalováním polotovaru ode dna tažnice směrem k hornímu okraji pomocí *polytanových desek různého průměru*).

Tažení expanzním tažníkem: *tažník je složen z trnu a děleného pláště, který je vroubkovaný*. Vlivem tření na počátku tažení dojde ke skluzu pláště tažníku po kuželovém trnu a jeho roztažení, tím dojde ke *vtlačení zubů vroubkovaného pláště do vnitřní stěny výtažku* (dojde tím k přesunu kritické oblasti přenosu tažné síly do stěny výtažku, která je již zpevněna předešlou deformací). Lze dosáhnout *snížení hodnoty součinitele odstupňování tahů o 20 až 25 %*.

Tažení s použitím místního ohřevu: *místním ohřevem příruby* (zpravidla odporový ohřev) se *sníží její deformační odpor* (docílí se snížení hodnoty součinitele odstupňování tahů). *Nebezpečný průřez by neměl být ohříván*.

Tváření v superplastickém stavu: *superplastický stav materiálu je podmíněn teplotou deformace, rychlostí deformace a strukturou materiálu (podmínkou je velmi jemné zrnó)*. Deformace probíhá *při nízkých napětích, velmi nízké rychlosti deformace* (řádově hodina až několik hodin). *Je možné dosáhnout mimořádně velké deformace* (řádově 200 až 300 %). Toto tváření je vhodné u slitin Ti, Al, Zn, Ni a vysokolegovaných ocelí. *Nevýhody:* malá rychlost tváření je nevhodná pro velkosériovou výrobu, dlouhá doba působení vyšší teploty vyžaduje použití ochranné atmosféry, vyšší cena superplastických materiálů.

Frekvenční a ultrazvukové tváření: periodicky se měnící kompresí a dekompresí nastává v látkách *kmitání, které při určité frekvenci podle místa působení: snižuje tření* (působíštěm je nástroj), *zvyšuje plasticitu* (působíštěm je ohnisko plastické deformace), *zvyšuje účinnost mazání* (působíštěm je mazací vrstva). Nejčastějšími zdroji kmitání jsou *piezokrystaly a piezomagnetismus*. Když je počet kmitů větší než 15 až 20 kHz, jde o *ultrazvuk*.

Kovotlačení: polotovar je centricky upnut na čelní straně tvárnice, která se otáčí. Jde o způsob tváření rotačně symetrických součástí *postupným tlakovým účinkem tvářecích kladek či válečků podél povrchu*. Kovotlačení může být **bez ztenčení stěny** nebo **se ztenčením stěny**, na jednu operaci nebo na větší počet tlačných operací. Tlačný nástroj může být *veden rukou, nebo automaticky* (např. kopírováním). *Výhody:* zpevněná povrchová vrstva, jednoduchý a levný nástroj, lze docílit velké deformace. *Nevýhoda:* delší výrobní čas.

Prášková metalurgie: technologický proces, zabývající se výrobou součástí z kovových i nekovových prášků, jež se lisují v kovových formách, spékají a dodatečně upravují. *Výhody:* dokonalé využití materiálu, vysoká přesnost rozměrů, možnost výroby součástí ze směsi kovů a nekovů, možnost výroby součástí z vrstvených materiálů (bimetalické nebo trimetalické) nebo s proměnlivým složením, lze získat nové fyzikální vlastnosti součástí (pórovitost, homogenní struktura bez anizotropie, zmenšený součinitel tření, magnetické vlastnosti, odolnost proti korozi apod.), vysoká produktivita práce. *Nevýhoda:* prášek je dražší než jiné polotovary.

Technologický proces výroby součástí z práškových materiálů: výroba práškového kovu, příprava směsi, lisování, slinování (spékání), dokončovací operace – kalibrování, opakované lisování a slinování (zvýšení měrné hmotnosti a pevnosti výlisků), *tepelné zpracování* (odstranění pnutí po kalibrování, nauhličení výlisků po kalení apod.), *napájení* (naplňování pórů v polotovaru mazivem – pro ložisková a samomazná pouzdra, parafinem, mědí), *povrchová ochrana výlisků* (pokovením, fosfátováním, lakováním apod.)

Hlavní způsoby výroby práškového kovu:

1. **z kovů a slitin v tuhém stavu** (řezáním na třísky soustružením, frézováním, broušením, stříháním apod. a následným *mletím v kulových nebo kolových mlýnech*. Získaný prášek má zrna o velikostech 10 až 100 μm .),
2. **z kovů a slitin v tekutém stavu,**
 - a) **litím tekutého kovu do vody** (vytvoří se kulatá zrníčka o velikostech 0,1 až 0,5 mm),
 - b) **rozprašováním a tříštěním materiálu** (kov se lije na rychle se otáčející kovovou desku),
 - c) **rozprašováním kovu stlačeným vzduchem, parou nebo dusíkem** (získaná zrna mají velikost 20 až 400 μm),
3. **z kovů ve stavu plynném** (srážením kovových par lze získat nejjemnější prášek – u Zn mají získaná zrna velikost 0,1 až 10 μm),
4. **z kovových sloučenin redukcí** (především pro výrobu prášků vzácných a těžko tavitelných kovů – W, Mo, V, Co, Ti, Ni. Dosahuje se zrnitosti 0,1 až 30 μm .).

Tváření práškových materiálů: lisování zastudena (klasická technologie, tlaky kolem 600 MPa), **oběhové tváření** (vysoký měrný tlak se docílí rotací lisovníku), **žárové lisování** (spojuje proces lisování a spékání), **izostatické lisování** (tváření všestranným tlakem v elastickém pouzdře, které musí snést tlaky 600 MPa a teploty 2000 °C, dělí se na lisování za studena a lisování za tepla), **kování** (buď neslinutého předlisku, nebo slinutého předlisku), **protlačování zatepla** (protlačují se prášky, uzavřené ve vakuovaném pouzdru, nebo předslinuté polotovary), **válcování** (slouží k výrobě pásů ze spékanych práškových kovů, po válcování následuje spékání v průběžné peci, lze takto vyrábět bimetalické a vícekomponentní pásy).

Použití práškových materiálů: slinuté karbidy (patří k nejdůležitějším výrobkům práškové metalurgie, nejčastěji karbidy W se slinovadlem Co, tj. WC+Co nebo WC+TiC+Co, používají se pro řezné a tvářecí nástroje), **kluzné materiály** (k výrobě ložisek, která jsou levná, nepotřebují údržbu, jsou samomazná, mají tichý chod), **vysokoteplotní slinuté materiály** (obsahují kovy s vysokou teplotou tání – nad 2000 °C, jako W, Ta, Ti, Mo, Nb a jejich oxidy, silicidy, boridy, nitridy. Používají se na součásti spalovacích turbin, trysky hořáků, odporová topná tělesa apod. Tyto strojní součásti snesou teploty až 1600 °C.), **třecí materiály** (vyznačují se vysokou a stálou hodnotou součinitele smykového tření $f = 0,4$ až $0,6$ a nízkým opotřebením), **kovové filtry** (rovnoměrná pórovitost, mechanická pevnost, použitelnost při vyšších teplotách, možnost jednoduché regenerace).

Plasty: jsou makromolekulární látky (polymery), jejichž základními stavebními atomy jsou C, H, O, N, F, Cl, u silikonů Si. Jsou tvořeny makromolekulárními řetězci, tj. dlouhými molekulami s opakujícími se základními strukturními jednotkami. Tyto řetězce mohou, nebo

nemusí být mezi sebou spojeny chemickými vazbami. *Plasty lze formovat teplem nebo tlakem, případně oběma činiteli současně.*

Plasty se skládají ze složek:

1. **makromolekulární látka** (určuje charakteristické vlastnosti hmoty),
 - a) **přírodní makromolekulární látky a jejich deriváty** – přírodní kaučuk, deriváty celulózy, přírodní pryskyřice,
 - b) **syntetické makromolekulární látky (umělé pryskyřice)** – vyrábí se synteticky z nízkomolekulárních sloučenin (monomerů) polyreakcemi: *polykondenzací* (fenolplasty, aminoplasty, polyamidy, polyester, silikony), *polymerací* (polyetylen, PVC, polyakryláty) nebo *polyadící* (epoxidové pryskyřice),
2. **pomocné látky** (plniva a další přísady).

Rozdělení plastů podle vzhledu makromolekul:

1. **lineární polymery** (mají vždy vedle lineárních řetězců také makromolekuly částečně rozvětvené),
 - a) **polymery samovolně nekrytalizující (amorfní)** – např. *kaučuk, polyetylén* (nekrytalizují samovolně, ale s poklesem teploty. Jsou kaučukovité, termoplastické, dobře rozpustné v organických rozpouštědlech.),
 - b) **polymery se sklonem k samovolné krystalizaci (semikrystalické)** – např. *polyamidy, celulóza, hedvábí* (jsou vláknitovité s vysokou pevností a houževnatostí, termoplastické a špatně rozpustné v organických rozpouštědlech. Mají úzkou oblast kaučukovitosti, proto se nehodí pro válcování, vytlačování, ale hodí se pro postupy vyžadující rychlé roztavení, jako je *vstřikování*.),
2. **rozvětvené polymery** (velký počet rozvětvení a délka postranních řetězců brání přechodu molekul do uspořádané krystalické struktury),
3. **zesíťované polymery (prostorově uspořádané)** (jejich vlastnosti závisí na počtu příčných vazeb. Do určitého stupně zesíťování si zachovávají tepelnou tvarovatelnost, která klesá se vzrůstajícím počtem příčných vazeb. Jsou *nerozpustné* v organických rozpouštědlech a jsou *netavitelné*. *Elastomery* – mají prostorovou strukturu, jejíž síť ještě není tak hustá, aby došlo ke ztrátě elastických vlastností.).

Rozdělení plastů podle chování za tepla: termoplasty (je možné je tvářet. Patří sem např. polystyrén, polyetylén, polyamid. *Působením tepla vždy měknou* a chemicky se přitom nemění, při ochlazení opět tuhnou.), **reaktoplasty** (dříve název *termosety*. Patří sem např. fenolformaldehydová pryskyřice, melaminová pryskyřice. *Teplem se vytvrzují* – vznikne husté příčné zesíťování, tedy přejdou nevratně do netavitelného a nerozpustného stavu. Nemohou být krystalické, protože příčné vazby nedovolují těsné uložení řetězců.).

Při nadměrném ohřevu se u všech polymerů (lineárních i zesíťovaných) vlivem vysoké teploty, případně v kombinaci s oxidací, *přetrhávají chemické vazby, hmota se rozrušuje a ztrácí pevnost*. Tento proces se nazývá **degradace polymeru** a je nevratný.

Stavy plastů: sklovitý stav (*tuhý stav*, pod teplotou skelného přechodu T_g . Makromolekuly jako celky jsou tuhé, polymer je v tomto stavu tvrdý a křehký. Platí zde *Hookův zákon*, tj. lineární úměrnost napětí a deformace.), **kaučukovitý stav** (nad teplotou skelného přechodu T_g . Při působení zatížení se řetězce snadno rozvinují, ale až po určité době. Po uvolnění napětí se opět pozvolna vrací do původního stavu, který je pro ně nejstabilnější – *viskoelastická deformace*.), **viskózní stav** (kapalný stav, který nastává u *lineárních polymerů amorfních* nad teplotou měknutí T_i , u *lineárních polymerů semikrystalických* nad teplotou tání krystalů T_m .)

Vlastnosti plastů: liší se od mechanických vlastností kovů tím, že *jsou podstatně více*

závislé na teplotě a ještě více závislé na čase. Mezi základní vlastnosti plastů patří: mechanické vlastnosti při krátkodobém namáhání, mechanické vlastnosti při dlouhodobém konstantním namáhání, mechanické vlastnosti při cyklickém namáhání, fyzikální vlastnosti, stárnutí plastů, koroze plastů za napětí, navlhavost a nasákavost plastů. Nejčastější úpravy plastů před zpracováním: zrnění (granulování), předlisování (tabletování), předeřhřívání, předplastikace, želatinace (využitím změkčovadel vznikne gel), míchání a hnětení, sušení. Pomocné látky: změkčovadla, maziva, pigmenty a barviva, plniva, ztužovadla, nadouvadla, činidla snižující hořlavost, separační činidla. Kompozitní materiály: skládají se z vlastních makromolekulárních látek a z plniva. Rozdělení kompozitů: porézní materiály plněné polymery, které nevytvářejí spojitou fázi (porézní materiály: keramika, beton, dřevo. Dutiny se vyplní reakce schopným monomermem.), vyztužené polymery (kompozity s práškovým plnivem, kompozity s vláknovým plnivem), makroskopické kompozity (polymerní i nepolymerní složky jsou zřetelně rozlišitelné pouhým okem). Plasty se zpracovávají ve stavu: tekutém (odléváním, litím, máčením, natíráním, zpěňováním), plastickém (vstřikováním, lisováním, přetlačováním, tvarováním, vytlačováním, vyfukováním, válcováním), tuhém (obráběním). Řešení tvaru součásti z plastu musí z hlediska technologičnosti respektovat: funkčnost součásti, technologičnost tvaru, estetické řešení, ekonomičnost tvaru. Hlavní zásady tvarového řešení výstřiků z termoplastů: dělicí rovina (má být jednoduchá, pokud možno rovinná. Je to plocha, v níž dosedá jedna část formy na druhou. Ovlivňuje vyhazování výrobku z formy, možnost zjednodušení tvaru, polohu jader.), umístění vtoků (ovlivňuje proudění taveniny ve formě, a tím i vlastnosti výstřiku), tloušťka stěny (má být pokud možno malá, aby se omezila možnost vzniku povrchových propadlin a vnitřních staženin, má být rovnoměrná, což je podmínka pro stejnou a rovnoměrnou rychlost proudu taveniny ve formě. Minimální tloušťka stěny závisí na délce toku taveniny ve formě – při snižování tekutosti musí být větší tloušťka stěny.), zaoblení (minimální hodnota je čtvrtina tloušťky stěny. Malý rádius může být příčinou deformace vlivem špatného odvodu tepla v okolí vnitřní hrany. Ostré hrany mohou být jen na vnější straně tam, kde stěny výstřiku končí v dělicí rovině formy.), úkosy (jsou nutné pro snazší vyjímání výstřiků z formy. Pro vnější stěny jsou minimální úkosy 0,5 až 1°, pro vnitřní stěny 1 až 2°.), žebra (k vyztužení výstřiků, umožňují použití tenkých stěn. V místě protínání žeber nesmí dojít k hromadění materiálu.), dosedací plochy (mají být malé a má jich být co nejméně – ideální je dosednutí na tři body), okraje výrobků (nemají být zesílené, aby se zamezilo hromadění materiálu. Totéž platí pro upevňovací výstupky pro průchozí, nebo závrtné šrouby.), kovové vložky (tzv. zálisky, slouží pro zpevnění závitového spoje, kolíků, upevnění elektrických kontaktů apod. Prodlužují však výrobní cyklus a mohou mít nepříznivý vliv na chladnutí taveniny ve formě – studené spoje, trhliny. Existuje i varianta dodatečného vsazování těchto vložek do výstřiku. Vložky mají mít malou hmotnost, zaoblené dno i vnější hrany, zajištění proti vytažení a pootočení.), povrchová úprava (Matování – pískováním nebo fotochemicky se matuje část lícni plochy vstřikovací formy. Rýhování – jemným frézováním částí lícni plochy

formy. **Barvení** – dvoubarevné vstřikování speciálními vstřikovacími stroji se dvěma vstřikovacími jednotkami. **Sítotisk** – protlačování tiskové barvy přes síťovou šablonu. **Obtisky** – barevné obrázky lze nalepovat přímo na výrobek, nebo se vkládají do formy a zastříknou se taveninou. **Ražení** – přes kovovou fólii za tepla, vyhřívaný kovový razník vtlačí do povrchu výstřiku otěruvzdorný vzor s různobarevným kovovým odstínem. **Vakuové pokovování** – kondenzace par rozžhaveného kovu – Al, Cr na povrchu plastového výrobku umístěného ve vakuové komoře. **Galvanické pokovování** – nejčastěji se nanáší lesklý Cr, podmínkou je vysoce lesklý a čistý povrch, vznikne trvanlivý povlak o větší tloušťce.).

Hlavní zásady tvarového řešení výstřiků z reaktoplastů:

- a) **umístění vtoků** (vzhledem k horší tekutosti reaktoplastů je třeba zvlášť dbát na to, aby dráhy toku taveniny byly co nejkratší a hydraulické odpory v kanálech co nejmenší a aby se omezil vznik orientace plniva. Proto se často u větších a složitějších výstřiků používají *vícenásobné vtoky*.),
- b) **tloušťka stěny** (bývá větší, 2 až 6 mm, a *nemusí být rovnoměrná*, přechod mezi tlustou a tenkou stěnou musí být pozvolný, nikoliv ostrý),
- c) **zaoblení a úkopy** (jsou na výstřicích nutné. Úkopy musí být na stěnách, rovnoběžných se směrem otevírání formy.),
- d) **ostré hrany** (nejsou žádoucí. Je třeba se vyhnout hlavně *vnitřním ostrým hranám*, protože reaktoplasty jsou křehké, mají nízkou rázovou a vrubovou houževnatost.),
- e) **použití závitorezných šroubů** (není vhodné vzhledem ke křehkosti reaktoplastů a *nebezpečí vyštípnutí závitu*, vhodné jsou hladké kruhové díry a průchozí kovové šrouby),
- f) **nýtování a svařování** (nelze použít ke spojování, protože jsou reaktoplasty netavitelné),
- g) **spojení pružným zaskočením** (nelze použít vzhledem k nepatrné tažnosti a deformovatelnosti reaktoplastů).



Doplňující literatura

- [1] BAREŠ, K. a kolektiv autorů *Lisování*. Praha : SNTL, 1971.
- [2] BLAŠČÍK, F. a kol. *Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvárania*. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1988. 832 s. (bez ISBN).
- [3] BLAŠČÍK, F. a POLÁK, K. *Teória tvárnenia*. 1. vyd. Bratislava : Alfa a SNTL, 1985. 376 s.
- [4] BLAŽEK, S., KOUTSKÝ, E. a SOUKUP, R. Hlubokotažnost oceli a náročnost výlisku, *Strojírenství*, 1971, roč. 21, č. 9, s. 558-561.
- [5] BLAŽEK, S., SOUKUP, R. a KOUTSKÝ, E. Hranice tváření plechu, *Strojírenství*, 1972, roč. 22, č. 12, s. 737-740.
- [6] BOHÁČ, A. *Racionalizace lisování*. 1. vyd. Praha : Práce, 1962.
- [7] BŘEZINA, R. *Technologie I – část 1 : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 80 s. ISBN 80-7078-439-3.
- [8] BŘEZINA, R. *Technologie I – část 2 : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1999. 86 s. ISBN 80-7078-639-6.
- [9] BŘEZINA, R. a ČADA, R. *Speciální technologie – technologie tváření : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1992. 257 s. ISBN 80-7078-122-X.
- [10] ČABELKA, J. a kol. *Mechanická technológia*. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1967. 1036 s. (bez ISBN).
- [11] ČADA, R. In addition to determining of shape of blank for drawing of intricate shape stampings. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské v Ostravě : řada strojní*. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1992, roč. 38, č. 1, s. 57-68. ISSN 0862-2477.
- [12] ČADA, R. Aplikace metody deformačních sítí v oblasti tažení výtažků z plechu. *Strojnický obzor*, 1992, roč. 2, č. 2, s. 9-11.
- [13] ČADA, R. The rationalization of production of the left and right side of hand-operated cutter of grass. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1994, roč. 40, č. 1, s. 51-56. ISSN 1210-0471.
- [14] ČADA, R. Vytváření deformačních sítí ražením. *Strojírenská výroba*, 1995, roč. 43, č. 1-2, s. 10-12. ISSN 0039-2456.
- [15] ČADA, R. Evaluation of formability of deep-drawing steel strip from Germany. In: *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1995, roč. 41, č. 1, s. 21-27. ISSN 1210-0471.
- [16] ČADA, R. Apparatus for making indentations of chosen depth. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1996, roč. 42, č. 1, s. 115-122. ISSN 1210-0471.
- [17] ČADA, R. Přípravek pro ražení deformačních sítí na plechy. *Strojírenská výroba*, 1996, roč. 44, č. 1-2, s. 38-41. ISSN 0039-2456.
- [18] ČADA, R. Comparison of formability of steel strips, which are used for deep drawing of stampings. *Journal of Materials Processing Technology*, 1996, Vol. 60, č. 1-4, s. 283-290. ISSN 0924-0136. (Impact Factor = 0,255).
- [19] ČADA, R. Vyhodnocení tváritelnosti pásové oceli 11 320.0 z Nové huti, a. s. Ostrava. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1996, roč. 42, č. 1, s. 123 - 136.

	ISSN 1210-0471.
	[20] ČADA, R. <i>Tvářitelnost kovových materiálů : Plošná tvářitelnost : návody do cvičení : skriptum</i> . 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1997. 78 s.
	[21] ČADA, R. Evaluation of formability of steel sheets used for deep-drawing of stampings. In <i>Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní</i> . Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1997, roč. 43, č. 1, s. 49-64. ISSN 1210-0471.
	[22] ČADA, R. Vliv doby skladování na tvářitelnost hlubokotažné pásové oceli 11 305.21. In <i>Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní</i> . Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1997, roč. 43, č. 1, s. 65-80. ISSN 1210-0471.
	[23] ČADA, R. <i>Plošná tvářitelnost kovových materiálů</i> . 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 90 s. ISBN 80-7078-557-8.
	[24] ČADA, R. Changes of sheet formability during storage. In <i>Transactions of the Technical University of Košice</i> . Slovenská republika, Košice : TU v Košiciach, 1998, č. 3, s. 84-91. ISSN 1335-2334.
	[25] ČADA, R. Vyhodnocení tahových zkoušek plechů na počítači. In <i>Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní</i> . Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998, roč. 44, č. 2, s. 53-65. ISSN 1210-0471.
	[26] ČADA, R. <i>Technologie I – část tváření a slévání : návody do cvičení : skriptum</i> . 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 188 s. ISBN 80-7078-540-3.
	[27] ČADA, R. Measurement of deformation networks on stampings. In <i>Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní</i> . Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998, roč. 44, č. 2, s. 45-52. ISSN 1210-0471.
	[28] ČADA, R. Progressive drawing of shanks and rings of tubular rivets. In <i>Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní</i> . Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1999, roč. 45, č. 2, s. 63-78. ISSN 1210-0471, ISBN 80-7078-748-1.
	[29] ČADA, R. Solution of lamp socket body production technology in progressive tool. In <i>Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní</i> . Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1999, roč. 45, č. 2, s. 79-94. ISSN 1210-0471, ISBN 80-7078-748-1.
	[30] ČADA, R. Měřidlo deformačních sítí dutých výtažků. <i>Acta Mechanica Slovaca</i> , 1999, roč. 3, č. 3, s. 43-46. ISSN 1335-2393.
	[31] ČADA, R. Changes of low-carbon steel strip formability during storage. In <i>Progressivnyje tehnologij i sistemy mašinostrojenija : Meždunarodnyj sbornik naučnych trudov : Vypusk 14</i> . Ukrajina, Doněck : Doněckij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, 2000, s. 197-201. ISBN 966-95622-4-4.
	[32] ČADA, R. Construction of maximum shear stress trajectories in the shape of logarithmic spirals. In <i>Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní</i> . Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2000, roč. 46, č. 1, s. 85-91. ISSN 1210-0471, ISBN 80-7078-875-5.
	[33] ČADA, R. Measurement of deformations at forming by method of embossed deformation networks and their evaluation. <i>Strojírenská technologie</i> , 2001, roč. 6, č. 4, s. 8-16. ISSN 1211-4162.
	[34] ČADA, R. Changes of formability of low-carbon steel strip during its storage. In <i>Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní</i> . Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2001, roč. 47, č. 1, s. 47-56. ISSN 1210-0471, ISBN

80-248-0093-4.
[35] ČADA, R. Construction of optimal blank shape from sheet-metal. <i>Strojírenská technologie</i> , 2001, roč. 6, č. 3, s. 25-32. ISSN 1211-4162.
[36] ČADA, R. <i>Tvářitelnost ocelových plechů : odborná knižní monografie</i> . Lektorovali: L. Pollák a P. Rumišek. 1. vyd. Ostrava : REPRONIS, 2001. 346 s. ISBN 80-86122-77-8.
[37] ČADA, R. <i>Strojírenská technologie 1 : Studijní opora pro kombinovaná studia : skriptum</i> . 1. vyd. Ostrava : Ostravská univerzita v Ostravě, Pedagogická fakulta, 2002. 113 s. ISBN 80-7042-232-7.
[38] ČADA, R. <i>Tvářitelnost materiálů a nekonvenční metody tváření : Plošná tvářitelnost : návody do cvičení : skriptum</i> . 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2002. 148 s. ISBN 80-248-0019-5.
[39] ČADA, R. Evaluation of deep-drawing sheet-metal formability. <i>Metallurgičeskaja i gornorudnaja promyšlennost'</i> , 2002, roč. 43, č. 8-9, s. 477-483. ISSN 0543-5749.
[40] ČADA, R. Construction of optimal blank shape from sheet-metal. <i>Manufacturing Technology</i> , 2002, roč. 2, č. 2, s. 53-58. ISSN 1213-2489.
[41] ČADA, R. Projection of blanks for stampings from sheet-metal. <i>Acta Mechanica Slovaca</i> , 2002, roč. 6, č. 2, s. 207-212. ISSN 1335-2393.
[42] ČADA, R. Evaluation of strain and material flow in sheet-metal forming. <i>Journal of Materials Processing Technology</i> , 2003, Vol. 138, No. 1-3, pp. 170-175. ISSN 0924-0136. (Impact Factor = 0,255).
[43] ČADA, R. Utilization of tensile tests for evaluation of sheet-metal formability. In <i>Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní : část 1</i> . Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2003, roč. 49, č. 1, s. 23-32. ISSN 1210-0471, ISBN 80-248-0239-2.
[44] ČADA, R. Optimization of blank shape and drawing technology of side from thin sheet-metal. In <i>Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní : část 1</i> . Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2003, roč. 49, č. 1, s. 33-43. ISSN 1210-0471, ISBN 80-248-0239-2.
[45] ČADA, R. Testing of strain in stampings by embossed grids. <i>Technical Gazette</i> , 2003, Vol. 10, No. 3-4, pp. 9-13. ISSN 1330-3651.
[46] ČADA, R., ADAMEC, J., TICHÁ, Š., OCHODEK, V., HLAVATÝ, I. a ŠIMČÍK, S. <i>Základy strojírenské technologie : skriptum</i> . 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1996. 115 s. ISBN 80-7078-300-1.
[47] Kolektiv autorů (mezi nimi ČADA, R.) <i>Encyklopedický slovník</i> . 1. vyd. Praha : Encyklopedický dům, spol. s r. o. a Odeon, 1993. 1256 s. ISBN 80-207-0438-8.
[48] Kolektiv autorů (mezi nimi ČADA, R.) <i>Ilustrovaná encyklopedie</i> . 1. vyd. Praha : Encyklopedický dům, spol. s r. o., 1995. 3. sv. 1537 s. ISBN 80-901647-3-0.
[49] Kolektiv autorů (mezi nimi ČADA, R.) <i>Česká multimediální encyklopedie</i> . 1. vyd. Praha : LEDA, spol. s r. o. a Encyklopedický dům, spol. s r. o., 1997.
[50] Kolektiv autorů (mezi nimi ČADA, R.) <i>Malá ilustrovaná encyklopedie</i> . 1. vyd. Praha : Encyklopedický dům, spol. s r. o., 1999. 1213 s. ISBN 80-86044-12-2.
[51] Kolektiv autorů (mezi nimi ČADA, R.) <i>Technický slovník</i> . 1. vyd. Praha : Encyklopedický dům, spol. s r. o., 2001-2005. 8. sv. ISBN 80-86044-16-5.
[52] DĚDEK, V. <i>Hlubokotažné ocelové pásy</i> . 1. vyd. Praha : SNTL, 1967.
[53] DOUBRAVSKÝ, M. <i>Vybrané stati z tváření : II díl : Zpracování plechů stříháním :</i>

	<i>skriptum</i>. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1969. 90 s. (bez ISBN). [54] DRASTÍK, F., ELFMARK, J. a kol. <i>Plastometry a tvařitelnost kovů</i>. 1. vyd. Praha : SNTL, 1977. 392 s. [55] EVIN, E. a HRIVŇÁK, A. Analýza kriviek spevnenia používaných pri simulácii. In <i>Mezinárodní vědecká konference při příležitosti 50 let založení Fakulty strojní : Sekce 6 : Strojírenská technologie</i>. Red. J. Hrubý. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2000, s. 211-215. ISBN 80-7078-800-3. [56] HRIVŇÁK, A., EVIN, E. a SPIŠÁK, E. <i>Technológia plošného tvárnenia : skriptum</i>. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1985. 264 s. (bez ISBN). [57] HRUBÝ, J., RUSZ, S. a ČADA, R. <i>Strojírenské tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1993. 160 s. ISBN 80-7078-201-3. [58] HUDÁK, J. Medzné pretvorenia pri zlúčenom spätnom ťahaní válcových výťažkov s plochým dnom. <i>Acta Metallurgica Slovaca</i>, 1999, roč. 5, č. 1, s. 151-153. ISSN 1335-1532. [59] HUDÁK, J. Superpozícia plastických deformácií pri zlúčenom spätnom ťahaní. In <i>Mezinárodní vědecká konference při příležitosti 50 let založení Fakulty strojní : Sekce 6 : Strojírenská technologie</i>. Red. J. Hrubý. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2000, s. 217-220. ISBN 80-7078-800-3. [60] KOLLEROVÁ, M. <i>Tvárnění kovov : skriptum</i>. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1984. 288 s. (bez ISBN). [61] KOŘENÝ, R. <i>Slévárství neželezných kovů a slitin : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1971. 251 s. (bez ISBN). [62] KOTOUČ, J. <i>Nástroje pro tváření za studena : skriptum</i>. 3. vyd. Praha : ČVUT Praha, 1982. 158 s. [63] MACHEK, V. <i>Tenké ocelové pásy a plechy válcované zastudena</i>. Praha : SNTL, 1987. [64] MACHEK, V., VESELÝ, L., VESELÝ, M. a VIŠŇÁK, J. <i>Zpracování tenkých plechů</i>. 1. vyd. Praha : SNTL, 1982. 272 s. [65] NOVOTNÝ, K. a MACHÁČEK, Z. <i>Speciální technologie I : Plošné a objemové tváření : skriptum</i>. 2. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3. [66] PETRŽELA, Z. <i>Teorie tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1982. [67] PETRŽELA, Z. <i>Základy teorie a technologie strojírenského tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1980. 378 s. (bez ISBN). [68] PETRŽELA, Z. <i>Tváření II : Strojírenská technologie a tvářecí stroje : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1975. 335 s. (bez ISBN). [69] PETRŽELA, Z. <i>Tváření III : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1975. 325 s. (bez ISBN). [70] PETRŽELA, Z., KUČERA, J. a BŘEZINA, R. <i>Technologie slévání, tváření a svařování : skriptum</i>. 2. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1987. 329 s. (bez ISBN). [71] PÍŠEK, F. a PLEŠINGER, A. <i>Slévárství – II : Speciální část</i>. 1. vyd. Praha : SNTL, 1975. 408 s. (bez ISBN). [72] PLUHAŘ, J. a KORITTA, J. <i>Strojírenské materiály</i>. 2. vyd. Praha : SNTL, 1977. 568 s. (bez ISBN). [73] POLLÁK, L. Nové kritéria tvárnosti – súčiniteľ plošnej anizotropie. In <i>Rozvoj technológie tvárnenia : zborník prednášok</i>. 1. vyd. Košice : Dom techniky ZSVTS
--	---

	Košice, 1990, s. 1-6. ISBN 80-232-0113-1. [74] POLLÁK, L. Teoreticko-experimentálny výskum stability procesu hlbokého ťahania s vypínaním. <i>Acta Mechanica Slovaca</i>, 1999, roč. 3, č. 3, s. 193-196. ISSN 1335-2393. [75] POLLÁK, L. Výber kritérií tváriteľnosti podľa kvalitatívnych požiadaviek na výtvarok. <i>Acta Metallurgica Slovaca</i>, 1999, roč. 5, č. 1, s. 148-150. ISSN 1335-1532. [76] POLLÁK, L. Normal anisotropy as a deep-drawability criterion of steel sheets. <i>International Sheet Metal Review</i>, 1999, Launch Issue, Spring, s. 84-85. ISSN 1335-1532. [77] POLLÁK, L. Teoreticko-experimentálne aspekty tváriteľnosti kovov. In <i>Proceedings of the 5th International Conference FORM 2000 : Volume I – Forming Technology, Tools and Machines</i>. Red. M. Forejt. Brno : Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Technology, Department of Forming, 2000, s. 123-128. ISBN 80-214-1661-0. [78] POLLÁK, L., HUDÁK, J. a TOMÁŠ, M. Modelovanie a testovanie pri projektovaní technologických postupov výroby výťažkov. In <i>Zborník referátov IV. medzinárodnej konferencie NOVÉ SMERY VO VÝROBNÝCH TECHNOLOGIÁCH '99</i>. Red. P. Monka a A. Petík. Slovenská republika, Prešov : Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií v Prešove 1999, s. 174-176. ISBN 80-7099-423-1. [79] PROCHÁZKA, J., KOTOUČ, J. a ZAPOTIL, M. <i>Technologie I : Část 2 : skriptum</i>. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1967. 178 s. (bez ISBN). [80] ROMANOVSKIJ, V. P. <i>Příručka pro lisování za studena</i>. 1. vyd. Praha : SNTL, 1959. 540 s. [81] SILBERNAGEL, A. <i>Nauka o materiálu I : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1982. 331 s. (bez ISBN). [82] SLOVÁK, S. a RUSÍN, K. <i>Teorie slévání</i>. 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. 232 s. (bez ISBN). [83] STOROŽEV, M. V. a POPOV, J. A. <i>Teória tvárnenia kovov</i>. 1. vyd. Bratislava : Alfa a SNTL, 1978. 488 s. (bez ISBN). [84] ŠAFAŘÍK, M. <i>Nástroje pro tváření kovů a plastů I : Nástroje pro plasty : skriptum</i>. 1. vyd. Liberec : Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1987. 227 s. (bez ISBN). [85] TMĚJ, J. Určení závislosti normálové anizotropie na odchylce od směru válcování u hlubokotažného plechu KOHAL – extra. In <i>Sborník prací Vysoké školy strojní a textilní v Liberci</i>. Liberec : VŠST Liberec, 1979, s. 207-214. [86] TMĚJ, J. a MIKEŠ, V. <i>Teorie tváření : skriptum</i>. Liberec : VŠST, 1981. [87] VESELÝ, M. a kol. <i>Atlas informací pro uživatele tenkých plechů - III. díl</i>. Praha : Výzkumný ústav strojírenské technologie a ekonomiky, 1972.
--	--