



Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava



POSTUPY ÚDRŽBY I

Studijní opora

Radek Čada

Ostrava 2007

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

Název: Postupy údržby I
Autor: doc. Ing. Radek Čada, CSc.
Vydání: první, 2007
Počet stran: 278
Náklad: -
Vydavatel a tisk: Ediční středisko VŠB – TUO

Studijní materiály pro 1. ročník bakalářského studijního programu B2341 „Strojírenství“,
obor 3708R028-40 „Údržba letadel“ 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 978-80-248-1506-0

OBSAH

	strana
0 Předmluva	7
0.1 Vysvětlení hlaviček s ikonami	8
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)....	11
1 Zápustkové kování	16
1.0 Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	16
1.1 Volba tvářecího stroje	18
1.1.1 Kování na bucharech	19
1.1.2 Kování na větvenových lisech	19
1.1.3 Kování na mechanických klikových lisech	20
1.2 Nakreslení výkresu výkovku	20
1.2.1 Volba dělicí roviny výkovku	21
1.2.2 Zařazení zápustkového výkovku podle složitosti tvaru	22
1.2.3 Volba přesnosti provedení výkovku	26
1.2.4 Určení přídavků na obrábění	27
1.2.5 Určování technologických přídavků	29
1.2.6 Rozměrové a tvarové úchytky zápustkových výkovků	32
1.3 Stanovení tvaru a rozměrů výronkové drážky	39
1.4 Výpočet objemu výkovku	43
1.5 Výpočet silových parametrů tvářecího stroje	44
1.5.1 Určení velikosti bucharu	44
1.5.2 Výpočet velikosti lisu	46
1.6 Výběr a sled potřebných operací	46
1.6.1 Konstrukce ideálního předkovku pro výkovky I. skupiny	47
1.6.2 Výběr přípravných předkovacích dutin	52
1.6.3 Výpočet rozměrů výchozího materiálu	55
1.7 Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, korespondenční úkol, průvodce studiem	57
2 Objemové tváření materiálu zastudena	62
2.0 Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	62
2.1 Základní způsoby objemového tváření zastudena	64
2.2 Součásti tvarově vhodné pro objemové tváření zastudena	67
2.3 Výběr součástí vhodných k protlačování z ekonomického hlediska	68
2.4 Oceli pro objemové tváření zastudena	69
2.5 Polotovary pro objemové tváření zastudena	70
2.6 Tepelné zpracování polotovarů a protlačků	71
2.7 Povrchová úprava a mazání polotovarů před protlačováním	71
2.8 Výpočet deformací při protlačování	72
2.9 Zpevňování materiálu při objemovém tváření zastudena	74

2.10	Křivky zpevnění	75
2.11	Hlavní technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů	77
2.11.1	Technologické zásady pro dopředné protlačování oceli	77
2.11.2	Technologické zásady pro zpětné protlačování oceli	78
2.12	Návrh technologického postupu výroby	79
2.12.1	Volba polotovaru a tvářecích operací s ohledem na průběh zpevnění	81
2.12.2	Návrh technologického postupu výroby pouzdra kalíškového tvaru	83
2.12.3	Technologický postup výroby opěrného čepu s kulovou miskou	86
2.12.4	Technologický postup výroby kulového čepu	87
2.12.5	Technologický postup výroby šroubů	88
2.12.6	Technologický postup výroby matic	89
2.13	Jakost povrchu protlačků	89
2.14	Rozměrová přesnost protlačků	90
2.15	Nástroje pro objemové tváření zastudena	92
2.16	Výpočet tvářecí síly a práce	95
2.17	Volba tvářecího stroje	98
2.17.1	Mechanické lisy	98
2.17.2	Hydraulické lisy	98
2.18	Dokončování výlisků	99
2.19	Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, korespondenční úkol, průvodce studiem	101
3	Stříhání plechu	107
3.0	Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	107
3.1	Stříhání plechu na tabulových nůžkách	108
3.1.1	Střih rovnoběžnými noži	110
3.1.2	Střih skloněnými noži	113
3.2	Stříhání ve stříhadlech	114
3.2.1	Střížná vůle	117
3.2.2	Přesnost a jakost povrchu při stříhání	118
3.2.3	Stanovení rozměrů střížníku a střížnice	118
3.2.4	Výpočet střížné síly a práce	120
3.3	Nástřihové plány	121
3.4	Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, průvodce studiem	125
4	Tažení plechu	129
4.0	Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	129
4.1	Ocelové plechy k tažení	132
4.1.1	Anizotropie plechů	133
4.1.2	Volba plechu pro výrobu výtažků	133
4.1.3	Plech z oceli 11 305.21	135
4.2	Tažení dutých válcových výtažků (klasický způsob bez ztenčení stěny)	136
4.2.1	Stanovení velikosti přístřihu pro tažení válcových výtažků	137
4.2.2	Stanovení rozměru přístřihu pro tažení rotačních výtažků složitějšího tvaru	139

4.2.3	Odstupňování tahů pro válcové výtažky	141
4.2.4	Postup při stanovení počtu tahů	142
4.2.5	Použití přidržovače	143
4.2.6	Tlak, síla a tvar přidržovače	144
4.2.7	Tažná mezera	151
4.2.8	Tvar tažnice	151
4.2.9	Tvar tažníku	153
4.2.10	Tažidla pro víceoperační tažení	154
4.2.11	Výpočet tažné síly	155
4.2.12	Výpočet práce při tažení	157
4.3	Mazání při tažení	157
4.4	Tepelné zpracování tažených plechů	158
4.5	Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, korespondenční úkol, průvodce studiem	159
5	Slévání	164
5.0	Rychlý náhled do problematiky kapitoly, cíle kapitoly, klíčová slova kapitoly, čas potřebný ke studiu kapitoly, průvodce studiem	164
5.1	Slévárenské formovací směsi	167
5.1.1	Zkoušení slévárenských formovacích směsí	169
5.1.2	Úprava formovacích materiálů	173
5.1.3	Pomocné formovací látky	175
5.2	Metalografie a analýza slévárenských slitin	176
5.2.1	Rovnovážné soustavy železa s uhlíkem	176
5.2.2	Oceli na odlitky	178
5.2.3	Šedá litina	179
5.2.4	Bílá litina	181
5.2.5	Tvárná litina	182
5.3	Technologický proces výroby odlitků	183
5.3.1	Příprava tekutého kovu	183
5.3.2	Výroba slévárenských forem	184
5.3.3	Vytlučování odlitků, čištění a oprava chyb	186
5.3.4	Kontrola odlitků a expedice	186
5.4	Výrobní dokumentace odlitku	187
5.4.1	Slévárenský postupový výkres	187
5.4.1.1	Volba polohy odlitku ve formě při odlévání	196
5.4.1.2	Zásady pro stanovení dělicí plochy	197
5.4.1.3	Smrštění odlévaných slitin	198
5.4.1.4	Mezní úchytky rozměrů a tvaru odlitků	198
5.4.1.5	Přídavky na obrábění ploch odlitků	199
5.4.1.6	Přídavky technologické	205
5.4.1.7	Slévárenské úkopy modelů a odlitků	205
5.4.2	Výrobní postup modelového zařízení	207
5.4.3	Výrobní postup odlitku	210
5.4.4	Výkres odlitku	212
5.4.5	Ověřování, nultá série a sériová výroba odlitků	212

5.5	Vtoková soustava	213
5.5.1	Volba způsobu zaústění vtoku do formy	217
5.5.2	Navržení vtokové soustavy	218
5.5.3	Navržení výfuku	221
5.6	Nálitkování odlitků	221
5.6.1	Dimenzování nálitků podle Chvorinova	227
5.6.2	Dimenzování nálitků podle Příbyla	230
5.7	Výpočet vztahové síly působící na vršek formy	231
5.8	Tepelné zpracování odlitků	233
5.8.1	Tepelné zpracování odlitků ze šedé litiny	233
5.8.2	Tepelné zpracování odlitků z ocelí uhlíkových a nízkolegovaných	234
5.8.3	Tepelné zpracování odlitků z austenitických ocelí	235
5.8.4	Tepelné zpracování odlitků ze slitin hliníku	235
5.9	Vady odlitků	235
5.10	Konstrukční zásady pro navrhování odlitků	238
5.11	Shrnutí kapitoly, pojmy k zapamatování, odměna a odpočinek, kontrolní otázky, literatura, náměty pro tutoriál, korespondenční úkol, průvodce studiem	246
11	Klíč k řešení kontrolních otázek, uvedených za jednotlivými kapitolami	260
12	Shrnutí studijní opory	265
13	Doplňující literatura	274

0 PŘEDMLUVA

Vážená čtenářko, vážený čtenáři,

studijní opora „Postupy údržby I“ je určena pro základní a povinný předmět „**Postupy údržby I**“ vyučovaný v letním semestru 1. ročníku bakalářského studijního programu **B2341 „Strojírenství“** oboru **3708R028-40 „Údržba letadel“** na Fakultě strojní VŠB – TU Ostrava, ale může ji využít i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované vstupní znalosti.

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

Studijní opora seznamuje *s principy a odborným názvoslovím základních výrobních technologií používaných ve strojírenské výrobě* – zápusťkového kování, objemového tváření zastudena, stříhání plechů, tažení plechů a slévání. Po prostudování studijní opory by měl studující znát základní nástroje, stroje, být schopen volit vhodné materiály a ovládat metodiku tvorby technologických postupů výroby jednoduchých součástí včetně základních výpočtů.

Podstaty jednotlivých technologií jsou popsány poměrně stručnou formou, 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 koncipován 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 srovnajte 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. Jde 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 příkladů 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. Jedná se 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

	<h3>Rychlý náhled do problematiky studijní opory</h3>
	<p>První kapitola řeší zápustkové kování. Je v ní popsána volba tvářecího stroje, nakreslení výkresu výkovku, volba dělicí roviny výkovku, zařazení zápustkového výkovku podle složitosti tvaru, volba přesnosti provedení výkovku, určení přídavek na obrábění, technologických přídavek, rozměrových a tvarových úchylek zápustkových výkovků, stanovení tvaru a rozměrů výronkové drážky, výpočet objemu výkovku, výpočet silových parametrů tvářecího stroje, konstrukce ideálního předkovku, výběr přípravných předkovacích dutin a výpočet rozměrů výchozího materiálu.</p> <p>Druhá kapitola objasňuje objemové tváření materiálu zastudena. Jsou v ní popsány základní způsoby objemového tváření zastudena, součásti tvarově vhodné pro objemové tváření zastudena, výběr součástí vhodných k protlačování z ekonomického hlediska, oceli pro objemové tváření zastudena, polotovary pro objemové tváření zastudena, tepelné zpracování polotovarů a protlačků, povrchové úpravy a mazání polotovarů před protlačováním, výpočet poměrných a logaritmických deformací, zpevnění materiálu při objemovém tváření zastudena, křivky zpevnění, hlavní technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů, návrhy technologických postupů výroby, jakost povrchu protlačků, rozměrová přesnost protlačků, nástroje pro objemové tváření zastudena, výpočet tvářecí síly a práce, volba tvářecího stroje a dokončování výlisků.</p> <p>Třetí kapitola řeší stříhání plechu. Je v ní popsáno stříhání plechu na tabulových nůžkách rovnoběžnými a skloněnými noži, stříhání ve stříhadlech, rozdělení stříhadel, střížná plocha, střížná mezera, přesnost a jakost povrchu při stříhání, stanovení rozměrů střížníku a střížnice, výpočet střížné síly a práce, nástřihové plány, seskupení výstřížků, přepážky, boční odpad, hospodárnost nástřihového plánu.</p> <p>Čtvrtá kapitola seznamuje s technologií tažení plechu. Jsou v ní popsány ocelové plechy k tažení, anizotropie plechů, volba plechu pro výrobu výtažků, tažení dutých válcových výtažků, stanovení velikosti přístřihu pro tažení válcových výtažků a rotačních výtažků složitějšího tvaru, odstupňování tahů pro válcové výtažky, postup při stanovení počtu tahů, použití přidržovače, tlak, síla a tvar přidržovače, tažná mezera, tvar tažnice, tvar tažníku, tažidla pro víceoperační tažení, výpočet tažné síly, výpočet práce při tažení, mazání při tažení, tepelné zpracování tažených plechů.</p> <p>Pátá kapitola se věnuje technologii slévání. Jsou v ní 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, vytloukání odlitků, čištění a oprava chyb, kontrola odlitků. Kapitola rovněž objasňuje výrobní dokumentaci odlitku (slévárenský postupový výkres, volbu polohy odlitku ve formě, zásady pro stanovení dělicí plochy, smrštění odlévaných slitin, přídavek na obrábění a přídavek technologické, slévárenské úkosy, 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.</p>

	<h2>Cíle studijní opory</h2>
	<p>Budete umět:</p> <ul style="list-style-type: none"> • popsat základní nástroje, stroje a principy technologií zápustkového kování, objemového tváření zastudena, stříhání plechu, tažení plechu a slévání. <p>Získáte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • přehled o principech a odborném názvosloví hlavních výrobních metod – technologií tváření a slévání, • informace o základních technologických postupech výroby, používaných ve strojírenské výrobě, který je potřebný pro pochopení moderních výrobních technologií. <p>Budete schopni:</p> <ul style="list-style-type: none"> • volit vhodné materiály a ovládat metodiku tvorby technologických postupů výroby jednoduchých součástí včetně základních výpočtů.

	<h2>Klíčová slova studijní opory</h2>
	<p>Klíčová slova první kapitoly „Zápustkové kování“: Zápustkové kování, objemové tváření zatepla, kov, zápustka, dutina, buchar, lis, výronek, polotovár, technologický postup, tvářecí stroj, úkos, poloměr zaoblení, dělicí rovina, technologický přídavek, výronková drážka, výkovek, ráz, předkovek, postupová zápustka, vřetenový lis, beran, klikový lis, vyhazovač, kovárna, životnost, okuje, kovací teplota, výkres, součást, přesnost, přídavek na obrábění, ostříhování, pěchování, vlákno, přesazení zápustek, provedení výkovku, dno, blána, stěna, hrana, přechod, ořep, sestřížení, jehla, průhyb, střížná plocha, výška můstku výronkové drážky, zásobník, analytická metoda, průřezový obrazec, síla, práce, ideální předkovek, hlava, dřík, předkovací dutina, utínka, ohřev, pec, opal.</p> <p>Klíčová slova druhé kapitoly „Objemové tváření materiálu zastudena“: Objemové tváření zastudena, napjatost, plastická deformace, jakost povrchu, zpevnění, dopředné protlačování, průtlačník, zpětné protlačování, sdružené protlačování, stranové protlačování, polotovár, pěchování, kombinované tváření, součást, radiální tváření, poměrná deformace, logaritmická deformace, křivka zpevnění, napětí, technologický postup výroby, žhání, 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, 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, ořep, omílání.</p> <p>Klíčová slova třetí kapitoly „Stříhání plechu“: Stříhání, plech, smyk, břit, deformace, plošné stříhání, střížník, střížnice, křivka stříhu, střížná plocha, střížná hrana, napjatost, čelo nože, oblast plastického stříhu, lom, ořep, ořep, vtisk spodního nože, střížná vůle, pevnost materiálu ve stříhu, střížná síla, střížná práce, plastický stříh, stříh skloněnými noži, pracovní zdvih, samosvornost, tabulové nůžky, stříhadlo, vodící deska, vodící sloupky, vodící stojánek, postupové stříhadlo, sdružené stříhadlo, otevřené stříhadlo, nástřihový plán, krok, seskupování výstřížků, přepážka, boční odpad, hospodárnost nástřihového plánu, součinitel využití materiálu.</p>

<p>Klíčová slova čtvrté kapitoly „Tahení plechu“:</p> <p>Tahení, deformace, výtazek, plošné tváření, tahení prosté, přidržovač, tahení se ztenčením stěny, zpětné tahení, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování, přetahování, šablona, ocel, plech, neuklidněná ocel, uklidněná ocel, textura, makrostruktura, mikrostruktura, anizotropie, tažnost, kontrakce, rekrytalizační teplota, válcování, lehké převálcování, přístřih, Guldinova věta, těžiště, stupeň deformace, součinitel odstupňování tahu, poměrná tloušťka přístřihu, přeložka, zvrásnění, účinná plocha přidržovače, tangenciální pýchování, tah, hlubokotažný plech, jmenovitá tloušťka plechu, tlak přidržovače, přidržovací síla, měrný tlak přidržovače, pružina, beran, dvojčinný lis, tažná mezera, zvlnění, kalibrace výtazku, jednočinný lis, zaoblení tažné hrany tažnice, vyhazovač, přechodový poloměr tažníku, sekundární zvlnění výtazku, odvodušnění, tažná síla, pevnost v tahu, celková síla tažného lisu, práce, součinitel tření, mazání, tepelné zpracování.</p> <p>Klíčová slova páté kapitoly „Slévání“:</p> <p>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, výsyпка, 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, smršřivost, mosaz, jaderník, jádro, vytloutání odlitku, vtokový kanál, nálietek, 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, lázeň, vytloutací rošt, otryskávání, omílání, moření, slévárenský postupový výkres, usměrněné tuhnutí, dělicí plocha, smršřění, 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, vada, žebro, vnitřní prnutí.</p>
--

	<p>Čas potřebný ke studiu studijní opory: 30 hodin</p>															
<p>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.</p> <p>Časy potřebné ke studiu jednotlivých kapitol studijní opory, které jsou rovněž uvedeny v příslušných kapitolách, jsou následující:</p>	<table border="0"> <tr> <td style="padding-left: 20px;">1</td> <td style="padding-left: 20px;">Zápusťkové kování</td> <td style="text-align: right;">6 hodin</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">2</td> <td style="padding-left: 20px;">Objemové tváření materiálu zastudena</td> <td style="text-align: right;">6 hodin</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">3</td> <td style="padding-left: 20px;">Střihání plechu</td> <td style="text-align: right;">4 hodiny</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">4</td> <td style="padding-left: 20px;">Tahení plechu</td> <td style="text-align: right;">6 hodin</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">5</td> <td style="padding-left: 20px;">Slévání</td> <td style="text-align: right;">8 hodin</td> </tr> </table>	1	Zápusťkové kování	6 hodin	2	Objemové tváření materiálu zastudena	6 hodin	3	Střihání plechu	4 hodiny	4	Tahení plechu	6 hodin	5	Slévání	8 hodin
1	Zápusťkové kování	6 hodin														
2	Objemové tváření materiálu zastudena	6 hodin														
3	Střihání plechu	4 hodiny														
4	Tahení plechu	6 hodin														
5	Slévání	8 hodin														



Průvodce studiem

Předmět „**Postupy údržby I**“ navazuje na předmět „**Základy strojírenské technologie**“, který je vyučován v zimním semestru 1. ročníku bakalářského studijního programu B2341 „**Strojírenství**“ oboru 3708R028-40 „**Údržba letadel**“ 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 skriptu pro tento předmět: ČADA, R., ADAMEC, J., TICHÁ, Š., OCHODEK, V., HLAVATÝ, I. a ŠIMČÍK, S. *Základy strojírenské technologie : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1996. 115 s. ISBN 80-7078-300-1. Předmět „**Postupy údržby 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 strojírenství**“ (zásady technického kreslení).

Předmět „**Postupy údržby I**“ je hodnocen 3 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 třemi, 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 strojařskému předmětu potřebnou pozornost.

Studijní opora seznamuje s principy hlavních výrobních metod a s příslušným odborným názvoslovím. 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. **Včasně 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 osvojení základní terminologii a strukturu kurzu, takže se může ve zkuškovém období soustředit na doplnění znalostí učení se detailů a především pochopení logických souvislostí mezi pojmy, k čemuž se student v časové tísní již nestihne dostat. **Průběžné studium** tedy vede k trvalejším a hlubším znalostem, než nárazové učení se v časové tísní.

1 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ


	<h2>Rychlý náhled do problematiky kapitoly</h2>
	<p>První kapitola řeší zápustkové kování. Je v ní popsána volba tvářecího stroje, nakreslení výkresu výkovku, volba dělicí roviny výkovku, zařazení zápustkového výkovku podle složitosti tvaru, volba přesnosti provedení výkovku, určení přídavek na obrábění, technologických přídavek, rozměrových a tvarových úchylek zápustkových výkovků, stanovení tvaru a rozměrů výronkové drážky, výpočet objemu výkovku, výpočet silových parametrů tvářecího stroje, konstrukce ideálního předkovku, výběr přípravných předkovacích dutin a výpočet rozměrů výchozího materiálu.</p> <p>Člení se na následující podkapitoly:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Volba tvářecího stroje <ol style="list-style-type: none"> 1.1.1 Kování na bucharech 1.1.2 Kování na vřetenových lisech 1.1.3 Kování na mechanických klikových lisech 1.2 Nakreslení výkresu výkovku <ol style="list-style-type: none"> 1.2.1 Volba dělicí roviny výkovku 1.2.2 Zařazení zápustkového výkovku podle složitosti tvaru 1.2.3 Volba přesnosti provedení výkovku 1.2.4 Určení přídavek na obrábění 1.2.5 Určování technologických přídavek 1.2.6 Rozměrové a tvarové úchylky zápustkových výkovků 1.3 Stanovení tvaru a rozměrů výronkové drážky 1.4 Výpočet objemu výkovku 1.5 Výpočet silových parametrů tvářecího stroje <ol style="list-style-type: none"> 1.5.1 Určení velikosti bucharu 1.5.2 Výpočet velikosti lisu 1.6 Výběr a sled potřebných operací <ol style="list-style-type: none"> 1.6.1 Konstrukce ideálního předkovku pro výkovky I. skupiny 1.6.2 Výběr přípravných předkovacích dutin 1.6.3 Výpočet rozměrů výchozího materiálu

	<h2>Cíle kapitoly</h2>
	<p>Budete umět:</p> <ul style="list-style-type: none"> • charakterizovat zápustkové kování, • vybrat vhodný tvářecí stroj pro výrobu určitého výkovku, • nakreslit výkres výkovku, • zvolit dělicí rovinu,

	<ul style="list-style-type: none"> • 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. <p>Získáte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • znalosti o typech předkovacích dutin, • přehled o jednotlivých etapách návrhu technologického postupu výroby výkovku. <p>Budete schopni:</p> <ul style="list-style-type: none"> • popsat rozdíly mezi přípravnými a dokončovacími dutinami zápustek, • vysvětlit přesnost provedení výkovku, přídávky na obrábění a technologické, • vypočítat objem a délku polotovaru pro výrobu výkovku.
--	---

	Klíčová slova kapitoly
	<p>Zápustkové kování, objemové tváření zatepla, kov, zápustka, dutina, buchar, lis, výronek, polotovar, technologický postup, tvářecí stroj, úkos, poloměr zaoblení, dělicí rovina, technologický přídavek, výronková drážka, výkovek, ráz, předkovek, postupová zápustka, vřetenový lis, beran, klikový lis, vyhazovač, kovárna, životnost, okuje, kovací teplota, výkres, součást, přesnost, přídavek na obrábění, ostříhování, pýchování, vlákno, přesazení zápustek, provedení výkovku, dno, blána, stěna, hrana, přechod, ořep, sestřižení, jehla, průhyb, střižná plocha, výška můstku výronkové drážky, zásobník, analytická metoda, průřezový obrazec, síla, práce, ideální předkovek, hlava, dřík, předkovací dutina, utínka, ohřev, pec, opal.</p>

	Čas potřebný ke studiu kapitoly: 6 hodin
---	---

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

Zápustkové kování představuje objemové tváření materiálu zatepla, které je charakterizováno řízeným tečením kovu dle tvaru dutiny zápustky. Zápustka je obvykle složena ze dvou dílů. Polotovar, zahřátý na kovací teplotu, se vkládá do dutiny spodní části zápustky a tváří se úderem

bucharu nebo tlakem lisu prostřednictvím horní části zápustky. Dutina zápustky může být otevřená (při kování s výronkem) nebo uzavřená (při kování bez výronku).

U nejčastěji používaných otevřených zápustek nedosednou oba díly na sebe tak, aby dutinu zápustky zcela uzavřely. V dělicí rovině obou polovin zápustky zůstává malá mezera, kterou část kovu vyteče a vytvoří tzv. **výronek**. Částečné otevření zápustky je nutné, protože nelze přesně stanovit objem výchozího materiálu, který by přesně odpovídal objemu dutiny zápustky. Hlavním důvodem jsou výrobní tolerance hutních polotovarů, tolerance dělení polotovarů a dále určité nepřesnosti ve tvaru dutiny zápustky a tolerance kovací teploty. Proto se zakládá do dutiny zápustek polotovaru o určitém přebytku objemu, který pak z dutiny vyteče a tvoří výronek.


Návrh technologického postupu výroby zápustkového výkovku v sobě zahrnuje:

- a) volbu tvářecího stroje,
- b) nakreslení výkresu výkovku,
- c) stanovení tvaru a rozměrů výronkové drážky,
- d) výpočet hmotnosti výkovku,
- e) výpočet silových parametrů tvářecího stroje,
- f) výběr a sled potřebných operací,
- g) výpočet rozměrů výchozího materiálu.

1.1 Volba tvářecího stroje

Rozhodujícím činitelem je strojní park podniku, který je v kovárně k dispozici. Teprve pak se přihlíží k tvarové složitosti výkovku, podle níž se pro výkovek zvolí určitý druh tvářecího stroje tak, aby byla zajištěna ekonomická výroba uvažovaného výkovku.

Zvolený typ stroje ovlivňuje jak *tvar výkovku* a tedy i *tvar dutiny zápustky* (úkosy, poloměry zaoblení, polohu dělicí roviny, technologické přídatky), tak i *volbu materiálu zápustky* a *její konstrukci* (výronkovou drážku, vedení a upínání zápustky apod.). Zvolený stroj ovlivňuje i *technologický postup výroby výkovku*, tj. způsob ohřevu materiálu, možnost mechanizace či automatizace jednotlivých operací, přesnost výroby a opotřebení zápustky, hlučnost provozu, sériovost výroby apod.

	Průvodce studiem
	<p>Pohyblivá část u každého ze strojů, uvedených v kapitolách 1.1.1, 1.1.2 a 1.1.3, se nazývá beran. U bucharu (viz 1.1.1) 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 (viz 1.1.2) i u mechanického klikového lisu (viz 1.1.3) je setrvačnick poháněn motorem. U vřetenového lisu (viz 1.1.2) končí kování v okamžiku, kdy zápustky začnou dosedat na sebe. Používají se uzavřené výronkové drážky. U mechanického klikového lisu (viz 1.1.3) 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.</p>

<p>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 úvratí 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.</p>
--

1.1.1 Kování na bucharech

Používá se pro těžké nebo rozměrné výkovky, které není možno vyrábět postupově, nebo pro výkovky tvarově složitě, pro které je možno předkovky zhotovit výhodně volným kovááním. Dále **pro malé série výkovků**, kde by bylo neekonomické vyrábět dražší zápustku postupovou. Buchar je výhodný pro výrobu malých výkovků, tj. s malou tepelnou kapacitou, protože umožňuje docílení deformace za kratší dobu. Buchary jsou vhodné pro výrobu výškově členitých výkovků, protože stoupavost materiálu je vzhledem k padací rychlosti beranu bucharu lepší než u lisů. Složitější část výkovku se umísťuje do horní poloviny nástroje.

Buchary pracují rázem a výkovek se zhotovuje vždy na několik úderů z předkovku nebo postupným kovááním.

Spotřeba materiálu je při kováání na bucharech obvykle až o 3 % vyšší (větší úkosy a zbytky konců tyče) než při kováání na mechanických klikových lisech.

Zápustkové buchary se liší od bucharů pro volné kováání hlavně tím, že mají stojany připevněny k šabotě, zatímco u bucharů pro volné kováání je šabota samostatně uložena a oddělena od stojanů stroje. Pro volné kováání se používají jedině dvojčinné buchary, pro zápustkové kováání se ještě velmi často používají padací buchary. Pro postupové kováání se dává přednost dvojčinným zápustkovým bucharům a pro zvlášť velké výkovky jsou výhodné protiúderové buchary.

Při kováání na bucharu **lze s výhodou použít pro kováání složitějších výkovků postupové zápustky**, která může obsahovat jak předkovací dutiny, tak i dutinu dokončovací.

1.1.2 Kování na vřetenových lisech

Používá se v **malosériové výrobě** při kováání v otevřených i uzavřených zápustkách, při rovnání, děrování, kalibrování, protlačování do maximální hmotnosti výkovku cca 50 kg.

Vřetenové lisy pracují stejně jako buchary rázem, ale s poměrně malou rychlostí pohybu beranu ($0,3$ až $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), což odpovídá spíše klikovým lisům. Kove se v jednodutinové zápustce jedním úderem, pouze v ojedinělých případech u členitých výkovků se nelze vyhnout kováání větším počtem úderů (snižuje se však produktivita práce).

Kováání v postupových zápustkách se na vřetenových lisech nepoužívá, protože při mimostředním zatížení by došlo ke křížení beranu. V nevyhnutelných případech je možno do zápustky umístit jednu přípravnou operaci, méně náročnou na přemisťování materiálu (pěchovací nebo rovnací operaci).

Energie vřetenového lisu je nahromaděna v rotujícím setrvačnicku. Převod od elektromotoru na setrvačnick bývá obvykle proveden třecími kotouči.

Konstrukce třecích lisů umožňuje využití *vyhazovače*, umístěného v dolním dílu zápustky. Vyhazovač u třecího lisu zastává dvě funkce – jednak rozevívá obě části dělené zápustky a umožňuje tak vyjímání výkovků, jednak usnadňuje vyjímání výkovků ze zápustky, takže výkovky mohou být provedeny s menším úkosem.

1.1.3 Kování na mechanických klikových lisech


Používá se v moderních kovárnách, vyrábějících *velké série zápustkových výkovků* pro strojírenský průmysl. Vzhledem k vysoké ceně lisu a počátečním nákladům na zápustky je výroba na lisech levnější než na bucharech pouze u velkých sérií, pokud hodinový kusový výkon je o 80 až 100 % vyšší a životnost zápustky o 100 % větší, než při kování na bucharech. Z hlediska mechanizace a automatizace kovacího cyklu jsou klikové lisy mnohem výhodnější než buchary.

Mechanické klikové lisy využívají pro vykonání přetvárné práce energii rotujícího setrvačnicku. Pohyb beranu je odvozen od zalomeného hřídele nebo výstředníku. Ke hřídeli je spojkou připojen stále se otáčející setrvačnick. Zapne-li se spojka, přenáší se pohyb na hřídel a tím i na beran. Při pohybu dolů koná beran lisu přetvárnou práci. Potřebnou energii dodává setrvačnick.

Mechanické klikové lisy pracují klidným tlakem a jejich zdvih (při zanedbání pružení) je konstantní. Při procesu kování na klikových lisech musí být provedena na jeden zdvih v jedné zápustkové dutině jedna operace.

Při použití klikového lisu, vzhledem ke stálému zdvihu beranu, *nelze použít postupových zápustek*. Pokud jsou u výkovku nutné prodlužovací a rozdělovací operace, je třeba zařadit zvlášť předkování (na kovacích válcích, příčným klínovým válcováním, na bucharu, na vodorovném kovacím lisu apod.).

Nevýhodou kování klidným tlakem na kovacích lisech je okolnost, že *okuje, vznikající při ohřevu na kovací teplotu, se zalisovávají do výkovku*. Z těchto příčin je nutno před kováním buď okuje odstranit, nebo volit takový režim ohřevu, při kterém je vznik okují snížen na minimální možnou míru.

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady využití jednotlivých tvářecích strojů při výrobě výkovků v praxi.

1.2 Nakreslení výkresu výkovku

Všeobecné zásady pro zpracování výkresu výkovku jsou uvedeny v ČSN 42 9030. Je nezbytné přihlídnout ke zvláštnostem kování na jednotlivých druzích tvářecích strojů, na nich závisí především velikost technologických přídavek, mezních úchylek a úkosů.

Podkladem pro zhotovení výkresu výkovku je výkres součásti, jejímž polotovarem je výkovek. Tvar a rozměry součásti určují rozhodujícím způsobem výrobní technologii a volbu tvářecího stroje. Výkres výkovku musí obsahovat všechny nezbytné rozměry a řezy nutné pro konstrukci dutiny zápustky. Rozměry na výkresu výkovku musí obsahovat všechny úchytky rozměrů a tvarů, pokud nejsou uvedeny samostatně jako hodnoty platné pro celý výkovek.

Výkovek se většinou kreslí v měřítku 1 : 1 tak, jak leží v zápustce. *Dělicí rovina* se označuje plnou tlustou čarou s ležatými křížky na koncích, které se rovněž kreslí plnou tlustou čarou. Nad razítkem výkresu výkovku se uvádí *značka neobrobeného povrchu*. *Obrysy hotové součásti* se do tvaru výkovku zakreslují čerchovanou čarou se dvěma tečkami a nekótuji se. Jsou tak zřejmé přídatky na obrábění na funkčních plochách. Snahou je následně obrábět co nejméně ploch. Na plochách, které jsou kolmé k dělicí rovině, jsou technologické přídatky – *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.

Otvory se navrhují 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 střížnou sílu.

Výkovek se pojmenovává stejně jako hotová součást, do závorky za nebo pod název se připisuje slovo VÝKOVEK. Nad rohové razítko výkresu výkovku se píše *poznámka o provedení výkovku a stupních přesnosti rozměrů kolmo k rázu a ve směru rázu*. Dalšími případnými poznámkami jsou nekótované úkosy, nekótované poloměry, povrchové defekty pod max. rozměr atd.

Při obvyklé přesnosti provedení výkovku se mezní úchyly k jednotlivým rozměrům nezapisují. Při požadavku vyšší přesnosti nebo přesnosti podle dohody se zapisují číselné hodnoty mezních úchylek k jednotlivým rozměrům.

Pro zvolenou výrobní technologii je třeba:

- a) zvolit dělicí rovinu,
- b) zařadit zápustkový výkovek podle složitosti tvaru,
- c) zvolit přesnost provedení výkovku,
- d) určit přídatky na obrábění,
- e) upravit tvar výkovku technologickými přídatky,
- f) určit rozměrové a tvarové úchyly zápustkového výkovku.

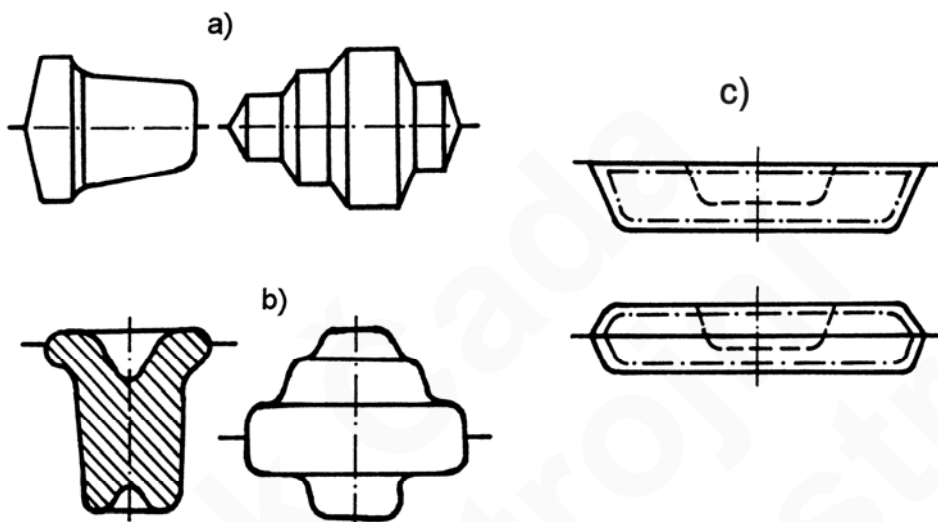
1.2.1 Volba dělicí roviny výkovku

Dělicí rovina mezi horním a spodním dílem zápustky bývá rovná nebo lomená, může však být složena (zvláště u tvarově členitých součástí) z úseků vodorovných, šikmých i válcových. U některých druhů výkovků, např. lopatek, je dělicí plocha složitější a navrhuje se pomocí prostorových souřadnic.


Hlavní zásady pro volbu dělicí roviny jsou následující:

- a) Dělicí rovina musí zajistit snadné vyjímání výkovku ze zápustky.
- b) Dělicí rovina se obvykle umísťuje do roviny dvou největších vzájemně kolmých rozměrů výkovku, nebo do roviny souměrnosti výkovku (obr. 1.1 a). Tato zásada se nerespektuje, jestliže jiná volba dělicí roviny umožňuje zmenšení obvodu výronku za současného zjednodušení ostřihování výronku (obr. 1.1 b).
- c) Dělicí rovina by měla umožnit dokonalé ostřížení výronku.
- d) Zaplňování dutiny zápustky je výhodnější pěchováním než protlačováním.

- e) Vyšší část výkovku se umísťuje do horního dílu zápustky.
- f) Poloha dělicí roviny by měla kladně ovlivnit průběh vláken a tím i pevnost součásti.
- g) Dělicí rovina se volí rovněž s ohledem na možnost kontroly vzájemného přesazení zápustek (obr. 1.1 c).



Obr. 1.1 Uplatnění zásad pro volbu dělicí roviny zápustkových výkovků

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

1.2.2 Zařazení zápustkového výkovku podle složitosti tvaru

Zápustkové výkovky se vzhledem ke složitosti tvaru rozdělují podle:

- a) tvarového druhu,
- b) tvarové třídy,
- c) tvarové skupiny,
- d) tvarové podskupiny (přesahu poměrů),
- e) technologického hlediska (polohy dělicí plochy vůči hlavní ose).

Podle ČSN 42 9002 se výkovky označují číselně ve tvaru **XXXX-X** ve významu a)b)c)d)-e)

První číslice v číselném označení výkovku určuje tvarový druh (Xxxx-x):

- 4 výkovky kruhového průřezu plné,
- 5 výkovky kruhového průřezu duté,
- 6 výkovky hranolovitých tvarů plné i duté,
- 7 výkovky kombinovaných tvarů plné i duté,
- 8 výkovky s ohnutou osou,
- 9 výkovky složitých tvarů s přímou dělicí plochou,
- 0 výkovky s lomenou dělicí plochou.

Druhá číslice v číselném označení výkovku určuje tvarovou třídu (xXxx-x).

Výkovky tvarového druhu 4, 5, 6, 7 a 8 se rozdělují do následujících tvarových tříd:

- 1 konstantní průřez,
- 2 kuželovité (jehlanovité, klínovité),
- 3 jednostranně osazené,
- 4 oboustranně osazené,
- 5 osazené s kuzelem (jehlanem, klínem),
- 6 prosazené,
- 7 kombinované,
- 8 kombinované s kuzelem (jehlanem, klínem),
- 9 členité (u tvarového druhu 8 – výkovky háků),
- 0 neobsazeno.

Výkovky zařazené podle tvarového druhu 9 a 0 se rozdělují do následujících tvarových tříd:

- 1 převážně kruhový průřez,
- 2 převážně plochý průřez,
- 3 s hlavou a jedním ramenem,
- 4 s hlavou a více rameny,
- 5 jednostranně rozvidlené,
- 6 oboustranně rozvidlené,
- 7 zalomené,
- 8 šroubovité (stoupání < 1) – pouze u tvarového druhu 0,
- 9 šroubovité (stoupání > 1) – pouze u tvarového druhu 0.

Třetí číslice v číselném označení výkovku určuje tvarovou skupinu (xxXx-x).

Výkovky, zařazené do jednotlivých tvarových tříd, jsou čísla 1 až 8 dále tříděny podle štíhlostních a jiných tvarových poměrů.

Výkovky druhu 4, 6 a 7 s dělicí plochou ve směru hlavní osy (technologické hledisko 1, 2) jsou děleny na *výkovky bez otvoru* (označení čísla 1 až 4) a na *výkovky s otvorem* (označené čísla 5 až 8):

- 1 výkovky bez otvoru $L \leq 3B$ a $H \leq 2H_1$,
- 2 výkovky bez otvoru $L \leq 3B$ a $H > 2H_1$,
- 3 výkovky bez otvoru $L > 3B$ a $H \leq 2H_1$,
- 4 výkovky bez otvoru $L > 3B$ a $H > 2H_1$,
- 5 výkovky s otvorem $L \leq 3B$ a $H \leq 2H_1$,
- 6 výkovky s otvorem $L \leq 3B$ a $H > 2H_1$,
- 7 výkovky s otvorem $L > 3B$ a $H \leq 2H_1$,
- 8 výkovky s otvorem $L > 3B$ a $H > 2H_1$.

Výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu (technologické hledisko 3, 4, 5) a výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech (technologické hledisko 6, 7, 8) jsou děleny na *výkovky plné* (označené čísla 1 až 4) a na *výkovky duté* (označené čísla 5 až 8):

- 1 výkovky plné $H \leq B$ a $H \leq 2H_1$,
- 2 výkovky plné $H \leq B$ a $H > 2H_1$,
- 3 výkovky plné $H > B$ a $B \leq 2B_1$,
- 4 výkovky plné $H > B$ a $B > 2B_1$,
- 5 výkovky duté $H \leq B$ a $H \leq 2H_1$,
- 6 výkovky duté $H \leq B$ a $H > 2H_1$,
- 7 výkovky duté $H > B$ a $B \leq 2B_1$,
- 8 výkovky duté $H > B$ a $B > 2B_1$.

- kde je
- H – největší výška výkovku ve směru rázu (mm),
 - B – největší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu (mm),
 - H_1 – nejmenší výška výkovku ve směru rázu, nejmenší tloušťka blány nebo dna výkovku (mm),
 - B_1 – nejmenší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu (mm),
 - L – největší délka výkovku ve směru kolmo k rázu (mm).

Výkovky se rozdělují na **výkovky nízké** a **vysoké** nebo na výkovky **krátké** a **dlouhé**. Dále se třídí výkovky podle vzájemných poměrů výšek, průměrů, šířek, velikosti úhlu ohybu nebo počtem ohybů, velikostí rozvidlení, počtu zalomení, úhlu polohy jednotlivých ramen zalomených hřídelů a velikosti úhlu natočení listů lopatek.

Čtvrtá číslice v číselném označení výkovku určuje tvarovou podskupinu (xxxX-x).

Zápustkové výkovky, které **přesahují stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých veličin**, se označují podle jednotlivých vzájemných poměrů čísly 1 až 9. Zápustkové výkovky, které nepřesahují stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých veličin, se označují číslem 0.

- 1 přesah v poměru $L : B (D)$ nebo $H : B (D)$,
- 2 přesah v poměru $H : H_1 (D : D_1)$,
- 3 přesah v poměru $B : B_1$,
- 4 přesah v poměru $F : F_1$,
- 5 přesah v hloubce dutiny $h : d$ nebo úhlu listů lopatek β ,
- 6 přesah v tloušťce dna nebo blány H_1 ,
- 7 přesah v tloušťce stěny s nebo velikosti rozvidlení $l : b$,
- 8 přesah v zaoblení přechodů a hran R, r ,
- 9 kombinace několika přesahů,
- 0 bez přesahu.

kde je

- D – největší průměr výkovku (mm),
- D_1 – nejmenší průměr výkovku, průměr výchozího materiálu u výkovků zhotovených na vodorovném kovací lisu (mm),
- F – největší plocha průřezu výkovku ($B \times H$) (mm),
- F_1 – nejmenší plocha průřezu výkovku ($B_1 \times H_1$) (mm),
- h – největší hloubka dutiny výkovku (mm),
- d – největší průměr dutiny výkovku (mm),
- l – největší délka rozvidlení (mm),
- b – největší šířka rozvidlení (mm),
- R – poloměr zaoblení přechodů (mm),
- r – poloměr zaoblení hran (mm).

Pátá číslice v číselném označení výkovku určuje technologické hledisko (xxxx-X):

- 1 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy **souměrné**,
- 2 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy **nesouměrné**,
- 3 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu **souměrné**,
- 4 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu **nesouměrné**,

- 5 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu **s ozubením**,
- 6 výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech **souměrné**,
- 7 výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech **nesouměrné**,
- 8 výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech **s ozubením**,
- 9 výkovky s více dělicími plochami,
- 0 neobsazeno.

Výkovek je považován za souměrný, má-li alespoň dvě roviny souměrnosti na sebe kolmé.

1.2.3 Volba přesnosti provedení výkovku

Stupně přesnosti výkovku v tab. 1.1 se určují *na základě zařazení výkovku podle složitosti tvaru* dle ČSN 42 9002.


Tab. 1.1 Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení (ČSN 42 9030)

Rozdělení podle ČSN 42 9002					Stupeň přesnosti pro provedení					
tvarový druh	tvarová třída	tvarová skupina	tvarová podsk.	technol. hledisko	obvyklé		přesné		velmi přesné	
					⊥		⊥		⊥	
4; 6; 7	1 až 9	1; 5	0 až 9	1 až 2	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 6; 7			5	6	4	5	3	4
		4; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	1;5	0 až 9	3; 4; 5	5	5	4	4	3	3
		2;3;4			5	6	4	5	3	4
		6;7;8			6	7	5	6	4	5
4;5;6;7	1 až 5; 9	1 až 8	0 až 9	6; 7; 8; 9	6	7	5	6	4	5
4;5;6;7	6 až 8	1 až 8	0 až 9	6; 7; 8; 9	7	7	6	6	5	5
8	1 až 8	1;2;3;4	0 až 9	1 až 9	6	7	5	6	4	5
8	1 až 8	5;6	0 až 9	1 až 9	7	7	6	6	5	5
8	9	1;2	0 až 9	1 až 9	6	7	5	6	4	5
8	9	3;4;5;6;7	0 až 9	1 až 9	7	7	6	6	5	5
9; 0	1 až 9	1; 2; 3; 4	0 až 9	1 až 9	6	6	5	5	4	4
9; 0	1 až 9	5; 6; 7; 8	0 až 9	1 až 9	7	7	6	6	5	5

Význam označení v tabulce: ⊥ - kolmo k rázu, || - ve směru rázu.


Přesnost provedení výkovků se označuje:

- ČSN 42 9030.1 – obvyklé provedení,
- ČSN 42 9030.2 – přesné provedení,
- ČSN 42 9030.3 – velmi přesné provedení,
- ČSN 42 9030.9 – provedení podle dohody.

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

1.2.4 Určení přídavků na obrábění

Přidavek na obrábění je *přidavek materiálu na plochy, které se mají obrábět*. Přidavky na obrábění ploch výkovků se určují podle ČSN 42 9030. Jsou stejné pro všechny rozměry výkovku a určují se podle přesnosti výroby největšího rozměru hotového výrobku ve směru kolmo k rázu a podle největší výšky hotového výrobku.

	Průvodce studiem
	Přidavky na obrábění se dávají na funkční plochy, u kterých se teprve obráběním dosáhne kvalitní povrch s předepsanou drsností.

Přidavky na obrábění ploch výkovků jsou rozlišovány:

- a) *pro obvyklé provedení* ... tab. 1.2,
- b) *pro přesné provedení* ... tab. 1.3,
- c) *pro velmi přesné provedení* ... tab. 1.4.

Tab. 1.2 Přidavky na obrábění ploch výkovků pro *obvyklé provedení* (ČSN 42 9030)

Rozměry v mm		Největší výška hotového výrobku							
Největší průměr, střední šířka a délka výrobku ve směru kolmo k rázu		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes	do	přidavky na obrábění ploch							
0	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	-	-	-
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	-	-
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	-	-
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	-
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	-
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
400	630	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
630	1000	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

Tab. 1.3 Přidavky na obrábění ploch výkovků pro **přesné provedení** (ČSN 42 9030)

Rozměry v mm

Největší průměr, střední šířka a délka výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes	do	přidavky na obrábění ploch							
0	25	1,3	1,3	1,8	1,8	1,8	-	-	-
25	40	1,3	1,8	1,8	1,8	2,2	2,2	-	-
40	63	1,8	1,8	1,8	2,2	2,2	2,2	-	-
63	100	1,8	1,8	2,2	2,2	2,2	2,7	3,2	-
100	160	1,8	2,2	2,2	2,2	2,7	3,2	3,2	-
160	250	2,2	2,2	2,2	2,7	3,2	3,2	3,5	4,0
250	400	2,2	2,2	2,7	3,2	3,2	3,5	4,0	4,5
400	630	2,2	2,7	3,2	3,2	3,5	4,0	4,5	5,0
630	1000	2,7	3,2	3,2	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5

Tab. 1.4 Přidavky na obrábění ploch výkovků pro **velmi přesné provedení** (ČSN 42 9030)

Rozměry v mm

Největší průměr, střední šířka a délka výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes	do	přidavky na obrábění ploch							
0	25	1,1	1,1	1,6	1,6	1,6	-	-	-
25	40	1,1	1,6	1,6	1,6	1,9	1,9	-	-
40	63	1,6	1,6	1,6	1,9	1,9	1,9	-	-
63	100	1,6	1,6	1,9	1,9	1,9	2,4	2,8	-
100	160	1,6	1,9	1,9	1,9	2,4	2,8	2,8	-
160	250	1,9	1,9	1,9	2,4	2,8	2,8	3,0	3,5
250	400	1,9	1,9	2,4	2,8	2,8	3,0	3,5	4,0
400	630	1,9	2,4	2,8	2,8	3,0	3,5	4,0	4,5
630	1000	2,4	2,8	2,8	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0

U nerotačních tvarů je největší rozměr výrobku ve směru kolmo k rázu definován střední hodnotou součtu největší šířky a délky výrobku.

Přidavky na obrábění se vztahují na plochu, u průměrů nebo jiných tvarových částí, obráběných po obvodu, je nutno hodnoty zdvojnásobit.



Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady použití přidavků na obrábění u konkrétních výkovků.

1.2.5 Určování technologických přídavek

Technologický přídavek je *přídavek materiálu, jímž se doplňuje z hlediska kovářské technologie tvar výkovku na tvar vhodný pro kování.*

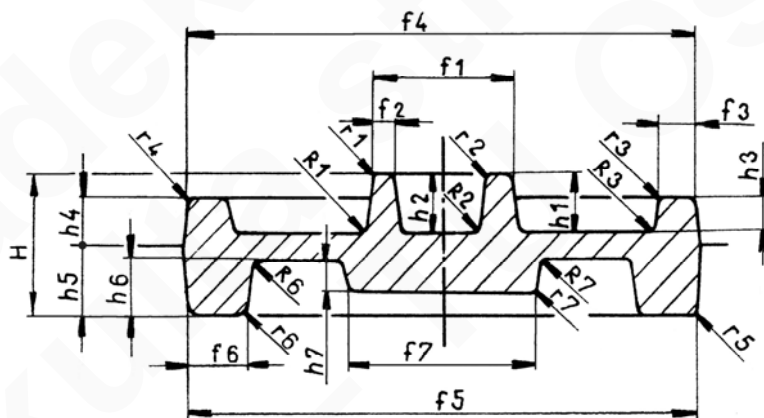
Při konstrukci výkovku je třeba vzít v úvahu mezní hodnoty následujících tvarových prvků:

- zaoblení hran a přechodů,
- tloušťka dna, případně blány výkovku,
- tloušťka stěny výkovku,
- boční úkosy.

Poloměry zaoblení hran r (obr. 1.2) uvedené v tab. 1.5 platí pro neobráběné hrany výkovku. Pro obráběné hrany výkovku se mezní hodnota r stanoví z podmínky zachování přídavek na obrábění v oblasti hrany.

Poloměry zaoblení přechodů R uvedené v tab. 1.5 platí pro neobráběné přechody na výkovku a pro stanovení technologického přídavek pro obráběné přechody na výkovku.

Pro výpočet poměru h/f se výška výkovku odečítá v přilehlé části otvoru (vybrání).



Obr. 1.2 Zaoblení hran r a přechodů R výkovků (H – největší výška výkovku ve směru rázu, h – hloubka dutiny výkovku, výška osazení nebo výstupku, f – šířka příslušné části výkovku, šířka osazení nebo výstupku u uvažovaného poloměru zaoblení)

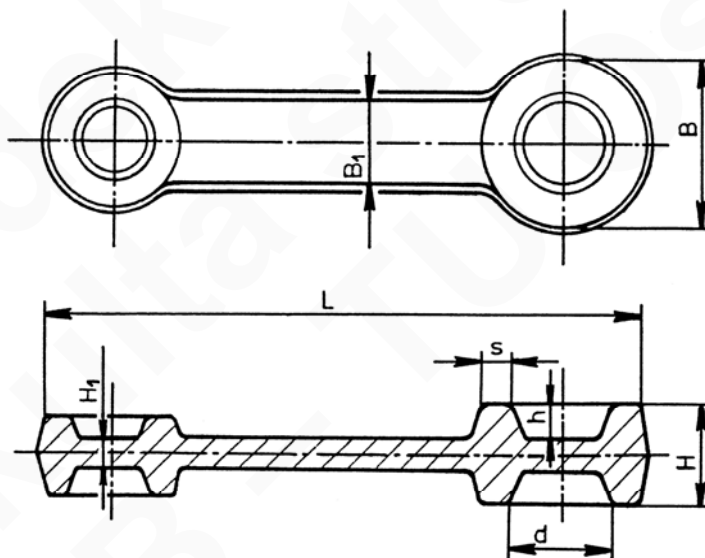
Tab. 1.5 Poloměry zaoblení hran r a přechodů R výkovků (ČSN 42 9030)

Rozměry v mm

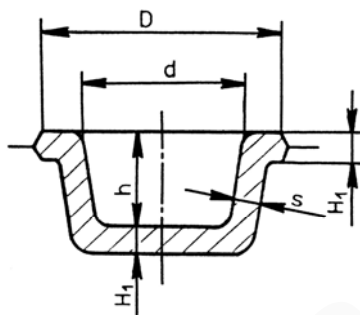
Výška (hloubka) h		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru h/f					
		do 2		přes 2 do 4		přes 4	
přes	do	r	R	r	R	r	R
0	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	16	40
160	250	12	30	16	45	25	65
250	400	20	50	25	75	40	100
400	630	30	80	40	120	65	150

Hodnoty nejmenší tloušťky dna nebo blány výkovku H_1 , uvedené v tab. 1.6, platí pro obráběné i neobráběné plochy (obr. 1.3 a 1.4).

Hodnoty nejmenší tloušťky stěny s výkovku, uvedené v tab. 1.6, slouží jako směrnice pro konstrukci výrobku a pro stanovení přesahu u výkovků podle ČSN 42 9002.

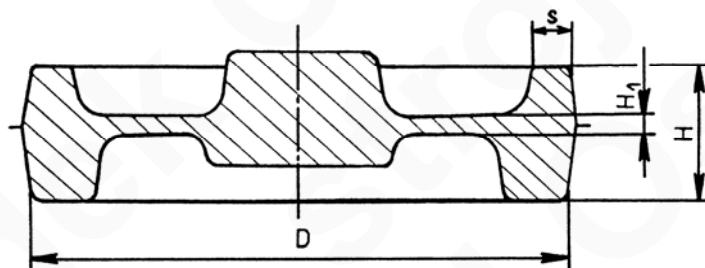


Obr. 1.3 Výkovek nerotačního tvaru (B – největší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu, B_1 – nejmenší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu, L – největší délka výkovku ve směru kolmo k rázu, H – největší výška výkovku ve směru rázu, H_1 – nejmenší tloušťka blány, nejmenší výška výkovku ve směru rázu, nejmenší tloušťka dna výkovku, h – hloubka dutiny výkovku, d – největší průměr dutiny, s – tloušťka stěny výkovku)



Obr. 1.4 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)

Při určování nejmenší tloušťky disku H_1 se za největší výšku výkovku ve směru rázu H považuje výška v přilehlé vnější části disku (obr. 1.5).




Obr. 1.5 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)

Tab. 1.6 Nejmenší tloušťka dna, blány, disku H_1 a stěny s výkovku

Rozměry v mm


Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (B, D)		Největší výška výkovku H							
		přes 0	10	25	40	63	100	160	250
		do 10	25	40	63	100	160	250	400
Nejmenší tloušťka dna, blány, disku H_1 a stěny s									
přes	do 40	4	5	6	7	9	-	-	-
40	63	5	5	6	7	9	11	-	-
63	100	5	6	7	9	11	13	15	-
100	160	6	7	9	11	13	15	17	20
160	250	8	9	11	13	15	17	20	25
250	400	10	13	15	17	20	25	30	35
400	630	-	-	20	25	30	35	40	50
630	1000	-	-	25	30	35	40	50	60

	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.

Hodnoty úkosů zápustkových výkovků pro opracované i neopracované plochy jsou uvedeny v tab. 1.7.

Tab. 1.7 Úkosy zápustkových výkovků (ČSN 42 9030)

Úkosy	vnější	vnitřní
Zápustkové výkovky se běžně vyrábějí s úkosy	3°	7°
Vzhledem k rozdílné úrovni technologického zařízení výrobců výkovků se dovolují úkosy:		
pro buchary a lisy bez vyhazovače	7°	10°
lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
vodorovné kovací stroje	0° až 5°	0° až 5°

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady použití technologických přídavků u konkrétních výkovků.

1.2.6 Rozměrové a tvarové úchytky zápustkových výkovků

Mezní úchytky jsou úchytky rozměrů od jmenovitých rozměrů výkovku. **Úchytky tvaru** je úchytky od požadovaného geometrického tvaru výkovku.

Dle ČSN 42 9030 úchytky rozměrů a tvarů zahrnují:

- a) úchytky rozměrů,
- b) přesazení,
- c) otřep,
- d) prohnutí.

Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků se stanoví podle stupně přesnosti výkovku z největších rozměrů výkovku ve směru kolmo k rázu a ve směru rázu z tab. 1.8, 1.9, 1.10, 1.11 nebo 1.12. Pro vnější rozměry výkovků lze mezní úchytky odečíst přímo z těchto tabulek, pro vnitřní rozměry výkovků je třeba u takto odečtených hodnot přehodit znaménka. Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení výkovků jsou uvedeny v tab. 1.1.

Tab. 1.8 Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro **stupeň přesnosti 3** (ČSN 42 9030)

Rozměry v mm

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L + B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes 0 do 25	25 40	40 63	63 100	100 160	160 250	250 400	400 630
do 25	mezní úchytky	+ 0,25 - 0,10	+ 0,25 - 0,15	+ 0,30 - 0,15	+ 0,35 - 0,15	- -	- -	- -	- -
	tolerance	0,35	0,40	0,45	0,50	-	-	-	-
přes 25 do 40	mezní úchytky	+ 0,25 0,15	+ 0,30 0,15	+ 0,35 0,15	+ 0,40 0,15	- -	- -	- -	- -
	tolerance	0,40	0,45	0,50	0,55	-	-	-	-
přes 40 do 63	mezní úchytky	+ 0,30 0,15	+ 0,35 0,15	+ 0,40 0,15	+ 0,40 0,20	+ 0,45 0,25	- -	- -	- -
	tolerance	0,45	0,50	0,55	0,60	0,70	-	-	-
přes 63 do 100	mezní úchytky	+ 0,40 - 0,15	+ 0,40 - 0,20	+ 0,45 - 0,20	+ 0,45 - 0,25	+ 0,55 - 0,25	+ 0,65 - 0,30	- -	- -
	tolerance	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80	0,95	-	-
přes 100 do 160	mezní úchytky	+ 0,45 - 0,20	+ 0,45 - 0,25	+ 0,50 - 0,25	+ 0,55 - 0,25	+ 0,60 - 0,30	+ 0,70 - 0,35	- -	- -
	tolerance	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,05	-	-
přes 160 do 250	mezní úchytky	+ 0,55 - 0,25	+ 0,55 - 0,30	+ 0,60 - 0,30	+ 0,65 - 0,30	+ 0,70 - 0,35	+ 0,80 - 0,40	+ 0,95 - 0,45	- -
	tolerance	0,80	0,85	0,90	0,95	1,05	1,20	1,40	-
přes 250 do 400	mezní úchytky	+ 0,65 - 0,35	+ 0,70 - 0,35	+ 0,75 - 0,35	+ 0,80 - 0,35	+ 0,85 - 0,40	+ 0,95 - 0,45	+ 1,10 - 0,50	- -
	tolerance	1,00	1,05	1,10	1,15	1,25	1,40	1,60	-

U nerotačních tvarů je největší rozměr výrobku ve směru kolmo k rázu definován střední hodnotou součtu největší šířky a délky výkovku.

Mezní úchytky a tolerance největšího průměru výkovku D nebo $0,5 \cdot (L + B)$ ve směru kolmo k rázu a dané výšky se v rozmezí od 1000 do 1600 mm zvyšují o 25 % a v rozmezí od 1600 do 2500 mm o 50 % oproti rozměrům v rozmezí od 630 do 1000 mm.

Tab. 1.9 Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 4

Rozměry v mm

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L + B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (h)							
		přes 0	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
do 25	mezní úchytky	+ 0,3 - 0,2	+ 0,4 - 0,2	+ 0,5 - 0,2	+ 0,5 - 0,3	+ 0,6 - 0,3	- -	- -	- -
	tolerance	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	-	-	-
přes 25 do 40	mezní úchytky	+ 0,4 - 0,2	+ 0,5 - 0,2	+ 0,5 - 0,3	+ 0,6 - 0,3	+ 0,7 - 0,3	+ 0,8 - 0,4	- -	- -
	tolerance	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	-	-
přes 40 do 63	mezní úchytky	+ 0,5 - 0,2	+ 0,5 - 0,3	+ 0,6 - 0,3	+ 0,7 - 0,3	+ 0,7 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	- -	- -
	tolerance	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	-	-
přes 63 do 100	mezní úchytky	+ 0,5 - 0,3	+ 0,6 - 0,3	+ 0,7 - 0,3	+ 0,7 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,5	+ 1,2 - 0,5	- -
	tolerance	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	-
přes 100 do 160	mezní úchytky	+ 0,6 - 0,3	+ 0,7 - 0,3	+ 0,7 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	+ 1,0 - 0,5	+ 1,2 - 0,6	- -
	tolerance	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	-
přes 160 do 250	mezní úchytky	+ 0,7 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	+ 0,9 - 0,5	+ 1,0 - 0,5	+ 1,2 - 0,5	+ 1,4 - 0,6	+ 1,6 - 0,8
	tolerance	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,4
přes 250 do 400	mezní úchytky	+ 0,9 - 0,5	+ 1,0 - 0,5	+ 1,1 - 0,5	+ 1,2 - 0,5	+ 1,2 - 0,6	+ 1,4 - 0,6	+ 1,6 - 0,7	+ 1,8 - 0,9
	tolerance	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,7
přes 400 do 630	mezní úchytky	+ 1,2 - 0,5	+ 1,2 + 0,6	+ 1,3 - 0,6	+ 1,4 - 0,6	+ 1,4 - 0,7	+ 1,6 - 0,7	+ 1,8 - 0,8	+ 2,0 - 1,0
	tolerance	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,6	3,0
přes 630 do 1000	mezní úchytky	+ 1,5 - 0,7	+ 1,6 - 0,7	+ 1,6 - 0,8	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 0,8	+ 1,9 - 0,9	+ 2,1 - 1,0	+ 2,3 - 1,2
	tolerance	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3,1	3,5

Tab. 1.10 (1. část) Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 5

Rozměry v mm

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L + B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (h)							
		přes 0	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
do 25	mezní úchytky	+ 0,6 - 0,3	+ 0,6 - 0,4	+ 0,7 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 1,0 - 0,4	- -	- -	- -
	tolerance	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	-	-	-
přes 25 do 40	mezní úchytky	+ 0,7 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	+ 1,0 - 0,4	+ 1,1 - 0,5	+ 1,2 - 0,6	- -	- -
	tolerance	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	-	-

Tab. 1.10 (2. část) Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 5

Rozměry v mm

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L + B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes 0 do 25	25 40	40 63	63 100	100 160	160 250	250 400	400 630
přes 40 do 63	mezní úchytky	+ 0,9 - 0,4	+ 1,0 - 0,4	+ 1,0 - 0,5	+ 1,1 - 0,5	+ 1,2 - 0,6	+ 1,4 - 0,6	- -	- -
	tolerance	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	-	-
přes 63 do 100	mezní úchytky	+ 1,0 - 0,5	+ 1,1 - 0,5	+ 1,1 - 0,6	+ 1,2 - 0,6	+ 1,4 - 0,6	+ 1,5 - 0,7	+ 1,7 - 0,8	- -
	tolerance	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,5	-
přes 100 do 160	mezní úchytky	+ 1,1 - 0,6	+ 1,2 - 0,6	+ 1,3 - 0,6	+ 1,4 - 0,6	+ 1,5 - 0,7	+ 1,6 - 0,8	+ 1,8 - 0,9	- -
	tolerance	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,7	-
přes 160 do 250	mezní úchytky	+ 1,4 - 0,6	+ 1,4 - 0,7	+ 1,5 - 0,7	+ 1,5 - 0,8	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 0,9	+ 2,0 - 1,0	+ 2,3 - 1,2
	tolerance	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,5
přes 250 do 400	mezní úchytky	+ 1,6 - 0,8	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 0,8	+ 1,8 - 0,9	+ 1,9 - 1,0	+ 2,1 - 1,0	+ 2,3 - 1,1	+ 2,6 - 1,3
	tolerance	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,9
přes 400 do 630	mezní úchytky	+ 1,9 - 1,0	+ 2,0 - 1,0	+ 2,1 - 1,0	+ 2,1 - 1,1	+ 2,3 - 1,1	+ 2,4 - 1,2	+ 2,6 - 1,3	+ 3,0 - 1,4
	tolerance	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,6	3,9	4,4
přes 630 do 1000	mezní úchytky	+ 2,5 - 1,3	+ 2,6 - 1,3	+ 2,7 - 1,3	+ 2,7 - 1,4	+ 2,9 - 1,4	+ 3,0 - 1,5	+ 3,2 - 1,6	+ 3,5 - 1,8
	tolerance	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,5	4,8	5,3

Tab. 1.11 (1. část) Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 6

Rozměry v mm

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L + B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes 0 do 25	25 40	40 63	63 100	100 160	160 250	250 400	400 630
do 25	mezní úchytky	+ 1,0 - 0,5	+ 1,1 - 0,5	+ 1,1 - 0,6	+ 1,3 - 0,6	+ 1,4 - 0,7	- -	- -	- -
	tolerance	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	-	-	-
přes 25 do 40	mezní úchytky	+ 1,1 - 0,6	+ 1,2 - 0,6	+ 1,3 - 0,6	+ 1,4 - 0,7	+ 1,6 - 0,7	+ 1,8 - 0,8	- -	- -
	tolerance	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6	-	-
přes 40 do 63	mezní úchytky	+ 1,4 - 0,6	+ 1,4 - 0,7	+ 1,5 - 0,7	+ 1,6 - 0,8	+ 1,8 - 0,8	+ 1,9 - 1,0	- -	- -
	tolerance	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	2,9	-	-
přes 63 do 100	mezní úchytky	+ 1,6 - 0,8	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 0,8	+ 1,9 - 0,9	+ 2,0 - 1,0	+ 2,2 - 1,1	+ 2,5 - 1,2	- -
	tolerance	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,3	3,7	-
přes 100 do 160	mezní úchytky	+ 1,9 - 0,9	+ 1,9 - 1,0	+ 2,0 - 1,0	+ 2,1 - 1,1	+ 2,3 - 1,1	+ 2,5 - 1,2	+ 2,7 - 1,4	- -
	tolerance	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,7	4,1	-
přes 160 do 250	mezní úchytky	+ 2,1 - 1,1	+ 2,2 - 1,1	+ 2,3 - 1,1	+ 2,4 - 1,2	+ 2,5 - 1,3	+ 2,7 - 1,4	+ 3,0 - 1,5	+ 3,4 - 1,7
	tolerance	3,2	3,3	3,4	3,6	3,8	4,1	4,5	5,1

Tab. 1.11 (2. část) Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 6

Rozměry v mm

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L + B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes 0	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes 250	mezní úchytky	+ 2,5	+ 2,6	+ 2,7	+ 2,8	+ 2,9	+ 3,1	+ 3,4	+ 3,8
	úchytky	- 1,3	- 1,3	- 1,3	- 1,4	- 1,5	- 1,6	- 1,7	- 1,9
do 400	tolerance	3,8	3,9	4,0	4,2	4,4	4,7	5,1	5,7
	mezní úchytky	+ 3,1	+ 3,1	+ 3,2	+ 3,3	+ 3,5	+ 3,7	+ 3,9	+ 4,3
přes 400	úchytky	- 1,5	- 1,6	- 1,6	- 1,7	- 1,7	- 1,8	- 2,0	- 2,2
	do 630	tolerance	4,6	4,7	4,8	5,0	5,2	5,5	5,9
přes 630	mezní úchytky	+ 4,1	+ 4,2	+ 4,2	+ 4,4	+ 4,5	+ 4,7	+ 5,0	+ 5,4
	úchytky	- 2,1	- 2,1	- 2,2	- 2,2	- 2,3	- 2,4	- 2,5	- 2,7
do 1000	tolerance	6,2	6,3	6,4	6,6	6,8	7,1	7,5	8,1

Tab. 1.12 Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 7


Rozměry v mm

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L + B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes 0	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
do 25	mezní úchytky	+ 1,6	+ 1,7	+ 1,8	+ 2,0	+ 2,2	-	-	-
	úchytky	- 0,8	- 0,8	- 0,9	- 1,0	- 1,1	-	-	-
	tolerance	2,4	2,5	2,7	3,0	3,3	-	-	-
přes 25	mezní úchytky	+ 1,8	+ 1,9	+ 2,0	+ 2,2	+ 2,4	+ 2,7	-	-
	úchytky	- 0,9	- 0,9	- 1,0	- 1,1	- 1,2	- 1,3	-	-
	do 40	tolerance	2,7	2,8	3,0	3,3	3,6	4,0	-
přes 40	mezní úchytky	+ 2,1	+ 2,2	+ 2,3	+ 2,5	+ 2,7	+ 3,0	-	-
	úchytky	- 1,1	- 1,1	- 1,2	- 1,3	- 1,4	- 1,5	-	-
	do 63	tolerance	3,2	3,3	3,5	3,8	4,1	4,5	-
přes 63	mezní úchytky	+ 2,5	+ 2,5	+ 2,7	+ 2,9	+ 3,1	+ 3,3	+ 3,7	-
	úchytky	- 1,2	- 1,3	- 1,3	- 1,4	- 1,5	- 1,7	- 1,8	-
	do 100	tolerance	3,7	3,8	4,0	4,3	4,6	5,0	5,5
přes 100	mezní úchytky	+ 2,9	+ 3,0	+ 3,1	+ 3,3	+ 3,5	+ 3,8	+ 4,2	-
	úchytky	- 1,5	- 1,5	- 1,6	- 1,7	- 1,8	- 1,9	- 2,1	-
	do 160	tolerance	4,4	4,5	4,7	5,0	5,3	5,7	6,3
přes 160	mezní úchytky	+ 3,4	+ 3,5	+ 3,6	+ 3,8	+ 4,0	+ 4,2	+ 4,6	+ 5,0
	úchytky	- 1,7	- 1,7	- 1,8	- 1,9	- 2,0	- 2,2	- 2,3	- 2,6
	do 250	tolerance	5,1	5,2	5,4	5,7	6,0	6,4	6,9
přes 250	mezní úchytky	+ 4,1	+ 4,1	+ 4,2	+ 4,5	+ 4,7	+ 5,0	+ 5,3	+ 6,1
	úchytky	- 2,0	- 2,1	- 2,2	- 2,2	- 2,3	- 2,4	- 2,6	- 3,0
	do 400	tolerance	6,1	6,2	6,4	6,7	7,0	7,4	7,9
přes 400	mezní úchytky	+ 5,0	+ 5,1	+ 5,2	+ 5,4	+ 5,6	+ 5,9	+ 6,2	+ 6,7
	úchytky	- 2,5	- 2,5	- 2,6	- 2,7	- 2,8	- 2,9	- 3,1	- 3,4
	do 630	tolerance	7,5	7,6	7,8	8,1	8,4	8,8	9,3
přes 630	mezní úchytky	+ 6,5	+ 6,6	+ 6,7	+ 6,9	+ 7,1	+ 7,4	+ 7,7	+ 8,2
	úchytky	- 3,2	- 3,2	- 3,3	- 3,4	- 3,5	- 3,6	- 3,8	- 4,1
	do 1000	tolerance	9,7	9,8	10,0	10,3	10,6	11,0	11,5

Tab. 1.13 Mezní úchytky poloměrů zaoblení přechodů R a hran r výkovků (ČSN 42 9030)

Poloměr zaoblení (mm)		Mezní úchytky (mm)	
přes	do	R	r
0	10	+ 0,50	+ 0,25
		- 0,25	- 0,50
10	32	+ 0,40	+ 0,20
		- 0,20	- 0,40
32	100	+ 0,30	+ 0,15
		- 0,15	- 0,30
100		+ 0,25	+ 0,10
		- 0,10	- 0,25

Dovolené přesazení p je rozměr, o který mohou body po jedné straně dělicí plochy být přesazeny oproti odpovídajícím bodům na druhé straně dělicí plochy ve směru rovnoběžném s hlavní dělicí plochou (obr. 1.6 a).

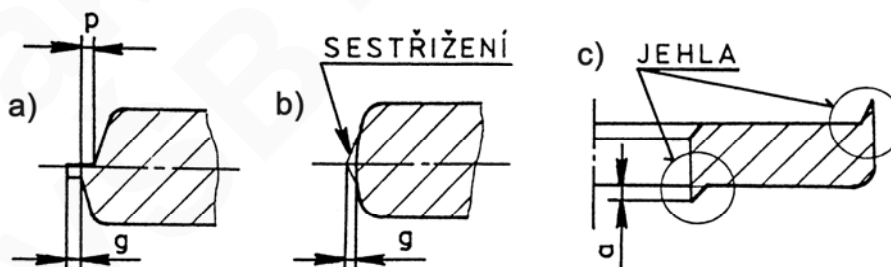
	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příčiny vzniku přesazení zápustek.

Dovolený otřep g je zbytek materiálu vytečeného mezi dělené části nástroje, který může zůstat na výkovku (obr. 1.6 a).

Dovolené sestřížení g je přípustná stopa na výkovku po ostříhovacím nástroji, která vzniká odebráním části technologického přídatku případně přídatku na obrábění (obr. 1.6 b).

Hodnota dovoleného přesazení p , dovoleného otřepu a sestřížení g je rovna minusové mezní úchytky, stanovené pro daný výkovek a daný rozměr z úchylek kolmo k rázu z tab. 1.8, 1.9, 1.10, 1.11 nebo 1.12.

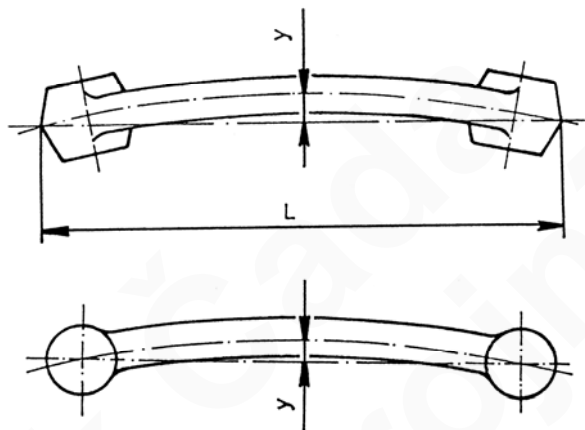
Dovolená jehla a je ostří na střížné ploše, která může vzniknout na okraji střížné plochy. Hodnota dovolené jehly a je rovna plusové mezní úchytky rozměru daného výkovku ve směru rázu (obr. 1.6 c).



Obr. 1.6 Úchytky tvaru výkovků (a – přesazení výkovku o rozměru p a otřep o rozměru g , b – sestřížení o rozměru g , c – jehla o rozměru a)

Dovolený průhyb, tj. *přípustná úchylka střední přímky výkovku od roviny* (obr. 1.7) a **mezní úchylka rovinnosti**, tj. *úchylka povrchové plochy výkovku od roviny*, je *rovna minusové mezní úchylce, stanovené pro daný výkovek tepelně nezpracovaný*. Pro výkovky tepelně zpracované platí hodnoty dovoleného průhybu, jsou-li objednány výkovky tepelně zpracované a rovnané.

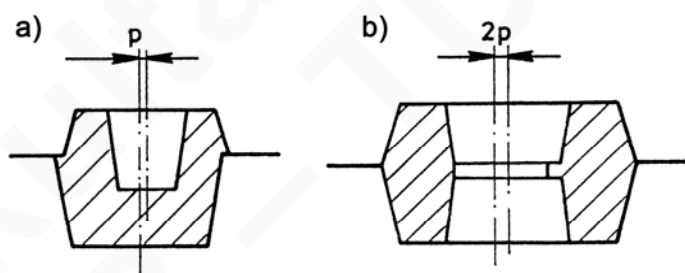
Dovolený průhyb a mezní úchylka rovinnosti se připočítávají k ostatním mezním úchylkám. Součet všech úchylek nesmí pro daný rozměr přesáhnout minimální přídavek na obrábění.



Obr. 1.7 Úchylka tvaru výkovku – průhyb o rozměru y

Dovolená úchylka sousosti kovaných otvorů je *rovna hodnotám přesazení* (obr. 1.8 a).


Dovolená úchylka sousosti děrovaných otvorů je *rovna dvojnásobku hodnoty přesazení* za podmínky zachování minimálního přídavku na obrábění (obr. 1.8 b).




Obr. 1.8 Úchylky tvaru výkovku (a – úchylka sousosti kovaných otvorů, b – úchylka sousosti děrovaných otvorů)

Dovolené stopy po vyhazovačích mají hodnoty:

- a) *hloubka stopy* je *rovna hodnotě minusové mezní úchylky ve směru rázu*,
- b) *výška stopy* je *rovna 1,5-násobku hodnoty plusové mezní úchylky výkovku ve směru rázu*.

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

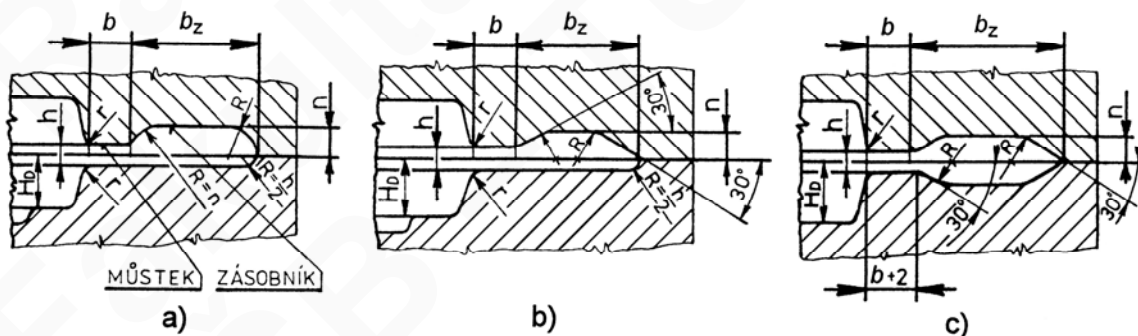
	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příčiny vzniku jednotlivých rozměrových a tvarových úchylek při výrobě výkovků.

1.3 Stanovení tvaru a rozměrů výronkové drážky


Při kování na bucharech a třecích lisech se nejčastěji používají tři typy výronkových drážek dle obr. 1.9 (ČSN 22 8308). Převážně se používá výronková drážka *prvního typu* dle obr. 1.9 a, případně dle obr. 1.9 b, která se zhotovuje v horním dílu zápustky, neboť dolní díl má následkem delšího styku s tvářeným kovem nižší životnost.

Druhý typ výronkových drážek je rozměrově shodný s drážkou na obr. 1.9 a, případně na obr. 1.9 b, ale zásobník je proveden v dolním dílu zápustky namísto v horním. Tento typ se uplatňuje v těch případech, kdy dutina zápustky zasahuje pouze do spodního dílu zápustky a pak tehdy, jestliže se výkovek před ostřížením výronku otáčí o 180° oproti své poloze při kování.

Třetí typ výronkové drážky podle obr. 1.9 c přichází v úvahu při kování tvarově velmi složitých výkovků, kdy lze předpokládat větší přebytek materiálu.



Obr. 1.9 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.

Rozměry výronkové drážky se navrhují podle **výšky můstku výronkové drážky h** , která se počítá ze vzorce:

$$h = \alpha \cdot \sqrt{S_v} \quad (\text{mm}), \quad (1.1)$$

kde je α – opravný součinitel, jehož hodnota se volí $0,015 \div 0,017$, přičemž větší hodnoty se berou pro výkovky s kruhovým průmětem dělicí roviny (–),

S_v – plocha průmětu výkovku do dělicí roviny (mm^2).

Základní rozměry výronkových drážek pro zápustky bucharů jsou uvedeny v tab. 1.14.

Z tab. 1.14 je zřejmé, že pro jednu hodnotu h lze zvolit **tři velikosti výronkové drážky**. **První velikost** se používá při zaplňování zápustkových dutin pěchováním, **druhá** při zaplňování jednoduše tvarovaných výkovků vtačováním, **třetí velikost** při zaplňování zápustkových dutin tvarově složitých výkovků.

Objem výronku lze stanovit z jeho tvaru a rozměrů. Objem kovu ve výronku musí být tak velký, aby se jím výronková drážka zcela nezaplnila. Při výpočtech se obvykle uvažuje **70 % vyplnění výronkové drážky tvářeným materiálem**.

Objem výronku se pak počítá ze vztahu:


$$V_{\text{výr}} = 0,7 \cdot S_{\text{výr}} \cdot [O + 4 \cdot (b + b_z)] \quad (\text{mm}^3), \quad (1.2)$$

kde je $S_{\text{výr}}$ – plocha příčného průřezu výronkové drážky (mm^2),

O – obvod výkovku v dělicí rovině (mm),

b – šířka můstku výronkové drážky dle tab. 1.14 (mm),

b_z – šířka zásobníku výronkové drážky dle tab. 1.14 (mm).

	Průvodce studiem
	Objem výronku slouží pro výpočet objemu polotovaru , který je potřebný pro výrobu daného výkovku (viz 1.6.1 a 1.6.3).

Tab. 1.14 Základní rozměry výronkových drážek pro zápustky bucharů

Číslo	h (mm)	n (mm)	r (mm)	1. velikost				2. velikost				3. velikost			
				b (mm)	b _z (mm)	h _{stř} (mm)	S _{výr} (cm ²)	b (mm)	b _z (mm)	h _{stř} (mm)	S _{výr} (cm ²)	b (mm)	b _z (mm)	h _{stř} (mm)	S _{výr} (cm ²)
1	0,6	3,0	1,0	6	18	0,21	0,52	6	20	0,25	0,61	8	22	0,25	0,74
2	0,8	3,0	1,0	6	20	0,26	0,69	7	22	0,26	0,77	9	25	0,26	0,88
3	1,0	3,0	1,0	7	22	0,27	0,80	8	25	0,27	0,91	10	28	0,26	1,04
4	1,6	3,5	1,0	8	22	0,34	1,02	9	25	0,33	1,13	11	30	0,38	1,55
5	2,0	4,0	1,5	9	25	0,40	1,36	10	28	0,40	1,53	12	32	0,40	1,77
6	3,0	5,0	1,5	10	28	0,53	2,01	12	32	0,53	2,33	14	38	0,53	2,78
7	4,0	6,0	2,0	11	30	0,65	2,68	14	38	0,66	3,44	16	42	0,68	3,85
8	5,0	7,0	2,0	12	32	0,78	3,43	15	40	0,79	4,34	18	46	0,79	5,06
9	6,0	8,0	2,5	13	35	0,97	4,35	16	42	0,94	5,30	20	50	0,92	6,42
10	8,0	10,0	3,0	14	38	1,16	6,01	18	46	1,16	7,45	22	55	1,17	9,03
11	10,0	12,0	3,0	15	40	1,40	7,68	20	50	1,41	9,88	25	60	1,42	12,08

Poznámka : S_{výr} - plocha příčného průřezu výronkové drážky

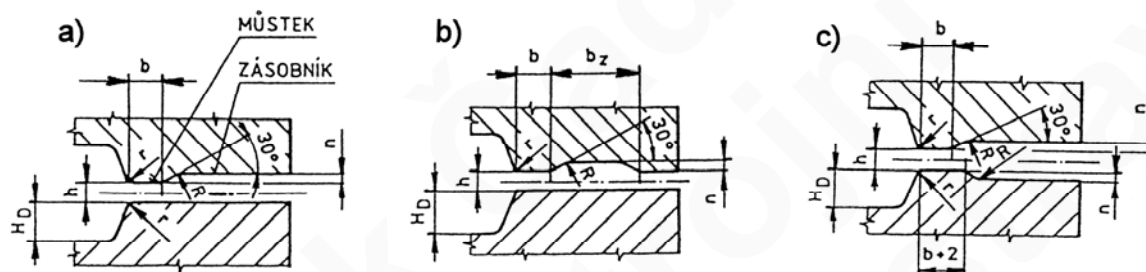
$$h_{stř} = \frac{S_{výr}}{b + b_z}$$

Jestliže se výkovek zhotovuje na mechanickém klikovém lisu, používá se odlišný tvar výronkových drážek dle obr. 1.10 (ČSN 22 8306) oproti kování na bucharu nebo třecím lisu. Odlišnost spočívá v tom, že **horní a spodní díl zápustky nedosedá přímo na sebe**, čímž se zabráňuje rázům, které by poškodily klíkový mechanismus stroje. Sevření zápustek se nastavuje přestavením beranu lisu.

Druhý typ výronkové drážky (obr. 1.10 b) pro kování na mechanickém klikovém lisu se liší od **prvního typu** (obr. 1.10 a) tím, že má uzavřený zásobník a používá se za účelem snížení pracnosti obrábění horních dílů zápustek, u nichž je můstek výronkové drážky více vzdálený od okraje zápustky.

Třetí typ výronkové drážky (obr. 1.10 c) se používá v případech, kdy se předpokládá, že do výronku poteče větší množství kovu.

Základní rozměry výronkových drážek pro zápustky mechanických klikových lisů lze odečíst z tab. 1.15.



Obr. 1.10 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)

Tab. 1.15 Základní rozměry výronkových drážek pro zápustky mechanických klikových lisů


Síla lisu (MN)	h (mm)	b (mm)	b_z (mm)	r (mm)
2,5	1,0 + 1,5	3 + 5	25	1,0 + 1,5
6,3	1,0 + 2,0	3 + 7	25	1,0 + 1,5
10	1,5 + 2,5	4 + 7,5	30	1,0 + 1,5
16	2,0 + 3,0	5 + 8	32	1,5 + 2,5
25	2,5 + 4,0	6 + 10	38	1,5 + 2,5
31,5	2,5 + 4,5	6 + 11	40	2,0 + 3,0
40	3,5 + 5,5	7 + 12	42	2,0 + 3,0
63	4,5 + 8,0	9 + 15	50	2,0 + 5,0

Hloubku zásobníku lze vypočítat ze vztahu:

$$n = 0,4 \cdot h + 2 \quad (\text{mm}). \quad (1.3)$$

Poloměr zaoblení přechodů tvaru zásobníku se zpravidla volí:

$$R = \frac{h}{2} \quad (\text{mm}). \quad (1.4)$$

	Průvodce studiem
	U mechanických klikových lisů se nesmí horní a dolní díl zápustky při tváření dotknout, aby nevznikla rázová síla , která by byla větší, než jmenovitá síla daného lisu. Důsledkem překročení jmenovité síly daného lisu by bylo přestřížení pojistky v ojnici klikového mechanismu stroje, která chrání před poškozením klikový mechanismus.

1.4 Výpočet objemu výkovku

Objem výkovku lze vypočítat dvěma metodami:

a) metoda analytická – výkovek se rozloží na jednoduchá geometrická tělesa, jejichž objemy se vypočtou podle elementárních vzorců. Objem výkovku je pak součtem těchto dílčích objemů:

$$V_v = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (\text{mm}^3). \quad (1.5)$$

Analytickou metodu lze uplatnit především u zápustkových výkovků jednoduchých tvarů.

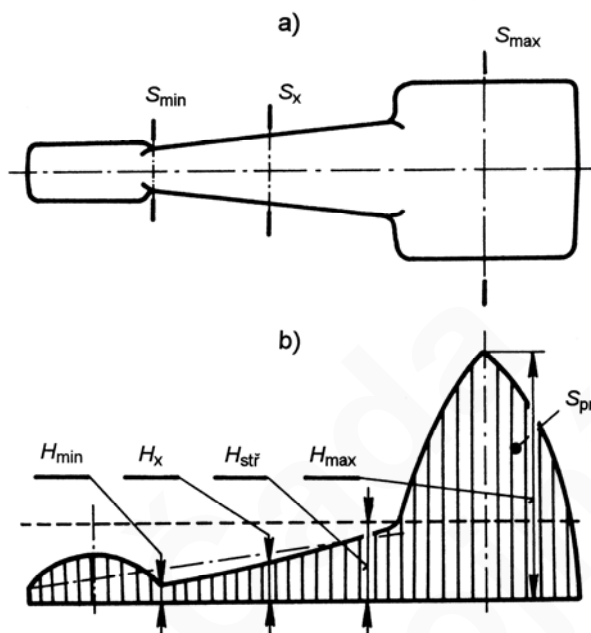
b) metoda průřezového obrazce – používá se **pro tvarově složité výkovky** (obr. 1.11). Princip této metody spočívá v tom, že se v charakteristických průřezech výkovku (kde se mění tvar výkovku) 1, 2, . . . , n stanoví velikost plochy jednotlivých průřezů S_1, S_2, \dots, S_n . Když se takto získané hodnoty vynásobí zvoleným měřítkem ploch m_S , dostane se řada úseček h_1, h_2, \dots, h_n :

$$h_x = S_x \cdot m_S \quad (\text{mm}). \quad (1.6)$$

Úsečky h_1, h_2, \dots, h_n se nanáší jako pořadnice na svislou osu pod charakteristické průřezy a konce pořadnic se spojí. Získá se tak **průřezový obrazec výkovku**. Protože pořadnice vyjadřují plochu, lze zjištěním plochy pod křivkou pořadnic stanovit objem výkovku:

$$V_v = m_S \cdot S_{pr} \quad (\text{mm}^3), \quad (1.7)$$

kde je S_{pr} – plocha pod křivkou v průřezovém obrazci (mm^2).



Obr. 1.11 Konstrukce průřezového obrazce (a – výkovek, b – průřezový obrazec výkovku)

1.5 Výpočet silových parametrů tvářecího stroje

Z hlediska velikosti stroje jsou **lisy** charakterizovány **maximální silou** a **buchary hmotností padajících částí nebo maximální prací (energií)**, kterou jsou schopny v jednom úderu vykonat.

Teoretické určování potřebné síly nebo energie je velmi nepřesné vzhledem k proměnlivé velikosti přetvárného odporu kovaného materiálu a rozdílnému tvaru předkovku. Proto se v praxi dává přednost přibližnému určování velikosti stroje na základě empirických vzorců, které bývají vyjádřeny také v tabulkách a nomogramech.

1.5.1 Určení velikosti bucharu

Velikost bucharu se určuje dle ČSN 22 8308 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.

Práci při posledním úderu bucharu **pro kruhový výkovek** lze vypočítat ze vztahu:

$$A_k = 1,8 \cdot (1 - 0,0005 \cdot D) \cdot \left(11 + \frac{20}{D}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,0001 \cdot D^2) \cdot D \cdot k_p \quad (J), \quad (1.8)$$

kde je D – průměr výkovku (mm),

k_p – základní přetvárný odpor materiálu za kovací teploty (MPa), tab. 1.16.

Tab. 1.16 Základní přetvárný odpor k_p (MPa) pro vybrané jakosti materiálu za kovací teploty (ČSN 22 8306)

Materiál podle ČSN	Kovací teplota (°C)						
	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
	Základní přetvárný odpor k_p (MPa) za kovací teploty						
12 023	144	123	108	96	84	75	65
12 040	181	151	130	114	98	83	70
12 050	149	128	108	91	80	71	68
12 061	148	118	102	90	82	73	67
13 240	196	171	150	130	102	96	80
13 242	154	128	110	96	85	75	-
14 100	165	132	111	99	91	85	-
14 220	184	159	139	121	106	91	76
14 221	193	147	122	108	101	95	-
16 341	228	202	185	174	160	142	112
17 021	163	136	118	103	89	76	-
17 115	218	193	174	162	150	133	103
17 241	161	139	122	108	95	83	72
19 191	176	149	124	103	89	79	71

Hodnoty k_p , uvedené v tab. 1.16, platí pro střední deformační rychlost 5 s^{-1} a stupeň deformace 0,1.

Pro nekuhový výkovek se vztah (1.8) upravuje korekčním součinitelem tvaru a místo průměru výkovku D se dosazuje redukovaný průměr výkovku D_{red} .

Práci při posledním úderu bucharu **pro nekuhový výkovek** lze vypočítat ze vztahu:

$$A_n = A_k \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L}{B_S}} \right) \quad (\text{J}), \quad (1.9)$$

kde je L – délka výkovku (mm),
 B_S – střední šířka výkovku (mm).

Redukovaný průměr výkovku:

$$D_{\text{red}} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad (\text{mm}). \quad (1.10)$$

Střední šířka výkovku:

$$B_S = \frac{S}{L} \quad (\text{mm}). \quad (1.11)$$

Pro vypočtenou práci se určí hmotnost beranu bucharu dle tab. 1.17.

Tab. 1.17 Určení hmotnosti beranu bucharu m (kg) (ČSN 22 8308)

Druh výkovku	Hmotnost beranu bucharu m (kg)	
	jednočinný buchar	dvočinný buchar
kruhový	$m = \frac{A_k}{11}$	$m = \frac{A_k}{18 \div 28}$
nekruhový	$m = \frac{A_n}{11}$	$m = \frac{A_n}{18 \div 28}$

Hodnota 18 až 28 ve jmenovateli zlomku při výpočtu hmotnosti beranu u dvočinného bucharu se volí podle pasportu a stavu stroje.

Velikost protiběžného bucharu se stanovuje ze vztahu: $A_{\text{výkovku}} = A_{\text{bucharu}}$

1.5.2 Výpočet velikosti lisu

Pro přibližné určení velikosti lisu se používá empirických vzorců, odvozených z obdobných předpokladů jako u bucharů.

Pro určení velikosti tvářecí síly je možno použít vztah:

$$F = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D}\right)^2 \cdot k_p \cdot S \quad (\text{N}), \quad (1.12)$$

kde je D – průměr výkovku (mm),

S – plocha průmětu výkovku do dělicí roviny zápustky (mm²),

k_p – základní přetvárný odpor materiálu za kovací teploty (MPa), tab. 1.16.

1.6 Výběr a sled potřebných operací

Výběr a sled operací při kování zápustkových výkovků je závislý na tvarové složitosti výkovku.

Pro rozřídění výkovků bylo zvoleno pět základních skupin:

- I. skupina** – podélné výkovky s rovnou hlavní osou a rovnou dělicí rovinou (hlavní osa je čára, spojující těžiště příčných průřezů výkovku v dělicí rovině),
- II. skupina** – podélné výkovky s prohnutou hlavní osou a rovnou dělicí rovinou, výkovky s rovnou hlavní osou a lomenou dělicí rovinou,
- III. skupina** – podélné výkovky s výstupky,
- IV. skupina** – výkovky vidlicovité,
- V. skupina** – výkovky s kruhovým nebo čtvercovým půdorysem, nebo s obdobným tvarem.

Pro získání vysoké výrobnosti, jakosti výkovků a nejpříznivějšího využití výchozího materiálu, musí mít předkovky pro zápustkové kování tvar co nejbližší obrysu výkovku v dělicí rovině. Jednotlivé příčné průřezy předkovku musí být blízké součtu příslušných průřezů výkovku a výronku. Předkovek takových vlastností se nazývá „**skutečný**“ a odvozuje se od tzv. **ideálního předkovku**, jímž je rotační těleso, jehož jednotlivé příčné průřezy se rovnají součtu odpovídajících průřezů výkovku a výronku. Prostřednictvím ideálního předkovku lze stanovit potřebné zápustkové dutiny, počet operací a rozměry výchozího materiálu.

1.6.1 Konstrukce ideálního předkovku pro výkovky I. skupiny

Nakreslí se **výkres výkovku** (obr. 1.12 a) a určí se charakteristické hodnoty výkovku, tj. obvod O výkovku v dělicí rovině, plocha S_v v dělicí rovině, objem výkovku V_v . (viz 1.4). Stanoví se výška můstku výronkové drážky h z rovnice (1.1), objem výronku $V_{výr}$ z rovnice (1.2) a plocha příčného průřezu výronkové drážky $S_{výr}$ (tab. 1.15). Vymezí se charakteristické průřezy výkovku S , tj. průřezy, v nichž se mění tvar výkovku ($S_1, S_{min}, S_x, S_d, S_{max}$), případně další průřezy a vypočtou se plochy průřezu ideálního předkovku.

Pro vnitřní průřezy platí:

$$S_i = S + 1,4 \cdot S_{výr} \quad (\text{mm}^2). \quad (1.13)$$

Pro koncové průřezy (jsou dva) platí:

$$S_{ik} = 2 \cdot S_{výr} \quad (\text{mm}^2). \quad (1.14)$$

Průměr ideálního předkovku v libovolném příčném řezu:

$$d_{ix} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{ix}}{\pi}} \quad (\text{mm}). \quad (1.15)$$

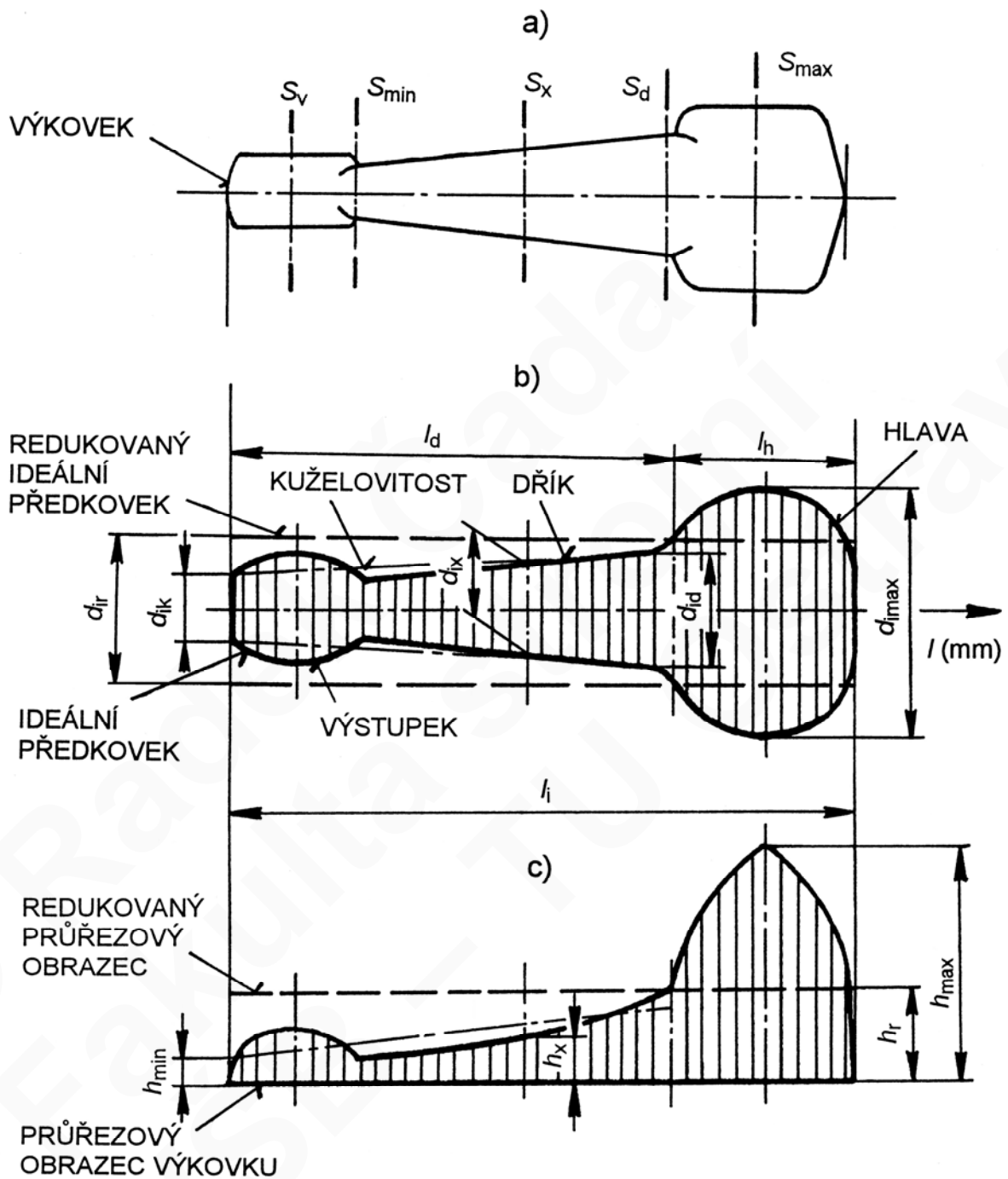
Řada takto získaných hodnot d_{ix} se nanáší symetricky jako pořadnice od osy I a spojením koncových bodů těchto pořadnic se obdrží tvar ideálního předkovku (obr. 1.12 b).

Nanesením hodnot charakteristických průřezů S_{ix} v měřítku m_S jako pořadnic o výšce $h_x = S_{ix} \cdot m_S$ a spojením konců těchto pořadnic se získá **průřezový obrazec ideálního předkovku** (obr. 1.12 c). Plochy jednotlivých částí tohoto obrazce, násobené zvoleným měřítkem m_S , dávají hodnoty objemů příslušných částí ideálního předkovku.


Celkový objem ideálního předkovku:

$$V_i = S_{pr} \cdot m_S \quad (\text{mm}^3), \quad (1.16)$$

kde je S_{pr} – celková plocha průřezového obrazce (mm^2).



Obr. 1.12 Způsob konstrukce ideálního předkovku (a – výkovek, b – ideální předkovek, c – průřezový obrazec výkovku)

	Průvodce studiem
	<p>Na obr. 1.12 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 měřítko průřezového obrazce v dolní části obrázku. Měřítko 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 obrazci. Nesmí se vynechat průřezy, u které jsou např. ve středu oka, na začátku a na konci dřívku. Propojením koncových bodů svislých úseček v průřezovém obrazci 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 obrazci 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.</p>

Redukovaný ideální předkovek je válec o průměru d_{ir} , délky l_i a objemu V_i (obr. 1.12 b):

$$V_i = V_v + V_{výr} = S_{pr} \cdot m_S \quad (\text{mm}^3), \quad (1.17)$$

$$d_{ir} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_i}{\pi \cdot l_i}} \quad (\text{mm}). \quad (1.18)$$

Průřezový obrazec redukovaného ideálního předkovku je obdélník o výšce h_r a délce l_i :

$$h_r = S_r \cdot m_S \quad (\text{mm}). \quad (1.19)$$

Plocha příčného průřezu redukovaného ideálního předkovku:

$$S_r = \frac{V_i}{L_i} \quad (\text{mm}^2). \quad (1.20)$$

Po úpravě a dosazení do vztahů (1.18) až (1.20) se dostane výraz pro průměr redukovaného ideálního předkovku, tj. válce:

$$d_{ir} = \sqrt{\frac{4 \cdot h_r}{\pi \cdot m_S}} \quad (\text{mm}). \quad (1.21)$$

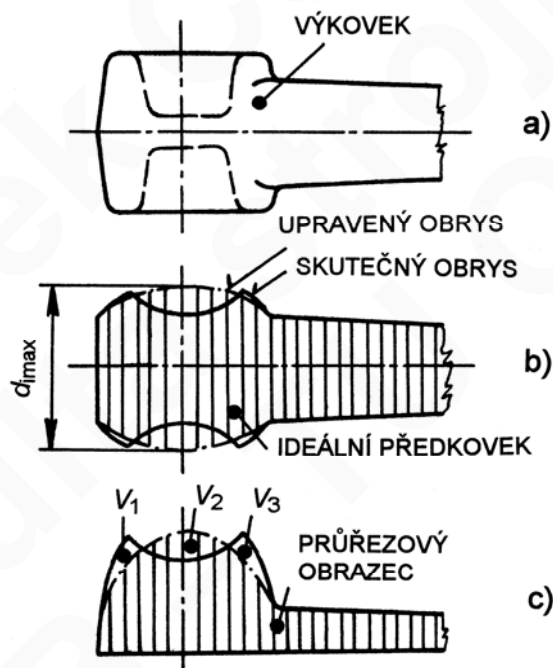
Část ideálního předkovku, v níž $d_{ix} > d_{ir}$, se nazývá **hlava**, část, v níž $d_{ix} < d_{ir}$, se nazývá **dřík**. Rozdíl objemů hlavy V_h ideálního předkovku a redukovaného ideálního předkovku v oblasti hlavy představuje *chybějící objem* V_{ch} :

$$V_{ch} = V_h - \frac{\pi \cdot d_{ir}^2}{4} \cdot l_h \quad (\text{mm}^3). \quad (1.22)$$

Přebytečný objem u redukovaného ideálního předkovku v oblasti dříku $V_{př}$:

$$V_{př} = \frac{\pi \cdot d_{ir}^2}{4} \cdot l_d - V_d \quad (\text{mm}^3). \quad (1.23)$$

Má-li u výkovku, který má díru nebo vybrání, hlava tvar s ostrými přechody, je nutno takovou hlavu upravit na plynulý tvar při zachování jejího objemu (obr. 1.13). Tato úprava se s výhodou provádí v průřezovém obraze, přičemž musí platit, že $V_1 + V_3 = V_2$ (obr. 1.13 c).



Obr. 1.13 Úprava hlavy s ostrými přechody u ideálního předkovku na plynulý tvar pomocí úpravy průřezového obrazce

Je-li obrysem dříku ideálního předkovku lomená čára, nebo má-li dřík výstupky, upravuje se jeho tvar na *komolý kužel*, který se v podélném řezu jeví jako lichoběžník o základnách d_{max} , d_{min} a výšce l_d .

Kuželovitost dříku ideálního předkovku se vyjadřuje vztahem:

$$k = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{l_d} \quad (-), \quad (1.24)$$

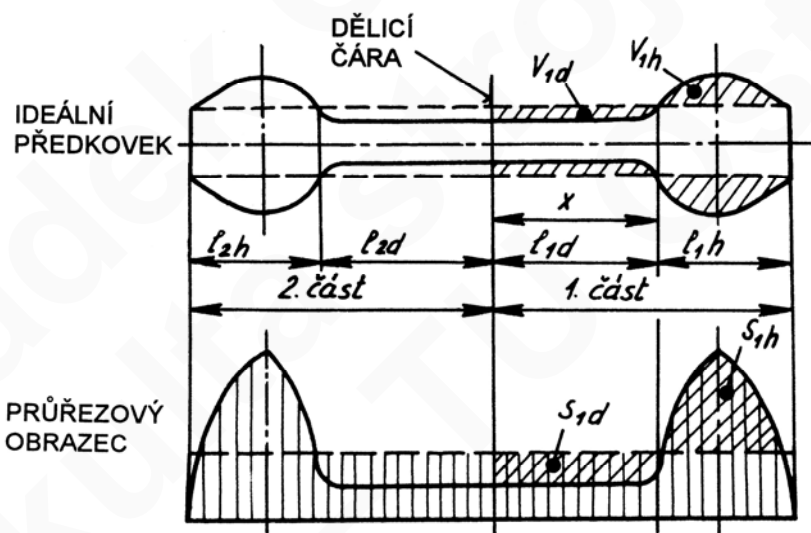
kde je d_{\max} – maximální průměr dříku ideálního předkovku (mm),

d_{\min} – minimální průměr dříku ideálního předkovku (mm),

l_d – délka dříku ideálního předkovku (mm).

Ideální předkovek s jednou hlavou a s jedním dříkem se nazývá **elementární**.

Složité ideální předkovek je takový, který má jednu hlavu uprostřed dříku, nebo který má dvě i více hlav. Takové předkovky se převádí na elementární způsobem, naznačeným na obr. 1.14. Vzdálenost x se určí z podmínky, že chybějící část objemu hlavy je stejná, jako nadbytečný objem přilehlého dříku, tedy $V_{1h} = V_{1d}$. Poloha hledané dělicí čáry se snáze nalezne na průřezovém obrazci, kde se musí dodržet rovnost příslušných ploch $S_{1h} = S_{1d}$ (obr. 1.14).



Obr. 1.14 Převod složitý ideálního předkovku se dvěma hlavami na elementární ideální předkovek

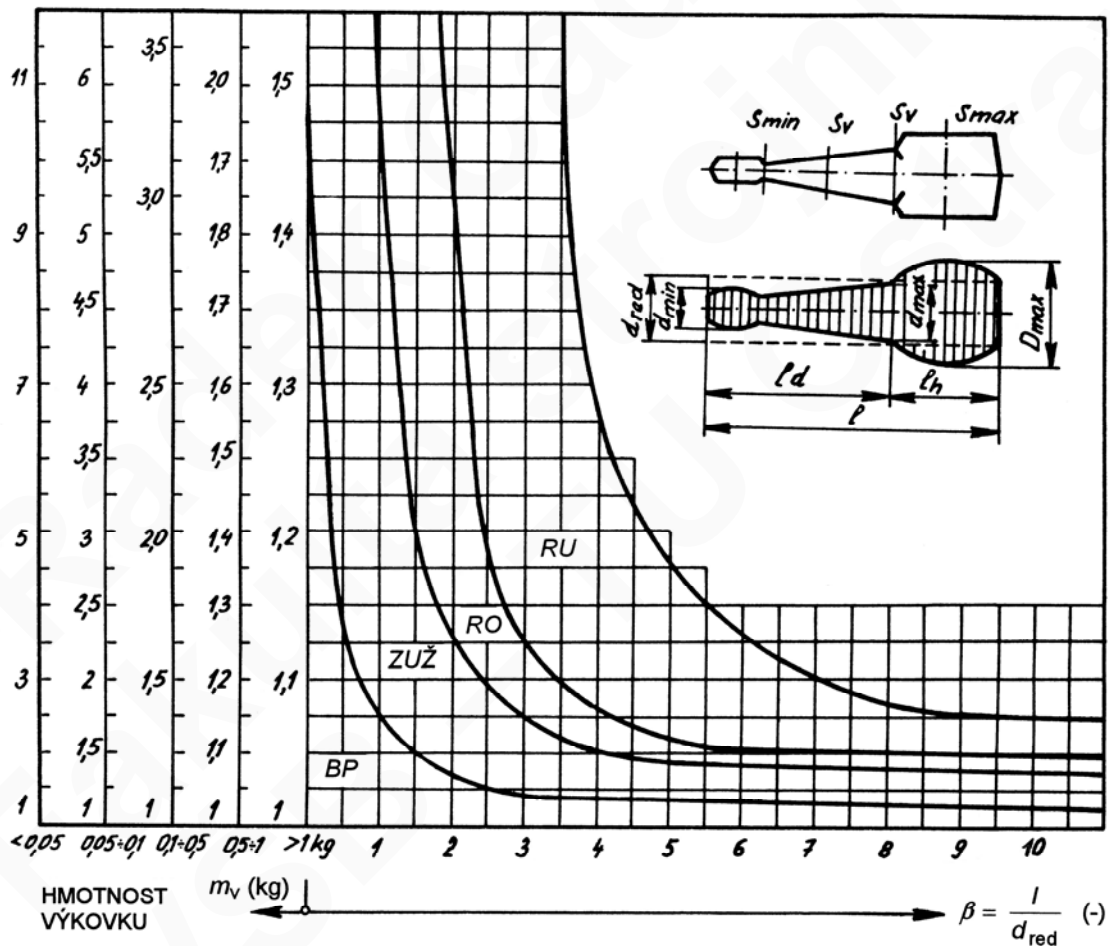
Pro **výkovky II. skupiny** se ideální předkovek navrhuje v rozvinutém tvaru. Za délku rozvinutého výkovku s pozvolným ohybem se bere délka křivky, která prochází ve vzdálenosti 1/3 jeho tloušťky od vnitřního obrysu. **Výkovky III. a IV. skupiny** se při sestrojování ideálních předkovků zařazují buď do I. nebo II. skupiny. **Výkovky V. skupiny** nevyžadují konstrukci ideálního předkovku.

1.6.2 Výběr přípravných předkovacích dutin

Účelem předkování je rozdělení materiálu ve směru podélném i příčném tak, aby v dokončovací dutině již pokud možno nedocházelo k přemísťování materiálu ve směru podélné osy, ale jen ve směru příčném. Předkováním se šetří materiál a šetří se i dutina dokončovací zápustky, která pak má větší životnost.

Předkovací dutiny nemají výronkovou drážku. Aby se kování v předkovací dutině co nejvíce usnadnilo, mají větší zaoblení hran, větší úkosy a zjednodušení, případně vypuštění tvaru, který se v dokončovací dutině snadno kove.

Volbu vhodných typů přípravných předkovacích dutin pro výrobu navrženého tvaru ideálního předkovku (viz 1.6.1) z redukovaného ideálního předkovku, tj. tyče kruhové, usnadňuje nomogram na obr. 1.15. Jednotlivé oblasti, ohraničené čarami, udávají typ přípravné předkovací dutiny v pořadí podle složitosti operace.



Obr. 1.15 Nomogram k výběru přípravných předkovacích dutin (BP – kování bez přípravných dutin, ZUŽ – kování v zužovací dutině, RO – kování v rozdělovací otevřené dutině, RU – kování v rozdělovací uzavřené dutině)

Odečet z nomogramu se provádí s využitím hmotnosti výkovku m_v a následujících součinitelů:

$$\alpha = \frac{D_{\max}}{d_{\text{red}}}; \quad \beta = \frac{l}{d_{\text{red}}}; \quad k = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{l_d} \quad (-). \quad (1.25)$$

Význam hodnot, potřebných ke stanovení součinitelů α , β , k je zřejmý z obr. 1.15:

- $0,02 < k \leq 0,05 \Rightarrow$ prodlužování,
- $0,05 < k \leq 0,5 \Rightarrow$ prodlužování + RO,
- $k > 0,5 \Rightarrow$ prodlužování + RU.

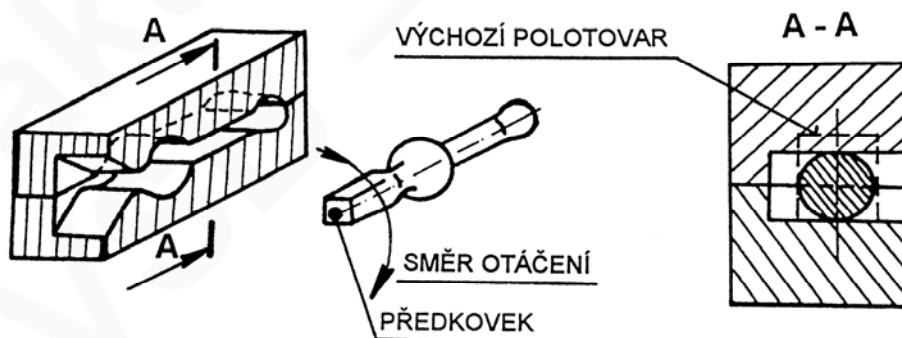
Mezi základní typy přípravných předkovacích dutin patří:

- dutina zužovací** – používá se při malých rozdílech průřezu hotového výkovku. Kov se tvaruje v dutině pouze jediným úderem na přibližný tvar další dutiny. Materiál se přemísťuje ve směru osy jen nepatrně (obr. 1.16).

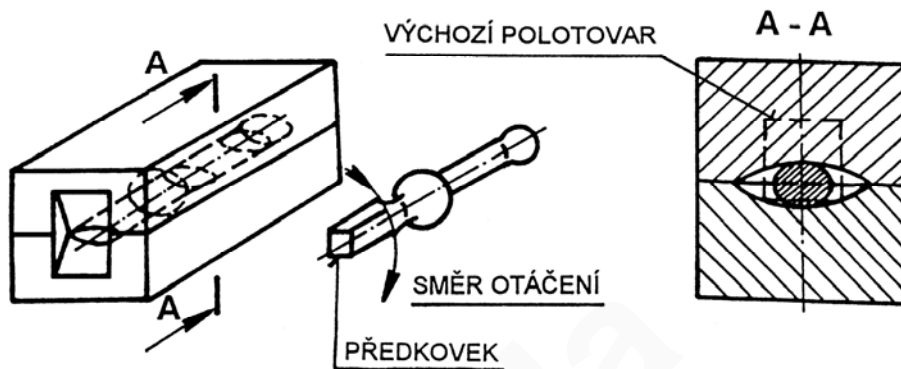


Obr. 1.16 Zužovací dutina

- rozdělovací otevřená dutina** – používá se v případech, kdy je třeba provést větší přemístění materiálu v podélné ose (obr. 1.17). Materiál se tvaruje v této dutině na 2 až 4 údery s *ootáčením o 90°*. Materiál se přemísťuje ve směru podélné osy a současně se napěchovává a redukuje v příčném průřezu.



Obr. 1.17 Rozdělovací otevřená dutina





Obr. 1.18 Rozdělovací uzavřená dutina

c) **rozdělovací uzavřená dutina** – lze v ní dosáhnout nejintenzivnějšího tečení materiálu ve směru podélné osy (obr. 1.18). Tvar dutiny se volí dle ideálního předkovku, přičemž příčná plocha v jednotlivých úsecích dutiny musí být větší, aby materiál nevyplnil zcela dutinu a nevznikl výronek. Výška oválu je šířkou průřezu hotového předkovku v příslušném úseku a plocha oválu bude větší o $10 \div 20 \%$. Kove se na několik úderů **s pootáčením o 90°** . Tato dutina se používá při výrobě osově souměrných výkovků.

Mimo tyto základní typy předkovacích dutin se rovněž používají následující přípravné předkovací dutiny:

- a) **ohýbací dutina** – slouží k ohýbání buď základního polotovaru nebo předkovku, případně i hotového ostříženého výkovku,
- b) **plochy pro pěchování (zplošťování)** – používají se pro zploštění nebo napěchování polotovaru před kovááním v dokončovacích dutinách,
- c) **tvarovací dutiny** – slouží ke tvarování materiálu na tvar obrysu výkovku v dělicí rovině. Kove se jedním nebo dvěma údery a **materiál se neotáčí**,
- d) **utínka** – slouží k odseknutí hotového výkovku od tyče nebo k oddělení dvojkusů kovaných s otáčením. Bývá umístěna šikmo v některém rohu zápustky.

	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.
	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady použití přípravných předkovacích dutin při výrobě konkrétních výkovků.

1.6.3 Výpočet rozměrů výchozího materiálu

Objem výchozího materiálu u výkovků I. až IV. skupiny:

$$V = V_{id} \cdot \left(1 + \frac{o}{100}\right) \quad (\text{mm}^3), \quad (1.26)$$

kde je V_{id} – objem ideálního předkovku (mm^3),


o – opal (%).

Velikost opalu závisí na způsobu ohřevu:

a) ohřev v plynové peci $o = (2,5 \div 3,0) \%$,

b) elektrická komorová pec $o = (0,5 \div 1,0) \%$,

c) elektrický ohřev odporový nebo indukční $o = (0,6 \div 1,0) \%$.

	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.

Plocha příčného průřezu výchozího materiálu se určuje v závislosti na vybraných přípravných předkovacích dutinách podle následujících vzorců (nižší hodnota číselného součinitele se vždy vztahuje na delší výkovky):

Kování bez přípravných dutin:

$$S_1 = (1,02 \div 1,05) \cdot S_r \quad (\text{mm}^2), \quad (1.27)$$

kde je S_r – plocha příčného průřezu redukováného ideálního předkovku (mm^2).

Kování v zužovací nebo tvarovací dutině:

$$S_2 = (1,05 \div 1,3) \cdot S_r \quad (\text{mm}^2). \quad (1.28)$$

Kování v rozdělovací dutině:

$$S_3 = (1,05 \div 1,2) \cdot S_r \quad (\text{mm}^2). \quad (1.29)$$

Kování v prodlužovací dutině:


$$S_4 = \frac{V_h}{l_h} \quad (\text{mm}^2), \quad (1.30)$$

kde je V_h – objem hlavy ideálního předkovku (mm^3),
 l_h – délka hlavy ideálního předkovku (mm).

Průměr výchozího materiálu:

$$d = \sqrt{\frac{4S_i}{\pi}} \quad (\text{mm}), \quad (1.31)$$

kde je S_i – plocha příčného průřezu výchozího materiálu (mm^2).

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

Objem výchozího materiálu u výkovků V. skupiny, tj. u výkovků s kruhovým nebo čtvercovým půdorysem, nebo obdobným tvarem:

$$V = (V_v + V_{v\dot{y}r} + V_t) \cdot \left(1 + \frac{o}{100}\right) \quad (\text{mm}^3), \quad (1.32)$$

kde je V_v – objem výkovku (mm^3),
 $V_{v\dot{y}r}$ – objem výronku (mm^3),
 V_t – objem technologického odpadu (mm^3),
 o – opal (%).

Objem výronku u výkovků V. skupiny:


$$V_{v\dot{y}r} = 1,8 \cdot S_{v\dot{y}r} \cdot [D_v + 0,7 \cdot (b + b_z)] \quad (\text{mm}^3), \quad (1.33)$$

kde je $S_{v\dot{y}r}$ – plocha příčného průřezu výronkové drážky (mm^2),
 D_v – maximální průměr výkovku bez výronku (mm),
 b – šířka můstku výronkové drážky (mm),
 b_z – šířka zásobníku výronkové drážky (mm).

Průměr výchozího materiálu:

$$d = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V}{p}} \quad (\text{mm}), \quad (1.34)$$

kde je p – pěchovací součinitel ($p = 1,5 \div 2,5$).

	Shrnutí kapitoly
	<p>Zápustkové kování je <i>objemové tváření materiálu zatepla</i>, které je charakterizováno řízeným tečením kovu dle tvaru dutiny zápustky.</p> <p>Návrh technologického postupu výroby výkovku se skládá z následujících fází:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. volba tvářecího stroje, 2. nakreslení výkresu výkovku, 3. stanovení tvaru a rozměrů výronkové drážky, 4. výpočet hmotnosti výkovku, 5. výpočet silových parametrů tvářecího stroje, 6. výběr a sled potřebných operací, 7. výpočet rozměrů výchozího materiálu. <p>Pro výrobu výkovků je možno použít následující stroje: <i>buchary</i> (pracují rázem, je velká deformační rychlost, výkovek – <i>na několik úderů</i>, pro malé série, větší spotřeba materiálu, lze použít postupové zápustky), <i>vřetenové lisy</i> (pracují rázem, je menší deformační rychlost, výkovek – <i>na jeden úder</i>, výjimečně na více, pro malé série, menší spotřeba materiálu – díky menším úkosům a využití vyhazovače), <i>mechanické klikové lisy</i> (pracují klidným tlakem, jejich zdvih je konstantní – při zanedbání pružení, výkovek – <i>na jeden zdvih</i>, pro velké série, malá spotřeba materiálu).</p> <p>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 přídatky na obrábění na funkčních plochách. Snahou je následně obrábět co nejméně ploch. Na plochách, které jsou kolmé k dělicí rovině, jsou technologické přídatky – úkosity. 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 nepíše 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, 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,</p>

což snižuje potřebnou střížnou sílu.

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.

Provedení výkovku může být obvyklé, přesné, velmi přesné, nebo provedení dle dohody. Je třeba nepředepisovat zbytečně vysokou přesnost provedení, protože by to prodražilo výrobu. **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 *úchytky rozměrů, dovolené přesazení, otřep* (zbytek materiálu vytlačený mezi dělené části nástroje), *dovolené sestřížení* (stopa na výkovku po ostřihovacím nástroji), *dovolená jehla* (ostří na okraji střížné plochy), *dovolený průhyb, úchytky sousostí kovaných otvorů, úchytky sousostí děrovaných otvorů*.


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.


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.


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 obrazci. Nesmí se vynechat průřezy, u kterých jsou např. ve středu oka, na začátku a na konci dířku. Propojením koncových bodů svislých úseček v průřezovém obrazci se získá průřezový obrazec výkovku. Přepočtením každého průřezu na kruhový podle vzorce pro výpočet plochy kruhu se zkonstruuje **ideální**


	<p>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.</p> <p>Přípravné předkovací dutiny mají zvětšená zaoblení hran, větší úkosy 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.</p>
--	--


	<h3>Pojmy k zapamatování</h3>
	<p>Zápustkové kování, objemové tváření zatepla, kov, zápustka, dutina, buchar, lis, výronek, polotovar, technologický postup, tvářecí stroj, úkos, poloměr zaoblení, dělicí rovina, technologický přídavek, výronková drážka, výkovek, ráz, předkovek, postupová zápustka, vřetenový lis, beran, klikový lis, vyhazovač, kovárna, životnost, okuje, kovací teplota, výkres, součást, přesnost, přídavek na obrábění, ostříhování, pýchování, vlákno, přesazení zápustek, provedení výkovku, dno, blána, stěna, hrana, přechod, otřep, sestřížení, jehla, průhyb, střížná plocha, výška můstku výronkové drážky, zásobník, analytická metoda, průřezový obrazec, síla, práce, protiběžný buchar, jednočinný buchar, dvojčinný buchar, ideální předkovek, redukovaný ideální předkovek, hlava, dřík, elementární ideální předkovek, předkovací dutina, nomogram, zužovací dutina, rozdělovací otevřená dutina, rozdělovací uzavřená dutina, ohýbací dutina, tvarovací dutina, utínka, ohřev, pec, opal.</p>


	<h3>Odměna a odpočinek</h3>
	<p>Výborně, první kapitolu máte za sebou! Teď si dejte kakao, kávu nebo něco ostřejšího, projděte si v myšlenkách, co jste dosud nastudoval(a) a po osvěžující pauze odpovzte na jednotlivé kontrolní otázky.</p>

	Kontrolní otázky
	<p>Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo první kapitoly „Zápustkové kování“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dokážete charakterizovat zápustkové kování? 2. Jaké druhy strojů používaných ke kování znáte? Pro jaký druh výroby je každý z nich vhodný? 3. Co a jakým způsobem se kreslí na výkresu výkovku? 4. Jaké jsou hlavní zásady pro volbu dělicí roviny? 5. Uveďte názvy jednotlivých přesností provedení výkovku. Jak se pro daný výkovek předepisují? 6. Co jsou to přídávky na obrábění? Na které plochy se dávají? 7. Jaké druhy technologických přídávků při konstrukci zápustkových výkovků znáte? Jaký mají tyto přídávky účel? 8. Na které plochy se dávají boční úkosy? Na čem závisí jejich velikost? 9. Jaké jsou rozměrové a tvarové úchytky zápustkových výkovků? 10. Jaké jsou typy výronkových drážek? Kdy se která varianta používá? 11. Dokážete popsat konstrukci průřezového obrazce a ideálního předkovku? 12. Uveďte názvy základních typů předkovacích dutin. Na co se která používá? 13. Jak se u výkovků stanoví objem výchozího materiálu a délka polotovaru?

	Literatura
	<ol style="list-style-type: none"> [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>Tvárenie 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
	<p>Vysvětlete výhody technologie zápustkového kování. Uveďte příklady z praxe, kdy tato technologie byla úspěšně využita pro výrobu součástí.</p> <p>Objasněte možné vady výkovků. Uveďte příklady z praxe, kdy je riziko jejich vzniku.</p>

	Korespondenční úkol
	<p>Program č. 1 „Zápustkové kování“</p> <p>Zadání:</p> <p>Navrhněte technologický postup výroby zadaného výkovku:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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, sestřizení, 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, vypočtete hmotnost výkovku analytickou metodou a pomocí průřezového obrazce (tento nakreslete na milimetrový papír), výsledky porovnejte, navrhněte a předepište výchozí polotovar a vyberte přípravnou předkovací dutinu.

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

2 OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ MATERIÁLU ZASTUDENA





Rychlý náhled do problematiky kapitoly


Druhá kapitola objasňuje **objemové tváření materiálu zastudena**. Jsou v ní popsány základní způsoby objemového tváření zastudena, součásti, tvarově vhodné pro objemové tváření zastudena, výběr součástí vhodných k protlačování z ekonomického hlediska, oceli pro objemové tváření zastudena, polotovary pro objemové tváření zastudena, tepelné zpracování polotovarů a protlačků, povrchové úpravy a mazání polotovarů před protlačováním, výpočet poměrných a logaritmických deformací, zpevnění materiálu při objemovém tváření zastudena, křivky zpevnění, hlavní technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů, návrhy technologických postupů výroby, jakost povrchu protlačků, rozměrová přesnost protlačků, nástroje pro objemové tváření zastudena, výpočet tvářecí síly a práce, volba tvářecího stroje a dokončování výlisků.


Člení se na následující podkapitoly:

- 2.1 Základní způsoby objemového tváření zastudena
- 2.2 Součásti, tvarově vhodné pro objemové tváření zastudena
- 2.3 Výběr součástí vhodných k protlačování z ekonomického hlediska
- 2.4 Oceli pro objemové tváření zastudena
- 2.5 Polotovary pro objemové tváření zastudena
- 2.6 Tepelné zpracování polotovarů a protlačků
- 2.7 Povrchová úprava a mazání polotovarů před protlačováním
- 2.8 Výpočet deformací při protlačování
- 2.9 Zpevňování materiálu při objemovém tváření zastudena
- 2.10 Křivky zpevnění
- 2.11 Hlavní technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů
 - 2.11.1 Technologické zásady pro dopředné protlačování oceli
 - 2.11.2 Technologické zásady pro zpětné protlačování oceli
- 2.12 Návrh technologického postupu výroby
 - 2.12.1 Volba polotovaru a tvářecích operací s ohledem na průběh zpevnění
 - 2.12.2 Návrh technologického postupu výroby pouzdra kalíškového tvaru
 - 2.12.3 Technologický postup výroby opěrného čepu s kulovou miskou
 - 2.12.4 Technologický postup výroby kulového čepu
 - 2.12.5 Technologický postup výroby šroubů
 - 2.12.6 Technologický postup výroby matic
- 2.13 Jakost povrchu protlačků
- 2.14 Rozměrová přesnost protlačků
- 2.15 Nástroje pro objemové tváření zastudena
- 2.16 Výpočet tvářecí síly a práce
- 2.17 Volba tvářecího stroje
 - 2.17.1 Mechanické lisy
 - 2.17.2 Hydraulické lisy
- 2.18 Dokončování výlisků

	Cíle kapitoly
	<p>Budete umět:</p> <ul style="list-style-type: none"> 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. <p>Získáte:</p> <ul style="list-style-type: none"> 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. <p>Budete schopni:</p> <ul style="list-style-type: none"> rozebrat 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, rozebrat druhy dokončování výlisků.

	Klíčová slova kapitoly
	<p>Objemové tváření zastudena, napjatost, plastická deformace, jakost povrchu, zpevnění, dopředné protlačování, průtlačník, zpětné protlačování, sdružené protlačování, stranové protlačování, polotovar, pěchování, 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, ostřihování, vrtání, ořep, omílání.</p>

	Čas potřebný ke studiu kapitoly: 6 hodin
---	---

	Průvodce studiem
	<p>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.</p>

Technologie objemového tváření zastudena se používá **především pro výrobu rotačně symetrických součástí**. Tato technologie má oproti obrábění i jiným výrobním metodám, řadu výhod. Výhodami jsou velmi nízká spotřeba materiálu (minimální odpad), nízké výrobní časy, vysoká produktivita práce, nízké výrobní náklady a vysoká kvalita výrobků.

Objemové tváření zastudena je technologií, při které se podstatně mění tvar polotovaru. Pro výrobu součástí se zpravidla využívají kombinace různých základních způsobů objemového tváření zastudena (viz 2.1). V porovnání s jinými metodami tváření zastudena probíhá objemové tváření za **působení prostorové napjatosti**, které vytváří podmínky pro velké plastické deformace, aniž se poruší soudržnost tvářeného materiálu.

Deformace je vyvolána tlakem průtlačníku a průtlačnice, přičemž v oblasti deformace dosahuje napětí přetvárného odporu. Vlastní tváření probíhá pod rekrytalizační teplotou (max. 0,3 teploty tavení materiálu), takže dochází k postupnému zpevňování výchozího materiálu. Velikost zpevnění závisí na průřezové deformaci v daném místě vylisku. Vzhledem k tomu, že deformovaný materiál má vyšší mez kluzu i mez pevnosti, lze pro daný výrobek (s požadovanými mechanickými hodnotami) použít méně hodnotný výchozí materiál, tj. materiál o nižších výchozích mechanických vlastnostech. Neméně významné jsou i metalurgické vlastnosti výrobků, např. nepřerušovaný průběh vláken, zvýšení meze únavy vylisků v důsledku zpevnění.

Při využití víceoperačního objemového tváření zastudena **v nástrojích na mechanických lisech** nebo **na speciálních víceoperačních tvářecích automatech** dochází k podstatnému zkrácení výrobní doby a ke zkvalitnění výroby.



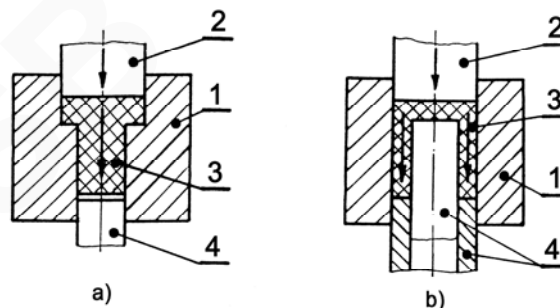
Úkol k zamyšlení

Uveďte **příklady využití výhod technologie objemového tváření zastudena** při výrobě součástí v praxi.

2.1 Základní způsoby objemového tváření zastudena

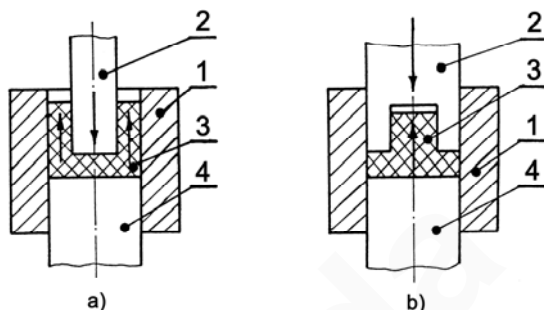
Podle směru a způsobu tečení materiálu v tvářecím nástroji se rozeznávají tyto základní způsoby objemového tváření kovů:

a) dopředné protlačování – **materiál teče ve směru pohybu průtlačníku** (obr. 2.1), proto se též nazývá **protlačování sousledné**. Výchozím polotovarem může být kalíšek (vyrobený zpětným protlačením), prstenec, špalík kruhového nebo jiného průřezu, trubka apod. Výhodou dopředného protlačování je to, že poměr délky vylisku k průměru může být až 24 : 1. Délka protlačené části není závislá na délce průtlačníku.




Obr. 2.1 Základní schémata procesů dopředného protlačování (a – klasické dopředné protlačování, b – protlačování kalíškového tvaru, 1 – průtlačnice, 2 – průtlačník, 3 – protlaček, 4 – spodní trn, tj. vyhazovač)

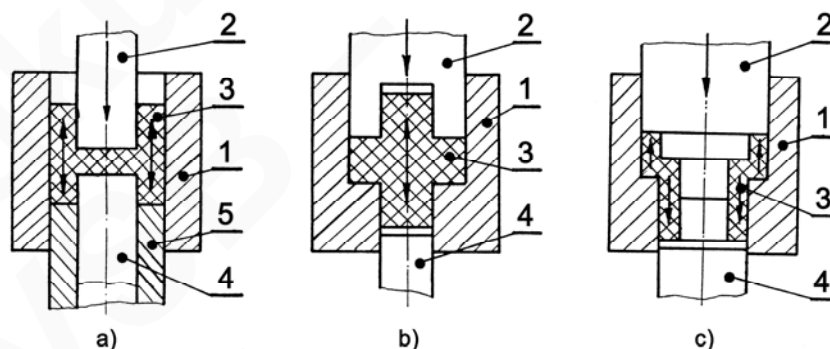
b) zpětné protlačování – materiál teče proti směru pohybu průtlačníku (obr. 2.2), proto se též nazývá **protlačování protisměrné**. Výchozím polotovarem je špalík, jehož výška je zpravidla větší než polovina průměru. Nevýhodou tohoto způsobu je velký přetvárný odpor, který omezuje funkční délku průtlačníku. Maximální poměr délky výlisku k průměru je 3 : 1. Zpětným protlačováním lze z oceli hospodárně zhotovit nízké a tlustostěnné protlačky.



Obr. 2.2 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)

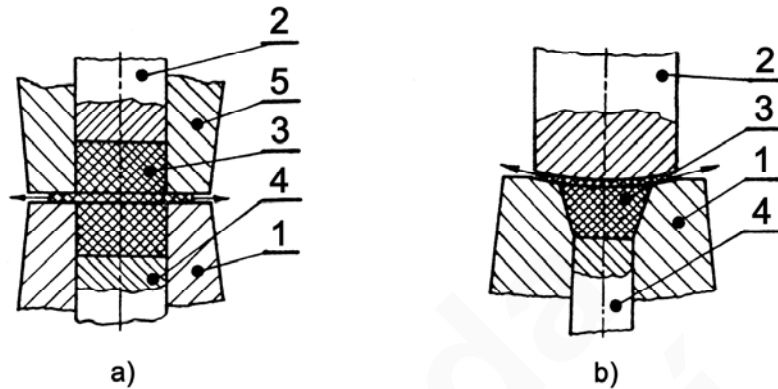
	Část pro zájemce
<p>Pomocí odkazu níže můžete spustit animaci zpětného protlačování kovu. Je zřejmé, že vzniká protlaček s tlustým dnem a tenkými stěnami.</p> <p><u>Zpětné protlačování kovu</u></p>	

c) sdružené protlačování – je kombinací obou výše uvedených způsobů, tj. materiál teče současně ve směru i proti směru pohybu průtlačníku (obr. 2.3), proto se též nazývá **protlačování obousměrné**. Aby materiál dobře zatekl do spodní i horní části protlačku, musí být v té části protlačku, do níž materiál teče ve směru pohybu průtlačníku, volen menší stupeň deformace (redukce), jinak by materiál do této části protlačku nezatekl.



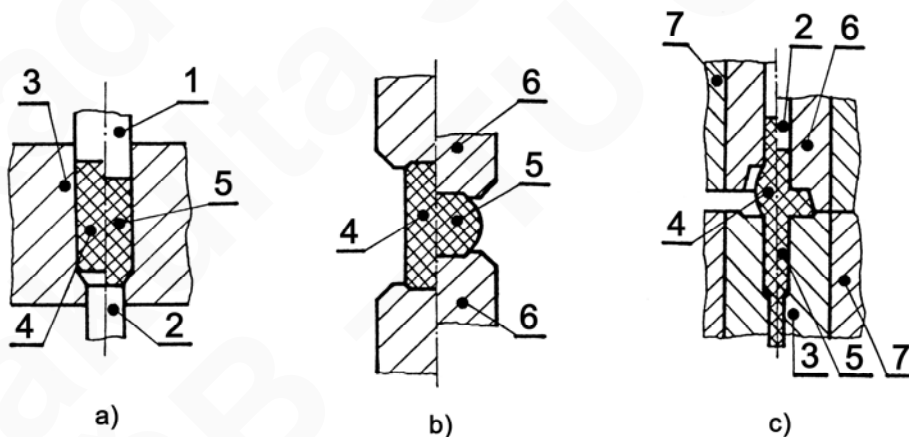
Obr. 2.3 Základní schémata procesů sdruženého protlačování (a – protlačování pouzdra s přepážkou, b – protlačování plného protlačku se dvěma výčnělky, c – protlačování dutého osazeného pouzdra, 1 – průtlačnice, 2 – průtlačník, 3 – protlaček, 4 – spodní trn, tj. vyhazovač, 5 – pouzdro trnu)

d) stranové protlačování – materiál teče kolmo na pohyb průtlačníku, tj. kolmo k podélné ose polotovaru (obr. 2.4). Tento proces umožňuje výrobu protlačků, které mají členité výstupky pravidelného i nepravidelného tvaru.



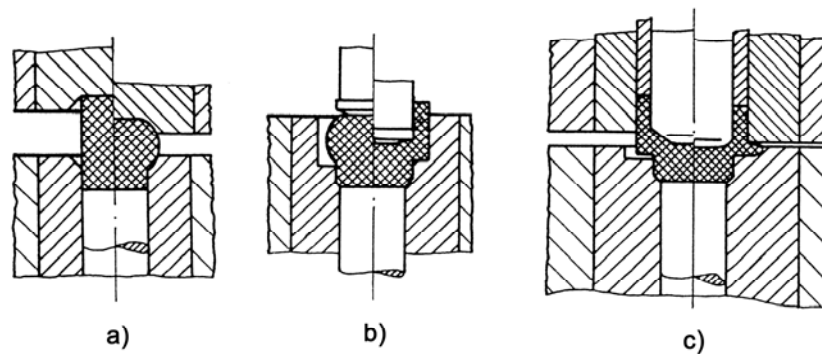
Obr. 2.4 Schémata procesů stranového protlačování (1 – průtlačnice, 2 – průtlačník, 3 – protlaček, 4 – spodní trn, tj. vyhazovač, 5 – horní průtlačnice)

e) pěchování – spočívá ve **stlačování výchozího polotovaru a tím zvětšování jeho průřezu** (obr. 2.5). Tohoto procesu se často využívá jako dílčí operace při výrobě členitých tvarů výlisků, např. při kalibraci výchozího materiálu za účelem dosažení přesných rozměrů, potřebných pro následující operace, zarovnání čel polotovarů, deformovaných při dělení materiálu. Operace pěchování rovněž umožňuje využití výchozího materiálu menších rozměrů, což je výhodné především z hlediska dělení polotovaru.



Obr. 2.5 Schémata procesů pěchování (a – kalibrace výchozího materiálu, b – pěchování materiálu na rozměry, potřebné pro další operaci, c – samostatná operace pěchování při víceoperačním tváření, 1 – průtlačník, 2 – vyhazovač, 3 – průtlačnice, 4 – polotovar, 5 – protlaček, 6 – lisovník, 7 – objímka, tzv. zděř)

f) kombinované tváření – je kombinací jednotlivých výše popsaných způsobů objemového tváření zastudena (obr. 2.6). V praxi se používá se velmi často, a to **především pro výrobu tvarově složitých součástí**.



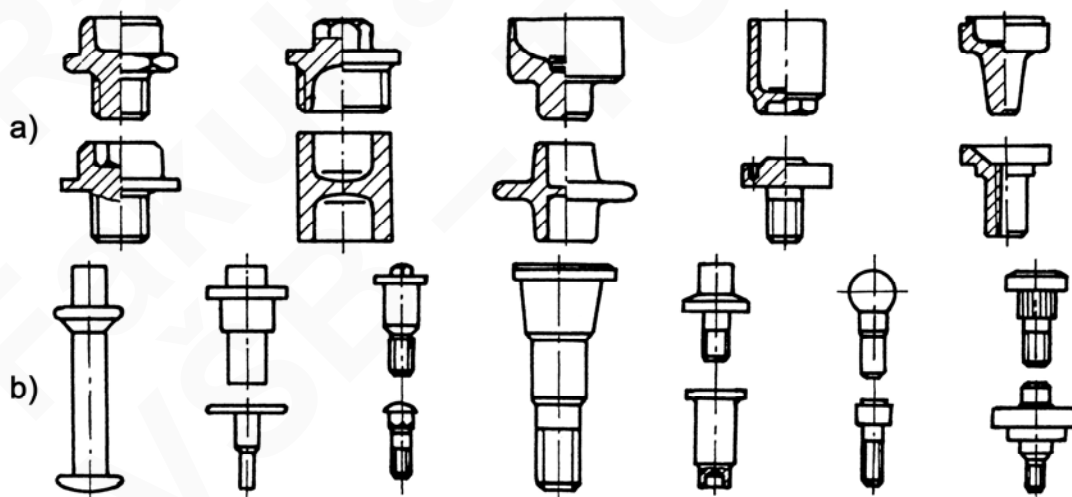
Obr. 2.6 Příklad kombinovaného tváření – tváření vložky ve třech operacích (a – první operace, pěchování, b – druhá operace, zpětné protlačování, c – třetí operace, stranové protlačování s celkovou kalibrací)

2.2 Součásti tvarově vhodné pro objemové tváření zastudena

Součásti tvarově vhodné pro objemové tváření zastudena mohou být symetrické, nesymetrické, jednoduchého i složitého tvaru. Mohou být zhotoveny kombinací základních způsobů protlačování (viz 2.1).

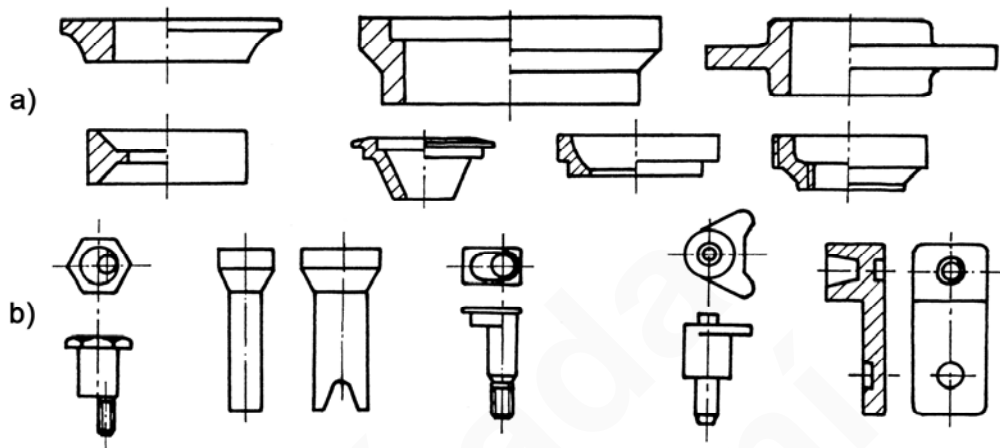
Podle charakteristických znaků lze tyto součásti rozdělit do následujících čtyř skupin:

- a) součásti kalíškového tvaru** (jednostranné i dvoustranné), vyráběné převážně dopředným a zpětným protlačováním (obr. 2.7 a)
- b) součásti čepového tvaru**, vyráběné většinou pěchováním, dopředným a stranovým protlačováním (obr. 2.7 b)




Obr. 2.7 Příklady součástí tvarově vhodných pro objemové tváření zastudena (a – součásti kalíškového tvaru, b – součásti čepového tvaru)

- c) *nízké rotační součásti s průchozím otvorem*, zhotovené zpravidla kombinací základních způsobů protlačování (obr. 2.8 a)
- d) *součásti nepravidelného tvaru* (obr. 2.8 b)



Obr. 2.8 Příklady součástí, tvarově vhodných pro objemové tváření zastudena (a – nízké rotační součásti s průchozím otvorem, b – součásti nepravidelného tvaru)

	Úkol k zamyšlení
Uveďte příklady součástí vyráběných technologií objemového tváření zastudena , se kterými přicházíte do styku.	

2.3 Výběr součástí vhodných k protlačování z ekonomického hlediska

Důvodem pro použití technologie objemového tváření zastudena je **snížení výrobních nákladů oproti obrábění**. Nejpodstatněji je možno snížit náklady na materiál, které činí třetinu z celkových nákladů, protože při obrábění jde průměrně 50 % i více materiálu do odpadu. Proto musí být pro hospodárnou výrobu součástí objemovým tvářením zastudena vybírány ty součásti, u nichž by bylo při obrábění velké procento odpadu.

Výběr součástí vyráběných na obráběcích automatech z hlediska vhodnosti pro objemové tváření zastudena lze provést s využitím tzv. **ukazatele potenciálních úspor materiálu $P_{\dot{u}}$** :

$$P_{\dot{u}} = n \cdot m_p \cdot c \cdot \frac{p}{100} \quad (\text{Kč}), \quad (2.1)$$

kde je

- n – počet vyráběných kusů za rok (ks),
- m_p – hmotnost polotovaru pro jednu součást u technologie obrábění (kg),
- c – cena 1 kg materiálu polotovaru (Kč),
- p – procento třísek z výchozího polotovaru, vznikající při obrábění (%).

Úspory materiálu by měly být tak velké, aby uhradily náklady na vývoj technologie a nástrojů pro objemové tváření zastudena.

Tab. 2.1 Minimální velikosti série podle hmotnosti protlačku

Hmotnost protlačku (kg)	Minimální velikost série (ks)	
	univerzální stroje	speciální stroje
1 ÷ 20	10000	50000 ÷ 100000
20 ÷ 500	5000	50000
500 ÷ 10000	3000	20000

Někdy může být důvodem pro použití technologie objemového tváření zastudena i u menší série nesnadnost výroby součásti jinou technologií.

2.4 Oceli pro objemové tváření zastudena

Požadované vlastnosti ocelí pro objemové tváření zastudena:

a) stav oceli – k protlačování je zpravidla nejvhodnější ocel *ve stavu žíhaném na měkko*.

b) struktura – ocel k protlačování má být co nejměkčí. *Struktura má být feriticko-perlitická, přičemž perlit je zcela globulární*. Vhodné struktury lze také dosáhnout kombinovaným žíháním, tj. normalizačním žíháním ke zrovnoměnění zrna a následujícím žíháním na měkko k dosažení nejnižší tvrdosti a nejvyšší tvárnosti. Doporučuje se průměrná velikost zrna 5 až 8 podle ČSN 42 0463.

c) mechanické vlastnosti – co nejnižší mez kluzu, co nejvyšší tažnost, co nejvyšší kontrakce (minimálně 55 %), poměr meze kluzu k pevnosti má být v mezích 0,5 až 0,6.

Oceli pro objemové tváření zastudena mají mít pokud možno *malý sklon ke zpevnění a dostatečnou tvárnost*. Proto se většinou používají oceli nízkouhlíkové a nízkolegované. Jen ve zvláštních případech se používají pro součásti jednoduchých tvarů oceli se středním obsahem uhlíku a oceli legované. Základní druhy ocelí, používané pro součásti vyráběné objemovým tvářením, jsou uvedeny v tab. 2.2.

d) chemické složení oceli – nízký obsah uhlíku, minimální obsah fosforu a síry, minimální výskyt staženin a vycezenin, nízký obsah nekovových vměstků.

Tab. 2.2 Základní druhy ocelí, používané k objemovému tváření zastudena

Ocel podle ČSN	Pevnost v žíhaném stavu R_m (MPa)	Ocel podle ČSN	Pevnost v žíhaném stavu R_m (MPa)
11 341	340 ÷ 420	12 050	550
11 426	420 ÷ 500	13 240	750
11 523	520 ÷ 640	14 120	600
12 013	400	14 220	700
12 010	340	14 221	700
12 020	400	14 331	800
12 024	400	15 230	700
12 031	400	15 260	800
12 040	450 ÷ 600	16 220	600

K protlačování se používá přednostně *ocelí s velkou odolností proti stárnutí*. Pro nejnáročnější protlačky se používají oceli uklidněné hliníkem. Tyto oceli mají homogenní chemické složení, zaručený stupeň čistoty a vysokou tvárnost. Tepelným zpracováním před tvářením se dosáhne stálosti mechanických vlastností protlačků.

Oceli neuklidněné, např. 11 300, 11 320, 11 343, 11 373, 11 423 jsou prakticky bez Si, mají čistou povrchovou vrstvu s nízkým obsahem C, P, S ale větší množství vycezenin. Tyto oceli *nemají odolnost proti stárnutí*. Použití ocelí neuklidněných k tváření zastudena je omezeno jen na součásti s menšími nároky na tvářitelnost a bez záruky na jejich zušlechtilnost.

Oceli lze rozdělit podle vhodnosti k objemovému tváření zastudena do tří skupin:

- A) **Oceli zvláště vhodné k tváření** – 11 300, 11 320, 11 330, 11 343, 11 373, 12 010, 12 011, 12 013 a oceli podle zvláštních přejímacích podmínek (A6P, A9, D9, I10).
- B) **Oceli dobře tvářitelné při běžném tepelném zpracování a povrchové úpravě** – 11 350, 11 375, 11 423, 11 425, 11 523, 12 020, 12 030, 14 120, 14 220.
- C) **Oceli, které lze tvářet zastudena jen při pečlivém tepelném zpracování, vhodné povrchové úpravě a vhodném mazání** – 11 500, 11 600, 12 040, 12 050, 15 260, 16 220, 16 221, 17 021, 17 027, 17 115, 17 255. Tvárnost těchto ocelí je nízká, proto je třeba výrobní proces rozložit na více tvářecích operací. Měrné tlaky při tváření zde hraničí s přípustnými tlaky na činné části protlačovacích nástrojů (max. 2500 MPa, výjimečně 2700 MPa) a ohrožují jejich hospodárnou životnost.

**Úkol k zamyšlení**

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

2.5 Polotovary pro objemové tváření zastudena

Při určování objemu polotovaru pro protlačování se vychází z předpokladu, že **objem tělesa zůstává konstantní**, tj. objem výchozího polotovaru se rovná objemu konečného protlačku. Výchozí objem polotovaru se určí z konečného tvaru protlačku, ve kterém jsou zahrnuty přídatky pro případné dokončení obrábění. **Tvar a rozměry výchozího polotovaru mají být co nejvíce podobné konečnému tvaru a rozměrům hotového protlačku**, avšak se zřetelem na jeho běžné normalizované rozměry (průřez tyčí, tloušťka plechu, průměr drátu).

Pro objemové tváření zastudena se používají následující polotovary:

a) plné špalíky kruhového i jiného průřezu (jejich výška je větší než polovina průměru nebo vnějšího rozměru). Tyto polotovary se získávají z drátu, tažených tyčí, válcovaných tyčí apod. Výchozí polotovary, tj. dráty nebo tyče, je nutno ve většině případů upravit rovnáním (na speciálních rovnačkách nebo rovnačkách lisech), odstranit povrchové vady (broušením, loupáním, leštěním) a dělit na žádané rozměry (stříháním, upichováním, řezáním).

b) kaloty kruhového, čtvercového i jiného průřezu (jejich výška je menší než polovina vnějšího průměru nebo rozměru). Tyto polotovary jsou získávány z plechů nebo pásů vystřihováním.

c) špalíky s průchozím otvorem (jejich výška je větší než polovina vnějšího průměru). Tyto polotovary se získávají ze silnostěnných bezešvých trubek upichováním, řezáním nebo stříháním.

d) prstence kruhového, obdélníkového, oválného i jiného průřezu. Tyto polotovary jsou získávány z tažených drátů různých průřezů stříháním, svinutím, případně svařením.

Špalíky, získané stříháním, je nutno obvykle dále upravit pēchováním (odstranění nerovnoběžnosti čel, zaoblení spodní hrany špalíku, popřípadě přizpůsobení čela špalíku čelu průtláčnicku pro zpětné protlačování).

Špalíky, získané řezáním na pilách, je obvykle nutno upravit obroušením nedořiznutého otřepu a odjehlením ostrých hran (v omílacím bubnu).

2.6 Tepelné zpracování polotovarů a protlačků

Aby byl tvářený kov schopen plastické deformace při poměrně nízkých protlačovacích tlacích, je před tvářením a někdy mezi postupnými tvářecími operacemi vhodně tepelně zpracováván. **Tepelným zpracováním před tvářením dochází k** odstranění vnitřních pnutí, dosažení vyšší tvárnosti, snížení tvrdosti apod.

Lze rozlišit následující tepelné zpracování:

a) výchozích polotovarů před tvářením – používá se **žihání normalizační, žihání na měkko nebo žihání rekrytalizační**. Žihá se v rotačních nebo jiných pecích v ochranném prostředí. Po žihání se polotovary zbavují nečistot mechanicky, mořením nebo kombinací obou způsobů. Před mořením se zařazuje oplach a chemické odmaštění polotovarů.

b) protlačků – někdy se provádí tepelné zpracování mezi jednotlivými tvářecími operacemi, jehož účelem je zmenšení nebo odstranění zpevnění a vnitřního pnutí. Používá se **žihání normalizační, žihání na měkko nebo žihání rekrytalizační k vyrovnání velikosti zrna**.

Normalizační žihání – ocelové polotovary se ohřívají nad teplotu A_{C3} (nejměkčí oceli na teplotu 920 °C), výdrž 30 až 60 minut, pak se ochlazují na klidném vzduchu. Tímto žiháním se zjemní struktura před protlačováním, odstraní nebezpečí stárnutí nebo příliš hrubé zrna.

Žihání na měkko – provádí se při teplotě 680 až 720 °C po dobu 3 až 4 hodin s pomalým ochlazováním v peci. Provádí se u ocelí se zvýšeným obsahem uhlíku, aby se dosáhlo co největšího změknutí při daném chemickém složení. Tohoto způsobu žihání se používá před první tvářecí operací a v náročných případech i mezi jednotlivými tvářecími operacemi. Před žiháním na měkko se doporučuje polotovary žihat normalizačně, aby se dosáhlo nejvýhodnější struktury.

Rekrytalizační žihání – používá se mezi tvářecími operacemi. Je výhodné především u měkkých ocelí, protože již při stupni deformace 25 % stačí u oceli s obsahem uhlíku 0,2 % teplota 600 až 650 °C, aby ocel rekrytalizovala a obnovila svou tvárnost.

Žihání se provádí vesměs **v elektrických pecích v ochranné atmosféře**, která zabrání nadměrnému tvoření okují.



Úkol k zamyšlení

Popište procesy v materiálu při rekrytalizačním žihání.

2.7 Povrchová úprava a mazání polotovarů před protlačováním


Před vlastním tvářením je nutná povrchová úprava polotovarů. **Účelem povrchové úpravy je** vytvoření nejen co nejpříznivějších podmínek tření a tím snížení deformační síly a práce, počtu tvářecích operací a časů, ale také dosažení vysoké kvality povrchu po tváření.

Povrchová úprava sestává z čištění (např. odstranění okují po předchozím tepelném zpracování) a **odmaštění**, vytvoření nosné vrstvy pro mazivo (**fosfátování**) a **nanášení maziva**:

a) čištění – drobné ocelové součásti se čistí omíláním v bubnech s ocelovou drtí. Často se přitom zároveň i **odmašťují** zásaditými odmašťovači na bázi fosforečnanů (např. Alkon A). Tenkostěnné, nebo jiné součásti choulostivé na otlučení, se čistí mořením při teplotě 20 až 70 °C (teplota se volí podle složení lázně) po dobu 10 až 30 minut. Větší ocelové polotovary je možno zbavit nečistého povrchu po žihání také pískováním.

b) fosfátování – na povrchu polotovaru se vytvoří **fosfátový povlak**, tj. tenká vrstva fosforečnanu zinečnatého s malým přídavkem fosforečnanu železa. Fosfátový povlak nekryje dokonale povrch polotovaru, ale je pórovitý. Tato pórovitost je velmi výhodná k tomu, aby na povrchu polotovaru dobře ulpívala používaná maziva. Maziva se do fosfátové vrstvy nejen absorbují, ale i chemicky váží, čímž vznikají kovová mýdla s výbornými kluznými vlastnostmi.

Fosfatizační lázeň má mít teplotu nad 90 °C, nemají-li vznikat hrubší zrna fosfátu a prodlužování celého procesu. Vložením součásti do lázně se začne uvolňovat vodík. Jakmile přestane vyvíjení vodíku, je fosfátování skončeno. Proces trvá 4 až 12 minut podle tvaru a povrchu součásti. Koncentraci lázně je nutno při provozu kontrolovat. Při fosfátování ve vanách je nutno součástmi pohybovat, aby se vytvořila stejnoměrná vrstva fosfátu. Nejvýhodnější tloušťka fosfátové vrstvy odpovídá hodnotě 40 až 200 mg/dm².

	Průvodce studiem
	Tloušťka fosfátové vrstvy je několik mikrometrů a má sametově matný našedlý 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.

c) mazání polotovarů před protlačováním – je nutné jednak proto, aby zabránilo přímému styku činné části nástroje s tvářeným kovem vytvořením mazacího filmu a tím snížilo tření a dále proto, aby byl nástroj chlazen. Intenzivní chlazení je nezbytné zejména při tváření na mechanických lisech, pracujících s vyšší rychlostí. Maziva také velmi ovlivňují kvalitu protlačků.

Jako maziva pro objemové tváření ocelí zastudena se doporučují ve vodě rozpustná mýdla, neemulgující minerální oleje různé viskozity s přísadami mastných kyselin a chemicky působících látek (aditiv, inhibitorů), živočišné a rostlinné tuky (lůj, sulfonovaný lůj, palmitový tuk, řepkový olej, lněný olej v mýdlovém roztoku) s přísadami chemicky působících látek (aditiv, inhibitorů).

K uvedeným mazivům může být přidán buď **grafit** nebo **sirník molybdeničitý**. Maziva se na polotovary obvykle nanášejí **ponorem**.

2.8 Výpočet deformací při protlačování

Při protlačování se rozměry protlačovaného tělesa (polotovaru nebo protlačku) mění. K matematickému vyjádření této změny se užívá dvou veličin – **poměrné deformace a logaritmické deformace**. Při zvětšování rozměrů (průřezu) je poměrná deformace i logaritmická deformace kladná, při zmenšování průřezu jsou obě veličiny záporné. *Pro zjednodušení se používá absolutních hodnot.*

Je výhodnější používat logaritmické deformace, protože je možno sčítat několik po sobě následujících deformací při postupných změnách rozměrů tvářených výlisků (výroba protlačku několika protlačovacími operacemi bez mezioperačního žhání), což nelze při použití veličiny poměrné deformace.

Výpočty poměrných a logaritmických deformací těles kruhových průřezů:

a) pěchování plného tělesa (obr. 2.9 a)

Poměrná průřezová deformace:

$$\varepsilon_S = \frac{S_1 - S_0}{S_1} \cdot 100 = \frac{D_1^2 - D_0^2}{D_1^2} \cdot 100 \quad (\%). \quad (2.2)$$

Logaritmická průřezová deformace:

$$\varphi_S = \ln \frac{S_1}{S_0} = \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} \quad (-). \quad (2.3)$$

Poměrná délková deformace:

$$\varepsilon_l = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad (%). \quad (2.4)$$

Logaritmická délková deformace:

$$\varphi_l = \ln \frac{l_0}{l_1} \quad (-). \quad (2.5)$$

b) dopředné protlačování plného tělesa (obr. 2.9 b)

Poměrná průřezová deformace:

$$\varepsilon_S = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100 = \frac{D_0^2 - D_1^2}{D_0^2} \cdot 100 \quad (%). \quad (2.6)$$

Logaritmická průřezová deformace:

$$\varphi_S = \ln \frac{S_0}{S_1} = \ln \frac{D_0^2}{D_1^2} \quad (-). \quad (2.7)$$

c) dopředné protlačování dutého tělesa (obr. 2.9 c)

Poměrná průřezová deformace:

$$\varepsilon_S = \frac{S_0 - S_1}{S_0 - S_2} \cdot 100 = \frac{D_0^2 - D_1^2}{D_0^2 - D_2^2} \cdot 100 \quad (%). \quad (2.8)$$

Logaritmická průřezová deformace:

$$\varphi_S = \ln \frac{S_0 - S_2}{S_1 - S_2} = \ln \frac{D_0^2 - D_2^2}{D_1^2 - D_2^2} \quad (-). \quad (2.9)$$

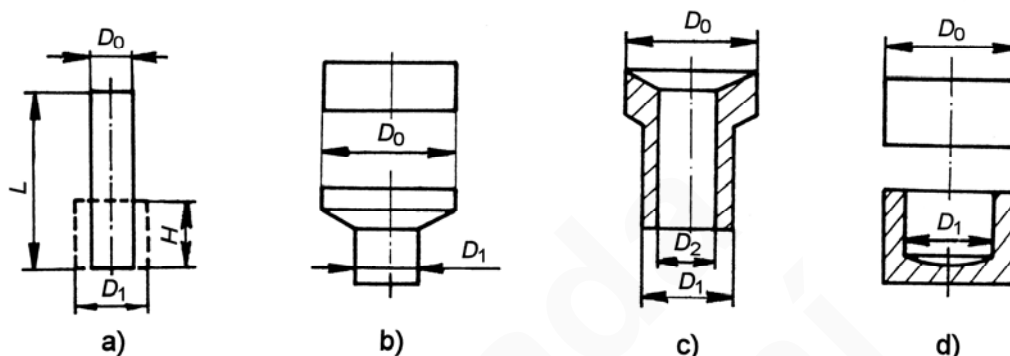
d) zpětné protlačování (obr. 2.9 d)

Poměrná průřezová deformace:

$$\varepsilon_S = \frac{S_1}{S_0} \cdot 100 = \frac{D_1^2}{D_0^2} \cdot 100 \quad (%). \quad (2.10)$$

Logaritmická průřezová deformace:

$$\varphi_S = \ln \frac{S_0}{S_0 - S_1} = \ln \frac{D_0^2}{D_0^2 - D_1^2} \quad (-). \quad (2.11)$$



Obr. 2.9 Schémata pro výpočet poměrné a logaritmické průřezové deformace (a – pěchování plného tělesa, b – dopředné protlačování plného tělesa, c – dopředné protlačování dutého tělesa, d – zpětné protlačování)

Vzájemný poměr logaritmické a poměrné průřezové deformace je dán vztahem:

$$\varphi_S = \ln \frac{100}{100 - \varepsilon_S} \quad (-). \quad (2.12)$$

2.9 Zpevňování materiálu při objemovém tváření zastudena

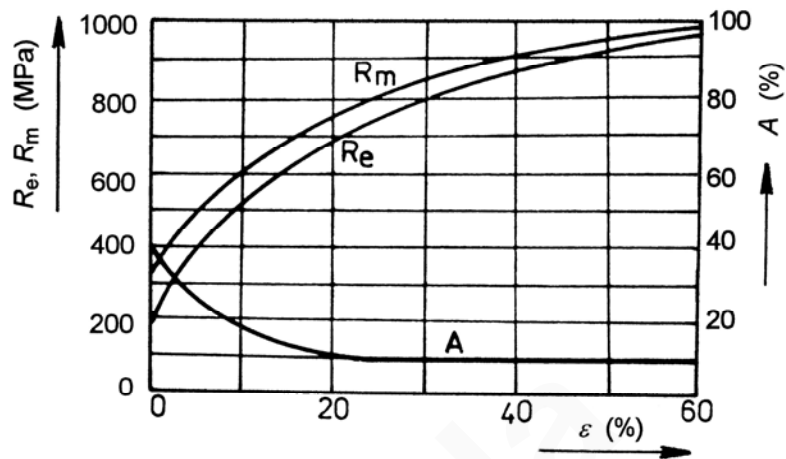
Tvářením zastudena se mění mechanické vlastnosti ocelí, vlivem zpevnění vzrůstá mez kluzu. **Velikost zpevnění je závislá na velikosti deformace.**

Změny mechanických vlastností zpevněním nízkouhlíkové oceli 11 341 jsou znázorněny na obr. 2.10. Z diagramu je patrné, že mez pevnosti i mez kluzu do poměrné průřezové deformace cca 20 % prudce vzrůstají, zatímco tažnost klesá. S dalším růstem deformace jsou tyto změny menší. Mez kluzu roste rychleji, než mez pevnosti, takže při velkých hodnotách deformace se u většiny ocelí tyto veličiny přibližují, u některých dokonce ztotožňují.

Zpevnění je provázeno i zvýšením tvrdosti. Tažnost materiálu při jeho zpevňování klesá a současně se snižuje i jeho houževnatost. Naproti tomu však i přes zmenšování tažnosti se u většiny ocelí zvyšuje mez únavy.

Zpevňování se projevuje u všech tvárných kovů, ale v rozdílné míře, která závisí na chemickém složení materiálu, odlišné stavbě krystalových mřížek a na způsobu tváření. Při tváření zastudena se zrna kovu prodlužují ve směru tváření a tím **dochází v protlačku ke vzniku textury.**

Povrchové vrstvy materiálu se zpevňují více než vrstvy vnitřní, protože deformace není vlivem nerovnoměrné napjatosti v celém průřezu rovnoměrná. Rozdíly ve zpevnění rostou s velikostí průřezu a stupněm deformace, takže tváření větších průřezů zastudena je obtížné jak z hlediska potřebných tvářecích sil, tak z hlediska dosažení rovnoměrného zpevnění v celém průřezu. Proto se tvářením zastudena zpracovávají převážně jen menší průřezy (do průměru cca 50 mm).



Obr. 2.10 Změny mechanických vlastností nízkouhlíkové oceli 11 341 při tváření zastudena



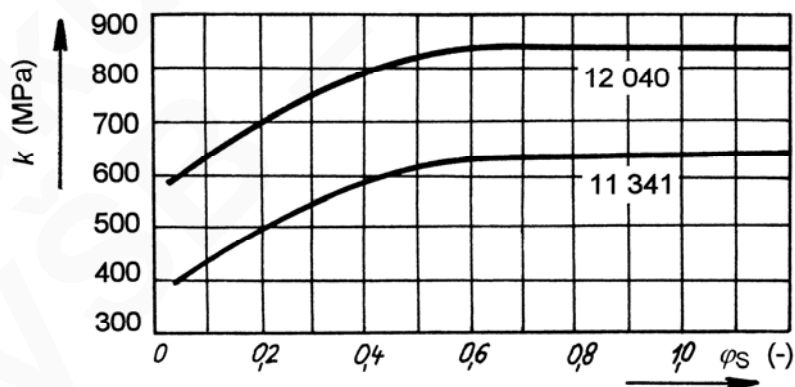
Úkol k zamyšlení

Vysvětlíte příčiny vzniku zpevnění při objemovém tváření zastudena.

2.10 Křivky zpevnění

Pro praktické využití zpevňování kovů při návrzích technologických postupů objemového tváření se sestavují pro jednotlivé materiály, teploty tváření a deformační rychlosti diagramy zpevnění, nazývané *křivky zpevnění*. Vyjadřují graficky závislost zpevňování materiálu na deformaci.

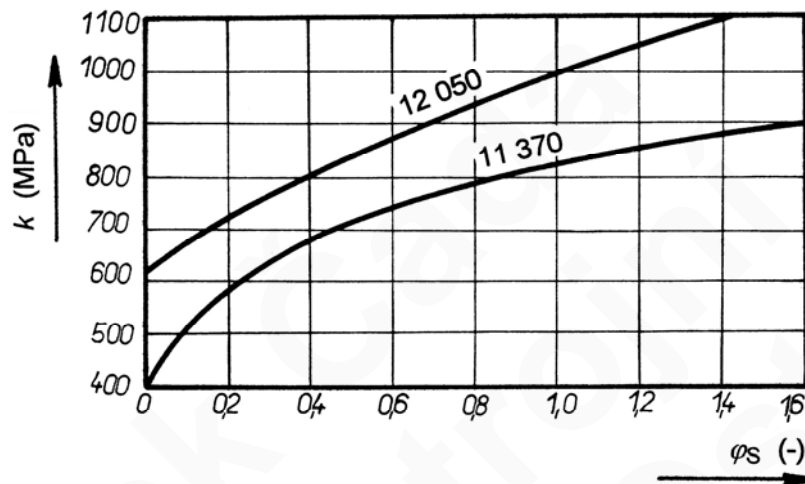
Na obr. 2.11 jsou uvedeny křivky zpevnění ocelí 11 341 a 12 040 při jejich protlačování, na obr. 2.12 jsou uvedeny křivky zpevnění ocelí 11 370 a 12 050. Uvedené křivky byly zjištěny při klasických tvářecích rychlostech na mechanických lisech.



Obr. 2.11 Křivky zpevnění ocelí 11 341 a 12 040 při jejich protlačování



Při výrobě protlačku několika tvářecími operacemi (bez mezioperačního žíhání) se zpevnění získaná jednotlivými tvářecími operacemi sčítají, na což je nutno brát zřetel při výpočtu velikosti deformační síly pro jednotlivé operace. Zpevnění je možno odstranit tepelným zpracováním (žíháním).

Důležitým předpokladem určení konečného zpevnění protlačku, které se stanoví jako součet dílčích zpevnění, je znalost křivek zpevnění pro různé způsoby tváření a jejich kombinace. Podmínkou pro přípustnost prostého součtu dílčích zpevnění je, aby deformace probíhala stále buď tahem, nebo tlakem. Kombinují-li se totiž způsoby tváření, např. tažení a pěchování, dochází v průběhu druhého způsobu tváření zpravidla nejprve k poklesu předchozího zpevnění a teprve potom nastává další zpevňování.




Obr. 2.12 Křivky zpevnění ocelí 11 370 a 12 050 při jejich protlačování

Pro úsporu vyhodnocování zdlouhavých zkoušek pěchováním se mohou křivky zpevnění přibližně sestavit z diagramů zkoušky tahem (jejich aproximací). Tento způsob je vhodný pro předběžné posouzení technologických postupů objemového tváření zastudena.


	Úkol k zamyšlení
	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).

2.11 Hlavní technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů

	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.

2.11.1 Technologické zásady pro dopředné protlačování oceli

Průtlačnice má na vnějším tvaru nalisovanou *bandáž* (jednu nebo dvě zděře), kterou se dosahuje *předpětí průtlačnice zvyšující její trvanlivost*. Délka protlačovaného dříku je omezena vzpěrnou pevností průtlačníku.

	Průvodce studiem
	Nalisování zděří na průtlačnici se provádí zatepla. Přesahy nalisovaných spojení musí být vypočteny tak, aby po vychladnutí vzniklo potřebné <i>tlakové předpětí průtlačnice</i> . 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.

Při navrhování tvarů ocelových součástí vhodných k dopřednému protlačování je třeba dodržet následující technologické zásady:

- stěny protlačku volit rovnoběžné se směrem tváření,
- stupeň deformace volit dle tab. 2.3,
- redukční úhel průtlačnice volit:

$$\alpha = \max. 126^\circ \quad \dots \text{ u ocelí skupin A, B (viz 2.4),}$$

$$\alpha = 40^\circ \div 60^\circ \quad \dots \text{ u ocelí skupiny C.}$$

Zvětšováním redukčního úhlu průtlačnice α se snižuje trvanlivost nástroje,

- přechodové poloměry redukční části volit v rozmezí:

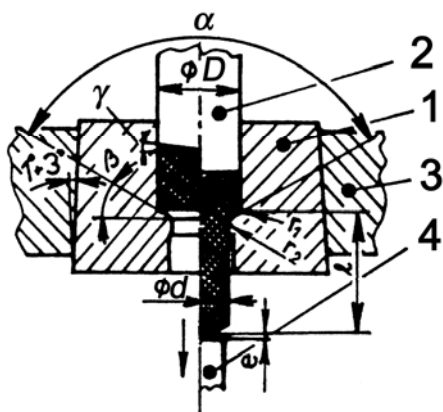
$$r_{1 \min} = 1,5 \text{ mm,}$$

$$r_{2 \min} = 1 \text{ mm,}$$

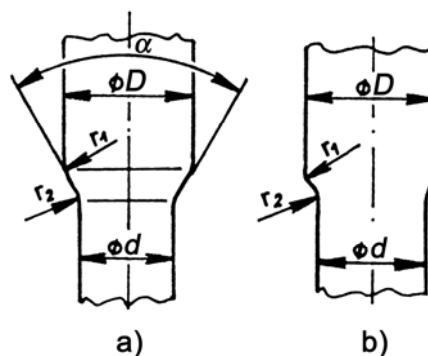
$$r_{1 \max} = \frac{D_0 - D_1}{2} \quad (\text{mm}),$$

$$r_{2 \max} = \frac{D_0 - D_1}{3} \quad (\text{mm}),$$

- pro velké rozdíly průměrů polotovaru D_0 a protlačku D_1 se volí přechod dle obr. 2.14 a, pro malé rozdíly průměrů přechod dle obr. 2.14 b,



Obr. 2.13 Geometrie činných částí nástroje pro dopředné protlačování oceli (1 – průtlačnice, 2 – průtlačník, 3 – objímka, tj. zděř, 4 – vyhazovač)



Obr. 2.14 Přechodové poloměry u ocelových protlačků (a – přechod pro velké rozdíly průměrů polotovaru D_0 a protlačku D_1 , b – přechod pro malé rozdíly průměrů)

- f) maximální délku protlačovaného díčku l volit:

$$l = \max. 24 D_0 \quad \dots \text{ u ocelí skupiny A (viz 2.4),}$$

$$l = \max. (10 \div 15) D_0 \quad \dots \text{ u ocelí skupiny B,}$$

$$l = \max. 10 D_0 \quad \dots \text{ u ocelí skupiny C,}$$

- g) čelo průtlačníku je vhodně vyduťté nebo s úkosem $\gamma = 5^\circ \div 10^\circ$, protože rovná čela praskají,
 h) tvar čela protlačků ve výstupní části průtlačnice není rovinný – zakřivení je závislé na velikosti přechodových poloměrů průtlačnice a stupni deformace,
 h) vnější tvary protlačku navrhovat bez ostrých koutů a hran,
 i) složité tvary tvářet na několik operací s mezioperačním žiháním a vhodnou povrchovou úpravou.

2.11.2 Technologické zásady pro zpětné protlačování oceli

Průtlačnice má na vnějším tvaru nalisovanou **bandáž** (jednu nebo dvě zděře), kterou se dosahuje **předpětí průtlačnice zvyšující její trvanlivost**. Při zpětném protlačování klade tvářený kov větší odpor než při dopředném, takže protlačovací nástroje jsou více namáhány. Dovolенý stupeň deformace má nižší hodnoty.

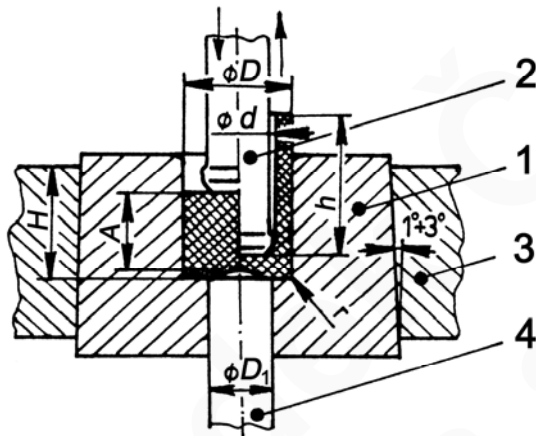
Při navrhování tvarů ocelových součástí vhodných ke zpětnému protlačování je třeba dodržet následující technologické zásady:

- stupeň deformace volit dle tab. 2.3,
- vnější tvar dna protlačku je vhodný mírně vyduťtý $t = (1 \div 2)$ mm, protože vypuklý opěrný trn (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 nejtěnějším místě.
- minimální poloměr zaoblení dutiny průtlačnice, tj. u dna kalíšku (obr. 2.15):

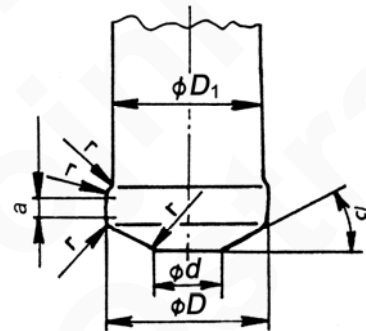
$r = 1 \text{ mm}$... pro $D_0 = \text{do } 20 \text{ mm}$,
$r = (1 \div 2) \text{ mm}$... pro $D_0 = (20 \div 40) \text{ mm}$,
$r = (2 \div 3) \text{ mm}$... pro $D_0 = (40 \div 60) \text{ mm}$,
$r = (3 \div 5) \text{ mm}$... pro $D_0 = (60 \div 80) \text{ mm}$,

- e) hloubka dutiny průtlačnice má být v mezích: $h = (1,2 \div 2) D_1$,
 f) údaje pro konstrukci nejčastěji používaného čela průtlačníku (obr. 2.16):

průměr rovného čela průtlačníku	$d = 0,5 D_0$,
úkos čela průtlačníku	$\beta = 27^\circ$,
výška válcové plošky	$a = (2 \div 5) \text{ mm}$,
průměr průtlačníku za válcovou ploškou	$D = D_0 - (0,1 \div 0,3) \text{ mm}$.



Obr. 2.15 Geometrie činných částí nástroje pro zpětné protlačování oceli (1 – průtlačnice, 2 – průtlačník, 3 – objímka, tj. zděř, 4 – vyhazovač)




Obr. 2.16 Geometrie čela průtlačníku pro zpětné protlačování oceli

2.12 Návrh technologického postupu výroby

Správný návrh technologického postupu výroby by měl zajistit: maximální využití materiálu, snížení pracnosti, dodržení předepsaných rozměrů, požadovaných mechanických vlastností, jakosti povrchu, dosažení maximální životnosti tvářecích nástrojů a ekonomické výroby součástí.

Počet tvářecích operací je závislý na konečném tvaru protlačku a přípustné deformaci pro stanovenou protlačovací operaci vzhledem k druhu tvářené oceli. Použije-li se polotovar dělený stříháním, předchází zpravidla protlačovací operaci pěchování k zarovnání čel, popřípadě přizpůsobení tvaru i rozměrů polotovaru další protlačovací operaci. Sled protlačovacích operací bývá kombinován nebo ukončen jinými tvářecími operacemi, jako např. tažení, redukování, ostřihování, pěchování a jiné, přičemž tyto operace mohou být buď samostatné nebo sdružené.

Z rozměrů polotovaru a konečného protlačku se vypočte **celková poměrná nebo logaritmická deformace**. Překročí-li vypočtené hodnoty přípustné meze s ohledem na způsob protlačování a druh oceli, zvýší se počet tvářecích operací. 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 žhání , při kterém narostou nová polygonální nedeformovaná zrna kovu.

Hodnoty přípustných poměrných a logaritmických deformací, které lze dosáhnout jednou tvářecí operací při různých způsobech protlačování jsou uvedeny v tab. 2.3, přičemž dolní meze platí pro oceli tvrdší (s vyšším obsahem uhlíku nebo legur), horní meze pro oceli měkčí (s nižším obsahem uhlíku).

Tab. 2.3 Hodnoty přípustných poměrných a logaritmických průřezových deformací oceli, které lze dosáhnout jednou tvářecí operací

Způsob objemového tváření zastudena	Skupina ocelí (viz 2.4)	Přípustné deformace	
		ε_S (%)	φ_S (-)
Zpětné protlačování klasické, tj. dutého kalíšku (obr. 2.1 a)	A	30 ÷ 70	0,36 ÷ 1,20
	B	30 ÷ 60	0,36 ÷ 0,92
	C	30 ÷ 50	0,36 ÷ 0,59
Zpětné protlačování výčnělku (obr. 2.1 b)	A	30 ÷ 75	0,36 ÷ 1,39
	B	30 ÷ 65	0,36 ÷ 1,05
	C	30 ÷ 50	0,36 ÷ 0,59
Dopředné protlačování klasické, uzavřené (obr. 2.2 a)	A	70 ÷ 75	1,20 ÷ 1,39
	B	60 ÷ 65	0,92 ÷ 1,05
	C	30 ÷ 40	0,36 ÷ 0,51
Dopředné protlačování prstence s průchozím otvorem, uzavřené	A	65 ÷ 80	1,05 ÷ 1,61
	B	50 ÷ 60	0,69 ÷ 0,92
	C	30 ÷ 40	0,36 ÷ 0,51
Dopředné protlačování volné	A, B, C	5 ÷ 30	0,05 ÷ 0,36
Pěchování mezi deskami	A	75 ÷ 80	1,39 ÷ 1,61
	B, C	50 ÷ 70	0,69 ÷ 1,20
Pěchování ostatní	A	80 ÷ 90	1,61 ÷ 2,30
	B, C	60 ÷ 80	0,92 ÷ 1,61

U víceoperačního tváření je možno sčítáním logaritmických průřezových deformací, dosahovaných v jednotlivých operacích, určit celkovou logaritmickou průřezovou deformaci a z ní následně pro daný výlisek a daný materiál stanovit podle křivek zpevnění celkové zpevnění výlisku.

Při návrhu technologického postupu 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. Rozměry polotovarů v každé jednotlivé tvářecí operaci je nutno stanovit na základě zákona stálosti objemu výlisku.

2.12.1 Volba polotovaru a tvářecích operací s ohledem na průběh zpevnění

Na uvedeném příkladu se nejlépe objasní možnosti volby polotovaru a tvářecích operací s ohledem na průběh zpevnění po délce hotového výlisku.

Na obr. 2.17 je znázorněn typický tvar součásti – **jednoduchý čep**, který je možno zhotovit dopředným protlačováním nebo pěchováním, případně kombinací obou těchto způsobů. Materiálem součásti je ocel 11 341, pro níž platí křivka zpevnění (obr. 2.11), získaná při protlačování ocelí na mechanických lisech.

Výpočet objemu výlisku čepu:

$$V = \frac{p \cdot D_1^2}{4} \cdot l_1 + \frac{p \cdot D_2^2}{4} \cdot l_2 = \frac{p \cdot 13^2}{4} \cdot 10 + \frac{p \cdot 10^2}{4} \cdot 30 = 3683,52 \text{ mm}^3.$$

Varianty polotovaru a tvářecích operací pro zhotovení výlisku čepu dle obr. 2.17:

a) zhotovení součásti dopředným protlačováním (obr. 2.17 a)

Výchozí polotovar bude mít průměr, odpovídající průměru hlavy, tj. $D_1 = 13 \text{ mm}$. Délka ústřížku $L_1 = 27,75 \text{ mm}$. Logaritmičká průřezová deformace dřívku φ_{Sd} :

$$\varphi_{Sd} = \ln \frac{D_2^2}{D_1^2} = \ln \frac{10^2}{13^2} = -0,52.$$

b) zhotovení součásti pěchováním (obr. 2.17 b)

Výchozí polotovar bude mít průměr, odpovídající průměru dřívku, tj. $D_2 = 10 \text{ mm}$. Délka ústřížku $L_2 = 46,9 \text{ mm}$. Logaritmičká průřezová deformace hlavy φ_{Sh} :

$$\varphi_{Sh} = \ln \frac{D_1^2}{D_2^2} = \ln \frac{13^2}{10^2} = 0,52.$$

c) zhotovení součásti kombinací obou předchozích způsobů (obr. 2.17 c)

Průměr výchozího polotovaru se volí $D_3 = 12 \text{ mm}$. Technologický postup je zvolen tak, že ústřížek je nejdříve napěchován na požadovaný průměr hlavy a průměr dřívku je následně získán dopředným protlačováním. Délka ústřížku $L_3 = 32,57 \text{ mm}$. Logaritmičká průřezová deformace hlavy φ_{Sh} :

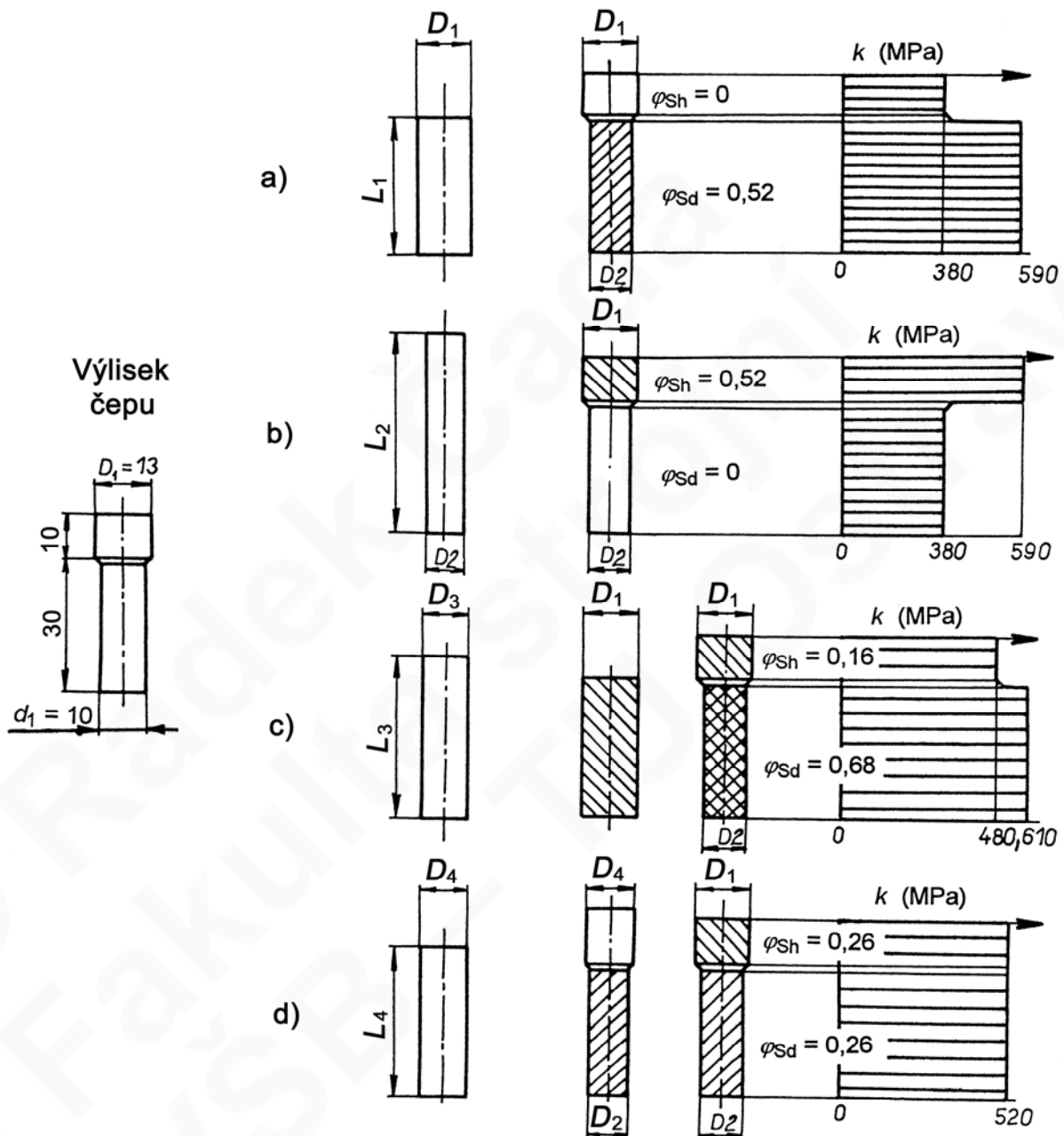
$$\varphi_{Sh} = \ln \frac{D_1^2}{D_3^2} = \ln \frac{13^2}{12^2} = 0,16.$$

Logaritmičká průřezová deformace dřívku φ_{Sd} :

$$\varphi_{Sd} = \ln \frac{D_2^2}{D_3^2} = \ln \frac{10^2}{13^2} = -0,52.$$

Celková deformace díčku je rovna součtu absolutních hodnot dílčích logaritmičeských průřezových deformací:

$$\varphi_{Sc} = |\varphi_{Sh}| + |\varphi_{Sd}| = 0,16 + 0,52 = 0,68 .$$



Obr. 2.17 Průběhy zpevnění po délce výlisku, zhotoveného různými technologickými postupy (a – zhotovení součásti dopředným protlačáním, b – zhotovení součásti pěchováním, c – zhotovení součásti kombinací dopředného protlačování a pěchování, d – zhotovení součásti tak, aby zpevnění hlavy i díčku bylo stejné)

d) zhotovení součásti tak, aby zpevnění hlavy i dřívku bylo stejné (obr. 2.17 d)

V tomto případě je třeba stanovit průměr výchozího polotovaru D_4 výpočtem.

Logaritmická průřezová deformace hlavy:

$$\varphi_{Sh} = \ln \frac{D_1^2}{D_4^2} \quad (-). \quad (2.13)$$

Logaritmická průřezová deformace dřívku:

$$\varphi_{Sd} = -\ln \frac{D_2^2}{D_4^2} \quad (-). \quad (2.14)$$

Podmínka rovnosti logaritmických průřezových deformací a tím i velikosti zpevnění:

$$\varphi_{Sh} = \varphi_{Sd}; \quad \ln \frac{D_1^2}{D_4^2} = -\ln \frac{D_2^2}{D_4^2} = \ln \frac{D_4^2}{D_2^2} \quad (-). \quad (2.15)$$

Z rovnosti logaritmů plyne vztah pro výpočet průměru polotovaru:

$$D_4 = \sqrt{D_1 \cdot D_2} = \sqrt{10 \cdot 13} = 11,4 \text{ mm}. \quad (2.16)$$

Velikosti logaritmických průřezových deformací při použití polotovaru o průměru D_4 :

$$\varphi_{Sh} = \ln \frac{D_1^2}{D_4^2} = 0,26; \quad \varphi_{Sd} = -\ln \frac{D_2^2}{D_4^2} = -0,26; \quad |\varphi_{sh}| = |\varphi_{sd}| = 0,26.$$

Velikosti zpevnění dřívku a hlavy součásti, vyrobené výše uvedenými způsoby, lze odečíst podle vypočtených logaritmických průřezových deformací z křivky zpevnění tvářeného materiálu (obr. 2.11).

2.12.2 Návrh technologického postupu výroby pouzdra kalíškového tvaru

Na obr. 2.18 je pouzdro, vyráběné původně z oceli 11 500 soustružením. Nyní je určeno k výrobě objemovým tvářením zastudena. Je třeba navrhnout takový technologický postup, který by umožnil výrobu pouzder s dodržением minimální pevnosti v tahu $R_m = 550 \div 600 \text{ MPa}$ bez mezioperačního žhání a povrchové úpravy mezi jednotlivými tvářecími operacemi.

Podle křivky zpevnění (obr. 2.11) lze požadované pevnosti dosáhnout tvářením zastudena materiálu 11 341, a to dodržением logaritmické průřezové deformace $\varphi_S = 0,4$ až $0,6$. Součást svým tvarem a rozměry vyhovuje technologii objemového tváření zastudena, přičemž není třeba žádných dodatečných konstrukčních úprav. Pouze otvor $\varnothing 6 \text{ mm}$ bude vrtán a průměr 21 e7 dokončen broušením.

Výpočet průměru výchozího polotovaru je proveden na základě požadavku, aby logaritmické průřezové deformace stopky φ_{Ss} i kalíšku φ_{Sk} byly stejné (příruba o rozměrech $D_4 = 24 \text{ mm}$, $h = 3 \text{ mm}$ je při tomto výpočtu zanedbána).

Logaritmická průřezová deformace stopky:

$$\varphi_{Ss} = \varphi_{S1} + |\varphi_{S2}| + |\varphi_{S3}| = \ln \frac{D_5^2}{D_1^2} + \left| \ln \frac{D_6^2}{D_5^2} \right| + \left| \ln \frac{D_3^2}{D_6^2} \right| = \left| \ln \frac{D_3^2}{D_1^2} \right| = \ln \frac{D_1^2}{D_3^2}, \quad (2.17)$$

kde je D_5 – průměr ústřížku po kalibraci (mm),
 D_1 – průměr výchozího polotovaru (mm),
 D_6 – průměr dřívku po dopředném protlačení (mm),
 D_3 – průměr stopky dokončeného výlisku (mm),
 D_2 – vnější průměr kalíšku dokončeného výlisku (mm),
 d_1 – vnitřní průměr kalíšku dokončeného výlisku (mm).

Logaritmická průřezová deformace kalíšku:

$$\varphi_{Sk} = \varphi_{S1} + \varphi_{S4} + \varphi_{S5} = \ln \frac{D_5^2}{D_1^2} + \ln \frac{D_2^2}{D_5^2} + \ln \frac{D_2^2}{D_2^2 - d_1^2} = \ln \frac{D_2^4}{D_1^2 \cdot (D_2^2 - d_1^2)}. \quad (2.18)$$

Podmínka rovnosti logaritmických průřezových deformací a tím i velikosti zpevnění:

$$\varphi_{Ss} = \varphi_{Sk}; \quad \ln \frac{D_1^2}{D_3^2} = \ln \frac{D_2^4}{D_1^2 \cdot (D_2^2 - d_1^2)} \quad (-). \quad (2.19)$$

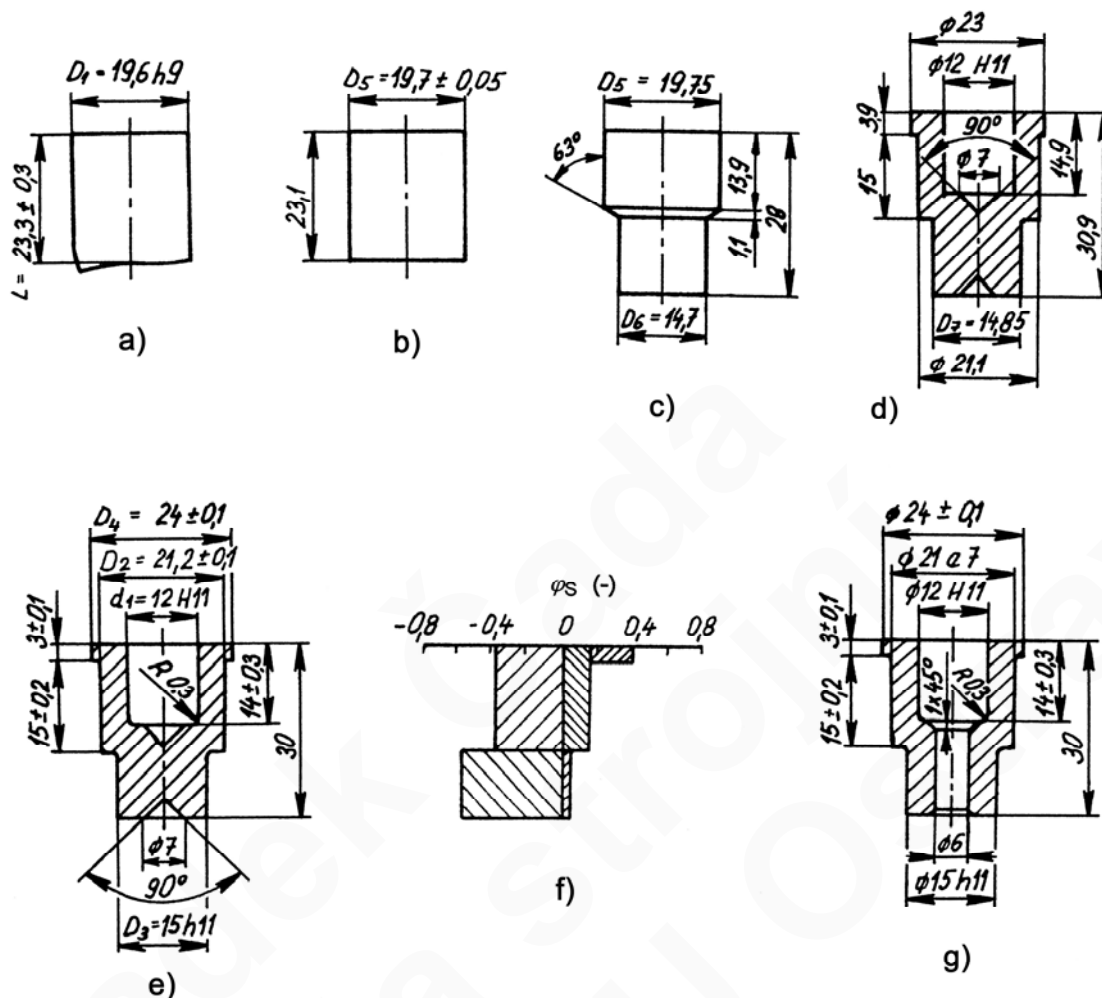
Z rovnosti logaritmů plyne vztah pro výpočet průměru výchozího polotovaru:

$$D_1 = D_2 \cdot \frac{\sqrt{D_3}}{\sqrt[4]{D_2^2 - d_1^2}} \quad (\text{mm}). \quad (2.20)$$

Délka polotovaru L se vypočte ze zákona stálosti objemu V tvářené součásti:

$$L = \frac{4V}{\rho \cdot D_1^2} \quad (\text{mm}). \quad (2.21)$$

Technologický postup výroby výlisku je znázorněn na obr. 2.18. Délka polotovaru $L > d$, proto se může použít pro přípravu špalíků stříhání. Po ustřížení se doporučuje ústřížky kalibrovat (obr. 2.17 b). Po vyžhání na měkko a fosfátování povrchu je polotovar připraven pro tvářecí operace.



Obr. 2.18 Technologický postup výroby pouzdra (a – ústřížek, b – kalibrace ústřížku, c – dopředné protlačování dířku, d – zpětné protlačování kalíškového tvaru, e – pěchování příruby a celková kalibrace na konečný tvar, f – průběh logaritmické průřezové deformace, g – hotový výrobek po obrobení)

Logaritmická průřezová deformace přírubové části:

$$\varphi_{Sp} = \varphi_{Sk} + \varphi_{S6} = \ln \frac{D_2^4}{D_1^2 \cdot (D_2^2 - d_1^2)} + \ln \frac{D_4^2}{D_2^2} \quad (-), \quad (2.22)$$

kde je D_2 – vnější průměr kalíšku dokončeného vylisku (mm),
 D_1 – průměr výchozího polotovaru (mm),
 d_1 – vnitřní průměr kalíšku dokončeného vylisku (mm),
 D_4 – průměr příruby dokončeného vylisku (mm).

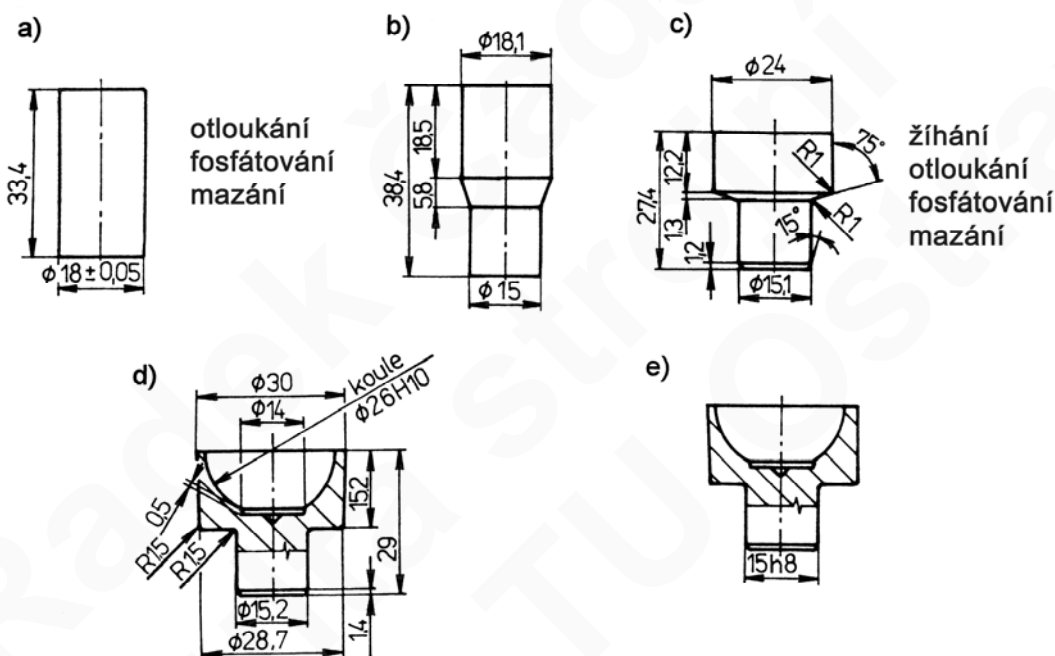
Zpevnění v jednotlivých částech vylisku lze odečíst podle příslušných logaritmických průřezových deformací z křivky zpevnění pro materiál 11 341 (obr. 2.11).

2.12.3 Technologický postup výroby opěrného čepu s kulovou miskou

Opěrný čep s kulovou miskou (obr. 2.19 e) je *součástí kalíškového tvaru* (viz 2.2). Pro tento čep má být navržen technologický postup výroby objemovým tvářením zastudena na mechanickém lisu. Materiálem čepu je ocel 16 220, která patří do skupiny C (viz 2.4).

Ocel 16 220 lze tvářet zastudena jen při pečlivém tepelném zpracování, vhodné povrchové úpravě a vhodném mazání. Tvárnost této oceli je nízká, proto je třeba výrobní proces rozložit na více tvářecích operací. Měrné tlaky při tváření by měly být nižší než jsou přípustné tlaky na činné části protlačovacích nástrojů (max. 2500 MPa, výjimečně 2700 MPa), aby nebyla ohrožena hospodárná životnost nástrojů.

Jako polotovar pro výrobu špalíků lze navrhnout taženou ocel 16 220.1 (normalizačně žíhaná) $\varnothing 18$ h9 v tyčích.



Obr. 2.19 Technologický postup výroby opěrného čepu s kulovou miskou (a – ústřížek tyče, b – dopředné protlačování dířku, c – pěchování neprotlačené části, tj. hlavy, d – protlačování kulové misky, e – tvar po obrobení)

Sled operací:

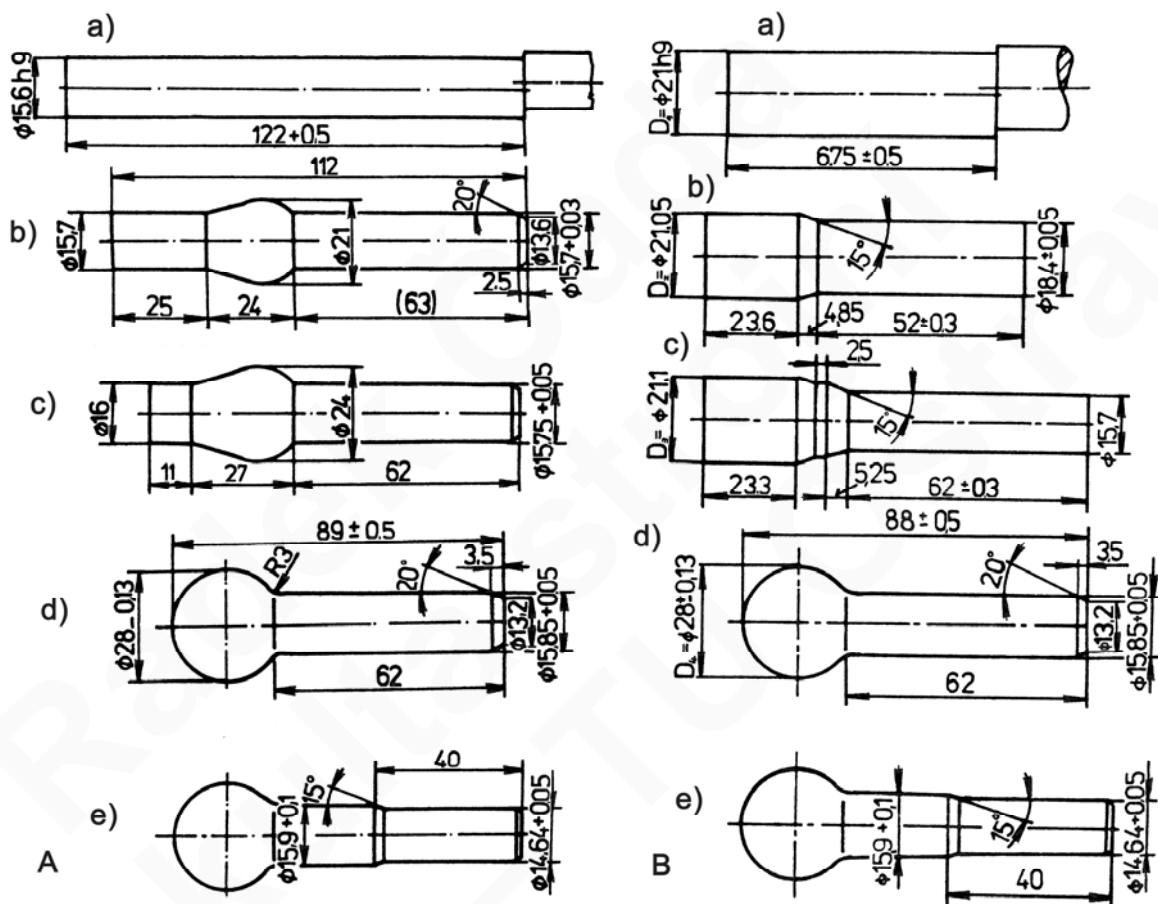
- stříhání špalíku na délku ($33,4 \pm 0,3$) mm (obr. 2.19 a),
- otloukání v bubnu,
- fosfátování a mazání povrchu,
- dopředné protlačování na $\varnothing 15 \pm 0,5$ mm (obr. 2.19 b),
- pěchování neprotlačené části na $\varnothing 24$ mm (obr. 2.19 c),
- žíhání na měkko v neutrální atmosféře,
- otloukání v bubnu,

- h) fosfátování a mazání povrchu,
- i) protlačování kulové misky (obr. 2.19 d).

Rozměr $\varnothing 15\text{ h}8$ (obr. 2.19 e) se získá následně obráběním.

2.12.4 Technologický postup výroby kulového čepu

Na obr. 2.20 jsou znázorněny *dvě varianty technologického postupu výroby kulového čepu* objemovým tváření zastudena z drátu na tvářecích automatech.



Obr. 2.20 Technologický postup výroby kulového čepu (A – výhradně pěchováním, B – kombinací způsobů objemového tváření zastudena)

A) výroba kulového čepu výhradně pěchováním (obr. 2.20 A). Tento způsob nezaručuje rovnoměrné zpevnění výlisku v podélném průřezu.

B) výroba kulového čepu kombinací způsobů objemového tváření zastudena (obr. 2.20 B). Tento způsob je vhodný, je-li požadována větší pevnost (700 MPa). Požadovanou pevnost je možno dosáhnout při použití výchozího materiálu o menší pevnosti. Tento postup umožňuje přetvářet výlisek v celém podélném průřezu a dává záruku rovnoměrného zpevnění. V daném případě je nutno volit výchozí drát z oceli 12 040, žíhaný na měkko, mořený, fosfátovaný a kalibrováný tahem s 5 % úběrem, o výchozí pevnosti 500 až 550 MPa. Požadované zpevnění odpovídá celkové logaritmické průřezové deformaci $\varphi_S = 0,4$ až $0,6$.

2.12.5 Technologický postup výroby šroubů

Objemovým tvářením zastudena se zpravidla vyrábí šrouby do velikosti M 20. Větší šrouby všech tvarů nad M 20 se vyrábějí většinou tvářením zatepla.

Na obr. 2.21 je znázorněn **technologický postup výroby výlisku šroubu se šestihrannou hlavou M 12 x 50 ČSN 02 1101**.

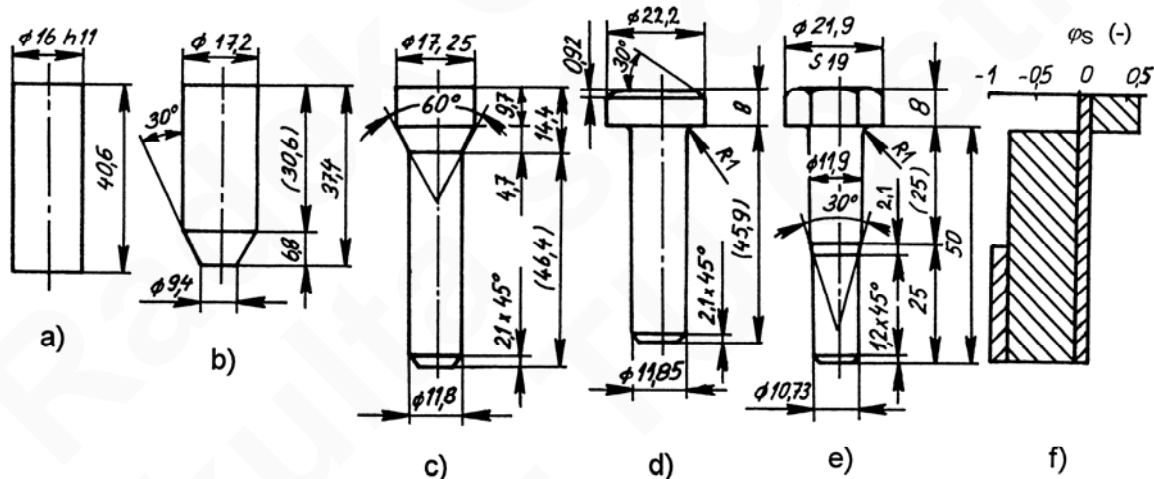
Průřez výchozího materiálu je o 10 až 25 % větší, než je průřez díku vyráběného šroubu (obr. 2.21 a).

V první tvářecí operaci (obr. 2.21 b) se za současného kalibrování čel pěchuje výchozí polotovaru na průměr, jehož průřez je o 6 až 10 % větší než průřez výchozího materiálu, avšak tak, aby v následující operaci při dopředném protlačování nebylo příčné zúžení větší než 30 %. Napěchováním polotovaru se podstatně zpevní tvářený materiál při relativně malé deformaci.

Ve druhé operaci (obr. 2.21 c) se protlačuje dík, jehož průměr je o 0,2 až 0,3 mm menší, než je požadovaný konečný průměr.

V třetí operaci (obr. 2.21 d) se napěchuje válcová hlava i dík na požadovaný rozměr a zároveň se tvářením hrotí konec díku. Napěchovaná hlava by měla mít tvar válce o průměru opsané kružnice požadovaného šestihranu, zvětšený o 0,2 až 0,3 mm.

V poslední tvářecí operaci (obr. 2.21 e) se upravuje dík dopředným protlačováním na střední průměr závitu a ostříhuje se hlava do tvaru šestihranu.



Obr. 2.21 Technologický postup výroby výlisku šroubu M 12 x 50 ČSN 02 1101 (a – ústřížek drátu, b – kalibrace ústřížku, c – dopředné protlačování díku, d – pěchování hlavy a hrocení konce díku, e – dopředné protlačování části díku pro naválcování závitu a ostříhuje se hlava do tvaru šestihranu, f – průběh logaritmické průřezové deformace)



Průvodce studiem

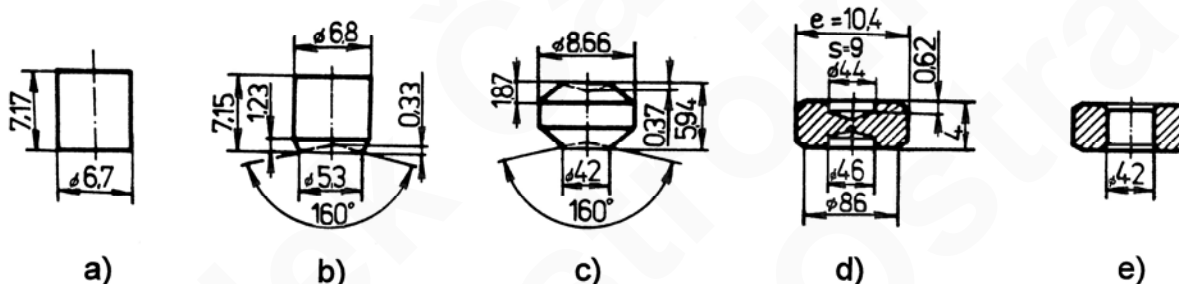
Průběh logaritmické průřezové deformace pro konečný protlaček šroubu (obr. 2.21 f) se kreslí jako složenina z jednotlivých logaritmických průřezových deformací, dosažených v jednotlivých tvářecích operacích. Kladné deformace, tj. ty, které zvětšují příčný průřez, se vynášejí od nulové čáry směrem doprava, záporné deformace, tj. ty, které zmenšují příčný průřez, se vynášejí směrem doleva od nulové čáry. Deformace z dané tvářecí operace se zakresluje do výsledného průběhu pro objem materiálu, který jí do sebe absorboval.

Uvedeným postupem se dosahuje **poměrně rovnoměrného zpevnění** v podélném i příčném průřezu šroubu. Rovněž průběh vláken je při tomto způsobu tváření velmi příznivý. Díky skutečnosti, že v průřezových přechodech šroubu nejsou velké pevnostní rozdíly spojené s vnitřním pnutím, není třeba provádět žíhání k odstranění pnutí, které je jinak nutné u šroubů zhotovených pýchováním zastudena.

Hrocení obráběním je nahrazeno tvářením. Další výhodou tohoto postupu je, že lze vyrábět šrouby různých délek, protože není nutno při dopředném protlačování díky používat uzavřených zápusťek.

2.12.6 Technologický postup výroby matic

Matice do velikosti M 20 (obr. 2.22) je možno výhodně vyrábět objemovým tvářením zastudena na automatických postupových lisech. Používá se nejlevnějšího výchozího materiálu, kterým je měkký ocelový drát kruhového průřezu ve svitcích. U drátu se požaduje rovnoměrná struktura, vysoká jakost povrchu a dobrá tvárnost zastudena. Průměr drátu se volí o 10 až 15 % menší, než je otvor klíče hotové matice. Odpad materiálu je asi 14 %.



Obr. 2.22 Technologický postup výroby matic M 5 na postupovém lisu (a – ústřížek drátu, b – kalibrace ústřížku, c – pýchování soudečkovitého tvaru, d – pýchování šestihranu a oboustranné protlačení otvoru, e – prostřížení mezistěny otvoru)

Výhodou výroby matic na postupových lisech je příznivé ovlivnění materiálu deformačním teplem (jde o rychlý děj) a dosažení výhodného, uzavřeného průběhu vláken.

Velikostí celkové deformace je určena i konečná pevnost vyrobených matic, která je o 40 až 65 % větší, než pevnost výchozího materiálu. Maximální zpevnění je na čelech a podél otvoru. Toto rozdělení zpevnění je zvláště příznivé z hlediska funkce. Vlákna probíhají téměř kolmo k válcové ploše otvoru. Tento průběh ovlivňuje únosnost tvářených matic, která je o 5 až 8 % vyšší než u matic soustružených.

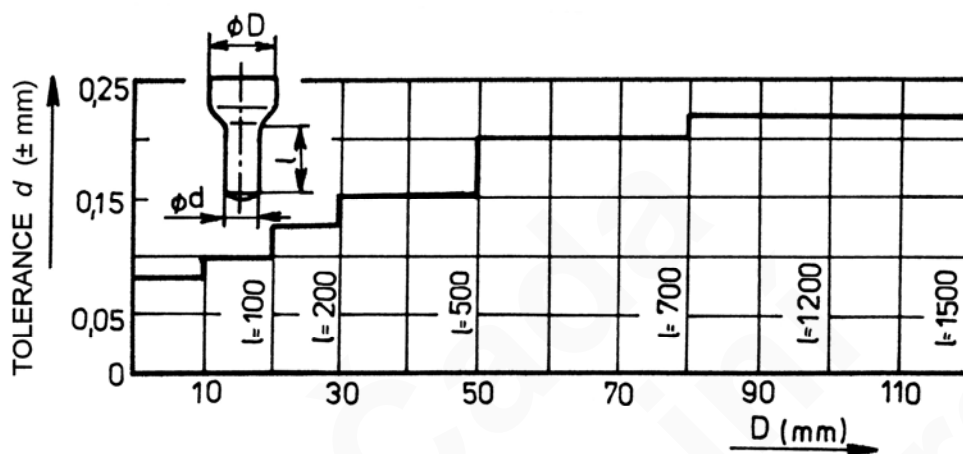
2.13 Jakost povrchu protlačků

Objemovým tvářením zastudena se dosahuje jakostního povrchu součástí, který se vyrovná broušenému. Velmi záleží na pečlivé povrchové úpravě polotovarů před tvářením (moření, fosfátování, mazání). Na jakost povrchu protlačků má vliv i kvalita střížné plochy kalot, zejména z velmi měkkých kovů.

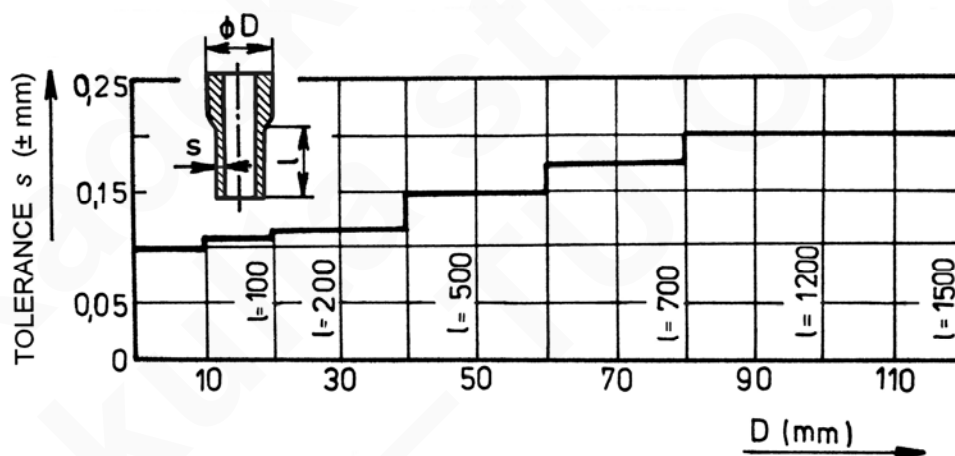
Rozhodujícím činitelem jsou však činné části nástrojů, které přicházejí do styku s tvářeným materiálem. Pracovní plochy nástrojů pro tváření ocelí se brousí na drsnost povrchu $R_a = 0,2 \mu\text{m}$, následně se vysoce leští, výjimečně i lapují. Proto protlačky vynikají jakostním hladkým povrchem, odolným proti otěru.

2.14 Rozměrová přesnost protlačků

Součásti, vyrobené objemovým tvářením zastudena se vyznačují vysokou přesností. Rozsah dosažené tolerance rozměru závisí na opotřebení činných částí nástroje. **U protlačků z oceli se dosahuje tolerancí rozměrů, odpovídajícím stupňům přesnosti IT 7 až IT 8** (obr. 2.23 až 2.26).



Obr. 2.23 Tolerance průměru díčku d protlačků z oceli, vyrobených dopředným protlačováním



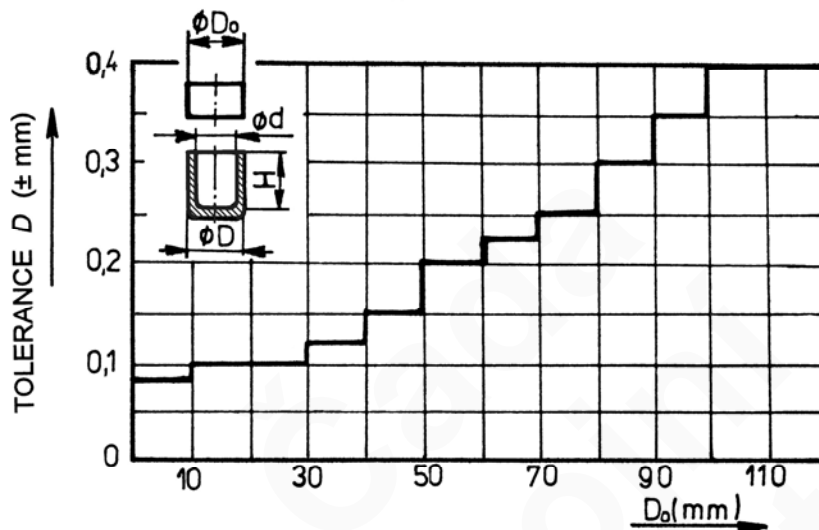
Obr. 2.24 Tolerance tloušťky stěny díčku s dutých protlačků z oceli, vyrobených dopředným protlačováním

Zařadí-li se do technologického postupu výroby ještě *další kalibrovací operace*, zlepší se přesnost výrobků o jeden stupeň základní tolerance. Tímto způsobem lze dodržet i velmi úzké tolerance při hospodárné životnosti nástrojů ve velkosériové výrobě.

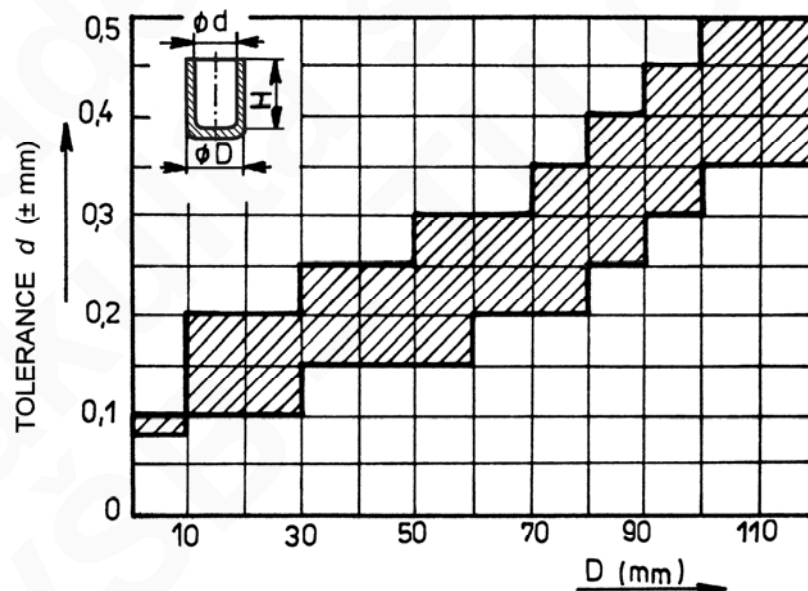
Aby se dosáhlo maximálního počtu protlačků s rozměry v hranicích dovolené tolerance, je třeba při určování rozměru pracovní části nástroje počítat i *s nepatrným zvětšením rozměrů tvářené součásti vlivem pružné deformace*, jakmile opustí redukční oblast v nástroji. Při protlačování naroste vnější rozměr vylisku o několik setin až desetín milimetru, rozměry protlačené dutiny ve vylisku se naopak zmenší. Velikost odpružení závisí na mechanických vlastnostech tvářeného materiálu, rovnoměrnosti struktury a stupni deformace. Zjišťuje se praktickou zkouškou.

Nová průtlačnice by měla mít jmenovitý rozměr, odpovídající spodní hranici tolerance, zmenšený o hodnotu odpružení, aby vzniklý protlaček měl minimální rozměr a celý rozsah tolerance se tak využil na opotřebení průtlačnice.

Při protlačování dutiny by měl mít nový průtlačník jmenovitý rozměr, odpovídající maximální hodnotě přípustné tolerance, zvětšený ještě o hodnotu napružení.



Obr. 2.25 Tolerance vnějšího průměru dutého kalíšku D protlačků z oceli, vyrobených zpětným protlačováním



Obr. 2.26 Tolerance vnitřního průměru dutého kalíšku d protlačků z oceli, vyrobených zpětným protlačováním

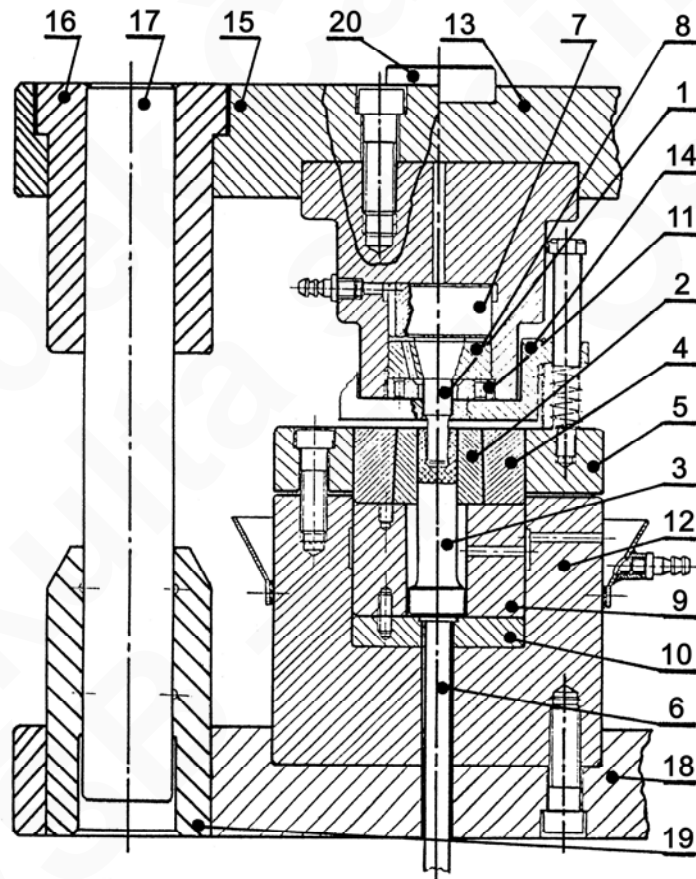
2.15 Nástroje pro objemové tváření zastudena

Nástroje jsou většinou konstruovány do **typizovaných upínacích částí** – **horní** (průtlačníkové) a **dolní** (průtlačnicové). **Nástroje pro zpětné protlačování** se vždy skládají z **průtlačníku**, **průtlačnice** a **stírače**. **Pro dopředné protlačování** je stírač většinou nahrazen **vyhazovačem**.

Činné části nástrojů vyžadují přesné a **tuhé provedení a dokonalé vedení**, čímž se zabrání nízké kvalitě protlačků a nadměrnému zatížení průtlačníku vlivem ohybových sil, vznikajícím rozdílným přetvárným odporem po obvodu protlačované součásti. Nástroje jsou proto opatřeny samostatným vedením, zpravidla se dvěma vodicími sloupky.

Funkční části nástroje, tj. průtlačník a složená průtlačnice, včetně jejich opěrných a upínacích částí, **jsou vyměnitelné**. Průtlačník je zakončen kuželovou hlavou, sloužící pro zvětšení dosedací plochy a pro středění průtlačníku v horní části nástroje. Průtlačnice je sevřena jednou nebo několika nalisovanými zděhmi.

Na obr. 2.27 je nakreslen nástroj pro zpětné protlačování součástí tvaru kalíšků, u kterého je středění zajištěno čtyřmi vodicími sloupky. Na obr. 2.28 je nakreslen nástroj pro sružené protlačování.

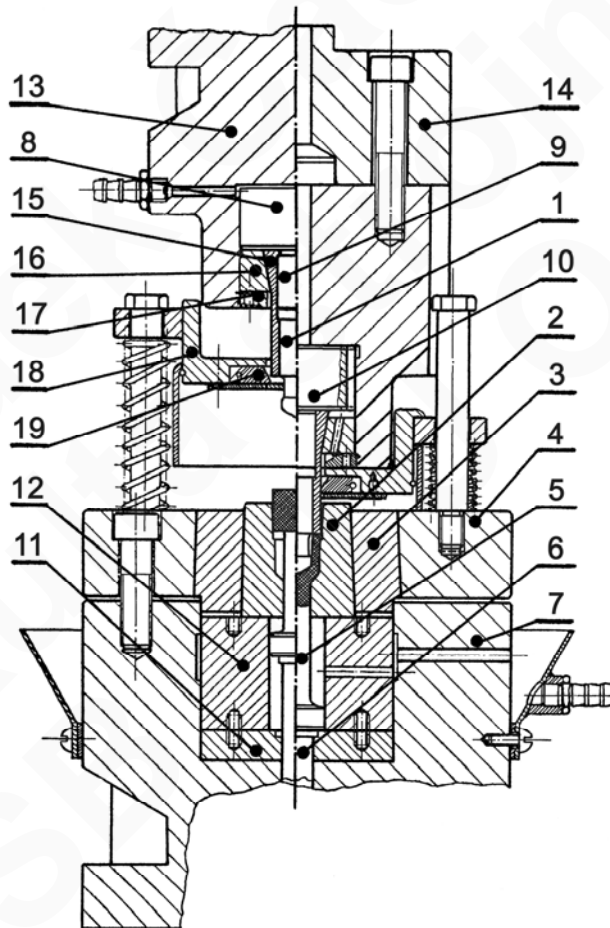


Obr. 2.27 Nástroj pro zpětné protlačování se čtyřmi vodicími sloupky (1 – průtlačník, 2 – průtlačnice, 3 – vyhazovač, 4 – zděh vnitřní, 5 – zděh vnější, 6 – vyhazovací kolík, 7 – podložka, 8 – sedlo, 9 – podložka, 10 – vložka, 11 – matice, 12 – těleso, 13 – těleso, 14 – stírač, 15 – deska horní, 16 – pouzdro, 17 – vodicí sloupek, 18 – deska dolní, 19 – vodicí pouzdro, 20 – středící vložka)



Průvodce studiem

Na sestavě nástroje pro zpětné protlačování (obr. 2.27) 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.



Obr. 2.28 Nástroj pro sružené protlačování (1 – průtlačník, 2 – průtlačnice, 3 – zděř vnitřní, 4 – zděř vnější, 5 – vyhazovač, 6 – vyhazovací kolík, 7 – těleso, 8 – podložka, 9 – podložka, 10 – podložka, 11 – podložka, 12 – vložka, 13 – těleso, 14 – nástavec, 15 – pouzdro, 16 – sedlo, 17 – matice, 18 – stírač, 19 – stírací segment)



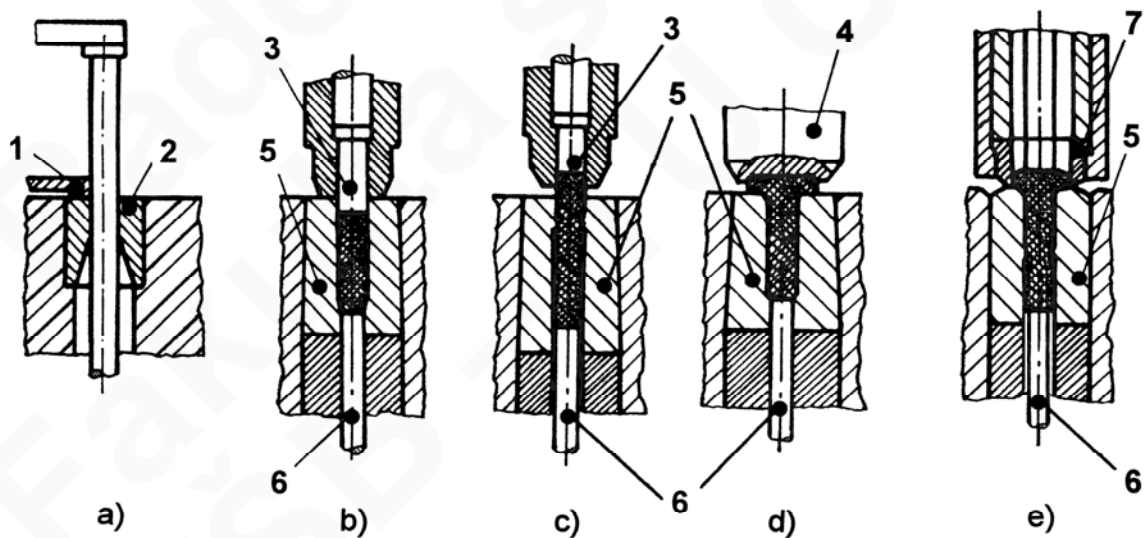
Průvodce studiem

Na sestavě nástroje pro sružené protlačování (obr. 2.28) 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 8, 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 s kuželovým otvorem, dosedajícím na kuželovou část pouzdra 15 průtlačníku 1. Přitlačení sedla na pouzdro průtlačníku se docílí dotažením matice 17. Vzhledem k tomu, že při zpětném protlačování zůstává protlaček po tváření na průtlačníku, je nástroj vybaven **stíračem** 18, 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.

Při hromadné a velkosériové výrobě šroubů a podobných čepovitých součástí se používají **víceoperační tvářecí automaty**. Kromě ustřížení materiálu provádí ještě dvě až šest tvářecích operací. Tvářecí nástroje pro postupové (víceoperační) tvářecí automaty se sestavují do **bloků**.

Před blokem průtlačnic se pohybuje **přenášecí zařízení**, které dopravuje mechanicky ovládanými kleštinami polotovary z jedné průtlačnice do druhé.

Schéma čtyřoperačního tvářecího automatu pro výrobu výlisku šroubu je znázorněno na obr. 2.29. Polotovary výlisku je po každém zdvihu beranu vytlačěn z průtlačnice a přenesen do další tvářecí operace.

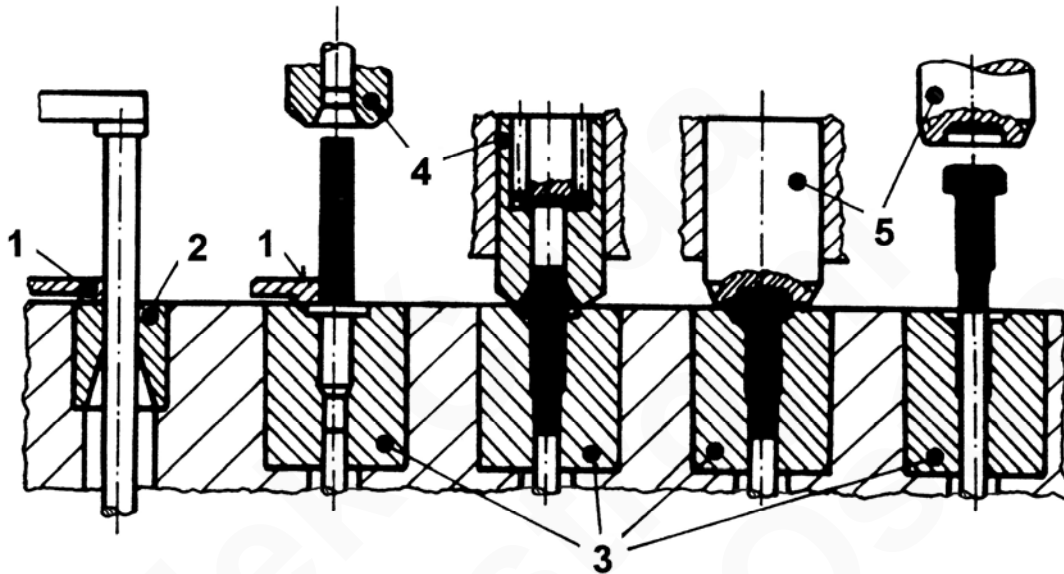


Obr. 2.29 Schéma čtyřoperačního tvářecího automatu pro výrobu výlisku šroubu (1 – plochý nůž, 2 – střížnice, tj. kruhový nůž, 3 – průtlačník, 4 – lisovník, 5 – průtlačnice, 6 – vyhazovací jehly, 7 – ostříhovací lisovník)

Schéma dvourázového pýchovacího automatu pro výrobu výlisku šroubu je znázorněno na obr. 2.30. Drát se odvíjí ze svitku, rovná se a stříhá na potřebnou délku. Ústřížek je přitlačen k noži a ten jej přenesení před průtlačnicí. Do průtlačnice zasune ústřížek lisovník, upevněný na beranu a zároveň jeho vyčnívající část napěchuje do hruškovitého tvaru. Při zpětném pohybu beranu se místo

prvního lisovníku postaví do osy průtlačnice druhý lisovník, kterým se dokončí tvar hlavy. Oba pýchovací nástroje jsou upevněny na desce, která v taktu pohybu beranu střídavě nastavuje do operace jeden a po něm druhý lisovník. Výlisek šroubu se vyrobí dvěma rázy beranu. Šestihran se ostříhne v jiném nástroji, stejně jako hročení dřívku a válcování závitu.

Šrouby vyráběné touto klasickou metodou mají *velmi nestejně zpevnění v podélném průřezu*. Hlava, kde je výchozí materiál nejvíce tvářen, vykazuje největší zpevnění, zatímco dřív šroubu nemění výchozí průřez a tím ani původní pevnost materiálu. Různým zpevněním vzniká v přechodu mezi hlavou a dřívem vnitřní prnutí, které je nutno odstranit žiháním.



Obr. 2.30 Schéma dvourázového pýchovacího automatu pro výrobu výlisku šroubu
(1 – plochý nůž, 2 – střížnice, tj. kruhový nůž, 3 – průtlačnice,
4 – první lisovník, 5 – druhý lisovník)

2.16 Výpočet tvářecí síly a práce

Výpočty tvářecích sil při různých způsobech objemového tváření zastudena jsou uvedeny v ČSN 22 7005.

Tvářecí síla, potřebná k dimenzování nástrojů a kontrole jmenovité síly zvoleného lisu, se vypočítá ze vztahu:

$$F = k_{ps} \cdot S \quad (\text{N}), \quad (2.23)$$

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

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

V oblasti výpočtu tvářecích sil při objemovém tváření zastudena byly pro inženýrskou praxi odvozeny **vzorce pro stanovení středního přetvárného odporu**, které respektují tření, rozměry výlisku a jeho geometrický tvar:

a) střední přetvárný odpor při pēchování hranolu:

$$k_{ps} = k_s \cdot \left(1 + \mu \frac{b}{H} \right) \quad (\text{MPa}), \quad (2.24)$$

kde je k_s – střední přirozený přetvárný odpor materiálu (MPa),
 b – šířka pēchovaného hranolu (mm),
 H – výška pēchovaného hranolu (mm),
 μ – součinitel smykového tření (-); $\mu = 0,3$ pro hrubší povrch a horší mazání, $\mu = 0,15$ pro broušený povrch a dobré mazání, $\mu = 0,1$ pro fosfátovaný povrch dobře mazaný.

b) střední přetvárný odpor při pēchování válce:

$$k_{ps} = k_s \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \mu \frac{D}{H} \right) \quad (\text{MPa}), \quad (2.25)$$

kde je k_s – střední přirozený přetvárný odpor materiálu (MPa),
 D – průměr pēchovaného válce (mm),
 H – výška pēchovaného válce (mm),
 μ – součinitel tření (-). Při dobrém mazání 0,1, při nedostatečném až 0,3.

c) střední přetvárný odpor při pēchování složitějších tvarů:

$$k_{ps} = k_s \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \mu \frac{D}{H} \right) \cdot s_1 \cdot s_2 \quad (\text{MPa}), \quad (2.26)$$

kde je k_s – střední přirozený přetvárný odpor materiálu (MPa),
 D – průměr pēchovaného válce (mm),
 H – výška pēchovaného válce (mm),
 μ – součinitel smykového tření (-). Při dobrém mazání 0,1, při nedostatečném až 0,3.
 s_1 – součinitel druhu deformace, $s_1 = 1$ pro volné pēchování plochým lisovníkem, $s_1 = 1,25$ až $1,75$ pro pēchování v uzavřeném nástroji,
 s_2 – součinitel nerovnoměrnosti napětí, $s_2 = 1,1$ pro válcové a půlkulové hlavy protlačků, $s_2 = 1,2$ pro složitější symetrické výlisky (čtyřhran, šestihran), $s_2 = 1,3$ pro nesymetrické složitě výlisky.

d) střední přetvárný odpor při zpětném protlačování (obr. 2.1 a)

$$k_{ps} = 1,152 \cdot k_s \cdot \frac{S_0}{S_1} \cdot \left(\log \frac{S_0}{S_0 - S_1} + \frac{S_0}{S_0 - S_1} \cdot \log \frac{S_0}{S_1} + \log \frac{S_1}{S_0 - S_1} \right) \quad (\text{MPa}), \quad (2.27)$$

kde je k_s – střední přirozený přetvárný odpor materiálu (MPa),
 S_0 – průřez polotovaru a protlačku (mm^2),
 S_1 – průřez dutiny protlačku (mm^2).

e) střední přetvárný odpor při dopředném protlačování plného tělesa (obr. 2.1 b)

$$k_{ps} = k_s \cdot (\varphi_S + 0,6) \cdot \left(1,25 + 2\mu \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot l_0^2}{S_0}} \right) \quad (\text{MPa}), \quad (2.28)$$

kde je k_s – střední přirozený přetvárný odpor materiálu (MPa),
 φ_S – logaritmická průřezová deformace (–),
 μ – součinitel smykového tření (–). Při dobrém mazání 0,1, při nedostatečném až 0,3.
 l_0 – délka polotovaru před protlačováním (mm),
 S_0 – průřez polotovaru a hlavy protlačku (mm²).

f) střední přetvárný odpor při dopředném protlačování dutého tělesa (obr. 2.1 c)

$$k_{ps} = k_s \cdot (\varphi_S + 0,6) \cdot \left(1,25 + \frac{\frac{\pi \cdot (D_0 + D_1)}{\mu \cdot l_0}}{S_0} \right) \quad (\text{MPa}), \quad (2.29)$$

kde je D_0 – průměr polotovaru a hlavy protlačku (mm²),
 D_1 – průměr tvářené části protlačku, tj. dířku (mm²),
 l_0 – délka polotovaru před protlačováním (mm),
 S_0 – průřez polotovaru před protlačováním (mm²),
 φ_S – logaritmická průřezová deformace (–),
 k_s – střední přirozený přetvárný odpor materiálu (MPa),
 μ – součinitel smykového tření (–). Při dobrém mazání 0,1, při nedostatečném až 0,3.

Střední přirozený přetvárný odpor materiálu lze vypočítat z hodnot přirozeného přetvárného odporu materiálu výlisku na počátku k_1 a na konci k_2 tvářecí operace:

$$k_s = \frac{k_1 + k_2}{2} \quad (\text{MPa}). \quad (2.30)$$

Hodnoty k_1 a k_2 pro daný materiál lze stanovit podle křivky zpevnění (viz 2.10) na základě logaritmické průřezové deformace na počátku φ_{S1} a na konci φ_{S2} tvářecí operace (viz 2.8).

Velikost tvářecí práce lze vypočítat ze vztahu:

$$A = F \cdot h \quad (\text{J}), \quad (2.31)$$

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

2.17 Volba tvářecího stroje

Pro objemové tváření zastudena se využívají *mechanické* nebo *hydraulické lisy*. Při velkosériové a hromadné výrobě se používají *víceoperační tvářecí automaty*.

2.17.1 Mechanické lisy

Mechanické lisy jsou výhodné pro objemové tváření zastudena v těchto případech:

- pro tváření velkých výlisků, kdy je třeba velké tvářecí síly,
- pro tváření výlisků, jejichž série jsou malé pro postupové tvářecí automaty,
- pro tváření výlisků v jedné, maximálně dvou operacích,
- pro tváření členitých výlisků, vyžadujících mezi jednotlivými operacemi tepelné zpracování.

Mechanické lisy se často vybavují automatickým přísunem špalíků, přenášením a vyhazováním výlisků, nebo celými nástrojovými bloky s postupnými nástroji s vlastním přenášecím zařízením.

Lisy, používané pro objemové tváření zastudena, **musí být tuhé**, protože tuhost má přímý vliv na účinnost tváření, na dosahovanou přesnost výlisků, na životnost nástrojů i samotného stroje. Ke snížení rázové špičky tvářecí síly při dosednutí nástroje na materiál se někdy vestavují do beranu nebo stolu lisu hydraulické podušky, což vede ke zvýšení trvanlivosti nástrojů.

V praxi se volí pro danou operaci lis, jehož jmenovitá síla je o 30 až 50 % větší než potřebná tvářecí síla. Předpokladem pro využití mechanických lisů pro tváření jsou: dobře dimenzovaný setrvačnický a elektromotor, velký zdvih, přesné a dlouhé vedení beranu, možnost jeho přestavování, jednoduchý, seřiditelný vyhazovač.

Pro bezpečnost práce se vyžaduje *pojistka proti přetížení* a *indikátor tvářecí síly*. Ke splnění těchto požadavků se konstruují a vyrábějí mechanické lisy, určené výlučně pro objemové tváření zastudena. Jsou to **lisy klikové** typu LU.

Pro objemové tváření zastudena se rovněž využívají **lisy kolenové** a v omezené míře i **lisy výstředníkové**, které však mají malou tuhost. Výstředníkové lisy se používají pro méně náročné operace objemového tváření zastudena, případně pro operace pomocné.

2.17.2 Hydraulické lisy

Hydraulické lisy jsou vhodné **k protlačování rozměrných a především dlouhých výlisků**. Snadno se na nich dosahuje velkých tvářecích sil po dlouhé pracovní dráze. Zatímco u klikových lisů je možno využít jmenovité tvářecí síly cca od 30° natočení kliky před dolní mrtvou polohou (při 90° lze využít zhruba jen polovinu a u kolenových lisů jen asi pětinu jmenovité tvářecí síly), je možno u hydraulických lisů využít jmenovité tvářecí síly po celý zdvih.

Výhodou hydraulických lisů je, že lze dosáhnout značné přibližovací a zpětné rychlosti (což představuje zkrácení neproduktivních časů), jednak malé dosedací rychlosti na materiál (což má za následek zvýšení životnosti nástrojů).

Jejich nevýhodou je malý počet zdvihů a poměrně malá pracovní rychlost, na níž je závislý plynulý tok materiálu. Při tváření na hydraulických lisech je třeba omezit zdvih seřiditelným dorazem, což je u mechanických lisů zajištěno klikovým ústrojím.

2.18 Dokončování výlisků

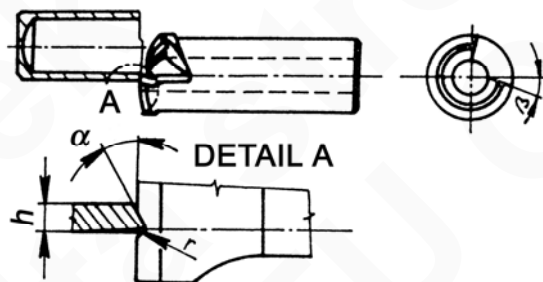
Řeší-li se výroba součástí původně vyráběných jinou technologií, pak bývá dokončovacích operací více, než když je součást konstruována již s výhledem na uplatnění objemového tváření zastudena. Ve druhém případě je možno navrhnout tvary a jejich tolerance tak, že vhodné dílce lze vyrobit jen tvářecími operacemi téměř na hotovo.

Nejčastější dokončovací operací u výlisků je **zarovnání okrajů**.

Nerovné okraje 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, které jsou způsobeny poměrně širokými výrobními tolerancemi tloušťky pásů, z nichž se stříhají kaloty, nebo tolerancemi průměrů tyčí dělených na špalíky.

Duté rotační součásti malých rozměrů se zarovnávají **soustružením trubkovým nožem** (obr. 2.31).



Obr. 2.31 Zarovnávání dutých součástí trubkovým nožem

Větších úběrů tenkostěnných rotačních součástí se dosahuje **kruhovým nožem** (obr. 2.32). Výlisek navlečený na rotujícím trnu se rozdělí tlakem nože. Nůž je otočně uložen na čepu, takže při styku s upichovanou součástí se řezným odporem protočí. Charakteristickým znakem takto dělených součástí je mírně dovnitř zahnutý okraj.

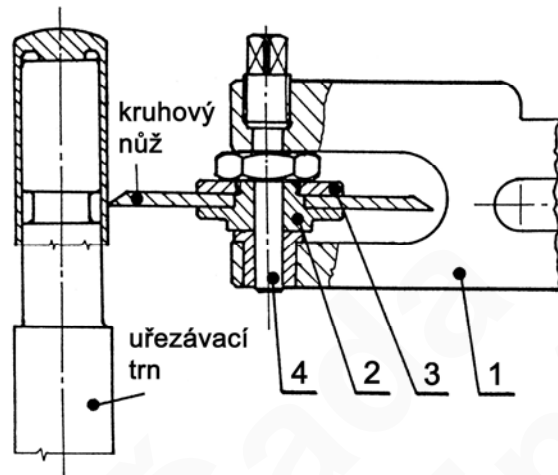
Častou dokončovací operací je **ostřihování okraje výlisků** ve zvláštním ostřihovacím nástroji (obr. 2.33).

Dokončování dutin vrtáním se usnadňuje **vylisováním důlků pro středění vrtacích nástrojů**. Vylisování důlků se zpravidla slučuje s některým způsobem protlačování, protože vylisování důlků v samostatné operaci by bylo nevhodné.

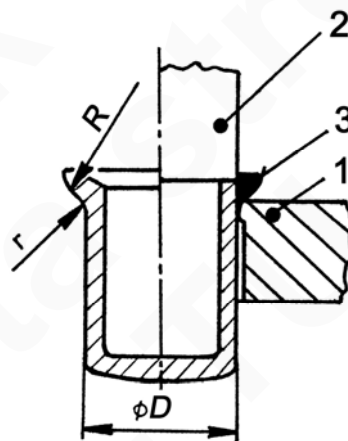
Před dokončovacími operacemi, ve kterých se povrchy nebo dutiny protlačují obrábí soustružením, je nutno v zájmu jejich spolehlivého upínání v přípravcích **odstranit z dosedacích ploch otřepy**. Ty vznikají nejčastěji v místech po dělicích rovinách nástrojů.

U drobných ocelových výlisků se otřepy odstraňují **omíláním v bubnech** v čedičové drti a ve vhodně koncentrované kyselině fosforečné. Choulostivé součásti však nelze tímto způsobem zpracovávat, protože by se znehodnotil jejich kvalitní povrch vzniklý protlačováním.

Pro odstraňování otřepů u jemných a choulostivých součástí je vhodné **vibrační omílání**. Součásti se omílají brusným práškem vhodné zrnitosti ve vibračním bubnu, ve kterém za stálého vibrování rotují. Omílané součásti v brusné náplni rotují pomalu a při současném účinném úběru u nich nastává pouze převalování.



Obr. 2.32 Zarovnávání dutých součástí kruhovým nožem (1 – těleso držáku, 2 – náboj, 3 – příložka, 4 – čep)



Obr. 2.33 Ostřihování okraje protlačku po dopředném protlačování (1 – střížnice, 2 – střížník, 3 – ostřihovaný okraj protlačku)



Úkol k zamyšlení

Uvedte příklady dokončování výlisků vyrobených objemovým tvářením zastudena, které se vyskytují ve vašem dosahu.



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, nepřerušovaný 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 *tvarovými 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**).

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 staženin, vycezenin a nekovových vměstků.

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:

- 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** (pro odstranění vnitřních pnutí, dosažení vyšší tvárnosti, snížení tvrdosti),
- 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** (pro vytvoření co nejpříznivějších podmínek *tření*, dosažení vysoké *kvality povrchu* po tváření, používá se fosfátování),
- e) **mazání polotovarů** (pro snížení *tření*, *chlazení nástroje*, dosažení vysoké *kvality povrchu* po tváření).

Druhy tepelného zpracování polotovarů pro objemové tváření zastudena:

1. **Normalizační žihání** – ohřev nad A_{C_2} , výdrž 30 až 60 minut, pak ochlazení na vzduchu. Zjemní se struktura před protlačováním.
2. **Žihání 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 žiháním se doporučuje polotovary žihat normalizačně, aby se dosáhlo nejvýhodnější struktury.)
3. **Rekrystalizační žihání** – 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 *siřník molybdeničitý* (MoS_2), obchodní název **Molyko**. Maziva se obvykle nanáší *ponorem*.

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

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).

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 díku 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*.

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*.

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
	<p>Objemové tváření zastudena, součást, technologie, polotovary, napjatost, deformace, průtláčnick, průtláčnice, přetvárný odpor, rekrytalizační teplota, zpevňování, dopředné protlačování, sousledné protlačování, průtláčnick, zpětné protlačování, protisměrné protlačování, sdružené protlačování, obousměrné protlačování, stranové protlačování, pēchování, kombinované tváření, stav oceli, žíhání na měkko, struktura, ferit, perlit, globulární perlit, velikost zrna, mechanické vlastnosti, tvárnost, chemické složení, ocel, nízkouhlíková ocel, nízkolegovaná ocel, chemické složení, stárnutí, uklidněná ocel, neuklidněná ocel, tepelné zpracování, mazání, polotovary, protlaček, špalík, kalota, upichování, řezání, stříhání, vystřihování, drát, tyč, pila, stříhadlo, vnitřní pnutí, tvrdost, normalizační žíhání, žíhání na měkko, rekrytalizační žíhání, elektrická pec, ochranná atmosféra, okuje, moření, tření, fosfátování, fosfatizační lázeň, poměrná délková deformace, logaritmická délková deformace, poměrná průřezová deformace, logaritmická průřezová deformace, křivka zpevnění, bandáž, zděř, předpětí, redukční úhel průtláčnice, vyhazovač, čelo průtláčnicku, hlava, dřík, jakost povrchu, kalibrace, jmenovitý rozměr, vodící sloupek, stírač, tvářecí síla, přetvárný odpor, jmenovitá síla, tvářecí práce, mechanický lis, hydraulický lis, anizotropie, soustružení, trubkový nůž, kruhový nůž, ostřihování, vrtání, středicí důlek, otřep, omílání.</p>


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


	Kontrolní otázky
	<p>Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo druhé kapitoly „Objemové tváření zastudena“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 vlastnosti má mít materiál pro zpracování objemovým tvářením zastudena? 5. Jaké jsou druhy polotovarů pro objemové tváření zastudena? 6. Jakým způsobem se vyrábějí kaloty? 7. Dokážete vyjmenovat přípravné operace před tvářením? 8. Jaké jsou způsoby odstranění okujů z polotovarů pro objemové tváření zastudena? 9. Co je to fosfátování? Jaký je jeho účel při úpravě polotovarů před tvářením? 10. Proč se provádí mazání polotovarů při objemovém tváření zastudena? 11. Jaký je účel tepelného zpracování polotovarů pro objemové tváření zastudena? Jaké jsou jeho vhodné varianty? 12. Jaké rovnice se používají pro výpočet poměrných deformací? Jaké rovnice pro výpočet logaritmických deformací?

<p>13. Jakou výhodu má použití logaritmických deformací oproti poměrným?</p> <p>14. Jak se změní vlastnosti výchozího materiálu po objemovém tváření zastudena?</p> <p>15. Jaké jsou technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů?</p> <p>16. Proč se vyrábí průtláčnice bandážované?</p> <p>17. Jak se stanoví počet tvářecích operací při objemovém tváření zastudena?</p> <p>18. Znáte postup stanovení tvaru a rozměrů polotovaru pro objemové tváření zastudena?</p> <p>19. Jak se vypočte tvářecí síla při objemovém tváření zastudena? Jak se vypočte při stejném procesu tvářecí práce?</p> <p>20. Na jakých strojích se provádí objemové tváření zastudena?</p> <p>21. Z jakých příčin vznikají nerovné okraje vylisků při objemovém tváření zastudena?</p> <p>22. Jaké jsou druhy dokončování vylisků po objemovém tváření zastudena?</p> <p>23. Jak se usnadňuje dokončování dutin protlačků vrtáním?</p>




	<h3>Literatura</h3>
<p>[1] BŘEZINA, R. <i>Technologie I – část 1 : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 80 s. ISBN 80-7078-439-3.</p> <p>[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.</p> <p>[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).</p> <p>[4] PETRŽELA, Z. <i>Základy teorie a technologie strojírenského tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1980. 378 s. (bez ISBN).</p> <p>[5] KOLLEROVÁ, M. <i>Tvářenie kovov : skriptum</i>. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1984. 288 s. (bez ISBN).</p> <p>[6] ČABELKA, J. a kol. <i>Mechanická technológia</i>. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1967. 1036 s. (bez ISBN).</p>	

	<h3>Náměty pro tutoriál</h3>
<p>Vysvětlete výhody technologie objemového tváření zastudena. Uveďte příklady z praxe, kdy tato technologie byla úspěšně využita pro výrobu součástí.</p> <p>Rozeberte postup stanovení celkového zpevnění protlačku. Uveďte příklady z praxe, kdy je důležité, aby zpevnění po délce protlačku bylo téměř stejné.</p>	


	<h2>Korespondenční úkol</h2>
	<p>Program č. 2 „Objemové tváření zastudena“</p> <p>Zadání:</p> <p>Navrhnete technologický postup výroby zadané součásti objemovým tvářením zastudena:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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, uvedte 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.


	<h2>Průvodce studiem</h2>
	<p>Další kapitola se věnuje jiné technologii, a to stříhání plechu. Tato technologie se uplatňuje jak v rámci technologické přípravy výroby (dělení hutních polotovarů pro strojírenskou výrobu), tak při vlastní výrobě součástí.</p>

3 STŘÍHÁNÍ PLECHU

	<h3>Rychlý náhled do problematiky kapitoly</h3> <p>Třetí kapitola řeší stříhání plechu. Je v ní popsáno stříhání plechu na tabulových nůžkách rovnoběžnými a skloněnými noži, stříhání ve stříhadlech, rozdělení stříhadel, střížná plocha, střížná mezera, přesnost a jakost povrchu při stříhání, stanovení rozměrů střížníku a střížnice, výpočet střížné síly a práce, nástřihové plány, seskupení výstřižků, přepážky, boční odpad, hospodárnost nástřihového plánu.</p> <p>Člení se na následující podkapitoly:</p> <ul style="list-style-type: none"> 3.1 Stříhání plechu na tabulových nůžkách <ul style="list-style-type: none"> 3.1.1 Střih rovnoběžnými noži 3.1.2 Střih skloněnými noži 3.2 Stříhání ve stříhadlech <ul style="list-style-type: none"> 3.2.1 Střížná vůle 3.2.2 Přesnost a jakost povrchu při stříhání 3.2.3 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice 3.2.4 Výpočet střížné síly a práce 3.3 Nástřihové plány
	<h3>Cíle kapitoly</h3> <p>Budete umět:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. <p>Získáte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • informace o složení stříhadel, • přehled o základních způsobech seskupování výstřižků. <p>Budete schopni:</p> <ul style="list-style-type: none"> • objasnit 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, • zkonstruovat nástřihový plán a vypočítat jeho hospodárnost.
	<h3>Klíčová slova kapitoly</h3> <p>Stříhání, plech, smyk, břit, deformace, plošné stříhání, střížník, střížnice, křivka stříhu, 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</p>


	práce, plastický stříh, stříh skloněnými noži, pracovní zdvih, samosvornost, tabulové nůžky, stříhadlo, vodící deska, vodící sloupky, vodící stojánek, postupové stříhadlo, sdružené stříhadlo, otevřené stříhadlo, nástřihový plán, krok, seskupování výstřížků, přepážka, boční odpad, hospodárnost nástřihového plánu, součinitel využití materiálu.
--	---

	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.

Stříhání představuje jednu z nejrozšířenějších operací ve strojírenské výrobě. Střížné operace jsou obsaženy ve většině technologických postupů výroby strojních součástí z plechu, výkovek i řady dalších výrobků.

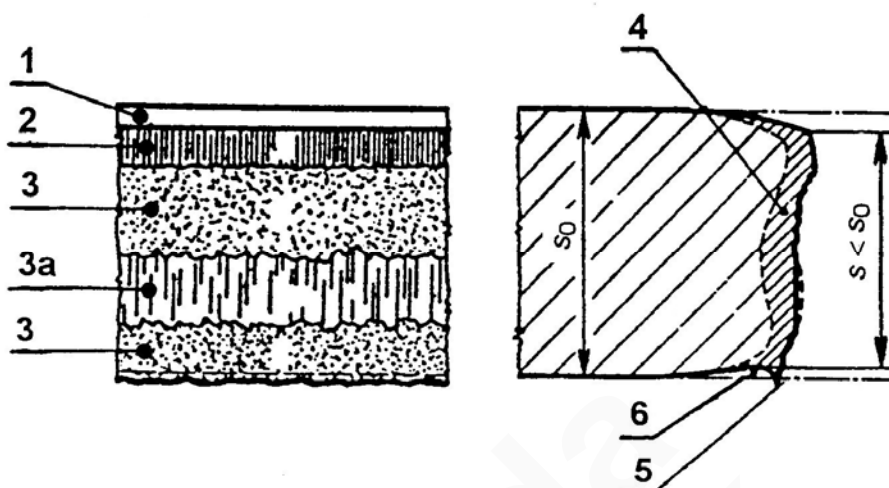
Stříháním se rozumí oddělování částic materiálu smykovým působením dvojice nástrojů (nožů, nebo střížníku a střížnice) podél křivky stříhu. V lisovnách se stříhání používá k přípravě polotovarů, jako například stříhání tabulí plechu na pásy, rozdělování svitků nebo vystřihování součástí. Přehled názvosloví základních střížných operací je obsažen v ČSN 22 6001 Názvosloví technologie tváření kovů. **Základní operace plošného stříhání: prosté stříhání, děrování, vystřihování, vystřihování zářezů, přístřihování, nastřihování, prostřihování, protrhávání, vysekávání, ostřihování, přesné stříhání.**

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady využití základních operací plošného stříhání v praxi.

3.1 Stříhání plechu na tabulových nůžkách

V rámci technologické přípravy výroby se velmi často tabule plechu stříhají na pásy nůžkami s rovnoběžnými nebo skloněnými noži. Při stříhání je polotovar v místě stříhu vystaven tlaku, který roste od nuly do pevnosti materiálu ve stříhu, kdy dojde k oddělení materiálu. Ustřížení materiálu proběhne velmi rychle jako ráz.

K ustřížení materiálu dojde dříve, než se setkají oba nože. Hloubka vniknutí nože do materiálu (hloubka plastického stříhu) zasahuje jen část tloušťky stříhaného materiálu (tab. 3.3). **Střížná plocha** není dokonalá, protože její část vzniká lomem. V okolí stříhu se stříhaný materiál trvale deformuje, proto tam dochází ke zpevnění a snížení tvárnosti (oblast 4 na obr. 3.1).



Obr. 3.1 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)

Na střížné ploše lze rozlišit následující oblasti (obr. 3.1):

- 1 – zeslabení tloušťky.** Vzniká počátečním pěchováním materiálu čelem pohyblivého nože. Hloubka vniknutí pohyblivého nože bývá 5 až 8 % tloušťky stříhaného plechu.
- 2 – oblast plastického stříhu.** Vzniká plastickým zatlačením břitu nože do materiálu. Je nejhladší a nejpřesnější. Její velikost bývá 10 až 40 % tloušťky plechu, podle tvárnosti materiálu.
- 3 – 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.
- 3a – oblast otěru.** Vzniká při vystřihování ve stříhadlech v důsledku tření při protlačení výstřížku střížníkem přes střížnici.
- 4 – zpevněná oblast.** Tloušťka zpevněné oblasti dosahuje u měkkých ocelových plechů 20 až 30 % tloušťky plechu. Zvětšuje se s ubývající tvárností materiálu a otupením břitů.
- 5 – otřep.** Je naspodu střížné plochy a je tím větší, čím větší je otupení spodního nože a čím je materiál tvárnější.
- 6 – vtisk spodního nože.** Čím větší je úhel čela spodního nože, tím spíše dojde k jeho zatlačení do stříhaného materiálu.

3.3.1 Střih rovnoběžnými noži

Při střihání rovnoběžnými noži je plech stříhán najednou v celé šířce, čímž dochází k rychlému nárůstu a poklesu síly. Po dosednutí nože na materiál síla prudce stoupá a dosahuje maxima v okamžiku, kdy je nůž v určité hloubce stříhaného průřezu a v blízkosti řezných hran nože se objeví ve stříhaném materiálu první trhlinky. Následuje prudký pokles síly při přetržení materiálu. K oddělení plechu tedy dojde dříve, než horní pohyblivý nůž projde celou tloušťkou stříhaného materiálu.

Průběh střížné síly není příznivý. Prudký vzrůst a především náhlý pokles síly při přetržení materiálu způsobuje rázy v mechanismech stroje, které jsou nebezpečné především pro kalené součásti stroje.

Střížná plocha:

$$S = L \cdot s \quad (\text{mm}^2), \quad (3.1)$$

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

Maximální střížná síla:

$$F_{\max} = S \cdot R_{ms} \cdot k \quad (\text{N}), \quad (3.2)$$

kde je S – střížná plocha (mm^2),
 R_{ms} – pevnost ve stříhu (MPa). Číselné hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.2.
 k – součinitel, zahrnující různé vlivy zvyšující střížnou sílu (otupení řezných hran, vliv seřízení nástroje, zvětšení mezery mezi noži opotřebením, apod.) Bývá v rozmezí 1,25 až 1,50.



Průvodce studiem

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

Pevnost ve stříhu lze přibližně vypočítat ze známé meze pevnosti stříhaného materiálu R_m podle vztahu:

$$R_{ms} = (0,75 \div 0,85) \cdot R_m \quad (\text{MPa}). \quad (3.3)$$

Pevnost ve stříhu lze rovněž vypočítat podle empirických vztahů, uvedených v tab. 3.1.

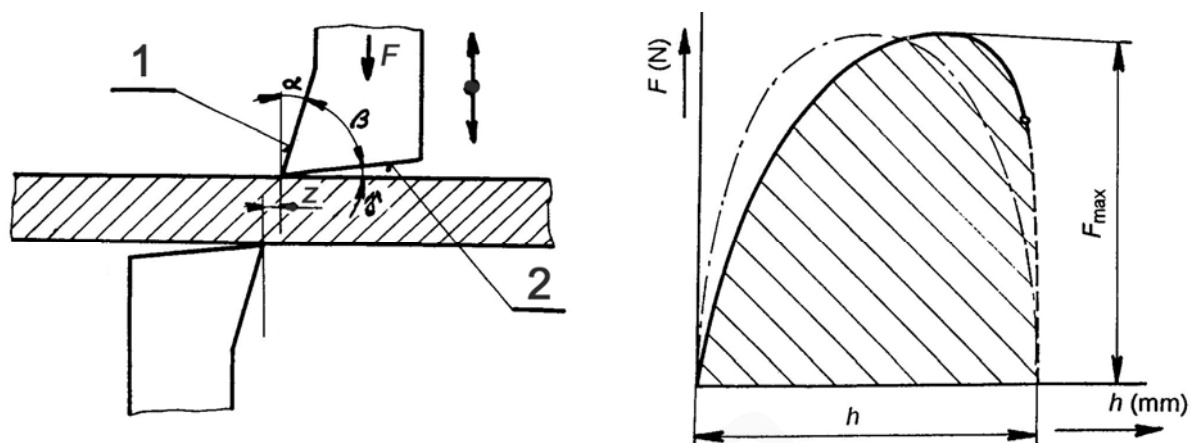
Tab. 3.1 Empirické vztahy pro určení pevnosti ve stříhu

Materiál	R_{ms} (MPa)	Materiál	R_{ms} (MPa)
Ocel	$111,0 + 0,560 R_m$	Zinek	$100,7 + 0,750 R_m$
Mosaz	$117,1 + 0,287 R_m$	Dural	$117,3 + 0,230 R_m$

Tab. 3.2 Přehled některých mechanických vlastností pro vybrané materiály

Druh materiálu	Označení materiálu	Pevnost ve střihu R_{ms} (MPa)	Pevnost v tahu R_m (MPa)	Tažnost A (%)
Ocel	10 340	280 ÷ 360	340 ÷ 420	23 ÷ 25
	10 370	320 ÷ 400	370 ÷ 450	18 ÷ 20
	10 422	360 ÷ 450	420 ÷ 500	18 ÷ 20
	11 301.21	240 ÷ 340	280 ÷ 400	29
	11 321.20	240 ÷ 330	280 ÷ 380	30
	11 321.90	240 ÷ 340	270 ÷ 400	26 ÷ 30
	11 331.3	240 ÷ 340	280 ÷ 400	23 ÷ 26
	11 340.1	290 ÷ 360	340 ÷ 420	23 ÷ 25
	11 340.22	290 ÷ 400	340 ÷ 460	14
	11 341.20	240 ÷ 340	280 ÷ 400	26
	11 500	440 ÷ 530	500 ÷ 600	15 ÷ 17
	12 000.20	700	max. 800	–
	12 010.1	min. 300	min. 340	24
	12 020.20	330 ÷ 440	380 ÷ 500	23
	12 040.1	min. 430	min. 500	19
	12 050.1	min. 480	min. 560	16
	13 180.20	700	max. 800	14
	14 160.0	820	950	–
	14 220.30	560	max. 650	–
	17 021.2	470	550	21
17 021.3	470	550	–	
17 022.2	520	600	–	
17 041.21	600	700	–	
17 246.1	560	650	58	
Slitiny hliníku	42 4057.1	50 ÷ 70	max. 110	20
	42 4203.1	120 ÷ 130	max. 240	12
	42 4203.6	270 ÷ 290	450	12 ÷ 14
	42 4412.1	110 ÷ 120	max. 230	16
	42 4432.2	90 ÷ 100	150	6
	42 4451.1	60 ÷ 80	max. 150	20
Mosaz	42 3212.1	260	300	42
	42 3212.2	300	350	25
	42 3222.3	360	420	15
	42 3256.3	430	500	5
Bronz	42 3016.1	300	350	40
	42 3016.2	350	400	25
	42 3035.1	480	550	5
Měď	42 3001.1	180	200	30
	42 3001.3	260	300	4
	42 3003.1	180	210	30
	42 3005.1	180	400	2

Průběh střížné síly v závislosti na hloubce vniknutí nože do materiálu je znázorněn na obr. 3.2. Práce, spotřebovaná ke střihu, je znázorněna vyšrafovanou plochou pod křivkou skutečného průběhu síly. Plochu pracovního diagramu lze přibližně nahradit plochou poloviny elipsy o stejném obsahu.



Obr. 3.2 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)

Střížnou práci lze potom vypočítat ze vztahu:

$$A = \frac{\rho}{2} \cdot F_{\max} \cdot h = \frac{\rho}{4} \cdot F_{\max} \cdot h \quad (J), \quad (3.4)$$

kde je F_{\max} – maximální střížná síla (N),
 h – hloubka vniknutí nože do materiálu (m). Roste s ubývající tloušťkou materiálu a stoupající těžností.

Hloubka vniknutí nože do materiálu:


$$h = k_1 \cdot s \quad (m), \quad (3.5)$$

kde je k_1 – poměrná hloubka vniknutí nože do materiálu (tab. 3.3),
 s – tloušťka stříhaného plechu (m).

Tab. 3.3 Poměrné hloubky vniknutí nože do materiálu k_1 (-)

Materiál	Tloušťka stříhaného materiálu s (mm)			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
ocel měkká ($R_m = 250 \div 350$ MPa)	0,70 ÷ 0,75	0,65 ÷ 0,70	0,55 ÷ 0,65	0,40 ÷ 0,55
ocel středně tvrdá ($R_m = 350 \div 500$ MPa)	0,60 ÷ 0,65	0,55 ÷ 0,60	0,45 ÷ 0,55	0,35 ÷ 0,45
ocel tvrdá ($R_m = 500 \div 700$ MPa)	0,47 ÷ 0,50	0,45 ÷ 0,47	0,35 ÷ 0,45	0,25 ÷ 0,35
Al, Cu (žíhané)	0,75 ÷ 0,80	0,70 ÷ 0,75	0,60 ÷ 0,70	0,50 ÷ 0,65

Tabulka platí pro normální velikosti střížné mezery, při malých velikostech střížné mezery se hloubka vniknutí nože do stříhaného materiálu zvětšuje.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití technologie plošného střihání rovnoběžnými noži v praxi.

3.1.2 Střih skloněnými noži

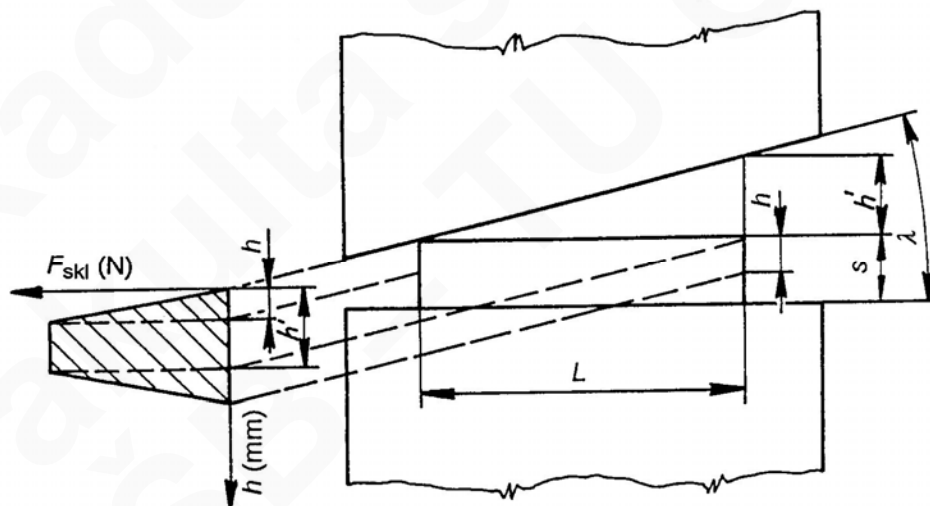
Nevýhody střihání rovnoběžnými noži jsou odstraněny při použití nožů, které jsou pod určitým úhlem skloněny. *Plech tak není střihán v celé šířce najednou, ale postupně.* Pracovní zdvih, potřebný k ustřížení plechu je v porovnání s rovnoběžnými noži větší a je přímo úměrný úhlu sklonu nože λ .

Úhel sklonu nože bývá v rozmezí 1 až 5°, *aby byla zaručena podmínka samosvornosti* a střihávaný materiál před nožem neujížděl. U tabulových nůžek bývá tento úhel 1°30', čímž se docílí, že deformace střihávaného plechu je pouze pružná. To však platí pouze u tenkých plechů.

Střížnou sílu pro střih skloněnými noži F_{skl} lze vypočítat z rovnosti prací A pro střih rovnoběžnými a skloněnými noži, i když ve skutečnosti je práce u skloněných nožů o něco větší vlivem deformace střihávaného plechu ohybem (obr. 3.3):

$$A = F_{\text{skl}} \cdot h = F_{\text{skl}} \cdot L \cdot \text{tg} \lambda = \frac{\pi}{4} \cdot F_{\text{max}} \cdot k_1 \cdot s \quad (\text{J}), \quad (3.6)$$

kde je h – hloubka vniknutí nože do materiálu (m),
 L – délka střihu (m),
 λ – úhel sklonu nože (°).



Obr. 3.3 Průběh střížné síly (pracovní diagram) při střihu skloněnými noži (L – délka střihu, s – tloušťka střihávaného materiálu, λ – úhel sklonu nože, h – hloubka vniknutí pohyblivé střížné hrany do materiálu, F_{skl} – střížná síla při střihu skloněnými noži)

Z rovnice (3.6) lze vyjádřit **střížnou sílu pro střih skloněnými noži F_{skl}** :

$$F_{\text{skl}} = \frac{\pi \cdot F_{\text{max}} \cdot k_1 \cdot s}{4 L \cdot \text{tg} \lambda} \quad (\text{N}). \quad (3.7)$$

Po dosazení za F_{max} z rovnice (3.2):

$$F_{\text{skl}} = \frac{\pi \cdot k_1 \cdot k}{4} \cdot \frac{s^2 \cdot R_{\text{ms}}}{\text{tg} \lambda} = (0,16 \div 0,50) \cdot \frac{s^2 \cdot R_{\text{ms}}}{\text{tg} \lambda} \quad (\text{N}). \quad (3.8)$$



Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady využití střihání skloněnými noži při výrobě součástí v praxi.

3.2 Střihání ve stříhadlech

Stříhadlo se skládá z části pohyblivé, upnuté pomocí stopky do beranu lisu (*střížník*), a z části pevné, upnuté na stole lisu (*střížnice*). Střihání ve stříhadlech je nejrozšířenějším způsobem výroby součástí z plechu. Základními operacemi jsou děrování, vystřihování, případně nastřihování. Touto technologií lze vyrábět výstřižky k přímému použití nebo polotovary, které se dále zpracovávají.

Stříhadla lze rozdělit s ohledem na charakter výstřižků, velikost série a jejich funkci na:

- **jednoduchá**, v nichž se provádí jedna operace na jednom výstřižku na jeden zdvih.
- **vícenásobná**, umožňující zhotovit na jeden zdvih větší počet stejných výstřižků.
- **postupová**, umožňující provedení několika operací na více zdvihů, mezi nimiž se výlisek podává na různá pracovní místa nástroje. Z poslední operace vychází při každém zdvihu hotový výrobek.
- **sloučená**, u nichž se na jeden zdvih vyrobí dvě nebo více rozdílných součástí.
- **sdružená**, u nichž se na jeden zdvih provedou na výstřižku různorodé operace (např. střihání a ohýbání nebo tažení).

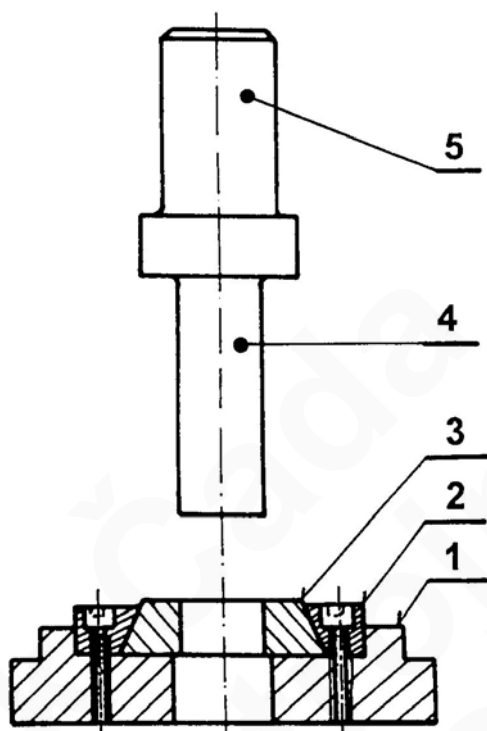
Střihání ve stříhadlech se v principu neliší od střihání na nůžkách, zvláštnost je pouze v tom, že *tvar břítu tvoří ve většině případů uzavřená křivka*.

Na obr. 3.4 je nakresleno jednoduché *stříhadlo bez vedení*. Zvýšení přesnosti a bezpečnosti práce lze docílit použitím *vodicí desky* (obr. 3.5), která eliminuje vůli beranu lisu a současně zvyšuje životnost nástroje. V důsledku toho, že střížník při střihání materiálu neopouští vodicí desku, zvyšuje se bezpečnost práce. Rovněž lze k vedení střížníku vůči střížnici použít *vodicí stojánek s vodicími sloupky* (obr. 3.6), případně *sdružené vedení*.

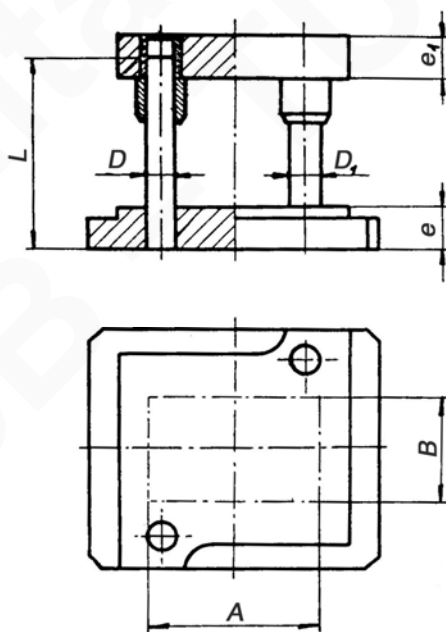


Průvodce studiem

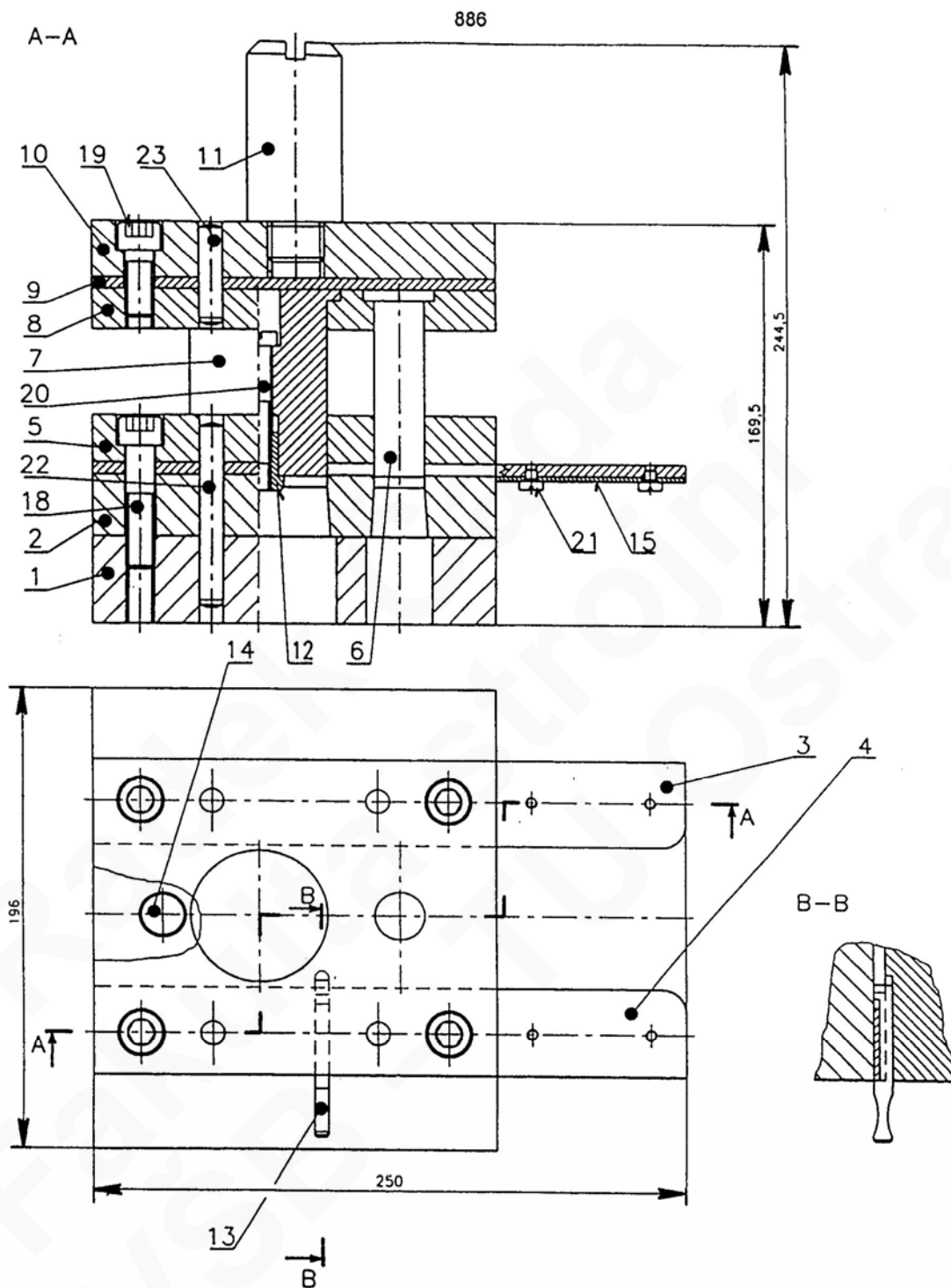
Stříhadla se montují do **vodicích stojánek**, které mají zpravidla dva nebo čtyři vodicí sloupky, a to buď s kluzným vedením, nebo kuličkovým. Vodicí stojánky eliminují chyby vedení beranu stroje a zabezpečují správnou polohu střížníku a střížnice během střihání. **Střížná mezera** je pak po celém obvodu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



Obr. 3.4 Otevřené stříhadlo (1 – základová deska, 2 – upínací kroužek, 3 – střížnice, 4 – střížník, 5 – upínací stopka)



Obr. 3.6 Vodící stojánek se dvěma vodicími sloupky



Obr. 3.5 Postupové střihadlo s vodicí deskou (1 – základová deska, 2 – střížnice, 3 – vodicí lišta, 4 – vodicí lišta, 5 – vodicí 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 vodicí desky, 19 – spojovací šroub upínací hlavice, 20 – šroub hledáčku, 21 – spojovací šroub vodicí lišty, 22 – montážní kolík střížnice, 23 – montážní kolík upínací hlavice)

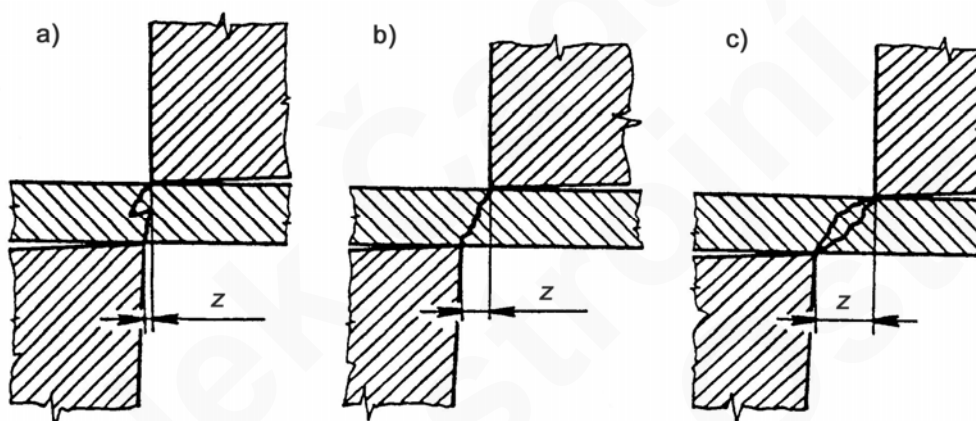


Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady využití vystřihování a děrování ve stříhadlech při výrobě součástí v praxi.

3.2.1 Střížná mezera

Střížná mezera mezi noži *podstatně ovlivňuje jakost střížné plochy*, velikost střížné síly a trvanlivost nástroje. Správně zvolená velikost střížné mezery zaručuje, že trhliny, které při stříhání vznikají, se setkají, čímž se zaručí správné usmyknutí stříhané plochy (obr. 3.7).



Obr. 3.7 Vliv střížné mezery z na kvalitu střížné plochy (a – malá střížná mezera, b – optimální střížná mezera, c – velká střížná mezera)

Velikost střížné mezery závisí na druhu a tloušťce stříhaného materiálu. **Optimální střížná mezera je taková**, při které se dosáhne kvalitní střížné plochy při nejmenší střížné síle. Velikost střížné mezery se pohybuje v rozmezí 3 ÷ 20 % tloušťky plechu. Čím tlustší a měkčí materiály se stříhají, tím menší střížná mezera se volí. Nové nástroje se zhotovují s nejmenší dovolenou střížnou mezerou s ohledem na budoucí opotřebení.

Velikost střížné mezery lze vypočítat podle některého z následujících vztahů:

a) pro tenké plechy o tloušťce do 3 mm:

$$z = c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad (\text{mm}), \quad (3.9)$$

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

$$z = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad (\text{mm}), \quad (3.10)$$

kde je c – koeficient závislý na druhu stříhání. Volí se v rozmezí 0,005 ÷ 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).

3.2.2 Přesnost a jakost povrchu při stříhání

Přesnost součástí vyrobených stříháním závisí na přesnosti zhotovení střížníku a střížnice, konstrukci nástroje a způsobu zajištění polohy materiálu při stříhání, druhu stříhaného materiálu, kvalitě a geometrii střížných hran, velikosti střížné vůle a tloušťce stříhaného materiálu.

U běžných typů střížných nástrojů při tloušťce stříhaného materiálu do 4 mm a směrném rozměru součásti do 150 až 200 mm se rozměrová přesnost výstřížku pohybuje v rozmezí IT 12 až IT 15 (ČSN 01 4150). Při použití přidržovačů a vodicích stojánků lze přesnost zvýšit na IT 9 až IT 11 (tab. 2.5).

Tab. 3.4 Závislost přesnosti vystříhovaného výrobku na přesnosti střížného nástroje

Základní výrobní tolerance IT stříhaného výrobku	8 ÷ 9	10	11	12	13	14	15
Základní výrobní tolerance IT střížníku a střížnice	5 ÷ 6	6 ÷ 7	7 ÷ 8	8 ÷ 9	10	11	12

Jakost střížné plochy závisí na konstrukci a stavu stříhadel, velikosti střížné mezery, materiálu a rychlosti stříhání.

U běžných typů nástrojů a tlouštěk plechů do 1 mm se u střížné plochy docílí $R_a = (3,2 \div 6,3) \mu\text{m}$, u plechů tlustších $R_a = (6,3 \div 12,5) \mu\text{m}$, přičemž u tvrdých materiálů je drsnost střížné plochy vyšší. **Jakost povrchu střížné plochy se zvyšuje zvýšením rychlosti stříhání.**

Drsnost povrchu pracovních částí stříhadel se doporučuje pro stříhání plechů do tloušťky 1 mm $R_a = (0,4 \div 0,8) \mu\text{m}$, pro stříhání plechů tlustších $R_a = (1,6 \div 3,2) \mu\text{m}$.

3.2.3 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice

Při stanovení rozměrů střížníku a střížnice je třeba nejprve určit **základní část nástroje**, jejíž rozměry jsou shodné s jmenovitými rozměry a tolerancemi vystříhovaného polotovaru:

a) Jde-li o vystřížení otvoru (část s vnějším obrysem je odpad), pak jeho rozměrům budou odpovídat **rozměry střížníku**. Průchod ve střížnici bude větší o dvojnásobnou hodnotu střížné mezery z. Rozměry nového střížníku budou odpovídat největším dovoleným rozměrům otvoru. Výrobní tolerance střížníku se uvede směrem k nižším hodnotám (mínus).

b) Jde-li o vystřížení součásti (část s vnitřním obrysem je odpad), pak jejím rozměrům odpovídá **průchod ve střížnici** a střížník je o dvojnásobnou hodnotu střížné mezery z menší než příslušný rozměr střížnice. Rozměry nové střížnice mají souhlasit s nejmenšími přípustnými rozměry součásti. Jejich výrobní tolerance se uvede směrem k větším hodnotám (plus).

Vlivem opotřebení se při stříhání zmenšují rozměry střížníku a zvětšují rozměry střížnice. Zmenšení střížníku nemá podstatný vliv na rozměry výstřížku, a proto je účelné přenést větší část tolerance součásti na střížnici, jako přídavek na její opotřebení. Při děrování závisí naopak rozměr díry na rozměru střížníku, a proto se větší část tolerance součásti přidává k toleranci střížníku. V závislosti na tloušťce součásti a stupni opotřebení nástroje je velikost přídavku P_0 v rozmezí 0,8 až 1,0 příslušné tolerance.

Velikost přídavku na opotřebení nástroje P_0 se volí podle stupně přesnosti vystříhovaných součástí:

a) pro přesné výstřížky (stupně přesnosti IT 6 až IT 10):

$$P_0 = P_u,$$

b) pro méně přesné výstřížky (stupně přesnosti IT 11 až IT 14): $P_o = 0,8 \cdot P_u$,

kde je P_u – mezní úchylka vystřihovaného tvaru (mm).

Mezní úchylky kruhových střížníků a střížnic jsou uvedeny v tab. 3.5, kde v částech I a II jsou tolerance kladné $+D$ IT pro střížnice a záporné $-d$ IT pro střížníky, přičemž tolerance se používají pouze na jednom z hlavních nástrojů – buď na střížníku, nebo na střížnici. V částech III a IV je možno použít tolerance na obou částech nástroje – na střížnici plusovou a na střížníku minusovou.

Tab. 3.5 Tolerance na zhotovení kruhových střížnic a střížníků

Střížná mezera z (mm)	Rozměr nástroje (mm)										
	1 až 3	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 260	260 500
0,0005 ÷ 0,003	+ D IT 6 nebo - d IT 6										I
0,003 ÷ 0,02	+ D IT 7 nebo - d IT 7										
0,02 ÷ 0,06 0,06 ÷ 0,15 0,15 ÷ 0,20	+ D IT 7 nebo - d IT 7										II
0,20 ÷ 0,30 0,30 ÷ 0,60 0,60 ÷ 2,00 nad 2,00	+ D IT 8 nebo - d IT 8										III IV


Vztahy ke stanovení rozměrů pracovních částí stříhadel, tj. střížníků a střížnic, jsou uvedeny v tab. 3.6.

Tab. 3.6 Vztahy ke stanovení rozměrů pracovních částí stříhadel

Typ střížné operace	Tolerance výstřížku U_h, U_s (mm)	Základní nástroj	Rozměry pracovních částí stříhadel D_s, d_k (mm)	
			Přídavek na opotřebení nástroje P_o (mm) $P_o = 0,8 \cdot P_u$	$P_o = P_u$
U výstřížků je rozhodující vnější obrys o rozměru D . Část s vnitřním obrysem je odpad.	$D - U_s$	stříž- nice	$D_s = (D - 0,8 U_s)^{+ps}$	$D_s = (D - U_s)^{+ps}$
	$D - U_s^{+U_h}$		$D_s = (D - 0,2 U_h - 0,8 U_s)^{+ps}$	$D_s = (D - U_s)^{+ps}$
	$D + U_s^{+U_h}$		$D_s = (D + 0,2 U_h + 0,8 U_s)^{+ps}$	$D_s = (D + U_s)^{+ps}$
	$D - U_s^{+U_h}$		$D_s = (D + 0,2 U_h - 0,8 U_s)^{+ps}$	$D_s = (D - U_s)^{+ps}$
	$D \pm U$		$D_s = D^{+ps}$	$D_s = D^{+ps}$
U výstřížků je rozhodující vnitřní obrys o rozměru d . Část s vnějším obrysem je odpad.	$d + U_h$	stříž- ník	$d_k = (d + 0,8 U_h) - pk$	$d_k = (d + U_p) - pk$
	$d - U_s^{+U_h}$		$d_k = (d - 0,8 U_s + 0,8 U_h) - pk$	$d_k = (d + U_h) - pk$
	$d \pm U$		$d_k = d - pk$	$d_k = d - pk$

kde jsou D, d – jmenovité rozměry výstřížků (mm),
 D_s, d_k – rozměry střížnice, střížníku (mm),

ρ_s, ρ_k – přídavek na zhotovení střížnice, střížníku (mm),
 U_s, U_h – dolní, horní úchylna rozměrů výstřížku (mm).

	Řešená úloha 3.1
	Stanovte rozměry střížnice a střížníku pro vystřihování kruhových výstřížků o průměru $D = 32 - 0,14$ mm. Výstřížky jsou z ocelového plechu o pevnosti $R_m = 520$ MPa a tloušťce $s = 0,8$ mm.

Ze strojnických tabulek se stanoví stupeň přesnosti výstřížku pro jeho zadané mezní úchylny $U_h = 0$ mm, $U_s = -0,14$ mm: IT 11.

Pro stupeň přesnosti výstřížku IT 11 je přídavek na opotřebení nástroje: $P_o = 0,8 \cdot P_u$.

Pevnost zadaného materiálu ve stříhu lze přibližně vypočítat ze vzorce:

$$R_{ms} = (0,75 \div 0,85) \cdot R_m = 0,8 \cdot 520 = 416 \text{ MPa.}$$

Střížná mezera z se vypočte dle vztahu (3.9):

$$z = c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} = (0,005 \div 0,035) \cdot 0,8 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 416} = (0,026 \div 0,181) \text{ mm.}$$

Pro vypočtenou střížnou mezeru z a pro zadaný průměr kruhového výstřížku D lze z tab. 3.5 odečíst potřebný stupeň přesnosti střížníku a střížnice: IT 7.

Pro zjištěný stupeň přesnosti nástrojů IT 7 lze ve strojnických tabulkách odečíst toleranci, která je rovna přídavku na zhotovení střížníku ρ_s a střížnice ρ_k :

$$\rho_s = \rho_k = 0,025 \text{ mm.}$$

Vzhledem k tomu, že výrobkem je výstřížek (část s vnitřním obrysem je odpad), je základní částí nástroje při stanovení jeho rozměrů střížnice.

Průměr otvoru střížnice dle tab. 3.6:

$$D_s = (D - 0,8 \cdot U_s) + \rho_s = (32 - 0,8 \cdot 0,14) + 0,025 = 31,888 + 0,025 \text{ mm.}$$

Průměr střížníku se dopočítá tak, že se od průměru otvoru střížnice odečte dvojnásobná hodnota minimální střížné mezery:

$$d_k = (D_s - 2 \cdot z_{\min}) - \rho_k = (31,888 - 2 \cdot 0,026) - 0,025 = 31,836 - 0,025 \text{ mm.}$$

*

3.2.4 Výpočet střížné síly a práce

Střížná síla je v každém okamžiku stříhání dána součinem dvou proměnných veličin, tj. stříhané plochy a pevnosti ve stříhu. Maximální střížnou sílu F_{\max} lze vypočítat podle rovnice (3.2).

Střížná práce při stříhání ve stříhadlech s rovnými střížnými hranami je dána vzorcem:

$$A = m_s \cdot F_{\max} \cdot s \quad (\text{J}), \quad (3.11)$$

kde je m_s – koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu (viz tab. 3.7),

F_{\max} – maximální střížná síla (N),
 s – tloušťka stříhaného materiálu (m).

Tab. 3.7 Hodnoty koeficientu m_s (–) pro výpočet střížné práce při stříhání ve stříhadlech

Stříhaný materiál	Tloušťka stříhaného materiálu s (mm)			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
ocel měkká ($R_m = 250 \div 350$ MPa)	0,65 ÷ 0,70	0,60 ÷ 0,65	0,50 ÷ 0,60	0,35 ÷ 0,50
ocel středně tvrdá ($R_m = 350 \div 500$ MPa)	0,55 ÷ 0,60	0,50 ÷ 0,55	0,40 ÷ 0,50	0,30 ÷ 0,40
ocel tvrdá ($R_m = 500 \div 700$ MPa)	0,42 ÷ 0,45	0,38 ÷ 0,42	0,33 ÷ 0,38	0,20 ÷ 0,33
Al, Cu (žíhané)	0,70 ÷ 0,75	0,65 ÷ 0,70	0,55 ÷ 0,65	0,40 ÷ 0,55

3.3 Nástřihové plány

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, vystřižení více součástí najednou apod.), popřípadě splnění jiných technologických požadavků (přesnost, vhodný směr vláken apod.).

V sériové a hromadné výrobě je žádoucí používat plech ve svitcích, což umožňuje automatizovat jeho podávání. Při menších sériích nebo při zpracování materiálu, který hutní podniky nedodávají ve svitcích, se vychází z tabulí plechu, které se stříhají na pásy na tabulových nůžkách.

Nástřihový plán lze řešit:

a) početní metodou – slouží pro návrh nástřihových plánů výstřižků jednoduchého, například kruhového tvaru. Touto metodou lze stanovit buď největší možný počet výstřižků z daného polotovaru nebo vhodný formát výchozího materiálu pro daný počet výstřižků.

b) empiricky – používá se při návrhu hospodárného nástřihového plánu složitých tvarových součástí, např. s využitím papírových šablon budoucích výstřižků.

Základní zásady při konstrukci optimálního nástřihového plánu jsou:

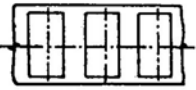
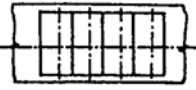

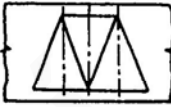
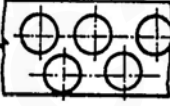
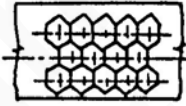
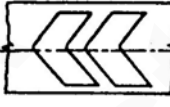

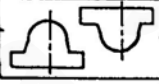
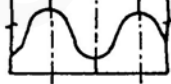


- kruhový obrys výstřižku není výhodný, vhodnější jsou rovnoběžníkové tvary.
- seskupování výstřižků. (Základní způsoby seskupení výstřižků jsou uvedeny v tab. 3.8. U každého způsobu je uvedena varianta s přepážkou a varianta bez přepážky.)
- zvýšení využití materiálu lze docílit stříháním různých součástí na jeden zdvih.
- u větších sérií je výhodné využívat více střížníků stejného tvaru, čímž se docílí vystřižení více stejných výstřižků na jeden zdvih beranu lisu.

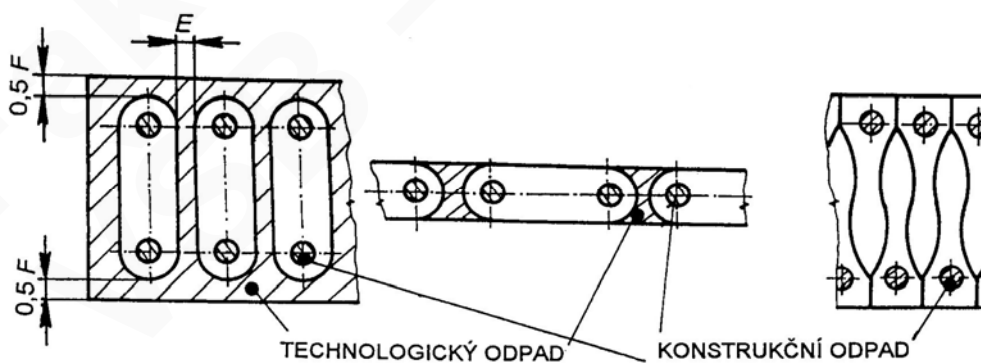
Mezi výstřižky je nutno nechat *přepážku*, jejíž šířka závisí na tloušťce plechu, tvaru výstřižku, na druhu materiálu, způsobu podávání apod. Velikosti přepážek a *bočního odpadu* při vystřihování z pásů podle způsobu rozložení, rozměrů a tloušťky výstřižků jsou uvedeny na obr. 3.9. Ztráty materiálu, způsobené přepážkami a okrajem, jsou citelné především u tlustších plechů.

Přepážky lze zmenšit při použití klešťového nebo válečkového podávání u postupových nástrojů. Velikost přepážky však musí mít určitou minimální hodnotu, aby stříh jedné součásti nezpůsobil případnou deformaci sousední součásti a aby pás plechu i po vyděrování zůstal dostatečně tuhý a nebortil se při průchodu nástrojem. Boční odpad lze snížit, je-li šířka pásu přesná nebo je-li pás dobře veden, např. přitlačením k vodící liště při použití odpružených palců nebo odpružené lišty.

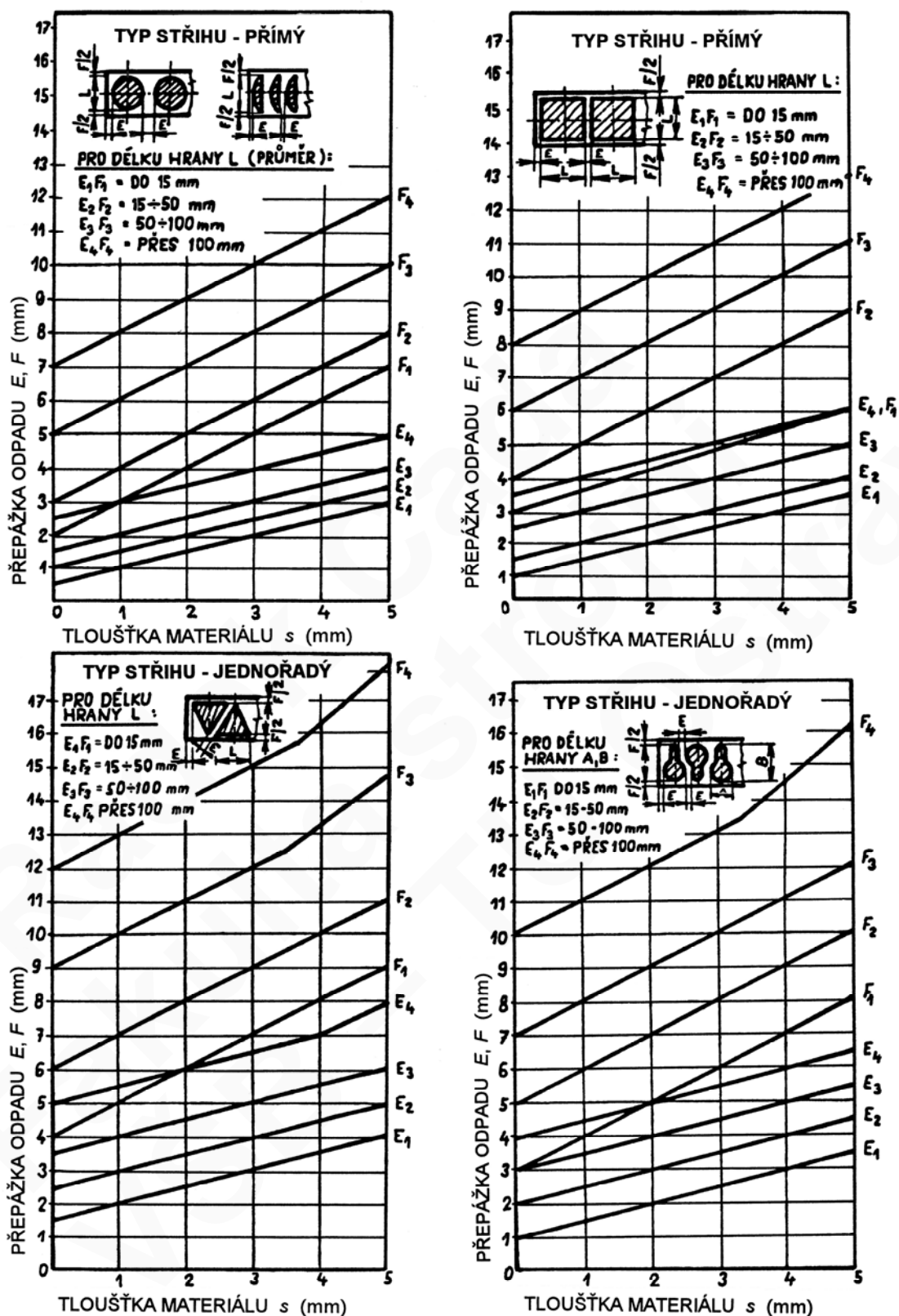
Největší úspory materiálu vzniknou, je-li možno přepážky i boční odpad úplně vynechat. Jde pak o tzv. *otevřený střih*, kdy obvod součásti je vytvořen více střihy a dobrý výsledek závisí na přesnosti střihadla a podávání.

Tab. 3.8 Základní způsoby seskupení výstřižků

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

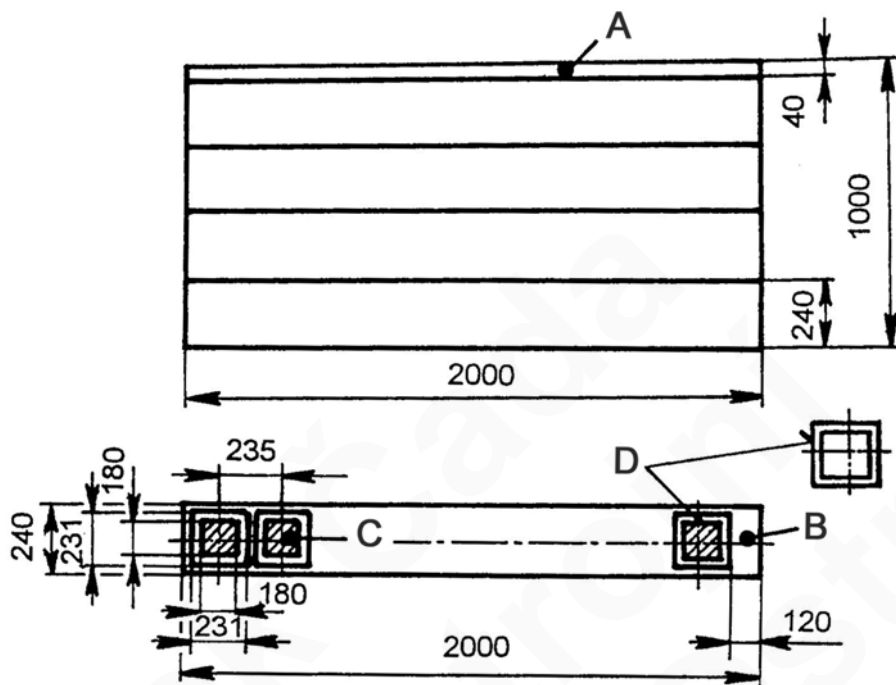


Obr. 3.8 Rozmístění výstřižků na výchozím materiálu (E – velikost přepážky, $0,5.F$ – velikost bočního odpadu)





Obr. 3.9 Diagramy pro určení velikosti přepážek a bočního odpadu při vystřihování z pásů

Je-li třeba nejprve tabuli plechu rozstříhat na pásy a následně z těchto pásů stříhat výstřižky, nástřihový plán spočívá v nakreslení obou těchto operací včetně kót. **Využitelný i nevyužitelný odpad** se v nástřihovém plánu označuje písmeny a kótuje, což umožňuje jejich přesné vyčíslení (obr. 3.10).




Obr. 3.10 Nástřihový plán (A, B – nevyužitelný odpad, C – využitelný odpad, D – výstřižek)


	Průvodce studiem
	U nástřihových plánů lze rozlišit využitelný a nevyužitelný odpad . Využitelný odpad je ten, který lze použít pro výrobu jiných výstřižků nebo součástí.
	Úkol k zamyšlení
	Uveďte výhody a nevýhody stříhání v jedné řadě a ve více řadách najednou při výrobě součástí v praxi.

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

$$\eta = \frac{S_v}{S_p} \cdot 100 \quad (\%). \quad (3.12)$$

Čím větší je sériovost dané výroby, tím větší pozornost je třeba věnovat hospodárnosti nástřihového plánu.

	Průvodce studiem
	U plechových pásů není známa plocha celého polotovaru, protože není známa přesná délka pásu. Z tohoto důvodu se výpočet součinitele využití materiálu 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.

	Shrnutí kapitoly
	<p>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></p> <p>Tvar a jakost střížné plochy závisí na vlastnostech materiálu, velikosti střížné mezery, tvaru a geometrii střížných hran, stavu napjatosti a rychlosti stříhání.</p> <p>Oblasti na střížné ploše: <i>zeslabení tloušťky, oblast plastického stříhu, oblast lomu oblast otěru otřep, vtisk spodního nože. Zpevněná oblast</i> dosahuje u měkkých ocelových plechů 20 až 30 % tloušťky plechu, zvětšuje se s ubývající tvárností materiálu a otipením břitů.</p> <p>Velikost střížné mezery: ovlivňuje jakost střížné plochy, velikost střížné síly a trvanlivost nástroje, <i>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.</i></p> <p>Rozměry střížníků a střížnic:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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. <p>Střížná plocha: $S = L \cdot s$ (mm²).</p> <p>Maximální střížná síla: $F_{\max} = S \cdot R_{ms} \cdot k$ (N).</p> <p>Pevnost ve stříhu (přibližný výpočet): $R_{ms} = (0,75 \div 0,85) \cdot R_m$ (MPa).</p> <p>Střížná práce: $A = \frac{\pi}{2} \cdot F_{\max} \cdot \frac{h}{2}$ (J).</p> <p>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 neujžděl, nevýhoda – odstřihovaná část plechu se <i>ohýbá</i> (nevadí, pokud je odpadem).</p> <p>Zařízení ke stříhání: <i>nůžky</i> (vesměs k přestřihování materiálu), <i>lisy se střížným nástrojem</i> (vesměs k vystřihování a děrování).</p> <p>Stříhadla: <i>tvar břítu</i> tvoří ve většině případů <i>uzavřená křivka</i>. Skládají se z <i>částí pohyblivé</i> (upnuté pomocí stopky do beranu lisu – střížník), <i>částí pevné</i> (upnuté na stole lisu –</p>

střížnice).

Rozdělení stříhadel podle funkce:

- a) **jednoduchá** (jedna operace na jednom výstřížku na jeden zdvih),
- b) **vícenásobná** (na jeden zdvih větší počet stejných výstřížků),
- 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) **sdrúžená** (na jeden zdvih se provedou na výstřížku různorodé operace – např. stříhání a ohýbání nebo tažení).

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

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, vystřihování 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: 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* (vystřihování 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.


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).


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


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


	Pojmy k zapamatování
	<p>Stříhání, plech, smyk, břit, deformace, plošné stříhání, střížník, střížnice, křivka stříhu, 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, stříhadlo, vodící deska, vodící sloupky, vodící stojánek, postupové stříhadlo, sdružené stříhadlo, otevřené stříhadlo, nástřihový plán, krok, seskupování výstřížků, přepážka, boční odpad, hospodárnost nástřihového plánu, součinitel využití materiálu.</p>

	Odměna a odpočinek
	<p>Výborně, právě jste zvládl(a) třetí 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.</p>


	Kontrolní otázky
	<p>Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo třetí kapitoly „Stříhání plechu“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Co se rozumí stříháním? 2. Které oblasti lze rozlišit na střížné ploše? Jaké jsou příčiny jejich vzniku? 3. Jak se vypočte střížná plocha, maximální střížná síla a střížná práce? 4. Dokážete vysvětlit výhody stříhání skloněnými noži? Jaké má tato technologie nevýhody? 5. Na co má vliv velikost střížné mezery? 6. Při vystřihování, kdy je výrobkem výstřížek, odpovídá rozměr výstřížku rozměru střížnice, nebo střížníku? 7. Co je to stříhadlo? Z čeho se skládá? 8. Jak lze stříhadla rozdělit podle funkce? Jak podle způsobu vedení? 9. Co je to nástřihový plán? Jakými způsoby se konstruuje? 10. Co jsou přepážky? Co je boční odpad? 11. Jak lze stanovit hospodárnost nástřihového plánu? 12. Co je využitelný odpad? Co je nevyužitelný odpad?


	Literatura
	<p>[1] BŘEZINA, R. <i>Technologie I – část 1 : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 80 s. ISBN 80-7078-439-3.</p> <p>[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.</p> <p>[3] PETRŽELA, Z. <i>Základy teorie a technologie strojírenského tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1980. 378 s. (bez ISBN).</p> <p>[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).</p> <p>[5] ČABELKA, J. a kol. <i>Mechanická technológia</i>. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1967. 1036 s. (bez ISBN).</p> <p>[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.</p> <p>[7] NOVOTNÝ, K. a MACHÁČEK, Z. <i>Speciální technologie I : Plošné a objemové tváření : skriptum</i>. 2. vyd. Brno : VUT v Brně, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3.</p>

	Náměty pro tutoriál
	<p>Vysvětlete využitelný a nevyužitelný odpad u nástřihových plánů. Uveďte příklady z praxe, kdy se vyskytují při výrobě součástí.</p> <p>Objasněte metody přesného stříhání a uveďte příklady z praxe, kdy se využívá.</p>


	Průvodce studiem
	<p>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.</p>

4 TAŽENÍ PLECHU


	Rychlý náhled do problematiky kapitoly
	<p>Čtvrtá kapitola seznamuje s technologií tažení plechu. Jsou v ní popsány ocelové plechy k tažení, anizotropie plechů, volba plechu pro výrobu výtažků, tažení dutých válcových výtažků, stanovení velikosti přístřihu pro tažení válcových výtažků a rotačních výtažků složitého tvaru, odstupňování tahů pro válcové výtažky, postup při stanovení počtu tahů, použití přidržovače, tlak, síla a tvar přidržovače, tažná mezera, tvar tažnice, tvar tažníku, tažidla pro víceoperační tažení, výpočet tažné síly, výpočet práce při tažení, mazání při tažení, tepelné zpracování tažených plechů.</p> <p>Člení se na následující podkapitoly:</p> <ul style="list-style-type: none"> 4.1 Ocelové plechy k tažení <ul style="list-style-type: none"> 4.1.1 Anizotropie plechů 4.1.2 Volba plechu pro výrobu výtažků 4.1.3 Plechy z oceli 11 305.21 4.2 Tažení dutých válcových výtažků (klasický způsob bez ztenčení stěny) <ul style="list-style-type: none"> 4.2.1 Stanovení velikosti přístřihu pro tažení válcových výtažků 4.2.2 Stanovení rozměru přístřihu pro tažení rotačních výtažků složitého tvaru 4.2.3 Odstupňování tahů pro válcové výtažky 4.2.4 Postup při stanovení počtu tahů 4.2.5 Použití přidržovače 4.2.6 Tlak, síla a tvar přidržovače 4.2.7 Tažná mezera 4.2.8 Tvar tažnice 4.2.9 Tvar tažníku 4.2.10 Tažidla pro víceoperační tažení 4.2.11 Výpočet tažné síly 4.2.12 Výpočet práce při tažení 4.3 Mazání při tažení 4.4 Tepelné zpracování tažených plechů

	Cíle kapitoly
	<p>Budete umět:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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.

	<p>Získáte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. <p>Budete schopni:</p> <ul style="list-style-type: none"> • charakterizovat technologii tažení bez ztenčení stěny, • vypočítat přídržovací sílu v jednotlivých tazích.
--	--

	<p>Klíčová slova kapitoly</p>
	<p>Tažení, deformace, výtažek, plošné tváření, tažení prosté, přídržovač, tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování, přetahování, šablona, ocel, plech, neuklidněná ocel, uklidněná ocel, textura, makrostruktura, mikrostruktura, anizotropie, tažnost, kontrakce, rekrytalizační teplota, válcování, lehké převálcování, přístřih, Guldinova věta, těžiště, stupeň deformace, součinitel odstupňování tahu, poměrná tloušťka přístřihu, přeložka, zvrásnění, účinná plocha přídržovače, tangenciální pýchování, tah, hlubokotažný plech, jmenovitá tloušťka plechu, tlak přídržovače, přídržovací síla, měrný tlak přídržovače, pružina, beran, dvojčinný lis, tažná mezera, zvlnění, kalibrace výtažku, jednočinný lis, zaoblení tažné hrany tažnice, vyhazovač, přechodový poloměr tažníku, sekundární zvlnění výtažku, odvzdušnění, tažná síla, pevnost v tahu, celková síla tažného lisu, práce, součinitel tření, mazání, tepelné zpracování.</p>

	<p>Čas potřebný ke studiu kapitoly: 6 hodin</p>
---	--

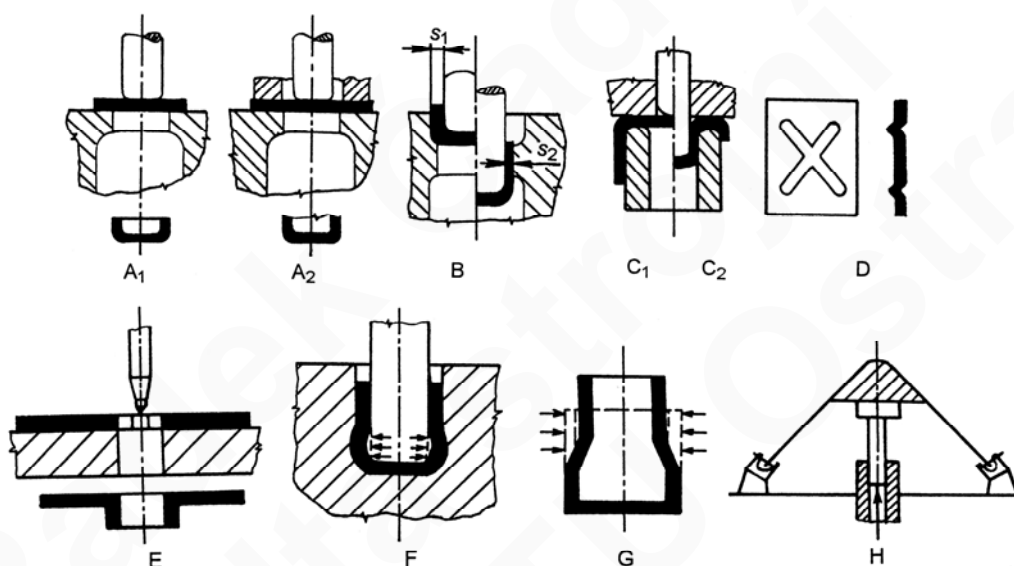
	<p>Průvodce studiem</p>
	<p>Tato kapitola je důležitým teoretickým základem pro zpracování třetího korespondenčního úkolu – návrhu technologie tažení válcového výtažku z plechu na více operací.</p>

Tažení plechu je možno charakterizovat jako *trvalou deformaci, při které vznikají z rovinných přístřihů prostorové duté výtažky, které nejsou rozvinutelné*. Jedná se o proces náležející do skupiny *plošného tváření*, neboť umožňuje dosažení požadovaného tvaru výtažků bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu.


Přehled názvosloví a základních tažných operací je uveden v ČSN 22 6001 Názvosloví technologie tváření kovů. **Tato norma rozděluje procesy tažení následovně** (obr. 4.1):

- a) **Tažení prosté** (obr. 4.1 A₁, A₂) je tváření rovinného přístřihu v prostorovou uzavřenou plochu bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu. Obr. 4.1 A₁ představuje tažení bez přídržovače, obr. 4.1 A₂ tažení s přídržovačem.
- b) **Tažení se ztenčením stěny** (obr. 4.1 B) je tváření dutého polotovaru, charakterizované zmenšením příčného průřezu, při čemž dochází ke zmenšení tloušťky stěny výtažku z hodnoty s_1 na s_2 .


- c) **Zpětné tažení** (obr. 4.1 C₁, C₂) – pro tento proces se využije první operace dle obr. 4.1 A₁ nebo A₂ a v následující operaci se provede tažení v obráceném směru vůči tažení předchozímu.
- d) **Žlábkování** (obr. 4.1 D) je proces, charakterizovaný vytlačováním mělkých prohlubenin za účelem zvýšení tuhosti polotovaru.
- e) **Protahování** (obr. 4.1 E) je proces, charakterizující protahování materiálu po vnějším nebo vnitřním okraji tak, aby se vytvořila kolmá válcová plocha.
- f) **Rozšiřování** (obr. 4.1 F) je charakterizováno místním zvětšováním výchozího válcového polotovaru.
- g) **Zužování** (obr. 4.1 G) je charakterizováno místním zužováním výchozího válcového polotovaru.
- h) **Přetahování** (obr. 4.1 H) je tváření rovinného polotovaru v prostorovou plochu napínáním přes šablonu.



Obr. 4.1 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)

	<p>Část pro zájemce</p>
	<p>Pomocí odkazu níže můžete spustit animaci tažení válcového výtažku s prolisem ve dně z rovinného přístřihu s použitím přidržovače s analýzou deformací v diagramu mezních deformací použitého plechu. Je vidět pohyb tažníku vůči tažnici, vznik místa lokálního ztenčení plechu a vznik praskliny ve dně výtažku, které je vybarveno červeně. Vznik praskliny je zřejmý i z analýzy deformací v diagramu mezních deformací, kde červené body, odpovídající deformacím v kritickém místě dna výtažku, leží nad křivkou mezních deformací.</p> <p><u>Tažení válcového výtažku s prolisem ve dně s tažnými nástroji a analýzou deformací v diagramu mezních deformací</u></p>

<p>Pomocí druhého odkazu níže můžete spustit animaci tažení válcového výtažku s prolisem ve dně z rovinného přístřihu s použitím přídržovače s analýzou deformací v diagramu mezních deformací použitého plechu. Je vidět vznik místa lokálního ztenčení plechu a vzniku praskliny ve dně výtažku, které je vybarveno červeně. Vznik praskliny je zřejmý i z analýzy deformací v diagramu mezních deformací, kde červené body, odpovídající deformacím v kritickém místě dna výtažku, leží nad křivkou mezních deformací.</p> <p><u>Tažení válcového výtažku s prolisem ve dně s analýzou deformací v diagramu mezních deformací</u></p> <p>Pomocí třetího odkazu níže můžete spustit animaci zpětného tažení kruhového výtažku z rovinného přístřihu s použitím přídržovače. U svislé stěny výtažku je zřejmá tendence k sekundárnímu zvlnění.</p> <p><u>Zpětné tažení kruhového výtažku z rovinného přístřihu</u></p> <p>Pomocí čtvrtého odkazu níže můžete spustit animaci rozšiřování trubky lomeného potrubí tlakovou kapalinou.</p> <p><u>Rozšiřování trubky lomeného potrubí tlakovou kapalinou</u></p> <p>Pomocí pátého odkazu níže můžete spustit animaci lisování kruhového prstence s analýzou tloušťky stěny. Největší ztenčení je v místech vybarvených červeně. V místech, která jsou vybarvena modře, dochází v procesu plastické deformace k napěchování plechu a zvětšení tloušťky.</p> <p><u>Lisování kruhového prstence s analýzou tloušťky stěny</u></p>
--

	<h3>Úkol k zamyšlení</h3>
	<p>Uvedte příklady použití jednotlivých technologií tažení při výrobě součástí v praxi.</p>

4.1 Ocelové plechy k tažení

Ocelové plechy k tažení se vyrábí **neuklidněné (stárnoucí)** a **uklidněné (nestárnoucí)**.

Plechy z neuklidněných ocelí rychle stárnou, což způsobuje především dusík. Na omezení projevů stárnutí by bylo třeba snížit obsah dusíku v oceli pod 0,001 %. Toto je při současném stavu techniky ekonomicky velmi nevýhodné, proto musí zpracovatelé se stárnutím počítat.

Hodnoty mechanických vlastností plechů z neuklidněných ocelí, uvedené v normách jakostí, se zaručují k datu odeslání plechů od výrobce. V případě přejímky plechů u výrobce tato záruka platí k datu připravenosti plechů k přejímce. Vzhledem ke stárnutí těchto plechů není zvýšení meze kluzu o 10 MPa a snížení tažnosti o 1 %, zjištěné při kontrole u odběratele do 8 dnů od data odeslání plechů od výrobce (nebo v případě přejímky od data připravenosti plechů k přejímce), důvodem pro reklamaci plechů.

Tam, kde spotřebitel klade velmi vysoké nároky na tvářitelnost zastudena, rovnoměrnost vlastností a minimální sklon ke stárnutí, musí použít **hlubokotažné plechy z ukladněných ocelí**. *V těchto ocelích je dusík vázaný na stabilní nitridy*. Jako přísada zabraňující stárnutí se používá hliník, který je levný a kromě dusíku váže také kyslík přičemž nezpevňuje matici.


Hodnoty mechanických vlastností plechů z ukladněných ocelí, uvedené v normách jakostí, se zaručují po dobu **šesti měsíců** od data odeslání od výrobce nebo v případě přejímky od data připravenosti plechů k přejímce.

4.1.1 Anizotropie plechů

Anizotropie plechů je *směrová závislost mechanických a fyzikálních vlastností*, přičemž za výchozí se pokládá směr válcování. Je *způsobena* jednak *orientovanou makrostrukturou (strukturní texturou)*, vzniklou při válcování zatepla v důsledku prodloužení necelistvostí, nemetalických inkluzí a oblastí s různým chemickým složením ve směru válcování, jednak *orientovanou mikrostrukturou (krystalografickou texturou)*, vzniklou při válcování zastudena v důsledku prodloužení a natočení plasticky deformovaných krystalických zrn.

Anizotropie prvního typu, kterou nelze ovlivnit tepelným zpracováním, se projeví rozdílnými hodnotami tažnosti, kontrakce a specifické nárazové práce ve směru válcování, tj. ve směru podélném, a kolmo ke směru válcování, tj. ve směru příčném.

Anizotropie druhého typu, kterou lze odstranit vyžháním nad rekrystalizační teplotu, se projeví rozdílnými hodnotami meze kluzu v podélném a příčném směru.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady projevů anizotropie plechů při procesech tažení v praxi.

4.1.2 Volba plechu pro výrobu výtažků

Volba plechu musí zajistit jak spolehlivý průběh výroby výtažků, tak i požadované vlastnosti hotového výtažku. Proto je důležité znát *způsobilost plechu k hlubokému tažení*.

Ocelové plechy z ocelí tažných jakostí válcovaných zastudena se z hlediska tvářitelnosti rozdělují do *kvalitativních skupin podle ČSN 42 0127* (tab. 4.1). Použité názvy kvalitativních skupin "mírný, střední, hluboký, velmi hluboký" jsou jen názvy konvenční, protože byly pro jednotlivé jakosti určeny na základě mechanických vlastností a chemického složení. Uvedená kategorizace plechů proto nemůže být pro zpracovatele závazná.

Tab. 4.1 Rozdělení tažných ocelových plechů z hlediska tvářitelnosti podle ČSN 42 0127

Skupiny tvářitelnosti	
symbol	charakteristika
MT	jakost vhodná pro mírné tažení
ST	jakost vhodná pro střední tažení
HT	jakost vhodná pro hluboké tažení
VT	jakost vhodná pro velmi hluboké tažení

Přesnější jakostní zatřídění jednotlivých druhů plechů je možné jen na základě určení dalších kritérií tvářitelnosti (metalografická analýza, rentgenografická analýza, koeficient plošné anizotropie, exponent deformačního zpevnění, součinitel plastické anizotropie aj.).

Hlavní skupina ocelových plechů určených k lisování je normalizována ve třídě 11. Tabule plechů se podle tloušťky dodávají v délkách 2000 až 3000 mm a šířkách 500 až 1500 mm podle příslušných rozměrových norem.

Přehled druhů ocelových plechů pro tažení, válcovaných zastudena, je uveden v tab. 4.2, směrné chemické složení těchto plechů je uvedeno v tab. 4.3, požadované hodnoty mechanických vlastností v tab. 4.4.

Tab. 4.2 Ocelové plechy válcované zastudena

Symbol	ČSN	Označení oceli	Povrch ČSN	Způsob výroby	tl. (mm)
MT	41 1331	11 331.21	42 6312.1	neuklidněná kyslíková nebo martinská	0,4 ÷ 2,0
ST	41 1325	11 325.21	42 6312.3	speciálně uklidněná kyslíková	0,4 ÷ 2,0
ST	41 1321	11 321.21	42 6312.3	neuklidněná kyslíková nebo martinská	0,4 ÷ 2,0
VT	41 1304	11 304.21	42 6312.3 42 6312.4	neuklidněná kyslíková	0,4 ÷ 2,0
VT	41 1305	11 305.21	42 6312.3 42 6312.4	speciálně uklidněná kyslíková	0,4 ÷ 2,0
HT	41 1301	11 301.21	42 6312.3	neuklidněná kyslíková nebo martinská	0,4 ÷ 2,0

Tab. 4.3 Směrné chemické složení ocelových plechů k tažení

Označení oceli	C (max. %)	Mn (max. %)	P (max. %)	S (max. %)	Al (min. %)
11 301	0,08	0,40	0,030	0,030	–
11 304	0,07	0,40	0,025	0,025	–
11 305	0,07	0,40	0,025	0,025	0,025
11 321	0,10	0,45	0,035	0,035	–
11 325	0,10	0,45	0,035	0,035	0,020
11 331	0,11	0,45	0,035	0,035	–

Tab. 4.4 Požadované hodnoty mechanických vlastností ocelových plechů k tažení

Označení oceli	Mez kluzu napříč (MPa)	R_m napříč (MPa)	A_{80} napříč (min. %)	Hloubení dle Erichseny (mm)
11 301.21	230	290 ÷ 370	31	6,8 ÷ 12,2
11 304.21	220	300 ÷ 360	36	8,9 ÷ 12,3
11 305.21	max. 215	290 ÷ 360	36	8,9 ÷ 12,3
11 321.21	240	290 ÷ 390	29	6,6 ÷ 12,0
11 325.11	240	290 ÷ 390	30	8,3 ÷ 12,0
11 331.21	260	290 ÷ 410	25	7,9 ÷ 11,8

Tenké ocelové plechy k tažení se dodávají ve stavu rekrystalizačně žíhaném a zastudena lehce převálcovaném, aby se odstranila výrazná mez kluzu a Lüdersova deformace. Hodnoty tažnosti, uváděné v normách, platí jen pro plechy tl. 0,5 až 2,0 mm. Pro plechy tenčí než 0,5 mm se tažnost zaručuje podle dohody. Pásky, vyrobené z neuklidněných ocelí 11 301, 11 321 a 11 331 podléhají stárnutí, tj. hodnota meze kluzu se zvyšuje a hodnota tažnosti klesá s délkou času od data výroby do data zpracování a v závislosti na teplotě. Proto je třeba, aby odběratel plechy z uvedených neuklidněných ocelí zpracoval co nejdříve, nebo objednal plechy z uklidněných ocelí, pokud to dovoluje cíl použití.



Průvodce studiem

Pro výrobu hlubokých výtažků se v ČR nejčastěji používají plechy z oceli 11 305.21, která má obchodní označení KOHAL a vyrábí se ve VSŽ Ocel', a. s. v Košicích ve formě pásky nebo tabulí. Výroba této oceli zde byla zahájena v roce 1968, a to nejprve jako ocel kyslíková konvertorová, později vyráběná kontilitím.

4.1.3 Plechy z oceli 11 305.21

Ocel 11 305 dle ČSN 41 1305 odpovídá oceli zn. 08JU-SV podle GOST 9045-80, St 14 podle DIN 1623/1 a FeP04 podle EURONORM 130-77. Je to ocel kyslíková konvertorová nebo vyráběná kontilitím, uklidněná, vhodná k tažení a tváření zastudena. Válcováním zastudena se z ní vyrábějí tenké plechy o tloušťce 0,40 až 2,00 mm. **Plechy se běžně dodávají rekrystalizačně žíhané s následujícím lehkým převálcováním zastudena** (označení .21 za číselnou značkou oceli ve smyslu ČSN 42 0002). Stav materiálu je vyjádřen první doplňkovou číslicí za značkou oceli, stupeň deformace zastudena druhou doplňkovou číslicí (viz ČSN 42 0108 a ČSN 42 0127). **Plechy z oceli 11 305.21 jsou odolné proti stárnutí, vhodné pro velmi hluboké tažení** (skupina tvárnosti VT dle ČSN 42 0127), **zaručeně svařitelné podle ČSN 05 1310**.

Pásky šířky od 510 mm včetně a plechy v tabulích se vyrábí s rozměry a mezními odchylkami rozměrů dle ČSN 42 6312, technické dodací předpisy jsou dány ČSN 42 0127.

Pásky šířky do 500 mm včetně se vyrábí podélným dělením širokých pásů. Rozměry a mezní odchylky rozměrů takto vyrobených pásů jsou určeny ČSN 42 5351, technické dodací předpisy jsou dány ČSN 42 0108.

Jakost povrchu se vyjadřuje první doplňkovou číslicí za číslem rozměrové normy, *stav povrchu*, charakterizovaný střední aritmetickou odchylkou od střední čáry profilu R_a se označuje druhou doplňkovou číslicí (viz ČSN 42 0108 a ČSN 42 0127). *Způsob dodávání plechů* se označuje první doplňkovou číslicí za číslem normy technických dodacích předpisů, výběr zkoušek se určuje druhou doplňkovou číslicí (viz ČSN 42 0108 a ČSN 42 0127).

Pásky se dodávají s ořezanými (ostříženými) hranami i konci. Na hranách se nedovoluje natržení a dvojitost, otřepy nesmí být větší než polovina tolerance tloušťky. Deformované konce svitků musí výrobce odstranit před odesláním odběrateli. Ohnutí vnitřního konce pásu pro technologické potřeby při navíjení svitku se nepokládá za deformaci. Délka pásu ve svitku se nezaručuje, ani nekontroluje. Rovinnost pásu se nezaručuje. Pásky nesmí mít takové vnitřní necelistvosti, které by byly na újmu zpracovatelnosti. Svitky zpravidla obsahuje jeden pás, ale může obsahovat i dva pásy, jejichž spoj pak musí výroba označit barevně nebo vhodnou vložkou. Svitky musí být navinuty rovně a sevřeně. Převýšení jednoho vnitřního a vnějšího závitu se ještě nepokládá za teleskopičnost svitku.

Plechy se běžně dodávají bez konzervace. Podle předpisu v objednávce mohou být i konzervované vhodným konzervačním olejem, který lze odstranit alkalickým odmašťováním. Svitky se běžně dodávají bez přídatného obalu, přičemž jako obal slouží vnější závit svitku. Proti rozvinutí se svitky u výrobce svazují nejméně dvakrát po obvodu a nejméně třikrát v radiálním směru ocelovou vázací páskou. Hrany svitků se v místech převázání chrání proti poškození plechovými podložkami. Svitky se mohou svazovat do svazků, jejichž šířka může být maximálně 600 mm. Každý svitok i svazek výrobce plechu označuje štítkem s náležitostmi podle ČSN 42 0108 nebo ČSN 42 0127, který se připevňuje na ocelovou vázací pásku. Pásky ve svitcích by se měly dopravovat a skladovat tak, aby pokud možno nebyly vystaveny účinkům atmosférických srážek a vlhkosti.

Plechy se běžně dodávají se zárukou normovaných vlastností, uvedených v příslušném materiálovém listu oceli. **U plechů z uklidněných ocelí se zaručují hodnoty mechanických vlastností, uvedené v materiálovém listu, po dobu šesti měsíců od data odeslání plechů od výrobce.**

U oceli 11 305 je materiálovým listem ČSN 41 1305. Požadované výsledky zkoušky hloubením podle Erichsena jsou uvedeny v tab. 4.5. Plechy z oceli 11 305.21 se dodávají s velikostí feritického zrna stupně 6 a většího podle ČSN 42 0462, což je předepsáno v ČSN 42 0127.

Podle ČSN 42 0108 je mezní odchylka přímosti podélných hran pásů 3 mm na 1 m délky pásu a dovolená korýtkovitost pásů je 1 % jejich šířky. Teleskopičnost svitku může být maximálně 10 % šířky pásu, ale v žádném případě nesmí překročit 30 mm.

Mechanické a technologické vlastnosti, mezní úchyly tloušťky a povrch plechů válcovaných zastudena musí odpovídat ČSN 42 0127 a ČSN 42 6312, resp. ČSN 420117 a ČSN 42 6317.

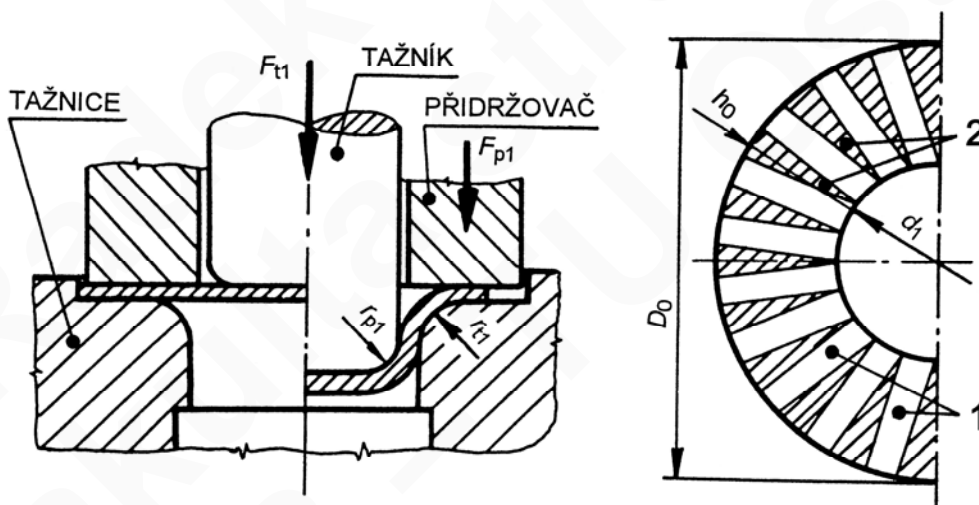
Tab. 4.5 Požadované výsledky zkoušky hloubením podle Erichsena oceli 11 305.21 dle ČSN 41 1305

jmenovitá tloušťka plechu a (mm)	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
prohloubení IE (mm)	9,3	9,6	9,9	10,2	10,4
jmenovitá tloušťka plechu a (mm)	1,00	1,30	1,50	1,80	2,00
prohloubení IE (mm)	10,7	11,2	11,6	12,1	12,3

4.2 Tažení dutých válcových výtažků (klasický způsob bez ztenčení stěny)

Při tažení dochází ke změně tvaru rovinného přístřihu na dutý výtažek. Ke změně tvaru dochází tažením materiálu přístřihu *tažníkem* přes tažnou hranu *tažnice*.


Na obr. 4.2 je nakreslen *kruhový přístřih*, na němž jsou znázorněny dva typy ploch. Plochy obdélníkové (označené 1) jsou části rozvinuté z válcové části výtažku a části trojúhelníkové (označené 2), z nichž musí být materiál přemístěn ve směru radiálním a tangenciálním. Toto přemístění je způsobeno *složitou plastickou deformací v přírubě a na tažné hraně během tažení*. Materiál trojúhelníkových ploch způsobuje při tažení jednak prodlužování ploch obdélníkových, tedy zvětšování výšky výtažku, jednak nepatrné zvětšování tloušťky plechu ve válcové ploše.



Obr. 4.2 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)

Rozdělení přírůstku tloušťky není stálé, ale mění se s výškou. *Zvětšení tloušťky* činí 20 až 30 % výchozí tloušťky plechu. V místě přechodu mezi dnovým rádiusem a válcovou plochou se plech naopak *ztenčuje*. Toto ztenčení činí 10 až 20 % výchozí tloušťky plechu.

Vzrůst tloušťky plechu v okrajových partiích výtažku je způsoben intenzivním petchováním materiálu plechu v tangenciálním směru. V případě tažení nízkých nádob je vzrůst napětí v tangenciálním směru v okrajové části poměrně malý, naproti tomu při tažení vyšších nádob dosahuje tečné napětí kritických hodnot, takže dochází v přírubě ke **tvorbě vln**, které mohou-li se volně zvětšovat, způsobují podstatný vzrůst tažné síly a vedou k utržení dna výtažku. Tvorba vln je závislá na odolnosti materiálu proti vybočení z roviny příruby (na vzpěrné pevnosti).

	Průvodce studiem
	Pro výrobu hlubokých výtažků se v ČR nejčastěji používají plechy z oceli 11 305.21, která má obchodní označení KOHAL a vyrábí se ve VSŽ Ocel, a. s. v Košicích ve formě pásů nebo tabulí. Výroba této oceli zde byla zahájena v roce 1968, a to nejprve jako ocel kyslíková konvertorová, později vyráběná kontilitím.

Vzrůst tloušťky plechu při tažení výtažku bez příruby je možno přibližně vyjádřit vztahem:


$$s_{\max} = s_0 \cdot \sqrt{\frac{D_0}{d}} \quad (\text{mm}), \quad (4.1)$$

kde je

s_{\max}	– tloušťka okraje výtažku (mm),
s	– původní tloušťka plechu (mm),
D_0	– průměr kruhového přístřihu (mm),
d	– střední průměr výtažku (mm).

Stupeň deformace stěn výtažku vzrůstá od jeho dna směrem k okraji. Proto okraje výtažků vykazují největší zpevnění.

Směrnice pro konstrukci a výpočet dutých válcových výtažků jsou uvedeny v ČSN 22 7301 „Tažení dutých válcových výtažků“. Pro výpočty se tloušťka plechu během tažného procesu považuje za stálou.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady válcových součástí, které byly vyrobeny tažením z plechu bez ztenčení stěny.

4.2.1 Stanovení velikosti přístřihu pro tažení válcových výtažků

Pro výpočet velikosti přístřihu je třeba vyjít z výkresu výtažku. Při tažení **platí zákon zachování objemu**, tj. objem kruhového přístřihu je roven objemu výtažku.

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

$$\frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d^2) \cong \pi \cdot d \cdot h \quad (\text{mm}^2), \quad (4.2)$$

kde je D_0 – průměr kruhového přístřihu (mm),
 d – střední průměr válcového výtažku (mm),
 h – výška válcového výtažku (mm).

Střední průměr válcového výtažku:

$$d = d_v + s \quad (\text{mm}), \quad (4.3)$$

kde je d_v – vnitřní průměr válcového výtažku (mm),
 s – tloušťka stěny válcového výtažku (mm).

Z rovnosti ploch mezikruží přístřihu a pláště válcové nádoby je možno určit výšku válcového výtažku:

$$h \cong \frac{(D_0^2 - d^2)}{4d} \quad (\text{mm}). \quad (4.4)$$

Při tažení rotačních výtažků jednoduchých tvarů lze určit průměr přístřihu ze vztahu:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \sum S_i} \quad (\text{mm}), \quad (4.5)$$

kde je S – plocha hotového výtažku (mm²),
 S_i – plochy jednotlivých částí povrchu hotového výtažku (mm²).

Plochu válcového výtažku lze vypočítat jako součet tří dílčích ploch:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (\text{mm}^2), \quad (4.6)$$

kde je S_1 – plocha rovné části dna válcového výtažku (mm²),
 S_2 – plocha válcové části výtažku před zaoblením u dna (mm²),
 S_3 – plocha zaoblené části výtažku u dna (mm²).

Plocha rovné části dna válcového výtažku:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_r^2}{4} \quad (\text{mm}^2), \quad (4.7)$$

kde je d_r – průměr, odpovídající rovné části dna válcového výtažku (mm).

Plocha válcové části výtažku před zaoblením u dna:

$$S_2 = \pi \cdot d_{stř} \cdot h_r \quad (\text{mm}^2), \quad (4.8)$$

kde je $d_{stř}$ – střední průměr válcového výtažku (mm),
 h_r – výška válcové části výtažku před zaoblením u dna (mm).

Plocha zaoblené části výtažku u dna:

$$S_3 = \pi \cdot d_T \cdot L \quad (\text{mm}^2), \quad (4.9)$$

kde je L – délka tvořící křivky (mm),
 d_T – průměr, na kterém leží těžiště tvořící křivky (mm).

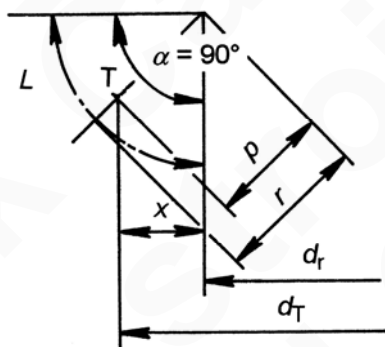
Průměr, na kterém leží těžiště tvořící křivky:

$$d_T = d_r + 2x \quad (\text{mm}). \quad (4.10)$$

Vztahy pro hodnoty x a p lze odvodit z obr. 4.3:

$$x = p \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (\text{mm}), \quad (4.11)$$

$$p = \frac{r \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}} \quad (\text{mm}). \quad (4.12)$$



Obr. 4.3 Poloha těžiště tvořící křivky poloměru zaoblení mezi válcovou částí a dnem výtažku

4.2.2 Stanovení rozměru přístřihu pro tažení rotačních výtažků složitého tvaru

Při tažení rotačních výtažků složitého tvaru, které nelze rozložit na jednoduché rotační tvary, lze ke stanovení rozměru přístřihu 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“.

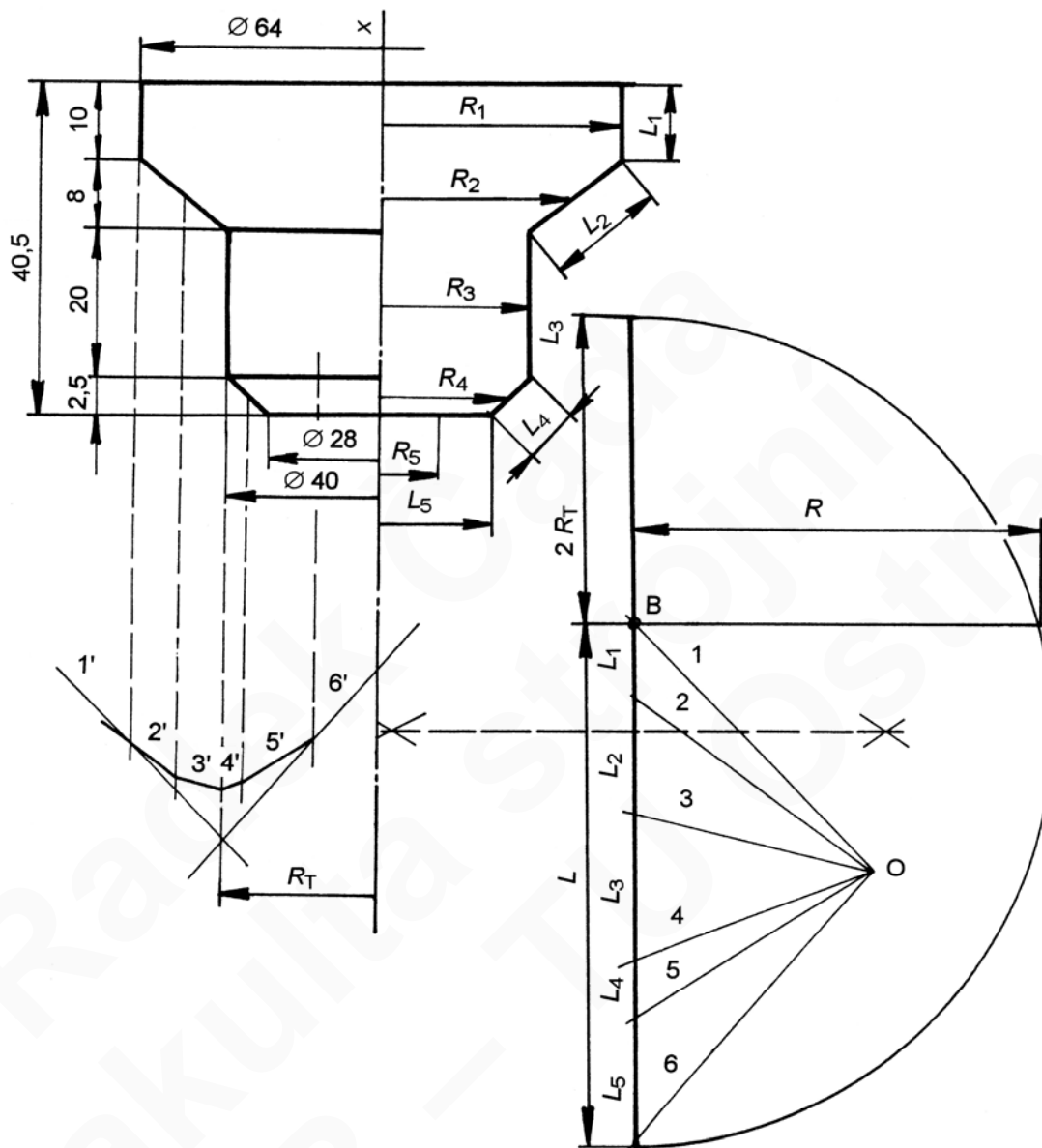
$$S = 2 \pi \cdot R_T \cdot L \quad (\text{mm}^2), \quad (4.13)$$

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

Průměr přístřihu:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{8R_T \cdot L} \quad (\text{mm}). \quad (4.14)$$

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



Obr. 4.4 Grafické určení průměru přístřihu ($D_0 = 2R_0$)

Popis grafické konstrukce dle obr. 4.4:

- Nakreslí se tvořící křivka povrchu výtažku a rozdělí se na jednotlivé části L_i . Graficky se u každé této části nalezne těžiště. Jednotlivými těžišti se vedou čáry, rovnoběžné s osou x .
- Sestrojí se složkový obrazec tak, že na svislou čáru se v příslušném pořadí nanesou délky úseček L_i a následně se ke koncovým bodům jednotlivých úseček vedou pólové paprsky z libovolně zvoleného pólu O .
- Sestrojí se vláknový mnohoúhelník pomocí přímek, rovnoběžných s pólovými paprsky 1, 2, 3, ..., n .

- Průsečík krajních pólových paprsků (v obr. 4.4 průsečík pólových paprsků 1' a 6') udává polohu těžiště T tvořící křivky a velikost R_T .
- Průměr přístřihu D_0 lze určit podle 2. Euklidovy věty ze vztahu:

$$R_0^2 = 2 R_T \cdot L \quad (\text{mm}^2), \quad (4.15)$$

kde je R_0 – poloměr přístřihu. Tento poloměr se rovná délce kolmice, vztyčené v bodu B na úsečku L , do průsečíku s půlkružnicí o průměru $L + 2 R_T$ (obr. 4.4).

Podle ČSN 22 7301 se stanovený průměr přístřihu D_0 zvětšuje o 3 % D_0 pro první tah a o 1 % D_0 pro každý další tah, vzhledem k nerovnostem okraje (cípovitost), způsobené nestejným tažením pláště výtažku (vliv plošné anizotropie výchozího materiálu).

Skutečný průměr přístřihu lze potom vypočítat podle vztahu:

$$D_{0 \text{ skut}} = D_0 \cdot [1 + 0,03 + (i - 1) \cdot 0,01] \quad (\text{mm}), \quad (4.16)$$

kde je i – počet tažných operací

4.2.3 Odstupňování tahů pro válcové výtažky

Při návrhu technologie tažení je snaha vyrobit výtažek na co možná nejmenší počet tažných operací. Proto je třeba dodržet zásadu, že deformace musí být v každé operaci tak velká, aby se plně využilo mechanických vlastností taženého materiálu, a to až na přípustnou mez.

Stupeň deformace při jednom tahu nesmí překročit určitou maximální hodnotu, jinak dojde k poškození výtažku. Z přístřihu určitého průměru lze v jedné tažné operaci vyrobit výtažek o určitém minimálním průměru a odpovídající výšce.

Pro určení nejmenšího počtu tahů se dle ČSN 22 7301 používají tzv. **mezí součinitelé odstupňování tahu M** .

Označí-li se průměr 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:

$$M_1 = \frac{d_1}{D_0}; \quad M_2 = \frac{d_2}{d_1}; \quad M_{n-1} = \frac{d_{n-1}}{d_{n-2}}; \quad M_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} \quad (-). \quad (4.17)$$

Celkový součinitel odstupňování tahu:

$$M_c = \frac{d_n}{D_0} = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_{n-1} \cdot M_n \quad (-). \quad (4.18)$$

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

4.2.4 Postup při stanovení počtu tahů

Z požadovaného středního průměru d hotového výtažku a stanoveného průměru přístřihu D_0 se vypočte celkový součinitel odstupňování tahu:

$$M_c = \frac{d}{D_0} \quad (-). \quad (4.19)$$

Tab. 4.6 Mezní součinitelé odstupňování tahu M a poměrné hloubky h/D_0 při tážení válcových výtažků bez příruby z hlubokotažné oceli nebo měkké mosazi

Výtažky bez příruby	Poměrná tloušťka přístřihu $100 \cdot s/D_0$					
	1,50 ÷ 2,00	1,00 ÷ 1,50	0,60 ÷ 1,00	0,30 ÷ 0,60	0,15 ÷ 0,30	0,08 ÷ 0,15
Součinitel	Mezní součinitelé odstupňování tahu M pro první až pátý tah					
M_1	0,48 ÷ 0,50	0,50 ÷ 0,53	0,53 ÷ 0,55	0,55 ÷ 0,58	0,58 ÷ 0,60	0,60 ÷ 0,63
M_2	0,73 ÷ 0,75	0,75 ÷ 0,76	0,76 ÷ 0,78	0,78 ÷ 0,79	0,79 ÷ 0,80	0,80 ÷ 0,82
M_3	0,76 ÷ 0,78	0,78 ÷ 0,79	0,79 ÷ 0,80	0,80 ÷ 0,81	0,81 ÷ 0,82	0,82 ÷ 0,84
M_4	0,78 ÷ 0,80	0,80 ÷ 0,81	0,81 ÷ 0,82	0,82 ÷ 0,83	0,83 ÷ 0,85	0,85 ÷ 0,86
M_5	0,80 ÷ 0,82	0,82 ÷ 0,84	0,84 ÷ 0,85	0,85 ÷ 0,86	0,86 ÷ 0,87	0,87 ÷ 0,88
Číslo tahu	Největší poměrná hloubka výtažku h/D_0 pro první až pátý tah					
1	0,77 ÷ 0,94	0,65 ÷ 0,84	0,57 ÷ 0,70	0,50 ÷ 0,62	0,45 ÷ 0,52	0,38 ÷ 0,46
2	1,54 ÷ 1,88	1,32 ÷ 1,60	1,10 ÷ 1,36	0,94 ÷ 1,13	0,83 ÷ 0,96	0,70 ÷ 0,90
3	2,70 ÷ 3,50	2,20 ÷ 2,80	1,80 ÷ 2,30	1,50 ÷ 1,90	1,30 ÷ 1,60	1,10 ÷ 1,30
4	4,30 ÷ 5,50	3,50 ÷ 4,30	2,90 ÷ 3,60	2,40 ÷ 2,90	2,00 ÷ 2,40	1,50 ÷ 2,00
5	6,60 ÷ 8,90	5,10 ÷ 6,60	4,10 ÷ 5,20	3,30 ÷ 4,10	2,70 ÷ 3,30	2,00 ÷ 2,70

Pro poměrnou tloušťku přístřihu $100 \cdot s/D_0$ a pro zadaný materiál se vyhledají velikosti mezních součinitelů M_1 až M_n pro jednotlivé tahy (tab. 4.6). Menší hodnoty součinitelů se používají při větším poloměru zaoblení tažné hrany tažnice $r_t = (8 \div 15) s$, větší hodnoty při $r_t = (4 \div 8) s$.

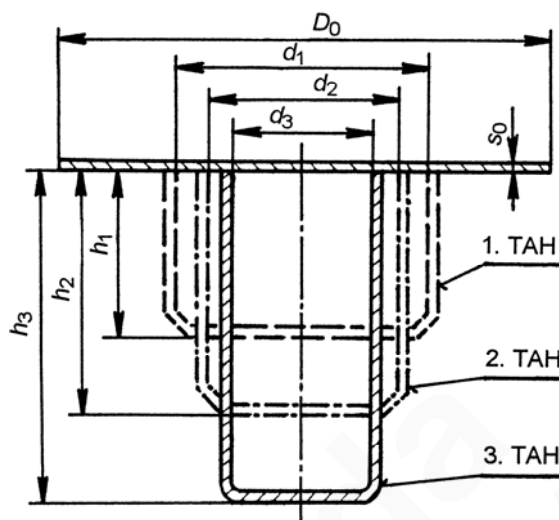
Táhnou-li se méně tvárné kovy (např. oceli 10 370, 11 370, mechanicky zpevněný hliník, mosaz), je třeba brát součinitele tážení poněkud větší. Při tážení tvárnějších kovů (např. ocel 11 321, hliník), popřípadě žihá-li se výtažek mezi operacemi, je třeba brát součinitele poněkud menší, než jsou uvedeny v tab. 4.6.

Násobí se mezi sebou postupně součinitelé M_1 až M_n tak, až hodnota součinu dosáhne velikosti celkového součinitele odstupňování tahu M_c nebo hodnoty nižší. **Počet nutných operací (tahů) je pak dán počtem součinitelů M_i v součinu.**


Příklad odstupňování jednotlivých tažných operací je na obr. 4.5. Musí být splněna podmínka:

$$M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot \dots \cdot M_n \leq M_c, \quad (4.20)$$

$$\text{kde je } M_1 = \frac{d_1}{D_0}; \quad M_2 = \frac{d_2}{d_1}; \quad M_{n-1} = \frac{d_{n-1}}{d_{n-2}}; \quad M_n = \frac{d_n}{d_{n-1}}; \quad M_c = \frac{d}{D_0}$$



Obr. 4.5 Odstupňování tažných operací

	Průvodce studiem
	<p>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 tahů 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.</p>

4.2.5 Použití přidržovače

Stanovení způsobu tažení, tj. zda táhnout bez přidržovače nebo s přidržovačem, má vliv na koncepci, složitost a cenu tažidla i na výběr tažného lisu. Rozhodnutí, zda je možno táhnout s přidržovačem nebo bez něho, vyplývá z empirických vztahů ověřených praxí.

Podle ČSN 22 7301 se přidržovač má použít v následujících případech:

- a) při tažení hlubokotažného plechu tloušťky $s < 0,5$ mm
- b) v prvním tahu v případě, že:

$$\alpha \geq \frac{100d_1}{D_{0\text{skut}}} \quad (-). \quad (4.21)$$

Součinitel α se vypočte ze vztahu:

$$\alpha = 50 \cdot \left(z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_{0\text{skut}}}} \right), \quad (4.22)$$

kde je s – jmenovitá tloušťka plechu (mm),
 D_{0skut} – skutečný průměr přístřihu (mm),
 z – materiálová konstanta, která má pro ocelový hlubokotažný plech hodnotu 1,90, pro mosazný plech 1,95 a pro hliníkový a zinkový plech hodnotu 2,00.

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

Přidržovač brání vzniku přeložek a zvrásnění při tažení tím, že svou funkční plochou přitlačuje plech k horní části tažnice. Pokud by se při tažení tzv. *prvotní vlny* přeložily a vytvořily přeložky, materiál by již neprošel tažnou mezerou, což by vedlo k zadření nástroje nebo utržení dna výtažku. Nebezpečí vzniku vln je tím větší, čím je plech tenčí a součinitel odstupňování tahu nižší.

Z předchozího vyplývá, že tažení výtažků z tenkého plechu bez přidržovače klasickými metodami je možné jen u mělkých výtažků s poměrně velkým součinitelem tažení.

Při tažení tlustostěnných výtažků není zpravidla přidržovače potřeba. V tomto případě je stabilita příruby proti zborcení následkem tangenciálního pětchování dostatečně velká, takže přidržovač není nutný. Pro výrobu takových výtažků se s výhodou používají *jednočinné lisy*, pro které jsou nástroje jednodušší. Nevýhodami jsou složitější výroba tažnice a větší potřebný zdvih beranu lisu. Složitost tažnice spočívá ve speciálním tvaru zaoblené hrany, který má umožnit dosáhnout nízký součinitel tažení. V průběhu tažení nesmí dojít ke zborcení příruby, a tím k poškození výtažku.

Pro tažení bez přidržovače se používají následující tažnice:

a) tažnice s jedním velkým poloměrem zaoblení tažné hrany. Poloměr zaoblení je navržen tak, aby byl přístřih po celou dobu tažení tlačěn svým obvodem na tažnici.

b) tažnice s profilem podle Pelczyńského. Nejvýhodnější podmínky tažení se docílují tím, že bod dotyku tažnice s přístřihem zůstává na hraně výtažku.

c) tažnice s profilem traktrix křivky (jde o evolventu řetězovky). Tento typ tažnice umožňuje tažení s nejmenšími silami a je možné dosáhnout nejnižšího součinitele odstupňování tahu $M = 0,35$. Křivka použitá na funkční ploše tažnice zaručuje od počátku tažení tangenciální dotyk okraje přístřihu s tažnicí.

4.2.6 Tlak, síla a tvar přidržovače

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

Potřebný měrný tlak přidržovače v i -tém tahu lze vypočítat ze vztahu:

$$p_i = (0,002 \div 0,003) \cdot \left[\left(\frac{1}{M_i} - 1 \right)^3 + 0,5 \frac{d_i}{100 s} \right] \cdot R_m \quad (\text{MPa}), \quad (4.23)$$

kde je M_i – součinitel odstupňování tahu v i -tém tahu (–),
 d_i – průměr výtažku v i -tém tahu (mm),
 s – jmenovitá tloušťka plechu (mm),
 R_m – mez pevnosti taženého materiálu (MPa).

Přidržovací síla v i -tém tahu:

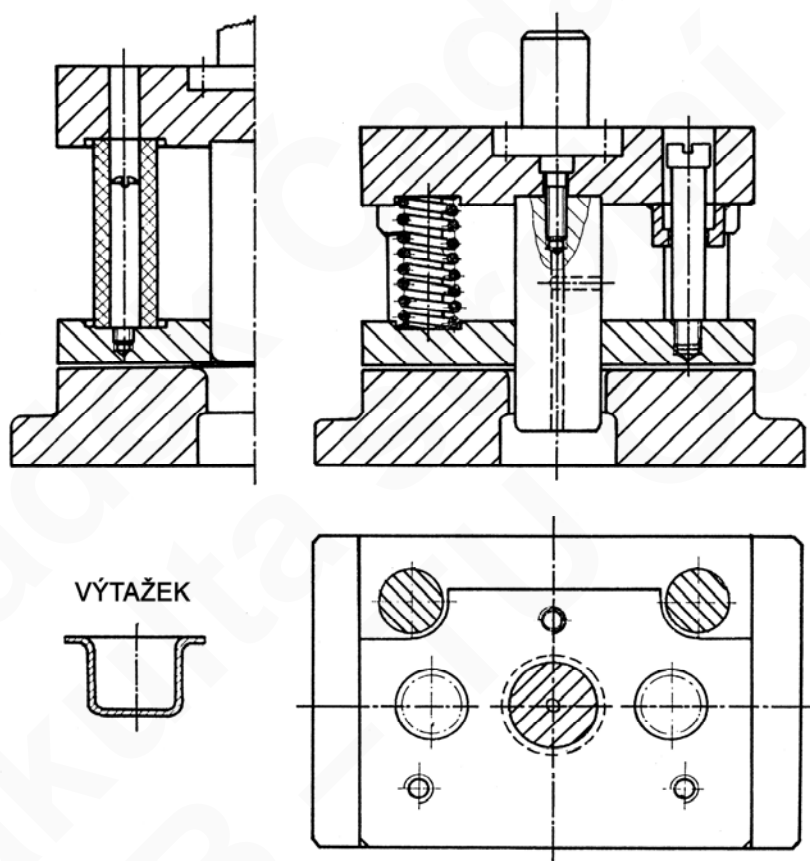
$$F_{pi} = S_i \cdot p_i \quad (\text{N}), \quad (4.24)$$

kde je S_i – účinná plocha přidržovače (mm²),
 p_i – měrný tlak přidržovače (MPa).

Účinnou plochu přidržovače v prvním tahu lze vypočítat dle vztahu:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D_{0skut}^2}{4} - \frac{\pi(d_1 + 2s + 2r_{t1})^2}{4} \quad (\text{mm}^2). \quad (4.25)$$

Ve druhém a dalších tazích, kdy je použit vnitřní přidržovač, lze pro účely výpočtu přidržovací síly, která působí rovnoběžně s osou nástroje, vypočítat plochu mezikruží, které vznikne průmětem účinné plochy přidržovače do roviny kolmé k ose nástroje a tuto plochu dosadit do rovnice 4.24.

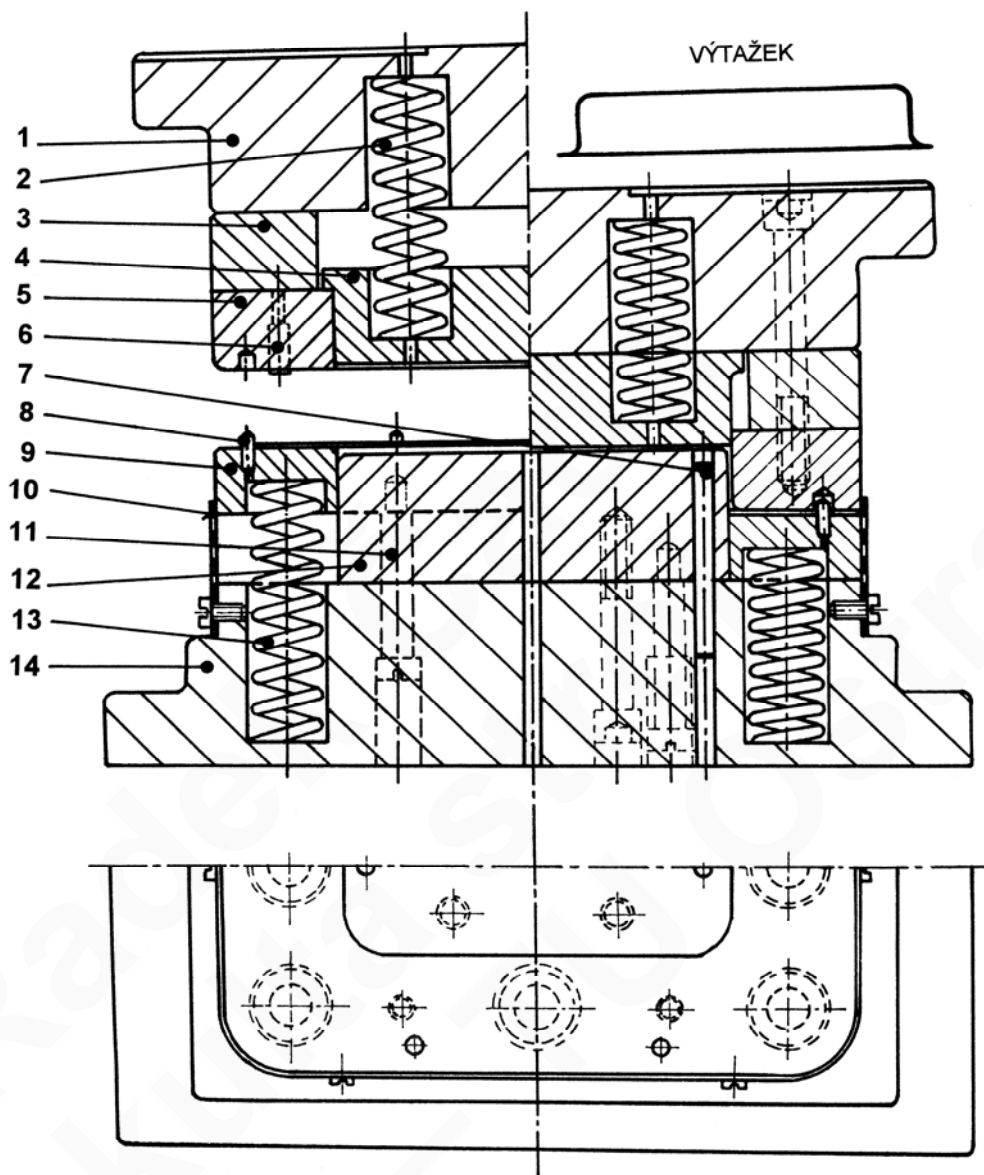


Obr. 4.6 Tažidlo s horním pružinovým přidržovačem, určené pro jednočinné lisy

K vyvození přidržovací síly v tažném nástroji se využívá buď *beranu lisu*, provádějící vlastní tažnou operaci, nebo *samostatného beranu*, jehož pohyb je odvozen od pohybu hlavního beranu lisu. *První případ* je používán pro tažení nízkých výtažků *na jednočinných lisech* (klikových nebo výstředníkových), *druhý případ* se používá při tažení hlubokých výtažků *na lisech dvoj i vícečinných*.

V praxi se používá *vzduchový, hydraulický nebo pružinový přidržovač*. Zda se vypočtená velikost tlaku shoduje se skutečným tlakem přidržovače se v praxi obtížně zjišťuje, protože na obvyklejších výrobních lisech nejsou ústrojí na měření skutečné síly přidržovače. Proto se v praxi

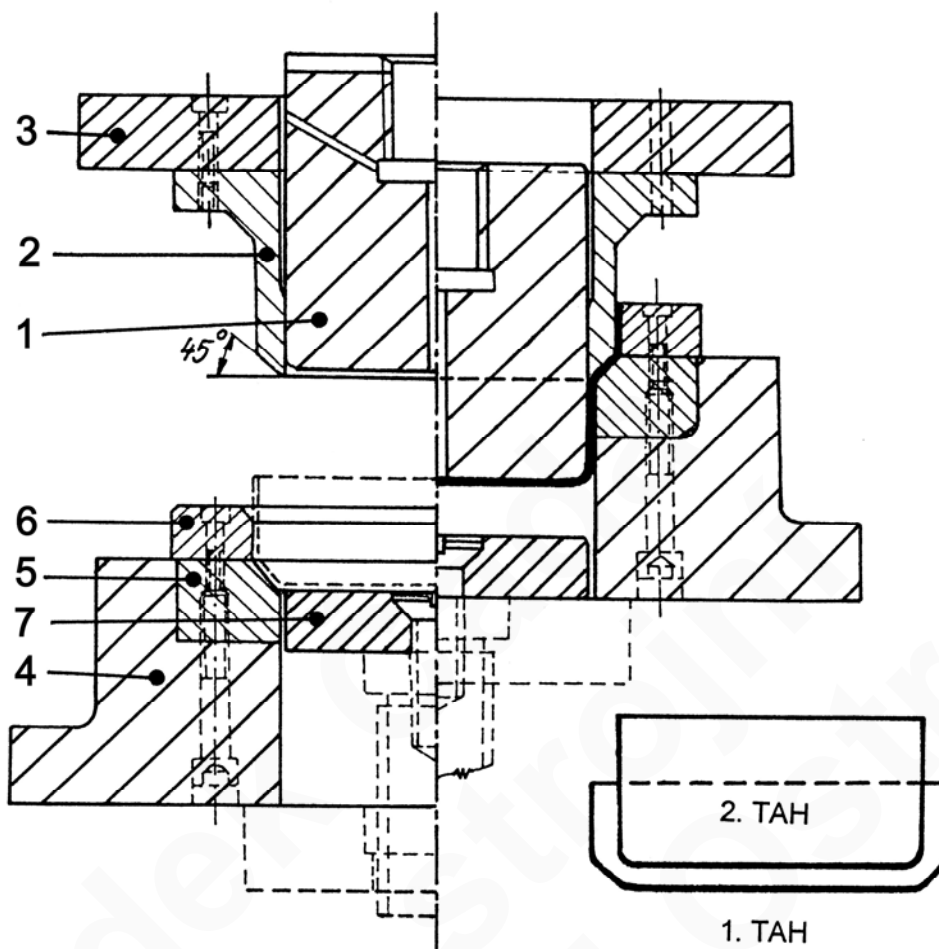
skutečný tlak přidržovače nastavuje *zkusmo* tak, aby se při tažení nevytvářely vrásky následkem zvlnění přístřihu, případně aby nevznikaly praskliny ve výtažku.




Obr. 4.7 Tažidlo se spodním pružinovým přidržovačem, určené pro jednočinné lisu

Na obr. 4.6 je vyobrazen tažný nástroj jednoduché konstrukce, který je určen *pro jednočinné lisu klikové nebo výstředníkové*. Přidržovací tlak je vyvozen řadou pružin, o které je opřen přidržovač. Vzhledem k nutnosti zajistit na začátku tažné operace dostatečně vysoký tlak přidržovače při poměrně malé stavební délce pružin, dané malou celkovou výškou nástroje, při stlačení pružin přidržovací tlak prudce vzrůstá. Tento typ nástroje lze proto použít *pouze pro výrobu nízkých výtažků*. Konstrukce nástroje se spodním pružinovým přidržovačem je patrna z obr. 4.7.

Provedení tažidla pro druhý tah s horním přidržovačem, určené *pro dvojčinný lis*, je na obr. 4.8. Tažník je oddělen od přidržovače a každá tato část nástroje se připevňuje na samostatný beran lisu.



Obr. 4.8 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)

	<h3>Část pro zájemce</h3>
<p>Pomocí odkazu níže můžete spustit animaci pohybu nástrojů při tažení výtažku na dvojčinném lisu. Je vidět pohyb horního nástroje směrem k přístříhu, který leží na tažnici, sevření plechu přidržovačem, který brání zvlnění příruby, potom tažení plechu tažníkem do tažnice a nakonec pohyb okolí tažníku vůči tažnici.</p> <p><u>Pohyb nástrojů při tažení výtažku na dvojčinném lisu</u></p> <p>Pomocí druhého odkazu níže můžete spustit animaci tažení výtažku na dvojčinném lisu s analýzou tloušťky plechu. Červeně je zbarveno místo, ve kterém dochází k největšímu ztenčení plechu.</p> <p><u>Tažení výtažku na dvojčinném lisu s analýzou tloušťky plechu</u></p> <p>Pomocí třetího odkazu níže můžete spustit animaci pohybu nástrojů při tažení tvarového výtažku z rovinného přístříhu na jednočinném lisu.</p> <p><u>Pohyb nástrojů při tažení tvarového výtažku na jednočinném lisu</u></p>	

Pomocí čtvrtého odkazu níže můžete spustit **animaci pohybu nástrojů při tažení tvarového výtažku na dvojčinném lisu**. Je vidět pohyb horního nástroje směrem k přístříhu, který leží na tažnici, sevření plechu přidržovačem, který brání zvlnění příruby, potom tažení plechu tažníkem do tažnice a nakonec pohyb okolí tažníku vůči tažnici.

Pohyb nástrojů při tažení tvarového výtažku na dvojčinném lisu

Pomocí pátého odkazu níže můžete spustit **animaci tažení tvarového výtažku na dvojčinném lisu s analýzou tloušťky plechu**. Je vidět jednotlivé fáze procesu tažení – pohyb horního nástroje směrem k přístříhu, který leží na tažnici, sevření plechu přidržovačem, který brání zvlnění příruby, potom tažení plechu tažníkem do tažnice a nakonec pohyb okolí tažníku vůči tažnici. **Červeně jsou na výtažku vyznačena místa, ve kterých dochází k největšímu ztenčení plechu.**

Tažení tvarového výtažku na dvojčinném lisu s analýzou tloušťky plechu

Pomocí šestého odkazu níže můžete spustit **animaci tažení tvarového výtažku z rovinného přístříhu na jednočinném lisu s analýzou tloušťky plechu**. Červeně jsou na výtažku vyznačena místa, ve kterých dochází k největšímu ztenčení plechu.

Tažení tvarového výtažku na jednočinném lisu s analýzou tloušťky plechu

Pomocí sedmého odkazu níže můžete spustit **animaci tažení tvarového výtažku na dvojčinném lisu s analýzou deformací v diagramu mezních deformací**. Je vidět jednotlivé fáze procesu tažení – pohyb horního nástroje směrem k přístříhu, který leží na tažnici, sevření plechu přidržovačem, který brání zvlnění příruby, potom tažení plechu tažníkem do tažnice a nakonec pohyb okolí tažníku vůči tažnici. **Oranžovou barvou jsou na výtažku i v diagramu mezních deformací vyznačena místa, ve kterých je riziko vzniku praskliny.**

Tažení tvarového výtažku na dvojčinném lisu s analýzou deformací v diagramu mezních deformací

Pomocí osmého odkazu níže můžete spustit **animaci průhybu tabule plechu po jejím položení na prohnutou tažnici**.

Průhyb tabule plechu po jejím položení na prohnutou tažnici

Pomocí devátého odkazu níže můžete spustit **animaci tažení čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače s analýzou deformací v diagramu mezních deformací plechu**. Fialovou barvou jsou na výtažku i v diagramu mezních deformací vyznačena místa, ve kterých dochází při tažení k přechování plechu vlivem působení tangenciálních napětí. V těchto místech je riziko vzniku sekundárního zvlnění. Z analýzy je zřejmé, že na výtažku nejsou místa, ve kterých hrozí vznik praskliny.

Tažení čtyřhranného výtažku s analýzou deformací v diagramu mezních deformací

Pomocí desátého odkazu níže můžete spustit **animaci tažení čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače s analýzou vektorů hlavní deformace ve střední tloušťce plechu**.

Tažení čtyřhranného výtažku s analýzou vektorů hlavní deformace

Pomocí jedenáctého odkazu níže můžete spustit **animaci tažení čtyřhranného výtažku z rovinného přístříhu s použitím přidržovače s deformační sítí**. Z deformace jednotlivých kružnicových elementů deformační sítě je zřejmé, že v rozích i ve stěnách výtažku existuje napjatost tah-tlak, která způsobuje změnu kružnicových elementů deformační sítě na elipsy. Hlavní osa každé elipsy je ve směru většího hlavního napětí.

Tažení čtyřhranného výtažku s deformační sítí

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

na výtažku vyznačeno místo, ve kterém dochází k největšímu ztenčení plechu. Modrou barvou jsou vyznačena místa, ve kterých dochází vlivem tangenciálních napětí k pěchování plechu a tedy ke zvětšení výchozí tloušťky plechu.

Tažení čtyřhranného výtažku s analýzou tloušťky plechu

Pomocí třináctého odkazu níže můžete spustit *animaci pohybu nástrojů při tažení výtažku tvaru vlny na jednočinném lisu*. Je vidět pohyb tažníku směrem k přístříhu, který leží na tažnici, potom tažení plechu tažníkem do tažnice a nakonec sevření plechu mezi tažník a tažnici.

Pohyb nástrojů při tažení výtažku tvaru vlny na jednočinném lisu

Pomocí čtrnáctého odkazu níže můžete spustit *animaci pohybu elementů materiálu při tažení výtažku tvaru vlny na jednočinném lisu*. Je vidět, že deformace elementů není výrazná.

Pohyb elementů materiálu při tažení výtažku tvaru vlny na jednočinném lisu

Pomocí patnáctého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení výtažku tvaru vlny na jednočinném lisu*. Na výtažku jsou vyznačena místa, ve kterých je největší plastická deformace.

Tažení výtažku tvaru vlny na jednočinném lisu

Pomocí šestnáctého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení tvarového výtažku lomeného potrubí s analýzou deformací v diagramu mezních deformací*. Růžovou barvou jsou vyznačena místa, ve kterých je při tažení riziko vzniku sekundárního zvlnění. Na výtažku nejsou místa, ve kterých je riziko vzniku praskliny při tažení.

Tažení tvarového výtažku lomeného potrubí s analýzou deformací v diagramu mezních deformací

Pomocí sedmnáctého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení tvarového výtažku s analýzou tloušťky plechu*. Modře je na výtažku vyznačena oblast, ve které dochází k největšímu ztenčení plechu.

Tažení tvarového výtažku s analýzou tloušťky plechu

Pomocí osmnáctého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení tvarového výtažku z rovinného přístříhu na jednočinném lisu s analýzou vtažování plechu do tažnice*. Je dobře patrné vtažování plechu do tažnice během tažení a změna tvaru příruby. Největší vtažení plechu je v místech, kde jsou rovné úseky tažné hrany tažnice.

Tažení tvarového výtažku z rovinného přístříhu na jednočinném lisu s analýzou vtažování plechu do tažnice

Pomocí devatenáctého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení tvarového výtažku na jednočinném lisu s analýzou deformací v diagramu mezních deformací*. Fialovou barvou jsou na výtažku i v diagramu mezních deformací vyznačena místa, ve kterých je riziko vzniku sekundárního zvlnění.

Tažení tvarového výtažku na jednočinném lisu s analýzou deformací v diagramu mezních deformací

Pomocí dvacátého odkazu níže můžete spustit *animaci tažení tvarového výtažku se žebry na jednočinném lisu*.

Tažení tvarového výtažku se žebry na jednočinném lisu

Pomocí dvacátého prvního odkazu níže můžete spustit *animaci pohybu nástrojů při tažení tvarového výtažku se žebry na jednočinném lisu*. Současně je zobrazena analýza

tloušťky plechu při tažení.

Pohyb nástrojů při tažení tvarového výtažku se žebry na jednočinném lisu

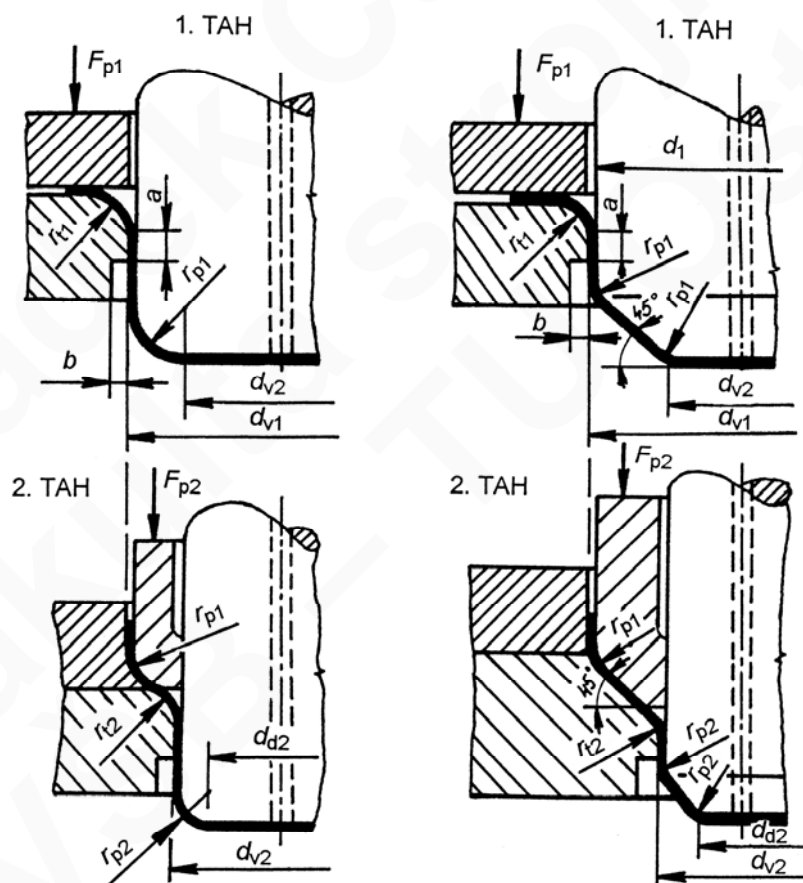
Pomocí dvacátého druhého odkazu níže můžete spustit **animaci tažení tvarového výtažku se žebry na jednočinném lisu s analýzou tloušťky plechu**. Červeně je na výtažku vyznačeno místo, ve kterém je největší ztenčení plechu.

Tažení tvarového výtažku se žebry s analýzou tloušťky plechu


Pomocí dvacátého třetího odkazu níže můžete spustit **animaci tažení tvarového výtažku se žebry na jednočinném lisu s analýzou deformací v diagramu mezních deformací**. Červeně je na výtažku vyznačeno místo, ve kterém dojde ke vzniku praskliny. V diagramu mezních deformací jsou odpovídající body nad křivkou mezních deformací.

Tažení tvarového výtažku se žebry s analýzou deformací v diagramu mezních deformací

Dosedací plocha přidržovače je přizpůsobena tvaru polotovaru a není tedy vždy rovinná. Možné tvary přidržovače pro první a druhý tah jsou zřejmé z obr. 4.9. Pokud je čelo přidržovače zkosené, podle ČSN 22 7301 se úhel tohoto zkosení volí v rozmezí 30 až 45 °.



Obr. 4.9 Možné tvary přidržovače pro první a druhý tah

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití tažení s přidržovačem při výrobě součástí v praxi.

4.2.7 Tažná mezera

Tažná mezera t_m má být taková, aby jí prošel tažením zesílený okraj výtažku, zhotovený z plechu žádané tloušťky, zvětšený o výrobní toleranci daného plechu. *Příliš velká tažná mezera způsobuje zvlnění výtažku, menší než optimální způsobí zvětšení tažné síly.*

V praxi se tažná mezera volí:


a) pro první tah $t_{m1} = (1,2 \div 1,3) s$ (mm), (4.26)


b) pro poslední tah $t_{mn} = (1,1 \div 1,2) s$ (mm). (4.27)

U druhého a dalších tahů se velikost mezery postupně zmenšuje až k minimální hodnotě, odpovídající poslednímu tahu.

V případě, že se provádí kalibrace výtažku, aby se získaly přesné rozměry, volí se tažná mezera:

$t_{mk} = (1,0 \div 1,1) s$ (mm). (4.28)

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

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady projevu vlivu tažné mezery na proces tažení při výrobě výtažků v praxi.

4.2.8 Tvar tažnice

Zaoblení tažné hrany tažnice r_t ovlivňuje velikost napětí v taženém materiálu, velikost tažné síly a vznik vad při tažení. Tvar, optimální poloměr a kvalita opracování zaoblení tažné hrany tažnice rozhodují hlavní měrou o úspěchu tažení. Třecí síla na zaoblení tažné hrany tažnice dosahuje vysokých hodnot v důsledku toho, že tangenciálním napětím napěchovaný povrch přístřihu je drsný.

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 nepřidržívaná plocha přístřihu, takže *vznikne riziko porušení podmínek stability procesu plastické deformace*, což by se projevilo vznikem vrásek a přeložek (tzv. *sekundární zvlňení*).

Doporučují se následující hodnoty zaoblení tažné hrany tažnice:

$$a) \text{ pro první tah} \quad r_{t1} = (8 \div 10) s \quad (\text{mm}), \quad (4.29)$$

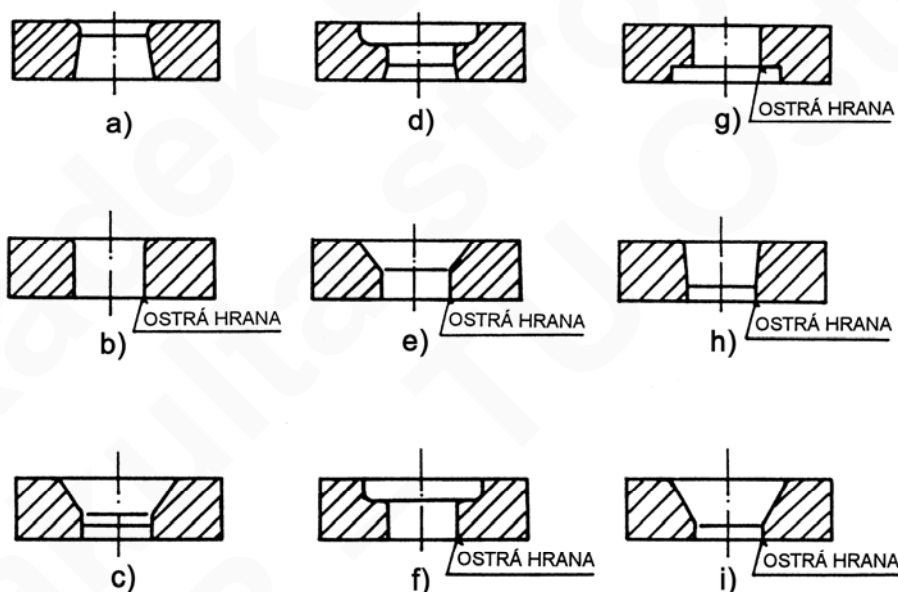
$$b) \text{ pro druhý a další tahy} \quad r_{tn} = (6 \div 8) s \quad (\text{mm}). \quad (4.30)$$

Válcová část funkčního otvoru tažnice má být s ohledem na povrch výtažku a velikost třecích sil pokud možno nízká, zatímco životnost tažnice vyžaduje opak. Proto se používá kompromis a výška válcové části tažnice se volí podle mechanických vlastností materiálu, kvality povrchu, velikosti tažné vůle, způsobu a druhu mazání a výrobního zařízení dle vztahu (4.31).

Výška válcové části tažnice:

$$h_t = (2 \div 8) s \quad (\text{mm}). \quad (4.31)$$

Tvar výstupní části tažnice se volí podle činnosti nástroje. U nástrojů s vyhazovačem, kde výtažek je vyhozen zpět do nástroje, má tažnice kuželový výstupní otvor (obr. 4.10 a). Když výtažek odchází z nástroje spodem (propadem), tažnice se opatřují ve spodní části ostrou hranou (obr. 4.10 b), o níž se výtažek po odpružení okraje setře.




Obr. 4.10 Funkční otvory tažnic

Varianty provedení tažnic jsou následující (obr. 4.10):

- a) tažnice, u níž se výtažek vrací nad povrch tažnice a je následně setřen z tažníku stíračem,
- b) tažnice, u níž výtažek propadá vnitřním otvorem a je setřen ostrou stírací hranou nebo zvláštním stíračem,
- c) tažnice pro druhý, případně další tah, kdy se výtažek vrací nad tažnici,

- d) tažnice pro druhý, případně další tah do průměru 60 mm, kdy se výtažek vrací nad tažnici,
- e) tažnice pro druhý, případně další tah, kdy výtažek propadá vnitřním otvorem tažnice,
- f) tažnice pro druhý, případně další tah do průměru 60 mm, kdy výtažek propadá vnitřním otvorem tažnice,
- g) tažnice, u níž je otvor ve spodní části odlehčený,
- h) tažnice, u níž je tažný otvor mírně kuželový, přičemž výtažek propadá vnitřním otvorem tažnice. Tato varianta je vhodná pro tažidla bez přidržovače.
- i) tažnice vhodná pro tlustší plechy.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití některých typů tažnic při výrobě výtažků v praxi.

4.2.9 Tvar tažníku

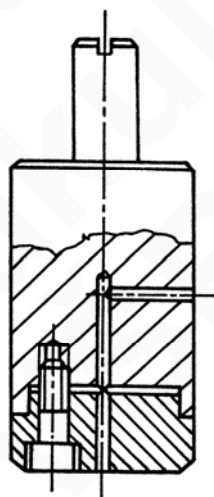
Přechodové poloměry tažníku r_p jsou stejné nebo větší než zaoblení tažné hrany tažnice r_t . **Je-li zaoblení hran tažníku příliš velké**, vzniká nebezpečí, že se na volné části plechu mezi čelem tažníku a tažnicí vytvoří tzv. **druhotné vlny**, znehodnocující vzhled výtažku.

Poloměr zaoblení tažníku r_p u posledního tahu se volí podle velikosti výtažku:

a) pro průměr výtažku 10 až 100 mm $r_p = (3 \div 4) s$ (mm), (4.32)

b) pro průměr výtažku 100 až 200 mm $r_p = (4 \div 5) s$ (mm), (4.33)

c) pro průměr výtažku 200 mm a výše $r_p = (5 \div 7) s$ (mm). (4.34)





Obr. 4.11 Dělený tažník s odvzdušňovacím otvorem

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

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.

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. Osová díra v tažníku má průměr 5 až 6 mm, boční otvor stejného nebo většího průměru se umísťuje nad předpokládaným obvodem výtažku (obr. 4.11).

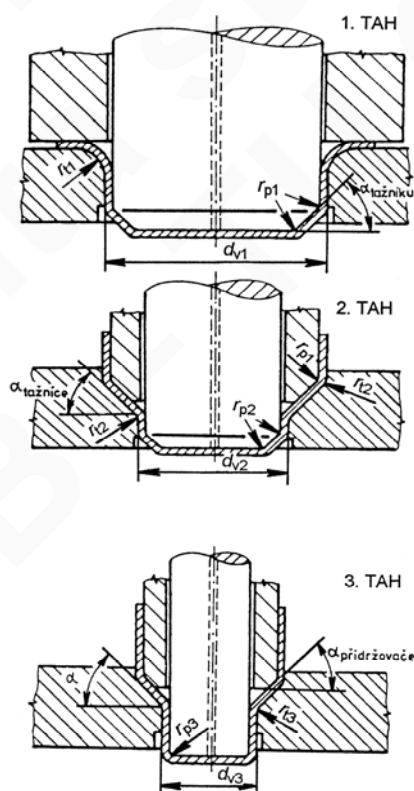
	Průvodce studiem
	Tažník může být dělený dle obr. 4.11, nebo nedělený. U děleného tažníku je výhodou menší spotřeba nástrojové oceli na jeho výrobu, nevýhodou je složitější konstrukce. O použití rozhoduje ekonomika strojírenské výroby.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití tažníku jednak s jedním poloměrem zaoblení tažné hrany, jednak se zkosným čelem a dvěma přechodovými poloměry zaoblení při výrobě výtažků v praxi.

4.2.10 Tažidla pro víceoperační tažení

Tažení probíhá v tažných nástrojích, které sestávají z **tažníku**, **tažnice** a **přidržovače**. Tvar a umístění jednotlivých činných částí nástroje jsou závislé na typu tažné operace (tj. tažení v první operaci nebo tažení v dalších operacích) a na konstrukci tvářecího stroje.

Uspořádání jednotlivých tažných operací je takové, aby se průměr výtažku v základní operaci rovnal průměru výtažku v následující operaci (obr. 4.12). Přechodové poloměry výtažku je třeba volit podle vypočteného součinitele tažení tak, aby se v každé operaci co nejvíce využilo tvárných vlastností plechu a **aby operací bylo co nejméně**.




Obr. 4.12 Víceoperační tažení válcového výtažku

V první operaci přechází dno kuželovitě do pláště pod úhlem, který umožňuje středění výtažku v další operaci. Obdobně se postupuje v další operaci.

Tažnice se liší od tažnice pro první tah kuželovou funkční plochou pod úhlem $\alpha = 30$ až 45° . **Tažník** je podobně upraven jako tažnice. V poslední operaci však odpovídá jeho tvar a rozměr vnitřním rozměrům výtažku.

Přidržovač má funkční část zakončenou kuželovitě s přechodovými poloměry zaoblení jako tažnice. Vnější průměr přidržovače se rovná vnitřnímu průměru výtažku z předchozí operace, takže přidržovač plní středící funkci. Vnitřní průměr přidržovače je o příslušnou vůli větší než průměr tažníku pro danou operaci.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití víceoperačního tažení při výrobě výtažků v praxi.

4.2.11 Výpočet tažné síly

Při výpočtu tažné síly je nutno přihlížet k některým činitelům, ovlivňujícím její velikost. **Jsou to zejména:**

- tření, vznikající posuvem na zaoblené hraně tažnice,
- tření příruby tažené nádoby o plochou část povrchu tažnice a přidržovače,
- ohyb taženého plechu na hraně tažnice,
- vzrůst součinnu ($R_e \cdot s$) vlivem deformačního zpevnění a změny tloušťky stěny s .

Zavedením těchto vlivů do teoretického vztahu, získaného pomocí membránové teorie tažení, vznikl vztah pro výpočet maximální tažné síly v prvním tahu. Vztah platí pouze pro tažení z rovinného přístřihu.

Maximální tažná síla v prvním tahu:


$$F_{\max 1} = \frac{k'}{\eta} \cdot \left[\pi \cdot d_1 \cdot s_0 \cdot R_e \cdot \left(\ln \frac{D_{0\text{skut}}}{d_1} + \frac{s_0}{2\rho} \right) + 2\mu \cdot \frac{d_1}{D_{0\text{skut}}} \cdot F_{p1} \right] \quad (\text{N}), \quad (4.35)$$

- kde je
- k' – koeficient zpevnění (lze jej stanovit z obr. 4.13),
 - η – koeficient rovný $1 - \mu \cdot \alpha$,
 - α – úhel opásání tažné hrany tažnice ($\alpha = \frac{\pi}{2}$),
 - s_0 – počáteční tloušťka taženého plechu (mm),
 - R_e – mez kluzu nezpevněného materiálu (MPa),
 - $D_{0\text{skut}}$ – skutečný průměr přístřihu (mm),
 - d_1 – střední průměr válcové části tažené nádoby v prvním tahu (mm),
 - ρ – poloměr zakřivení střední vrstvy plechu na tažné hraně tažnice (mm),
 - μ – součinitel smykového tření (–),
 - F_{p1} – přidržovací síla v prvním tahu (N).

Poloměr zakřivení střední vrstvy plechu na tažné hraně tažnice:

$$\rho = r_{t1} + \frac{s}{2} \quad (\text{mm}), \quad (4.36)$$

kde je r_{t1} – poloměr zaoblení tažné hrany tažnice v prvním tahu (mm),
 s – tloušťka plechu (mm).

	Průvodce studiem
<p>Rovnici 4.35 pro výpočet tažné síly lze použít pouze pro její výpočet v prvním tahu. Protože v prvním tahu bývá tažná síla zpravidla největší, může někdy tento výpočet postačovat. Pro výpočet tažné síly ve všech tazích lze použít rovnice 4.37 a 4.38.</p>	

Tažnou sílu lze též vypočítat z jednoduchých vztahů, které vycházejí z meze pevnosti ve výtažku s využitím *experimentálně zjištěných opravných silových součinitelů* (tab. 4.9). Tyto vzorce vycházejí z předpokladu, že dovolená napětí v nebezpečném průřezu musí být menší než napětí na mezi pevnosti a největší síla musí být menší než síla potřebná k utržení dna.

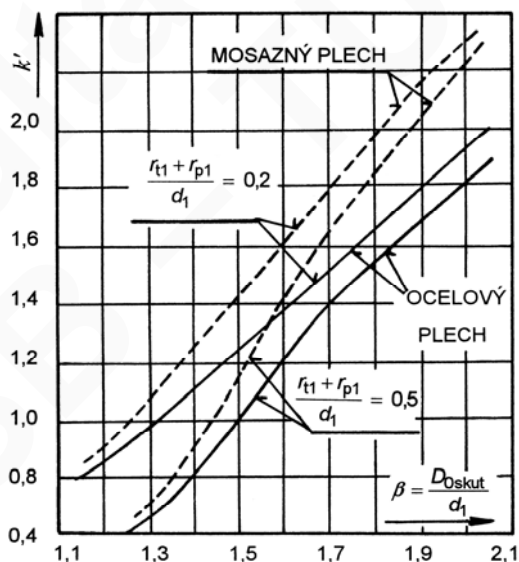
Tažná síla pro první tah:

$$F_{t1} = \pi \cdot d_1 \cdot s_0 \cdot k_1 \cdot R_m \quad (\text{N}), \quad (4.37)$$

Tažná síla pro další tahy:

$$F_{ti} = \pi \cdot d_i \cdot s_0 \cdot k_i \cdot R_m \quad (\text{N}), \quad (4.38)$$

kde jsou d_1, d_i – střední průměr výtažku v prvním a i-tém tahu (mm),
 R_m – mez pevnosti taženého materiálu (MPa),
 k_1, k_i – opravný silový součinitel pro první tah (tab. 4.7) a pro i-tý tah (tab. 4.8). Tento součinitel vyjadřuje vliv součinitele odstupňování tahu na velikost tažné síly.



Obr. 4.13 Závislost koeficientu zpevnění k' na $\beta = \frac{D_{0skut}}{d_1}$ pro ocelový hlubokotažný a mosazný plech

Tab. 4.7 Hodnoty opravných silových součinitelů pro první tah k_1 (–)

M_1 (–)	0,50	0,52	0,55	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70	0,72	0,75	0,80
k_1 (–)	1,14	1,08	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,40

Tab. 4.8 Hodnoty opravných silových součinitelů pro druhý a další tahy k_i (–)


M_i (–)	0,70	0,72	0,75	0,77	0,80	0,85	0,90	0,95
k_i (–)	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70	0,60	0,50

Celková síla tažného lisu:

$$F_{ci} = F_{ti} + F_{pi} + F_{vi} \quad (\text{N}), \quad (4.39)$$

kde je F_{ci} – celková síla tažného lisu v i-tém tahu (N),
 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 je ji možno zanedbat.

Vypočtená celková tažná síla umožňuje *kontrolu jmenovité síly lisu*.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití vyhazovače při výrobě výtažků v praxi.

4.2.12 Výpočet práce při tažení

Práci, potřebnou pro tažení, lze vypočítat dle vztahu:

$$A = F_c \cdot h \cdot k_p \quad (\text{J}), \quad (4.40)$$

kde je F_c – celková síla (N),
 h – pracovní zdvih, tj. výška nádoby (m),
 k_p – koeficient, závislý na ploše pracovního diagramu tažení a na součiniteli odstupňování tahu. Koeficient k_p bývá přibližně roven 0,8.


4.3 Mazání při tažení


Příčinou ztráty soudržnosti materiálu, a tím vzniku zmetků, jsou hlavně *napětí v tahu*. Tažení se však bez jejich použití neobejde, proto je třeba jejich podíl na stavu napjatosti co nejvíce snížit. Podstatnou složkou tažné síly je tření plechu pod přidržovačem a především na tažné hraně. Pěchováním 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 výtahů. *Polotovary se maže pouze ze strany tažnice*. Ze strany tažníku je výhodné tření co nejvyšší.

Základní druhy maziv, používané při tažení jsou:

- 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 výtahů. Pro nejnáročnější tahy se používá **chlórparafín** ředěný olejem, trichlorethylenem, benzínem apod.
- maziva konzistentní** – jsou **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** – mají nepatrnou tvrdost a velkou afinitu ke kovům. Používají se jako **přísady k běžným mazivům** při tažení hlubokých nebo složitých výtahů. Do teploty 400 °C se může používat **sírník molybdeničitý MoS₂**, do teploty 800 °C **grafit**.

	Průvodce studiem
	U velmi hlubokých tahů se nemaže ze strany tažníku, protože snadnější klouzání plechu po tažníku vede k jeho většímu ztenčení a vzniku lokalizace plastické deformace až vzniku praskliny. Na drsnějším tažníku plech více v procesu tažení ulpí a lze docílit hlubší tahy.


	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady způsobů mazání a druhů maziv při výrobě výtahů v praxi.


4.4 Tepelné zpracování tažených plechů


Vyžaduje-li výtah větší počet tahů, zhoršuje zpevnění materiálu proces deformace při tažení. Dovolená deformace se stále zmenšuje, proto bývá nutné obnovit tvárné vlastnosti materiálu žíháním. U ocelových plechů je žíhání obvykle zařazeno po třetí tažné operaci.

Jako mezioperační tepelné zpracování při tažení je možno doporučit:

- žíhání k odstranění pnutí**,
- rekrytalizační žíhání**,
- normalizační žíhání** – je vhodné v případě tváření měkkých ocelí zastudena, kdy je nebezpečí, že by při rekrytalizačním žíhání nadměrně zhrublo feritické zrnko.

	Průvodce studiem
	Mezioperačnímu tepelnému zpracování výtažků je snaha se vyhnout, a to jednak vhodnou volbou výchozího materiálu s nízkou mezí kluzu a velkou rezervou pro plastickou deformaci do meze pevnosti, jednak rychlým zpracováním mezi jednotlivými operacemi a tím zamezením stárnutí po deformaci a jednak použitím plechů z uklidněných ocelí, které jsou s minimálním sklonem ke stárnutí a jejich mechanické vlastnosti se zaručují po dobu šesti měsíců od data výroby nebo přejímky.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití tepelného zpracování při výrobě výtažků v praxi.

	Shrnutí kapitoly
	<p>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.</p> <p>Výhody součástí vyrobených tvářením z plechů – tuhost, sestavovatelnost, nízká hmotnost, dobrá kvalita povrchu, nízké výrobní náklady (zvláště při velkosériové výrobě).</p> <p>Rozdělení tažení: tažení prosté (bez přidržovače nebo s přidržovačem), tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování, přetahování (napínání přes šablonu).</p> <p>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).</p> <p>Technologické parametry tažení jsou následující:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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. <p>Stanovení tvaru a velikosti přístřihu: za předpokladu, že tloušťka plechu se při</p>

tažení nemění, zákon stálosti objemu přejde v **zákon stálosti ploch**.

- u válcových výtažků** – na základě stálosti ploch výpočet D_n , pak jeho zvětšení vzhledem k cípovitosti (o 3 % D_0 pro první tah a o 1 % D_0 pro každý další tah),
- u rotačních výtažků složitěho 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: stupeň deformace při jednom tahu nesmí překročit určitou maximální hodnotu, 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:

- při tažení hlubokotažného plechu tloušťky **$s < 0,5 \text{ mm}$** ,
- v prvním tahu** v případě, že:

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

- 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

<p>vznikne riziko vzniku vrásek a přeložek (tzv. <i>sekundární zvlnění</i>).</p> <p>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</i>: $h_t = (2 \div 8) s$ (mm)</p> <p>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).</p> <p>Tvar tažníku: přechodové poloměry tažníku jsou stejné nebo větší než zaoblení tažené hrany tažnice (je-li zaoblení hran tažníku příliš velké, vzniká nebezpečí, že se na volné části plechu mezi čelem tažníku a tažnicí vytvoří tzv. <i>sekundární zvlnění</i>). <i>Povrch tažníku má být hladký</i>, aby se usnadnilo stažení výtažku. Tažník má být provrtán k odvodu vzdušného vzduchu tak, aby při stahování výtažku nevznikl podtlak pod čelem tažníku. <i>Pro postupové tahy do průměru 60 mm lze používat přídržovače s hranou zaoblenou</i> podle předcházejícího tažníku. <i>U výtažků s průměrem přes 60 mm se používají přídržovače s hranou zkosenou pod úhlem $\alpha = 30$ až 45°</i>, který odpovídá zkosení hrany tažníku předcházejícího tahu</p> <p>Tažná síla pro i-tý tah: $F_{ti} = \pi \cdot d_i \cdot s_0 \cdot k_i \cdot R_m$ (N).</p> <p>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 tažené síly).</p> <p>Celková síla tažného lisu v i-tém tahu: $F_{ci} = F_{ti} + F_{pi} + F_{vi}$ (N),</p> <p>kde jsou F_{ti} – tažná síla v i-tém tahu (N), F_{pi} – přídržovací síla v i-tém tahu (N), F_{vi} – vyhazovací síla v i-tém tahu (N), často ji lze zanedbat.</p> <p>Mazání při tažení: ztráty třením představují zvětšení tažené síly o 20 až 30 %, <i>mazání proto přináší úsporu energie. Mazání má za účel předejít zadírání plechu na styčných plochách nástroje</i>, čímž zajišťuje hladké stěny výtažků (polotovary se maže pouze ze strany tažnice, ze strany tažníku je výhodné tření co nejvyšší).</p> <p>Základní druhy maziv: maziva kapalná (oleje minerální, organické a oleje vyrobené synteticky.), maziva konzistentní (mazací tuky. Používají se pro nenáročný tahy a při tažení barevných kovů.), maziva tuhá (Používají se jako přísady k běžným mazivům při tažení hlubokých nebo složitých výtažků.).</p>


	<p>Pojmy k zapamatování</p>
	<p>Tažení, deformace, výtažek, plošné tváření, tažení prosté, přídržovač, tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování, přetahování, šablona, ocel, plech, neuklidněná ocel, uklidněná ocel, textura, makrostruktura, mikrostruktura, anizotropie, tažnost, kontrakce, rekrytalizační teplota, válcování, lehké převálcování, přístřih, Guldinova věta, těžiště, stupeň deformace, součinitel odstupňování tahu, poměrná tloušťka přístřihu, přeložka, zvrásnění, účinná plocha přídržovače, tangenciální pýchování, tah, hlubokotažný plech, jmenovitá tloušťka plechu, tlak přídržovače, přídržovací síla, měrný tlak přídržovače, pružina, beran, dvojčinný lis, tažná mezera, zvlnění, kalibrace výtažku, jednočinný lis, zaoblení tažené hrany tažnice, vyhazovač, přechodový poloměr tažníku, sekundární zvlnění výtažku, odvodu vzdušného vzduchu, tažná síla, pevnost v tahu, celková síla tažného lisu, práce, součinitel tření, mazání, tepelné zpracování.</p>


	Odměna a odpočinek
	Výborně, právě jste zvládl(a) čtvrtou kapitolu! Nyní si udělejte přestávku, pust'te si nějakou svou oblíbenou hudební skladbu, lehněte si a zrelaxujte. Po uvolnění a načerpání nových duševních sil odpov'zte na jednotlivé kontrolní otázky.


	Kontrolní otázky
	<p>Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo čtvrté kapitoly „Tažení plechu“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dokážete definovat pojem tažení? Popište výhody součástí vyrobených touto technologií. 2. Které způsoby výroby patří do technologie tažení? 3. Jaké vlastnosti jsou žádoucí u ocelových plechů k tažení? 4. Co je charakteristické pro tažení bez ztenčení stěny? 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 se 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. Jaký je účel mazání při tažení? Jaké jsou základní druhy maziv?

	Literatura
	<p>[1] BŘEZINA, R. <i>Technologie I – část 1 : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 80 s. ISBN 80-7078-439-3.</p> <p>[2] PETRŽELA, Z. <i>Základy teorie a technologie strojírenského tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1980. 378 s. (bez ISBN).</p> <p>[3] ČABELKA, J. a kol. <i>Mechanická technológia</i>. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1967. 1036 s. (bez ISBN).</p> <p>[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.</p> <p>[5] NOVOTNÝ, K. a MACHÁČEK, Z. <i>Speciální technologie I : Plošné a objemové tváření :</i></p>

<p><i>skriptum. 2. vyd. Brno : VUT v Brně, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3.</i></p> <p>[6] DOUBRAVSKÝ, M. <i>Vybrané stati z tváření : II díl : Zpracování plechů stříháním : skriptum. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1969. 90 s. (bez ISBN).</i></p>

	<h3>Náměty pro tutoriál</h3>
	<p>Popište jednotlivé způsoby výroby, které patří do technologie tažení. Uveďte příklady z praxe, kdy se vyskytují při výrobě součástí.</p> <p>Vysvětlete technologii postupového tažení v pásu. Uveďte příklady z praxe, kdy se využívá.</p> <p>Objasněte technologii tažení se ztenčením stěny. Uveďte příklady z praxe, kdy se používá.</p>

	<h3>Korespondenční úkol</h3>
	<p>Program č. 3 „Stříhání a tažení plechu“</p> <p>Zadání:</p> <p>Navrhněte technologický postup výroby válcového výtažku tažením z plechu:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) zvolte vhodný materiál pro výrobu zadaného výtažku a stanovte velikost přístříhu, b) stanovte počet tažných operací a rozměry výtažku v jednotlivých operacích, c) uveďte předpoklady o sériovosti výroby, nakreslete v měřítku (tužkou, nebo s využitím PC) nástřihový plán a vypočítejte jeho hospodárnost, d) vypočítejte střížnou plochu, sílu a vůli, stanovte rozměry střížníku a střížnice, e) rozhodněte o použití přidržovačů v jednotlivých tazích a vypočítejte potřebné přidržovací tlaky a síly, f) vypočítejte tažné síly podle empirických a teoretických vztahů a proveďte jejich vzájemné porovnání, g) stanovte rozměry tažných nástrojů ve všech operacích tažení, tj. velikost tažné mezery, zaoblení tažné hrany tažnice, výšku válcové části tažnice, přechodové poloměry tažníku, h) nakreslete v měřítku (tužkou, nebo s využitím PC) pracovní prostor tažných nástrojů pro 1. a 2. tah a okótuje.

	<h3>Průvodce studiem</h3>
	<p>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.</p>

5 SLÉVÁNÍ




Rychlý náhled do problematiky kapitoly

Pátá kapitola se věnuje technologii **slévání**. Jsou v ní rozebrány 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, vytloukání 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.


Členění se na následující podkapitoly:

- 5.1 Slévárenské formovací směsi
 - 5.1.1 Zkoušení slévárenských formovacích směsí
 - 5.1.2 Úprava formovacích materiálů
 - 5.1.3 Pomocné formovací látky
- 5.2 Metalografie a analýza slévárenských slitin
 - 5.2.1 Rovnovážné soustavy železa s uhlíkem
 - 5.2.2 Oceli na odlitky
 - 5.2.3 Šedá litina
 - 5.2.4 Bílá litina
 - 5.2.5 Tvárná litina
- 5.3 Technologický proces výroby odlitků
 - 5.3.1 Příprava tekutého kovu
 - 5.3.2 Výroba slévárenských forem
 - 5.3.3 Vytloukání odlitků, čištění a oprava chyb
 - 5.3.4 Kontrola odlitků a expedice
- 5.4 Výrobní dokumentace odlitku
 - 5.4.1 Slévárenský postupový výkres
 - 5.4.1.1 Volba polohy odlitku ve formě při odlévání
 - 5.4.1.2 Zásady pro stanovení dělicí plochy
 - 5.4.1.3 Smrštění odlévaných slitin
 - 5.4.1.4 Mezní úchytky rozměrů a tvaru odlitků
 - 5.4.1.5 Přídavky na obrábění ploch odlitků
 - 5.4.1.6 Přídavky technologické
 - 5.4.1.7 Slévárenské úkosity modelů a odlitků
 - 5.4.2 Výrobní postup modelového zařízení
 - 5.4.3 Výrobní postup odlitku
 - 5.4.4 Výkres odlitku
 - 5.4.5 Ověřování, nultá série a sériová výroba odlitků
- 5.5 Vtoková soustava


<ul style="list-style-type: none"> 5.5.1 Volba způsobu zaústění vtoku do formy 5.5.2 Navržení vtokové soustavy 5.5.3 Navržení výfuku 5.6 Nálitkování odlitků <ul style="list-style-type: none"> 5.6.1 Dimenzování nálitků podle Chvorinova 5.6.2 Dimenzování nálitků podle Přibyla 5.7 Výpočet vztlakové síly působící na vršek formy 5.8 Tepelné zpracování odlitků <ul style="list-style-type: none"> 5.8.1 Tepelné zpracování odlitků ze šedé litiny 5.8.2 Tepelné zpracování odlitků z ocelí uhlíkových a nízkolegovaných 5.8.3 Tepelné zpracování odlitků z austenitických ocelí 5.8.4 Tepelné zpracování odlitků ze slitin hliníku 5.9 Vady odlitků 5.10 Konstrukční zásady pro navrhování odlitků
--

	<h2>Cíle kapitoly</h2>
	<p>Budete umět:</p> <ul style="list-style-type: none"> • popsat proces slévání materiálu a vhodnost jeho použití, • rozebrat 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. <p>Získáte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 vztlakové síle, působící na vršek formy a o způsobech zabraňujících nadzvednutí horního formovacího rámu, • znalosti o způsobech tepelného zpracování odlitků z různých materiálů. <p>Budete schopni:</p> <ul style="list-style-type: none"> • vysvětlit způsoby úpravy formovacích materiálů,

	<ul style="list-style-type: none"> • rozebrat materiály používané na odlitky, • popsat druhy forem, • vysvětlit vytloukání odlitků, čištění, opravu chyb a kontrolu odlitků, • objasnit mezní úchytky rozměrů a tvaru odlitků, přídavky na obrábění a přídavky technologické, • rozebrat rozdíly mezi vtokovou soustavou pro šedou litinu a pro ocel na odlitky.
--	---

	Klíčová slova kapitoly
	<p>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, očkovaadlo, krystalizace, mechanická vlastnost, žárupevnost, bílá litina, karbidotvorný prvek, perlit, metastabilní soustava, stabilní soustava, globulární tvar, kokila, tavenina, neželezný kov, silumin, vytvrzování, bronz, smrštitost, mosaz, jaderník, jádro, vytloukání odlitku, vtokový kanál, nálietek, 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, předpecí, lázeň, vytloukací rošt, otryskávání, omílání, moření, slévárenský postupový výkres, usměrněné tuhnutí, dělicí plocha, smršštění, 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, vada, žebro, vnitřní pnutí.</p>

	Čas potřebný ke studiu kapitoly: 8 hodin
---	---

	Průvodce studiem
	<p>Tato kapitola je důležitým teoretickým základem pro zpracování čtvrtého korespondenčního úkolu – návrhu technologie výroby součásti sléváním včetně nakreslení slévárenského postupového výkresu.</p>

Úkolem slévárenské výroby je ekonomickým způsobem, za použití nejmodernějších technologií, vyrobit odlitek požadovaného tvaru, mechanických, fyzikálních, chemických a užitných vlastností.

Pod pojmem výroba 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.

5.1 Slévárenské formovací směsi

Formovací směsi jsou *látky, používané k výrobě forem a jader*. Musí mít především 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.

Základními složkami formovacích směsí jsou:

- a) **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.
- b) **ostřívo** – je souhrn písků se zrny většími než 0,02 mm. Podmiňuje tvárnost formovacích látek a tvoří jejich podstatnou část (80 až 98 %). Ostřívo má tedy velký vliv na vlastnosti formovacích směsí za syrova i při odlévání a tunutí odlitků.

Formovací směsi lze rozdělit:

- a) **podle původu ostřiva** na *ostřiva přirozená* (křemenné písky), *ostřiva umělá* (korundové písky), *ostřiva původu živočišného* (křemelina),
- b) **podle chemického složení** na *ostřiva kyselá* (křemenné písky, korundové písky), *ostřiva zásaditá* (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 nezelezné 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.



Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady využití jednotlivých typů formovacích směsí při výrobě forem v praxi.

Slévárenské formovací směsi se označují *klasifikačními znaky*, složenými z písmen a číslic, vyjadřujícími hlavní kritéria jakosti směsí.

Klasifikační znak slévárenské formovací směsi je složen ze tří částí:

- a) **první část** tvoří velké písmeno, případně doplněné římskou číslicí, vyjadřující množství vyplavitelných látek a škodlivin. Je-li směs použitelná pro ocelové a speciální odlitky z ostatních kovů, připojuje se za velké písmeno velké O (tab. 5.1).
- b) **druhá část** klasifikačního znaku je dvojmístné číslo, které vyjadřuje stonásobek velikosti středního zrna ostřiva v mm (tab. 5.2). Velikost středního zrna ostřiva d_{50} lze odečíst ze součtové křivky zrnitosti ostřiva (obr. 5.1).
- c) **třetí část** klasifikačního znaku je velké písmeno, které vyjadřuje pravidelnost zrnitosti ostřiva (tab. 5.3)

Tab. 5.1 Množství vyplavitelných látek a škodlivin ve slévárenských formovacích směsích

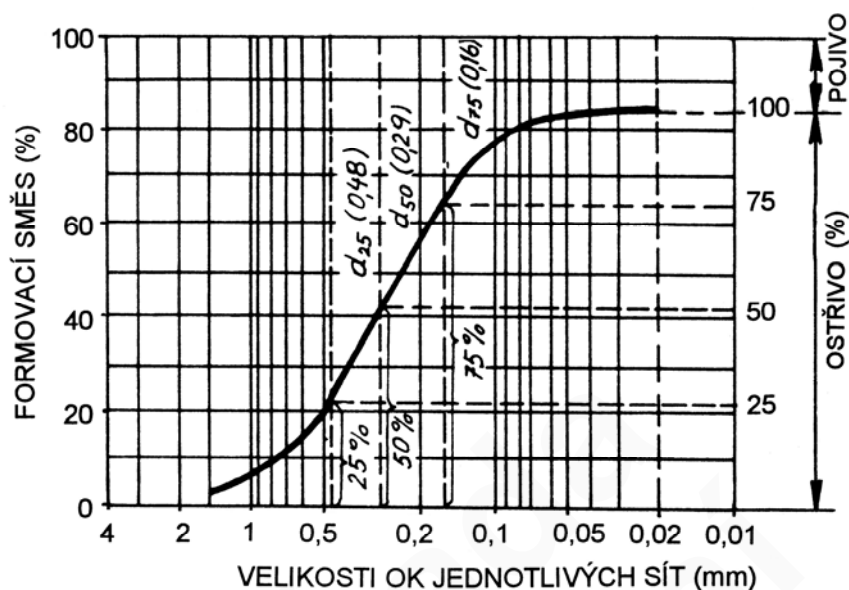
Ostřivo	Množství vyplavitelných látek v % hmotnosti	Maximální množství škodlivin v % hmotnosti ostřiva nad 0,1 mm			První část klasifikačního znaku
		K ₂ O + Na ₂ O	CaO + MgO	Fe ₂ O ₃	
Pro ocelové odlitky a speciální odlitky z ostatních kovů					
křemenné	≤ 0,3	0,5	0,6	0,5	KO I
	≤ 0,5				KO II
	≤ 1			0,8	KO III
	≤ 2			1,0	KO IV
hubené	> 2 ≤ 5		1,2	HO I	
	> 5 ≤ 10			HO II	
polomastné	> 10 ≤ 20		1,5	PO	
mastné	> 20 ≤ 30			MO	
Pro ostatní kovové odlitky					
křemenné	≤ 0,3	nevymezuje se			K I
	≤ 0,5				K II
	≤ 1				K III
	≤ 2				K IV
	2 ≤ 5				H I
hubené	5 ≤ 10				H II
polomastné	10 ≤ 20				P
mastné	20 ≤ 30				M
velmi mastné	30 ≤ 50				V

Tab. 5.2 Velikost středního zrna ostřiv

Velikost středního zrna ostřiva d_{50} (mm)	Druhá část klasif. znaku
0,07 ± 0,03	07
0,12 ± 0,03	12
0,17 ± 0,03	17
0,22 ± 0,03	22
0,27 ± 0,03	27
0,32 ± 0,03	32
0,38 ± 0,03	38
0,45 ± 0,05	45
0,55 ± 0,05	55
0,75 ± 0,15	75

Tab. 5.3 Pravidelnost zrnitosti ostřiva

$d_{75} : d_{25}$ (-)	Třetí část klasif. znaku
> 0,75	A
> 0,60 ≤ 0,75	B
> 0,45 ≤ 0,60	C
≤ 0,45	D



Obr. 5.1 Součtová křivka zrnitosti ostřiva

5.1.1 Zkoušení slévárenských formovacích směsí

Ve slévárenské výrobě má značný význam *kontrola jakosti výchozích surovin*, sledování vlastností připravených formovacích směsí i znalost vzájemného působení mezi formou a tekutým kovem.

Pravidelné kontroly surovin a směsí vedoucí k operativním zásahům do technologického procesu mají za cíl především:

- ekonomické využívání pojiv a přísad,
- omezení kolísání vlastností směsí
- snížení výskytu zmetkových odlitků,
- zlepšení vzhledu odlitků,
- snížení nákladů na přípravu směsí a formování,
- snížení nákladů na čištění a opracování odlitků.

Zkoušky surovin a připravených formovacích směsí je možno rozdělit do následujících skupin:

- zkoušky písků a ostřiv,
- zkoušky anorganických pojiv a pojivových systémů,
- zkoušky organických pojiv a pojivových systémů,
- zkoušky pomocných látek,
- technologické zkoušky formovacích směsí,
- zkoušky forem a jader.

Základní zkoušky slévarenských formovacích směsí pro stanovení jejich jakosti jsou následující:

a) Stanovení vlhkosti formovací směsi

Vlhkost formovacích směsí patří k faktorům, které *nejvýrazněji ovlivňují jejich technologické vlastnosti*. Velmi výrazný vliv na chování při formování, během odlévání i na jakost odlitků má obsah vody ve směsích s jílovým pojivem.

Vlhkost směsí se nejčastěji zjišťuje metodou diferenční, která spočívá ve zvážení směsi před jejím vysušením a po něm.

Vlhkost směsi se vypočte dle vztahu:

$$w_p = \frac{m_v - m_s}{m_v} \cdot 100 \quad (\%), \quad (5.1)$$

kde jsou m_v – hmotnost vzorku před sušením (g),
 m_s – hmotnost vzorku po sušení (g).

Zvážený vzorek zkoušené formovací směsi (o hmotnosti 20 g) se suší při předepsané teplotě až do ustálené hmotnosti (až rozdíl dvou vážení, mezi nimiž se vzorek suší 15 minut, nepřesáhne 0,02 g).

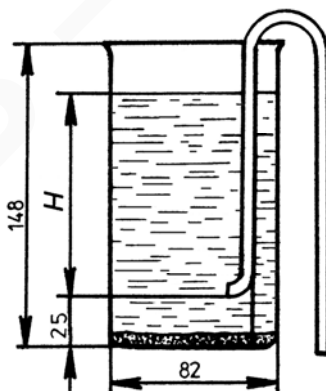
Protože u jílových směsí se sušením nedosáhne ustálená hmotnost, je stanovena teplota a doba sušení. Při sušení v laboratorní sušárně se jílové směsi suší při 105 až 110 °C po dobu 3 až 5 hodin. Při sušení infralampou za teplot 150 až 230 °C se dosáhne vysušení za 5 až 10 minut.

Zkouška se provádí třikrát a počítá se střední hodnota vlhkosti. *Vlhkost formovacích směsí se pohybuje kolem 5 %.*

b) Stanovení obsahu vyplavitelných látek

Vlastnosti formovacích směsí výrazně ovlivňuje *zemité pojivo*, které je definováno jako podíl písku s částicemi menšími než 0,02 mm bez ohledu na mineralogické a chemické složení. Velikost tohoto podílu se stanovuje sedimentační zkouškou, která využívá **Stokesův zákon**, podle něhož rychlost usazování částic klesá, zmenšuje-li se jejich průměr. Zkouška se provádí dle ČSN 72 1078.

Pro částice průměru 0,02 mm je usazovací rychlost v destilované vodě při 20 °C 2,16 cm/min. S rostoucí teplotou vody se tato rychlost zvyšuje, na což je třeba brát při měření zřetel.



Obr. 5.2 Kádinka s násoskou

Vzorek zkoušené formovací směsi o hmotnosti 50 g se v kádince smísí s 250 ml vody a 10 ml hydroxidu sodného, který zabraňuje koagulaci jílových částic. Obsah kádinky se povaří 3 až 4 minuty a potom se 10 minut míchá míchadlem. Po 10 minutách se suspenze stáhne násoskou (obr. 5.2). Další doplňování vodou a stahování násoskou se opakuje tak dlouho, až je voda po usazovací době čirá. Zbytek vody se z kádinky opatrně vylíje, ostřivo se vysuší při 105 °C a zváží.

Množství vyplavitelných látek se stanoví pomocí vztahu:

$$m_v = \frac{m_s - m_o}{m_o} \cdot 100 \quad (\%), \quad (5.2)$$

kde je m_s – hmotnost vysušené formovací směsi před plavením (kg),
 m_o – hmotnost vysušeného ostřiva po plavení (kg).

c) Stanovení zrnitosti ostřiva

Granulometrická skladba ostřiva **je rozhodujícím činitelem ovlivňujícím jakost povrchu odlitků a prodyšnost forem**. Ovlivňuje i další vlastnosti formovacích směsí, jako např. **formovatelnost**.

Velikost zrn je definována jako průměr myšlených kulových zrn, která mají stejný objem jako skutečná zrna ostřiva.

Ostřivo, získané po stanovení obsahu vyplavitelných látek ($m_s =$ pod 50 g), se prosévá sadou normalizovaných sít a podíly na jednotlivých sítích se zváží. Prosévá se vždy tak dlouho, až je další propad zanedbatelný (zpravidla 10 minut).

Množství jednotlivých podílů ostřiva lze určit podle vztahu:

$$N_i = \frac{m_{pi}}{m_s} \cdot 100 \quad (\%), \quad (5.3)$$

kde je m_{pi} – hmotnost jednotlivé frakce ostřiva (g),
 m_s – hmotnost ostřiva po stanovení obsahu vyplavitelných látek (g).

Zrnitost ostřiva se vyjadřuje tabulkou, ve které se uvedou podíly jednotlivých frakcí včetně vyplavitelných látek v %, nebo graficky **součtovou křivkou zrnitosti ostřiva** (obr. 5.1). Diagram se sestavuje tak, že se k příslušné velikosti zrna vynáší v % součet množství všech zrn větších.

Tab. 5.4 Doporučené průměrné zrnitosti ostřiva podle slitiny a velikosti odlitků

Odlitky podle velikosti	Ocel na odlitky d_{50} (mm)	Šedá litina d_{50} (mm)	Neželezné kovy d_{50} (mm)	Lehké slitiny d_{50} (mm)
malé	0,17 ÷ 0,27	0,12 ÷ 0,22	0,12 ÷ 0,17	0,07 ÷ 0,17
střední	0,27 ÷ 0,38	0,22 ÷ 0,38	0,17 ÷ 0,27	0,12 ÷ 0,22
velké	0,38 ÷ 0,55	0,38 ÷ 0,55	–	–

d) Stanovení hustoty formovací směsi – udává se v g/cm³ 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 m² po délce 1 m při přetlaku 1 Pa.

Zkušební válečky pro stanovení prodyšnosti formovacích směsí a pro zkoušku pevnosti v tlaku mají \varnothing 50 mm a výšku 50 mm. Množství směsi na jejich upěchování se zjišťuje předběžnou zkouškou. Zpravidla činí 135 až 170 g. Potřebné množství směsi se volně nasype do pěchovacího pouzdra, uzavřeného dole podložkou. V pouzdře se směs upěchuje třemi rázy beranidla o hmotnosti 6,67 kg, padajícího z výšky 50 mm. Výška válečku po zpěchování musí být v rozmezí $\pm 0,3$ mm. Vzorek se připojí i s rourou k přístroji pro stanovení prodyšnosti.

Zkouška prodyšnosti se provádí podle ČSN 72 1077. Zkušebním vzorkem prochází pod určitým tlakem vzduch a jeho množství, proteklé za určitou dobu, udává prodyšnost formovací směsi.

Vztah pro výpočet prodyšnosti má tvar:

$$D = \frac{Q \cdot H}{p \cdot S \cdot t} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}), \quad (5.4)$$

kde je

V	– objem vzduchu, který prošel při zkoušce vzorkem (m^3),
H	– výška zkušební vzorku (m),
p	– tlak vhněného vzduchu (Pa),
S	– plocha průřezu vzorku (m^2),
t	– čas, potřebný pro průchod vzduchu objemu V vzorkem (s).

Protože s výjimkou času t jsou při normalizované zkoušce na normalizovaném vzorku a přístroji všechny veličiny konstantní, je možno stanovit prodyšnost ze vztahu:

$$D = \text{konst} \cdot \frac{1}{t} \quad (\text{n. j. p.}), \quad (5.5)$$

kde je n. j. p. – normalizovaná jednotka prodyšnosti ($\text{n. j. p.} = 1,67 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$)

f) Stanovení pevnosti formovací směsi v tlaku za syrova

Vaznost je základní vlastností formovacích směsí s jílovými pojivy. Lze ji definovat jako *schopnost zachovat tvar získaný formováním a klást odpor deformačním silám bez porušení souvislosti*. Míra vaznosti se určuje měřením pevnosti v tlaku P_d , která je dána tlakovým napětím, při kterém dojde k porušení standardního zkušební válečku. Zkouška se provádí podle ČSN 72 1077.

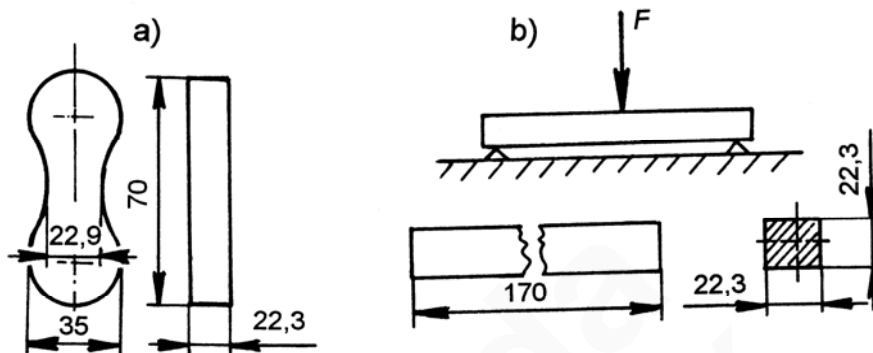
Pro tuto zkoušku lze použít zkušební vzorek pro stanovení prodyšnosti. Vzorek se stlačuje mezi paralelními čelistmi zkušební přístroje až do porušení. Na stupnici přístroje se odečte pevnost v tlaku P_d (Pa). Pevnost v tlaku syrové formovací směsi se pohybuje v mezích 25 až 115 kPa a závisí na způsobu úpravy a stupni zpěchování.

g) Stanovení pevnosti formovací směsi ve stříhu, tahu a ohybu – tyto zkoušky se provádí na stejném přístroji, jako zkouška pevnosti v tlaku. Použijí se pouze jiné čelisti. Pro zkoušku ve stříhu se používá zkušební vzorek jako u zkoušky tlakem. Pevnost ve stříhu dosahuje asi 79 % pevnosti v tlaku. Pro tahovou a ohybovou zkoušku se používá normalizovaných zkušebních vzorků (obr. 5.3).

h) Stanovení tvrdosti formy se provádí přístrojem, který vtlačuje do formy kuličku. Hloubka vtisku udává na stupnici přímo tvrdost formy.

Kromě zmíněných zkoušek se u formovacích směsí sledují: žáruvzdornost, rozpadavost a drobivost, tekutost, deformace a houževnatost.

Uvedené technologické a mechanické zkoušky umožňují roztřídit formovací směsi podle jakosti a účelu. Například **směs, kterou se formuje v těsné blízkosti modelu, musí být kvalitnější než ta, kterou se formuje v ostatních částech formy.**



Obr. 5.3 Normalizované zkušební vzorky pro zkoušky formovacích směsí (a – pro zkoušku v tahu, b – pro zkoušku v ohybu)

5.1.2 Úprava formovacích materiálů

Přirozený formovací písek lze použít jen zřídka bez úpravy.

Účelem úpravy slévárenských písků je:

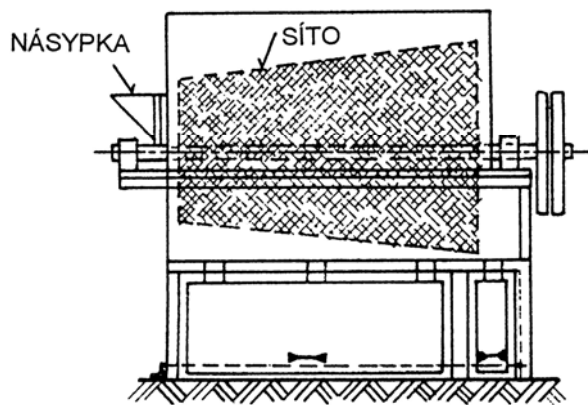
- homogenizace slévárenských písků,
- docílení požadovaných technologických vlastností,
- úprava směsi různých druhů surovin a pomocných látek,
- opětné použití starého písku, nebo jeho úplná regenerace.

Úpravu slévárenských písků a formovacích směsí lze rozdělit na:

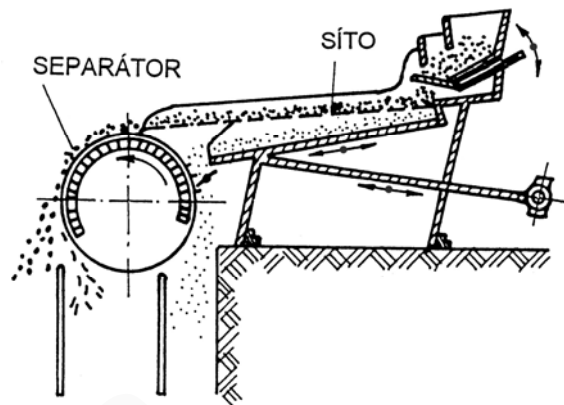
a) sušení písku, kdy se suší nový písek z lomu, hlavně pro lití na syrovo, při kterém musí být co nejmenší vlhkost. K sušení písku se používají **bubnové vodorovné sušárny**. Pohyb písku v bubnu obstarávají šikmé lopatky, které se pomalu otáčejí zároveň s bubnem. Ze spalovací komory procházejí bubnem souběžně s pískem kouřové plyny, které písek vysušují.

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**. V těchto mlýnech je materiál drcen ocelovými koulemi a průběžně propadává přes dvě síta do výsypky.

c) 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** tvaru šestibokého komolého jehlanu (obr. 5.4), který se otáčí kolem vodorovné osy. Staré písky se prosévají **střásacími síty** (obr. 5.5), které jsou doplněny **magnetickými separátory**.

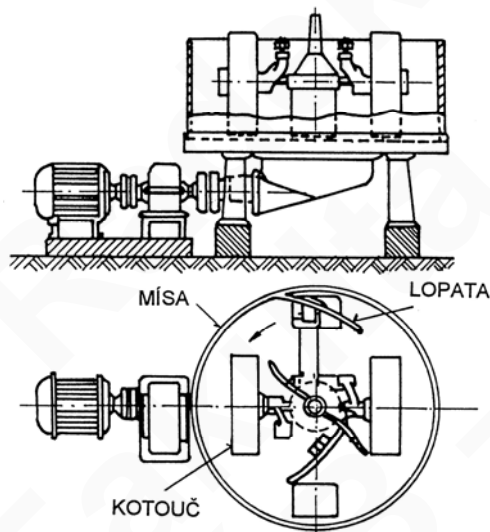


Obr. 5.4 Bubnové síto k prosévání písku (vytřídění písku na vhodnou jemnost)

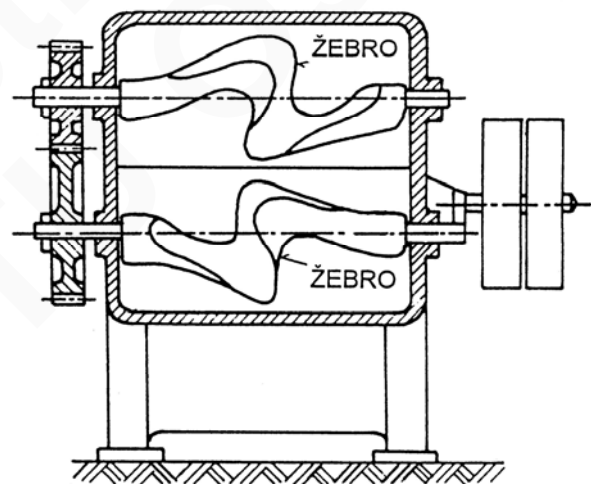


Obr. 5.5 Střásací síto se separátorem na prosévání starých písků

d) mísení formovacích směsí je část úpravy, sloužící k vyrovnání nestejněmnosti složení, přidávání přísad a vlhčení. Nejrozšířenější zařízení k mísení formovacích směsí jsou **kolové mísiče** typu Simpson (obr. 5.6), které mají dva kotouče, obíhající soustředně po pevné mísě. Mezi kotouči a mísou je mezera, takže písek není drcen. K mísení písků s tekutým pojivem se používá **žebrový mísič**, který je znázorněn na obr. 5.7.

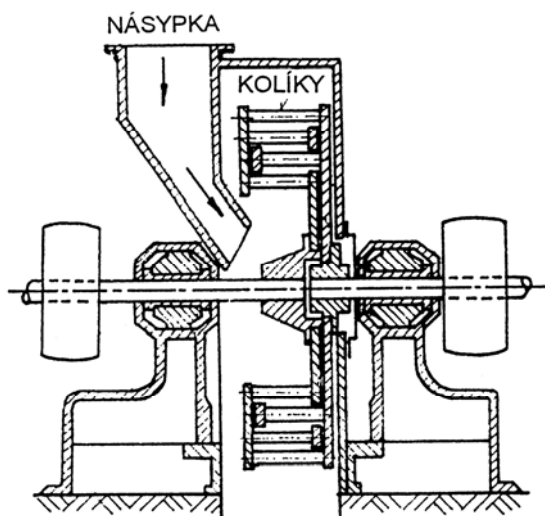


Obr. 5.6 Kolový mísič typu Simpson

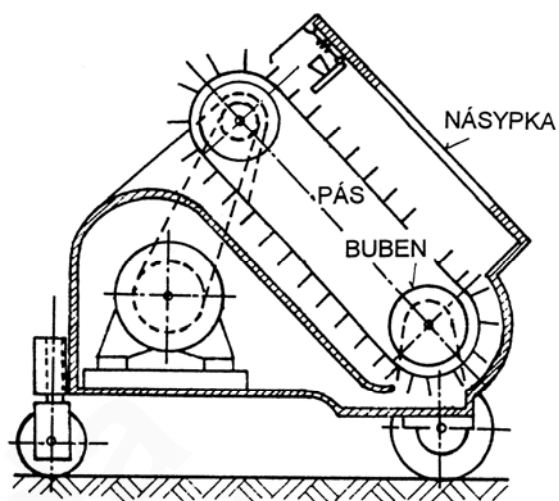


Obr. 5.7 Žebrový mísič

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**. Příklad dezintegrátoru je uveden na obr. 5.8, kde kypření zajišťují dvě soustavy kolíků, připevněných ke kotoučům, které se otáčejí proti sobě. Příklad areátoru je uveden na obr. 5.9. Je to pojízdné zařízení pro menší slévárny. Kypření zajišťuje pás s výstupky, který je napjat na dvou bubnech.



Obr. 5.8 Dezintegrátor



Obr. 5.9 Areátor

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.
- **mokrá 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.

5.1.3 Pomocné formovací látky

Tyto látky upravují některé nevhodné vlastnosti formovacích nebo jádrových směsí a hotových forem.

Pomocné formovací látky lze rozdělit do čtyř skupin:

- a) přísady zlepšující povrch odlitku** – černouhelná moučka a mazut. Uhlík u těchto přísad vytvoří izolační vrstvu mezi formou a roztaveným kovem.
- b) 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 apod.
- 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 apod.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady využití pomocných formovacích látek při výrobě forem v praxi.

5.2 Metalografie a analýza slévárenských slitin

5.2.1 Rovnovážné soustavy železa s uhlíkem

Uhlík tvoří s oběma modifikacemi železa intersticiální tuhé roztoky. V modifikaci s plošně středěnou mřížkou (**železo γ**) obsazuje uhlík střed krychle (průsečík tělesových úhlopříček), v modifikaci s prostorově středěnou mřížkou (**železo α**) je uhlík umístěn ve středech stěn. V prvním případě je volný prostor ve středu mřížky větší, proto se tuhý roztok uhlíku v železe γ vyznačuje větší rozpustností, než u prostorově středěné mřížky (železo α). Největší rozpustnost uhlíku v železe γ je 2,14 hmotnostních % C, zatímco v železe α pouze 0,02 % C.

Nad mezí rozpustnosti tvoří uhlík v soustavách se železem samostatnou fází – cementit nebo grafit.

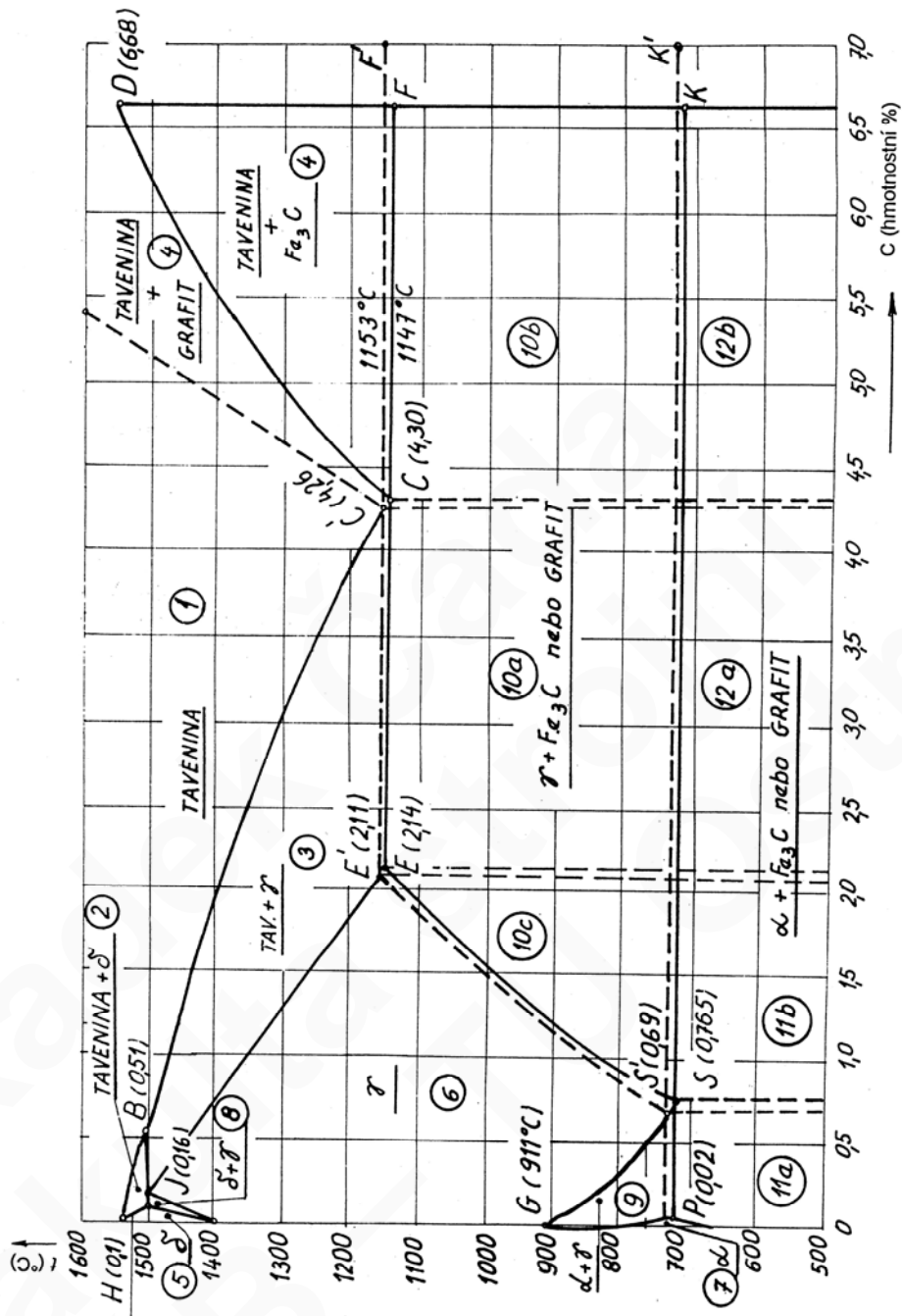
Cementit (Fe_3C) je intermetalická sloučenina, obsahující 6,67 % C. Je velmi tvrdý a křehký.

Grafit je měkký a drobivý. Krystalizuje v šesterečné mřížce. Jeho přítomnost ve slitinách Fe – C značně ovlivňuje vlastnosti slitin, a to v závislosti na způsobu vyloučení.

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 v jedné či druhé formě se rozeznávají dvě rovnovážné soustavy (obr. 5.10):

- metastabilní soustava Fe – Fe_3C** (V diagramu vyznačena plnou čarou. Karbid železa Fe_3C není stabilní fází, neodpovídá stavu s minimální s volnou entalpií. Studium nestabilní soustavy má význam především do obsahu 2,14 % C – **oceli**.),
- stabilní soustava Fe – grafit** (V diagramu vyznačena čárkovanou čarou. Charakteristické rovnovážné struktury jsou obdobné se strukturami, uvedenými v metastabilní soustavě. Místo cementitu se ve strukturách vyskytuje **grafit** (primární, sekundární, terciární), místo perlitu **grafitový eutektoid** a místo ledeburitu **grafitové eutektikum**. Soustava stabilní má praktický význam v oblastech vyššího obsahu uhlíku – **litiny**.).



Obr. 5.10 Rovnovážný diagram železo – uhlík (plnými čarami – metastabilní soustava Fe – Fe_3C , 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 $\delta\delta$ 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)



Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady tuhnutí slitin železa s uhlíkem podle rovnovážné metastabilní a rovnovážné stabilní soustavy při výrobě součástí v praxi.

5.2.2 Oceli na odlitky

Vlastnosti, použití a základní rozdělení ocelí na odlitky jsou uvedeny v ON 42 0077.

Oceli na odlitky se dělí do následujících skupin:

- a) oceli uhlíkové** (ČSN 42 2602 až 42 2670),
- b) oceli nízkolegované a středně legované** (ČSN 42 2709 až 42 2870),
- c) slitiny pro trvalé magnety** (ČSN 42 2880 až 42 2895),
- d) vysokolegované oceli** (ČSN 42 2904 až 42 2992).

Ve slévárnách se nejčastěji vyrábí odlitky z ocelí uhlíkových, méně již z ocelí legovaných. Z legovaných ocelí se více používají oceli manganové (ČSN 42 2920) a oceli odolné proti korozi (ČSN 42 2905). Přehled nejčastěji používaných ocelí na odlitky je uveden v tab. 5.5 a tab. 5.6.

Tab. 5.5 Vysokolegované oceli na odlitky (ON 42 0077)

ČSN	Chemické složení (%)							Pevnost v tahu (MPa)	Tvrdost (HB)	Pro stav mat.
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo P	Cu S			
42 2904	max. 0,15	0,50 ÷ 0,90	max. 0,60	11,5 ÷ 14,0	0,70 ÷ 1,20	–	max. 0,50	min. 490 590 ÷ 785	140 ÷ 200 175 ÷ 240	.5 .9
						0,035	0,035			
42 2905	max. 0,15	max. 0,70	max. 0,70	12,0 ÷ 14,0	max. 11,00	–	–	539 ÷ 735 539 ÷ 735	160 ÷ 220 160 ÷ 220	.5 .9
						0,040 P+S max.0,07	0,040			
42 2906	0,15 ÷ 0,30	max. 0,70	max. 0,70	12,0 ÷ 14,0	max. 11,00	–	–	588 ÷ 785 686 ÷ 883 588 ÷ 785	175 ÷ 235 205 ÷ 265 175 ÷ 235	.5 .6 .9
						0,040 P+S max.0,07	0,010			
42 2920	1,10 ÷ 1,50	12,0 ÷ 14,0	max. 0,70	–	–	–	–	min. 785	175 ÷ 240 min. 300	.4 .2
						0,10	0,050			
42 2921	1,10 ÷ 1,50	12,0 ÷ 14,0	max. 0,70	0,70 ÷ 1,20	–	–	–	min. 885	175 ÷ 240	.4
						0,10	0,050			
42 2957	max. 0,10	max. 1,00	max. 1,00	25,0 ÷ 27,0	5,00 ÷ 6,50	1,50 ÷ 2,50	2,50 ÷ 3,50	600 ÷ 820 870 ÷ 1030	250 ÷ 310	.44 .94
						0,040	0,040			

Hodnoty pevnosti v tahu a tvrdosti, uvedené v tab. 5.5 a tab. 5.6 se vztahují na odděleně lité vzorky nebo na vzorky přilité k odlitku.

Stav materiálu v závislosti na tepelném zpracování je označen doplňkovým číslem podle tab. 4 a tab. 5 ČSN 42 0006:

- .2 – normalizačně žíhaný,
- .4 – kalený nebo kalený a popouštěný při nízkých teplotách, u austenitických ocelí po rozpouštěcím žíhání),
- .44 – dtto – zhotovený přesným litím,

- .5 – normalizačně žíhaný a popouštěný,
- .6 – zušlechťený na dolní pevnost, obvyklou u příslušné oceli,
- .9 – tepelně zpracovaný v normě neuvedeným způsobem,
- .94 – dtto – zhotovený přesným litím.

Tab. 5.6 Uhlíkové oceli na odlitky (ON 42 0077)

ČSN	Chemické složení (%)				Pevnost v tahu (MPa)	Tvrdost (HB)
	C	Mn	Si	P+S max. zás./kys.		
42 2630	0,10 ÷ 0,20	0,40 ÷ 0,80	0,20 ÷ 0,50	0,090/0,110	370 ÷ 520	105 ÷ 150
42 2640	0,20 ÷ 0,28	0,40 ÷ 0,80	0,20 ÷ 0,50	0,090/0,110	440 ÷ 590	120 ÷ 170
42 2650	0,28 ÷ 0,38	0,40 ÷ 0,80	0,20 ÷ 0,50	0,090/0,110	590 ÷ 750	170 ÷ 215
42 2670	0,50 ÷ 0,60	0,40 ÷ 0,80	0,20 ÷ 0,50	0,090/0,110	690 ÷ 840	200 ÷ 240



Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady použití oceli na odlitky při výrobě odlitků v praxi.

5.2.3 Šedá litina

V šedé litině je uhlík vyloučen v podstatné části ve formě **grafitu**. Rozdělení šedé litiny, její vlastnosti a použití jsou dány ČSN 42 0077. Nejrozšířenější je odlévání **šedé litiny nelegované**. Méně se již užívá **šedá litina legovaná**. Hlavní druhy šedých litin jsou uvedeny v tab. 5.7 a tab. 5.8.

Tab. 5.7 Šedé litiny legované (ON 42 0077)

ČSN	Chemické složení (%)							Pevnost v tahu (MPa)	Tvrdost (HB)	Pro stav mat.
	C	Si	Mn	Cr	Al	P max.	S max.			
42 2456	inf. 2,90 ÷ 3,05	inf. 1,35 ÷ 1,60	inf. 0,90 ÷ 1,00	–	–	0,20	0,06	–	190 ÷ 240	.0
42 2481	2,50 ÷ 3,00	1,50 ÷ 3,00	max. 1,00	2,00 ÷ 3,00	6,00 ÷ 8,00	0,30	0,12	147	220	.0
42 2484	1,00 ÷ 1,20	max. 0,50	max. 0,70	–	29,0 ÷ 31,0	0,04	0,10	343	HV 425	.0
42 2491	1,60 ÷ 2,40	1,50 ÷ 2,40	0,50 ÷ 1,00	15,0 ÷ 18,0	–	0,16 P+S max. 0,13	0,05	343 ÷ 539 539 ÷ 588	400 ÷ 460 290 ÷ 360	.0 .2

Hodnoty pevnosti v tahu a tvrdosti se vztahují na odděleně lité vzorky nebo na vzorky přilité k odlitku.

Stav materiálu v závislosti na tepelném zpracování je označen doplňkovým číslem podle tab. 4 ČSN 42 0006:

- .0 – tepelně nezpracovaný,
- .2 – žíhaný (s uvedením způsobu žíhání).

Tab. 5.8 Šedé litiny nelegované (ON 42 0077)

Označení materiálu ČSN	Nejmenší pevnost v tahu (MPa)	Tvrдость (HB)
42 2410	100	180
42 2420	200	220
42 2430	300	260

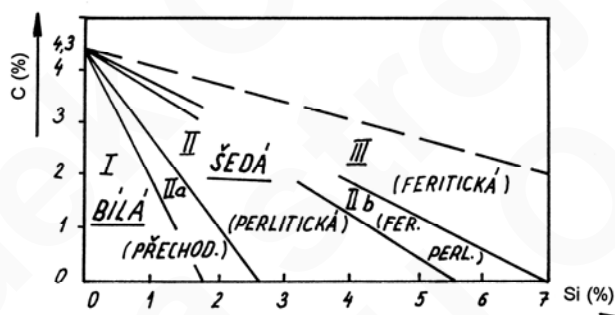
Podmínky krystalizace šedé litiny jsou ovlivňovány celou řadou činitelů, z nichž největší význam má chemické složení a metalurgické podmínky výroby.

Litiny se dělí vzhledem k eutektickému složení na:

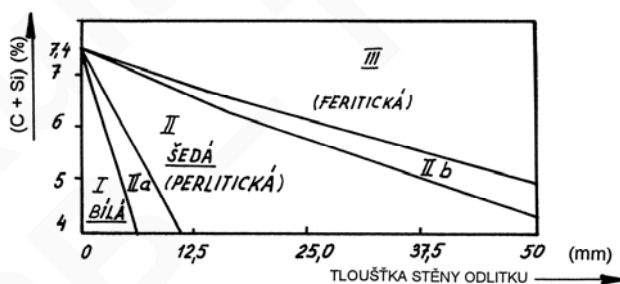
a) podeutektické (jejich krystalizace začíná tvorbou austenitu, který svými dendrity vytváří kostru struktury),

b) nadeutektické (jejich krystalizace začíná tvorbou hrubých částic primárního grafitu).

Ke krystalizaci ve stabilní soustavě železo – grafit napomáhají některé prvky, přítomné v litině, z nichž nejvýznamnější je **křemík**, jehož obsah bývá 1 až 3 %. Kromě chemického složení je významným činitelem pro tvorbu výsledné struktury **rychlost ochlazování**. Při pomalém ochlazování je tendence vzniku stabilní struktury s grafitem uloženým v perlitu. Se zvyšující se rychlostí ochlazování ubývá grafitu a tvoří se částečně i struktura metastabilní.



Obr. 5.11 Maurerův diagram



Obr. 5.12 Klingensteinův strukturní diagram

Vztah mezi obsahem dvou důležitých prvků v litině (uhlíkem a křemíkem) a vznikající strukturou je informativně znázorněn v **Maurerově diagramu** (obr. 5.11). Z obrázku je patrné, že leží-li koncentrace uhlíku a křemíku v oblasti I, litina tuhne jako **bílá**. V poli II vzniká **perlitická šedá litina** a v poli III **feritická**. Přechodové oblasti odpovídají **perliticko-cementickým litinám (IIa)** a **perliticko-feritickým litinám (IIb)**. Nedostatkem Maurerova diagramu je skutečnost, že nevyjadřuje velmi výrazný vliv rychlosti chladnutí na grafitizaci. Tento nedostatek částečně odstraňuje **strukturní diagram Klingensteinův** (obr. 5.12), ve kterém je rychlost chladnutí vyjádřena tloušťkou stěny odlitku.



Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady použití šedé litiny při výrobě odlitků v praxi.

5.2.4 Bílá litina

V bílé litině je uhlík vyloučen ve formě sloučeniny – **karbidu Fe_3C (cementit)**. Bílá litina se odlévá převážně pro další zpracování na **temperovanou litinu**. Strukturní součásti bílé litiny k temperování lze odvozovat z rovnovážného diagramu Fe – C v oblasti 2,4 až 3,2 % C. Převaha Mn nad Si dává výslednou strukturu ledeburiticko-cementitickou. V tab. 5.9 je uveden přehled vybraných normovaných druhů temperovaných litin. Nejlepší pevnostní hodnoty má perlitická temperovaná litina ČSN 42 2550 a 42 2555 s upraveným chemickým složením. **Žháním bílé litiny v neutrálním nebo oksylichujícím prostředí se získává temperovaná litina s černým nebo bílým lomem.**

Tab. 5.9 Přehled hlavních druhů temperovaných litin

Označení ČSN	Nejmenší pevnost v tahu (MPa)	Tvrdość (HB)	Charakteristika litiny, vhodnost použití, svařitelnost
42 2531	300	180	Struktura je tvořena feritem a temperovým grafitem. Lom je černý s tenkou světlou povrchovou vrstvou. Vhodná na odlitky o tloušťce stěn 3 až 30 mm. Svařitelnost obtížná.
42 2532	320	180	Struktura je tvořena feritem a temperovým grafitem. Lom je černý, případně s tenkou světlou povrchovou vrstvou. Vhodná na odlitky s tloušťkou stěn 3 až 30 mm. Svařitelnost dobrá při tloušťce stěny do 6 mm, při větších tloušťkách stěny je obtížná.
42 2533	330	160	– II –
42 2534	350	160	Struktura je tvořena feritem a temperovým grafitem. Lom je černý. Litina je vhodná na odlitky s tloušťkou stěn 3 až 30 mm.
42 2536	350	220	Struktura je tvořena u malých průřezů feritem a perlitem, u velkých průřezů je povrchová vrstva tvořena feritem, přechodová vrstva perlitem s feritem a temperovým grafitem. Lom je stříbřitě šedý, střed je tmavošedý až černý. Vhodná na odlitky s tloušťkou stěny 3 až 30 mm.
42 2540	400	220	– II – Svařitelnost dobrá při tloušťce stěny do 6 mm, obtížná při tloušťce stěny přes 6 mm.
42 2545	440	200	Struktura je tvořena zrnitým až lamelárním perlitem s feritem a temperovým grafitem. Lom je černý až světle šedý, oduhličením do hloubky nejvýše 0,3 mm. Vhodná na odlitky s tloušťkou stěn 3 až 30 mm. Svařitelnost obtížná.
42 2550	490	230	– II –
42 2555	540	240	– II –

5.2.5 Tvárná litina

Tvárná litina se vyrábí očkovaním přísadou, způsobující vznik zrnitého grafitu. Nejčastějším očkovadlem bývá *hořčík* nebo *cér*. Nejprve se provede očkování tekutého kovu hořčíkem, který je prvkem karbidotvorným. Po této operaci následuje *očkování ferrosiliciem*, takže se vytvoří **šedá litina s kuličkovým grafitem**. Normalizované druhy tvárné litiny jsou uvedeny v tab. 5.10. Struktura a mechanické vlastnosti jsou vzájemně svázány. Lze je docílit jednak přímým ochlazováním z vhodných surovin natavené výchozí šedé litiny, jednak dodatečným tepelným zpracováním.

Tab. 5.10 Přehled normalizovaných druhů tvárné litiny

Označení ČSN	Nejmenší pevnost v tahu (MPa)	Tvrdość (HB)	Charakteristika litiny, vhodnost použití, svařitelnost
42 2303	370	140 až 180	Struktura je tvořena feritem a zrnitým grafitem. Lom je šedočerný. Litina je vhodná na odlitky s tloušťkou stěn 5 až 100 mm i více. Svařitelnost jen při kontrolovaném postupu svařování.
42 2304	400	150 až 200	– II –
42 2305	500	170 až 240	Struktura je tvořena feritem, perlitem a zrnitým grafitem. Lom je světlešedý. Litina je vhodná na odlitky s tloušťkou stěn 5 až 100 mm i více. Svařitelnost litiny je podmíněna kontrolovaným postupem svařování.
42 2306	600	190 až 270	Struktura je tvořena feritem, perlitem a zrnitým grafitem. Lom je světlešedý. Litina je vhodná na odlitky s tloušťkou stěn 5 až 100 mm. Svařitelnost litiny je podmíněna kontrolovaným postupem svařování.
42 2307	700	230 až 300	Struktura je tvořena feritem, perlitem a zrnitým grafitem. Lom je světlešedý. Litina je vhodná na odlitky s tloušťkou stěn 5 až 75 mm. Svařitelnost litiny je podmíněna kontrolovaným postupem svařování.
42 2308	800	250 až 350	Struktura je tvořena zpravidla perlitem, sorbitem a zrnitým grafitem. Lom je světlešedý. Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn 5 až 35 mm. Svařitelnost litiny je podmíněna kontrolovaným postupem svařování.
42 2340	300	260 až 320	Struktura je tvořena feritem a zrnitým grafitem (nejméně 80 % zrnitého grafitu). Litina je tepelně stálá a má vysokou pevnost. Litina je vhodná na mechanicky namáhané odlitky. Svařitelnost je podmíněna jejím kontrolovaným postupem.



Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady využití jednotlivých materiálů při výrobě odlitků v praxi a zdůvodněte volbu daných materiálů u konkrétních odlitků.

5.3 Technologický proces výroby odlitků

Technologický sled postupů, vedoucích k výrobě odlitku, se nazývá technologický proces.

Tento proces lze rozdělit na následující etapy:

a) příprava vsázky na tavení – kovové i nekovové složky vsázky se sestavují tak, aby se po jejich roztavení s využitím metalurgických pochodů získal tekutý kov požadovaného chemického složení.

b) tavení vsázky – 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.

c) příprava formovací směsi – cílem je výroba formovací směsi pro zhotovení formy, u jádrové směsi výroba jader požadované kvality.

d) 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**).

Formu lze vyrobit:

- **jako jednorázovou (netrvalou)** – použitelnou jen jedenkrát,
- **jako polotrvalou nebo trvalou** – použitelnou několikrát.

Na výrobu forem se používá:

- **formovací směs** (ostřívo a pojivo na netrvalé formy),
- **kovové materiály** (na trvalé formy).

Dutina formy se vyrábí:

- **zaformováním modelu do formovací směsi** (u netrvalých forem),
- **mechanickým opracováním dutiny formy jako negativu odlitku** (u kovových trvalých forem),
- **jinými způsoby** (vytavitelný model, spalitelný model atd.)

e) skládání formy – části formy se spolu s jádry skládají a vytváří tak kompletní dutinu ve formě, odpovídající tvarem budoucímu surovému odlitku.

f) odlévání formy – dutinu formy vyplňuje tekutý kov, který v ní ztuhne. Vzniká odlitek.

g) dokončovací práce – zahrnují 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.

5.3.1 Příprava tekutého kovu

Pod pojmem tekutý kov se rozumí slitina více prvků v roztaveném stavu. Cílem přípravy tekutého kovu je vyrobit tekutý kov předepsaného chemického složení a čistoty, tj. **s minimálním obsahem plynů a nečistot**.

Na přípravu tekutého kovu má vliv kvalita výchozích surovin (vsázkových materiálů), použitý typ tavicí pece a použitý metalurgický postup. Využitím metalurgických pochodů lze významně ovlivnit jakost nataveného materiálu. Oxidací prvků, legováním lze ovlivnit chemické složení, obsah plynů a nečistot v tekutém kovu.


Vlastní technologie tavení závisí na druhu použité pece a typu tavené slitiny.

Po natavení a metalurgických pochodech v peci následuje ohřev nataveného kovu na **teplotu odpichu** (teplotu vylití tekutého kovu) z pece do speciální nádoby – **pánve**, vyzděné žáruvzdornou vyzdívkou. Teplota odpichu je vyšší než teplota likvidu dané slitiny. Důvodem jsou ztráty tepla (pokles teploty taveniny) při vylévání z pece do pánve, při manipulaci s pávní před odléváním a při odlévání odlitků.

Základní druhy pecí podle způsobu ohřevu:

- a) **pece plynové** – pro tavení materiálů s nízkou teplotou tavení (např. hliník),
- b) **pece na tuhá paliva** – tzv. **kuplové pece (kuplovny)**, palivem je koks, používají se pouze na tavení litin,
- c) **elektrické pece**
 - **pece odporové** – pro slitiny s nízkou teplotou tavení (hliník, silumin, slitiny zinku apod.),
 - **pece indukční** – využívají přeměny energie indukovaných proudů na teplo (oceli, litiny apod.),
 - **pece obloukové** – využívají teplo, vznikající hořením oblouku (oceli, litiny),
- d) **pece speciální**, jako např. **plazmové pece**.

Jakost tekutého kovu po natavení lze ovlivňovat i mimopecním zpracováním tekutého kovu v pánvi. Příkladem je **očkování** a **mikrolegování**.

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady využití jednotlivých pecí pro tavení vsázky při výrobě odlitků v praxi.

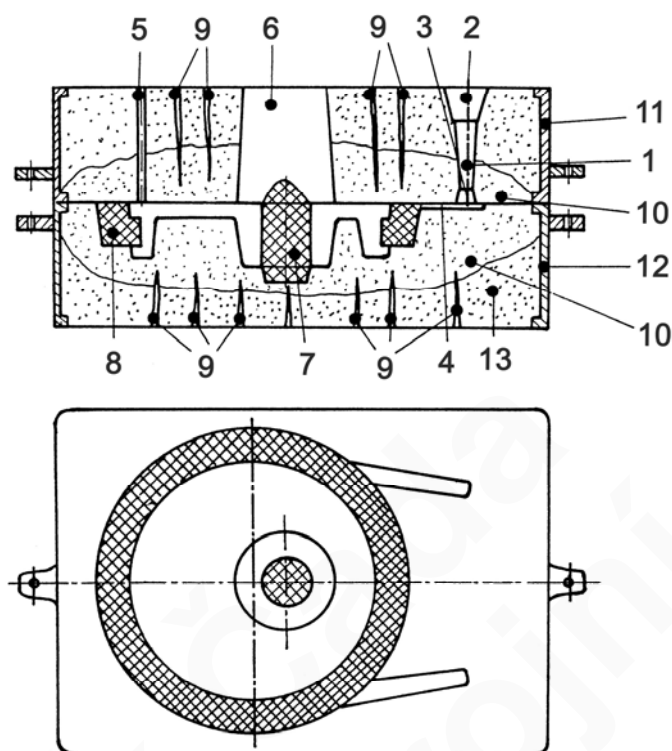
5.3.2 Výroba slévárenských forem

Forma je ve své podstatě dutá nádoba. Do dutiny formy se nalije tekutý kov, který po ztuhnutí vytvoří **odlitek**.

Formy se dělí na:

- a) **netrvalé** – slouží na jedno použití, tvoří přibližně 95 % používaných forem
- b) **trvalé** – používají se vícekrát (u slitin zinku např. až 150.000 x)

Netrvalé formy se vyrábí formováním z formovacích směsí. **Vyrábí se ručně nebo strojně** pomocí modelů a jaderníků. Pro strojní výrobu 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**. Formovací směsi, používané na výrobu netrvalých forem, se po odlití odlitku a jeho vyjmutí z formy rozpadnou a po regeneraci se znovu používají. Podobně se opakovaně používají formovací rámy a formovací zařízení. Základní části netrvalé formy jsou na obr. 5.13.



Obr. 5.13 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 – nálitek, 7 – pravé jádro, 8 – nepravé jádro, 9 – průduchy, 10 – modelová směs, 11 – horní formovací rám, 12 – dolní formovací rám, 13 – plnicí směs)



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. *Základy strojírenské technologie : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1996. 115 s. ISBN 80-7078-300-1.



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.

5.3.3 Vytluokání 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 vytluokání odlitků se používají vibrační zařízení, vytluokací 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
	Uveďte opatření, používaná při konstrukci odlitků a při vytváření forem, která usnadňují vytluokání odlitků v praxi.

5.3.4 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 přijímacími podmínkami (buď dle ČSN nebo podle samostatně zpracovaných přijímacích předpisů), jsou připraveny k expedici.

5.4 Výrobní dokumentace odlitku

Mezi základní úkoly technické přípravy výroby ve slévárně patří stanovení optimální technologie výroby odlitku. Při stanovení postupu výroby odlitku se vychází z *konstrukčního výkresu strojní součásti*, která má být zhotovena odléváním z daného materiálu. Musí být zajištěna spolupráce mezi konstruktérem a slévárenským technologem, která by vedla k optimálnímu řešení odlitku po stránce funkční, slévárenské i ekonomické.

Optimální technologie výroby se zpracuje do výrobní dokumentace odlitku, která je po schválení pro jednotlivé výrobní a pomocné úseky závazná.

Výrobní dokumentaci odlitku tvoří:

- a) slévárenský postupový výkres,
- b) výrobní postup modelového zařízení,
- c) výrobní postup odlitku,
- d) výkres odlitku.

5.4.1 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 ČSN 01 3061. Příklady grafických záznamů jsou uvedeny v tab. 5.11. Další údaje lze uvést v *textové části slévárenského postupu*, která se používá zejména u složitých modelů a odlitků.

Slévárenský postupový výkres je nutno vypracovat s ohledem na smrštění, vhodnou polohu odlitku ve formě, vhodnou volbu dělicí plochy, přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů, slévárenské úkopy modelů a odlitků apod. (obr. 5.15 až 5.18).

Vysvětlení základních pojmů:

Model vytváří dutinu ve formě. Svým tvarem odpovídá jen částečně tvaru odlitku. Liší se o modely známek pro přesné uložení jader. Model je oproti odlitku větší o velikost smrštění odlitého kovu při chladnutí. Model může být *nedělený* nebo *dělený*.

Volné části jsou části modelu, které by bránily jeho vyjmutí z formy. Jsou proto upraveny tak, že *při vyjímání modelů zůstanou ve formě* a vyjmou se dodatečně v jiném směru.

Známka je přídavná část modelu, která slouží k vytvoření lůžka ve formě pro uložení jádra, tzv. *známkového lože*.

Půdnice je podložka, na kterou se pokládají modely nebo části modelů při ručním formování.

Jádra pravá slouží k vytvoření vnitřních dutin a otvorů. Vyrábí se v *samostatném jaderníku*.

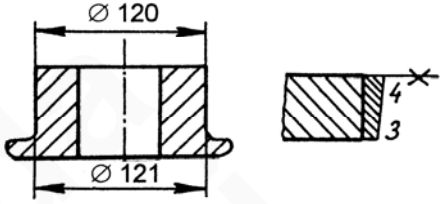
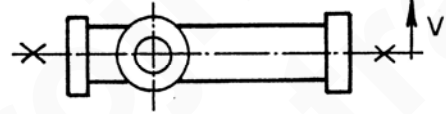
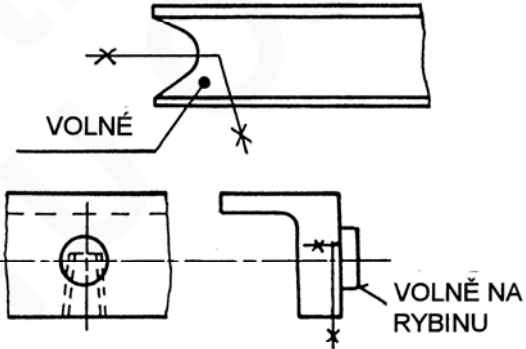
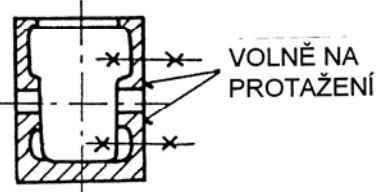
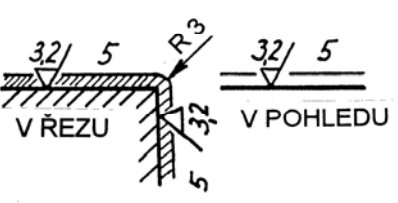
Jádra nepravá slouží k vytvoření některých částí vnějšího povrchu odlitku. Vyrábí se v *samostatném jaderníku*.

Známky jader jsou *prodloužené části jader*, jimiž jsou jádra uložena ve formě.

Nepředlévané otvory jsou takové, jejichž předlévání pomocí jader by bylo nevhodné. *Tyto otvory se zhotoví následně třískovým obráběním*. Na postupovém výkresu se značí vyšrafovaním červeně.

Vtoková soustava je systém kanálů, který slouží k zaplnění formy tekutým kovem. Skládá se ze *vtokové jamky*, *vtokového kanálu*, *rozdávěcího kanálu* (u šedé litiny se používá *odstruskovací kanál*) a *zářezů*.

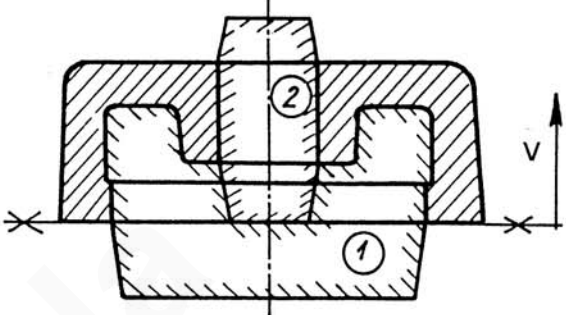
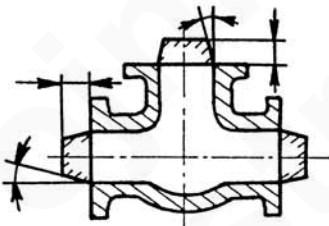
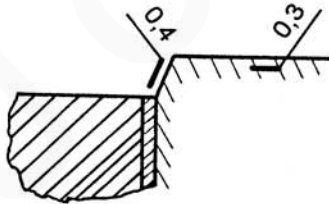
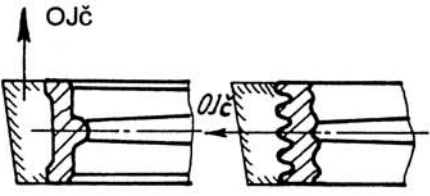
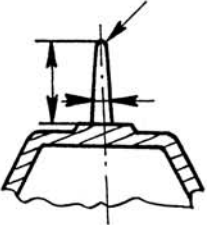
Tab. 5.11 Příklady značení postupu na slévárenském postupovém výkresu (1. část)

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 šrafuji. 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	

Tab. 5.11 Příklady značení postupu na slévárenském postupovém výkresu (2. část)

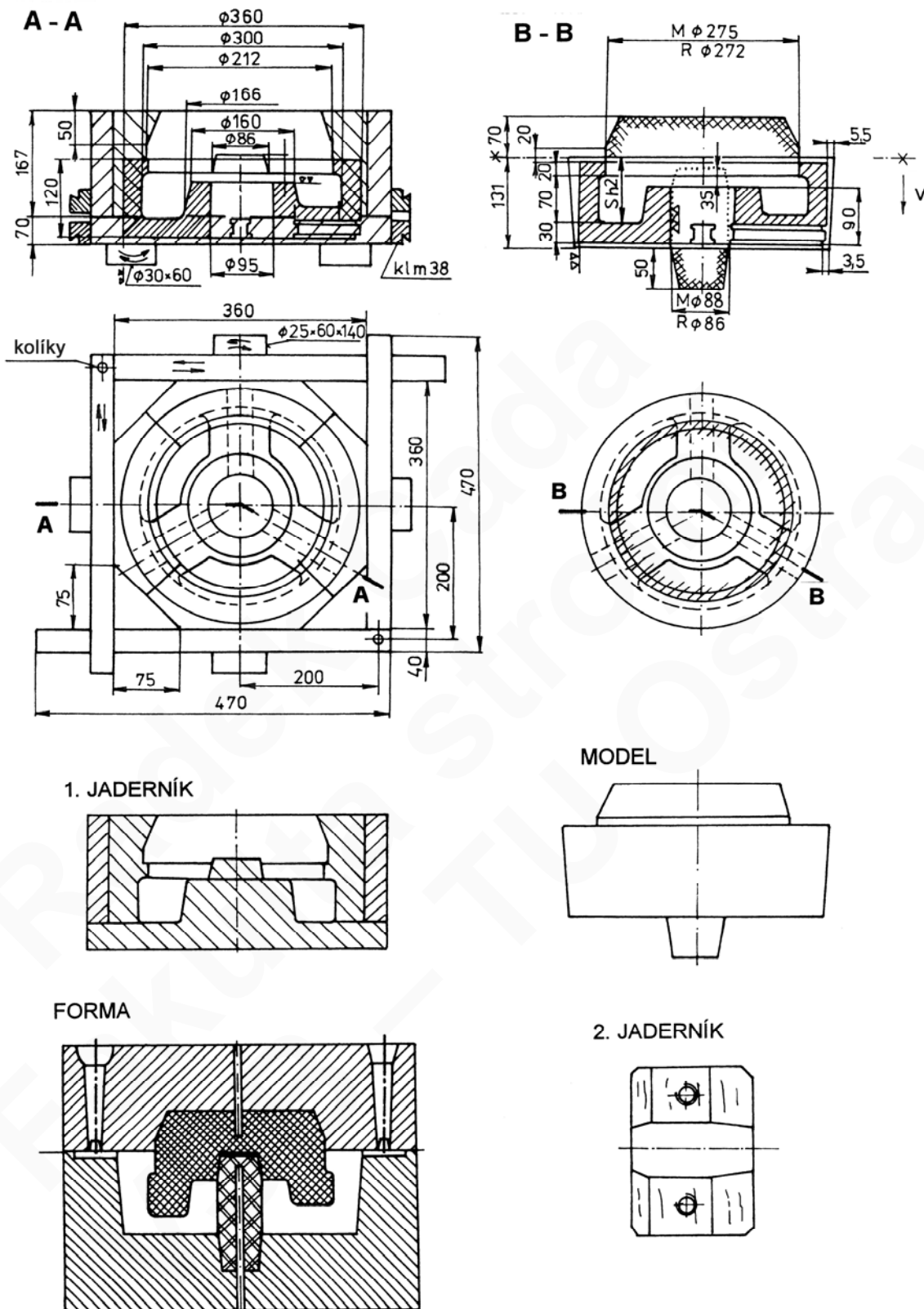
č.	Název a určení	Barva	Vyobrazení
7	Vtoková soustava - zakresluje se plnou čarou a kótuje se.	červená nebo modrá	
8	Nálitky - zakreslují se plnou čarou a okótují. V případě, že jsou nálitky normalizované, napíše se příslušné označení podnikové normy.	červená nebo modrá	
9	Slévárenský technologický přídavek - 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	Obrysy 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	

Tab. 5.11 Příklady značení postupu na slévárenském postupovém výkresu (3. část)

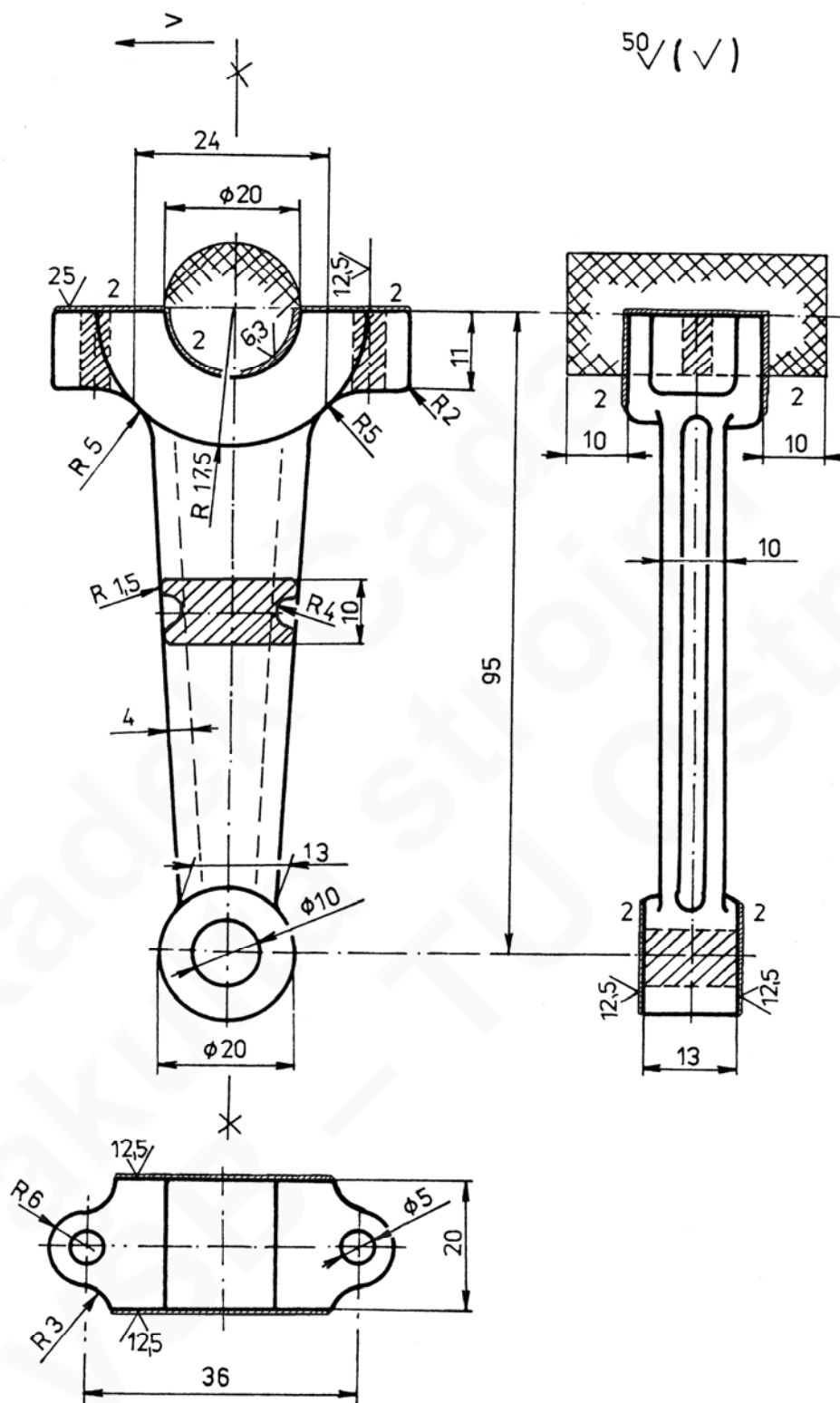
č.	Název a určení	Barva	Vyobrazení
12	Číslování jader - jádra se číslují podle pořadí arabskými číslicemi v černém kroužku, přičemž barva vepsaných číslic je shodná s barvou obrysu příslušného jádra.	ve shodě se značením příslušného jádra	
13	Známky - zakreslují se plnou čarou, kótují se jejich úkosy 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	

Tab. 5.11 Příklady značení postupu na slévárenském postupovém výkresu (4. část)

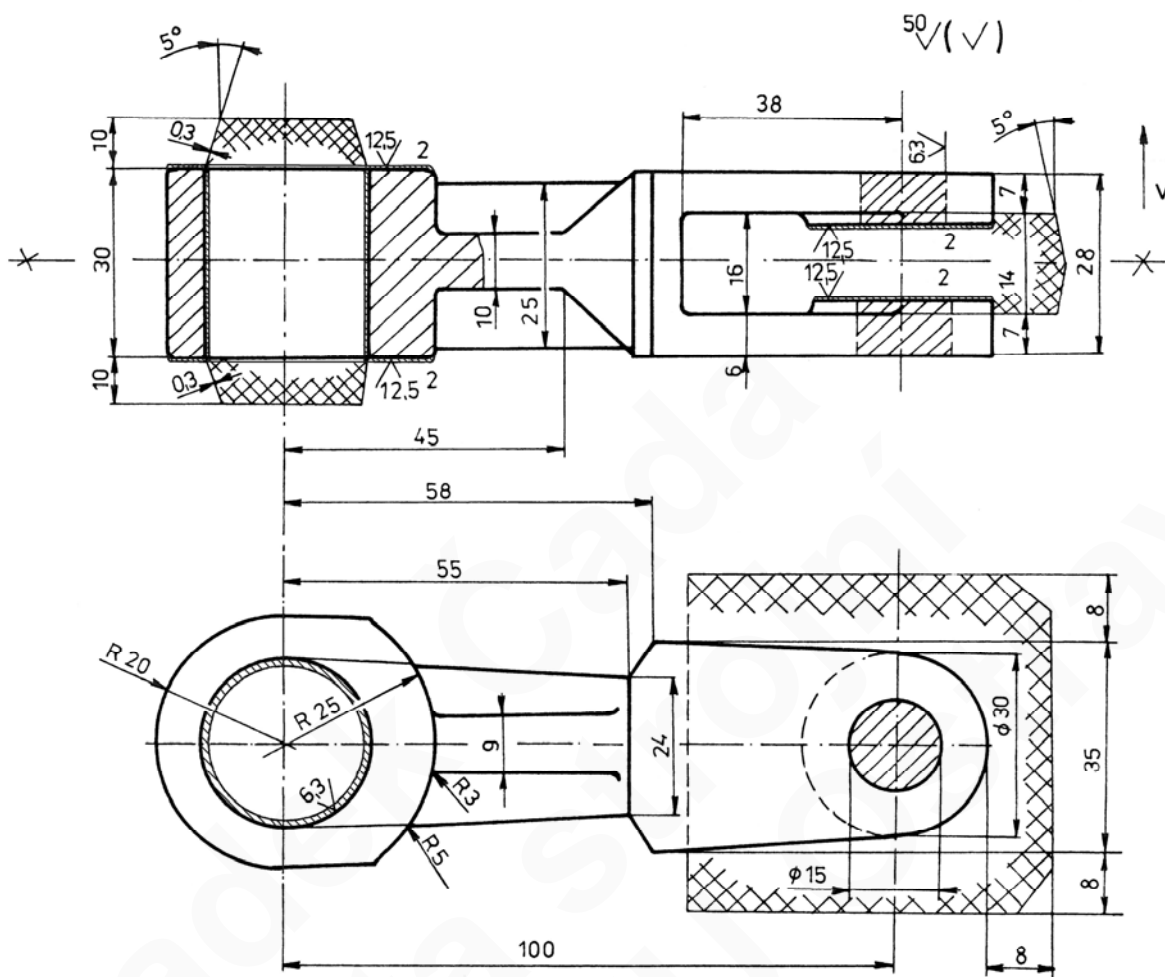
č.	Název a určení	Barva	Vyobrazení
17	Okování modelu, kovová část - - zakresluje se plnou čarou v příslušném místě. Připisuje se poznámka "OKOVAT" nebo "KOVOVÁ ČÁST".	modrá	
18	Odplynění jader - v místě, kde bude provedeno odplynění, se zakreslí značka.	modrá	
19	Chladítka - kreslí se plnou čarou, šrafuji se křížkováním a kótují. Uvádí se poznámka "MODELÝ 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. 5.14 Souvislost mezi slévárenským postupovým výkresem, jaderníky, modelem a formou pro odlitek sklíčidla soustruhu



Obr. 5.15 Slévárenský postupový výkres ojnice (dělicí rovina je určena vybráním R4 ve spojovacím rameni)



Obr. 5.16 Slévárenský postupový výkres páky s použitím pravého a nepravého jádra

Výfuky slouží k odvedení vzduchu a plynů z formy. Používají se tehdy, když k odvodu plynů a par nepostačuje přirozená prodyšnost formovací směsi, ani vytvoření průduchů ve formě bodcem. Nepoužívají se, když jsou na odlitku atmosférické nálitky.

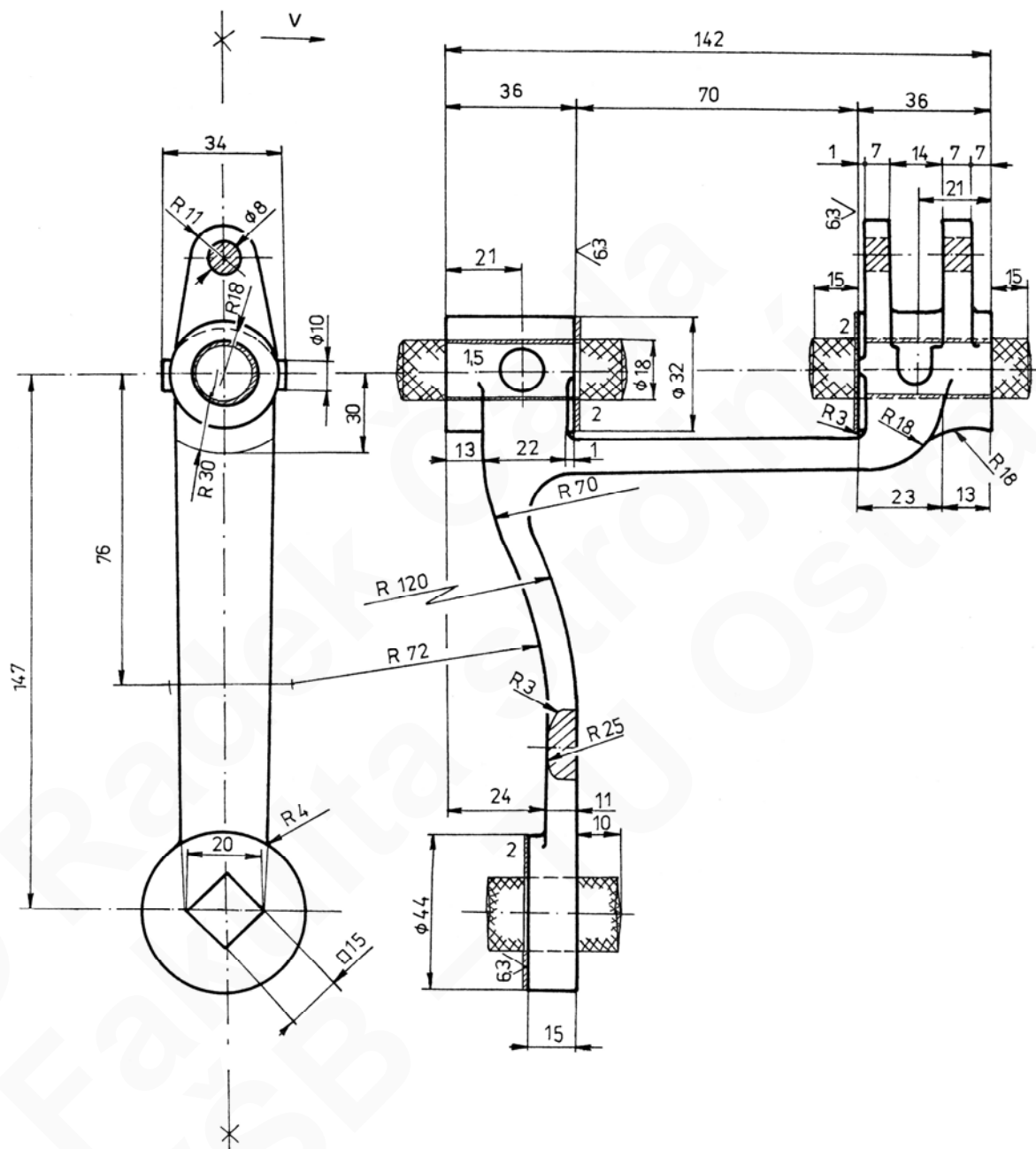
Nálitky jsou zásobníky taveniny, z nichž se nahrazuje úbytek objemu kovu, vznikající při tuhnutí odlitku, a tím se zabraňuje vzniku dutin v odlitku (*lunkrů*). Používají se pro odlitky z kovů s velkými objemovými změnami při tuhnutí (např. ocel na odlitky).

Chladítka jsou vložky s vyšší tepelnou pohltivostí než forma. *Slouží ke zrychlení místního ochlazování.* Používají se hlavně v těch místech odlitku, kde není možné nalítovat.

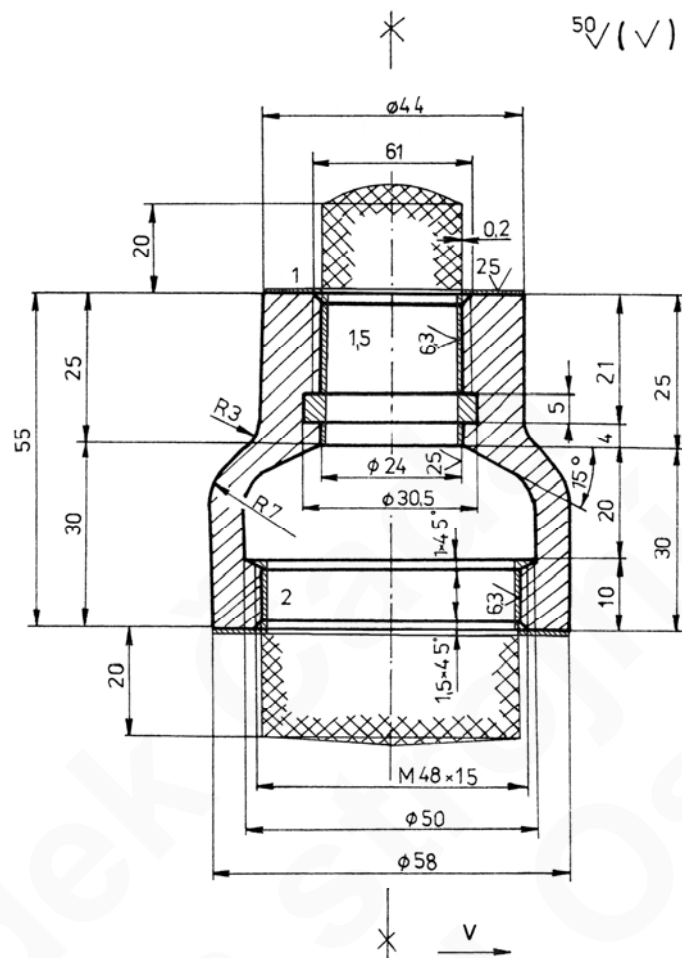
Šablonovací zařízení slouží *pro výrobu forem a případně i jader.* Skládá se z vodicího zařízení a vlastní šablony. Rozlišuje se šablonování *rotační, podélné a příčné.*

Funkční dutina formy je dutina formy, vytvořená modelem a jádry, vloženými do dutiny. Svým tvarem odpovídá tvaru budoucího odlitku.

50√(√)



Obr. 5.17 Slévárenský postupový výkres zalomené páky s použitím tří pravých jader



Obr. 5.18 Slévárenský postupový výkres jednoduché součásti s předlévaným otvorem pomocí pravého jádra

5.4.1.1 Volba polohy odlitku ve formě při odlévání

Poloha odlitku ve formě se volí podle zásad:

- usměrněného tuhnutí,
- kladení důležitých ploch větších tlouštěk do té části formy, kde je nejčistší kov (u odlitků ze šedé litiny do dolní části formy). U ocelových odlitků se důležité plochy větších tlouštěk umísťují v horní části formy (doplnění smršťujícího se tuhnoucího kovu z nálitků),
- spolehlivého uložení jader a možnosti kontroly síly stěn odlitku,
- uložení tenkých stěn ve spodní části formy, šikmo nebo svisle.



Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady využití zásad pro volbu polohy odlitku ve formě při výrobě odlitků v praxi.

5.4.1.2 Zásady pro stanovení dělicí plochy

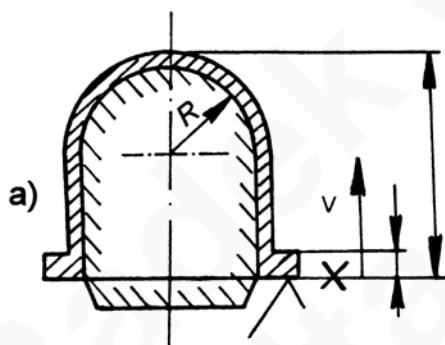
Dělicí plocha formy se volí podle zásad:

- 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.

Aplikace výše uvedených zásad pro volbu polohy odlitku ve formě a volbu dělicí plochy je ukázána na příkladu zaformování jednoduchého odlitku (obr. 5.19).

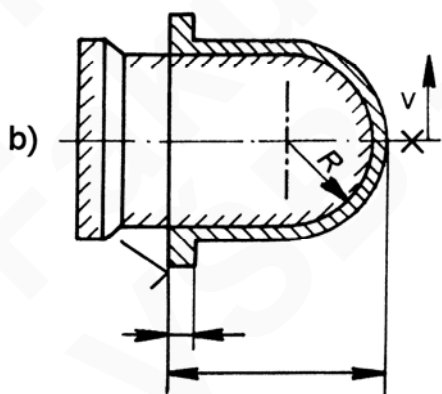
Výhody způsobu zaformování dle obr. 5.19 a jsou následující:

- možnost klidného plnění formy kovem při spodním vtoku,
- možnost snadného založení jádra,
- rovná dělicí plocha,
- obráběná plocha je uložena dole.



Nevýhody způsobu zaformování dle obr. 5.19 a jsou následující:

- možnost zmenšení tloušťky stěn přesazením při skládání formy,
- poměrně vysoká forma,
- poměrně velké úkopy na vnějším povrchu odlitku,
- nutnost odvést plyny z jádra spodem.




Výhody způsobu zaformování dle obr. 5.19 b jsou následující:

- nižší forma a tudíž menší spotřeba formovacích hmot,
- malé slévárenské úkopy (pouze na obráběné ploše),
- možnost klidného plnění formy při odlévání,
- možnost kontroly uložení jádra ve formě (ve spodní polovině formy).

Nevýhody způsobu zaformování dle obr. 5.19 b jsou následující:

- špatné zajištění polohy jádra ve formě – nutno použít podpěrky,
- obtížnější odstraňování nálitků.

Obr. 5.19 Dva způsoby zaformování jednoduchého odlitku

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady využití zásad pro stanovení dělicí plochy při výrobě odlitků v praxi.


5.4.1.3 Smrštění odlévaných slitin

Vzhledem k tomu, že v průběhu ochlazování se kovy a slitiny smršťují, *je nutno zhotovit modelové zařízení větší o míru smrštění dané slitiny*. Hodnoty volných lineárních smrštění pro různé slitiny jsou uvedeny v tab. 5.12.

Tab. 5.12 Hodnoty volných lineárních smrštění pro různé slitiny

Slitina	smrštění (‰)	Slitina	smrštění (‰)
šedá litina	10	bronz	10 ÷ 13
očkováná litina	10 ÷ 13	mosaz	13 ÷ 18
tvárná litina	12 ÷ 15	hliníkový bronz	15 ÷ 20
ocel z elektr. pece	15 ÷ 20	slitiny Al	10 ÷ 13
ocel ze SM pece	13 ÷ 18	slitiny Mg	13
austenitická ocel	24 ÷ 30	slitiny Zn	15
temperovaná litina	15 ÷ 18	modelový kov	34

Brání-li některé části formy, eventuálně konstrukce odlitku, průběhu smršťování, bude docházet k tzv. *brzděnému smrštění*, které je menší, než uvedené *volné lineární smrštění*.

	Úkol k zamyšlení
	Vysvětlete příčiny vzniku smrštění při tuhnutí odlévaných slitin.

5.4.1.4 Mezní úchytky rozměrů a tvaru odlitků

Velikost úchylek je určena:

- stupněm přesnosti odlitku,
- jmenovitým rozměrem,
- směrodatným rozměrem,
- zvláštními požadavky.

Stupeň přesnosti odlitku se určuje na základě dohody mezi odběratelem a dodavatelem. Značí se na výkresu nad rohovým razítkem číslem normy a příslušným záčíslem (např. přesnost ČSN 01 4470.4, mimo rozměry 63, 100, Ø 24). ČSN 01 4470 udává 6 stupňů přesnosti.

U odlitků lze docílit následující stupně přesnosti v závislosti na způsobu zaformování:

- u kovových forem* – lze dosáhnout stupně přesnosti 1, 2 nebo 3,
- u skořepinových forem* – stupně přesnosti 2 nebo 3,

c) u pískových forem a strojního formování – stupeň přesnosti 3, 4 nebo 5,

d) u pískových forem a ručního formování – stupeň přesnosti 4 nebo 5.

Jako příklad jsou v tab. 5.13 uvedeny mezní úchytky odlitků pro stupeň přesnosti 4 dle ČSN 01 4470.

Tab. 5.13 Mezní úchytky odlitků pro stupeň přesnosti 4 dle ČSN 01 4470

Jmenovitý rozměr (mm)		Směrodatný rozměr (mm)								
		nad do 18	18 30	30 80	80 180	180 315	315 500	500 800	800 1250	1250 2000
nad 6	do 6	± 0,6	± 0,8	± 0,8	± 0,8	± 1,0	± 1,5	± 1,5	± 2,0	± 2,5
6	10	± 0,8	± 0,8	± 0,8	± 1,0	± 1,5	± 1,5	± 2,0	± 2,5	± 3,5
10	18	± 0,8	± 1,0	± 1,2	± 1,5	± 1,5	± 2,0	± 2,5	± 3,5	± 4,0
18	30	± 0,8	± 1,2	± 1,5	± 1,5	± 2,0	± 2,5	± 3,5	± 4,0	± 4,5
30	80	± 1,0	± 1,2	± 1,5	± 2,0	± 2,5	± 3,0	± 3,5	± 4,0	± 4,5
80	180	± 1,0	± 1,5	± 2,0	± 2,5	± 3,0	± 3,5	± 4,0	± 4,5	± 5,0
180	315	± 1,2	± 1,5	± 2,0	± 2,5	± 3,0	± 3,5	± 4,0	± 4,5	± 5,0
315	500	± 1,5	± 1,5	± 2,5	± 3,0	± 3,5	± 4,0	± 4,5	± 5,0	± 5,0
500	800	± 2,0	± 2,0	± 2,5	± 3,5	± 4,0	± 4,5	± 5,0	± 5,0	± 5,5
800	1250	± 2,0	± 2,5	± 3,5	± 4,0	± 4,0	± 4,5	± 5,0	± 5,5	± 6,0
1250	2000	± 2,5	± 3,5	± 4,0	± 4,0	± 4,5	± 5,0	± 6,0	± 6,0	± 7,0

Jmenovitý rozměr je 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.

Směrodatný rozměr je největší kótovaný rozměr, nebo součet kót největšího rozměru odlitku v rovině kolmé na jmenovitý rozměr.

5.4.1.5 Přídávky na obrábění ploch odlitků

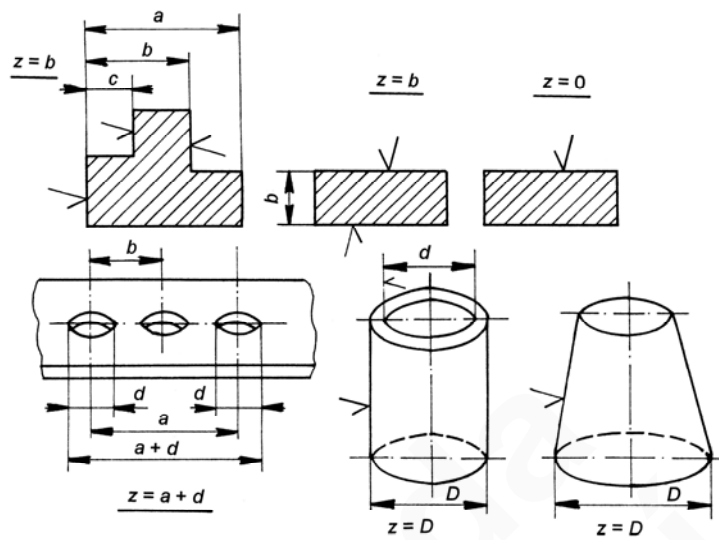
Funkční plochy odlitků, které nelze litím vyrobit s potřebnou přesností a drsností povrchu, se obrábějí. Odlitek se proto na těchto plochách zvětšuje o přídavek na obrábění.

Jmenovitý přídavek na obrábění je přídavek, předepsaný na slévárenském postupovém výkresu.

Velikost jmenovitého přídávku na obrábění je určena:

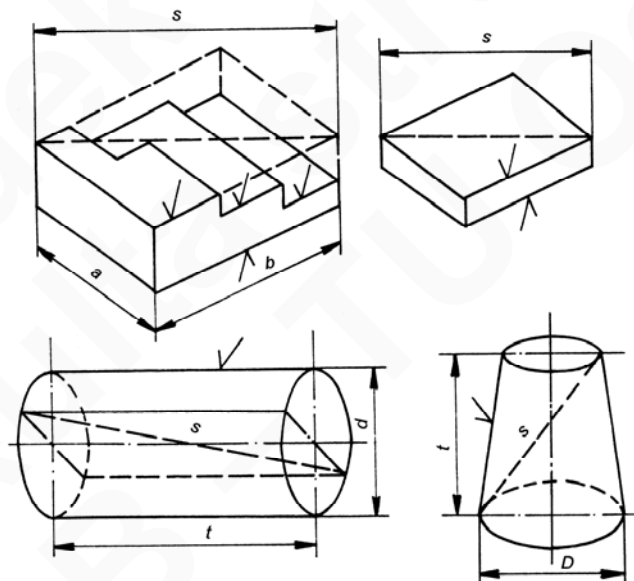
- stupněm přesnosti odlitku dle ČSN 01 4470,
- základním rozměrem,
- směrodatným rozměrem,
- polohou obráběné plochy,
- materiálem odlitku,
- zvláštními požadavky.

Základní rozměr z je první rozměr, určující velikost přídávku na obrábění. Je určen vzdáleností nejvzdálenější obráběné plochy nebo čáry, rovnoběžné s plochou danou, nebo vzdáleností dvou nejvzdálenějších protilehlých bodů na obráběném povrchu (obr. 5.20). Je-li $z = 0$, určuje se přídavek podle prvního řádku (tab. 5.14 až 5.16, resp. 5.18 až 5.20), platného pro základní rozměr do 30 mm.



Obr. 5.20 Příklady základních rozměrů odlitků

Směrodatný rozměr s je největší kótovaný rozměr nebo součet kót největšího rozměru odlitku v rovině kolmé na základní rozměr. Směrodatný rozměr je pro stanovení velikosti přídávku na obrábění vedle základního rozměru spoluurčující veličinou (obr. 5.21).



Obr. 5.21 Příklady směrodatných rozměrů odlitků

Přídavek na obrábění je vrstva materiálu na vnější nebo vnitřní ploše odlitku, která umožňuje dosáhnout obrobením přesnosti rozměrů a jakosti povrchu, předepsané na výkresu součástí. Označení stupně přesnosti odlitků na výkresu .3 až .6 (podle ČSN 01 4470) udává zároveň stupeň velikosti přídávky na obrábění .3 až .6, který se v případě potřeby uvádí číselným označením v záčísli této normy (ČSN 01 4980.x).

Číselné hodnoty přídávky na obrábění na plochu stupně velikosti .3 až .6 jsou pro odlitky stupně přesnosti .3 až .6 (podle ČSN 01 4470) uvedeny v závislosti na materiálu odlitků v tab. 5.14 až 5.17, resp. 5.18 až 5.21, a to v závislosti na základních a směrodatných rozměrech.

Tab. 5.14 Přidávky na obrábění (mm) stupně velikosti .3 pro ocelové odlitky stupně přesnosti .3 (ČSN 01 4980)

Základní rozměr z (mm)		Poloha plochy při lití	Směrodatný rozměr (mm)							
			nad do 30	30 80	80 180	180 315	315 500	500 800	800 1250	1250 2000
nad	do									
0	30	horní	2,5	3	3	4	4,5	4,5	5	6
		spodní, boční	1,5	2	2	2,5	2	2	2,5	4
30	80	horní	3	3	3	4	4,5	4,5	5	6
		spodní, boční	2	2	2	2,5	3	3	3,5	4
80	180	horní	3	3	4	4	4,5	5	6	7
		spodní, boční	2	2	2,5	2,5	3	3,5	4	4,5
180	315	horní	3	4	4	4,5	5	5	6	7
		spodní, boční	2	2,5	2,5	3	3,5	3,5	4	4,5
315	500	horní	3	4	4,5	4,5	5	6	7	8
		spodní, boční	2	2,5	3	3	3,5	4	4,5	5
500	800	horní	4	4,5	4,5	5	5	6	7	8
		spodní, boční	2,5	3	3	3,5	3,5	4	4,5	5
800	1250	horní	4,5	4,5	5	5	6	7	8	9
		spodní, boční	3	3	3,5	3,5	4	4,5	5	6
1250	2000	horní	4,5	5	5	6	7	8	8	9
		spodní, boční	3	3,5	3,5	4	4,5	5	5	6

Tab. 5.15 Přidávky na obrábění (mm) stupně velikosti .4 pro ocelové odlitky stupně přesnosti .4 (ČSN 01 4980)

Základní rozměr z (mm)		Poloha plochy při lití	Směrodatný rozměr (mm)									
			nad do 30	30 80	80 180	180 315	315 500	500 800	800 1250	1250 2000	2000 3150	3150 5000
nad	do											
0	30	horní	4	4,5	4,5	5	6	7	8	8	9	9
		spodní, boční	2,5	3	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6
30	80	horní	4,5	4,5	4,5	5	6	7	8	8	9	10
		spodní, boční	3	3	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7
80	180	horní	4,5	4,5	5	5	7	8	8	9	10	10
		spodní, boční	3	3	3,5	3,5	4,5	5	5,5	6	7	7
180	315	horní	4,5	5	5	6	7	8	8	9	10	12
		spodní, boční	3	3,5	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8
315	500	horní	4,5	6	6	7	8	8	9	10	12	12
		spodní, boční	3	4	4	4,5	5	5,5	6	7	8	8
500	800	horní	5	6	6	7	8	9	9	10	12	14
		spodní, boční	3,5	4	4	4,5	5	6	6	7	8	9
800	1250	horní	6	7	7	8	8	9	10	12	14	16
		spodní, boční	4	4,5	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10
1250	2000	horní	7	7	8	8	9	10	12	14	16	18
		spodní, boční	4,5	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	12
2000	3150	horní	7	8	8	9	10	12	14	16	18	20
		spodní, boční	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	12	14
3150	5000	horní	8	8	9	10	10	14	16	18	20	24
		spodní, boční	5	5,5	6	7	8	9	10	12	14	16

Tab. 5.16 Přidávky na obrábění (mm) stupně velikosti .5 pro ocelové odlitky stupně přesnosti .5 (ČSN 01 4980)

Základní rozměr z (mm)		Polo- ha při lití	Směrodatný rozměr (mm)											
			nad do 30	30 80	80 180	180 315	315 500	500 800	800 1250	1250 2000	2000 3150	3150 5000	5000 8000	8000 12500
0	30	horní	4,5	5	5	6	8	8	10	12	14	16	16	18
		s, b	3	3,5	3,5	4	5	5,5	7	8	9	10	11	11
30	80	horní	4,5	5	6	6	8	9	10	12	14	16	16	18
		s, b	3	3,5	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12
80	180	horní	5	5	6	7	8	9	10	14	16	16	18	20
		s, b	3,5	3,5	4	4,5	5,5	6	7	9	10	11	12	13
180	315	horní	5	5	7	8	8	10	12	14	16	16	18	22
		s, b	3,5	3,5	4,5	5	5,5	7	8	9	10	11	12	14
315	500	horní	5	6	7	8	9	10	12	16	16	18	20	24
		s, b	3,5	4	4,5	5	6	7	8	10	11	12	13	16
500	800	horní	6	7	8	8	9	10	12	16	16	18	20	26
		s, b	4	4,5	5	5,5	6	7	8	10	11	12	13	18
800	1250	horní	7	8	8	9	10	12	14	16	18	20	22	28
		s, b	4,5	5	5,5	6	7	8	9	11	12	13	14	18
1250	2000	horní	8	8	8	9	10	12	16	18	20	22	22	30
		s, b	5	5	5,5	6	7	8	10	12	13	14	14	20
2000	3150	horní	8	8	9	10	12	14	16	20	22	22	24	32
		s, b	5	5,5	6	7	8	9	11	13	14	14	16	22
3150	5000	horní	9	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	36
		s, b	6	6	7	8	9	10	12	13	14	16	18	24
5000	8000	horní	10	10	12	14	16	16	20	22	24	26	30	387
		s, b	7	7	8	9	10	11	13	14	16	18	20	26
8000	12500	horní	16	18	20	22	24	26	28	30	32	36	38	42
		s, b	11	12	13	14	16	18	18	20	22	24	26	28

s, b = spodní, boční

Tab. 5.17 Přidávky na obrábění (mm) stupně velikosti .6 pro ocelové odlitky stupně přesnosti .6 (ČSN 01 4980)

Základní rozměr z (mm)		Polo- plocha při lití	Směrodatný rozměr (mm)			
			nad 2 000 do 3 150	3 150 5 000	5 000 8 000	8 000 12 500
2 000	3 150	horní	20	24	30	38
		spodní, boční	13	16	20	26
3 150	5 000	horní	24	30	36	42
		spodní, boční	16	20	24	28
5 000	8 000	horní	30	36	38	45
		spodní, boční	20	24	26	30
8 000	12 500	horní	38	42	45	55
		spodní, boční	26	28	30	36

Tab. 5.18 Přídavky na obrábění (mm) stupně velikosti .3 pro odlitky ze šedé, tvárné a temperované litiny, ze zvláštních slitin železa a z neželezných kovů stupně přesnosti .3 (ČSN 01 4980)

Základní rozměr z (mm)		Poloha plochy při lití	Směrodatný rozměr (mm)							
			nad do 30	30 80	80 180	180 315	315 500	500 800	800 1250	1250 2000
0	30	horní	2,5	2,5	2,5	3	3	4	4,5	4,5
		spodní, boční	1,5	1,5	1,5	2	2	2,5	3	3
30	80	horní	2,5	2,5	2,5	3	3	4	4,5	5
		spodní, boční	1,5	1,5	1,5	2	2	2,5	3	3,5
80	180	horní	2,5	3	3	3	4	4,5	4,5	5
		spodní, boční	1,5	2	2	2	2,5	3	3	3,5
180	315	horní	2,5	3	3	4	4	4,5	5	6
		spodní, boční	1,5	2	2	2,5	2,5	3	3,5	4
315	500	horní	3	4	4	4	4,5	4,5	5	6
		spodní, boční	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	4
500	800	horní	3	4	4	4,5	4,5	5	6	7
		spodní, boční	2	2,5	2,5	3	3	3,5	4	4,5
800	1250	horní	3	3	4	4,5	5	6	7	8
		spodní, boční	2	2,5	2,5	3	3,5	4	4,5	5
1250	2000	horní	4	4,5	4,5	5	6	7	8	9
		spodní, boční	2,5	3	3	3,5	4	4,5	5	6

Tab. 5.19 Přídavky na obrábění (mm) stupně velikosti .4 pro odlitky ze šedé, tvárné a temperované litiny, ze zvláštních slitin železa a z neželezných kovů stupně přesnosti .4 (ČSN 01 4980)

Základní rozměr z (mm)		Poloha plochy při lití	Směrodatný rozměr (mm)									
			nad do 30	30 80	80 180	180 315	315 500	500 800	800 1250	1250 2000	2000 3150	3150 5000
0	30	horní	3	4	4	4,5	5	6	7	7	8	8
		spodní, boční	2	2,5	2,5	3	3,5	4	4,5	4,5	5	5
30	80	horní	3	4	4	4,5	5	6	7	7	8	8
		spodní, boční	2	2,5	2,5	3	3,5	4	4,5	4,5	5	5,5
80	180	horní	4	4,5	4,5	4,5	5	6	7	8	8	9
		spodní, boční	2,5	3	3	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
180	315	horní	4	4,5	4,5	5	6	7	8	8	9	10
		spodní, boční	2,5	3	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7
315	500	horní	4,5	5	5	6	6	7	8	9	10	10
		spodní, boční	3	3,5	3,5	4	4	4,5	5	6	7	7
500	800	horní	4,5	5	6	6	8	9	9	+	10	12
		spodní, boční	3	3,5	4	4	4,5	5	5	6	7	8
800	1250	horní	5	6	6	7	8	8	9	10	12	14
		spodní, boční	3,5	4	4	4,5	5	5	6	7	8	9
1250	2000	horní	5	6	7	8	8	9	10	12	14	16
		spodní, boční	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10
2000	3150	horní	6	7	8	8	9	10	12	14	16	18
		spodní, boční	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	12
3150	5000	horní	7	8	8	9	10	12	14	16	18	20
		spodní, boční	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	12	14


Tab. 5.20 Přidávky na obrábění (mm) stupně velikosti .5 pro odlitky ze šedé, tvárné a temperované litiny, ze zvláštních slitin železa a z neželezných kovů stupně přesnosti .5 (ČSN 01 4980)

Základní rozměr z (mm)		Polo- ha při lití	Směrodatný rozměr (mm)											
			nad do 30	30 80	80 180	180 315	315 500	500 800	800 1250	1250 2000	2000 3150	3150 5000	5000 8000	8000 12500
0	30	horní	4	4,5	4,5	5	6	8	9	10	12	14	16	16
		s, b	2,5	3	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10	10
30	80	horní	4	4,5	5	5	7	8	9	10	12	14	16	16
		s, b	2,5	3	3,5	3,5	4,5	5	6	7	8	9	10	10
80	180	horní	4,5	5	5	6	7	8	9	10	12	14	16	16
		s, b	3	3,5	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	11
180	315	horní	4,5	5	6	6	7	9	10	12	14	14	16	18
		s, b	3	3,5	4	4	4,5	6	7	8	9	10	11	12
315	500	horní	5	5	6	7	8	9	10	12	14	16	16	18
		s, b	3,5	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	11	13
500	800	horní	5	6	7	8	8	9	10	12	14	16	16	20
		s, b	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11	14
800	1250	horní	6	7	8	8	9	10	12	14	16	16	18	24
		s, b	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11	12	16
1250	2000	horní	6	7	8	8	9	10	12	14	16	18	18	26
		s, b	4	4,5	5	5,5	6	7	8	10	11	12	13	18
2000	3150	horní	7	8	8	9	10	12	14	16	18	18	20	30
		s, b	4,5	5	5,5	6	7	8	9	11	12	13	14	20
3150	5000	horní	8	9	9	10	12	14	16	18	18	20	20	34
		s, b	5	6	6	7	8	9	10	12	13	14	14	22
5000	8000	horní	9	10	10	12	14	16	16	18	20	20	24	36
		s, b	6	7	7	8	9	10	11	13	14	14	16	24
8000	12500	horní	14	16	16	18	18	20	24	26	3,	34	36	38
		s, b	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22	24	26

s, b = spodní, boční

Tab. 5.21 Přidávky na obrábění (mm) stupně velikosti .6 pro odlitky ze šedé, tvárné a temperované litiny, ze zvláštních slitin železa a z neželezných kovů stupně přesnosti .6 (ČSN 01 4980)


Základní rozměr z (mm)		Polo- plochy při lití	Směrodatný rozměr (mm)			
			nad 2 000 do 3 150	3 150 5 000	5 000 8 000	8 000 12 500
2 000	3 150	horní	16	18	26	36
		spodní, boční	11	13	18	24
3 150	5 000	horní	18	26	34	38
		spodní, boční	13	18	22	26
5 000	8 000	horní	26	34	36	42
		spodní, boční	18	22	24	28
8 000	12 500	horní	36	38	42	45
		spodní, boční	24	26	28	30

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady použití přídavek na obrábění při výrobě součástí odléváním v praxi.

5.4.1.6 Přídávky technologické

Technologické přídávky nejsou normalizované, stanovují se v závislosti na technologii výroby odlitku.

K těmto přídávám patří především přídávky na zajištění usměrněného tuhnutí, nepředlívání otvorů, výztužná žebra atd. Technologické přídávky se odstraňují při čištění odlitků nebo až při obrábění.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady použití technologických přídavek při výrobě součástí odléváním v praxi.

5.4.1.7 Slévárenské úkosy modelů a odlitků

Úkosy slouží ke snadnému vyjímání modelů z formy, případně jader z jaderníků. Provádějí se na stěnách kolmých k dělicí rovině a jejich velikost, ať již z konstrukčního nebo technologického důvodu, závisí na rozměrech odlitku, technologii výroby, modelovém zařízení a materiálu odlitku.

Technologický úkos – je úkos, který se dělá na odlitku a modelu (jádro) z technologických důvodů za účelem snadného vyjmutí modelu (jádra) nebo jeho částí z formy (jaderníku)

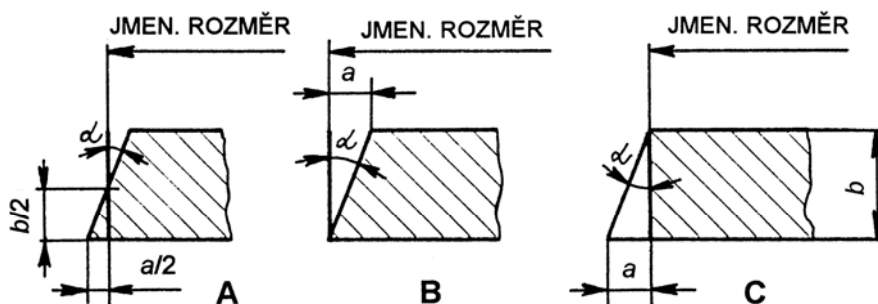
Konstrukční úkos – je úkos, který se dělá na součásti a jejím modelu i na odlitku z důvodů konstrukčních s ohledem na funkci nebo vzhled součásti.

Podle vztahu úkosu k jmenovitému rozměru odlitku se rozeznávají úkosy typu A, B a C (obr. 5.22):

Úkos A se obvykle dělá u neobrobených ploch a je nejčastěji používaným úkosem. Nemusí být na výkresu součásti předepsán.

Úkos B se volí tehdy, lze-li zmenšit rozměr odlitku (úspora hmotnosti). Musí být na výkresu součásti vždy předepsán.

Úkos C se používá 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. 5.22 Slévárenské úkosy typu A, B, C

Přehled minimálních úkosů technologických i konstrukčních pro běžnou výrobu je uveden v tab. 5.22 a tab. 5.23. *Na výkresech se úkosy značí* červeně kótami, nebo různou velikostí přídavek na obrábění.

Tab. 5.22 Technologické úkosy podle ČSN 04 2021

b (mm)		Modely kovové			Modely dřevěné		
přes	do	a (mm)	α	a : b	a (mm)	α	a : b
–	40	0,8	1°	1 : 55	1	1° 40'	1 : 35
40	63	1	1°	1 : 55	1,5	1° 40'	1 : 35
63	100	1	45°	1 : 75	2	1° 30'	1 : 40
100	160	1,5	45°	1 : 75	2,5	1° 10'	1 : 50
160	250	2	35°	1 : 100	3	50'	1 : 65
250	400	2,5	35°	1 : 100	4	45'	1 : 75
400	630	3	23°	1 : 150	5	35'	1 : 100
630	800	–	–	–	6	30'	1 : 120
800	1000	–	–	–	7	26'	1 : 130
1000	1250	–	–	–	8	24'	1 : 140
1250	1600	–	–	–	10	23'	1 : 150

Tab. 5.23 Minimální konstrukční úkosy podle ČSN 04 2021

b (mm)		a : b	α
přes	do		
–	250	1 : 20	3°
250	500	1 : 32	1° 45'
500	1000	1 : 50	1°



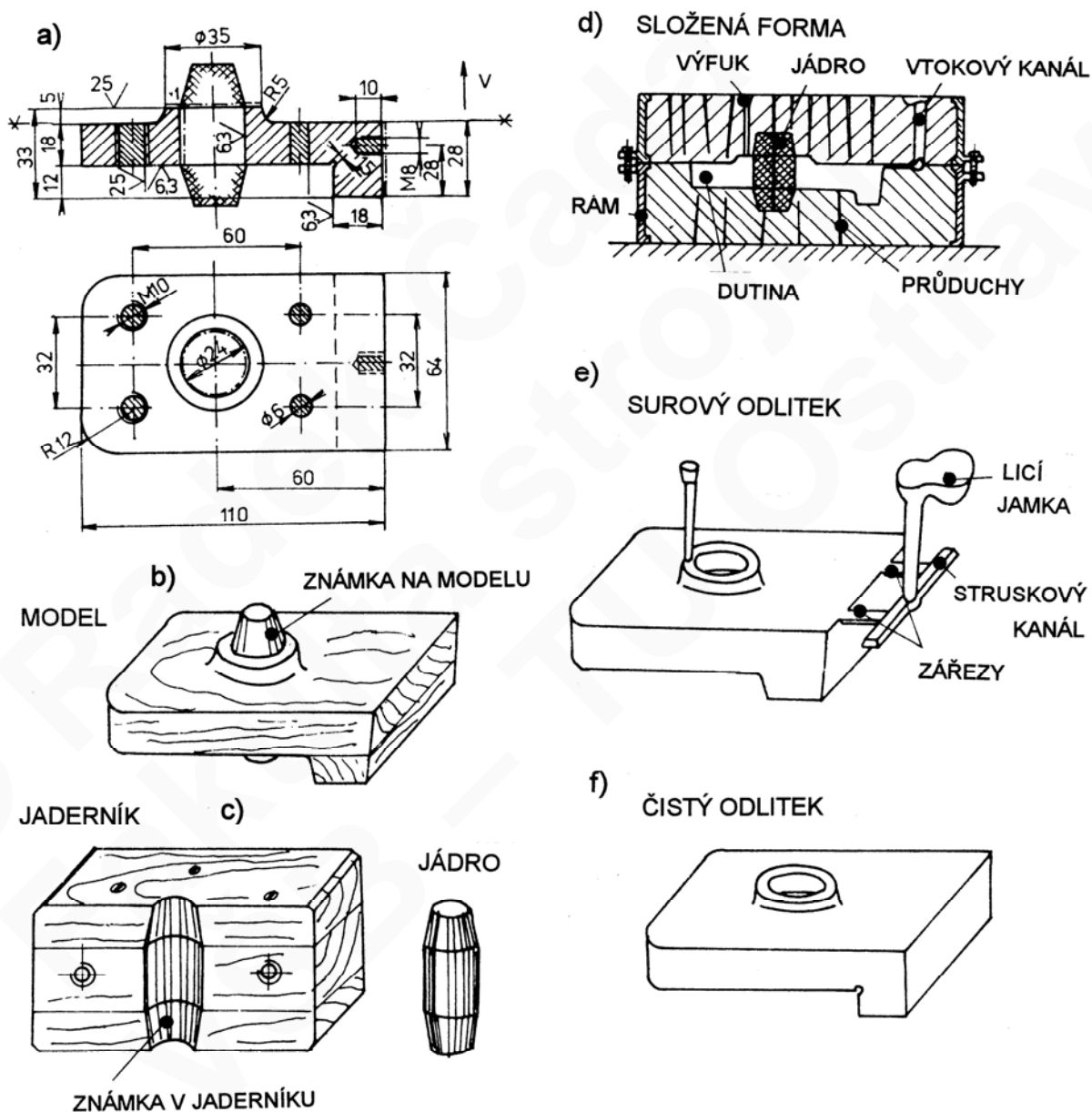
Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady použití slévárenských úkosů při výrobě součástí odléváním v praxi.

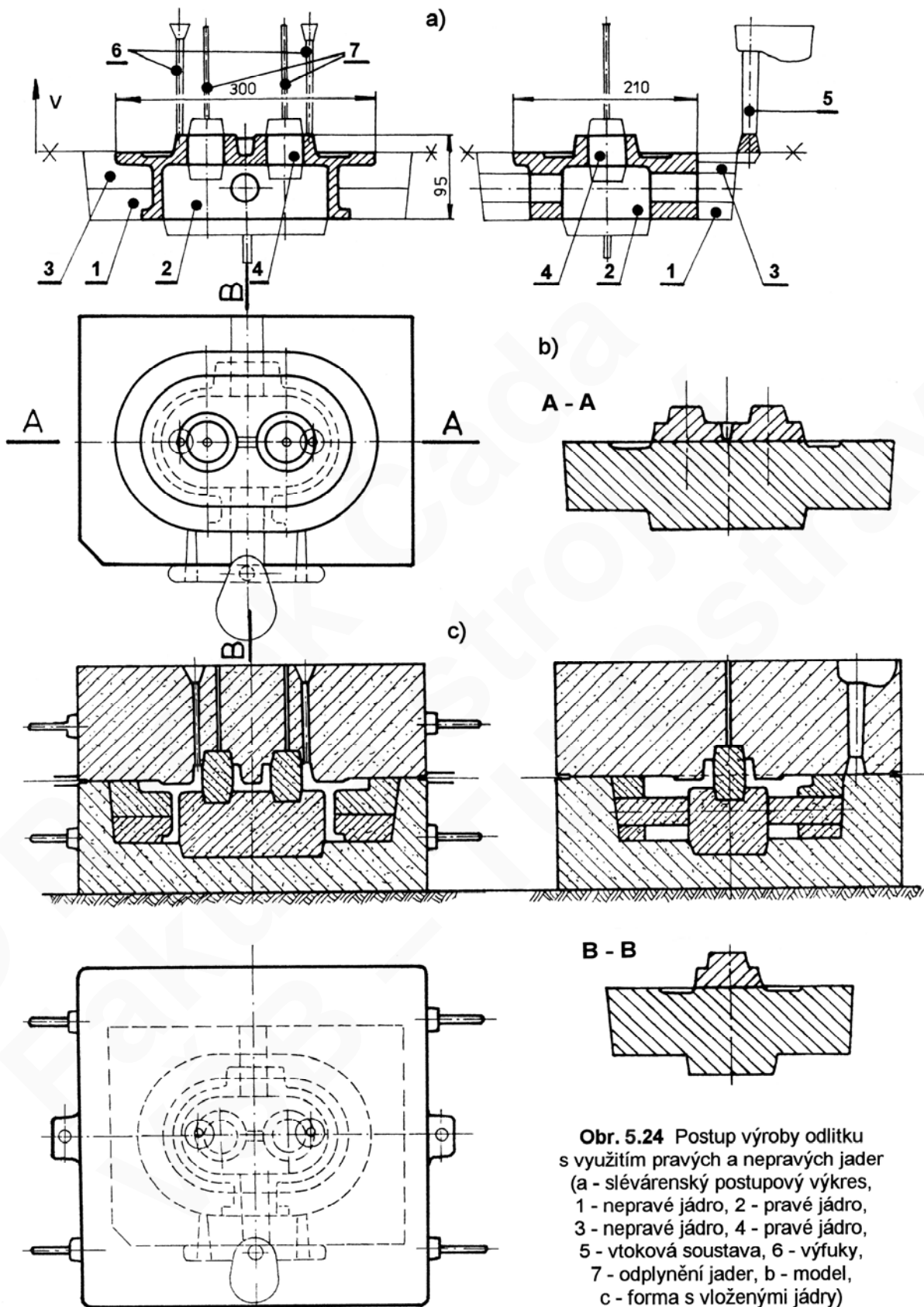
5.4.2 Výrobní postup modelového zařízení

Modelové zařízení zahrnuje kromě *modelu vlastního odlitku* i *modely vtokové soustavy* a *nálitků, jaderníky, šablony, modelové desky* a *další příslušenství*. 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). Základním podkladem pro vytvoření výrobního postupu modelového zařízení je *slévárenský postupový výkres*.

Model neodpovídá svým tvarem detailně tvaru budoucího odlitku, což je zřejmé z obr. 5.23, na kterém je uveden postup výroby jednoduchého odlitku s průchozím otvorem.



Obr. 5.23 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)




Výraznější rozdíly mezi tvarem odlitku a modelu jsou na obr. 5.24, kde pro zhotovení odlitku bylo potřebné použít tři pravá jádra a dvě nepravá jádra. Pravá jádra vytvořila dutinu v odlitku, nepravá jádra ulehčila formování (vytažení modelu z formy).

Model může být:

- a) nedělený** – pro kusovou výrobu (obr. 5.23),
- b) dělený** – pro kusovou a malosériovou výrobu (obr. 5.24 b),
- c) uložený na modelových deskách** – pro strojní formování při sériové a hromadné výrobě.

Při použití neděleného i děleného modelu se používá samostatný model vtokové soustavy, nálitků a výfuků. Při použití modelových desek jsou vtoková soustava, nálitky a výfuky její součástí.

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady použití jednotlivých druhů modelů při výrobě slévárenských forem v praxi.

Pro výrobu modelů a jaderníků se používají různé hmoty jako 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 **různými druhy nátěrů**. Nátěry musí být tvrdé a otěruvzdorné. Nejčastěji se používají nátěry epoxidové a polyesterové, které odolávají několikanásobně více otěru než lakové.

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.

Provedení modelového zařízení je závislé na stupni přesnosti, materiálu a jmenovitém rozměru modelového zařízení.

Modelové zařízení se vyrábí v šesti stupních přesnosti. Dřevěné modelové zařízení ve stupních 11, 12, 13 a kovové modelové zařízení ve stupních přesnosti 21, 22, 23 (ČSN 01 4471). Informativní přiřazení stupňů přesnosti modelových zařízení ke stupňům přesnosti odlitků (ČSN 01 4470) je uvedeno v tab. 5.24.

Tab. 5.24 Přiřazení stupňů přesnosti modelových zařízení ke stupňům přesnosti odlitků

Stupeň přesnosti odlitku	Stupeň přesnosti modelového zařízení
1	21
2	22
3	23 a 11
4	12
5 a 6	13

5.4.3 Výrobní postup odlitku

Výrobní postup odlitku je souhrn závazných směrnic a údajů, které jednoznačně určují podmínky výroby konkrétního odlitku. Výrobní postup odlitku je podkladem pro ekonomický rozbor výroby a kalkulace, určení potřeby materiálu, potřeby zaměstnanců, strojního zařízení apod.

Do výrobního postupu odlitku se zaznamenávají pouze ověřené údaje. Je-li třeba výjimečně napsat odhad, uvede se vždy v závorkách.

Vyplňují se následující položky:

- 1) *Název odlitku* – např. páka
- 2) *Pro výrobek* – např. pro soustruh
- 3) *Typ* – např. SU I
- 4) *Kusů pro jedno provedení* – např. 2
- 5) *Materiál podle ČSN* – např. 42 2410
- 6) *Druh odpadu* – značka odpadu podle určité vsázky
- 7) *Přejímací podmínky* – udá se norma, nebo zvláštní přejímací podmínky
- 8) *Způsob předávání* – výrobním osvědčením, přejímacím orgánem apod.
- 9) *Teoretická hmotnost v kg* – uvede se čistá hmotnost odlitku a předpoklad hmotnosti hrubé a surové
- 10) *Smrštění* – např. 8 ‰ na délku, 10 ‰ ostatní rozměry
- 11) *Modelové zařízení* – sepíše se veškeré modelové zařízení, např. dřevěný model, 3 dřevěné jaderníky, 1 kovový jaderník, 2 kontrolní šablony, 1 náliček, 1 volná část apod.
- 12) *Materiál modelu* – např. dřevo, hliník apod.
- 13) *Počet odlitků ve formovacím rámu*
- 14) *Formovací stroj* – uvede se číslo formovacího stroje
- 15) *Formovací rámy* – uvádějí se pouze vnitřní míry v mm:
délka x šířka / výška horního – výška dolního rámu (např. 500 x 300 / 150 – 100)
- 16) *Objem formy v m³* – vnitřní objem složených formovacích rámu
- 17) *Druh formování* – např. ruční, strojní, na sušení, na syrovo
- 18) *Formovací směs* – uvede se druh a číslo formovací směsi, spotřeba formovací směsi staré i nové v m³
- 19) *Sušení* – nevyšší sušicí teplota ve °C, jakož i doba sušení v hodinách, náběhová a ochlazovací doba.
- 20) *Chladítka* – druh a počet povrchových i vnitřních chladítek
- 21) *Výztuhy* – počet výztuh, hmotnost, druh materiálu (např. 3/24 litina)
- 22) *Vtoky* – udává se jejich počet a rozměry, uvedou se i lapače strusky a zářezy
- 23) *Výfuky, náličky* – udává se jejich počet a rozměry (např. 1 x 60 x 180 / 300)
- 24) *Způsob liti* – např. ručně, jeřábovou pánví, odstředivě
- 25) *Výlevka* – u ocelových odlitků se uvede její velikost a průměr
- 26) *Zatížení formy* – druh a hmotnost potřebného zatížení, případně stažená sponami
- 27) *Licí teplota* – uvádí se ve °C, zapisuje se po změření (např. 1460 °C)
- 28) *Licí doba* – uvádí se v sekundách, vychází se ze zkušeností

- 29) *Dolévání* – doba v minutách, potřebná pro dolévání nálitků
- 30) *Doba, po kterou může hotová forma stát* – doba v hodinách od složení formy až po odlití
- 31) *Uvolňování* – předepsání způsobu, jakým se má odlitek ve formě po odlití uvolňovat
- 32) *Doba, po kterou se ponechá odlitek ve formovací směsi* – doba v hodinách, po kterou musí odlitek zůstat po odlití ve formovací směsi, aby nepopraskal
- 33) *Průběžný čas ve formovně* – doba v hodinách, po kterou je forma formována, odlévána a po kterou odlitek chladne ve formě
- 34) *Náčrt* – nakreslí se výrobní náčrt odlitku v různých pohledech včetně podrobností, potřebných k formování (háčky, nálitky, chladítka, výztuhy, označení namáhaných míst, údaj o umístění zkušebních vzorků apod.)
- 35) *Druh čištění* – ručně, nebo strojně pomocí tryskačů
- 36) *Odstranění vtoků a nálitků* – řezáním, pálením, urážením
- 37) *Tepelné zpracování*
- 38) *Tvrдость materiálu* (např. 177/215 HB)
- 39) *Norma zmetkovitosti* – vypočte se podle vztahu:

$$n_z = \frac{m_{z0}}{m_{ho}} \cdot 100 \quad (\%), \quad (5.6)$$

kde je m_{z0} – hmotnost zmetků (kg),
 m_{ho} – hmotnost vyrobených hrubých odlitků (kg).

- 40) *Jednicový čas v hodinách na 100 kg hrubých odlitků* – uvede se součet úkolových hodin
- 41) *Index skupiny* – dvojcíslo, jehož první číslo tvoří hmotnostní třída (1 až 5) a druhé stupeň složitosti (1 až 3)
- 42) *Průběžný čas v čistírně*
- 43) až 49) *Skutečná hmotnost v kg, chemické složení* apod.
- 50) až 56) *Připomínky kontroly o vadách a způsobu jejich odstranění* (např. příčina zmetku – nedolití, způsob odstranění – dolévat do předepsané výšky nálitku $h = 300$ mm)
- 57) až 62) *Rubriky pro podpisy*
- 63) až 69) *Administrativa* – data apod.
- 70) *Surová hmotnost 1 ks* – hmotnost tekutého kovu v kg, ztuhlého ve formě pro 1 kus
- 71) *Hrubá hmotnost 1 ks* – hmotnost očištěného odlitku bez vtoků a nálitků. Hrubý odlitek je konečným produktem slévárny. U ocelových odlitků se rozumí odlitek žíhaný, u kujné litiny odlitek zkujněný.
- 72) *Čistá hmotnost 1 kg* – hmotnost odlitku obrobeného podle výkresu a podle tolerancí, předepsaných výkresem. Tuto hmotnost vypočítává konstruktér a poznamenává ji na výkresu.
- 73) *Procento využití* – uvádí se hodnota, vypočtená ze vztahu:

$$p_v = \frac{m_h}{m_s} \cdot 100 \quad (\%), \quad (5.7)$$

kde je m_h – hrubá hmotnost 1 ks odlitku (kg)
 m_s – surová hmotnost 1 ks odlitku (kg)

74) Počet slévárenských zmetků (vlastních)

75) Počet zmetků vrácených zvenku

76) Celkový počet zmetků

77) Počet zmetků v procentech – uvede se hodnota, vypočtená ze vztahu:

$$p_z = \frac{p_{zc}}{p_k} \cdot 100 \quad (\%), \quad (5.8)$$

kde je p_{zc} – celkový počet zmetků (ks),
 p_k – počet kusů zakázky (ks).

78) Příčina zmetkovitosti – zapisuje kontrola

79) Jméno formiře

80) Číslo kontrolního archu

81) Poznámka – např. předlitá čísla při objednávce velkých odlitků

82) Poznámky o provedených změnách – zaznamenají se změny, provedené se souhlasem hlavního metalurga. Píší se červenou barvou.

5.4.4 Výkres odlitku

Na výkresu odlitku jsou zachyceny odchylky rozměrů a tvaru odlitku vzhledem ke konečnému výrobku (obrobenému odlitku).

V technické praxi se u jednoduchých součástí při malých počtech vyráběných kusů nekreslí samostatný výkres odlitku. Výkres odlitku se většinou zakresluje barevně přímo do kopie výkresu součásti, jejímž polotovarem je odlitek.

Výkres odlitku je závazným podkladem pro přebírání a expedici odlitků.

5.4.5 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. I v této etapě je potřebná úzká spolupráce s konstruktérem.

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.

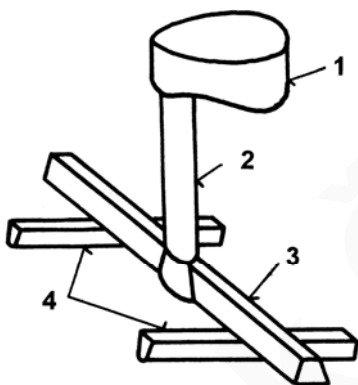
Sériová výroba odlitku je již vlastní výroba potřebného množství odlitků v požadovaných termínech. Při sériové výrobě by nemělo docházet k zásahům do technologie výroby odlitků. Dobrá příprava v předvýrobní etapě, výsledky ověřování a úspěšná nultá série jsou nutným předpokladem kvalitní sériové výroby.

5.5 Vtoková soustava

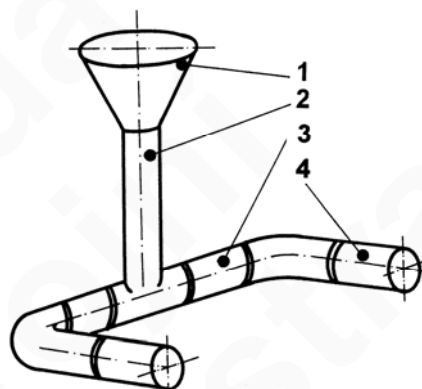
Základními prvky vtokové soustavy jsou:

- a) vtoková jamka,
- b) vtokový kanál,
- c) struskový nebo rozváděcí kanál,
- d) zářezy.

Standardní typy vtokové soustavy jsou znázorněny pro odlitek ze šedé litiny na obr. 5.25 a pro odlitek z oceli na odlitky na obr. 5.26.



Obr. 5.25 Standardní typ vtokové soustavy pro odlitek ze šedé litiny (1 – vtoková jamka, 2 – vtokový kanál, 3 – struskový kanál, 4 – zářez)



Obr. 5.26 Standardní typ vtokové soustavy pro odlitek z oceli (1 – lící nálevka, 2 – vtokový kanál, 3 – rozváděcí kanál, 4 – zářez)

Vtoková soustava musí zaručovat:

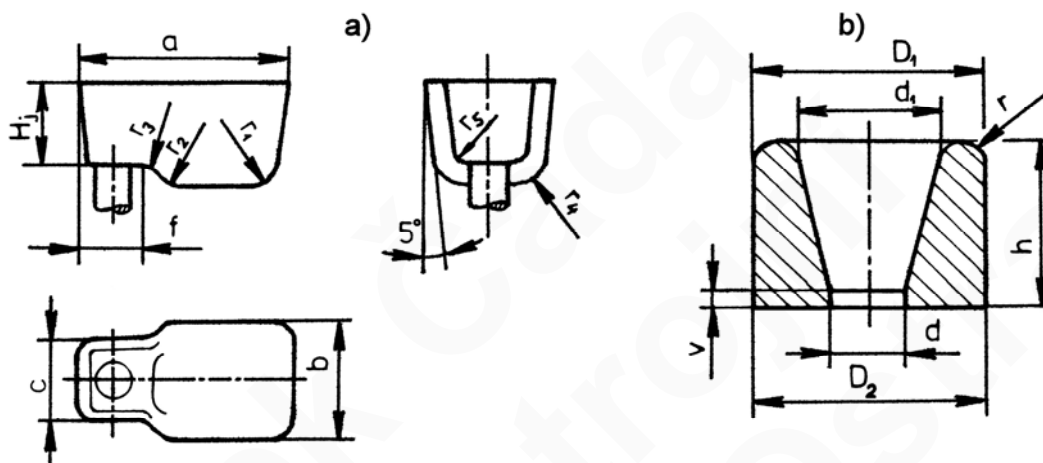
- a) *dokonalé naplnění formy* při klidném, stejnoměrném a pokud možno laminárním toku kovu, bez nasávání vzduchu a plynů, bez poškození stěn vtokové soustavy a dutiny formy.
- b) *odloučení nekovových vměstků* (strusky a části písku) stržených v předchozích částech vtokové soustavy.
- c) *plnění dutiny formy kovem určitou přípustnou rychlostí*, aby se zabránilo mechanickému poškození částí formy a jader.
- d) *naplnění formy ve stanovené době*, nepřesahující určitou maximální dobu lití, aby nenastalo termické poškození formy teplem, sálajícím z kovu. Doba lití se však nesmí zkrátit pod určitou minimální dobu lití, aby všechen vzduch a všechny plyny mohly uniknout z formy výfuky a průduchy. Forma musí být vyplněna dříve, než začne tuhnout kov do ní odlitý.
- e) *stejněměrné, popřípadě usměrněné tuhnutí odlitku*, aby se zabránilo tvoření ředin, staženin a trhlin při smršťování. Proto je důležité i místo přívodu kovu.

Dále je nutné při navrhování vtokové soustavy:

- a) volit správně místo přívodu kovu,
- b) sestavit prvky vtokové soustavy tak, aby vtoková soustava byla po celou dobu lití uzavřena (zaplněna) kovem,

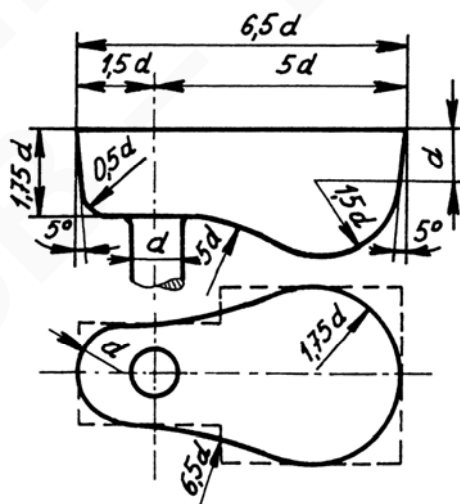
- c) zajistit správnou dobu plnění formy,
- d) zajistit přípustné rychlosti vtékání do formy a stoupání hladiny kovu ve formě,
- e) zabezpečit tlak, dostačující k dokonalému naplnění formy.

Vtoková jamka (obr. 5.25, 5.26 a 5.27) slouží k zachycení proudu kovu z lící pánve a jeho usměrnění do vtokového kanálu. Dále musí zachytit strusku, která se sem dostala z pánve. Z tohoto důvodu musí být od začátku do konce lití neustále plná. Vtoková jamka dle obr. 5.25 je běžná při odlévání šedé litiny. Výhodný je **hranatý tvar vtokové jamky** (obr. 5.27 a), který ruší víření proudu kovu z pánve. Při lití z pánve se spodní výpustí (ocelářská pánve) se používá vtoková jamka jednoduchého trychtýřovitého tvaru – **nálevka** (obr. 5.26 a 5.27 b), jejíž odstruskovací účinek je malý.



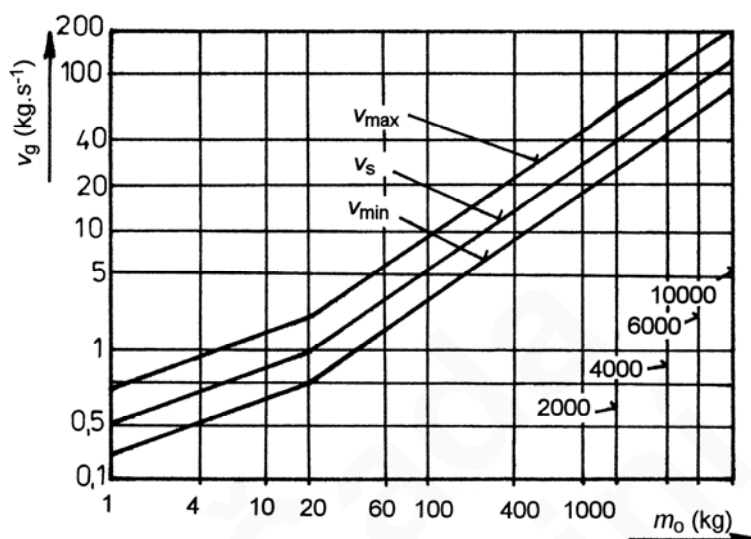
Obr. 5.27 Vtoková jamka (a – pro odlévání šedé litiny, b – pro odlévání oceli na odlitky)

Rozměry vtokové jamky pro odlévání šedé litiny lze pro odlitky větších hmotností navrhnout podle objemu vtokové jamky z tab. 5.25. Potřebný objem vtokové jamky je závislý na střední tíhové rychlosti lití, kterou lze stanovit z diagramu na obr. 5.28. Pro odlitky menších hmotností lze vtokovou jamku navrhnout podle horního průměru vtokového kanálu dle obr. 5.28.



Obr. 5.28 Rozměry vtokové jamky pro odlévání odlitků menších hmotností ze šedé litiny

Rozměry vtokové nálevky pro odlévání oceli na odlitky lze navrhnout podle tab. 5.26 na základě průměru vtokového kanálu d .



Obr. 5.29 Diagram pro určení střední tíhové rychlosti lití u odlitků ze šedé litiny

Tab. 5.25 Nejpoužívanější rozměry vtokových jamek (odlévání šedé litiny)

Číslo vtok. jamky	Střední rychlost lití v_g (kg . s ⁻¹)	Objem jamky (dm ³)	H_j	a	b	c	f	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
			(mm)									
1	do 1,3	0,16	38	100	62	44	34	34	26	6	38	16
2	1,3 ÷ 1,8	0,25	44	114	70	52	40	40	30	7	44	20
3	1,8 ÷ 2,6	0,4	52	135	80	60	46	44	36	8	52	24
4	2,7 ÷ 3,6	0,6	60	152	90	70	54	52	42	9	60	28
5	3,7 ÷ 5,0	1,0	70	181	105	80	62	60	48	10	70	32
6	5,0 ÷ 6,5	1,6	82	222	124	94	72	70	56	12	82	38
7	6,5 ÷ 9,0	2,5	95	246	144	110	82	80	66	14	95	44
8	9,0 ÷ 12,5	4,0	112	290	168	128	96	95	76	16	112	52
9	12,6 ÷ 17,0	6,3	130	330	195	150	112	105	90	20	130	60

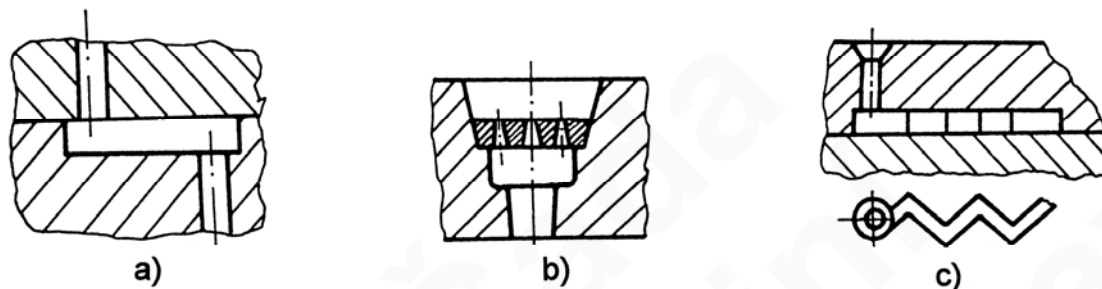
Tab. 5.26 Nejpoužívanější rozměry vtokových nálevek (odlévání oceli na odlitky)

d (mm)	d_1 (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	v (mm)	h (mm)	r (mm)
20	50	65	70	10	50	10
25	65	85	90	10	60	15
30	75	100	105	10	75	15
35	85	110	120	15	85	20
40	100	130	140	15	100	20
45	110	140	155	15	110	20
50	125	160	175	15	125	25
60	150	190	210	20	150	30
70	175	230	250	20	175	35
85	210	280	300	20	200	40
100	250	325	350	20	250	50

Vtokový kanál slouží k přivedení tekutého kovu z vtokové jamky do úrovně zářezů. Je obvykle svislý. Mívá většinou kruhový průřez, který se směrem dolů kuželovitě zužuje. Kuželovitost běžně používaných vtokových kanálů bývá 4° (3 až 5°).

Pouze při lití elektronu je průřez vtokového kanálu obdélníkový, aby kov klidně proudil.

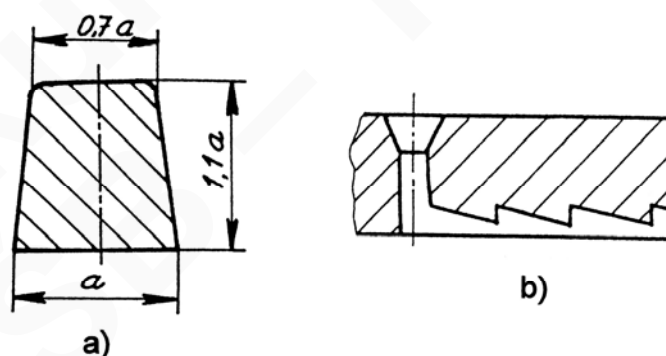
Pěchování formy kolem vtokového kanálu musí být věnována náležitá pozornost, protože tímto kanálem protéká při lití prakticky všechny kov. Jsou-li obavy, že přímý licí kanál by byl příliš vysoký a licí rychlost příliš vzrůstala, je možno ji zmenšit například zaformováním **kanálu zvlněného**, nebo ve vícedílné formě **přesazením** (obr. 5.30 a). Licí rychlost rovněž sníží **keramické cedítko**, zaformované do licí jamky (obr. 5.30 b), nebo **změna směru zářezu** dle obr. 5.30 c.



Obr. 5.30 Úpravy ke snížení licí rychlosti tekutého kovu

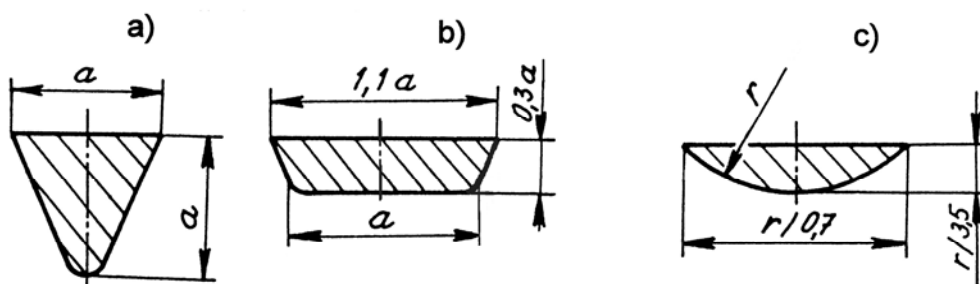
Struskový kanál bývá zpravidla vodorovný přičemž jeho dolní plocha je v dělicí rovině formy. **Rozvádí kov od vtokového kanálu k vtokovým zářezům a zachycuje strusku a nečistoty** (oxidy, písek apod.), které byly strženy proudem kovu. Účinnost struskového kanálu je však omezena rychlostí proudícího kovu. Jestliže tato rychlost překročí určitou kritickou hodnotu, nastává v něm značná turbulence proudu kovu, takže nečistoty nevyplavou a zůstanou v kovu. Kritická rychlost závisí na konstrukci struskového kanálu a velikosti nečistot a bývá mezi $0,25$ až $0,50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Průřez struskového kanálu bývá nejčastěji **lichoběžníkový** (obr. 5.31 a). Délka struskového kanálu musí zajistit potřebné odloučení nečistot. Zachycení nečistot včetně strusky se provádí s úspěchem pilovitou úpravou struskového kanálu dle obr. 5.31 b. **Při odlévání oceli na odlitky** se používá **rozváděcí kanál kruhového průřezu**.



Obr. 5.31 Struskový kanál (a – průřez, b – podélný profil)


Zářezy jsou posledním prvkem vtokové soustavy. **Spojují struskový nebo rozváděcí kanál s dutinou formy**. Mívají průřez dle obr. 5.32 a, b, c. Zářezy jsou zpravidla rozmístěny na obvodu odlitku proto, aby kov zaplňoval formu stejnoměrně, bez víření a stříkání.



Obr. 5.32 Průřezy zářezů vtokové soustavy

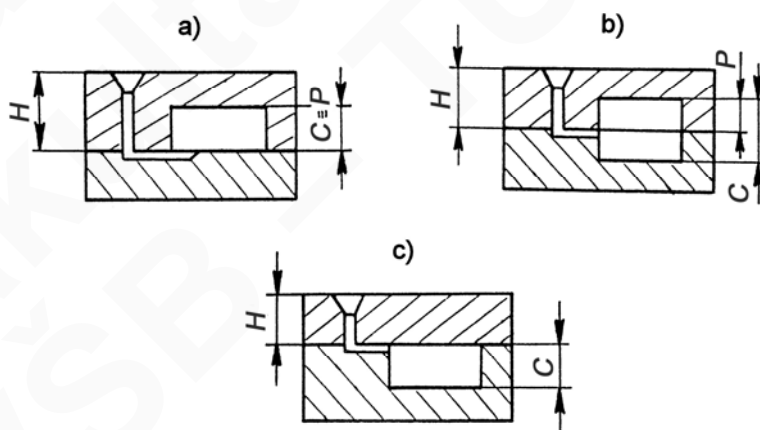
Zářezy nemají být umístěny proti jádru nebo výstupku formy, aby nedošlo k porušení těchto částí formy vtékajícím kovem. Zářez má být proveden tak, aby nedošlo k poškození odlitku při odstraňování odlitých zářezů (vhodné umístění a průřez).

Napojení zářezu nesmí být provedeno až na konci struskového kanálu. Při zvětšení délky zářezu se zvětšuje ochlazování kovu a nebezpečí nezaběhnutí kovu do některých částí formy.

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady použití jednotlivých typů vtokových soustav výrobě odlitků v praxi.

5.5.1 Volba způsobu zaústění vtoku do formy

Podle místa, kudy proudí kov do dutiny formy, se rozeznávají *formy se spodním, vrchním a středním vtokem* (obr. 5.33).



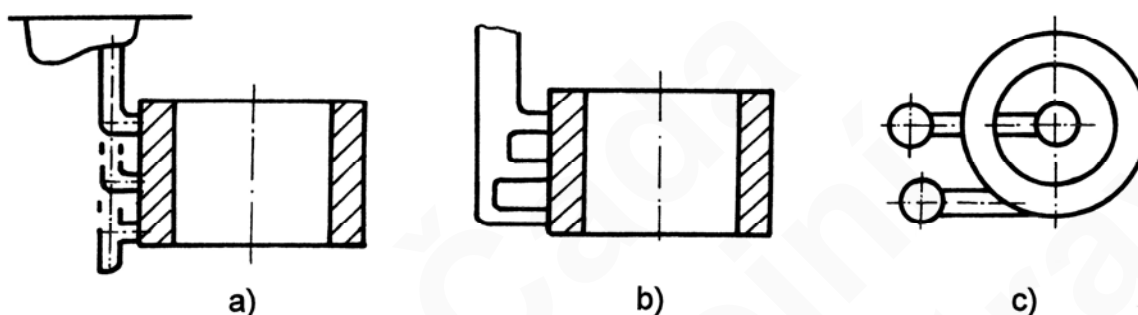
Obr. 5.33 Typy zaústění vtoků do formy (a – spodní, b – střední, c – vrchní vtok)

Spodní vtok má výhodu v *klidném plnění formy*. Hladina stoupá bez víření. Nevýhodou je ochlazování hladiny kovu po celou dobu lití a tudíž nálitky dostávají chladnější kov. Spodního vtoku se používá u tenkostěnných a složitých odlitků, které tuhnou téměř současně v celém svém objemu.


Vrchní vtok se používá u takových odlitků, které mají být bez vnitřních vad, zvláště staženin a ředin. Chladnutí kovu nastává ode dna formy. Nejteplejší kov vtéká do formy až ke konci lití, obvykle do náličky, takže vzniká *příznivé usměrněné tuhnutí*. Vtoková soustava s vrchním vtokem je výhodná pro odlitky, které mají být hutné (ingoty, válce spalovacích motorů, tělesa hydraulických rozvodů).

Střední vtok je označení pro vtokovou soustavu se zářezy uprostřed výšky formy. Tento typ vtokové soustavy je *nejčastěji používaný*, protože většina forem je dvojdílných, takže zářezy je možno upravit v dělicí rovině formy.

Různé způsoby zaústění vtoků do formy jsou znázorněny na obr. 5.34.



Obr. 5.34 Příklady zaústění vtoků do formy (a – zaústění horní, střední, spodní, b – etážový vtok, c – půdorysné uspořádání vtoků radiální a tangenciální)

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady použití jednotlivých typů zaústění vtoků do formy při výrobě odlitků v praxi.

5.5.2 Navržení vtokové soustavy

Při návrhu vtokové soustavy se určuje velikost průřezů jednotlivých prvků vtokové soustavy, tj. průřez vtokového kanálu S_k , struskového kanálu S_s (u oceli na odlitky rozváděcího kanálu S_r) a zářezů S_z . Metoda výpočtu vtokové soustavy vychází z *Bernoulliho rovnice pro nejužší místo vtokové soustavy*, kterým jsou zářezy.

Hmotnost obrobeného odlitku, tj. hmotnost součásti:

$$m = V_o \cdot \rho \quad (\text{kg}), \quad (5.9)$$

kde je V_o – objem obrobeného odlitku (m^3),
 ρ – hustota kovu ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Hustota železa $\rho_{\text{Fe}} = 7874 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, hustota šedé litiny $\rho_{\text{Sl}} = 7200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, hustota oceli na odlitky $\rho_o = 7800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Hmotnost surového odlitku, tj. včetně vtoku, výfuku a náličky:

a) pro odlitky ze šedé litiny:

$$m_o \cong 1,2 \cdot m \quad (\text{kg}), \quad (5.10)$$

b) pro odlitky z oceli na odlitky:

$$m_o \cong 1,5 \cdot m \quad (\text{kg}). \quad (5.11)$$

Množství kovu o hmotnosti m_o musí vyplnit formu za určitý čas, tzv. *dobu odlévání*. Tato doba odlévání je důležitá pro docílení kvalitního odlitku. *Je-li příliš krátká*, vtéká kov do formy rychle s vířením a stříkáním, může oxidovat a porušovat části formy. *Je-li doba odlévání příliš dlouhá*, ochlazuje se kov o stěny formy, jeho hladina v dutině formy tuhne a na odlitku jsou pak zavaleny nebo nezaběhlá místa.

Optimální doba odlévání se počítá dle následujících empirických vztahů:

a) pro drobné a střední odlitky (tj. o hmotnosti do 450 kg):

$$t_o = s \cdot \sqrt{m_o} \quad (\text{s}), \quad (5.12)$$

b) pro velké odlitky:

$$t_o = s \cdot \sqrt[3]{m_o} \quad (\text{s}), \quad (5.13)$$

kde je m_o – hmotnost odlitku (kg),
 s – koeficient, závislý na střední tloušťce stěny odlitku (–).

Litina: $s = 1,63$... pro tl. 3 až 4 mm
 $s = 1,85$... pro tl. 5 až 8 mm
 $s = 2,20$... pro tl. 8 až 15 mm

Ocel: $s = 1,1$... pro tenkostěnné odlitky
 $s = 2$ až $2,4$... pro jednoduché silnostěnné odlitky

Střední tlaková výška vtokové soustavy:

$$H_p = H - \frac{P^2}{2C} \quad (\text{m}), \quad (5.14)$$

kde je C – maximální výška odlitku (m),
 P – výška odlitku nad zářezem (m),
 H – výška vtokového kanálu nad zářezem (m).

Hodnoty C , P , H jsou znázorněny na obr. 5.33.

Rychlost toku kovu se stanoví ze vztahu:

$$v = \mu \cdot \sqrt{2g \cdot H_p} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}), \quad (5.15)$$

kde je μ – odporový součinitel vtokové soustavy (–),
 g – tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$),
 H_p – střední tlaková výška vtokové soustavy (m).

Hodnoty μ se volí: 0,27 až 0,55 ... pro litinu,
0,30 až 0,41 ... pro ocel,
0,60 až 0,70 ... pro neželezné kovy.

Průřez zářezů, tj. celkový součet všech průřezů jednotlivých zářezů, se stanoví z *Bernoulliho rovnice pro nejužší místo vtokové soustavy*:

$$S_z = \frac{m_0}{\rho \cdot v \cdot t_0} \quad (\text{m}^2), \quad (5.16)$$

kde je m_0 – hmotnost surového odlitku (kg),
 ρ – hustota tekutého kovu, tj. taveniny ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), viz tab. 5.27.
 v – rychlost toku kovu ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),
 t_0 – optimální doba odlévání (s).

Tab. 5.27 Hustoty některých kapalin

Kapalina	Teplota t ($^{\circ}\text{C}$)	Hustota ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
šedá litina (3,27 % C)	1300	6100
ocel na odlitky (0,3 % C)	1535	6500
hliník	700	2370
voda	20	1000
rtuť	20	13596



Průvodce studiem

Bernoulliho rovnice zní: $S \cdot v = \text{konst.}$, což znamená, že při proudění kapalin se při zmenšení průřezu zvětší rychlost toku a naopak.

Průřez zářezů S_z je základem pro výpočet průřezů ostatních prvků vtokové soustavy. Pro *přetlakové vtokové soustavy* platí podmínka: *průřez vtokového kanálu v nejužším místě (S_k) > průřez struskového kanálu (S_s), resp. průřez rozváděcího kanálu (S_r) > průřez zářezů (S_z).*

Vzájemný poměr průřezů jednotlivých kanálů se volí:

$S_k : S_s : S_z = 2 : 1,5 : 1$... velké a střední odlitky ze šedé litiny,
 $S_k : S_s : S_z = 1,4 : 1,2 : 1$... jednoduché a drobné odlitky ze šedé litiny,
 $S_k : S_r : S_z = 1,11 : 1,06 : 1$... tenkostěnné ocelové odlitky,
 $S_k : S_r : S_z = 1 : 1 : 1$... ocelové odlitky.

Pro odlévání neželezných kovů se používá *podtlaková vtoková soustava*:

$S_k : S_s : S_z = 1 : 1,5 : 2,5$.

Při návrhu průřezů jednotlivých kanálů je třeba mít na zřeteli *rozdělování celkového proudu kovu z vtokového kanálu do jednotlivých kanálů s ohledem na jejich větvení* (např. rozdělí-li se proud do 4 stejných průřezů, každý z nich by měl mít pouze čtvrtinovou velikost).

5.5.3 Navržení výfuku

Při odlévání kovu do formy musí tekutý kov vytlačit z dutiny formy vzduch, jehož objem se značně zvětší zahřátím a rovněž páry a plyny, které se vylučují ve velkém množství z formovací směsi. Navíc vznikají plyny vylučováním z tekutého kovu při tuhnutí.

K odstranění těchto plynů nestačí samotná prodyšnost formovací směsi. Proto je nutno vytvořit jednak *průduchy* ve formovací směsi bodcem, jednak zvláštní kanály, které se nazývají *výfuky*.

Výfuk je *hlavní odplyňovací kanál, který se umísťuje na nejvyšším místě odlitku*, aby nebyl při lití proudící kov brzděn nahromaděnými plyny a aby dobře vyplnil formu. Výfuky se umísťují rovněž 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°.

Celkový průřez potřebných výfuků lze vypočítat z empirického vzorce:

$$S_v = 3 \cdot \frac{v_k \cdot S_k}{43 \cdot \sqrt{t_2 - t_1}} \quad (\text{cm}^2), \quad (5.17)$$

kde je v_k – rychlost toku kovu ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$),
 S_k – průřez vtokového kanálu (cm^2),
 t_2 – teplota vzduchu po lití ($^{\circ}\text{C}$). Volí se zpravidla 200°C .
 t_1 – teplota vzduchu v okolí formy ($^{\circ}\text{C}$).

Kromě odplynění formy plní výfuky i další funkce – 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.

Výfuk by měl být tak upraven, aby se dal odstranit uražením.

Funkci výfuku mohou rovněž plnit otevřené nálitky, které se umísťují na nejvyšších místech odlitku nad tepelnými uzly a jejichž horní povrch je spojen s atmosférou.



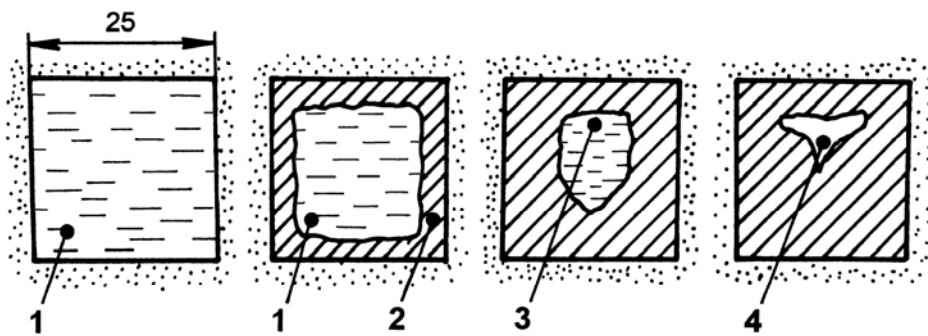
Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady použití výfuku při výrobě odlitků v praxi.

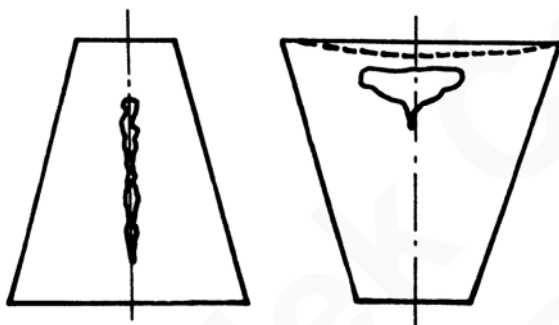
5.6 Nálitkování odlitků

Snahou slévárenské technologie je, aby odlitek tuhl tak, že soustředěná nebo rozptýlená staženina se vytvoří mimo odlitek v tzv. *nálitku*.

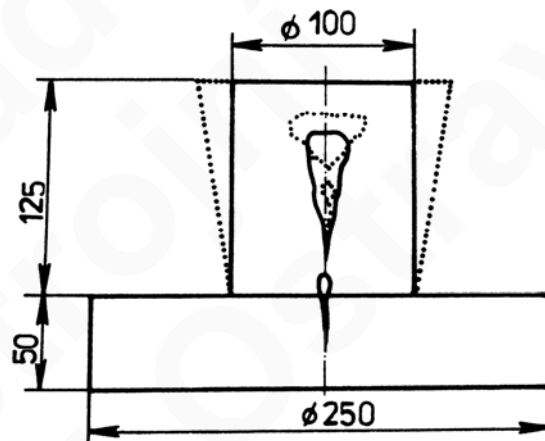
Běžné odlitky jsou odlévány do uzavřených forem, takže tuhnou v izolovaném prostředí pískové formy. Smršťování za těchto okolností probíhá v celém odlitku nepravidelně, jak je patrné z obr. 5.35. Protože dochází k přeměně skupenství menší hustoty ve skupenství hustoty větší, vznikne nakonec v tomto omezeném prostoru dutina, tzv. *staženina*.



Obr. 5.35 Tuhnutí oceli (1 – tavenina, 2 – tuhá kůra, 3 – počátek vnitřní dutiny, 4 – staženina)



Obr. 5.36 Tvar staženiny v závislosti na tvaru odlitku



Obr. 5.37 Úprava nevhodného tvaru nálitku (provedena tečkovaně)

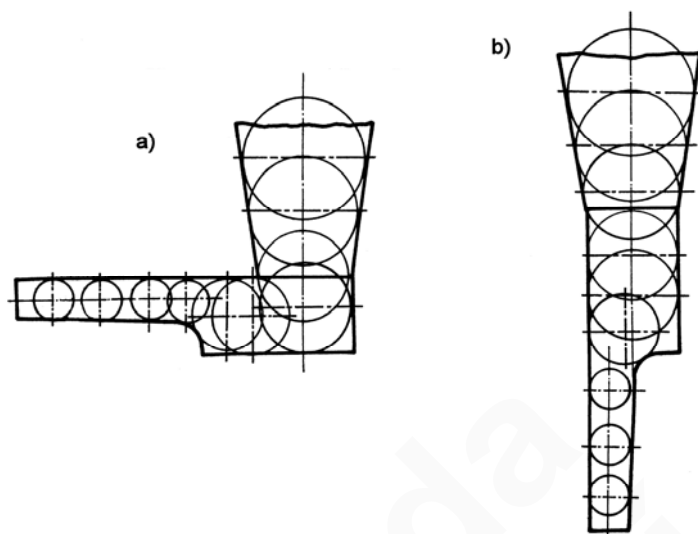
Při tuhnutí a tvorbě staženiny záleží rovněž na tvaru tuhnoucího odlitku, jak je patrné z obr. 5.36. Staženina nesmí zasahovat až do odlitku. Na obr. 5.37 je nálitková deska s válcovým nálitkem, který však nevyhovuje, protože staženina pokračuje až do desky. Rozšíří-li se náliček, docílí se vývoje staženiny ve vyšších polohách nálitku, kde již nezasahuje do odlitku (na obr. 5.37 vyznačeno tečkovaně).

Při složitějším tvaru odlitku, u něhož se vyskytuje rozdílná tloušťka stěny, nutno počítat s tím, že v tlusté části, tzv. **tepelném uzlu**, chladne odlitek pomaleji, než v části tenké. K zabránění vzniku staženiny v těchto místech je nutno k takové části odlitku připojit **náliček**. Náliček musí mít takovou velikost a polohu, aby koule vepsaná do tepelného uzlu odlitku prošla snadno do nálitku, jak je znázorněno na obr. 5.38.



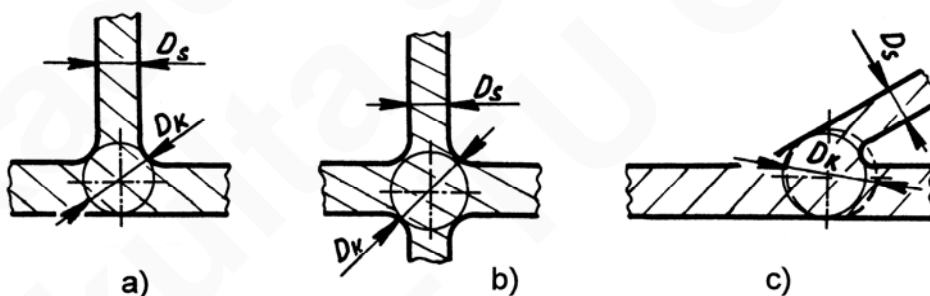
Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady tepelných uzlů u odlitků v praxi.



Obr. 5.38 Připojení nálitků k tlustým částem odlitku (a – uspořádání vodorovné, b – uspořádání svislé, které je vhodnější, vzhledem k doplňovacímu hydrostatickému tlaku)

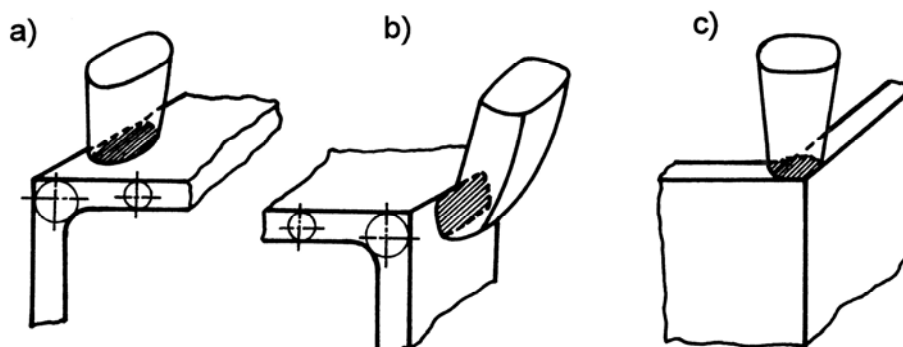
Velmi přibližně lze vyjádřit velikost tepelného uzlu poměrem průměru koule, vepsané do uzlu D_k , k průměru koule, vepsané do přilehlé stěny D_s . Čím je tento poměr větší, tím je relativně větší tepelný uzel. Pro různé druhy styku stěn odlitku jsou velikosti tepelných uzlů znázorněny na obr. 5.39 a, b, c.



Obr. 5.39 Přibližné vyjádření velikosti tepelného uzlu

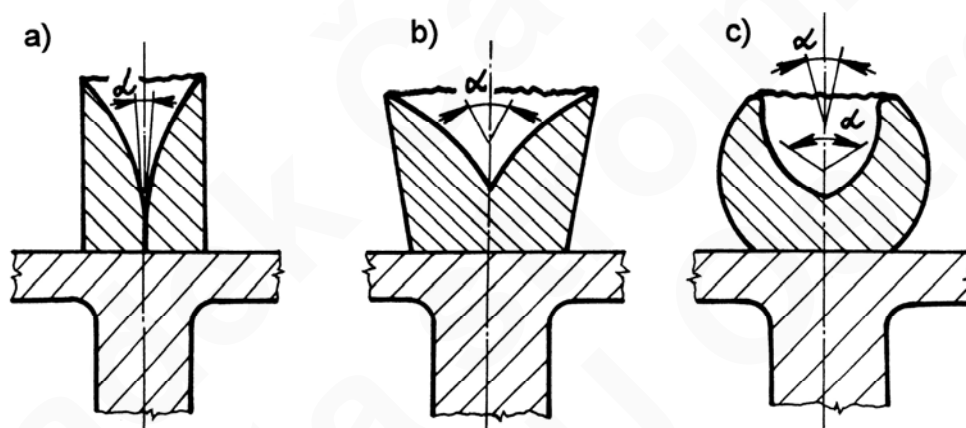
$$\text{a) } \frac{D_k}{D_s} = 1,6, \quad \text{b) } \frac{D_k}{D_s} = 2, \quad \text{c) } \frac{D_k}{D_s} = 1,9.$$

Příklady nálitkování tzv. „L“ uzlu jsou znázorněny na obr. 5.40. Je-li tento uzel v dolní části odlitku, je velmi obtížné připojit náliček. Zmenšení poloměru zaoblení vnitřní hrany by sice zmenšilo tepelný uzel, přivedlo by však posun tepelné osy, a tím i stažení k vnitřní hraně a nastalo by nebezpečí jejího vyústění navenek. Proto se tato úprava nedoporučuje.



Obr. 5.40 Příklady nálitkování tzv. "L" uzlu

Tvorba staženiny v závislosti na podélném profilu nálitku je znázorněna na obr. 5.41.




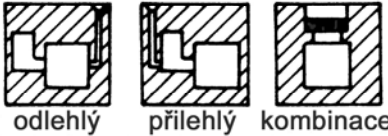
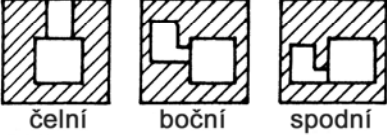
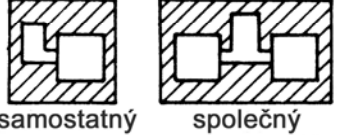



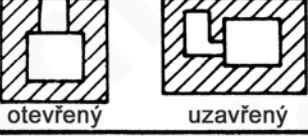
Obr. 5.41 Tvorba staženiny v závislosti na podélném profilu nálitku

U některých slévárenských slitin, jejichž smrštitost je nízká (například šedá litina), se nálitky užívají jen zřídka. U ocelových odlitků téměř vždy. Náletek má tuhnout z celého odlitku nejpozději, a to tak, aby mohl doplňovat tekutý kov do odlitku během tuhnutí.

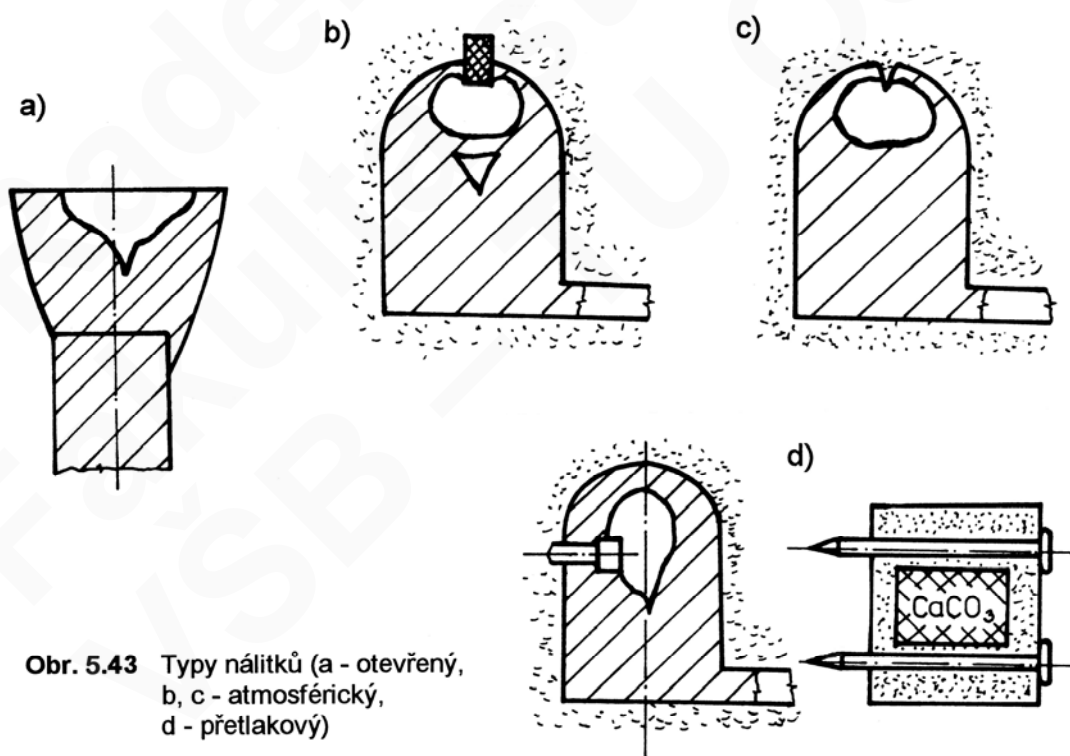
Nálitky lze rozdělit z mnoha hledisek. Přehled různých typů nálitků je uveden v obr. 5.42.

Základní rozdělení nálitků je na **otevřené** a **uzavřené**. Otevřený náletek je znázorněn na obr. 5.43 a. Uzavřené nálitky se dále dělí na **atmosférické** (obr. 5.43 b, c), **podtlakové** a **přetlakové** (obr. 5.43 d).

U atmosférického uzavřeného nálitku je vznikající staženina spojena s atmosférou. Na obr. 5.43 b je spojení s atmosférou provedeno pomocí **keramického prodyšného jádérka**. Na obr. 5.43 c je provedena úprava zaformování špičky na vrcholu dutiny nálitku, která propichuje vznikající kůru tekutého kovu na vrcholu nálitku.

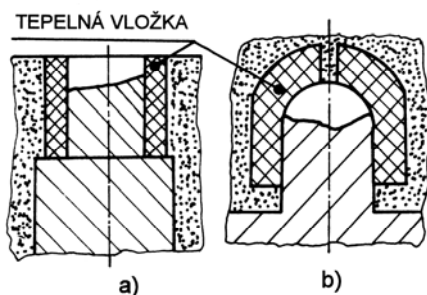
ZNAK	SCHÉMATICKÝ OBRÁZEK	ZNAK	SCHÉMATICKÝ OBRÁZEK
Tvar	 koule válec hranol ostatní	Poloha	 odlehlý přilehlý kombinace
Umístění	 čelní boční spodní	Uspořádání	 samostatný společný
Tepelný režim	 normální izolovaný exotermický	Způsob oddělení	 řezání urážení
Tlak	 podtlakový atmosférický přetlakový	Provedení	 otevřený uzavřený

Obr. 5.42 Schematický přehled typů nálitků



Obr. 5.43 Typy nálitků (a - otevřený, b, c - atmosférický, d - přetlakový)

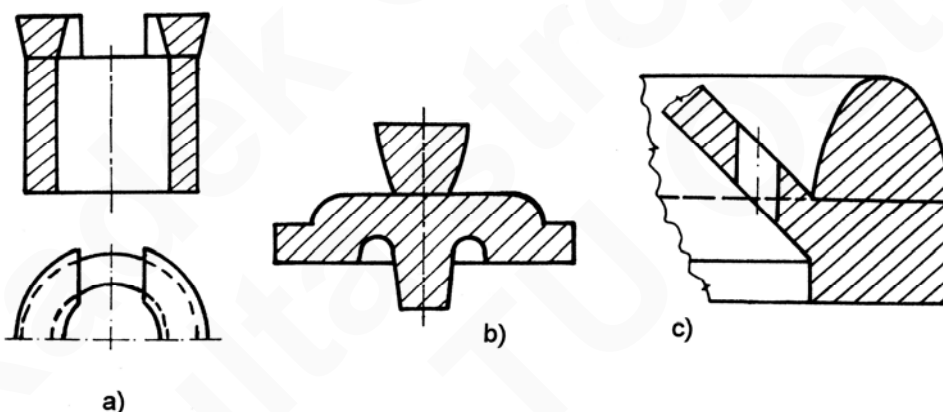
Při zvětšujícím se objemu staženiny během tuhnutí odlitku vzniká podtlak. Je-li zapotřebí aby nálietek doplňoval do odlitku kov velmi spolehlivě, dělá se nálietek jako **přetlakový** (obr. 5.43 d). Do dutiny nálitku ve formě se upevní keramické tělíčko s náplní vápence (obr. 5.43 d). Po nalití horkého kovu se vápenec CaCO_3 teplem rozloží na $\text{CaO} + \text{CO}_2$ a tím vznikne v nálitku potřebný přetlak. Aby v nálitku mohl vzniknout tlak, musí se plynatvorná látka rozkládat opožděně, tj. až když se vytvořila povrchová vrstva ztuhlého kovu. Toho se dosáhne vhodnou tloušťkou izolačního pouzdra, jehož stěny se prohřejí na teplotu rozkladu za potřebnou dobu po odlití.



Obr. 5.44 Nálitky s tepelnou vložkou
(a – otevřený, b – uzavřený)

Na obr. 5.44 jsou znázorněny otevřený a uzavřený nálietek objemově menší, než odpovídá výpočtu. Jsou to nálitky s tepelnou (křemelinovou) vložkou, která zpomaluje odvod tepla z nálitku.

Aplikace nálitkování tlustých stěn je znázorněna na obr. 5.45. Obr. 5.45 a znázorňuje nálitkování trubkového tvaru odlitku, obr. 5.45 b, c znázorňuje nálitkování náboje a věnce spojkového kotouče.



Obr. 5.45 Příklady nálitkování tlustých stěn odlitků (a – nálitkování trubkového tvaru odlitku, b – nálitkování náboje spojkového kotouče, c – nálitkování věnce spojkového kotouče)



Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady použití nálitků při výrobě odlitků v praxi.

K usnadnění odstraňování nálitků, které je zvláště u tvrdých materiálů velmi obtížné a znamená značné zdražení výroby, se používají tzv. **snadno oddělitelné nálitky**. Takový nálietek vznikne tím, že mezi odlitek a nálietek se umístí **podnáliťková vložka**, která mezi oběma vytvoří úzký krček s vrubem, v němž se nálietek snadno urazí.

Podnálitková vložka je tenká destička ze žáruvzdorného materiálu (šamot), která má ve svém středu otvor pro spojení mezi nálitkem a odlitkem. I když se zdá, že není dodrženo pravidlo vepsané koule, při správném použití pracují takové nálitky dobře. Je to tím, že se tenká vložka rychle prohřeje na teplotu tekutého kovu a přestane téměř odvádět teplo, takže nálietek ztuhne tak, jako by tam vložka nebyla.

Tekutý kov je doplňován nejmohutněji tepelným středem, proto je nutné, aby osa otvoru podnálitkové vložky souhlasila s tepelnou vložkou odlitku. Vložka může mít otvor kruhový nebo podélný, někdy má dva otvory.



Úkol k zamyšlení

Popište etapy usměrněného tuhnutí odlitku s nálitky včetně vysvětlení vzniku staženiny v nálitku.

5.6.1 Dimenzování nálitků podle Chvorinova

Matematické řešení nálitků je velmi obtížné. Vychází ze základních vztahů o průběhu tuhnutí odlévaných těles. Doba tuhnutí nálitků musí být vždy větší, než je doba tuhnutí odlitku. Bylo zjištěno, že pro správnou funkci nálitku musí být jeho doba tuhnutí alespoň o 20 % delší než doba tuhnutí odlitku, což lze vyjádřit **vztahem podle Chvorinova**:

$$t_n \geq 1,2 \cdot t_o \quad (\text{s}), \quad (5.18)$$

kde je τ_n – doba tuhnutí nálitku (s),
 τ_o – doba tuhnutí odlitku (s).

Po úpravě vztahu:

$$\left(\frac{R_n}{k_n}\right)^2 \geq 1,2 \cdot \left(\frac{R_o}{k_o}\right)^2 \quad (\text{s}), \quad (5.19)$$

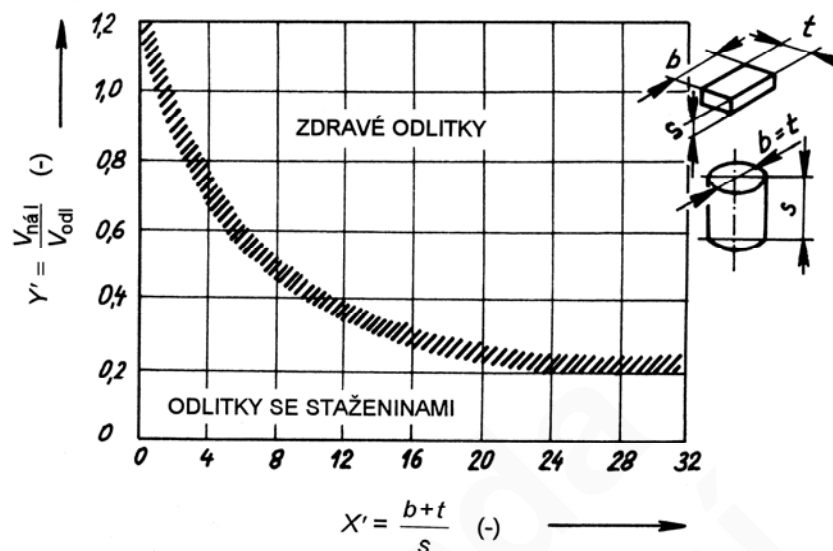
kde je R_n – relativní tloušťka nálitku (m),
 R_o – relativní tloušťka odlitku (m),
 k_n – konstanta tuhnutí nálitku ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1/2}$),
 k_o – konstanta tuhnutí odlitku ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1/2}$).

V případě, že odlitek a nálietek jsou zaformovány do stejné formovací směsi a nálietek není tepelně ošetřen, je možné položit $k_n = k_o$ a vztah (5.19) zjednodušit.

Relativní tloušťku tělesa lze vypočítat ze vztahu:

$$R = \frac{V}{S} \quad (\text{m}), \quad (5.20)$$

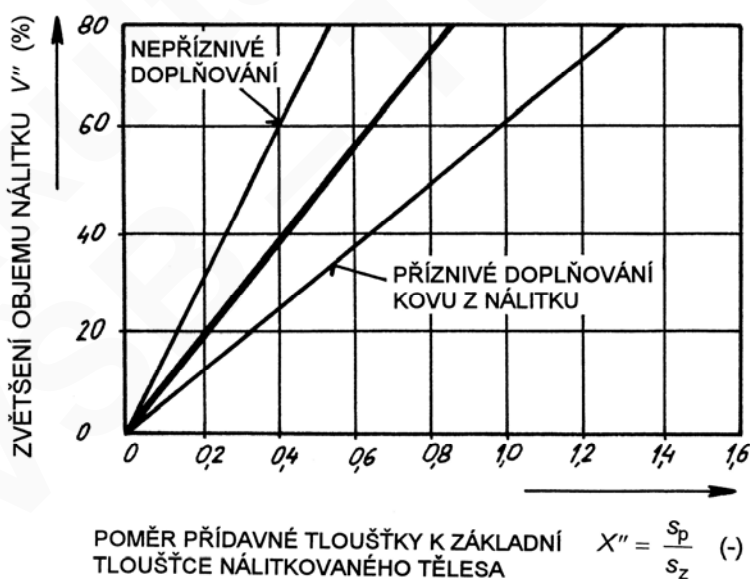
kde je V – objem uvažovaného tělesa (m^3),
 S – plocha povrchu uvažovaného tělesa (m^2), kterou se odvádí teplo.



Obr. 5.46 Diagram ke stanovení objemu nálitků

Pro dimenzování nálitků lze využít *přibližnou grafickou metodu*, která **vychází z Chvorinovy teorie**. K řešení slouží diagram (obr. 5.46), ve kterém se na vodorovnou osu vynášejí rozměry nálitkovaného tělesa: b – délka, t – šířka, s – tloušťka a na svislou osu poměr objemu nálitku a odlitku.

Protože se obvykle nenálitkuje samostatné těleso, ale část odlitku vytvářející tepelný uzel a související s okolní konstrukcí odlitku, je nutno uvažovat též tzv. *přídavný objem odlitku kolem tepelného uzlu*. Zvětšení objemu nálitku s ohledem na přídavný objem odlitku lze určit z diagramu na obr. 5.47, ve kterém je na vodorovnou osu vyneseno poměry přídavné tloušťky k základní tloušťce nálitkovaného tělesa a na svislou osu zvětšení objemu nálitku v procentech. Protože podle konstrukce odlitku může existovat příznivé nebo méně příznivé doplňování kovu z nálitku do míst, která představují přídavný objem odlitku, je v diagramu vytvořeno určité rozptylové pásmo.

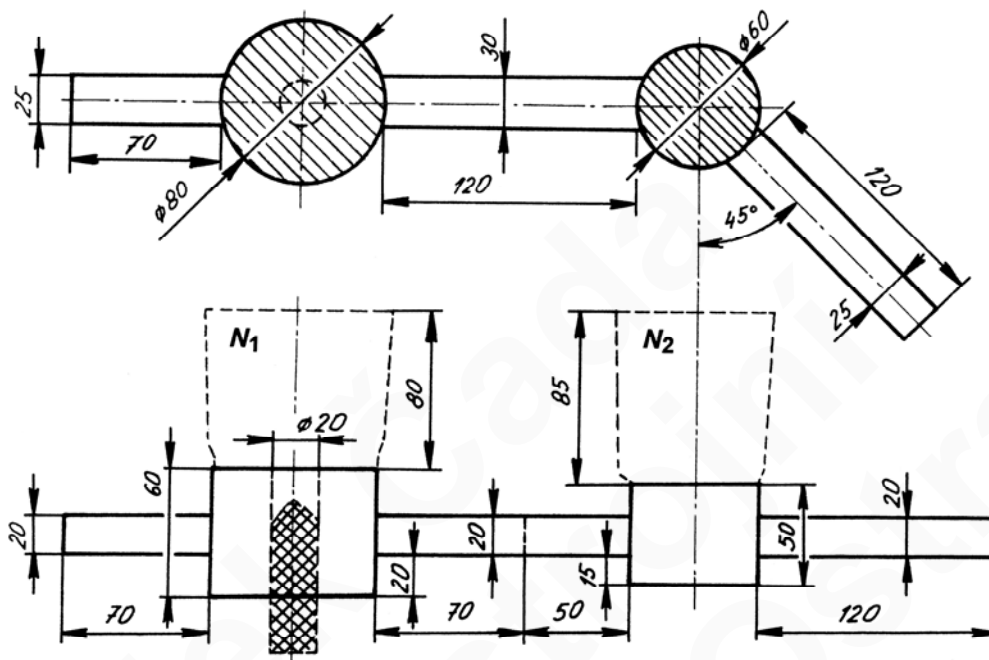


Obr. 5.47 Diagram ke stanovení zvětšení objemu nálitku s ohledem na přídavný objem odlitku



Řešená úloha 5.1

Navrhněte nálitky pro odlitek páky dle obr. 5.48.



Obr. 5.48 Odlitek páky

Pro výpočet lze daný tvar odlítka považovat za soustavu válců a tyčí. Větší nahromadění materiálu je v místech dvou nábojů. Pro tyto náboje je nutno stanovit nálitky s ohledem na přídavný objem připojených ramen. Při výpočtu nálitku většího náboje (N_1) není uvažováno jádro.

a) Výpočet nálitku N_1 :

Z diagramu na obr. 5.46:

$$X' = \frac{b+t}{s} = \frac{80+80}{60} = 2,5,$$

z toho plyne:

$$Y' = \frac{V_{\text{nál}}}{V_{\text{odl}}} = 1,$$

z toho plyne: $V_{\text{nál}} = 294000 \text{ mm}^3$.

Zvětšení objemu nálitku s ohledem na přídavný objem (rameno na obě strany 70 mm) při využití diagramu na obr. 5.47:

$$X'' = \frac{s_p}{s_z} = \frac{20}{60} = 0,33,$$

z toho plyne:

$v'' = 30 \%$ objemu přídavných ramen, tj. 24000 mm^3 .

Celkový objem nálitku N_1 :

$$V_{c1} = V_{n\acute{a}l} + v'' = 318000 \text{ mm}^3.$$

Tvar nálitku: válec s mírným rozšířením, základna \varnothing 80 mm, výška $h = 57$ mm, vzhledem k provozní jistotě zvětšena na 80 mm.

b) Výpočet nálitku N_2 :

Z diagramu na obr. 5.46:

$$X' = \frac{b+t}{s} = \frac{80+80}{50} = 2,4, \quad \text{z toho plyne:}$$

$$Y' = \frac{V_{n\acute{a}l}}{V_{odl}} = 1, \quad \text{z toho plyne: } V_{n\acute{a}l} = 177000 \text{ mm}^3.$$

Zvětšení objemu nálitku s ohledem na přídavný objem (část středního ramene 50 mm a volné rameno 120 mm) při využití diagramu na obr. 5.47:

$$X'' = \frac{s_p}{s_z} = \frac{20}{50} = 0,4, \quad \text{z toho plyne:}$$

$$v'' = 40 \% \text{ objemu přídavných ramen, tj. } 36000 \text{ mm}^3.$$

Celkový objem nálitku N_2 :

$$V_{c2} = V_{n\acute{a}l} + v'' = 213000 \text{ mm}^3.$$

Tvar nálitku: válec s mírným rozšířením, základna \varnothing 60 mm, výška $h = 75$ mm, je vhodné ji zvětšit na stejnou úroveň s nálitkem N_1 ($h = 85$ mm).

*

5.6.2 Dimenzování nálitků podle Příbyla

Další metodou pro dimenzování nálitků je **metoda prof. Příbyla**. Pro účely výpočtu se odlitek rozdělí na sekce, které přísluší vždy jednomu nálitku. Počet nálitků pro daný odlitek je dán jednak počtem tepelných uzlů, jednak oblastí působnosti každého nálitku, tj. vzdáleností, do jaké je náliček schopen dodávat tekutý kov.

Objem nálitku se vypočte ze vztahu:

$$V_n = V_o \cdot \frac{b \cdot x}{1 - b \cdot x} \quad (\text{m}^3), \quad (5.21)$$

kde je V_o – objem sekce odlitku (m^3),
 β – míra smrštění slitiny (–), viz tab. 5.28,
 x – koeficient nehospodárnosti nálitku (–), viz tab. 5.29.

Tab. 5.28 Hodnoty míry smrštění slitiny β

Slitina	Hodnota β (-)
ocel (0,1 % C)	0,020
ocel (0,35 % C)	0,030
ocel (0,70 % C)	0,053
šedá litina (2,5 % C)	0,030 ÷ 0,040
šedá litina (3,0 % C)	0,020 ÷ 0,030
šedá litina (3,5 % C)	0,010 ÷ 0,020
bílá litina	0,045 ÷ 0,055
Al slitiny	0,040 ÷ 0,050
bronz	0,035 ÷ 0,045

Tab. 5.29 Hodnoty koeficientu nehospodárnosti x

Druh nálitku	Hodnota x (-)
podtlakový	12,0
atmosférický otevřený	9,0 ÷ 12,0
atmosférický uzavřený	7,0 ÷ 9,0
přetlakový	5,5 ÷ 7,5
izolovaný	4,0 ÷ 5,5
exotermický	3,0

Výše uvedeným výpočtem se stanoví minimální objem nálitku, nutný pro správné dosazování kovu do odlitku. Tvar nálitku se upraví tak, aby výška nálitku byla 1,5 až 2-násobkem příčného rozměru (např. průměru).

5.7 Výpočet vztlakové síly působící na vršek formy

U otevřených forem se uvažuje pouze tíha kovu, působící na dno formy. Velikost této tíhy lze vypočítat podle vztahu:

$$G = S \cdot h \cdot \rho \cdot g \quad (\text{N}), \quad (5.22)$$

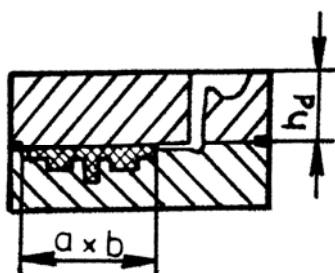
kde je S – půdorysná plocha odlitku (m^2),
 h – výška hladiny kovu nade dnem (m),
 ρ – hustota tekutého kovu, tj. taveniny ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), viz tab. 5.27,
 g – tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$).

U uzavřených forem je třeba za výšku h dosadit výšku hladiny kovu v licí jamce nade dnem formy. Podle hydrostatických zákonů ubývá tlaku, který se v tavenině šíří všemi směry, od spodku formy směrem k licí jamce. Proto i na boční stěny je vyvíjen největší tlak ve spodních částech odlitku. Nejdůležitější je výpočet vztlakové síly působící na vršek formy.

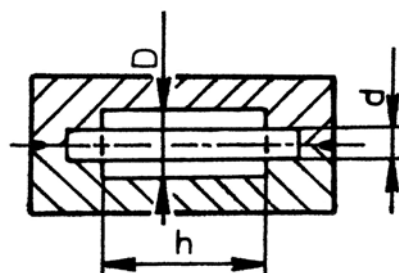
V nejjednodušším případě je vztlaková síla (obr. 5.49):

$$F_v = S_d \cdot h_d \cdot \rho \cdot g \quad (\text{N}), \quad (5.23)$$

kde je S_d – plocha tekutého kovu v dělicí rovině (m^2) ($S_d = a \cdot b$),
 h_d – výška hladiny nad dělicí rovinou (m),
 ρ – hustota tekutého kovu, tj. taveniny ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), viz tab. 5.27,
 g – tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$).



Obr. 5.49 Dvojdílná forma bez jader



Obr. 5.50 Forma s jednoduchým vodorovným jádrem válcového tvaru

U složitějších odlitků je nutno počítat i s tím, že celkovému vztlaku napomáhá jádro, nadlehčované vztlakovou silou F_j podle Archimédova zákona, pokud uložení jádra souvisí s horním rámem.

Vztlaková síla jednoduchého jádra válcového tvaru se stanoví ze vztahu (obr. 5.50):

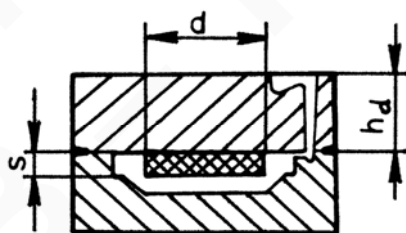
$$F_j = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \rho \cdot g \quad (\text{N}). \quad (5.24)$$

V případě, že určitá část odlitku sahá do horní části formy, je nutno vztlakovou sílu zmenšit o tíhu této části odlitku. Pro případ odlitku dle obr. 5.50 platí:

$$G_o = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot h \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \quad (\text{N}). \quad (5.25)$$

Zasahuje-li horní část formy pod dělicí rovinu, zvětší se vztlaková síla o hodnotu (obr. 5.51)

$$F_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (h_d + s) \cdot \rho \cdot g \quad (\text{N}). \quad (5.26)$$




Obr. 5.51 Dvojdílná forma, u které zasahuje horní část formy pod dělicí rovinu

Základní rovnice pro výpočet celkové vztlakové síly je:

$$F_c = F_v + F_j + F_p - G_o \quad (\text{N}). \quad (5.27)$$

Vypočtená hodnota vztlakové 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 vztlakové síly při lití se forma spojuje **šrouby** nebo se zatěžuje tzv. **úkladky**.

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady zajištění forem proti nadzvednutí horního formovacího rámu působením vztlakové síly při výrobě odlitků v praxi.

5.8 Tepelné zpracování odlitků

5.8.1 Tepelné zpracování odlitků ze šedé litiny

Jakost odlitků ze šedé litiny je dána chemickým složením odlévaného kovu a způsobem ochlazování ve formě. Zlepšení vlastností odlitků lze dosáhnout tepelným zpracováním, které se dělí na:

a) Žihání ke snížení pnutí, které spočívá v ohřevu odlitku na teplotu, kdy je šedá litina dostatečně plastická, takže *dojde k částečným deformacím působením vnitřního pnutí, které se tím částečně odstraní*. Prakticky se provádí ohřevem na 500 až 550 °C u šedé litiny nelegované a na 600 až 650 °C u šedé litiny legované. Ohřev musí být rovnoměrný (prodleva asi 2 hodiny na 25 mm tloušťky stěny) a ochlazování velmi pomalé (20 až 40 °C za hodinu) až k teplotě 300 °C.


b) Feritizační žihání, které spočívá v ohřevu odlitků *do pásma grafitizace* (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 obrobiteľnost. Současně však klesne pevnost litiny.

c) Normalizační žihání, které spočívá v ohřevu *na teplotu austenitizace* (800 až 850 °C) s prodlevou 1 až 2 hodiny na 25 mm tloušťky stěny. Z austenitizační teploty nutno odlitek ochladit na vzduchu (u větších tlouštěk stěn proudící vzduch nebo vodní mlha). Normalizačním žiháním se získá *rovnoměrná perlitická struktura* s dobrými mechanickými vlastnostmi.

d) Grafitizační žihání, které je používáno *k odstranění ledeburitického cementitu*, který může vzniknout v rychleji chladnoucích částech odlitku. Vlastní žihání se provádí 1 až 5 hodin při teplotě 850 až 950 °C. Rychlost ochlazování se řídí požadovanou strukturou litiny. Žiháním se sníží tvrdost, zlepší obrobiteľnost a zvýší plastické vlastnosti.

e) Sferoidizační žihání, které se používá *ke zlepšení obrobiteľnosti litin* s velmi jemným a tvrdým lamelárním perlitem. Provádí se v rozmezí teplot 700 až 760 °C s prodlevou 1 až 2 hodiny na každých 25 mm tloušťky stěny. Žiháním se obalují lamely perlitického cementitu a snižuje se tvrdost litiny. Ochlazování se provádí jako u žihání ke snížení pnutí.

f) Kalení a popouštění (tj. zušlechtování) šedých litin přináší menší efekt než zušlechtování ocelí, protože se jím nedosáhne v důsledku grafitu přítomného ve struktuře tak pronikavých změn mechanických vlastností, jako je tomu u ocelí. *K zušlechtování jsou vhodné perlitické litiny s jemně vyloučeným grafitem*. Nejvhodnější jsou litiny legované prvky zvyšujícími prokalitelnost (Mo, Ni, Cr, Cu). Teplota austenitizace se volí 800 až 900 °C, prodleva zhruba 30 min. Nelegované litiny se kalí zpravidla do oleje. Vysoce legované litiny je možné kalit na vzduchu. Ke snížení vnitřních pnutí a křehkosti se po kalení zařazuje popouštění při teplotách 250 až 600 °C s prodlevou 1 až 2 hodiny na každých 25 mm tloušťky stěny.

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady použití tepelného zpracování při výrobě odlitků ze šedé litiny v praxi.

5.8.2 Tepelné zpracování odlitků z ocelí uhlíkových a nízkolegovaných

Ocelové odlitky se zpravidla tepelně zpracovávají, *aby se odstranila hrubozrnná lící struktura, zlepšily se mechanické vlastnosti a odstranila se vnitřní pnutí*. K dosažení austenitické struktury je třeba vyšších teplot než u tvářených ocelí stejného chemického složení, což je způsobeno hrubší lící strukturou a dendritickou segregací v odlitku.

Tepelné zpracování odlitků z ocelí se dělí na:

a) Žihání ke snížení pnutí, které se používá tam, kde by vysoká vnitřní pnutí mohla snížit únosnost součásti nebo způsobit deformace. Provádí se při 550 až 650 °C. Výdrž na teplotě se volí zpravidla 1 hodina na 25 mm tloušťky stěny odlitku. Vzniku nových pnutí se zabrání pomalým ochlazováním v peci až na teplotu 250 °C, při níž mohou být odlitky vyjmuty z pece.

b) Žihání na měkko, které se používá *ke snížení tvrdosti a zlepšení obrobitelnosti*. Provádí se při teplotách 620 až 700 °C, kdy dochází ke koagulaci karbidů. Po výdrži, závislé na tloušťce odlitku, následuje ochlazování rychlostí 15 až 30 °C/hod na teplotu 300 °C, při níž může být odlitek vyjmut z pece.

c) Normalizační žihání, které je *nejčastěji používané* tepelné zpracování ocelových odlitků. *Používá se ke zjemnění zrna a vytvoření rovnoměrné struktury s příznivými mechanickými vlastnostmi*. Normalizační žihání se provádí 30 až 50 °C nad teplotou A_{c3} , resp. A_{cm} . Doba žihání na teplotě bývá 1 až 2 hodiny. Ochlazování se provádí mimo pec na vzduchu. Po normalizačním žihání je vhodné zařadit ještě *žihání k odstranění pnutí*, aby se odstranil vliv poměrně rychlého ochlazování na vzduchu.

d) Žihání homogenizační, které se používá *k vyrovnání chemické nestejnorodosti odlitků*. Žihání se provádí při teplotách 1000 až 1250 °C. Výdrž na teplotě bývá až několik desítek hodin. Ochlazování probíhá zpravidla v peci. Značné zhrubnutí zrna při homogenizačním žihání musí být odstraněno *následujícím normalizačním žiháním*.

e) Kalení, které je používáno *pro zvýšení tvrdosti i odolnosti proti opotřebení vysoce namáhaných odlitků*. *Nutnou podmínkou pro kalení je dostatečně vysoký obsah uhlíku (nad 0,2 % C)*. K umožnění rychlé austenitizace a zajištění jemného zrna je třeba odlitky před kalením normalizačně žihat. Kalení se provádí u podeutektoidních ocelí ohřevem nad teploty A_{c3} , u nadeutektoidních ocelí ohřevem nad teplotu A_{c1} . 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. Volbou popouštěcí teploty je možno ovládat mechanické vlastnosti odlitků v poměrně širokém rozmezí.

f) Termální kalení, které se používá *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, která umožní vyrovnání teplot v celém průřezu odlitku, nesmí být příliš dlouhá, aby nedošlo k přeměně austenitu na bainit. Po vyjmutí z lázně se odlitky ochlazují na vzduchu. *Je nutné následující popouštění*.

g) Izotermické kalení, které je *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*.



Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady použití tepelného zpracování při výrobě odlitků z ocelí v praxi.

5.8.3 Tepelné zpracování odlitků z austenitických ocelí

Nejnámější v této skupině je austenitická ocel 18/8, která obsahuje asi 18 % Cr a 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 austenizačního žhání a stabilizačního žhání.**

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.

5.8.4 Tepelné zpracování odlitků ze slitin hliníku

Odlitky ze slitin hliníku se tepelně zpracovávají v poměrně malé míře. Z používaných způsobů tepelného zpracování má největší význam vytvrzování.

Vytvrzování je používáno **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 **rozpuštěcího 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.

5.9 Vady odlitků

Při odlévání působí celá řada vlivů, které určují konečnou jakost odlitku. Aby bylo možno ovlivňovat jakost odlitků, je třeba znát jednotlivé vady a příčiny jejich vzniku.

Podle ČSN 42 1240 se vadou odlitku rozumí **každá odchylka rozměrů, hmotnosti, vzhledu, makrostruktury nebo vlastností, zjištěných laboratorními zkouškami, od příslušných norem nebo sjednaných technických podmínek.**

Vady odlitků mohou být:

- a) zjevné** – zjistitelné prohlídkou neobrobeného odlitku prostým okem nebo jednoduchými pomocnými měřidly,
- b) skryté** – zjistitelné až po obrobení odlitku nebo pomocí přístrojů či laboratorních zkoušek.


Nepřípustná vada je taková, kterou nelze hospodárně odstranit opravou, nebo jejíž oprava je podle norem nebo sjednaných podmínek nepřípustná.

Přípustná vada je taková, kterou normy nebo sjednané technické dodací podmínky připouštějí, aniž by požadovaly její odstranění u výrobce odlitků.

Opravitelná vada je taková, jejíž oprava vhodným způsobem je normou nebo sjednanými technickými podmínkami dovolena, nebo není výslovně zakázána (oprava zavařením, vyrovnáním, vyžháním apod.).

Odstranitelná vada je taková, kterou je možno odstranit po dohodě se zákazníkem jen zvláštními úpravami, nepředpokládanými výrobním postupem, např. vypouzdřením, nepředepsaným tepelným zpracováním apod.

Průměrné množství zmetků ve slévárnách bývá při odlévání šedé litiny asi 10 %, při odlévání ocelí asi 5 %.

	Úkol k zamyšlení
	Uveďte příklady opravitelných a neopravitelných vad odlitků.

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 hmotnosti (1 až 18),
- vady povrchu (21 až 28),
- přerušení souvislosti (31, 32),
- dutiny (41 až 46),
- vměstky (51 až 55),
- vady struktury (61 až 65),
- vady chemického složení, nesprávné fyzikální nebo mechanické vlastností (71 až 73).

Některé nejdůležitější vady odlitků, jejich příčiny a způsoby, jak jim předcházet (před vadou je uvedeno číslo vady dle ČSN 42 1240):

11 – Nezaběhnutí je *neúplně vytvořený tvar*, způsobený nedostatečným vyplněním formy, nebo vytečením kovu z formy po odlití. *Příčinou této vady je* nízká teplota kovu při lití, malá rychlost lití, neodvzdušněná forma, nedostatečně zatížená forma, případně nedolitá forma.

21 – Přípečení jsou vady charakterizované *hrubým, drsným povrchem odlitku vzniklým spečením formovací směsi s kovem odlitku, nebo ochranného zásypu s odlitkem při žihání*. *Příčinou této vady je* nevhodné složení, nebo úprava formovací směsi, špatně vysušená forma, nesprávný nátěr povrchu formy, nedostatečné upěchování směsi, vysoká licí teplota, případně nesprávná teplota při žihání.

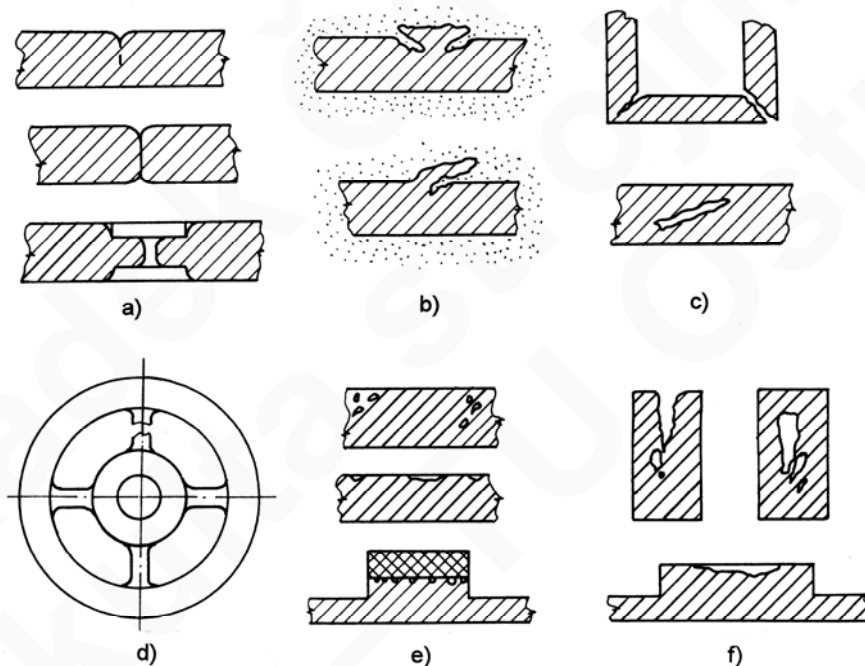
22 – Zavaleniny (obr. 5.52 a) jsou *rýhy nebo prohlubeniny se zaoblenými okraji, povrchové nebo procházející celou stěnou odlitku*. Vznikly neslitím proudu kovu, předčasně ztuhlého ve formě. *Příčina této vady spočívá v* nízké teplotě lití, malé rychlosti lití a nevhodně umístěné vtokové soustavě.

23 – Zálupy (obr. 5.52 b) jsou *mělké úzké rýhy, nebo prohlubeniny na povrchu odlitku*, zakryté šupinou kovu, souvisejícího s odlitkem. Tato šupina je od odlitku oddělena vrstvou formovacího materiálu. *Příčinou této vady jsou* příliš rozlehlé vodorovné stěny odlitku, nevhodná poloha (sklon) formy při lití, nevhodná formovací směs, nepravidelné upěchování formy, malá rychlost lití a přelévání kovu po plochách formy. Vznik zálupů je vysvětlován vydutím vrstvy formovacího materiálu, který se prudce ohřeje sálavým teplem.

31 – Trhliny (obr. 5.52 c) jsou *křivolaká roztržení povrchu stěny odlitku*, popřípadě vnitřní natržení stěny, k němuž dochází za vysokých teplot. Trhlina prochází po hranicích zrn kovu, takže někdy ohraničuje částečně tvar dendritů. Povrch trhlin je nerovný, oksyličený. Patří sem i trhliny při tepelném zpracování. *Příčinou této vady je* vlastní složení slitiny (velký součinitel smrštění, široký interval tuhnutí), příliš velké rozdíly v tloušťkách jednotlivých částí odlitku a náhlé přechody mezi nimi, uzavřená konstrukce odlitku, nepoddajná forma a nevhodná teplota lití. Ochrana proti trhlinám spočívá ve vhodné konstrukci odlitku.

32 – Praskliny jsou *rovná nebo křivolaká roztržení stěny odlitku*, vzniklá při nízkých teplotách, často až po úplném vychladnutí odlitku. Povrch praskliny je zpravidla zrnitý a čistý, někdy barevně naběhlý. Na obr. 5.52 d je schematicky znázorněna prasklina v rameni kola, kde v poslední fázi ochlazování vzniklo vysoké tahové napětí, které převýšilo pevnost materiálu za dané teploty. **Hlavními příčinami prasklin jsou** velké rozdíly v tloušťce stěn odlitku, které mají za následek vznik velkého pnutí v průběhu tuhnutí a chladnutí odlitku, nesprávná konstrukce odlitku (náhlé přechody z tenkých do tlustých stěn), nevhodné umístění vtokové soustavy, způsobující místní přehřátí odlitku, nesprávné tepelné zpracování, tuhá forma nebo jádro, případně složení slitiny, obsahující přísady zvyšující křehkost.

41 – Bubliny (obr. 5.52 e) jsou *otevřené nebo uzavřené dutiny*, zpravidla s čistým, hladkým a někdy okysličeným povrchem. Jsou obvykle v nejvyšších částech odlitku v důsledku uzavření plynu mezi kov a formu. Vyskytují se jako jednotlivé bubliny, ale mohou tvořit i hnízda nebo skupiny bublin. **Hlavními příčinami těchto vad jsou** nedostatečná desoxidace nebo odplynění kovu, nesprávný poměr Mn a S u šedé litiny, nevysušený licí žlábek nebo pánev, formovací směs, vyvíjející nadměrné množství plynů, příliš tvrdě upěchovaná forma, navlhá forma nebo jádro, vynechání nebo ucpání průduchů, nesprávná volba a výpočet vtokové soustavy, výfuků a nálitků, založení studených jader do horkých forem, oxidovaná nebo vlhká chladítka nebo jiné části formy.



Obr. 5.52 Vady odlitků (a – zavaleniny, b – zálupy, c – trhliny, d – praskliny, e – bubliny, f – staženiny)

43 – Staženiny (obr. 5.52 f) jsou *otevřené nebo uzavřené dutiny ve stěně odlitku* s drsným nebo hrubě krystalickým povrchem, vzniklé zmenšováním objemu kovu při tuhnutí. Někdy má staženina podobu prohloubeniny na povrchu odlitku. **Příčinou staženin je** především technologicky nevhodné rozdělení tlouštěk stěn odlitků s uzly, které nelze opatřit nálitky nebo chladítka, neusměrněné tuhnutí odlitku, nesprávně umístěný vtok do formy, poddajná forma, nedolití nálitků, případně vysoká teplota lití.


44 – Řediny jsou *místní nahromadění malých staženin*, projevujících se zřetelně jako řídká místa v průřezu odlitku. **Příčinou této vady je** nahromadění materiálu v uzlech odlitku, které nelze

nálitkovat, nebo když oblast působnosti nálitku nezasahuje do celého tepelného uzlu, nebo když počet nálitků je malý.

52 – Zadrobeniny jsou *otevřené nebo uzavřené dutiny ve stěně odlitku, zcela nebo částečně vyplněné formovacím materiálem. Nejčastější příčiny této vady jsou* nesprávné vlastnosti formovací směsi, osychání formovací směsi na ostrých hranách (zvláště u syrových forem), špatně vyčištěná složená forma, nesprávný nátěr formy nebo jádra, nedostatečné vyztužení formy nebo jádra, nesprávně vysušená (spálená) forma nebo jádro, nesprávný přívod kovu do formy, způsobující odplavení části formy nebo jader, nepevné formovací rámy, případně nárazy při manipulaci se složenou formou.

63 – Zatvrdlina, zákalka je *tvrdé, neobrobitelné místo na různých částech odlitku* (přítomnost tvrdých strukturních součástí ve slitině). *Příčiny jsou* v nesprávném chemickém složení slitiny pro danou tloušťku stěny odlitku, nesprávně provedené očkování litiny, nebo příliš intenzivně působící chladítko.

72 – Nevyhovující mechanické vlastnosti. *Příčina této vady je* v nevhodném chemickém složení slitiny, nevhodném provedení tavby, případně v nesprávném tepelném zpracování.

	Úkol k zamyšlení
	Uvedte příklady vzniku vad při výrobě odlitků v praxi.

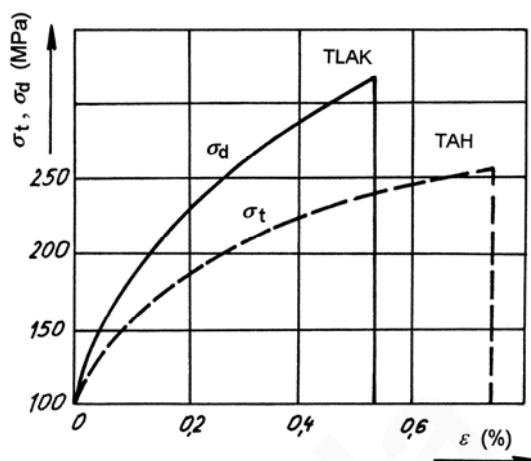
5.10 Konstrukční zásady pro navrhování odlitků

Správná konstrukce odlitku umožňuje dosažení požadované jakosti odlitku, maximálních úspor materiálu a nízkých výrobních nákladů.

Základní pravidla pro konstrukci odlitků, vyplývající z charakteru slévárenské výroby a ze zásad technologičnosti konstrukce, je možno shrnout do těchto bodů:

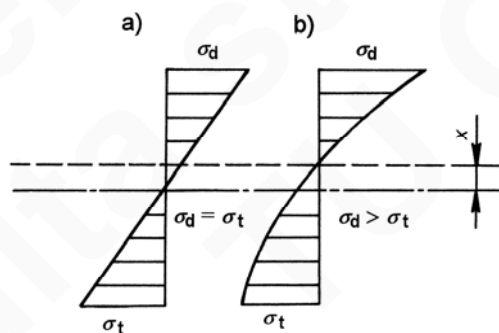
- Odlitky je třeba konstruovat tak, aby se tloušťky stěn ve směru k předpokládaným nálitkům zvětšovaly.
- Odlitek musí mít pokud možno hladké, jednoduché tvary a stejnoměrnou tloušťku stěn.
- Stěny a žebra se nemají stýkat v ostrých úhlech, styk stěn musí mít dostatečné zaoblení.
- Mezi různými tloušťkami stěn musí být provedeno spojení pozvolnými přechody.
- Odlitek je třeba navrhnout tak, aby se v jednom místě stýkalo co nejméně stěn.
- Konstrukce odlitku má zabránit vzniku velkých vnitřních pnutí.
- 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.

Podle funkce a namáhání odlévané součásti v provozu, musí být pro ni vybrán vhodný materiál. **Z hlediska dostupnosti je v ČR toto pořadí materiálů u slévárenských slitin:** 1. šedá litina, 2. kujná litina, 3. ocel na odlitky, 4. barevné kovy.

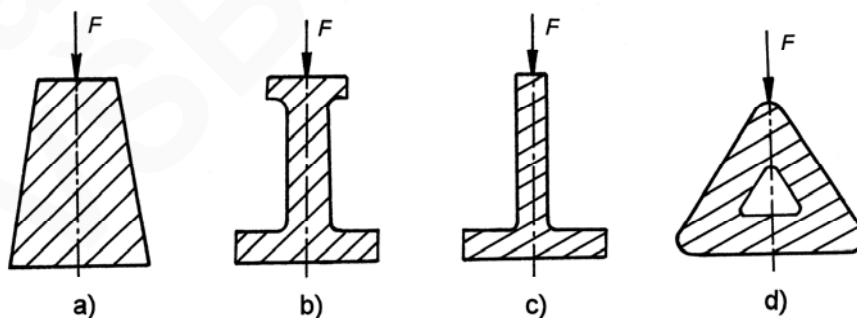


Obr. 3.53 Závislost normálního napětí v tahu σ_t a v tlaku σ_d na poměrné deformaci ε

U odlitků ze šedé litiny musí konstruktér respektovat rozdílné mechanické vlastnosti v tahu a tlaku. Na obr. 5.53 jsou znázorněny diagramy zkoušky tahem a tlakem. Z diagramů je zřejmé, že **šedá litina má větší pevnost v tlaku než v tahu**, což je třeba zohlednit při konstrukci odlitků. Je-li například nosník obdélníkového tvaru namáhán na ohyb, je rozložení tahových a tlakových napětí podél průřezu přímkové, jak je znázorněno na obr. 5.54 a. Aby se dosáhlo lepšího využití materiálu v oblasti tlačných vláken (obr. 5.54 b), je výhodné navrhovat nosníky ze šedé litiny namáhané na ohyb tak, aby v oblasti tlačných vláken měly profily nosníků menší průřez (obr. 5.55). Obdobně je nutno postupovat při konstrukci odlitků strojních součástí ze šedé litiny.

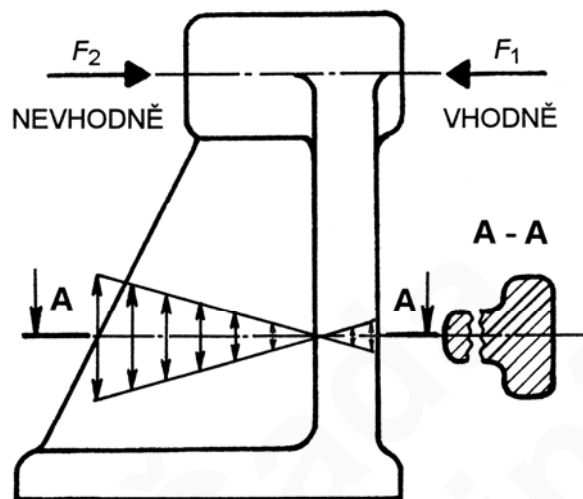


Obr. 5.54 Rozložení tahových a tlakových napětí nosníku, namáhaného na ohyb (a – nosník obdélníkového průřezu, b – nosník obecného průřezu)



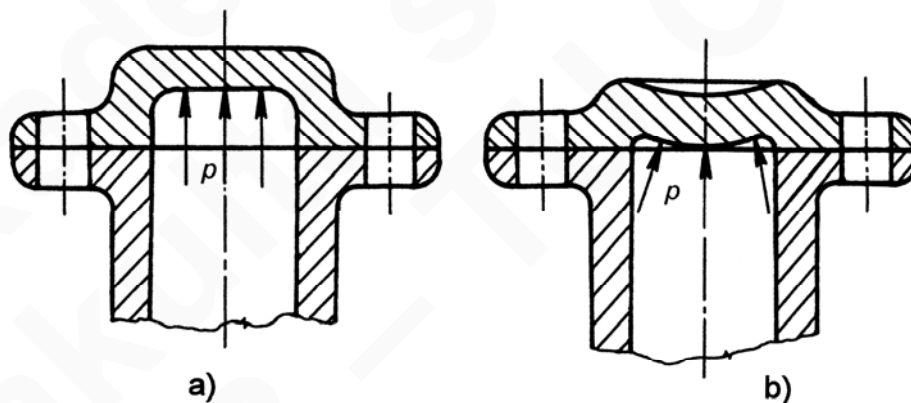
Obr. 5.55 Vhodné profily nosníků z šedé litiny, namáhané na ohyb

Konzola (obr. 5.56) je správně namáhána silou F_1 , protože žebro konzoly je v tomto případě namáháno tlakem. Při obráceném smyslu namáhání (síla F_2) bude žebro nevhodně namáháno na tah.



Obr. 5.56 Odlitek konzoly ze šedé litiny

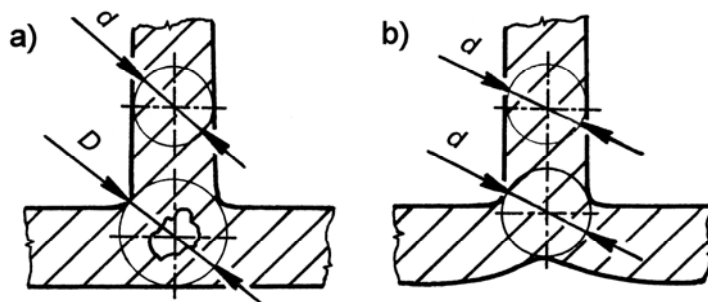
Obr. 5.57 a znázorňuje nevhodnou konstrukci víka tlakové nádoby ze šedé litiny. Lepší řešení z hlediska snížení tahového namáhání v horní oblasti víka je na obr. 5.57 b.



Obr. 5.57 Konstrukce víka tlakové nádoby (a – nevhodná, b – vhodnější)

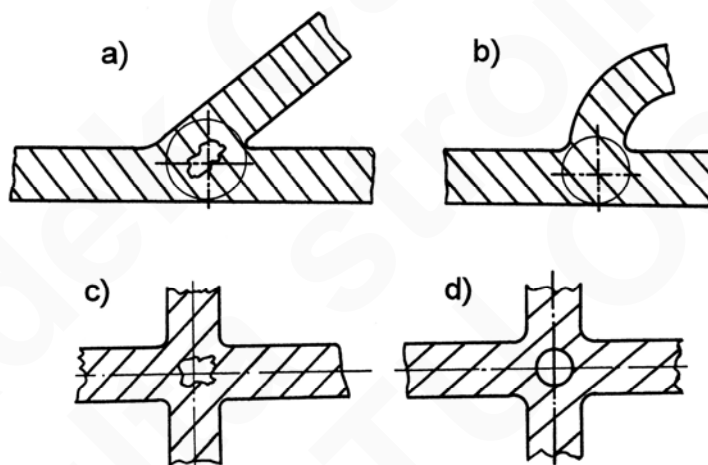
U odlitků z oceli na odlitky musí konstruktér respektovat náchylnost ke tvorbě staženin a vzniku značných vnitřních pnutí. **Správná konstrukce musí v maximální míře omezit vznik tepelných uzlů**, ve kterých při chladnutí odlitku vznikají staženiny.

Na obr. 5.58 je ukázka úpravy pravouhlého připojení žebra ke stěně s ohledem na nebezpečí vzniku tepelného uzlu. Posouzení vhodnosti navrženého uzlu se provádí tzv. **metodou vepsaných koulí**. Koule vepsané do průřezu mají být stejné, nebo se postupně zvětšovat směrem ke vtoku, resp. nálitku. Prohloubení stěny (obr. 5.58 b) odstraní nebezpečí vzniku tepelného uzlu.



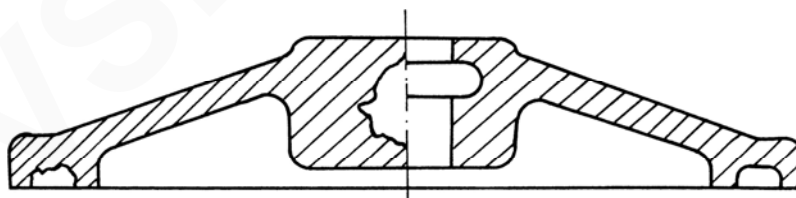
Obr. 5.58 Úprava pravoúhlého připojení žebër (a – méně vhodné řešení, b – vhodnější řešení)

S ohledem na nebezpečí vzniku tepelného uzlu a tím i vzniku staženin v odlitcích, jsou také řešeny úpravy konstrukce žebër, uvedené na obr. 5.59. Na obr. 5.59 b je uvedena úprava při pravoúhlém křížení žebër pomocí *odlehčovacího otvoru*. I když tato úprava znamená složitější formování, zabrání vzniku staženin. Na obr. 5.59 d je uvedena úprava šikmého napojení žebra, která rovněž zmenšuje možnost vzniku tepelného uzlu.



Obr. 5.59 Úprava konstrukce žebër (a, c – méně vhodné řešení, b, d – vhodnější řešení)


Obr. 5.60 znázorňuje příklad vhodného technologického řešení *spojkového kotouče*. V levé části obrázku je zřejmé, že v místech koncentrace hmoty vzniknou staženiny. Protože ve stejných místech se má odlitek obrábět (na obvodu drážka pro obložení, v náboji otvor pro nasazení na hřídel), je vhodné oba úseky předlít, jak je znázorněno v pravé části obrázku.



Obr. 5.60 Konstrukční úprava odlitku spojkového kotouče (vlevo – méně vhodné řešení, vpravo – vhodnější řešení)

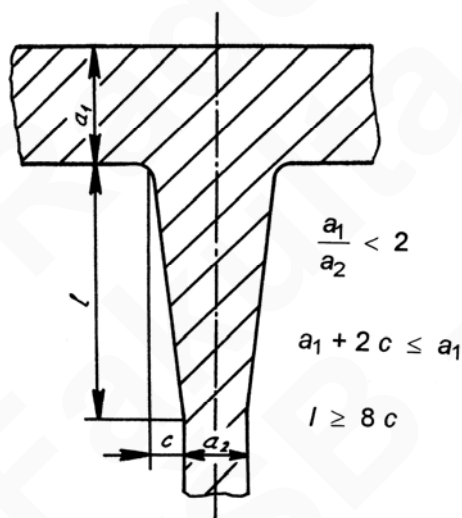
V případě konstrukční nutnosti rozdílných tlouštěk stěn je třeba pozvolně přecházet k větší nebo menší tloušťce stěny (obr. 5.61). Tímto řešením se značné míry omezí velikost vnitřního pnutí.

Spojení náلتků pro šrouby se stěnamí odlitku má být vylehčeno, aby nevzniklo větší nahromadění materiálu, které je nebezpečné pro vznik staženin, případně trhlin. Příklad takové úpravy je na obr. 5.62 b.

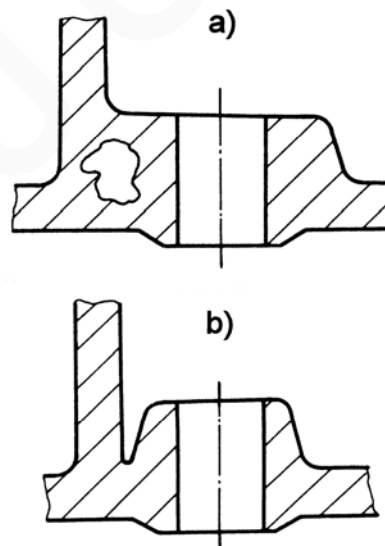
	Průvodce studiem
<p>Náلتky pro šrouby se dělají z důvodu ohraničení a zmenšení plochy, která se bude obrábět jako dosedací pro hlavu šroubu. Výsledkem je zkrácení doby obrábění a menší otupení obráběcího nástroje.</p>	

Na obr. 5.63 je znázorněna ukázka předlití drážky *lanového kotouče*. Tato úprava rovněž zmenší možnost vzniku tepelného obvodového uzlu.

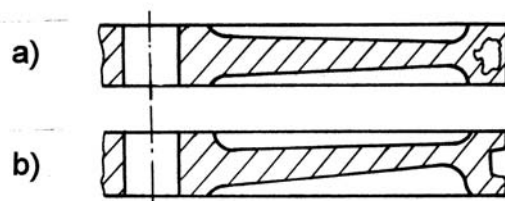
Při navrhování odlitků hraje důležitou roli *zmenšení vnitřního pnutí v odlitcích*. Toto nebezpečí vzniká do značné míry u ručních kol nebo transmisních kotoučů. Tyto kotouče mají nerovnoměrně rozdělenou hmotu soustředěnou v náboji a věnci. Obr. 5.64 představuje příklad řešení, kterým se umožní vyrovnání vnitřního pnutí v ramenech ručního kola změnou osového posunu náboje. Aby se mohl náboj během tuhnutí osově posunout, je nezbytná konstrukční úprava, naznačená v obr. 5.64 b. Pokud by tato úprava nebyla možná, je možno provést konstrukční úpravu přímo v rovině kola. Ramena ručního kola nebo kotouče se navrhnou zakřivená a jejich počet je nutno zvolit lichý. Touto úpravou se zmenší tuhost soustavy (náboj, ramena, věnec) a je umožněno vyrovnání vnitřního pnutí v odlitku.



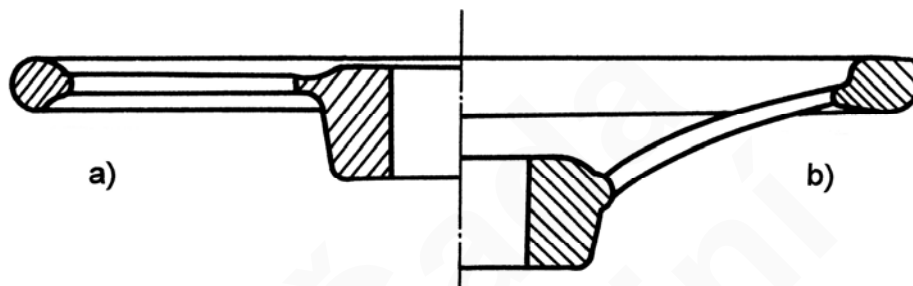
Obr. 5.61 Doporučené řešení přechodu rozdílně tlustých stěn odlitku



Obr. 5.62 Úprava napojení náلتků pro šrouby ke stěně odlitku (a – nevhodné řešení, b – vhodnější řešení)

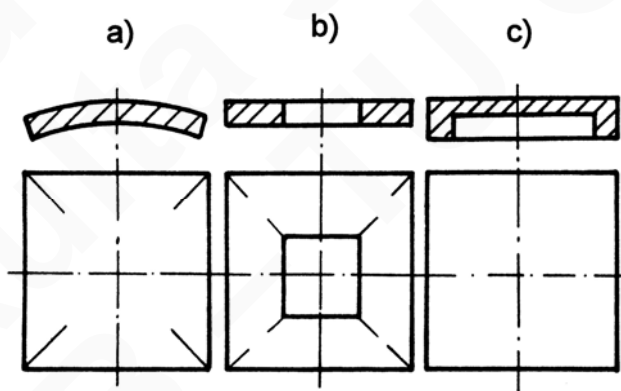


Obr. 5.63 Konstrukční úprava odlitku lanového kotouče (a – nevhodné řešení, b – vhodnější řešení)



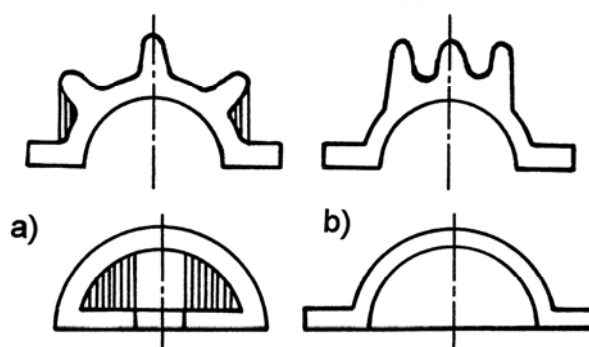
Obr. 5.64 Konstrukční úprava odlitku ručního kola (a – nevhodné řešení, b – vhodnější řešení)

Problém vnitřních pnutí je rovněž důležitý při návrhu *litých desek*. Jednoduše tvarovaná deska (obr. 5.65 a) se po ztuhnutí deformuje následkem vnitřních pnutí. Zlepšení nastane navržením středního otvoru, nebo zesílením obvodu (obr. 5.65 b, c).



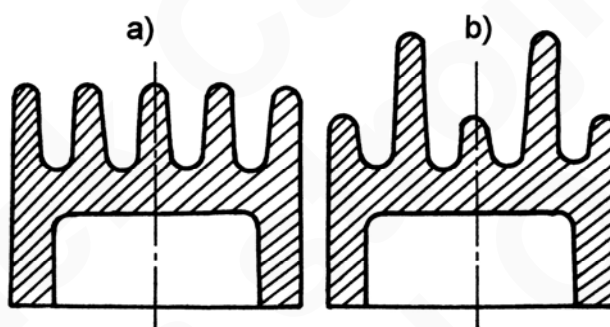
Obr. 5.65 Konstrukční úprava lité desky (a – nevhodné řešení, b, c – vhodnější řešení)

Při návrhu vhodných tvarů odlitku musí konstruktér brát v úvahu rovněž *obtížnost formování a čištění odlitků*. Obr. 5.66 znázorňuje vlevo nevhodný a vpravo vhodnější návrh odlitku s ohledem na snadnost formování. Odlitek si lze představit položený na půdnici. Svislé paprsky, kolmé k půdnici (obr. 5.66 a) ukazují místa, kde je nutno použít nepravá jádra, jestliže se model bude vytahovat z formy ve směru paprsků. Jednoduchou konstrukční úpravou (obr. 5.66 b) lze do značné míry zjednodušit formování a omezit použití nepravých jader.



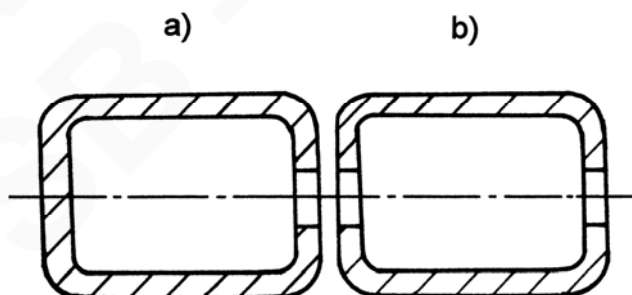
Obr. 5.66 Změna konstrukce odlitků s ohledem na obtížnost formování
(a – nevhodné řešení, b – vhodnější řešení)

Možnost usnadnění čištění odlitku s žebry je znázorněna na obr. 5.67. Konstrukce dle obr. 5.67 b umožní snadnější čištění odlitku při zachování stejného povrchu chladicích žebër.



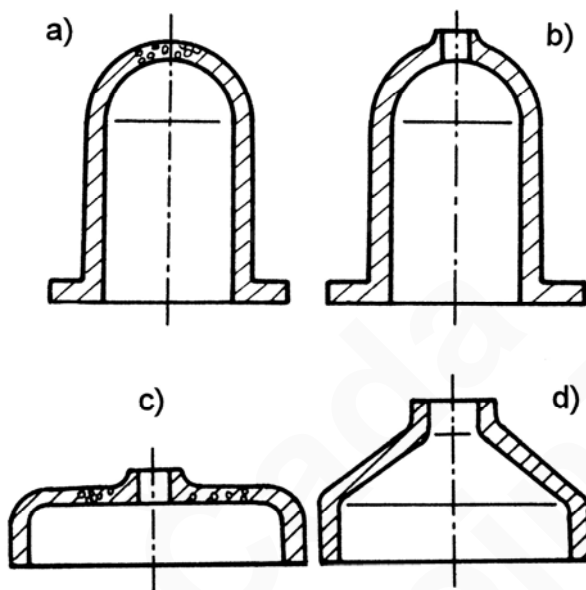
Obr. 5.67 Konstrukční úprava žebër odlitku (a – méně vhodné řešení, b – vhodnější řešení)

Zlepšení čištění odlitku se dosáhne také konstrukční úpravou dle obr. 5.68. U konstrukční úpravy dle obr. 5.68 b se dosáhne, kromě snadnějšího odstraňování jader, také větší přesnosti v dodržení tloušťky stěn vlivem oboustranného uložení jádra ve formě pomocí dvou známek.



Obr. 5.68 Konstrukční úprava odlitku pro snadnější odstranění jádra
(a – nevhodné řešení, b – vhodnější řešení)

Nebezpečí vzniku ředin a bublinatosti v odlitcích je možno čelit konstrukčními úpravami, znázorněnými na obr. 5.69. Otvor na obr. 5.69 b se po lití obrobí a uzavře *závitovou zátkou*.



Obr. 5.69 Odstranění možnosti vzniku ředin konstrukční úpravou odlitků
(a, c – nevhodné řešení, b, d – vhodnější řešení)

Konstrukce odlitků z hlediska tloušťky stěn musí vycházet především ze zabíhavosti použité slitiny, rovněž je nutno přihlížet k druhu materiálu formy a způsobu, jakým je forma plněna.

Při lití do pískových forem jsou u drobných odlitků následující minimální tloušťky stěn:

- a) ocel na odlitky ... 6 mm,
- b) šedá litina ... 3 až 5 mm,
- c) temperovaná litina ... 2 až 3 mm.

Otvory v odlitcích se odlévají až od určitého minimálního průměru. Odlévání menších otvorů je neekonomické. Daleko výhodnější je v tomto případě odlít plné stěny, v níž se otvor dodatečně vyvrtá.

Nejmenší předlévané otvory v malých odlitcích jsou následující:

- a) ocel na odlitky ... 20 mm,
- b) šedá litina ... 12 mm,
- c) temperovaná litina ... 5 mm.

Žebrování na odlitcích se provádí ke zvýšení pevnosti a zabránění tvorby trhlin. Žebra však mohou při nesprávném umístění i poškodit konstrukci. Jsou-li umísťována výztužná žebra oboustranně, nikdy nesmí ústít proti sobě, ale musí být *střídavě přesazena*. Je-li nutno protilehlá žebra z konstrukčních důvodů přiblížit, má být jejich vzdálenost rovna minimálně dvojnásobné

tloušťce stěny. Nelze-li se vyhnout styku několika žeber, je vhodné materiál ve styku těchto žeber vybrat (obr. 5.59 d).

Velmi důležité je, aby žebra byla umístěna vždy na té straně, kde je v materiálu tlakové napětí.

Důležité plochy, které mají být bez vad, se mají u odlitků ze slitin železa konstruovat tak, aby je bylo možno **umístit do spodku formy**, kde je větší hydrostatický tlak kovu a nečistoty jsou při lití vyneseny vzhůru.

U odlitků dochází během tuhnutí a chladnutí k postupnému smršťování, které je nebezpečné zvláště u odlitků z oceli. Již při konstrukci je proto třeba vytvořit podmínky, které umožní **vznik výsledných staženin tam, kde to nevádí** (například v nálitcích), případně vhodnou konstrukční úpravou, nebo volbou chladítek tvorbě staženin zcela zabránit.

Vhodnou konstrukční úpravou nebo způsobem formování lze rovněž **zabránit deformaci odlitku, způsobené vnitřním pnutím při nesejnoměrném ochlazení jednotlivých částí odlitku**. Tato deformace odlitku, zkřivení, tzv. **hození**, může vést až k praskání odlitků. Tepelná pnutí mohou vyvolat trhliny v odlitku tehdy, když má odlitek různě silné části, které jsou vzájemně vázány a tím zabraňují volnému smršťování; např. u řemenice, kde věnec chladne rychleji a zabrání volnému smršťování silnějších ramen a náboje, což vede k deformaci řemenice nebo roztržení ramen.

Je proto důležité navrhovat tvary odlitků s **minimálními rozdíly v tloušťkách stěn**, případně masivnější části umístit při formování nahoře, kde je poněkud rychlejší odvod tepla, než ve spodních částech formy.

Při konstrukci odlitků je nutno mít na zřeteli i **hledisko snadného čištění**. Je třeba se vyhnout jádrům malého průměru a velké délky, která se snadno zapékají. Do nepřístupných míst není z technologického hlediska vhodné přidávat žebra, která se pak těžko odstraňují.

Rovněž dělicí rovina, ve které dochází k zatečení, má být provedena tak, aby tvar předmětu umožnil odstranění zatekliny bez obtíží.

Konstrukce odlitků musí být účelná i z **hlediska konečného obrábění**. Především je třeba omezit množství a velikost obráběných povrchů (např. odlehčením velkých dosedacích ploch pomocí vybrání, vytvořením výstupků kolem otvorů pro šrouby, oddělením obráběných a neobráběných ploch přesazením).

Dále je třeba upravit různé výstupky a nálitky na odlitku tak, aby nevyžadovaly několikeré nastavení nožů na obráběcích strojích. Rovněž je třeba omezit různé výstupky skloněné pod určitým úhlem, které vyžadují obtížnější nastavování nástroje.



Úkol k zamyšlení

Uveďte příklady využití jednotlivých konstrukčních zásad pro navrhování odlitků při výrobě odlitků v praxi.



Shrnutí kapitoly

Slévání: *úkolem slévárenské výroby je ekonomickým způsobem vyrobit odlitek požadovaného tvaru, mechanických, fyzikálních, chemických a užitných vlastností. Výrobou odlitků se rozumí* nastavení 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 (aby odolaly mechanickému působení tekutého kovu), dobrou *tvárnost* (pro snadné zpracování do žádaného tvaru formy) a dostatečnou *ohnivzdornost* (aby se nepřipékaly na odlítek).

Základní složky formovacích směsí: *ostřivo* (souhrn písků se zrnky většími než 0,02 mm) a ***pojivo*** (dává formovacím směsím soudržnost).

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 odlítků 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** (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 odlítků 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 obléjším 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 směsi různých druhů surovin a pomocných látek, opětné použití starého písku, nebo jeho úplná regenerace.

Úpravu slévárenských 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 propadává přes dvě síta do výsypky.),
- c) **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.),
- 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*.),
- 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*.),
- 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,
 - **mokrú 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) **přísady zlepšující povrch odlitku** – černouhelná moučka a mazut. Uhlík u těchto přísad vytvoří izolační vrstvu mezi formou a roztaveným kovem.
- b) **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,
- 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. jemné 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 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:

- a) **metastabilní soustava Fe – Fe₃C** (Karbid železa – Fe₃C 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 Fe₃C. 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 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 oduhličené 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 cinuje 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. **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 přídatným 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) **bronzy** (slitiny Cu-Sn, přísada Sn snižuje tavicí teplotu, zlepšuje slévárenské 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 bronzy*.)
- 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 bronzy, 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 nálitků, 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.

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 teplotu odpichu, pak vytlití tekutého kovu z pece do pánve, vyzdění žáruvzdornou vyzdívkou. Jakost tekutého kovu po natavení lze ovlivňovat i mimopecním zpracováním tekutého kovu v pánvi (příkladem je očkování a mikrolegování).*

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 nebo s předpecím. 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.)
 - c) **pece obloukové** – využívají teplo, vznikající *hořením oblouku buď mezi elektrodami, nebo mezi elektrodou a lázní* (oceli, litiny)
4. **pece speciální**, jako např. **plazmové pece**

Vytluokání odlitků: *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 vytluokání odlitků se používají vibrační zařízení, vytluokací rošty nebo kladivo*. 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 *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*.

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:

- 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.*

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:

- 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, \emptyset 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 přídavku 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 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:

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.

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 bronzu 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:

- a) **vtoková jamka** (k zachycení proudu kovu z licí pánve a jeho usměrnění do vtokového kanálu, musí zachytit strusku z pánve – proto musí být od začátku do konce lití neustále plná)
- b) **vtokový kanál** (je obvykle svislý, má kruhový průřez, který se směrem dolů zužuje s kuželovitostí 3 až 5°)
- c) **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.)
- d) **zářezy** (jsou zpravidla rozmístěny na obvodu odlitku proto, aby kov zaplňoval formu stejnoměrně, bez víření a stříkání.)

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 (obvyčejně 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 odtéká 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 náliček. Náliček musí mít takovou velikost a polohu, aby koule vepsaná do tepelného uzlu odlitku prošla snadno do náličku (náliček má tuhnout z celého odlitku nejpozději, aby mohl doplňovat tekutý kov do odlitku během tuhnutí). U některých slévárenských 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 náliček

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** (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 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, zlepší 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 lící 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.),
- normalizační žihání** (nejčastěji používané tepelné zpracování ocelových odlitků, ke zjemnění zrna a vytvoření rovnoměrné struktury s příznivými mechanickými vlastnostmi. Normalizační žihání se provádí 30 až 50 °C nad teplotou A_{c3} , resp. A_{cm} .),
- žihání homogenizační** (k vyrovnání chemické nesejnorodosti odlitků. Provádí se při teplotách 1000 až 1250 °C, výdrž na teplotě bývá až několik desítek hodin. Značné zhrubnutí zrna při homogenizačním žihání musí být odstraněno následujícím normalizačním žiháním.
- 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.),
- 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 **zvysuje 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 **rozpuštěcího 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:

- vady tvaru, rozměrů a hmotnosti** (např. nezaběhnutí),
- vady povrchu** (např. připečeniny, zavaleniny, zálupy),
- přerušeni 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,


	<p>d) mezi různými tloušťkami stěn musí být provedeno <i>spojení pozvolnými přechody</i>,</p> <p>e) v jednom místě odlitku <i>se má stýkat co nejméně stěn</i>,</p> <p>f) konstrukce odlitku má <i>zabránit vzniku velkých vnitřních prutí</i>,</p> <p>g) protože vnitřní stěny odlitku chladnou pomaleji než vnější, má být <i>tloušťka vnitřních stěn 0,7 až 0,8 tloušťky stěn vnějších</i>,</p> <p>h) tvar odlitku má dovolit výrobu <i>jednoduchého modelu</i>, aby se forma dala vyrobit s požadovanou přesností,</p> <p>i) <i>otvory v odlitcích</i> předlévat až od určitého minimálního průměru,</p> <p>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,</p> <p>k) ke zvýšení pevnosti a zabránění tvorby trhlin je možno na odlitcích navrhnout <i>žebrování</i> (jsou-li umísťována výztužná žebra oboustranně, nikdy nesmí ústit proti sobě, ale musí být střídavě přesazena),</p> <p>l) vzít v úvahu hledisko snadného čištění a hledisko minimalizace obrábění.</p>
--	--



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, drobitost, tekutost, deformace, houževnatost, úprava, regenerace, sušení, lom, 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, očkovadlo, 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, smrštivost, mosaz, jaderník, pravé jádro, nepravé jádro, vytloukání odlitku, vtokový kanál, nálitek, tepelné zpracování, netrvalá forma, trvalá forma, model, šablona, formovací rám, formovací stroj, formovací linka, lisování, střásání, metání, vstřelování, 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, vytloukací 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 nálitek, uzavřený nálitek, podnálitková vložka, vrub, vztlaková síla, úkladek, žíhání, sferoidizační žíhání, kalení, popouštění, vada, žebro, vnitřní prutí.

	Odměna a odpočinek
	<p>Jste opravu dobrý(á), prokázal(a) jste vůli ve studiu učiva této studijní opory – poslední, pátou 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.</p>


	Kontrolní otázky
	<p>Pro ověření, zda jste dobře a úplně učivo páté kapitoly „Slévání“ zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Co se rozumí technologií slévání? Na výrobu čeho je vhodná? 2. Co jsou slévárenské formovací směsi? Na co slouží? 3. Jaké jsou základní složky formovacích směsí? 4. Podle jakých hledisek se dají formovací směsi rozdělit? Na jaké druhy se dají formovací směsi rozdělit podle jednotlivých hledisek? 5. Dokážete rozebrat základní zkoušky slévárenských formovacích směsí? 6. Jaký je účel úpravy formovacích směsí? Jaké jsou etapy tohoto procesu? 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 formy vyrábí? 13. Jakým způsobem se připravuje tekutý kov pro odlévání? 14. Jaké znáte základní druhy pecí podle způsobu ohřevu? 15. Jak se provádí vytloukání odlitků? Jak se provádí čištění odlitků? 16. Které vlastnosti se u hotových odlitků kontrolují? 17. Co je slévárenský postupový výkres? Co je výkres odlitku? 18. Jaké jsou zásady pro volbu polohy odlitku ve formě? 19. Jaké jsou zásady pro stanovení dělicí plochy? 20. Co je příčinou smrštění odlévaných slitin? Jakých hodnot dosahuje přibližně smrštění u jednotlivých slitin? Jakým způsobem se při výrobě odlitků smrštění zohledňuje? 21. Jaký je rozdíl mezi přísadkami na obrábění a přísadkami technologickými u odlitků? 22. Jaký je účel slévárenských úkosů modelů a odlitků? Jaké jsou druhy úkosů?


23. Jaké jsou druhy modelů? Jakými způsoby se modely vyrábí?
24. Z jakých částí se skládá vtoková soustava? Jak se liší tvary kanálů pro šedou litinu a pro ocel?
25. Jaké jsou způsoby zaústění vtoku do formy? Jaké výhody jednotlivé varianty poskytují?
26. Jaký je postup návržení vtokové soustavy (slovně, bez uvedení konkrétních rovnic)?
27. Co je účelem výfuku? Kam se výfuk na odlitku umísťuje?
28. Jak se u odlitku pozná tepelný uzel?
29. Co je účelem nálitkování odlitků? Jak náliček funguje v procesu 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 vztlaková síla působící na vršek formy? Jak se zabraňuje nadzvednutí horního formovacího rámu při lití?
34. Jaké jsou účely tepelného zpracování odlitků?
35. Jaké jsou druhy vad odlitků?
36. Dokážete objasnit 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. *Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvarovania*. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1988. 832 s. (bez ISBN).
- [8] KOŘENÝ, R. *Slévárství neželezných kovů a slitin : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1971. 251 s. (bez ISBN).
- [9] PÍŠEK, F. a PLEŠINGER, A. *Slévárství – II : Speciální část*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1975. 408 s. (bez ISBN).
- [10] BŘEZINA, R. *Technologie I – část 2 : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1999. 86 s. ISBN 80-7078-639-6.

	Náměty pro tutoriál
	<p>Uveďte příklady součástí, zhotovených technologií slévání. Uveďte důvody, proč bylo použití této technologie při jejich výrobě účelné.</p> <p>Vysvětlete postup výroby netrvalé syrové formy pro lití.</p> <p>Objasněte konstrukční zásady pro navrhování odlitků a uveďte na konkrétních odlitcích příklady jejich uplatnění v praxi.</p>

	Korespondenční úkol
	<p>Program č. 4 „Slévání“</p> <p>Zadání:</p> <p>Navrhnete technologický postup výroby zadané součásti sléváním:</p> <ol style="list-style-type: none"> nakreslete (tužkou, nebo s využitím PC) výrobní výkres součásti vyrobené z odlitku (tj. obrobeneý odlitek) při dodržení technologických zásad pro navrhování odlitků, zvolte vhodný materiál součásti a vypočtete její hmotnost, navrhnete a zdůvodnete polohu odlitku ve formě a dělicí plochu, zvolte způsob zaústění vtoku do formy, vypočtete rozměry částí vtokové soustavy a výfuku, v případě, že budou použity nálitky, vypočtete dvěma způsoby (dle Chvorinova a dle Příbyla) jejich velikost a výsledky porovnejte, vypočtete 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, navrhnete tepelné zpracování odlitku.

	Průvodce studiem
	<p>Tato pátá 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.</p>



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 „Záпустkové kování“**:

1. Dokážete charakterizovat záпустkové kování? (viz 1 Záпустkové kování)
2. Jaké druhy strojů používaných ke kování znáte? Pro jaký druh výroby je každý z nich vhodný? (viz 1.1 Volba tvářecího stroje, 1.1.1 Kování na bucharech, 1.1.2 Kování na vřetenových lisech, 1.1.3 Kování na mechanických klikových lisech)
3. Co a jak se kreslí na výkresu výkovku? (viz 1.2 Nakreslení výkresu výkovku)
4. Jaké jsou hlavní zásady pro volbu dělicí roviny? (viz 1.2.1 Volba dělicí roviny výkovku)
5. Uvedte názvy jednotlivých přesností provedení výkovku. Jak se pro daný výkovek předepisují? (viz 1.2.3 Volba přesnosti provedení výkovku)
6. Co jsou to přídavky na obrábění? Na které plochy se dávají? (viz 1.2.4 Určení přídavků na obrábění)
7. Jaké druhy technologických přídavků při konstrukci záпустkových výkovků znáte? Jaký mají tyto přídavky účel? (viz 1.2.5 Určování technologických přídavků)
8. Na které plochy se dávají boční úkosy? Na čem závisí jejich velikost? (viz Tab. 1.7)
9. Jaké jsou rozměrové a tvarové úchytky záпустkových výkovků? (viz 1.2.6 Rozměrové a tvarové úchytky záпустkových výkovků)
10. Jaké jsou typy výronkových drážek? Kdy se která varianta používá? (viz 1.3 Stanovení tvaru a rozměrů výronkové drážky)
11. Dokážete popsat konstrukci průřezového obrazce a ideálního předkovku? (viz 1.6.1 Konstrukce ideálního předkovku pro výkovky I. skupiny)
12. Uvedte názvy základních typů předkovacích dutin. Na co se která používá? (viz 1.6.2 Výběr přípravných předkovacích dutin)
13. Jak se u výkovků stanoví objem výchozího materiálu a délka polotovaru? (viz 1.4 Výpočet objemu výkovku, 1.3 Stanovení tvaru a rozměrů výronkové drážky, 1.6.3 Výpočet rozměrů výchozího materiálu)

Klíč k řešení teoretických otázek **druhé kapitoly „Objemové tváření materiálu zastudena“**:

1. Jaké jsou výhody technologie objemového tváření materiálu zastudena? (viz 2 Objemové tváření materiálu zastudena)
2. Dokážete popsat základní způsoby objemového tváření zastudena? (viz 2.1 Základní způsoby objemového tváření zastudena)
3. Jaké druhy součástí je vhodné vyrábět objemovým tvářením zastudena? (viz 2.2 Součásti, tvarově vhodné pro objemové tváření zastudena)
4. Jaké vlastnosti má mít materiál pro zpracování objemovým tvářením zastudena? (viz 2.4 Oceli pro objemové tváření zastudena)
5. Jaké jsou druhy polotovarů pro objemové tváření zastudena? (viz 2.5 Polotovary pro objemové tváření zastudena)

6. Jakým způsobem se vyrábějí kaloty? (viz 2.5 Polotovary pro objemové tváření zastudena)
7. Dokážete vyjmenovat přípravné operace před tvářením? (viz 2.6 Tepelné zpracování polotovarů a protlačků, 2.7 Povrchová úprava a mazání polotovarů před protlačováním)
8. Jaké jsou způsoby odstranění okujů z polotovarů pro objemové tváření zastudena? (viz 2.7 Povrchová úprava a mazání polotovarů před protlačováním)
9. Co je to fosfátování? Jaký je jeho účel při úpravě polotovarů před tvářením? (viz 2.7 Povrchová úprava a mazání polotovarů před protlačováním)
10. Proč se provádí mazání polotovarů při objemovém tváření zastudena? (viz 2.7 Povrchová úprava a mazání polotovarů před protlačováním)
11. Jaký je účel tepelného zpracování polotovarů pro objemové tváření zastudena? Jaké jsou jeho vhodné varianty? (viz 2.6 Tepelné zpracování polotovarů a protlačků)
12. Jaké rovnice se používají pro výpočet poměrných deformací? Jaké rovnice pro výpočet logaritmických deformací? (viz 2.8 Výpočet deformací při protlačování)
13. Jakou výhodu má použití logaritmických deformací oproti poměrným? (viz 2.8 Výpočet deformací při protlačování)
14. Jak se změní vlastnosti výchozího materiálu po objemovém tváření zastudena? (viz 2.9 Zpevňování materiálu při objemovém tváření zastudena)
15. Jaké jsou technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů? (viz 2.11 Hlavní technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů, 2.11.1 Technologické zásady pro dopředné protlačování oceli, 2.11.2 Technologické zásady pro zpětné protlačování oceli)
16. Proč se vyrábí průtlačnice bandážované? (viz 2.11 Hlavní technologické zásady pro návrh protlačků a nástrojů, 2.11.1 Technologické zásady pro dopředné protlačování oceli, 2.11.2 Technologické zásady pro zpětné protlačování oceli)
17. Jak se stanoví počet tvářecích operací při objemovém tváření zastudena? (viz 2.12 Návrh technologického postupu výroby)
18. Znáte postup stanovení tvaru a rozměrů polotovaru pro objemové tváření zastudena? (viz 2.12.1 Volba polotovaru a tvářecích operací s ohledem na průběh zpevnění)
19. Jak se vypočte tvářecí síla při objemovém tváření zastudena? Jak se vypočte při stejném procesu tvářecí práce? (viz 2.16 Výpočet tvářecí síly a práce)
20. Na jakých strojích se provádí objemové tváření zastudena? (viz 2.17 Volba tvářecího stroje, 2.17.1 Mechanické lisy, 2.17.2 Hydraulické lisy)
21. Z jakých příčin vznikají nerovné okraje výlisků při objemovém tváření zastudena? (viz 2.18 Dokončování výlisků)
22. Jaké jsou druhy dokončování výlisků po objemovém tváření zastudena? (viz 2.18 Dokončování výlisků)
23. Jak se usnadňuje dokončování dutin protlačků vrtáním? (viz 2.18 Dokončování výlisků)

Klíč k řešení teoretických otázek **třetí kapitoly „Stříhání plechů“**:

1. Co se rozumí stříháním? (viz 3 Stříhání plechů)
2. Které oblasti lze rozlišit na střížné ploše? Jaké jsou příčiny jejich vzniku? (viz

<p>3.1 Stříhání plechu na tabulových nůžkách)</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Jak se vypočte střížná plocha, maximální střížná síla a střížná práce? (viz 3.1.1 Stříh rovnoběžnými noži) 4. Dokážete vysvětlit výhody stříhání skloněnými noži? Jaké má tato technologie nevýhody? (viz 3.1.2 Stříh skloněnými noži) 5. Na co má vliv velikost střížné mezery? (viz 3.2.1 Střížná mezera) 6. Při vystřihování, kdy je výrobkem výstřížek, odpovídá rozměr výstřížku rozměru střížnice, nebo střížníku? (viz 3.2.3 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice) 7. Co je to stříhadlo? Z čeho se skládá? (viz 3.2 Stříhání ve stříhadlech) 8. Jak lze stříhadla rozdělit podle funkce? Jak podle způsobu vedení? (viz 3.2 Stříhání ve stříhadlech) 9. Co je to nástřihový plán? Jakými způsoby se konstruuje? (viz 3.3 Nástřihové plány) 10. Co jsou přepážky? Co je boční odpad? (viz 3.3 Nástřihové plány) 11. Jak lze stanovit hospodárnost nástřihového plánu? (viz 3.3 Nástřihové plány) 12. Co je využitelný odpad? Co je nevyužitelný odpad? (viz 3.3 Nástřihové plány) <p>Klíč k řešení teoretických otázek čtvrté kapitoly „Tažení plechu“:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dokážete definovat pojem tažení? Popište výhody součástí vyrobených touto technologií. (viz 4 Tažení plechu) 2. Které způsoby výroby patří do technologie tažení? (viz 4 Tažení plechu) 3. Jaké vlastnosti jsou žádoucí u ocelových plechů k tažení? (viz 4.1 Ocelové plechy k tažení) 4. Co je charakteristické pro tažení bez ztenčení stěny? (viz 4.2 Tažení dutých válcových výtažků (klasický způsob bez ztenčení stěny)) 5. Jakým způsobem lze určit tvar a velikost přístřihu? (viz 4.2.1 Stanovení velikosti přístřihu pro tažení válcových výtažků, 4.2.2 Stanovení rozměru přístřihu pro tažení rotačních výtažků složitějšího tvaru) 6. Jaký je postup stanovení počtu tažných operací a jejich odstupňování? (viz 4.2:3 Odstupňování tahů pro válcové výtažky, 4.2.4 Postup při stanovení počtu tahů) 7. Jaký je účel přidržovače při tažení plechu a ve kterých případech se používá? (viz 4.2.5 Použití přidržovače) 8. Jak se vypočte přidržovací síla? (viz 4.2:6 Tlak, síla a tvar přidržovače) 9. Jakými způsoby se mohou vyvozovat přidržovací síly? (viz 4.2:6 Tlak, síla a tvar přidržovače) 10. Co je tažná mezera? Jaká je její vhodná velikost? (viz 4.2:7 Tažná mezera) 11. Jaký vliv na tažení má velikost zaoblení tažné hrany tažnice? (viz 4.2:8 Tvar tažnice) 12. Jaké tvary mohou mít výstupní části tažnic? (viz 4.2:8 Tvar tažnice) 13. Dokážete popsat zásady pro konstrukci tažníku? (viz 4.2:9 Tvar tažníku) 14. Jak se vypočte tažná síla a celková síla tažného lisu v libovolném tahu? (viz 4.2.11 Výpočet tažné síly) 15. Jaký je účel mazání při tažení? Jaké jsou základní druhy maziv? (viz 4.3 Mazání při tažení)

Klíč k řešení teoretických otázek **páté kapitoly „Slévání“**:

1. Co se rozumí technologií slévání? Na výrobu čeho je vhodná? (viz 5 Slévání)
2. Co jsou slévárenské formovací směsi? Na co slouží? (viz 5.1 Slévárenské formovací směsi)
3. Jaké jsou základní složky formovacích směsí? (viz 5.1 Slévárenské formovací směsi)
4. Podle jakých hledisek se dají formovací směsi rozdělit? Na jaké druhy se dají formovací směsi rozdělit podle jednotlivých hledisek? (viz 5.1 Slévárenské formovací směsi)
5. Dokážete rozebrat základní zkoušky slévárenských formovacích směsí? (viz 5.1.1 Zkoušení slévárenských formovacích směsí)
6. Jaký je účel úpravy formovacích směsí? Jaké jsou etapy tohoto procesu? (viz 5.1.2 Úprava formovacích materiálů)
7. Jaké jsou způsoby regenerace formovacích směsí? (viz 5.1.2 Úprava formovacích materiálů)
8. K čemu slouží pomocné formovací látky? (viz 5.1.3 Pomocné formovací látky)
9. Jaké rovnovážné soustavy železa s uhlíkem znáte? Na čem záleží, ve které z nich slitina krystalizuje? (viz 5.2 Rovnovážné soustavy železa s uhlíkem)
10. Které materiály jsou používané na odlitky? (viz 5.2 Metalografie a analýza slévárenských slitin, 5.2.2 Oceli na odlitky, 5.2.3 Šedá litina, 5.2.4 Bílá litina, 5.2.5 Tvárná litina)
11. Jaké jsou etapy technologického procesu výroby odlitků? (viz 5.3 Technologický proces výroby odlitků)
12. Jaké druhy slévárenských forem znáte? Jakými způsoby se formy vyrábí? (viz 5.3 Technologický proces výroby odlitků, 5.3.2 Výroba slévárenských forem)
13. Jakým způsobem se připravuje tekutý kov pro odlévání? (viz 5.3.1 Příprava tekutého kovu)
14. Jaké znáte základní druhy pecí podle způsobu ohřevu? (viz 5.3.1 Příprava tekutého kovu)
15. Jak se provádí vytloukání odlitků? Jak se provádí čištění odlitků? (viz 5.3.3 Vytloukání odlitků, čištění a oprava chyb)
16. Které vlastnosti se u hotových odlitků kontrolují? (viz 5.3.4 Kontrola odlitků a expedice)
17. Co je slévárenský postupový výkres? Co je výkres odlitku? (viz 5.4.1 Slévárenský postupový výkres)
18. Jaké jsou zásady pro volbu polohy odlitku ve formě? (viz 5.4.1.1 Volba polohy odlitku ve formě při odlévání)
19. Jaké jsou zásady pro stanovení dělicí plochy? (viz 5.4.1.2 Zásady pro stanovení dělicí plochy)
20. Co je příčinou smrštění odlévaných slitin? Jakých hodnot dosahuje přibližně smrštění u jednotlivých slitin? Jakým způsobem se při výrobě odlitků smrštění zohledňuje? (viz 5.4.1.3 Smrštění odlévaných slitin)
21. Jaký je rozdíl mezi přísadkami na obrábění a přísadkami technologickými u odlitků? (viz 5.4.1.5 Přísadky na obrábění ploch odlitků, 5.4.1.6 Přísadky technologické)

	<p>22. Jaký je účel slévárenských úkosů modelů a odlitků? Jaké jsou druhy úkosů? (viz 5.4.1.7 Slévárenské úkosy modelů a odlitků)</p> <p>23. Jaké jsou druhy modelů? Jakými způsoby se modely vyrábí? (viz 5.4.2 Výrobní postup modelového zařízení)</p> <p>24. Z jakých částí se skládá vtoková soustava? Jak se liší tvary kanálů pro šedou litinu a pro ocel? (viz 5.5 Vtoková soustava)</p> <p>25. Jaké jsou způsoby zaústění vtoku do formy? Jaké výhody jednotlivé varianty poskytují? (viz 5.5.1 Volba zaústění vtoku do formy)</p> <p>26. Jaký je postup návržení vtokové soustavy (slovně, bez uvedení konkrétních rovnic)? (viz 5.5:2 Návržení vtokové soustavy)</p> <p>27. Co je účelem výfuku? Kam se výfuk na odlitku umísťuje? (viz 5.5.3 Návržení výfuku)</p> <p>28. Jak se u odlitku pozná tepelný uzel? (viz 5.6 Nálitkování odlitků)</p> <p>29. Co je účelem nálitkování odlitků? Jak náliček funguje v procesu tuhnutí odlitku? (viz 5.6 Nálitkování odlitků)</p> <p>30. Co je to usměrněné tuhnutí odlitku? (viz 5.4.1.1 Volba polohy odlitku ve formě při odlévání, 5.6 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.)</p> <p>31. Jaké druhy nálitků znáte? (viz 5.6 Nálitkování odlitků)</p> <p>32. Jaký je účel použití podnálitkové vložky? Jak tato vložka funguje při tuhnutí odlitku? (viz 5.6 Nálitkování odlitků)</p> <p>33. Čím je způsobena vztlaková síla působící na vršek formy? Jak se zabraňuje nadzvednutí horního formovacího rámu při liti? (viz 5.7 Výpočet vztlakové síly působící na vršek formy)</p> <p>34. Jaké jsou účely tepelného zpracování odlitků? (viz 5.8 Tepelné zpracování odlitků, 5.8.1 Tepelné zpracování odlitků ze šedé litiny, 5.8.2 Tepelné zpracování odlitků z ocelí uhlíkových a nízkolegovaných, 5.8.3 Tepelné zpracování odlitků z austenitických ocelí, 5.8.4 Tepelné zpracování odlitků ze slitin hliníku))</p> <p>35. Jaké jsou druhy vad odlitků? (viz 5.9 Vady odlitků)</p> <p>36. Dokážete objasnit konstrukční zásady pro navrhování odlitků? (viz 5.10 Konstrukční zásady pro navrhování odlitků)</p>
--	---



Shrnutí studijní opory

Zápustkové kování je **objemové tváření materiálu zatepla**, které je charakterizováno řízeným tečením kovu dle tvaru dutiny zápustky.

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.

Pro výrobu výkovků je možno použít následující stroje: *buchary, vřetenové lisy a mechanické klikové lisy.*

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 *úchytky rozměrů, dovolené přesazení, ořep, dovolené sestřížení, dovolená jehla, dovolený průhyb, úchytky sousostí kovaných otvorů, úchytky sousostí děrovaných otvorů.*

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 *zužovací, rozdělovací, ohýbací, zplošťovací, tvarovací a utínka.*

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.

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, nepřerušovaný 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, rekrystalizační 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 *grafit* nebo *sirník molybdeničitý* (MoS_2), obchodní název **Molyko**. Maziva se obvykle nanáší *ponorem*.

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 vylisku**. 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 díku je omezena vzpěrnou pevností průtlačníku.

Nerovné okraje vylisků vznikají z následujících příčin: u rotačních vylisků tvářených z kalot **vlivem anizotropie mechanických vlastností výchozích pásů nebo plechů**, u nerotačních vylisků tvářených z kalot **vlivem nerovnoměrného toku tvářeného materiálu**, u všech vylisků 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 vylisků: zarovnání okrajů (zarovnání soustružením trubkovým nožem, zarovnání kruhovým nožem), ostříhování okraje vylisků, dokončování dutin vrtáním, odstranění otřepů z dosedacích ploch (omíláním v bubnech vibračním omíláním).

Stříhání plechu je oddělování částic materiálu *smykovým působením dvojice nástrojů* (nožů, nebo střížníku a střížnice) podél *křivky stříhu*. **Základní operace plošného stříhání: prosté**

stříhání, děrování, vystřihování, vystřihování zářezů, přistřihování, nastřihování, prostřihování, protrhávání, vysekávání, ostřihování, přesné stříhání.

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 ubývající 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.

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.

Střih skloněnými noži: plech není stříhán v celé šířce najednou, ale *postupně* (zmenšení střížné síly a rázů), *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* $\lambda = 1$ až 5° , aby byla zaručena podmínka samosvornosti a stříhaný materiál před nožem neujížděl, **nevýhoda** – odstřihovaná část plechu se *ohýbá* (nevdává, pokud je odpadem).

Střihadla: *tvar břítu 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 střihadel podle funkce:** jednoduchá, vícenásobná, postupová, sloučená, sdružená. **Rozdělení střihadel podle druhu vedení:** otevřené (bez vedení), s vodicí deskou, s vodicími sloupky, se sdruženými vedeními.

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

Tažení plechu: trvalá deformace, při které vznikají z rovinných přístřihů *prostorové duté výtažky*, které nejsou rozvinutelné. Jde o *plošné tváření*, 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: *tloušťka plechu není ovlivňována geometrií nástroje* (mezi tažnicí a tažníkem je dostatečná vůle, aby jí prošly i zesílené okraje výtažku). Tloušťka plechu se *u dna* zmenšuje, *u okraje výtažku* se napěchováním zvětšuje. *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).

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: *stupeň deformace při jednom tahu nesmí překročit určitou maximální hodnotu, jinak dojde k poškození výtažku (používají se tzv. mezní součinitelé odstupňování tahu M).*

Použití přidržovače: *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).*

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: $h_t = (2 \div 8) s$ (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. *Povrch tažníku má být hladký, aby se usnadnilo stažení výtažku. Tažník má být provrtán k odvodu vzduchu* 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*

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.).*

Slévání: *úkolem slévárenské výroby je ekonomickým způsobem vyrobit odlitek požadovaného tvaru, mechanických, fyzikálních, chemických a užitných vlastností. Výrobou odlitek 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 zrní 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 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 velikostí 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 ostřiva, 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: *příspěvky zlepšující povrch odlitku, přísady upravující technologické vlastnosti směsi, látky k povrchové úpravě forem, dělicí prostředky snižující adhezi pojliva 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 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 (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.

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 mimopecním 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).*

Vytluokání odlitků: *po odlití odlitek ve formě tuhne a chladne. Po ochlazení na požadovanou teplotu se odlitek z formy vytluče (forma se rozbije). K vytluokání odlitků se používají vibrační zařízení, vytluokací rošty nebo kladivo. 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 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 licí 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. brzdnému 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 záčíslem.), **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 přídavku na obrábění.), **směrodatným rozměrem** (je to největší kótovaný rozměr, nebo součet kót největšího rozměru odlitku v rovině kolmé na jmenovitý rozměr), **zvláštními požadavky**.

Přidavky 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.

Přidavky technologické: nejsou normalizované, stanovují se v závislosti na technologii výroby odlitku (např. přidavky na zajištění usměrněného tuhnutí, nepředlévání otvorů, výztužná 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 *bronzu a mosazi žluté*, pro odlitky z *hliníku* se používá barva *modrošedá* a pro odlitky ze *slutin 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 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, 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 *svíslé 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 nálitek.* Nálitek musí mít takovou velikost a polohu, aby koule vepsaná do tepelného uzlu odlitku prošla snadno do nálitku (nálitek má tuhnout z celého odlitku nejpozději, aby mohl doplňovat tekutý kov do odlitku během tuhnutí). U některých slévárenských 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 nálitek se umístí *podnálitková vložka* která mezi oběma vytvoří úzký krček s vrubem, v němž se nálitek 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 *rozpuštěcího 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,

vyrovnáním, 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), *přerušeni 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:

- a) *tloušťky stěn* ve směru k předpokládaným nálitkům se mají zvětšovat,
- b) odlitek má mít *hladké, jednoduché tvary a stejnoměrnou 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*,
- l) vzít v úvahu hledisko snadného čištění a hledisko minimalizace obrábění.



Doplňující literatura

- [1] BAREŠ, K. a kolektiv autorů *Lisování*. Praha : SNTL, 1971. (bez ISBN).
- [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.

<p>ISSN 1210-0471.</p> <p>[20] ČADA, R. <i>Tvářitelnost kovových materiálů : Plošná tvářitelnost : návody do cvičení : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1997. 78 s.</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[23] ČADA, R. <i>Plošná tvářitelnost kovových materiálů</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 90 s. ISBN 80-7078-557-8.</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[30] ČADA, R. Měřidlo deformačních sítí dutých výtažků. <i>Acta Mechanica Slovaca</i>, 1999, roč. 3, č. 3, s. 43-46. ISSN 1335-2393.</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[33] ČADA, R. Measurement of deformations at forming by method of embossed deformation networks and their evaluation. <i>Strojirenská technologie</i>, 2001, roč. 6, č. 4, s. 8-16. ISSN 1211-4162.</p> <p>[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</p>
--

- 80-248-0093-4.
- [35] ČADA, R. Construction of optimal blank shape from sheet-metal. *Strojírenská technologie*, 2001, roč. 6, č. 3, s. 25-32. ISSN 1211-4162.
- [36] ČADA, R. *Tvářitelnost ocelových plechů : odborná knižní monografie*. Lektorovali: L. Pollák a P. Rumišek. 1. vyd. Ostrava : REPRONIS, 2001. 346 s. ISBN 80-86122-77-8.
- [37] ČADA, R. *Strojírenská technologie 1 : Studijní opora pro kombinovaná studia : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : Ostravská univerzita v Ostravě, Pedagogická fakulta, 2002. 113 s. ISBN 80-7042-232-7.
- [38] ČADA, R. *Tvářitelnost materiálů a nekonvenční metody tváření : Plošná tvářitelnost : návody do cvičení : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2002. 148 s. ISBN 80-248-0019-5.
- [39] ČADA, R. Evaluation of deep-drawing sheet-metal formability. *Metallurgičeskaja i gornorudnaja promyšlenost'*, 2002, roč. 43, č. 8-9, s. 477-483. ISSN 0543-5749.
- [40] ČADA, R. Construction of optimal blank shape from sheet-metal. *Manufacturing Technology*, 2002, roč. 2, č. 2, s. 53-58. ISSN 1213-2489.
- [41] ČADA, R. Projection of blanks for stampings from sheet-metal. *Acta Mechanica Slovaca*, 2002, roč. 6, č. 2, s. 207-212. ISSN 1335-2393.
- [42] ČADA, R. Evaluation of strain and material flow in sheet-metal forming. *Journal of Materials Processing Technology*, 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 *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava : řada strojní : část 1*. 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 *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní : část 1*. 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. *Technical Gazette*, 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. *Základy strojírenské technologie : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1996. 115 s. ISBN 80-7078-300-1.
- [47] Kolektiv autorů (mezi nimi ČADA, R.) *Encyklopedický slovník*. 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.) *Ilustrovaná encyklopedie*. 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.) *Česká multimediální encyklopedie*. 1. vyd. Praha : LEDA, spol. s r. o. a Encyklopedický dům, spol. s r. o., 1997.
- [50] Kolektiv autorů (mezi nimi ČADA, R.) *Malá ilustrovaná encyklopedie*. 1. vyd. Praha : Encyklopedický dům, spol. s r. o., 1999. 1213 s. ISBN 80-86044-12-2.
- [51] Kolektiv autorů (mezi nimi ČADA, R.) *Technický slovník*. 1. vyd. Praha : Encyklopedický dům, spol. s r. o., 2001-2005. 8. sv. ISBN 80-86044-16-5.
- [52] DĚDEK, V. *Hlubokotažné ocelové pásy*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1967.
- [53] DOUBRAVSKÝ, M. *Vybrané stati z tváření : II díl : Zpracování plechů stříháním :*

	<p><i>skriptum</i>. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1969. 90 s. (bez ISBN).</p> <p>[54] DRASTÍK, F., ELFMARK, J. a kol. <i>Plastometry a tvařitelnost kovů</i>. 1. vyd. Praha : SNTL, 1977. 392 s.</p> <p>[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.</p> <p>[56] HRIVŇÁK, A., EVIN, E. a SPIŠÁK, E. <i>Technológia plošného tvárnenia : skriptum</i>. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1985. 264 s. (bez ISBN).</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[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.</p> <p>[60] KOLLEROVÁ, M. <i>Tvárnění kovov : skriptum</i>. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1984. 288 s. (bez ISBN).</p> <p>[61] KOŘENÝ, R. <i>Slévárství neželezných kovů a slitin : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1971. 251 s. (bez ISBN).</p> <p>[62] KOTOUČ, J. <i>Nástroje pro tváření za studena : skriptum</i>. 3. vyd. Praha : ČVUT Praha, 1982. 158 s.</p> <p>[63] MACHEK, V. <i>Tenké ocelové pásy a plechy válcované zastudena</i>. Praha : SNTL, 1987.</p> <p>[64] MACHEK, V., VESELÝ, L., VESELÝ, M. a VIŠŇÁK, J. <i>Zpracování tenkých plechů</i>. 1. vyd. Praha : SNTL, 1982. 272 s.</p> <p>[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.</p> <p>[66] PETRŽELA, Z. <i>Teorie tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1982.</p> <p>[67] PETRŽELA, Z. <i>Základy teorie a technologie strojírenského tváření : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1980. 378 s. (bez ISBN).</p> <p>[68] PETRŽELA, Z. <i>Tváření II : Strojírenská technologie a tvářecí stroje : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1975. 335 s. (bez ISBN).</p> <p>[69] PETRŽELA, Z. <i>Tváření III : skriptum</i>. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1975. 325 s. (bez ISBN).</p> <p>[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).</p> <p>[71] PÍŠEK, F. a PLEŠINGER, A. <i>Slévárství – II : Speciální část</i>. 1. vyd. Praha : SNTL, 1975. 408 s. (bez ISBN).</p> <p>[72] PLUHAŘ, J. a KORITTA, J. <i>Strojírenské materiály</i>. 2. vyd. Praha : SNTL, 1977. 568 s. (bez ISBN).</p> <p>[73] POLLÁK, L. Nové kritéria tváriteľnosti – súčiniteľ plošnej anizotropie. In <i>Rozvoj technológie tvárnenia : zborník prednášok</i>. 1. vyd. Košice : Dom techniky ZSVTS</p>
--	---

- Košice, 1990, s. 1-6. ISBN 80-232-0113-1.
- [74] POLLÁK, L. Teoreticko-experimentálny výskum stability procesu hlbokého ťahania s vypínaním. *Acta Mechanica Slovaca*, 1999, roč. 3, č. 3, s. 193-196. ISSN 1335-2393.
- [75] POLLÁK, L. Výber kritérií tvárniteľnosti podľa kvalitatívnych požiadaviek na výtvarok. *Acta Metallurgica Slovaca*, 1999, roč. 5, č. 1, s. 148-150. ISSN 1335-1532.
- [76] POLLÁK, L. Normal anisotropy as a deep-drawability criterion of steel sheets. *International Sheet Metal Review*, 1999, Launch Issue, Spring, s. 84-85. ISSN 1335-1532.
- [77] POLLÁK, L. Teoreticko-experimentálne aspekty tvárniteľnosti kovov. In *Proceedings of the 5th International Conference FORM 2000 : Volume I – Forming Technology, Tools and Machines*. 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 *Zborník referátov IV. medzinárodnej konferencie NOVÉ SMERY VO VÝROBNÝCH TECHNOLOGIÁCH '99*. 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. *Technologie I : Část 2 : skriptum*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1967. 178 s. (bez ISBN).
- [80] ROMANOVSKIJ, V. P. *Příručka pro lisování za studena*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1959. 540 s.
- [81] SILBERNAGEL, A. *Nauka o materiálu I : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1982. 331 s. (bez ISBN).
- [82] SLOVÁK, S. a RUSÍN, K. *Teorie slévání*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. 232 s. (bez ISBN).
- [83] STOROŽEV, M. V. a POPOV, J. A. *Teória tvármenia kovov*. 1. vyd. Bratislava : Alfa a SNTL, 1978. 488 s. (bez ISBN).
- [84] ŠAFAŘÍK, M. *Nástroje pro tváření kovů a plastů I : Nástroje pro plasty : skriptum*. 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 *Sborník prací Vysoké školy strojní a textilní v Liberci*. Liberec : VŠST Liberec, 1979, s. 207-214.
- [86] TMĚJ, J. a MIKEŠ, V. *Teorie tváření : skriptum*. Liberec : VŠST, 1981.
- [87] VESELÝ, M. a kol. *Atlas informací pro uživatele tenkých plechů – III. díl*. Praha : Výzkumný ústav strojírenské technologie a ekonomiky, 1972.