



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



TÝMOVÁ CVIČENÍ PŘEDMĚTU TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ A SLÉVÁNÍ

Návody do cvičení předmětu „Technologie tváření a slévání“

prof. Ing. Radek Čada, CSc.

Ing. Jakub Machálek

Ing. Barbora Frodlová

Ostrava 2012



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/09.0147 „Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu“.

Recenze: doc. Dr. Ing. René Pyszko (FMFI, VŠB – Technická univerzita Ostrava)

Název: Týmová cvičení předmětu „Technologie tváření a slévání“

Autoři: prof. Ing. Radek Čada, CSc., Ing. Jakub Machálek, Ing. Barbora Frodlová

Vydání: první, 2012

Počet stran: 136

Náklad: 10

Studijní materiály pro studijní obor „Bakalářské strojírenství“ Fakulty strojní

Jazyková korektura: nebyla provedena.



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



Název: Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu
Číslo: CZ.1.07/2.3.00/09.0147
Realizace: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© prof. Ing. Radek Čada, CSc., Ing. Jakub Machálek, Ing. Barbora Frodlová

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2718-6

POKYNY KE STUDIU

Týmová cvičení předmětu „Technologie tváření a slévání“

Pro studium problematiky navrhování technologických postupů výroby součástí technologiemi objemového tváření zatepla, stříhání a tažení jste obdrželi studijní balík obsahující:

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu,
- přístup do e-learningového portálu obsahující doplňkové animace vybraných částí kapitol,
- CD-ROM s doplňkovými animacemi vybraných částí kapitol,
- Zadání a vypracování jednotlivých příkladů.

Prerekvizity

Pro studium této opory se předpokládají znalosti na úrovni absolventa předmětů „Nauka o materiálu“, „Základy strojnictví“.

Cíl učební opory

Cílem této studijní opory je seznámení s principy navrhování technologických postupů výroby základními výrobními technologiemi používanými ve strojírenské výrobě – objemovým tvářením zatepla, stříháním plechů, tažením plechů. V návodech na řešení jednotlivých korespondenčních úkolů je kladen důraz na práci v týmech, která je odrazem průmyslové praxe.

Po prostudování modulu by měl student znát základní nástroje, stroje, být schopen volit vhodné materiály a ovládat metodiku tvorby technologických postupů výroby jednoduchých součástí včetně základních výpočtů. Rovněž získá základní zkušenosti z práce v týmech.

Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do bakalářského studijního programu B2341 „Strojírenství“ oboru 2341R999-00 „Bakalářské strojírenství“, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Studijní opora je rozdělena na kapitoly, které odpovídají logickému členění studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly, kterým odpovídá níže popsaná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



Čas ke studiu: xx hodin

Na úvod kapitoly je uveden čas potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat ...,
- definovat ...,
- vyřešit ...

Následně jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly, tj. konkrétní dovednosti, znalosti.



Výklad

Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.



Shrnutí pojmů

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.



Otázky

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



Korespondenční úkol

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v praxi, jsou Vám na konci kapitol zadávány i korespondenční úkoly k řešení. Jejich hlavním významem je ověření Vašich schopností aplikovat čerstvě nabyté znalosti pro řešení reálných situací. Korespondenční úlohy se odevzdávají tutorovi a jsou hdnoceny v rámci kurzu.



Další zdroje

Seznam další literatury, www odkazů apod., pro zájemce o dobrovolné rozšíření znalostí popisované problematiky.



CD-ROM

Informace o doplňujících animacích, videosekvencích apod., které si může student vyvolat z CD-ROMu nebo je může nalézt na e-learningovém portálu.



Klíč k řešení

Výsledky zadaných příkladů i teoretických otázek jsou uvedeny v závěru studijní opory v Klíči k řešení. Používejte je až po vlastním vyřešení úloh, jen tak si samokontrolou ověříte, že jste obsah kapitoly skutečně úplně zvládli.

Úspěšné a příjemné studium s tímto učebním textem Vám přeji autoři

prof. Ing. Radek Čada, CSc., Ing. Jakub Machálek, Ing. Barbora Frodlová.

OBSAH

0	Předmluva.....	8
1	NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY SOUČÁSTI KOVÁNÍM ZATEPLA V ZÁPUSTKÁCH.....	9
1.1	Jak zvolit vhodný tvářecí stroj.....	10
1.1.1	Buchary Chyba! Záložka není definována.	
1.1.2	Vřetenové lisy.....	12
1.1.3	Mechanické klikové lisy	12
1.2	Hlavní zásady pro nakreslení výkresu výkovku.....	13
1.2.1	Jak zvolit vhodnou dělicí rovinu výkovku.....	14
1.2.2	Zařazení zápusťkového výkovku podle složitosti tvaru	15
1.2.3	Předepsání stupně přesnosti a provedení výkovku	19
1.2.4	Stanovení přídavek na obrábění pro jednotlivá provedení výkovku	20
1.2.5	Stanovení technologických přídavek.....	22
1.2.6	Stanovení dovolených rozměrových a tvarových úchylek zápusťkových výkovků	26
1.3	Stanovení typu, tvaru a rozměrů výronkové drážky	33
1.4	Způsoby výpočtu objemu výkovku.....	38
1.5	Výpočet tvářecí práce nebo síly potřebné pro kování výkovku	39
1.5.1	Výpočet tvářecí práce při posledním úderu pro stanovování potřebné velikosti bucharu	39
1.5.2	Výpočet tvářecí síly pro stanovování potřebné velikosti lisu	41
1.6	Výběr potřebných tvářecích operací a jejich vhodného sledu	42
1.6.1	Postup konstrukce průřezového obrazce a ideálního předkovku pro výkovky I. skupiny.....	42
1.6.2	Volba vhodných přípravných předkovacích dutin.....	48
1.6.3	Výpočet objemu polotovaru a stanovení jeho rozměrů.....	51
2	NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY SOUČÁSTI PLOŠNÝM STŘÍHÁNÍM	66
2.1	Stříhání plechu pomocí tabulových nůžek.....	67
2.1.1	Stříhání rovnoběžnými noži.....	68
2.1.2	Stříhání skloněnými noži	72
2.2	Stříhání plechu ve stříhadlech.....	74
2.2.1	Stanovení optimální velikosti sřizné mezery	77

2.2.2	Přesnost součástí vyrobených stříháním a jakost střížné plochy	78
2.2.3	Stanovení potřebného stupně přesnosti a rozměrů střížníku a střížnice.....	79
2.2.4	Výpočet střížné síly a střížné práce.....	81
2.3	Zásady pro navržení optimálního nástřihového plánu	82
3	NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY SOUČÁSTI TAŽENÍM Z PLECHU	93
3.1	Druhy ocelových plechů k tažení	94
3.1.1	Anizotropie mechanických a fyzikálních vlastností plechů	95
3.1.2	Volba vhodného plechu pro výrobu výtažků	95
3.1.3	Hlubokotažné plechy z oceli DC04 (11 305.21)	97
3.2	Tažení válcových výtažků bez ztenčení stěny	99
3.2.1	Postup stanovení optimální velikosti přístřihu pro tažení válcového výtažku	100
3.2.2	Postup stanovení optimálního rozměru přístřihu pro tažení rotačního výtažku složitěho tvaru	103
3.2.3	Odstupňování tažných operací při výrobě válcových výtažků.....	105
3.2.4	Postup stanovení optimálního počtu tažných operací	106
3.2.5	Rozhodnutí o nutnosti použití přidržovače při tažení.....	108
3.2.6	Stanovení měrného tlaku, síly a vhodného tvaru přidržovače	110
3.2.7	Stanovení optimální velikosti tažné mezery v jednotlivých tazích	114
3.2.8	Stanovení vhodných hodnot zaoblení tažné hrany tažnice	115
3.2.9	Stanovení vhodných poloměrů zaoblení tažných hran tažníku.....	117
3.2.10	Konstrukce tažidel pro víceoperační tažení.....	118
3.2.11	Postupy výpočtu tažné síly	120
3.2.12	Výpočet práce při tažení	123
3.3	Navržení mazání při tažení.....	123
3.4	Rozhodnutí o mezioperačním tepelném zpracování výtažku z plechu.....	124
	Klíč k řešení	127

0 PŘEDMLUVA

Strojírenství patří mezi rozhodující odvětví průmyslu. Požadavky na kvalitu a rychlý inovační cyklus nutí výrobce k vývoji a zdokonalování progresivních technologií, ke kterým patří i tváření.

Technologie tváření jsou využívány v širokém rozsahu nejen ve strojírenství, ale i v řadě dalších průmyslových odvětví hospodářství, jako např. v hutní prvovýrobě, spotřebním, stavebním a chemickém průmyslu. Efektivnost technologií tváření spočívá ve značných úsporách materiálu, ve vysoké jakosti výrobků a ve vysoké produktivitě práce. K těmto přednostem je možno ještě připojit nízké výrobní náklady, ale pouze za předpokladu, že je nízká zmetkovitost při výrobě.

Příčinou vzniku zmetků bývá nedostatečná technologičnost součástí, která při výrobě způsobuje překročení mezí tvářitelnosti materiálu v kritických místech vyráběných součástí, což si následně vynucuje nákladné úpravy drahých nástrojů. Zmetkovitost může být způsobena nevhodnou volbou polotovaru nebo chybou technologa při návrhu technologického postupu výroby součástí. Ke vzniku zmetků dochází i vinou kolísání materiálových vlastností polotovarů ve značném rozmezí daném příslušnou normou.

Z výše uvedených důvodů je důležité znát maximum okolností, které mohou mít vliv na úspěšnost návrhu technologie výroby součástí a ovládat způsoby výpočtů a navrhování technologických postupů výroby, které vedou k žádoucím výsledkům.

Ve studijní opoře jsou uvedeny principy hlavních výrobních metod, příslušné odborné názvosloví a postupy navrhování technologických postupů výroby strojních součástí technologiemi objemového tváření zatepla a plošného tváření zastudena (stříhání a tažení plechu). Skriptum obsahuje velké množství obrázků pro maximální názornost. V návodech na řešení jednotlivých korespondenčních úkolů je kladen důraz na práci v týmech, která je odrazem průmyslové praxe.

Učivo obsažené ve studijní opoře navazuje na znalosti, získané především v předmětech „Nauka o materiálu“ a „Základy strojnictví“.

Studijní opora by měla sloužit studentům pro vytvoření základního přehledu o problematice, který může být doplněn o podrobnosti a souvislosti výkladem na přednáškách a cvičeních. Po prostudování by měl student znát základní nástroje, stroje, být schopen volit vhodné materiály a ovládat metodiku tvorby technologických postupů výroby jednoduchých součástí včetně základních výpočtů. Rovněž získá základní zkušenosti z práce v týmech.

Znalost základních technologických postupů výroby, používaných ve strojírenské výrobě, je potřebná pro pochopení moderních technologií, kterým je věnována pozornost v navazujících předmětech.

1 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY SOUČÁSTI KOVÁNÍM ZATEPLA V ZÁPUSTKÁCH

Kapitola se zabývá volbou tvářecího stroje, nakreslením výkresu výkovku, volbou dělicí roviny výkovku, zařazením zápustkového výkovku podle složitosti tvaru, volbou přesnosti provedení výkovku, určením přídavek na obrábění, technologických přídavek, rozměrových a tvarových úchylek zápustkových výkovků, stanovením tvaru a rozměrů výronkové drážky, výpočtem objemu výkovku, výpočtem silových parametrů tvářecího stroje, konstrukcí ideálního předkovku, výběrem přípravných předkovacích dutin a výpočtem rozměrů výchozího materiálu.



Čas ke studiu: 6 hodin



Cíl: Po prostudování této kapitoly budete umět

- ✚ charakterizovat objemové tváření zatepla a zápustkové kování,
- ✚ vybrat vhodný tvářecí stroj pro výrobu určitého výkovku,
- ✚ nakreslit výkres výkovku,
- ✚ zvolit dělicí rovinu,
- ✚ upravit tvar výkovku technologickými přídávky,
- ✚ určit rozměrové a tvarové úchytky zápustkového výkovku,
- ✚ zkonstruovat průřezový obrazec a ideální předkovek,
- ✚ vybrat vhodné přípravné předkovací dutiny,
- ✚ popsat jednotlivé typy výronkových drážek a zvolit vhodný pro daný výkovek,
- ✚ 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.



Průvodce studiem

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



Výklad

Mezi technologie **objemového tváření materiálu zatepla** patří **zápustkové kování**, 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 údery 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 polotovar 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 Jak zvolit vhodný tvářecí stroj

Při volbě tvářecího stroje je rozhodujícím činitelem strojní park podniku, který je v kovárně k dispozici. Teprve následně se přihlíží k tvarové složitosti výkovku, podle níž se pro výkovky 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 přídavky), 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

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. Sevření zápustek se nastavuje změnou délky ojnice na beranu, což je zabezpečeno šroubovým spojením dvou částí ojnice. Míra regulace délky ojnice se vyjadřuje na štítku stroje hodnotou tzv. **přestavitelnosti beranu**. Další hodnotou, důležitou při konstrukci zápustek a držáků zápustek, je hodnota tzv. **sevření**, což je vzdálenost mezi beranem v dolní úvrati a stolem lisu. Při nastavení vhodného sevření zápustek je třeba počítat s pružností stroje, takže je zpravidla třeba vykovat několik zkušebních kusů výkovků a po jejich kontrole provést doladění.

1.1.1 Buchary

Buchary se používají pro kování těžkých nebo rozměrných výkovků, které není možno vyrábět postupově, nebo pro výkovky tvarově složité, 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 kování na bucharech obvykle až o 3 % vyšší (větší úkosity a zbytky konců tyče) než při kování na mechanických klikových lisech.

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

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

1.1.2 Vřetenové lisy

Kování na vřetenových lisech se používá **v malosériové výrobě** při kování 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 m.s⁻¹), což odpovídá spíše klikovým lisům. Kove se v jednodutinové zápustce jedním úderem, pouze v ojedinělých případech u členitých výkovků se nelze vyhnout kování větším počtem úderů (snižuje se však produktivita práce).

Kování 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 přemísťování 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 Mechanické klikové lisy

Kování na mechanických klikových lisech se používá 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 kovááním buď okuje odstraňovat, nebo volit takový režim ohřevu, při kterém je vznik okujů snížen na minimální možnou míru.



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady využití jednotlivých tvářecích strojů při výrobě výkovků v praxi.

1.2 Hlavní zásady pro nakreslení výkresu výkovku

Všeobecné zásady pro zpracování výkresu výkovku jsou uvedeny v ČSN 42 9030. Je nezbytné přihlédnout ke zvláštnostem kování na jednotlivých druhích 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 nekótují se. Jsou tak zřejmé přídávky na obrábění na funkčních plochách. Snahou je následně obrábět co nejméně ploch. Na plochách, které jsou kolmé k dělicí rovině, jsou technologické přídávky – *úkosy*. Jsou vnější a vnitřní a mohou se lišit. Velikost úkosů závisí na druhu tvářecího stroje a na tom, 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 úkosity, nekótované poloměry, povrchové defekty pod max. rozměr atd.

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

Pro zvolenou výrobní technologii je třeba:

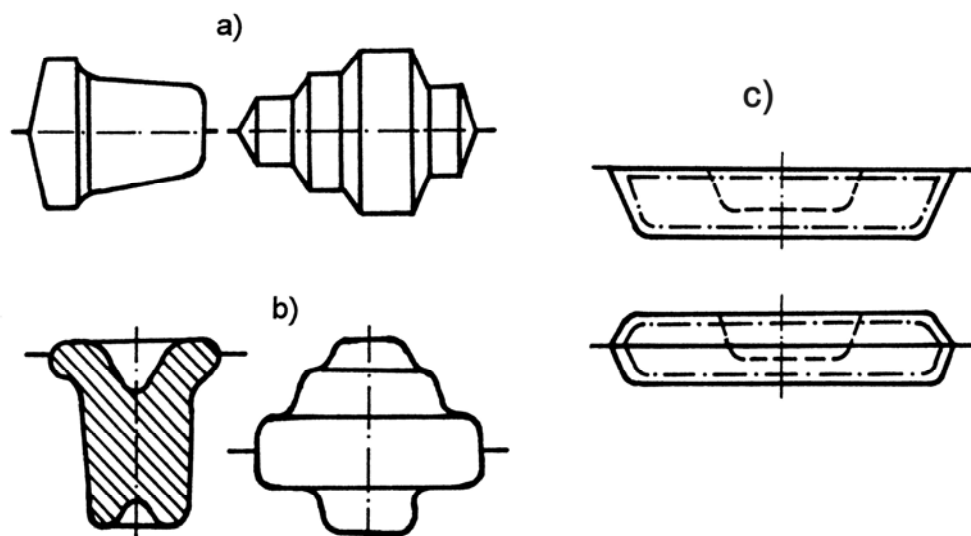
- a) zvolit dělicí rovinu,
- b) zařadit zápustkový výkovek podle složitosti tvaru,
- c) zvolit přesnost provedení výkovku,
- d) určit přídavky na obrábění,
- e) upravit tvar výkovku technologickými přídávky,
- f) určit rozměrové a tvarové úchytky zápustkového výkovku.

1.2.1 Jak zvolit vhodnou dělicí rovinu 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 (Obrázek 1.1 a). Tato zásada se nerespektuje, jestliže jiná volba dělicí roviny umožňuje zmenšení obvodu výronku za současného zjednodušení ostřihování výronku (Obrázek 1.1 b).
- c) Dělicí rovina by měla umožnit dokonalé ostřížení výronku.
- d) Zaplňování dutiny zápustky je výhodnější přechováním 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 (Obrázek 1.1 c).



Obrázek 1.1 – Uplatnění zásad pro volbu dělicí roviny zápustkových výkovků



Příprava na tutoriál

Promyslete si 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 kovacích 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 hřidelů 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 kovacím 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 kovacích lisech **souměrné**,
- 7 výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech **nesouměrné**,
- 8 výkovky zhotovené na vodorovných kovacích 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 Předepsání stupně přesnosti a provedení výkovku

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

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 není vhodné předepisovat 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. **Přídavky na obrábění** se dávají na funkční plochy, u kterých se teprve obráběním dosáhne kvalitní povrch s předepsanou drsností.

Tabulka 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.

1.2.4 Stanovení přídavek na obrábění pro jednotlivá provedení výkovku

Přídavek na obrábění je *přídavek materiálu na plochy, které se mají obrábět*. Přídavky 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

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

Přídavky na obrábění ploch výkovků jsou rozlišovány:

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

Tabulka 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

Tabulka 1.3 – Přidavky na obrábění ploch výkovků pro *přesné 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	1,3	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

Tabulka 1.4 – Přidavky na obrábění ploch výkovků pro *velmi přesné 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	1,1	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.



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady použití přídavků na obrábění u konkrétních výkovků.

1.2.5 Stanovení technologických přídavků

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

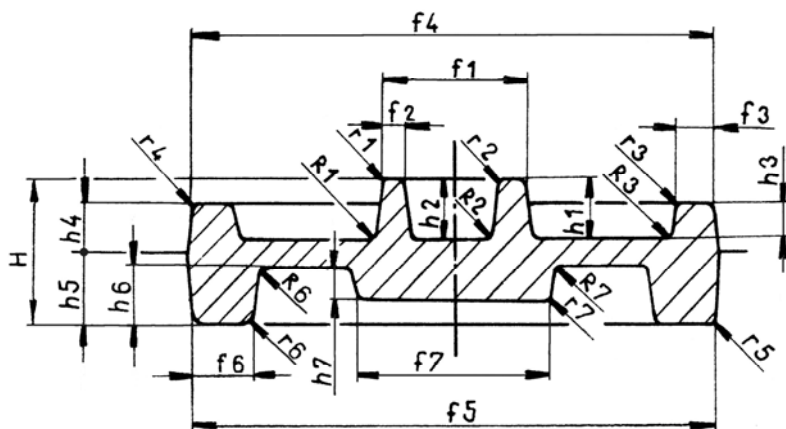
Při konstrukci výkovku je třeba vzít v úvahu mezní hodnoty následujících tvarových prvků:

- a) zaoblení hran a přechodů,
- b) tloušťka dna, případně blány výkovku,
- c) tloušťka stěny výkovku,
- d) boční úkopy.

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

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

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



Obrázek 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)

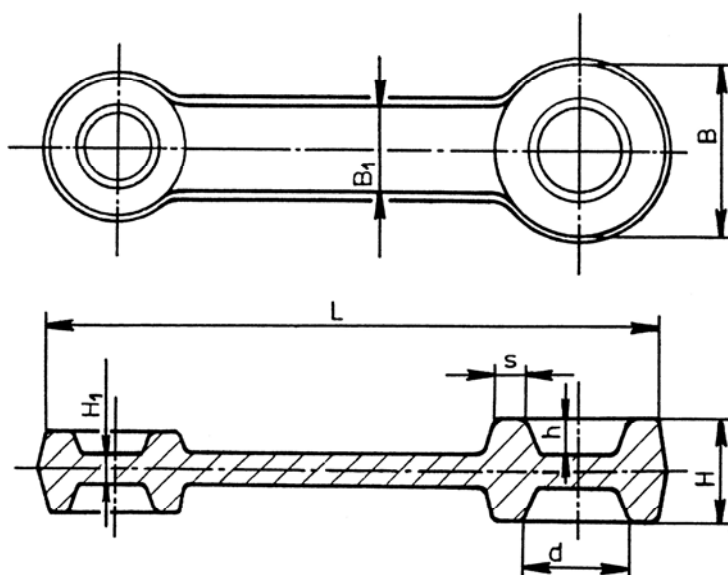
Tabulka 1.5 – Poloměry zaoblení hran r a přechodů R výkovků (ČSN 42 9030)

Rozměry v mm

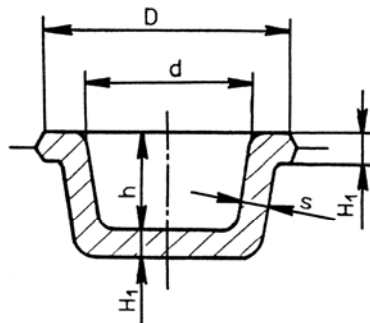
Výška (hloubka) h		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru h/f					
		do 2		přes 2 do 4		přes 4	
přes	do	r	R	r	R	r	R
0	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	16	40
160	250	12	30	16	45	25	65
250	400	20	50	25	75	40	100
400	630	30	80	40	120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

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

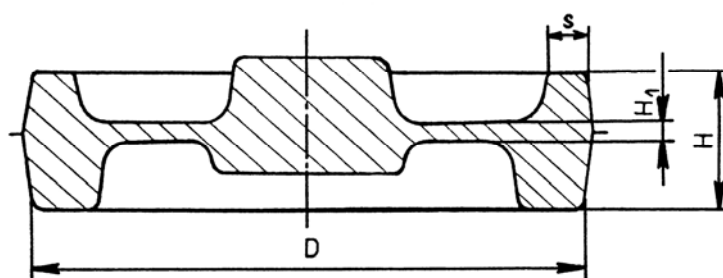
Hodnoty nejmenší tloušťky stěny s výkovku, uvedené v Tabulce 1.6, slouží jako směrnice pro konstrukci výrobku a pro stanovení přesahu u výkovků podle ČSN 42 9002.



Obrázek 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)



Obrázek 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)



Obrázek 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)

Tabulka 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 Tabulce 1.7.

Tabulka 1.7 – Úkosity zápustkových výkovků (ČSN 42 9030)

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



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady použití technologických přídavek u konkrétních výkovků.

1.2.6 Stanovení dovolených rozměrových a tvarových úchylek zápustkových výkovků

Mezní úchylky jsou úchylky rozměrů od jmenovitých rozměrů výkovku. **Úchylka tvaru** je úchylka od požadovaného geometrického tvaru výkovku.

Dle ČSN 42 9030 úchylky rozměrů a tvarů zahrnují:

- úchylky rozměrů,
- přesazení,
- otřep,
- prohnutí.

Mezní úchylky a tolerance rozměrů výkovků se stanoví podle stupně přesnosti výkovku z největších rozměrů výkovku ve směru kolmo k rázu a ve směru rázu z Tabulek 1.8, 1.9, 1.10, 1.11 nebo 1.12. Pro vnější rozměry výkovků lze mezní úchylky 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 Tabulce 1.1.

Tabulka 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	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
do 25	mezní	+ 0,25	+ 0,25	+ 0,30	+ 0,35	-	-	-	-
	úchytky	- 0,10	- 0,15	- 0,15	- 0,15	-	-	-	-
	tolerance	0,35	0,40	0,45	0,50	-	-	-	-
přes 25 do 40	mezní	+ 0,25	+ 0,30	+ 0,35	+ 0,40	-	-	-	-
	úchytky	0,15	0,15	0,15	0,15	-	-	-	-
	tolerance	0,40	0,45	0,50	0,55	-	-	-	-
přes 40 do 63	mezní	+ 0,30	+ 0,35	+ 0,40	+ 0,40	+ 0,45	-	-	-
	úchytky	0,15	0,15	0,15	0,20	0,25	-	-	-
	tolerance	0,45	0,50	0,55	0,60	0,70	-	-	-
přes 63 do 100	mezní	+ 0,40	+ 0,40	+ 0,45	+ 0,45	+ 0,55	+ 0,65	-	-
	úchytky	- 0,15	- 0,20	- 0,20	- 0,25	- 0,25	- 0,30	-	-
	tolerance	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80	0,95	-	-
přes 100 do 160	mezní	+ 0,45	+ 0,45	+ 0,50	+ 0,55	+ 0,60	+ 0,70	-	-
	úchytky	- 0,20	- 0,25	- 0,25	- 0,25	- 0,30	- 0,35	-	-
	tolerance	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,05	-	-
přes 160 do 250	mezní	+ 0,55	+ 0,55	+ 0,60	+ 0,65	+ 0,70	+ 0,80	+ 0,95	-
	úchytky	- 0,25	- 0,30	- 0,30	- 0,30	- 0,35	- 0,40	- 0,45	-
	tolerance	0,80	0,85	0,90	0,95	1,05	1,20	1,40	-
přes 250 do 400	mezní	+ 0,65	+ 0,70	+ 0,75	+ 0,80	+ 0,85	+ 0,95	+ 1,10	-
	úchytky	- 0,35	- 0,35	- 0,35	- 0,35	- 0,40	- 0,45	- 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.

Tabulka 1.9 – Mezní úchylky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 4 (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	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
do 25	mezní úchylky	+ 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 úchylky	+ 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 úchylky	+ 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 úchylky	+ 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 úchylky	+ 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 úchylky	+ 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 úchylky	+ 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 úchylky	+ 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 úchylky	+ 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

Tabulka 1.10 (1. část) – Mezní úchylky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 5 (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	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
do 25	mezní úchylky	+ 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 úchylky	+ 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	-	-

Tabulka 1.10 (2. část) – Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 5 (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	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	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

Tabulka 1.11 (1. část) – Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 6 (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	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	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

Tabulka 1.11 (2. část) – Mezní úchylky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 6 (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	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes 250	mezní úchylky	+ 2,5 - 1,3	+ 2,6 - 1,3	+ 2,7 - 1,3	+ 2,8 - 1,4	+ 2,9 - 1,5	+ 3,1 - 1,6	+ 3,4 - 1,7	+ 3,8 - 1,9
	tolerance	3,8	3,9	4,0	4,2	4,4	4,7	5,1	5,7
přes 400	mezní úchylky	+ 3,1 - 1,5	+ 3,1 - 1,6	+ 3,2 - 1,6	+ 3,3 - 1,7	+ 3,5 - 1,7	+ 3,7 - 1,8	+ 3,9 - 2,0	+ 4,3 - 2,2
	tolerance	4,6	4,7	4,8	5,0	5,2	5,5	5,9	6,5
přes 630	mezní úchylky	+ 4,1 - 2,1	+ 4,2 - 2,1	+ 4,2 - 2,2	+ 4,4 - 2,2	+ 4,5 - 2,3	+ 4,7 - 2,4	+ 5,0 - 2,5	+ 5,4 - 2,7
	tolerance	6,2	6,3	6,4	6,6	6,8	7,1	7,5	8,1

Tabulka 1.12 – Mezní úchylky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 7 (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	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
do 25	mezní úchylky	+ 1,6 - 0,8	+ 1,7 - 0,8	+ 1,8 - 0,9	+ 2,0 - 1,0	+ 2,2 - 1,1	- -	- -	- -
	tolerance	2,4	2,5	2,7	3,0	3,3	-	-	-
přes 25	mezní úchylky	+ 1,8 - 0,9	+ 1,9 - 0,9	+ 2,0 - 1,0	+ 2,2 - 1,1	+ 2,4 - 1,2	+ 2,7 - 1,3	- -	- -
	tolerance	2,7	2,8	3,0	3,3	3,6	4,0	-	-
přes 40	mezní úchylky	+ 2,1 - 1,1	+ 2,2 - 1,1	+ 2,3 - 1,2	+ 2,5 - 1,3	+ 2,7 - 1,4	+ 3,0 - 1,5	- -	- -
	tolerance	3,2	3,3	3,5	3,8	4,1	4,5	-	-
přes 63	mezní úchylky	+ 2,5 - 1,2	+ 2,5 - 1,3	+ 2,7 - 1,3	+ 2,9 - 1,4	+ 3,1 - 1,5	+ 3,3 - 1,7	+ 3,7 - 1,8	- -
	tolerance	3,7	3,8	4,0	4,3	4,6	5,0	5,5	-
přes 100	mezní úchylky	+ 2,9 - 1,5	+ 3,0 - 1,5	+ 3,1 - 1,6	+ 3,3 - 1,7	+ 3,5 - 1,8	+ 3,8 - 1,9	+ 4,2 - 2,1	- -
	tolerance	4,4	4,5	4,7	5,0	5,3	5,7	6,3	-
přes 160	mezní úchylky	+ 3,4 - 1,7	+ 3,5 - 1,7	+ 3,6 - 1,8	+ 3,8 - 1,9	+ 4,0 - 2,0	+ 4,2 - 2,2	+ 4,6 - 2,3	+ 5,0 - 2,6
	tolerance	5,1	5,2	5,4	5,7	6,0	6,4	6,9	7,6
přes 250	mezní úchylky	+ 4,1 - 2,0	+ 4,1 - 2,1	+ 4,2 - 2,2	+ 4,5 - 2,2	+ 4,7 - 2,3	+ 5,0 - 2,4	+ 5,3 - 2,6	+ 6,1 - 3,0
	tolerance	6,1	6,2	6,4	6,7	7,0	7,4	7,9	9,1
přes 400	mezní úchylky	+ 5,0 - 2,5	+ 5,1 - 2,5	+ 5,2 - 2,6	+ 5,4 - 2,7	+ 5,6 - 2,8	+ 5,9 - 2,9	+ 6,2 - 3,1	+ 6,7 - 3,4
	tolerance	7,5	7,6	7,8	8,1	8,4	8,8	9,3	10,1
přes 630	mezní úchylky	+ 6,5 - 3,2	+ 6,6 - 3,2	+ 6,7 - 3,3	+ 6,9 - 3,4	+ 7,1 - 3,5	+ 7,4 - 3,6	+ 7,7 - 3,8	+ 8,2 - 4,1
	tolerance	9,7	9,8	10,0	10,3	10,6	11,0	11,5	12,3

Tabulka 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 (Obrázek 1.6 a).



Příprava na tutoriál

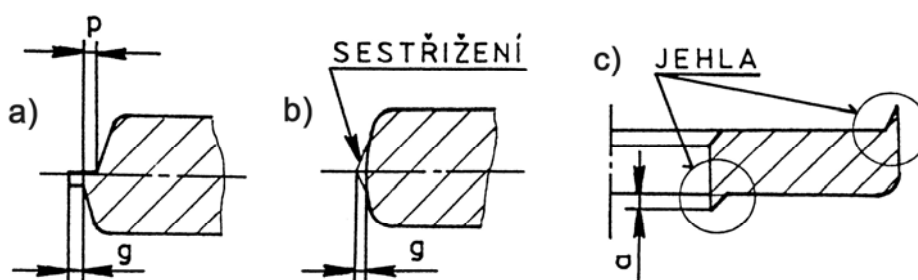
Promyslete si příčiny vzniku přesazení zápustek.

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

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

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

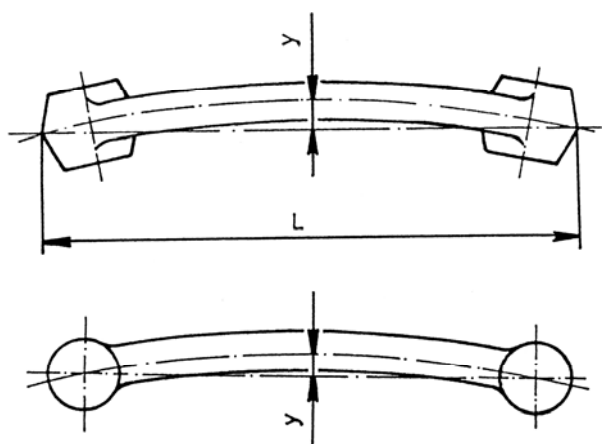
Dovolená jehla a je ostří na střížné ploše, která může vzniknout na okraji střížné plochy. Hodnota dovolené jehly a je rovna plusové mezní úchylce rozměru daného výkovku ve směru rázu (Obrázek 1.6 c).



Obrázek 1.6 – Úchylky 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* (Obrázek 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.

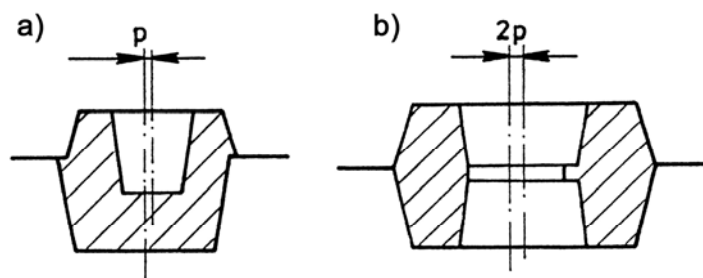
Dovolený průhyb a mezní úchylka rovinnosti se připočítávají k ostatním mezním úchylkám. Součet všech úchylek nesmí pro daný rozměr přesáhnout minimální přídavek na obrábění.



Obrázek 1.7 – Úchylka tvaru výkovku – průhyb o rozměru y

Dovolená úchylka souososti kovaných otvorů je *rovna hodnotám přesazení* (Obrázek 1.8 a).

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



Obrázek 1.8 – Úchylky tvaru výkovků (a – přesazení výkovku o rozměru p a otřep o rozměru g , b – sestřížení o rozměru g , c – jehla o rozměru a)

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 úchylky zápustkových výkovků (Obrázky 3.12 až 3.14) **se kontroly před obráběním**, aby se zbytečně neobráběly zmetky.



Příprava na tutoriál

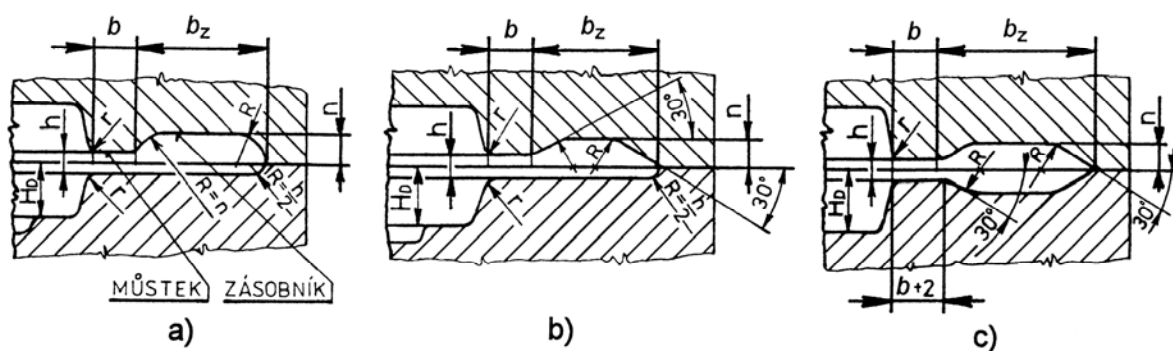
Promyslete si příčiny vzniku jednotlivých rozměrových a tvarových úchylek při výrobě výkovků.

1.3 Stanovení typu, tvaru a rozměrů výronkové drážky

Při kování na bucharech a třecích lisech se nejčastěji používají **tři typy výronkových drážek** dle Obrázku 1.9 (ČSN 22 8308). Převážně se používá výronková drážka **prvního typu** dle Obrázku 1.9 a, případně dle Obrázku 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 Obrázku 1.9 a, případně na Obrázku 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 Obrázku 1.9 c přichází v úvahu při kování tvarově velmi složitých výkovků, kdy lze předpokládat větší přebytek materiálu.



Obrázek 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 materiálu 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 Tabulce 1.14.

Tabulka 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

$$h_{stř} = \frac{S_{výr}}{b + b_z}$$

Z Tabulky 1.14 je zřejmé, že pro jednu hodnotu h lze zvolit **tři velikosti výronkové drážky**. **První velikost** se používá při zaplňování zápustkových dutin pýcháním, **druhá** při zaplňování jednoduše tvarovaných výkovků vtlačováním, **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 Tabulky 1.14 (mm),

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



Průvodce studiem

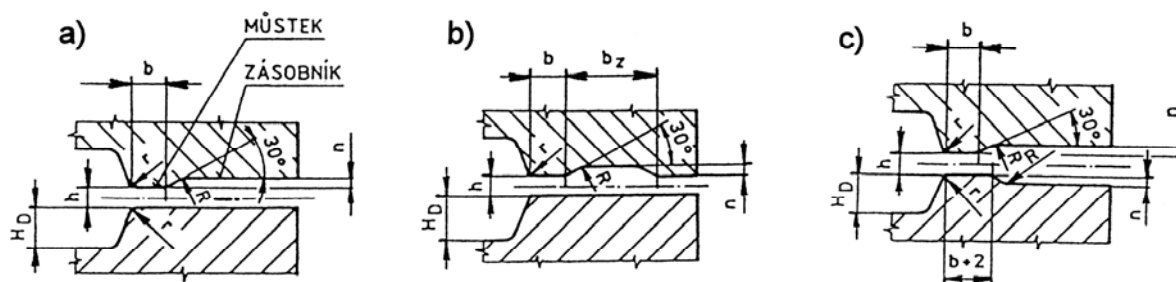
Objem výronku slouží pro výpočet **objemu polotovaru**, který je potřebný pro výrobu daného výkovku (viz 1.6.1 a 1.6.3).

Jestliže se výkovek zhotovuje na mechanickém klikovém lisu, používá se odlišný tvar výronkových drážek dle Obrázku 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 klikový mechanismus stroje. Sevření zápustek se nastavuje přestavením beranu lisu.

Druhý typ výronkové drážky (Obrázek 1.10 b) pro kování na mechanickém klikovém lisu se liší od **prvního typu** (Obrázek 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 (Obrázek 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 Tabulky 1.15.



Obrázek 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)

Tabulka 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 Způsoby výpočtu objemu výkovku

Objem výkovku lze vypočítat třemi 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.

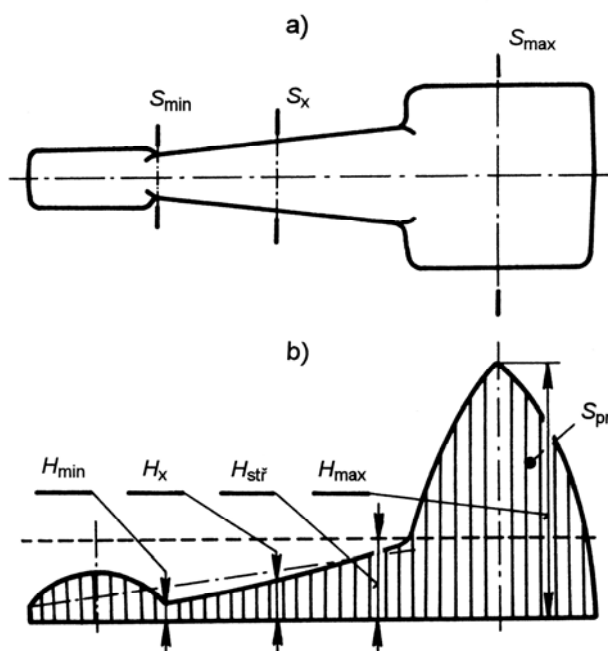
b) metoda průřezového obrazce – používá se pro tvarově složitě výkovky (Obrázek 1.11). Princip této metody spočívá v tom, že se v charakteristických průřezích výkovku (kde se mění tvar výkovku) 1, 2, . . . , n stanoví velikost plochy jednotlivých průřezů $S_1, S_2, \dots, S_n$. Když se takto získané 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:

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

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



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

c) metoda využívající grafický software – výkovek se nakreslí jako 3D model (např. v programech SolidWorks, ProEngineer) a následně se funkcí programu vypočte jeho objem:

1.5 Výpočet tvářecí práce nebo síly potřebné pro kování výkovku

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 Výpočet tvářecí práce při posledním úderu pro stanovení potřebné 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:

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

kde je D – průměr výkovku (mm),

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

Tabulka 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 Tabulce 1.16, platí pro střední deformační rychlost 5 s^{-1} a stupeň deformace 0,1.

Pro nekruhový 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 nekruhový výkovek** lze vypočítat ze vztahu:

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

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 Tabulky 1.17.

Tabulka 1.17 – Určení hmotnosti beranu bucharu m (kg) (ČSN 22 8308)

Druh výkovku	Hmotnost beranu bucharu m (kg)	
	jednočinný buchar	dvojčinný 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 dvojčinného 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 tvářecí síly pro stanovení potřebné 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 (mm^2),
 k_p – základní přetvárný odpor materiálu za kovací teploty (MPa),
 Tabulka 1.16.

1.6 Výběr potřebných tvářecích operací a jejich vhodného sledu

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 Postup konstrukce průřezového obrazce a ideálního předkovku pro výkovky

I. skupiny

Nakreslí se *výkres výkovku* (Obrázek 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_{vyr} z rovnice (1.2) a plocha příčného průřezu výronkové drážky S_{vyr} (Tabulka 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:

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

Pro koncové průřezy (jsou dva) platí:

$$S_{ik} = 2 \cdot S_{v\dot{y}r} \quad (\text{mm}^2). \quad (1.14)$$

Průměr ideálního předkovku v libovolném příčném řezu:

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

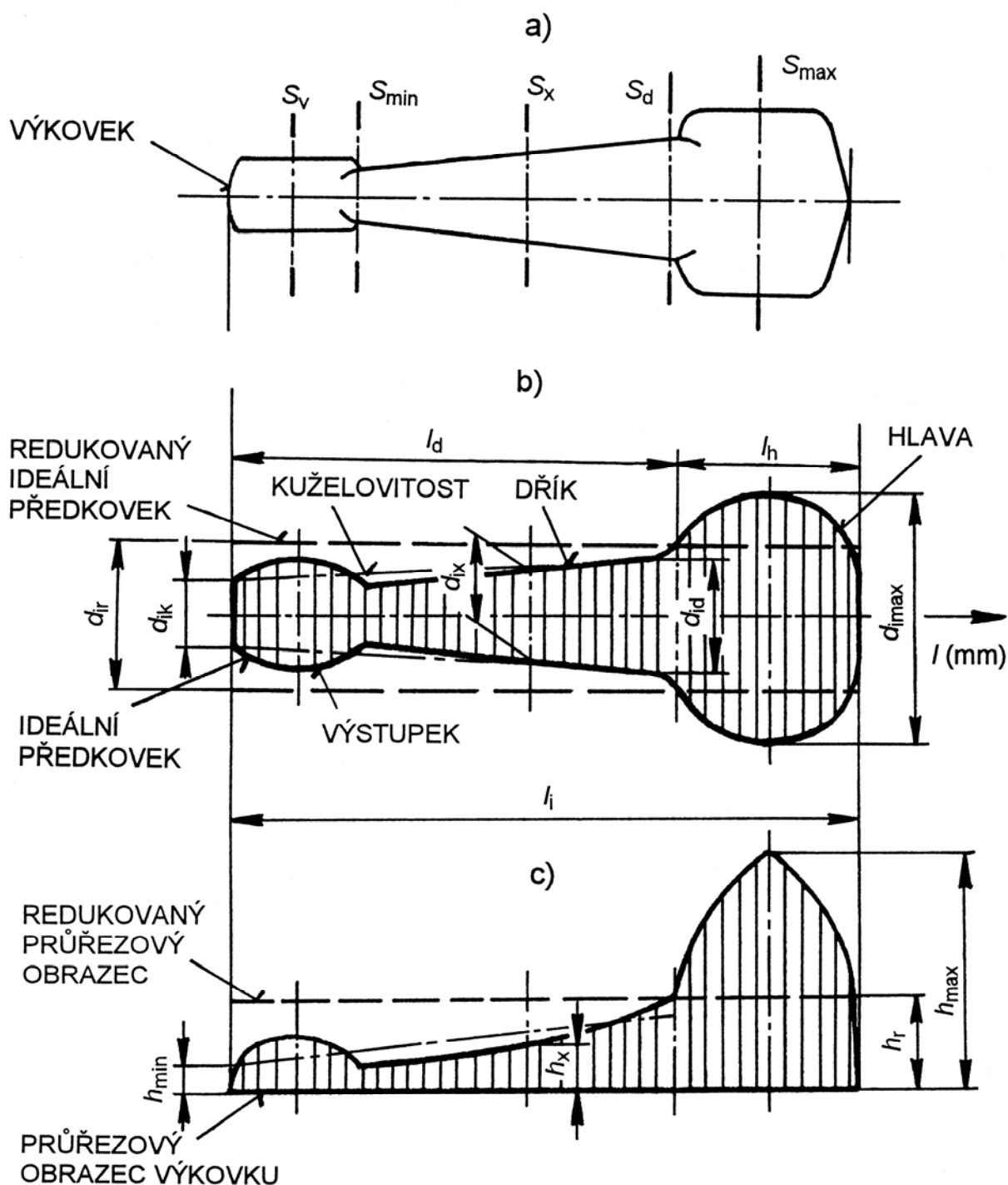
Řada takto získaných hodnot d_{ix} se nanáší symetricky jako pořadnice od osy l a spojením koncových bodů těchto pořadnic se obdrží tvar ideálního předkovku (Obrázek 1.12 b).

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** (Obrázek 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).



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



Průvodce studiem

Na Obrázku 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 měřítka **průřezového obrazce** v dolní části obrázku. Měřítka je třeba zvolit tak, aby průřezový obrazec nebyl zbytečně vysoký. Zvolené měřítka ploch by se měla uvést vedle průřezového obrazce. Po vynesení nejdelší svislé úsečky odpovídající největší ploše příčného průřezu výkovku se provedou výpočty dalších příčných průřezů výkovku a na svislicích se vynesou v průřezovém obrazení. Nesmí se vynechat průřezy, které jsou např. ve středu oka, na začátku a na konci dřívku. Propojením koncových bodů svislých úseček v průřezovém obrazení se získá průřezový obrazec výkovku. Přepočtením každého průřezu na kruhový podle vzorce pro výpočet plochy kruhu se zkonstruuje **ideální předkovek**, který je v prostřední části obrázku. Je třeba jak vodorovně, tak svisle dodržet stejné měřítka 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.

Redukovaný ideální předkovek je válec o průměru d_{ir} , délky l_i a objemu V_i (Obrázek 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:

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

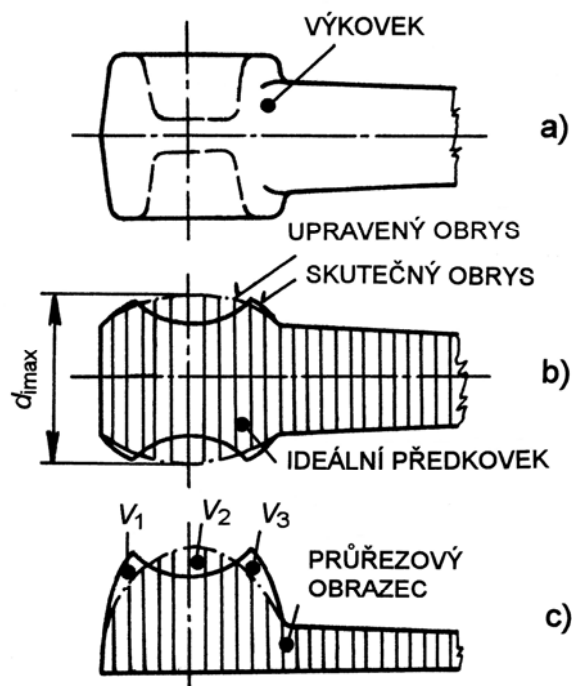
Část ideálního předkovku, v níž $d_{ix} > d_{ir}$, se nazývá **hlava**, část, v níž $d_{ix} < d_{ir}$, se nazývá **dřík**. Rozdíl objemů hlavy V_h ideálního předkovku a redukovaného ideálního předkovku v oblasti hlavy představuje *chybějící objem* V_{ch} :

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

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 (Obrázek 1.13). Tato úprava se s výhodou provádí v průřezovém obrazení, přičemž musí platit, že $V_1 + V_3 = V_2$ (Obrázek 1.13 c).



Obrázek 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:

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

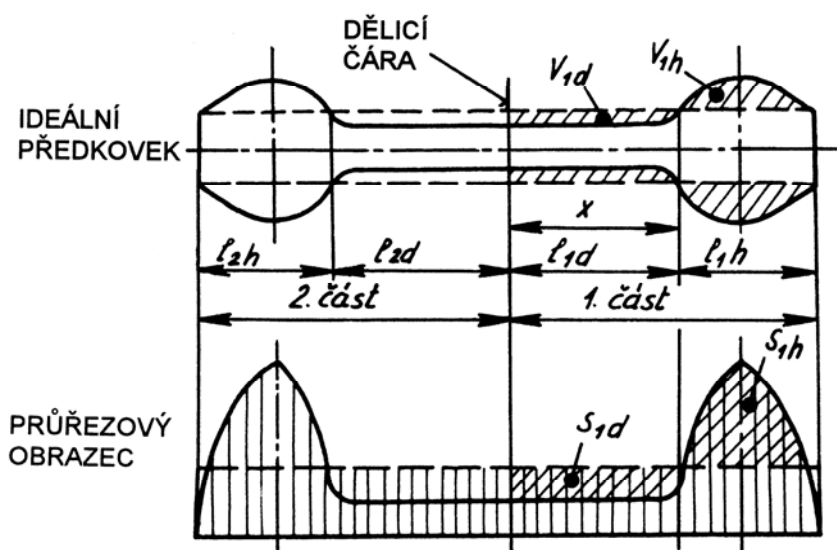
kde je $d_{\max}$ – maximální průměr dříku ideálního předkovku (mm),

$d_{\min}$ – 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*.

Složitý 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 Obrázku 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 $S_{1h} = S_{1d}$ (Obrázek 1.14).



Obrázek 1.14 – Převod složitého ideálního předkovku se dvěma hlavami na elementární ideální předkovek

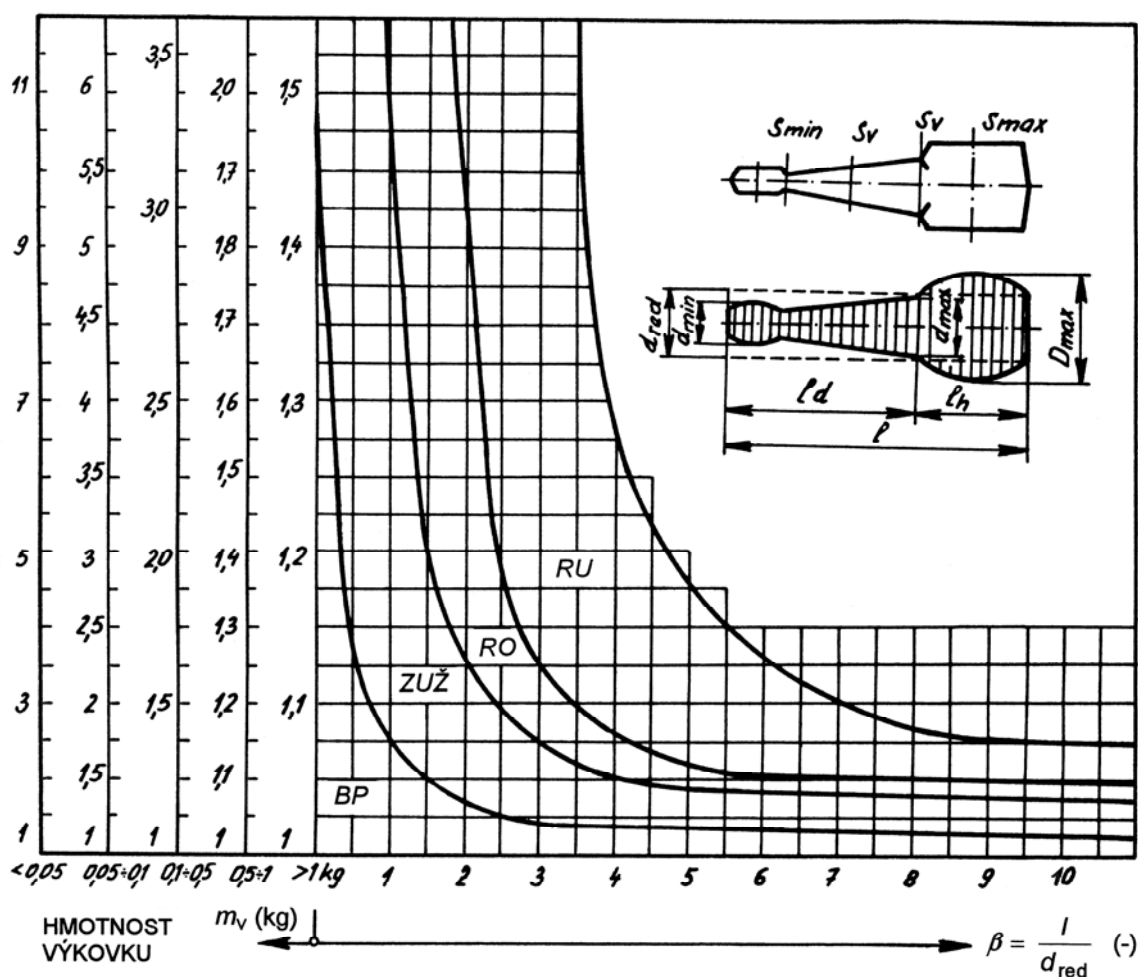
Pro **výkovky II. skupiny** se ideální předkovek navrhuje v rozvinutém tvaru. Za délku rozvinutého výkovku s pozvolným ohybem se bere délka křivky, která prochází ve vzdálenosti $1/3$ jeho tloušťky od vnitřního obrysu. **Výkovky III. a IV. skupiny** se při sestrojování ideálních předkovků zařazují buď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

1.6.2 Volba vhodných 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 úkosity 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 Obrázku 1.15. Jednotlivé oblasti, ohraničené čarami, udávají typ přípravné předkovací dutiny v pořadí podle složitosti operace.



Obrázek 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:

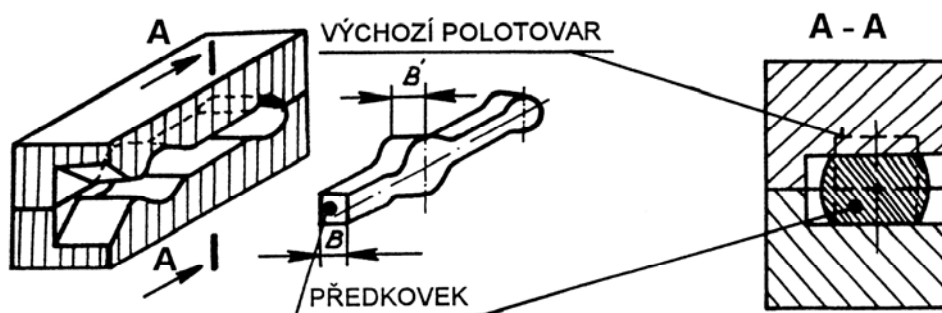
$$\alpha = \frac{D_{\max}}{d_{\text{red}}} ; \quad \beta = \frac{l}{d_{\text{red}}} ; \quad k = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{l_d} \quad (-). \quad (1.25)$$

Význam hodnot, potřebných ke stanovení součinitelů α , β , k je zřejmý z Obrázku 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.

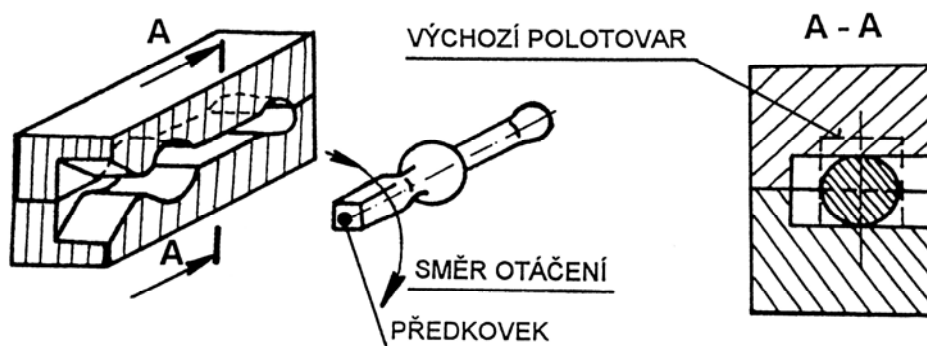
Mezi základní typy přípravných předkovacích dutin patří:

- a) **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 (Obrázek 1.16).



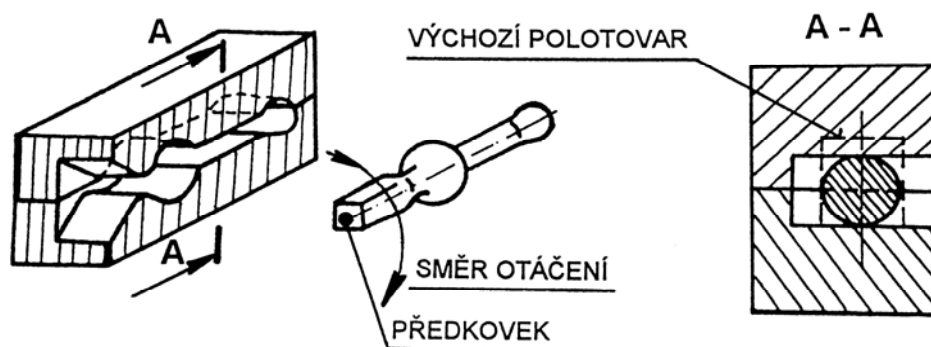
Obrázek 1.16 – Zužovací dutina

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



Obrázek 1.17 – Rozdělovací otevřená dutina

- c) **rozdělovací uzavřená dutina** – lze v ní dosáhnout nejintenzivnějšího tečení materiálu ve směru podélné osy (Obrázek 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 ÷ 20 %. Kove se na několik úderů *s pootáčením o 90°*. Tato dutina se používá při výrobě osově souměrných výkovků.



Obrázek 1.18 – Rozdělovací uzavřená dutina

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 kováním 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.



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady použití přípravných předkovacích dutin při výrobě konkrétních výkovků.

1.6.3 Výpočet objemu polotovaru a stanovení jeho rozměrů

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

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

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:

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

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

Objem výronku u výkovků V. skupiny:

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

kde je $S_{\text{výr}}$ – 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 – pēchovací součinitel ($p = 1,5 \div 2,5$).



CD-ROM

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam první fáze kování hřídele železničního dvojkolí*** – ingot zahřátý na horní kovací teplotu je transportován z pece portálovým jeřábem, položen na vozík s kruhovou otočnou plošinou a po natočení do směru osy ramena manipulátoru uchycen do čelistí manipulátoru pro volné kování na kovacím lisu. Po odjetí vozíku po kolejích stranou následuje přesun manipulátoru s polotovarem po kolejnicích ke kovacímu lisu tak, že se zahřátý polotovar ocitne mezi horní a dolní částí kovacího nástroje.

X:\TTaS\Animace+video\01-01-Transport-ingotu-z-pece+uchyceni-manipulatorem.mov

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam druhé fáze kování hřídele železničního dvojkolí*** – ingot zahřátý na horní kovací teplotu je uchycen v čelistech manipulátoru pro volné kování a postupně, v jednotlivých krocích deformován kovacím nástrojem na kovacím lisu. Jde o volné kování v univerzálním kovacím nástroji, který má horní část plochou a dolní část s trojúhelníkovým zářezem. Prováděná operace se nazývá prodlužování, průřez tyče se při ní zmenšuje a zůstává čtyřhranný. Na povrchu polotovaru jsou vidět okuje, což jsou oxidy železa (FeO a Fe_2O_3), které při tváření odpadají a

představují ztrátu materiálu opalem. Okuje z funkčních ploch kovacího nástroje obsluha lisu průběžně odstraňuje, aby nedocházelo k jejich zalisování do povrchu polotovaru.

X:\TTaS\Animace+video\01-02-Zacatek-kovani-hridele-ze-ctyrhranne-tyce.mov

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam třetí fáze kování hřídele železničního dvojkolí*** – ze čtyřhranné tyče uchycené v čelistech manipulátoru pro volné kování byla díky jejímu pootáčení postupně kovací nástrojem na kovací lisu vytvořena tyč kruhového průřezu. Na konci tyče, který není uchycen v čelistech manipulátoru, je postupně vykován kruhový průřez o menším průměru. Pomocí měřidel je obsluhou lisu ustaven do správné polohy břit sekáče na tyči a následně je s využitím kovacího nástroje a při pootáčení polotovaru provedeno postupné oddělení přebytečného materiálu na konci hřídele. Proces oddělování přebytku materiálu končí ukroucením středové části kolem osy hřídele rychlým otáčením čelistí manipulátoru při současném zaboření břitu sekáče do materiálu hřídele. Následuje volné kování druhého konce hřídele, který má stejně jako již vykovany konec menší kruhový průřez než střední část hřídele.

X:\TTaS\Animace+video\01-03-Kovani-hridele-na-kruhovy-prurez+oddeleni-konce.mov

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam čtvrté fáze kování hřídele železničního dvojkolí*** – volným kováním druhého konce hřídele, který je v blízkosti čelistí manipulátoru, byl vykován menší kruhový průřez než má střední část hřídele přičemž má stejný průměr jako již vykovany konec hřídele. Pomocí měřidel je obsluhou lisu ustaven do správné polohy břit sekáče na tyči a následně je s využitím kovacího nástroje a při pootáčení polotovaru provedeno postupné oddělení vykovaneho hřídele od zbytku materiálu, který je uchycen v čelistech manipulátoru. Proces oddělování přebytku materiálu končí ukroucením středové části kolem osy hřídele rychlým otáčením čelistí manipulátoru při současném zaboření břitu sekáče do materiálu hřídele. V tu chvíli již musí být na volný konec hřídele navlečeny dvě smyčky řetězu portálového jeřábu, které jej přidržují. Obsluha lisu tyčemi roztáhne smyčky řetězu tak, aby držely hřídel každá na jednom konci. Následuje transport vykovaneho hřídele na místo chladnutí.

X:\TTaS\Animace+video\01-04-Oddelovani-dokovaneho-hridele+transport.mov

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam první fáze kování obruče kola*** – po otevření posuvných dveří pece se manipulátor po kolejnicích přisunuje k peci a zasunuje své rameno s chapadlem do pece. V peci je chapadlem manipulátoru uchopen válcový polotovar zahřátý na horní kovací teplotu a po nadzvednutí je vytažen z pece pojezdem manipulátoru po kolejích na zadní doraz. Po dosažení dorazu dochází k zavření posuvných dveří pece. Rameno manipulátoru s polotovarem v chapadle se natočí a je provedeno sprchou odstranění okují, což jsou oxidy železa (FeO a Fe_2O_3), z povrchu polotovaru. Po dokončení rotačního pohybu ramene manipulátoru s polotovarem směrem ke kovacímu lisu je rameno vysunuto a válcový polotovar položen na plochu

pojízdného stolu lisu. Pojezdem stolu lisu je polotovár přesunut do lisu. Polotovár je uvnitř lisu vystředěn vysunutím a následným zasunutím dvou horizontálně se pohybujících ramen. Pohybem beranu lisu s univerzálním kovací rovinným nástrojem směrem dolů dojde k volnému pēchování válcového polotovaru. Rameno manipulátoru se mezitím otáčí zpět ke dveřím pece. Následuje výměna horní části kovacího nástroje v kovací lisu vodorovným přesunutím v beranu lisu – místo rovinného nástroje se nastaví děrovací střižník. Potom se provádí děrování výkovku, přičemž odpad propadá otvorem ve stolu lisu na dopravník pod lisem. Po děrování je provedena opět výměna horního kovacího nástroje v kovací lisu vodorovným přesunutím v beranu lisu – je nastaven opět rovinný nástroj. Pohybem beranu lisu s kovací nástrojem směrem dolů je provedena kalibrace výkovku. Pojezdem stolu lisu je polotovár přesunut mimo lis a poté tlačným ramenem zatlačen na dopravník s otočnými válečky.

X:\TTaS\Animace+video\01-05-Podani+pechovani-valc-polotovaru.mov

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam druhé fáze kování obruče kola*** – video začíná situací po volném pēchování válcového polotovaru. Následuje výměna horní části kovacího nástroje v kovací lisu vodorovným přesunutím v beranu lisu – místo rovinného nástroje se nastaví děrovací střižník. Potom se provádí děrování výkovku, přičemž odpad propadá otvorem ve stolu lisu na dopravník pod lisem. Po děrování je provedena opět výměna horního kovacího nástroje v kovací lisu vodorovným přesunutím v beranu lisu – je nastaven opět rovinný nástroj. Pohybem beranu lisu s kovací nástrojem směrem dolů je provedena kalibrace výkovku. Pojezdem stolu lisu je polotovár přesunut mimo lis a poté tlačným ramenem zatlačen na dopravník s poháněnými otočnými válečky. V pravoúhlém zalomení dopravníku je použito opět tlačné rameno. Vyděrovaný výkovek je otočen s využitím svislé mezery v dopravníku a otočného vynášecího zařízení. Poté pokračuje v pohybu na dopravníku s poháněnými otočnými válečky k dalšímu tvářecímu stroji.

X:\TTaS\Animace+video\01-06-Pechovani-valc-polotovaru+transport-s-otocenim.mov

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam třetí fáze kování obruče kola*** – na kruhovém otočném stole kovacího lisu leží vyděrovaný kruhový polotovár, do kterého je shora zasunut válcový trn, který je součástí horní části kovacího nástroje. Pohybuje se tedy svisle spolu s beranem lisu. Kování obruče probíhá tak, že horizontálním vysunutím tlačného tvářecího ramene s profilem je materiál přitlačen k trnu, po zpětném zasunutí tlačného ramene je pohybem beranu stlačen shora a po návratu beranu do horní polohy následuje pootočení kruhového stolu spolu s polotovarem o malý úhel. Pak se celý cyklus opakuje. Po vykování tvaru obruče se trn vysune z otvoru pohybem beranu lisu směrem nahoru a trn je ochlazen proudy chladicí kapaliny. Druhým tlačným ramenem je vykovaná obruč přesunuta z kruhového otočného stolu při současném intenzivním chlazení celého pracovního prostoru proudy chladicí kapaliny.

X:\TTaS\Animace+video\01-07-Kovani-obruce-detail+zdalky.mov

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam čtvrté fáze kování obruče kola*** – na kruhovém otočném stole kovacího lisu leží vyděrovaný kruhový polotovár, do kterého je shora zasunut válcový trn, který je součástí horní části kovacího nástroje. Pohybuje se tedy svisle spolu s beranem lisu. Kování obruče probíhá tak, že horizontálním vysunutím tlačného tvářecího ramene s profilem je materiál přitlačen k trnu, po zpětném zasunutí tlačného ramene je pohybem beranu stlačen shora a po návratu beranu do horní polohy následuje pootočení kruhového stolu spolu s polotovarem o malý úhel. Pak se celý cyklus opakuje. Po vykování tvaru obruče se trn vysune z otvoru pohybem beranu lisu směrem nahoru a trn je ochlazen proudy chladicí kapaliny. Druhým tlačným ramenem je vykovaná obruč přesunuta z kruhového otočného stolu při současném intenzivním chlazení celého pracovního prostoru proudy chladicí kapaliny. Vykovaná obruč kola je podebrána a navléknuta na rameno vysokozdvizného vozíku a poté transportována k vychladnutí.

X:\TTaS\Animace+video\01-08-Kovani-obruce-detail+manipulace.mov

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam páté fáze kování obruče kola*** – na kruhovém otočném stole kovacího lisu leží vyděrovaný kruhový polotovár, do kterého je shora zasunut válcový trn, který je součástí horní části kovacího nástroje. Pohybuje se tedy svisle spolu s beranem lisu. Kování obruče probíhá tak, že horizontálním vysunutím tlačného tvářecího ramene s profilem je materiál přitlačen k trnu, po zpětném zasunutí tlačného ramene je pohybem beranu stlačen shora a po návratu beranu do horní polohy následuje pootočení kruhového stolu spolu s polotovarem o malý úhel. Pak se celý cyklus opakuje. Po vykování tvaru obruče se trn vysune z otvoru pohybem beranu lisu směrem nahoru a trn je ochlazen proudy chladicí kapaliny. Druhým tlačným ramenem je vykovaná obruč přesunuta z kruhového otočného stolu při současném intenzivním chlazení celého pracovního prostoru proudy chladicí kapaliny. Vykovaná obruč kola je podebrána a navléknuta na rameno vysokozdvizného vozíku a poté transportována k vychladnutí. Pomocí dopravníku s poháněnými otočnými válečky je k tvářecímu stroji dopraven vyděrovaný výkovek, což je polotovár z předchozí kovací operace. Tlačným ramenem je tento polotovár přesunut z dopravníku na kruhový otočný stůl lisu při současném sprchování pro odstranění okují, což jsou oxidy železa (FeO a Fe_2O_3), z povrchu polotovaru. Následuje vratný pohyb ramene a zasunutí válcového trnu, který je součástí horní části kovacího nástroje, shora do otvoru polotovaru. Proces kování obruče se pak opakuje.

X:\TTaS\Animace+video\01-09-Dokovani-obruce+zahajeni-z-noveho-polotovaru.mov

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam šesté fáze kování obruče kola*** – video začíná chlazením válcovacího zařízení sprchováním chladicí kapalinou před vložením dalšího polotovaru. Portálovým jeřábem je v závěsu na ramenech s háky transportován výkovek obruče kola z předchozí operace na kovářském lisu. Při spolupráci jeřábníka se dvěma muži s tyčemi je výkovek vložen na trn stolu válcovacího zařízení a odháčkován. Následuje pojezd stolu s polotovarem do prostoru mezi profilové

válce. Polotovár je roztočen a profilové válce provádí postupný přísun směrem k ose otáčení polotovaru. Vše probíhá za současného chlazení trnu stolu chladicí kapalinou. Obsluha zařízení pomocí tyče odstraňuje okuje z povrchu polotovaru, aby nedošlo k jejich zatlačení do povrchu. Po dokončení válcování stůl s obručí vyjede z prostoru mezi válci. Při spolupráci jeřábníka se dvěma muži s tyčemi je výkovek zavěšen na ramena s háky a transportován ke kontrole rozměrů.

X:\TTaS\Animace+video\01-10-Dokonceni-obruce-valcovanim.mov

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam sedmé fáze kování obruče kola*** – video začíná tvářením vykováného polotovaru obruče kola mezi profilovými, které provádí postupný přísun směrem k ose otáčení polotovaru. Vše probíhá za současného chlazení trnu stolu chladicí kapalinou. Obsluha zařízení pomocí tyče odstraňuje okuje z povrchu polotovaru, aby nedošlo k jejich zatlačení do povrchu. Po dokončení válcování stůl s obručí vyjede z prostoru mezi válci. Při spolupráci jeřábníka se dvěma muži s tyčemi je výkovek zavěšen na ramena s háky a transportován na stůl ke kontrole rozměrů. Po změření při spolupráci jeřábníka se dvěma muži s tyčemi je výkovek opět zavěšen na ramena s háky a transportován na úložiště k vychladnutí.

X:\TTaS\Animace+video\01-11-Dokonceni-obruce+zmereni+stohovani.mov

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam zápusťkového kování na bucharu*** – předkovek s hlavou a dříkem ohřátý na horní kovací teplotu leží na dolním dílu zápusťky, který je uchycen v šabotě bucharu. Po spuštění bucharu následuje úder horním dílem zápusťky, který je uchycen na beranu, do předkovku. Kovář s využitím kovářských kleští vyjme výkovek ze zápusťky a položí jej vedle dutiny. Druhý kovář hubicí se stlačeným vzduchem ofoukne okuje z povrchu výkovku. První kovář popráší výkovek speciálním práškem a následně s využitím kovářských kleští vloží výkovek zpět do zápusťky. Následují čtyři údery horním dílem zápusťky a mezi nimi poprašování výkovku speciálním práškem. Protože výkovek zůstal po čtvrtém úderu zaklíněn v horním dílu zápusťky, je kovářem pomocí kladiva vytlučen a opět vložen do dolního dílu zápusťky. Následuje šest úderů horním dílem zápusťky, kterými je výkovek s výronkem v dělicí rovině dokončen.

X:\TTaS\Animace+video\01-12-Zapustkove-kovani-na-bucharu.mp4

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam zápusťkového kování na protiběžném bucharu*** – předkovek tvaru zalomené tyče ohřátý na kovací teplotu je chycen do chapadla na ramenu robota a transportován do prostoru protiběžného bucharu mezi horní a dolní díl zápusťky, které jsou právě sprchováním chlazeny a současně zbavovány okují po předchozím kování. Po otevření chapadla předkovek dopadne na dolní díl zápusťky. Rameno robota se vzdálí z pracovního prostoru nástroje a následuje pohyb beranu s horním dílem nástroje směrem dolů. Pět úderů dojde k vykování výkovku s výronkem v dělicí rovině. Kování probíhá při současném sprchování horního dílu zápusťky hubicí s kapalinou,

čímž se kromě chlazení odstraňují okuje, které by se jinak zalisovaly do povrchu výkovku a vytvořily by tzv. jizvy. Po vykování je výkovek nadzvednut trnem a následně chycen do chapadla na ramenu robota a transportován mimo pracovní prostor nástroje. Video pokračuje zachycením předchozí přípravné operace, kdy je ze čtvercové tyče ohřáté na horní kovací teplotu na kovacím lisu v otevřené přípravné předkovací dutině vykován předkovek ve tvaru zalomené tyče. Tento předkovek je chycen do chapadla na ramenu robota a transportován do prostoru protiběžného bucharu mezi horní a dolní díl zápustky. Proces vložení předkovku do nástroje a kování se opakuje.

X:\TTaS\Animace+video\01-13-Zapustkove-kovani-s-manipulaci-robotem.mp4

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***animaci kování vysoké součásti*** – na dolní díl zápustky je vložen polotovar (ústřížek tyče čtvercové) zahřátý na horní kovací teplotu. Při pohybu horního dílu zápustky směrem dolů dochází ke vzniku plastické deformace a v souladu se zákonem nejmenšího odporu k postupnému vyplňování dutiny zápustky. Přebytečný materiál uniká v dělicí rovině mezi horním a dolním dílem zápustky. V závěru kování dochází k úplnému vyplnění dutiny v horním dílu zápustky za vzniku svislého výstupku výkovku.

X:\TTaS\Animace+video\01-14-Simulace-kovani-vysoke-soucasti.mp4

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***animaci zaplňování dutiny zápustky při kování s barevným znázorněním velikosti plastické deformace v jednotlivých částech výkovku*** – jde o kování výkovku s nepravidelnou dělicí rovinou. Do dutiny dolního dílu zápustky je vložen polotovar (ústřížek tyče čtvercové) zahřátý na horní kovací teplotu. Při pohybu horního dílu zápustky, který je v animaci průhledný z důvodu umožnění pohledu na tvářený materiál, směrem dolů dochází ke vzniku plastické deformace a v souladu se zákonem nejmenšího odporu k postupnému vyplňování dutiny zápustky. V závěru kování dochází k úplnému vyplnění dutiny v horním dílu zápustky za vzniku dvou svislých výstupků výkovku. Největší plastická deformace je ve střední části výkovku – je znázorněna červenou barvou.

X:\TTaS\Animace+video\01-15-Simulace-zaplnovani-dutiny-zapustky.avi

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***animaci příčného klínového válcování*** – jde o kování rotačně symetrických předkovků nebo výkovků s využitím kovacích válců. Je vložen polotovar (ústřížek tyče kruhové) zahřátý na horní kovací teplotu. Při otáčení válců dochází k postupnému vtlačení jejich profilu do polotovaru, který se za rotace prodlužuje.

X:\TTaS\Animace+video\01-16-Simulace-pricneho-klinoveho-valcovani.avi

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit **animaci příčného rovinného kování** – jde o kování rotačně symetrických předkovků nebo výkovků s využitím rovinných kovadel. Mezi rovinná kovadla je vložen polotovar (ústřížek tyče kruhové) zahřátý na horní kovací teplotu. Při vodorovném, rovnoběžném pohybu kovadel dochází k postupnému vtlačení jejich profilu do polotovaru, který se za rotace prodlužuje.

X:\TTaS\Animace+video\01-17-Simulace-pricneho-rovinneho-kovani.avi

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit **animaci zaplňování dokončovací dutiny při kování ojnice** – do dutiny dolního dílu zápustky je vložen předkovek (má dvě hlavy a dřík), který byl z hutního polotovaru vyroben v předchozí kovací operaci, zahřátý na horní kovací teplotu. Při pohybu horního dílu zápustky, který je v animaci průhledný z důvodu umožnění pohledu na tvářený materiál, směrem dolů dochází ke vzniku plastické deformace a v souladu se zákonem nejmenšího odporu k postupnému vyplňování dutiny zápustky. Přebytečný materiál uniká v dělicí rovině mezi horním a dolním dílem zápustky. V závěru kování dochází k úplnému vyplnění dutiny zápustky za vzniku konečného tvaru výkovku ojnice.

X:\TTaS\Animace+video\01-18-Simulace-zaplnovani-dokoncovaci-dutiny-pri-kovani-ojnice.avi

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit **animaci orbitálního kování** – trubkový polotovar zahřátý na horní kovací teplotu je upnut a je do něj vložen trn. Tváření se provádí tvarovými kladkami, které se otáčejí a současně vykonávají radiální pohyb. V polotovaru dochází ke vzniku plastické deformace a v souladu se zákonem nejmenšího odporu k postupnému vyplňování drážek tvářecích tvarových kladek až do vzniku konečného tvaru výkovku.

X:\TTaS\Animace+video\01-19-Simulace-orbitalniho-kovani.avi



Shrnutí pojmů 1.1

Zápustkové kování je **objemové tváření materiálu zatepla**, které je charakterizováno řízeným tečením kovu dle tvaru dutiny zápustky.

Návrh technologického postupu výroby výkovku se skládá z následujících fází:

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.

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

Podkladem pro zhotovení výkresu výkovku je *výkres součásti, jejímž polotovarem je výkovek*. Na výkresu výkovku se **dělicí rovina** nebo plocha označuje *plnou tlustou čarou s ležatými křížky na koncích*, které se kreslí rovněž plnou tlustou čarou. Tvar hotové obrobene součásti se kreslí do výkovku *čerchovanou čarou se dvěma tečkami* a nekótuje se. Jsou tak zřejmé přídavky na obrábění na funkčních plochách. Snahou je následně obrábět co nejméně ploch. Na plochách, které jsou kolmé k dělicí rovině, jsou technologické přídavky – *úkosy*. Jsou vnější a vnitřní a mohou se lišit. Velikost úkosů závisí na druhu tvářecího stroje a použití vyhazovače (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 nepiší s úchylkami*, ale nad rohovým razítkem výkresu se píše poznámka o provedení výkovku a stupních přesnosti rozměrů kolmo k rázu a ve směru rázu. *Otvory se 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.

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. **Přídavky na obrábění** se dávají na funkční plochy, u kterých se teprve obráběním dosáhne kvalitní povrch s předepsanou drsností. *Technologickými přídavky* jsou zaoblení hran a přechodů, tloušťka dna, případně blány výkovku, tloušťka stěny výkovku, boční úkosy – vnější a vnitřní.

Rozměrovými a tvarovými úchytkami zápustkového výkovku jsou *úchytky rozměru*, *dovolené přesazení*, *otřep* (zbytek materiálu vytlačený mezi dělené části nástroje), *dovolené sestřížení* (stopa na výkovku po ostříhovacím nástroji), *dovolená jehla* (ostří na okraji střížné plochy), *dovolený průhyb*, *úchytky souososti kovaných otvorů*, *úchytky souososti děrovaných otvorů*.

Výronková drážka slouží k odvodu přebytečného materiálu z dutiny dokončovací zápustky. Může být *otevřená* (pro klikové lis) nebo *uzavřená* (pro vřetenové lis 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 dílu 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 předkovek: začíná se *překreslením výkovku* – v pohledu, v případě předkovaného otvoru s částečným řezem, nebo v řezu – ve vhodně zvoleném měřítku délek. Toto měřítko by se mělo u obrázku uvést. Na výkovku se vyhledá místo, ve kterém je největší plocha příčného průřezu a tato hodnota se použije pro volbu vhodného měřítka *průřezového obrazce* v dolní části obrázku. Měřítka je třeba zvolit tak, aby průřezový obrazec nebyl zbytečně vysoký. Zvolené měřítko ploch by se mělo uvést vedle průřezového obrazce. Po vynesení nejdelší svislé úsečky odpovídající největší ploše příčného průřezu výkovku se provedou výpočty dalších příčných průřezů výkovku a na svislicích se vynesou v průřezovém obrazení. Nesmí se vynechat průřezy, které jsou např. ve středu oka, na začátku a na konci díku. Propojením koncových bodů svislých úseček v průřezovém obrazení se získá průřezový obrazec výkovku. Přepočtením každého průřezu na kruhový podle vzorce pro výpočet plochy kruhu se zkonstruuje *ideální předkovek*, který je v prostřední části obrázku. Je třeba jak vodorovně, tak svisle dodržet stejné měřítko délek, které je totožné s měřítkem výkovku v horní části obrázku. Pro návrh polotovaru ve formě tyče lze provést nejprve v průřezovém obrazení konstrukci *redukovaného průřezového obrazce*, tedy obdélníku o stejné ploše, jako měl původní průřezový obrazec, následně opět přepočtením na kruh zkonstruovat *redukovaný ideální předkovek* se stejným kruhovým průřezem po celé délce, tedy 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.

Přípravné předkovací dutiny mají zvětšená zaoblení hran, větší úkosey 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*.



Pojmy k zapamatování

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, ostřihování, pēchování, vlákno, přesazení zápustek, provedení výkovku, dno, blána, stěna, hrana, přechod, otřep, sestřižení, jehla, průhyb, střižná 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.



Otázky 1.1

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku první kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek:

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 přídavky na obrábění? Na které plochy se dávají?
7. Jaké druhy technologických přídavků při konstrukci zápustkových výkovků znáte? Jaký mají tyto přídavky účel?
8. Na které plochy se dávají boční úkosity? 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?



Příprava na tutoriál

Promyslete si výhody technologie zápustkového kování. Uveďte příklady z praxe, kdy tato technologie byla úspěšně využita pro výrobu součástí.

Objasněte možné vady výkovků. Uveďte příklady z praxe, kdy je riziko jejich vzniku.



Další zdroje

Pro rozšíření znalostí popisované problematiky prostudujte:

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



Korespondenční úkol 1.1

Program č. 1 „Objemové tváření zatepla“

Navrhněte technologický postup výroby zadaného výkovku:

- a) napište předpoklady výroby a podle nich zvolte vhodný tvářecí stroj,
- b) zvolte vhodnou dělicí rovinu výkovku, zařaďte výkovek podle složitosti tvaru a zvolte přesnost jeho provedení,
- c) určete přídavky na obrábění, technologické přídavky (zaoblení hran a přechodů, tloušťku dna, případně blány výkovku, boční úkosy),
- d) stanovte rozměrové a tvarové úchytky výkovku (úchytky rozměrů, dovolené přesazení, ořep, sestřižení, jehlu, průhyb, dovolenou úchytku souososti kovaných otvorů a dovolenou úchytku souososti děrovaných otvorů),
- e) nakreslete výkres výkovku (tužkou, nebo s využitím PC),
- f) stanovte tvar a rozměry výronkové drážky, nakreslete ji v měřítku a okótujte,

- g) vypočtete hmotnost výkovku analytickou metodou a pomocí průřezového obrazce (tento nakreslete na milimetrový papír), výsledky porovnejte,
- h) navrhnete a předepište výchozí polotovar a vyberte přípravnou předkovací dutinu.

Pro týmové řešení tohoto zadání:

- 1) vytvořte v rámci své studijní skupiny dvoučlenný (výjimečně tříčlenný) tým,
- 2) zahajte zpracování kapitoly s názvem: *Týmové řešení programu č. 1 „Objemové tváření zatepla“*, která bude při odevzdání protokolu zařazena na jeho konci, přičemž v této kapitole uveďte veškeré informace o organizaci a průběhu své týmové práce s členěním do podkapitol, přičemž nejvhodnějším způsobem je průběžné zapisování během řešení,
- 3) rozdělte si v týmu, které části zadání budete řešit společně a které samostatně, zvažte rovněž způsob kontrol dílčích částí, aby nebylo navazováno na chybné řešení, zvažte, zda budete provádět písemné zápisy o předáních dílčích částí mezi členy týmu, kontrolách zpracovaných dílčích částí jiným členem týmu, urgencích členů týmu, aby dodali svou zpracovanou část v termínu, запиšte diskuzi v týmu a závěry,
- 4) dohodněte si v týmu, jaký zvolíte postup v případě nemoci člena týmu nebo nezpracování dílčí části, na kterou má být navazováno jiným členem týmu, v dohodnutém termínu, který byl zapsán v dohodnutém harmonogramu,
- 5) dohodněte si v týmu, které způsoby komunikace mezi sebou budete používat a ve které denní době budete které preferovat, запиšte diskuzi v týmu a závěry,
- 6) dohodněte a zpracujte v týmu harmonogram zpracování a vzájemných kontrol zpracování jednotlivých bodů zadání, do tohoto harmonogramu zahrňte i konzultaci části řešení s vyučujícím na cvičení a vyučujícím stanovený termín odevzdání výsledného protokolu, запиšte diskuzi v týmu a závěry,
- 7) zvažte v týmu časové vytížení jednotlivých členů týmu při řešení a pokuste se rozdělit práce na jednotlivých bodech zadání tak, aby bylo zatížení členů týmu pokud možno rovnoměrné, během řešení proveďte kontrolu časového vytížení jednotlivých členů týmu, která může vést k případnému přehodnocení rozdělení jednotlivých dílčích úkolů mezi členy týmu,
- 8) v kapitole s názvem: *Týmové řešení programu č. 1 „Objemové tváření zatepla“* uveďte nejen informace o dohodách v týmu na počátku řešení zadání, ale uveďte i podrobné informace o průběhu řešení, tj. plnění harmonogramu, datумы jednotlivých činností, provedení kontrol dílčích částí, termíny společných řešení a samostatných řešení, provedení kontrol před použitím pro navazující práce, dohodnuté změny harmonogramu řešení nebo prací apod., na závěr uveďte zkušenosti a názory jednotlivých členů týmu na svou práci v týmu při řešení tohoto konkrétního zadání včetně postřehů a námětů na zlepšení jednak práce ve stejném týmu na řešení dalšího zadání, jednak obecně pro týmy.

2 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY SOUČÁSTI PLOŠNÝM STŘÍHÁNÍM

Kapitola se zabývá stříháním plechů. Je v ní popsáno stříhání plechů 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.



Čas ke studiu: 4 hodiny



Cíl: Po prostudování této kapitoly budete umět

- ✚ definovat a vysvětlit pojem stříhání,
- ✚ pojmenovat a objasnit oblasti, které vznikají na střížné ploše,
- ✚ zvolit vhodnou velikost střížné mezery,
- ✚ vypočítat střížnou plochu, maximální střížnou sílu a střížnou práci,
- ✚ popsat výhody a nevýhody stříhání skloněnými noži,
- ✚ rozdělit stříhadla podle funkce a podle druhu vedení,
- ✚ popsat složení stříhadel,
- ✚ popsat základní způsoby seskupování výstřižků,
- ✚ 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.



Průvodce studiem

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



Výklad

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

Stříháním se rozumí oddělování částic materiálu smykovým působením dvojice nástrojů (nožů, nebo střižníku a střižnice) 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 střižných operací je obsažen v ČSN 22 6001 Názvosloví technologie tváření kovů. **Základní operace plošného stříhání: prosté stříhání, děrování, vystřihování, vystřihování zářezů, přistřihování, nastřihování, prostřihování, protrhávání, vysekávání, ostřihování, přesné stříhání.**



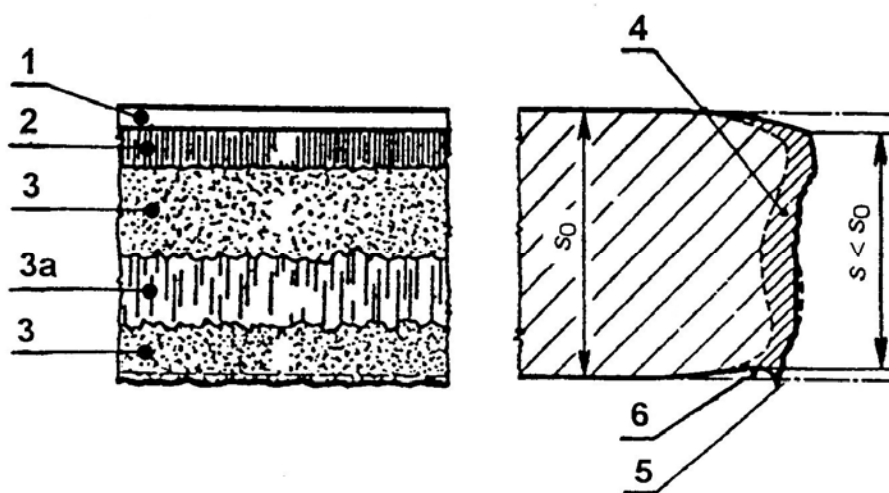
Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady využití základních operací plošného stříhání v praxi.

2.1 Stříhání plechu pomocí tabulových nůžek

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 (Tabulka 2.3). **Střižná 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 Obrázku 2.1).



Obrázek 2.1 – Oblasti na střižné 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 (Obrázek 2.1):

- 1 – zeslabení tloušťky.** Vzniká počátečním přechováním materiálu čelem pohyblivého nože. Hloubka vniknutí pohyblivého nože bývá 5 až 8 % tloušťky stříhaného plechu.
- 2 – oblast plastického stříhu.** Vzniká plastickým zatlačením břitů nože do materiálu. Je nejhladší a nejpresnější. 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 ubývajícím 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.

2.1.1 Stříhání rovnoběžnými noži

Při stříhání 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 trhlínky. 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:

$$S = L \cdot s \quad (\text{mm}^2), \quad (2.1)$$

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

Maximální střížná síla:

$$F_{\max} = S \cdot R_{\text{ms}} \cdot k \quad (\text{N}), \quad (2.2)$$

kde je S – střížná plocha (mm^2),
 R_{ms} – pevnost ve stříhu (MPa). Číselné hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 2.1.
 k – součinitel, zahrnující různé vlivy zvyšující střížnou sílu (otupení řezných hran, vliv seřízení nástroje, zvětšení mezery mezi noži opotřebováním 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:

$$R_{\text{ms}} = (0,75 \div 0,85) \cdot R_m \quad (\text{MPa}). \quad (2.3)$$

Pevnost ve stříhu lze rovněž vypočítat podle empirických vztahů, uvedených v Tabulce 2.2.

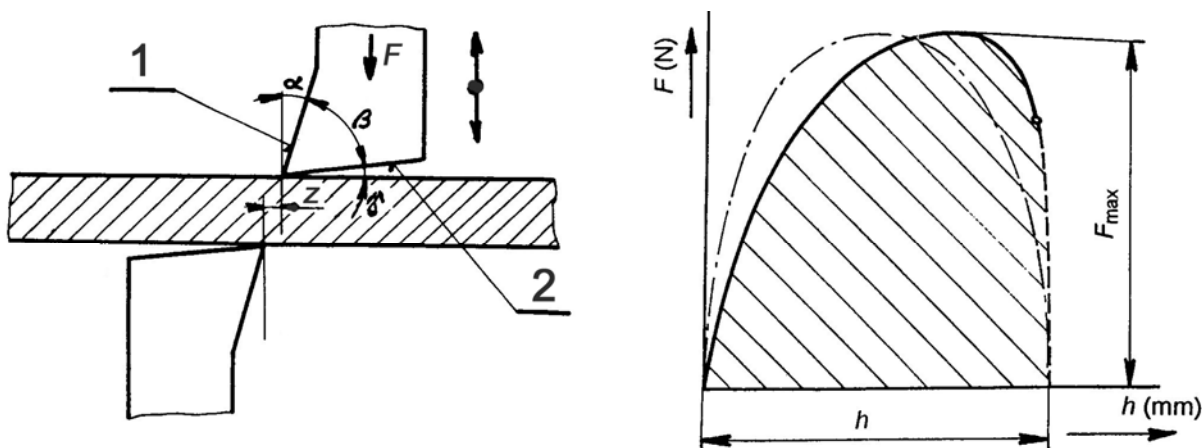
Tabulka 2.1 – Přehled některých mechanických vlastností pro vybrané materiály

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

Tabulka 2.2 – 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	$117,3 + 0,230 R_m$

Průběh střížné síly v závislosti na hloubce vniknutí nože do materiálu je znázorněn na Obrázku 2.2. Práce, spotřebovaná ke stříhu, je znázorněna vyšrafovanou plochou pod křivkou skutečného průběhu síly. Plochu pracovního diagramu lze přibližně nahradit plochou poloviny elipsy o stejném obsahu.



Obrázek 2.2 – 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:

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot F_{\max} \cdot \frac{h}{2} = \frac{\pi}{4} \cdot F_{\max} \cdot h \quad (\text{J}), \quad (2.4)$$

kde je $F_{\max}$ – maximální střížná síla (N),

h – hloubka vniknutí nože do materiálu (m). Roste s ubývající tloušťkou materiálu a stoupající tažností.

Hloubka vniknutí nože do materiálu:

$$h = k_1 \cdot s \quad (\text{m}), \quad (2.5)$$

kde je k_1 – poměrná hloubka vniknutí nože do materiálu (Tabulka 2.3),
 s – tloušťka stříhaného plechu (m).

Tabulka 2.3 – 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.



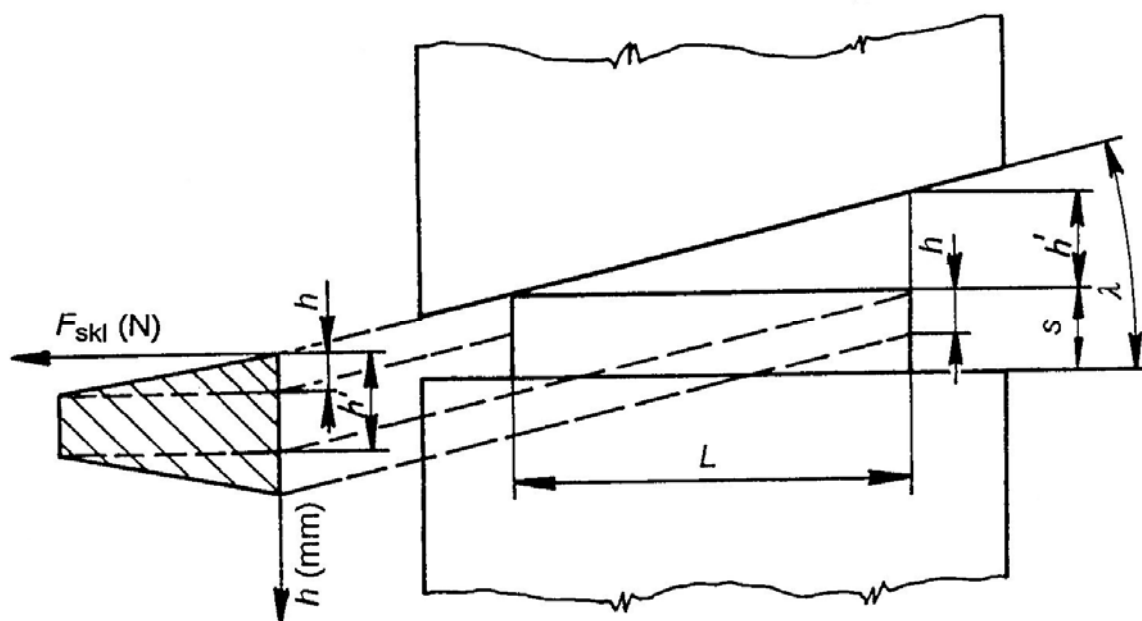
Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady využití technologie plošného stříhání rovnoběžnými noži v praxi.

2.1.2 Stříhání skloněnými noži

Nevýhody stříhání rovnoběžnými noži jsou odstraněny při použití nožů, které jsou pod určitým úhlem skloněny. *Plech tak není stříhán v celé šířce najednou, ale postupně.* Pracovní zdvih, potřebný k ustřižení 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 stříhaný materiál před nožem neujížděl. U tabulových nůžek bývá tento úhel 1°30', čímž se docílí, že deformace stříhaného plechu je pouze pružná. To však platí pouze u tenkých plechů.



Obrázek 2.3 – Průběh střížné síly (pracovní diagram) při stříhu skloněnými noži (L – délka stříhu, s – tloušťka stříhaného materiálu, λ – úhel sklonu nože, h – hloubka vniknutí pohyblivé střížné hrany do materiálu, F_{skl} – střížná síla při stříhu skloněnými noži)

Střížnou sílu pro stříh skloněnými noži F_{skl} lze vypočítat z rovnosti prací A pro stříh rovnoběžnými a skloněnými noži, i když ve skutečnosti je práce u skloněných nožů o něco větší vlivem deformace stříhaného plechu ohybem (Obrázek 2.3):

$$A = F_{\text{skl}} \cdot h = F_{\text{skl}} \cdot L \cdot \tan \lambda = \frac{\pi}{4} \cdot F_{\text{max}} \cdot k_1 \cdot s \quad (\text{J}), \quad (2.6)$$

kde je h – hloubka vniknutí nože do materiálu (m),

L – délka stříhu (m),

λ – úhel sklonu nože ($^\circ$).

Z rovnice (2.6) lze vyjádřit **střížnou sílu pro stříh skloněnými noži F_{skl}** :

$$F_{\text{skl}} = \frac{\pi \cdot F_{\text{max}} \cdot k_1 \cdot s}{4 L \cdot \tan \lambda} \quad (\text{N}). \quad (2.7)$$

Po dosazení za $F_{\max}$ z rovnice (2.2):

$$F_{\text{skl}} = \frac{\pi \cdot k_1 \cdot k}{4} \cdot \frac{s^2 \cdot R_{\text{ms}}}{\text{tg } \lambda} = (0,16 \div 0,50) \cdot \frac{s^2 \cdot R_{\text{ms}}}{\text{tg } \lambda} \quad (\text{N}). \quad (2.8)$$



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady využití stříhání skloněnými noži při výrobě součástí v praxi.

2.2 Stříhání plechu ve stříhadlech

Stříhadlo se skládá z části pohyblivé, upnuté pomocí stopky do beranu lisu (*střížník*), a z části pevné, upnuté na stole lisu (*střížnice*). Stříhání 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.

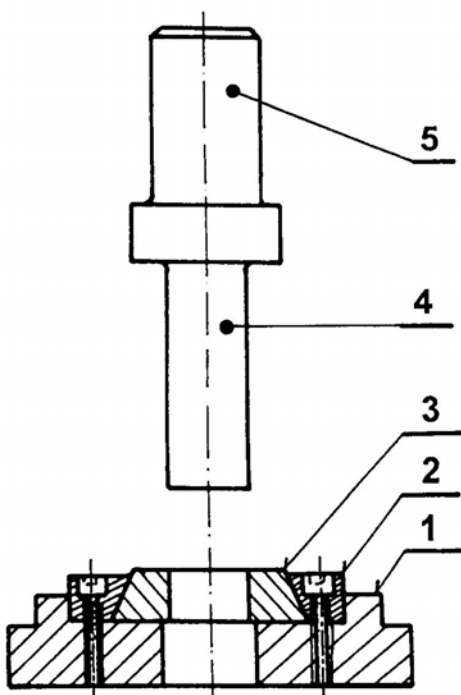
Stříhadla lze rozdělit s ohledem na charakter výstřižků, velikost série a jejich funkci na:

- **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 součástek.
- **sdrúžená**, u nichž se na jeden zdvih provedou na výstřižku různorodé operace (např. stříhání a ohýbání nebo tažení).

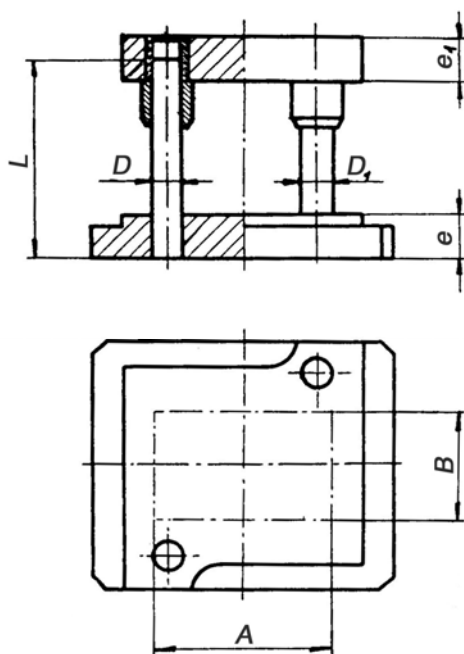
Stříhání ve stříhadlech se v principu neliší od stříhání na nůžkách, zvláštnost je pouze v tom, že *tvar břitu tvoří ve většině případů uzavřená křivka*.

Na Obrázku 2.4 je nakresleno jednoduché *stříhadlo bez vedení*. Zvýšení přesnosti a bezpečnosti práce lze docílit použitím *vodicí desky* (Obrázek 2.5), která eliminuje vůli beranu lisu a současně zvyšuje životnost nástroje. V důsledku toho, že střížník při stříhání materiálu neopouští vodicí desku, zvyšuje se bezpečnost práce. Rovněž lze k vedení střížníku vůči střížnici použít *vodicí stojánek s vodicími sloupky* (Obrázek. 2.6), případně *sdrúžené vedení*.

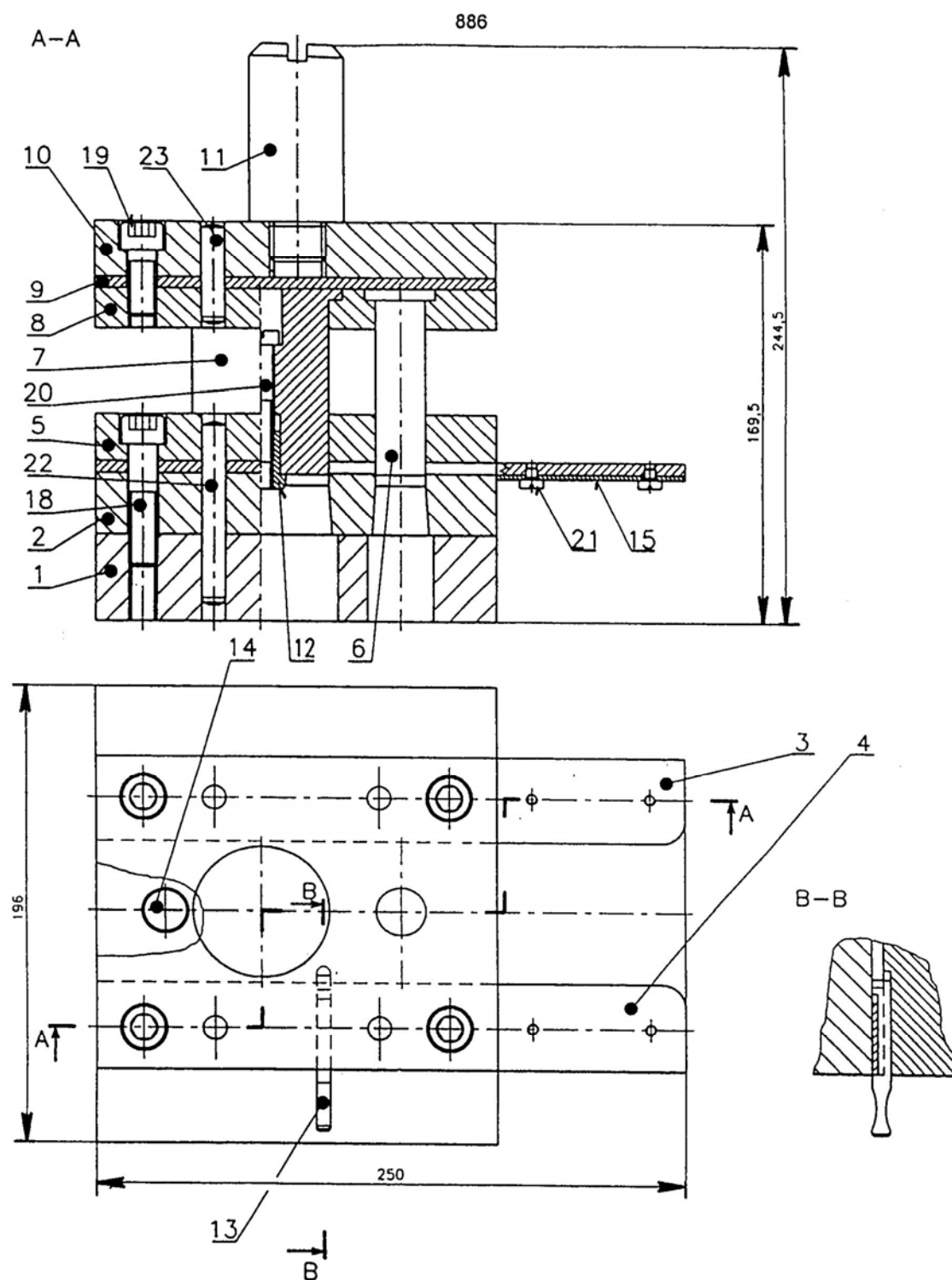
Stříhadla se montují do *vodicích stojánek*, které mají zpravidla dva nebo čtyři vodicí sloupky, a to buď s kluzným vedením, nebo kuličkovým. Vodicí stojánky eliminují chyby vedení beranu stroje a zabezpečují správnou polohu střížníku a střížnice během stříhání. **Střížná mezera** je pak po celém obvodu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



Obrázek 2.4 – Otevřené stříhadlo (1 – základová deska, 2 – upínací kroužek, 3 – střížnice, 4 – střížník, 5 – upínací stopka)



Obrázek 2.6 – Vodící stojánek se dvěma vodícími sloupky



Obrázek 2.5 – Postupové stříhadlo s vodící deskou (1 – základová deska, 2 – střížnice, 3 – vodící lišta, 4 – vodící lišta, 5 – vodící deska, 6 – střížník, 7 – střížník, 8 – upínací deska, 9 – opěrná vložka, 10 – upínací hlavice, 11 – stopka, 12 – hledáček, 13 – načínací doraz, 14 – pevný doraz, 15 – opěrný plech, 18 – spojovací šroub vodící desky, 19 – spojovací šroub upínací hlavice, 20 – šroub hledáčku, 21 – spojovací šroub vodící lišty, 22 – montážní kolík střížnice, 23 – montážní kolík upínací hlavice)

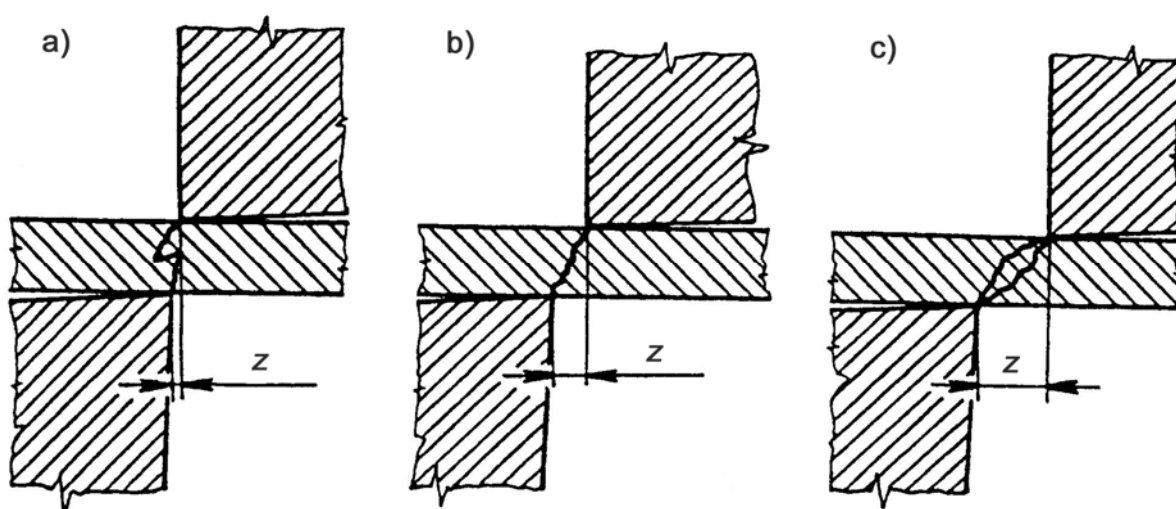


Příprava na tutoriál

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

2.2.1 Stanovení optimální velikosti sřížné mezery

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 (Obrázek 2.7).



Obrázek 2.7 – 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:

$$z = c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad (\text{mm}), \quad (2.9)$$

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

$$z = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad (\text{mm}), \quad (2.10)$$

kde je c – koeficient závislý na druhu stříhání, který se volí v rozmezí $0,005 \div 0,035$ ($c = 0,005$ pro dosažení kvalitního povrchu střížné plochy, $c = 0,035$ pro dosažení minimální střížné síly),

R_{ms} – pevnost materiálu ve stříhu (MPa),

s – tloušťka plechu (mm).

2.2.2 Přesnost součástí vyrobených stříháním a jakost střížné plochy

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 výstřižku 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** (Tabulka 2.5).

Tabulka 2.4 – Závislost přesnosti vystřihovaného 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 $R_a = (1,6 \div 3,2) \mu\text{m}$.

Tabulka 2.5 – 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										II
0,02 ÷ 0,06	+ D IT 7 nebo - d IT 7										
0,06 ÷ 0,15											
0,15 ÷ 0,20											III
0,20 ÷ 0,30	+ D IT 8 nebo - d IT 8										IV
0,30 ÷ 0,60											
0,60 ÷ 2,00											
nad 2,00											

2.2.3 Stanovení potřebného stupně přesnosti a rozměrů střížníku a střížnice

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

- 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).
- 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 vystřihovaných součástí:

- pro přesné výstřížky (stupně přesnosti IT 6 až IT 10): $P_0 = P_u$,
- pro méně přesné výstřížky (stupně přesnosti IT 11 až IT 14): $P_0 = 0,8 \cdot P_u$,

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

Mezní úchytky kruhových střížníků a střížnic jsou uvedeny v Tabulce 2.5, 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. Vztahy ke stanovení rozměrů pracovních částí stříhadel, tj. střížníků a střížnic, jsou uvedeny v Tabulce 2.6.

Tabulka 2.6 – 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	$D_s = (D - 0,8 U_s)^{+ps}$	$D_s = (D - U_s)^{+ps}$
	$D - U_h$		$D_s = (D - 0,2 U_h - 0,8 U_s)^{+ps}$	$D_s = (D - U_s)^{+ps}$
	$D + U_h$		$D_s = (D + 0,2 U_h + 0,8 U_s)^{+ps}$	$D_s = (D + U_s)^{+ps}$
	$D + U_s$		$D_s = (D + 0,2 U_h - 0,8 U_s)^{+ps}$	$D_s = (D - U_s)^{+ps}$
	$D \pm U$		$D_s = D^{+ps}$	$D_s = D^{+ps}$
U výstřížků je rozhodující vnitřní obrys o rozměru d . Část s vnějším obrysem je odpad.	$d + U_h$	stříž- ník	$d_k = (d + 0,8 U_h) - pk$	$d_k = (d + U_p) - pk$
	$d + U_s$		$d_k = (d - 0,8 U_s + 0,8 U_h) - pk$	$d_k = (d + U_h) - pk$
	$d \pm U$		$d_k = d - pk$	$d_k = d - pk$

kde jsou D, d – jmenovité rozměry výstřížků (mm),

D_s, d_k – rozměry střížnice, střížníku (mm),

p_s, p_k – přídavek na zhotovení střížnice, střížníku (mm),

U_s, U_h – dolní, horní úchylka rozměrů výstřížku (mm).



Řešený příklad

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 úchytky $U_h = 0$ 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 (2.9):

$$z = c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} = (0,005 \div 0,035) \cdot 0,8 \cdot \sqrt{0,1416} = (0,026 \div 0,181) \text{ mm.}$$

Pro vypočtenou střížnou mezeru z a pro zadaný průměr kruhového výstřížku D lze z Tabulky 2.5 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 p_s a střížnice p_k :

$$p_s = p_k = 0,025 \text{ mm.}$$

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 Tabulky 2.6:

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

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

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

*

2.2.4 Výpočet střížné síly a střížné 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 (2.2).

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

$$A = m_s \cdot F_{\max} \cdot s \quad (\text{J}), \quad (2.11)$$

kde je m_s – koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu (viz Tabulka 2.7),

$F_{\max}$ – maximální střížná síla (N),

s – tloušťka stříhaného materiálu (m).

Tabulka 2.7 – 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

2.3 Zásady pro navržení optimálního nástřihového plánu

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.

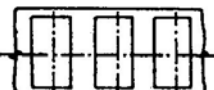
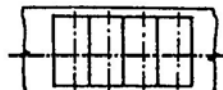
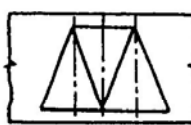
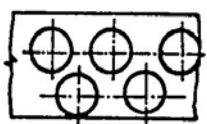
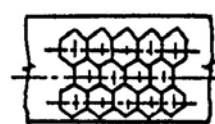
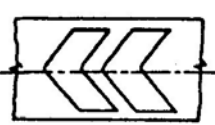
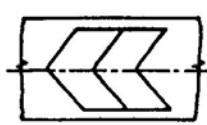
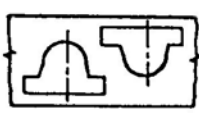
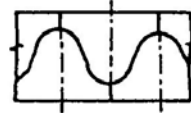
Nástřihový plán lze řešit:

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

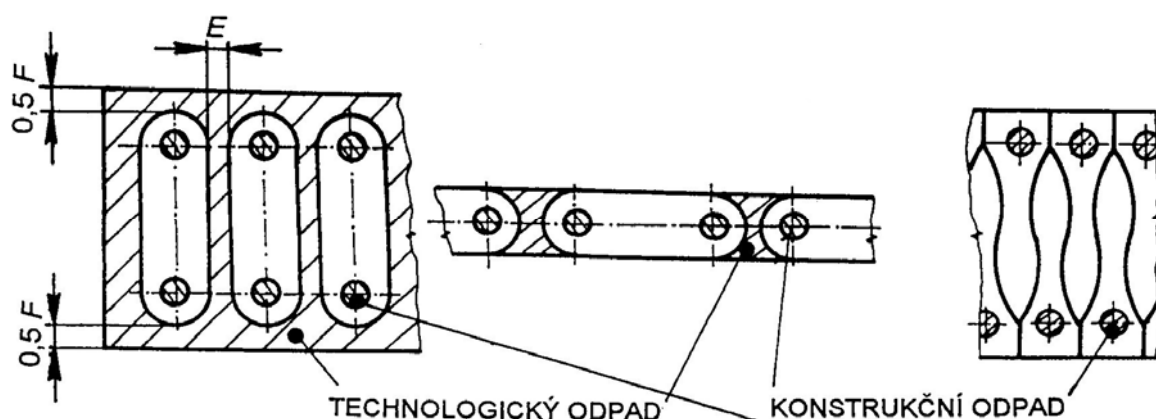
Základní zásady při konstrukci optimálního nástřihového plánu jsou:

- kruhový obrys výstřížku není výhodný, vhodnější jsou rovnoběžníkové tvary.
- seskupování výstřížků. (Základní způsoby seskupení výstřížků jsou uvedeny v Tabulce 2.8. 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 vystřížení více stejných výstřížků na jeden zdvih beranu lisu.

Tabulka 2.8 – Základní způsoby seskupení výstřížků

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

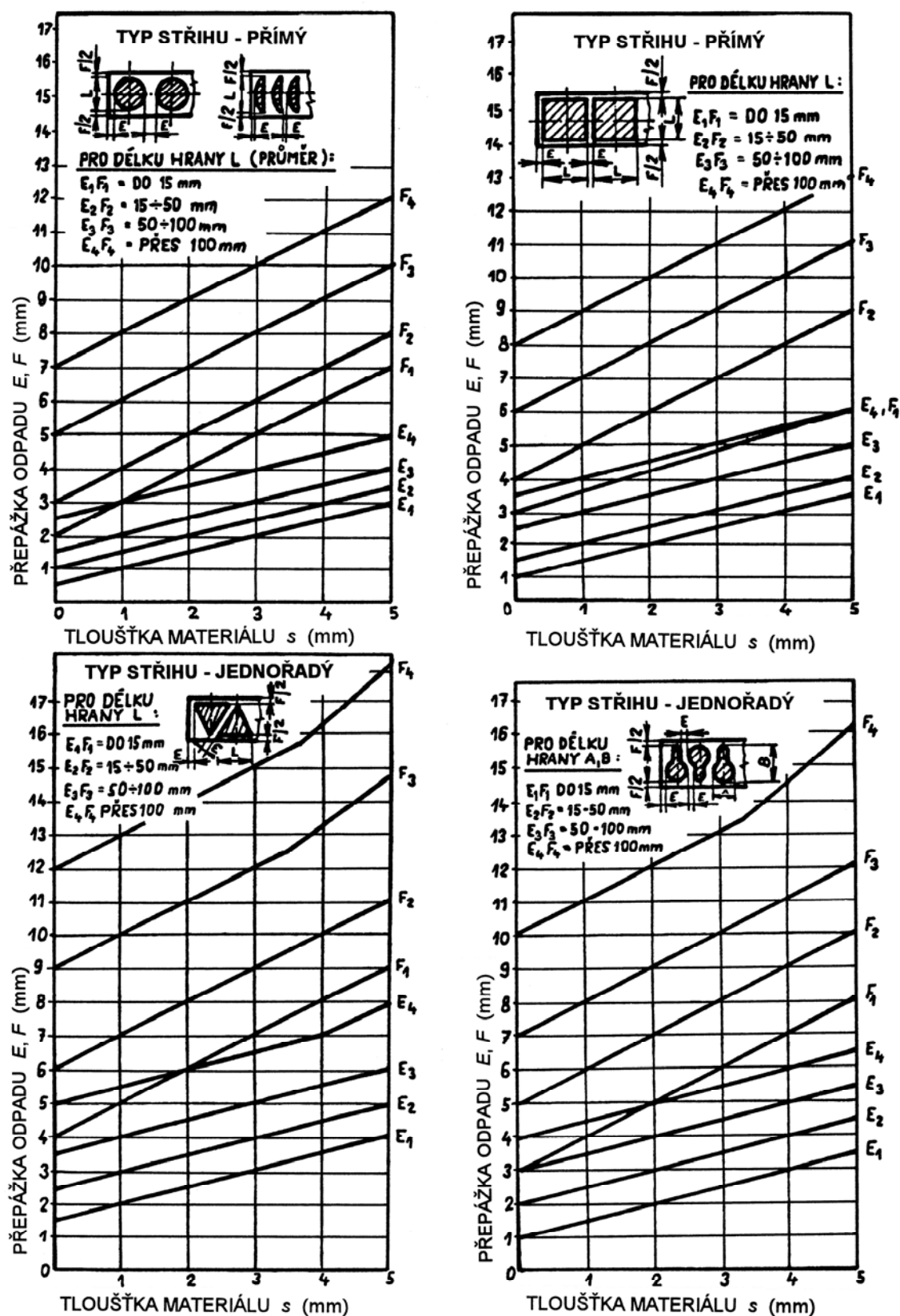
Mezi výstřižky je nutno nechat *přepážku*, jejíž šířka závisí na tloušťce plechu, tvaru výstřižku, na druhu materiálu, způsobu podávání apod. Velikosti přepážek a *bočního odpadu* při vystřihování z pásů podle způsobu rozložení, rozměrů a tloušťky výstřižků jsou uvedeny na Obrázcích 2.8 a 2.9. Ztráty materiálu, způsobené přepážkami a okrajem, jsou citelné především u tlustších plechů.



Obrázek 2.8 – Rozmístění výstřižků na výchozím materiálu (E – velikost přepážky, $0,5 \cdot F$ – velikost bočního odpadu)

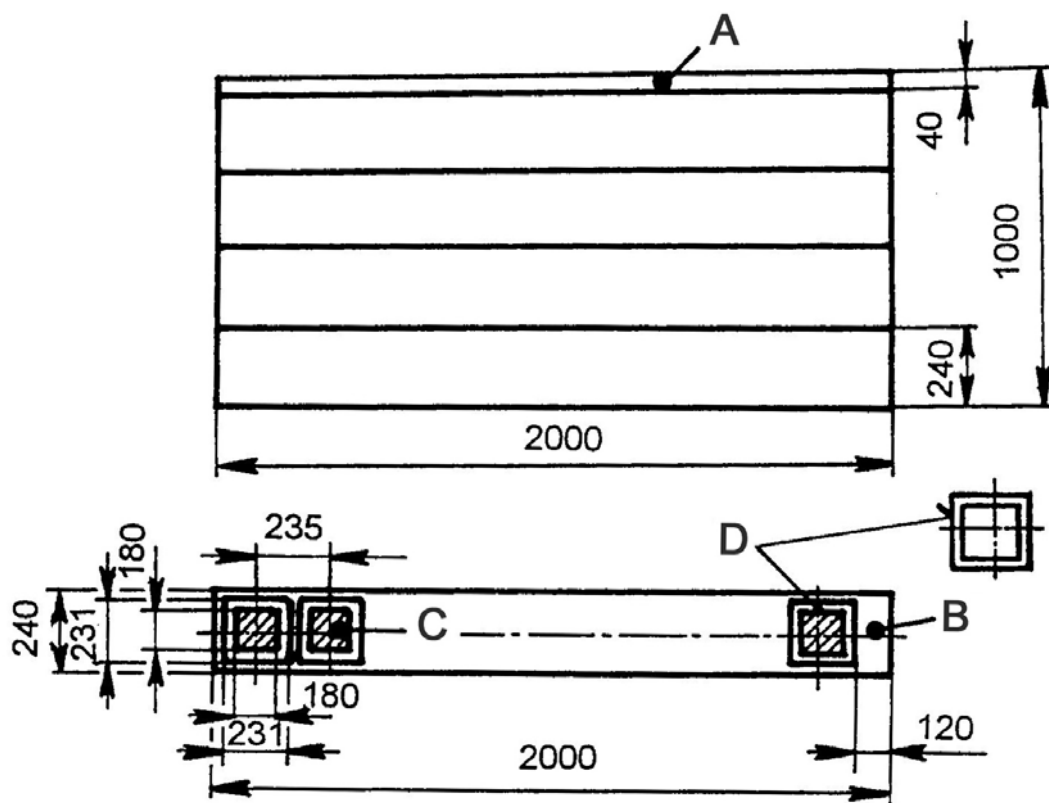
Přepážky lze zmenšit při použití klešťového nebo válečkového podávání u postupových nástrojů. Velikost přepážky však musí mít určitou minimální hodnotu, aby stříh jedné součásti nezpůsobil případnou deformaci sousední součásti a aby pás plechu i po vyděrování zůstal dostatečně tuhý a nebortil se při 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 stříh*, kdy obvod součásti je vytvořen více stříhy a dobrý výsledek závisí na přesnosti stříhadla a podávání.



Obrázek 2.9 – Diagramy pro určení velikosti přepážek a bočního odpadu při vystřihování z pásů

Je-li třeba nejprve tabuli plechu rozstříhovat 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 (Obrázek 2.10).



Obrázek 2.10 – 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.



Příprava na tutoriál

Promyslete si 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 :

$$\eta = \frac{S_v}{S_p} \cdot 100 \quad (\%). \quad (2.12)$$

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.



CD-ROM

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit **animaci procesu stříhání** – stříhaný materiál je sevřen přidržovačem, horní nůž se pohybuje směrem dolů. Mezi střížnou hranou pohyblivého nože a střížnou hranou dolního, nepohyblivého nože vznikají smyková napětí, která dosahují kritické hodnoty, při které dochází k překročení meze kluz materiálu a plastické deformaci. Při plastické deformaci dochází k postupnému vyčerpání zásoby plasticity a ke vzniku praskliny, která se šíří od dolního, nepohyblivého nože směrem ke střížné hraně pohyblivého nože. Uvnitř materiálu dochází ke koalescenci mikro dutin a ke vzniku lomu. Vznikne tak střížná plocha, na které bude existovat pásmo kluzu a pásmo dolomení. V horní části střížné plochy bude zřejmý vtisk horního nože, v dolní části střížné plochy bude vtisk dolního nože a ořep. Oblast materiálu v okolí střížné plochy je plastickou deformací zastudena zpevněna, takže bude vykazovat zvýšenou mez kluzu.

X:\TTaS\Animace+video\02-01-Simulace-procesu-strihani.avi

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit **záznam stříhání kruhových přístřihů z pásu plechu ve dvou řadách** – kruhové střížníky jsou umístěny tak, aby stříhání probíhalo v šachovnicovém uspořádání, které zajišťuje nejvyšší využití materiálu plechu. Jsou patrné přepážky odpadu jednak mezi stříhanými kusy, jednak u okrajů pásu. Střížníky jsou vybaveny přidržovači ve tvaru mezikružů, které sevrou pás před vlastním stříhem střížníku. Na konci desky se střížnicemi probíhá stříhání odpadu. Nástroj je vybaven vodícími sloupky pro zajištění potřebné přesnosti polohy střížníků vůči střížnicím a pro eliminování vlivu vůle ve vedení beranu lisu na přesnost stříhání. Vystřižené kruhové

přístřihy odcházejí z nástroje přes otvory střížnic na příčné pásové dopravníky. Nastříhaný odpad odchází z nástroje po skluzu a je obsluhou lisu umisťován do připraveného vozíku.

X:\TTaS\Animace+video\02-02-Strihani-kruhových-pristrihu-z-pasu-plechu-ve-dvou-radach.mp4

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam děrování tlustého plechu ve stříhadle*** – video začíná představením lisu se stojanem typu C. Lis má v beranu upevněnou horní část střížného nástroje s kruhovým střížníkem, kolem kterého je žlutě natřená ochrana z důvodu splnění požadavků na bezpečnost práce obsluhy lisu. Ve žlutě natřené ochraně je vložena ve vodorovné poloze modře natřená vyjímatelná kovová deska s otvorem. Ve stolu lisu je uchycena dolní část střížného nástroje – základová deska se střížnicí. Střížný nástroj je bez vodicích sloupků, vedení střížníku je zajištěno vodicí deskou. Po zapnutí pohonu lisu se beran se střížníkem pohybuje směrem dolů do dolní úvratě. Při pohledu na střížnici je vidět její připevnění k základové desce pomocí upínacího kroužku. Při poloze střížníku v horní úvratě beranu lisu je obsluhou lisu do stříhadla vložen vložen polotovár – tlustý plech. Následuje zapnutí pohonu lisu, pohyb beranu se střížníkem směrem dolů a vystřížení kruhového otvoru ve vloženém polotovaru. Kruhový výstřížek propadá přes otvor střížnice do dolní části nástroje.

X:\TTaS\Animace+video\02-03-Derovani-tlusteho-plechu.mp4

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam stříhání rotorových plechů*** – video začíná představením krokového podavače, který umisťuje vystřížené kruhové rotorové plechy na kruhovou plošinu mezi čtyři trny pojízdného vozíku a provádí tak jejich stohování. Při pohledu do pracovního prostoru nástroje uvnitř lisu je vidět, že krokový podavač obsluhuje několik pozic postupového stříhadla. Z tenkého transformátorového plechu se stříhá jednak kruhový obvod, jednak otvory kruhového výstřížku rotorového plechu.

X:\TTaS\Animace+video\02-04-Strihani-rotorovych-plechu.mp4

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam tváření v postupovém nástroji*** – z pásu plechu, který je podáván do jednotlivých pracovních pozic postupového nástroje, jsou tváření vyráběny tvarové součásti s otvory dle výrobního výkresu. Postupový nástroj je proveden ve vodicím stojánku se čtyřmi vodicími sloupky, zde s kuličkovým vedením. Vodicí stojánek eliminuje chyby vedení beranu lisu, takže lze docílit větší přesnosti výroby. Protože jde o závěrečnou fázi zkoušení nástroje, není pás plechu podáván krokovým podavačem, ale ručně. Na konci postupového nástroje je provedena střížná hrana, pomocí které se provádí závěrečné ustřížení hotového kusu z pásu. V blízkosti této střížné hrany jsou v dolní části nástroje dva svislé pevné kolíky, které fungují jako doraz pro krok pásu.

X:\TTaS\Animace+video\02-05-Tvareni-v-postupovem-nastroji.mp4



Shrnutí pojmů 2.1

Stříhání 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 ubývajícím tvárností materiálu a otupením břitů.

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

Rozměry střížníků a střížnic:

a) **při vystřihování** (*výrobkem je výstřížek*) – rozměr výstřížku odpovídá rozměru střížnice, rozměr střížníku je menší o střížnou vůli,

b) **při děrování** (*výrobkem je okolí otvoru*) – rozměr otvoru odpovídá rozměru střížníku, rozměr střížnice je větší o střížnou vůli.

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

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

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

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

Stříh 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* (nevadí, pokud je odpadem).

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

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

Rozdělení stříhadel podle funkce:

- 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 součástí),
- 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 vodicí deskou*, *s vodicími 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, vystřížení více součástí najednou apod.), *splnění jiných technologických požadavků* (přesnost, vhodný směr vláken apod.).

Nástřihový plán lze řešit:

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

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

Přepážka – mezi 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 součásti je vytvořen více stříhy, dobrý výsledek závisí na přesnosti stříhadla a podávání, vzniknou úspory materiálu).

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

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



Pojmy k zapamatování

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.



Otázky 2.1

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku druhé kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek:

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?



Příprava na tutoriál

Vysvětlíte využitelný a nevyužitelný odpad u nástřihových plánů. Uveďte příklady z praxe, kdy se vyskytují při výrobě součástí.

Objasněte metody přesného stříhání a uveďte příklady z praxe, kdy se využívá.



Další zdroje

Pro rozšíření znalostí popisované problematiky prostudujte:

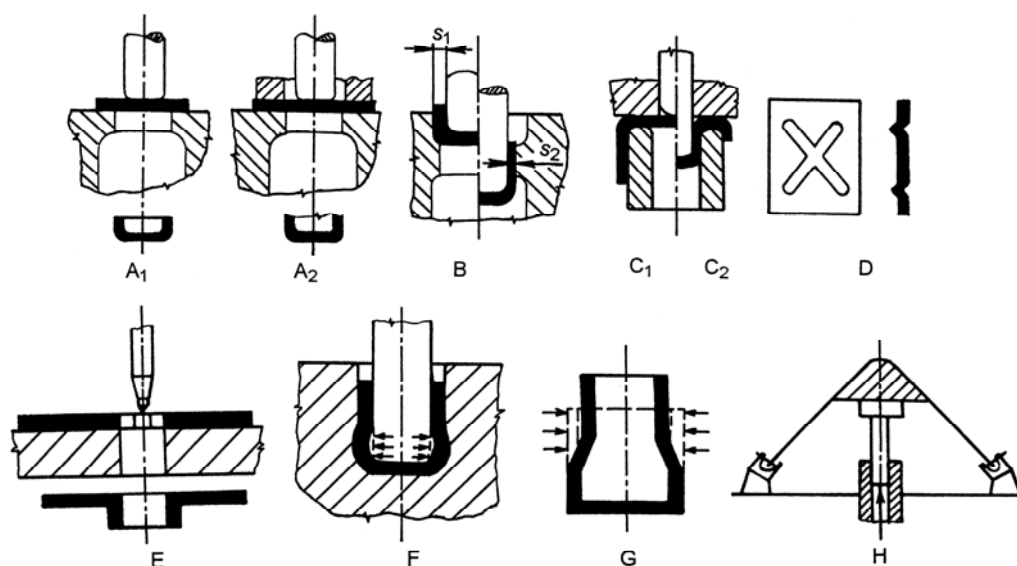
- [7] BŘEZINA, R. *Technologie I – část I : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 80 s. ISBN 80-7078-439-3.
- [8] ČADA, R. *Technologie I – část tváření a slévání : návody do cvičení : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 188 s. ISBN 80-7078-540-3.
- [9] PETRŽELA, Z., KUČERA, J. a BŘEZINA, R. *Technologie slévání, tváření a svařování : skriptum*. 2. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1987. 329 s. (bez ISBN).
- [10] PETRŽELA, Z. *Základy teorie a technologie strojírenského tváření : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1980. 378 s. (bez ISBN).
- [11] 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.
- [12] ČABELKA, J. a kol. *Mechanická technológia*. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1967. 1036 s. (bez ISBN).
- [13] NOVOTNÝ, K. a MACHÁČEK, Z. *Speciální technologie I : Plošné a objemové tváření : skriptum*. 2. vyd. Brno : VUT v Brně, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3.
- [14] DOUBRAVSKÝ, M. *Vybrané stati z tváření : II díl : Zpracování plechů stříháním : skriptum*. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1969. 90 s. (bez ISBN).

3 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY SOUČÁSTI TAŽENÍM Z PLECHU

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** (Obrázek 3.1):

- a) **Tažení prosté** (Obrázek 3.1 A₁, A₂) je tváření rovinného přístřihu v prostorovou uzavřenou plochu bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu. Obrázek 3.1 A₁ představuje tažení bez přidržovače, Obrázek 3.1 A₂ tažení s přidržovačem.
- b) **Tažení se ztenčením stěny** (Obrázek 3.1 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** (Obrázek 3.1 C₁, C₂) – pro tento proces se využije první operace dle Obrázku 3.1 A₁ nebo A₂ a v následující operaci se provede tažení v obráceném směru vůči tažení předchozímu.
- d) **Žlábkování** (Obrázek 3.1 D) je proces, charakterizovaný vytlačováním mělkých prohloubenin za účelem zvýšení tuhosti polotovaru.
- e) **Protahování** (Obrázek 3.1 E) je proces, charakterizující protahování materiálu po vnějším nebo vnitřním okraji tak, aby se vytvořila kolmá válcová plocha.
- f) **Rozšiřování** (Obrázek 3.1 F) je charakterizováno místním zvětšováním výchozího válcového polotovaru.
- g) **Zužování** (Obrázek 3.1 G) je charakterizováno místním zužováním výchozího válcového polotovaru.
- h) **Přetahování** (Obrázek 3.1 H) je tváření rovinného polotovaru v prostorovou plochu napínáním přes šablonu.



Obrázek 3.1 – Rozdělení procesů tažení (A_1 – tažení prosté bez přidržovače, A_2 – tažení prosté s přidržovačem, B – tažení se ztenčením stěny, C_1 – vložení polotovaru vyrobeného dle Obrázku 3.1 A_1 nebo A_2 , C_2 – tažení v obráceném směru vůči tažení předchozímu, D – žlábkování, E – protahování, F – rozšiřování, G – zužování, H – přetahování)



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady použití jednotlivých technologií tažení při výrobě součástí v praxi.

3.1 Druhy ocelových plechů k tažení

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

Plech z neuklidněných ocelí rychle stárne, 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 ukladných ocelí**. *V těchto ocelích je dusík vázaný na stabilní nitridy*. Jako přísada zabráňující stárnutí se používá hliník, který je levný a kromě dusíku váže také kyslík, přičemž nezpevňuje matici.

Hodnoty mechanických vlastností plechů z ukladných 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.

3.1.1 Anizotropie mechanických a fyzikálních vlastností 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 vyžeháním nad rekrytalizační teplotu, se projeví rozdílnými hodnotami meze kluzu v podélném a příčném směru.



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady projevů anizotropie plechů při procesech tažení v praxi.

3.1.2 Volba vhodného plechu pro výrobu výtažků

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

Ocelové plechy z ocelí tažných jakostí válcovaných zastudena se z hlediska tvářitelnosti rozdělují do **kvalitativních skupin podle ČSN 42 0127** (Tabulka 3.1). 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.

Tabulka 3.1 – Rozdělení tažných ocelových plechů z hlediska tváritelnosti podle ČSN 42 0127

Skupiny tváritelnosti	
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 zařazení jednotlivých druhů plechů je možné jen na základě určení dalších kritérií tváritelnosti (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 Tabulce 3.2, směrné chemické složení těchto plechů je uvedeno v Tabulce 3.3, požadované hodnoty mechanických vlastností v Tabulce 3.4.

Tabulka 3.2 – 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

Tabulka 3.3 – 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	–

Tenké ocelové plechy k tažení se dodávají ve stavu rekrytalizačně 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.

Tabulka 3.4 – Požadované hodnoty mechanických vlastností ocelových plechů k tažení

Označení oceli	Mez kluzu napříč (MPa)	R_m napříč (MPa)	A_{80} napříč (min. %)	Hloubení dle Erichsena (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



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.

3.1.3 Hlubokotažné plechy z oceli DC04 (11 305.21)

Ocel DC04 (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 rekrytalizačně 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 tvářitelnosti 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 dvojítoť, ořepy 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 pásky, 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.

Plechý 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 přídavného obalu, přičemž jako obal slouží vnější zvit svitku. Proti rozvinutí se svitky u výrobce svazují nejméně dvakrát po obvodu a nejméně třikrát v radiálním směru ocelovou vázací páskou. Hraný svitků se v místech převázání chrání proti poškození plechovými podložkami. Svitky se mohou svazovat do svazků, jejichž šířka může být maximálně 600 mm. Každý svitek 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.

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

U oceli DC04 (11 305) je materiálovým listem ČSN 41 1305. Požadované výsledky zkoušky hloubením podle Erichsena jsou uvedeny v Tabulce 3.5. Plechý z oceli DC04 (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.

Tabulka 3.5 – Požadované výsledky zkoušky hloubením podle Erichsen oceli 11 305.21 dle ČSN 41 1305

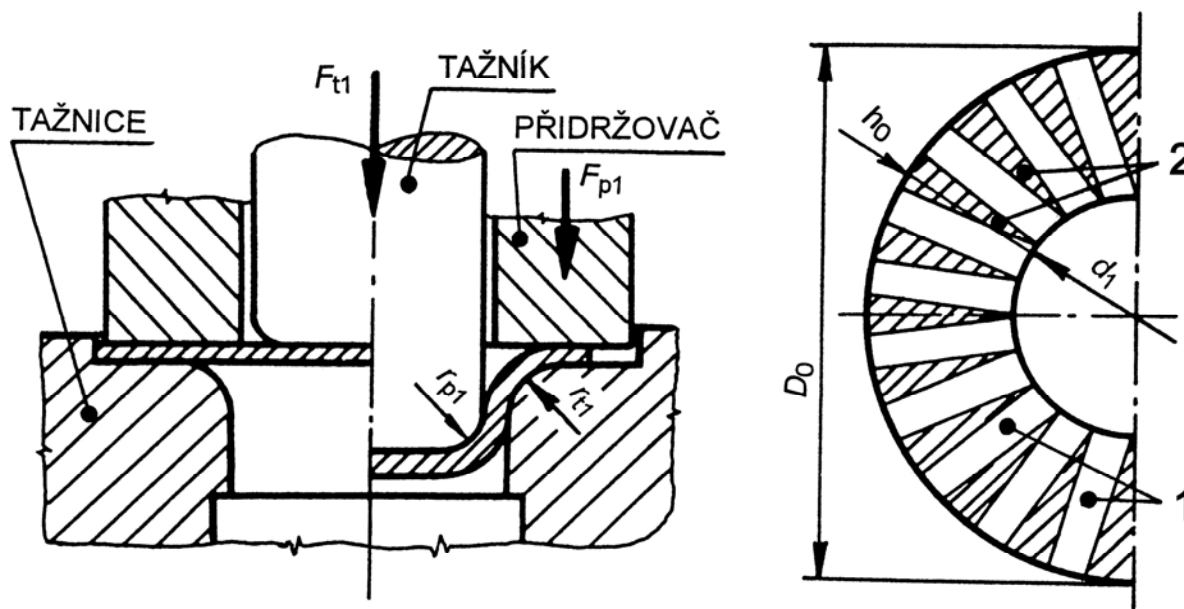
jmenovitá tloušťka plechu a (mm)	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
prohloubení IE (mm)	9,3	9,6	9,9	10,2	10,4

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

3.2 Tažení válcových výtažků 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 Obrázku 3.2 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.



Obrázek 3.2 – 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 přechováním 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).

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

$$s_{\max} = s_0 \cdot \sqrt{\frac{D_0}{d}} \quad (\text{mm}), \quad (3.1)$$

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.



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady válcových součástí, které byly vyrobeny tažením z plechu bez ztenčení stěny.

3.2.1 Postup stanovení optimální velikosti přístřihu pro tažení válcového výtažku

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**:

$$\frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d^2) \cong \pi \cdot d \cdot h \quad (\text{mm}^2), \quad (3.2)$$

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

Střední průměr válcového výtažku:

$$d = d_v + s \quad (\text{mm}), \quad (3.3)$$

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:

$$h \cong \frac{(D_0^2 - d^2)}{4d} \quad (\text{mm}). \quad (3.4)$$

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

$$D_0 = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \sum S_i} \quad (\text{mm}), \quad (3.5)$$

kde je S – plocha hotového výtažku (mm^2),
 S_i – plochy jednotlivých částí povrchu hotového výtažku (mm^2).

Plochu válcového výtažku lze vypočítat jako součet tří dílčích ploch:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (\text{mm}^2), \quad (3.6)$$

kde je S_1 – plocha rovné části dna válcového výtažku (mm^2),

S_2 – plocha válcové části výtažku před zaoblením u dna (mm^2),

S_3 – plocha zaoblené části výtažku u dna (mm^2).

Plocha rovné části dna válcového výtažku:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_r^2}{4} \quad (\text{mm}^2), \quad (3.7)$$

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

Plocha válcové části výtažku před zaoblením u dna:

$$S_2 = \pi \cdot d_{\text{stř}} \cdot h_r \quad (\text{mm}^2), \quad (3.8)$$

kde je $d_{\text{stř}}$ – střední průměr válcového výtažku (mm),

h_r – výška válcové části výtažku před zaoblením u dna (mm).

Plocha zaoblené části výtažku u dna:

$$S_3 = \pi \cdot d_T \cdot L \quad (\text{mm}^2), \quad (3.9)$$

kde je L – délka tvořící křivky (mm),

d_T – průměr, na kterém leží těžiště tvořící křivky (mm).

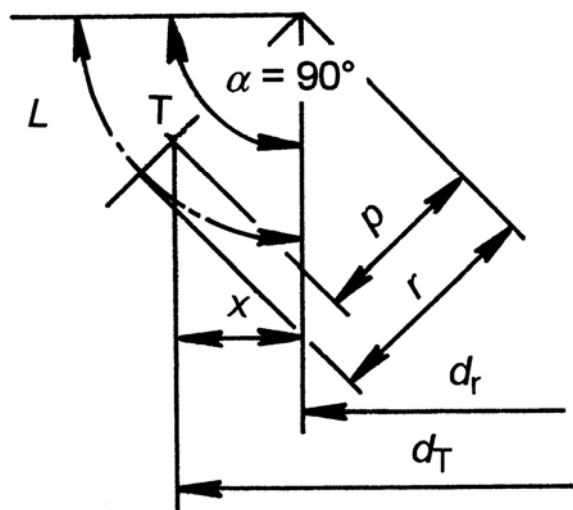
Průměr, na kterém leží těžiště tvořící křivky:

$$d_T = d_r + 2x \quad (\text{mm}). \quad (3.10)$$

Vztahy pro hodnoty x a p lze odvodit z Obrázku 3.3:

$$x = p \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (\text{mm}), \quad (3.11)$$

$$p = \frac{r \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}} \quad (\text{mm}). \quad (3.12)$$



Obrázek 3.3 – Poloha těžiště tvořící křivky poloměru zaoblení mezi válcovou částí a dnem výtažku

3.2.2 Postup stanovení optimálního rozměru přístřihu pro tažení rotačního výtažku složitějšího tvaru

Při tažení rotačních výtažků složitějšího 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“.

$$S = 2 \pi \cdot R_T \cdot L \quad (\text{mm}^2), \quad (3.13)$$

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

Průměr přístřihu:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{8R_T \cdot L} \quad (\text{mm}). \quad (3.14)$$

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

Popis grafické konstrukce dle Obrázku 3.4:

- 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 nanese 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 Obrázku 3.4 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:

$$R_0^2 = 2 R_T \cdot L \quad (\text{mm}^2), \quad (3.15)$$

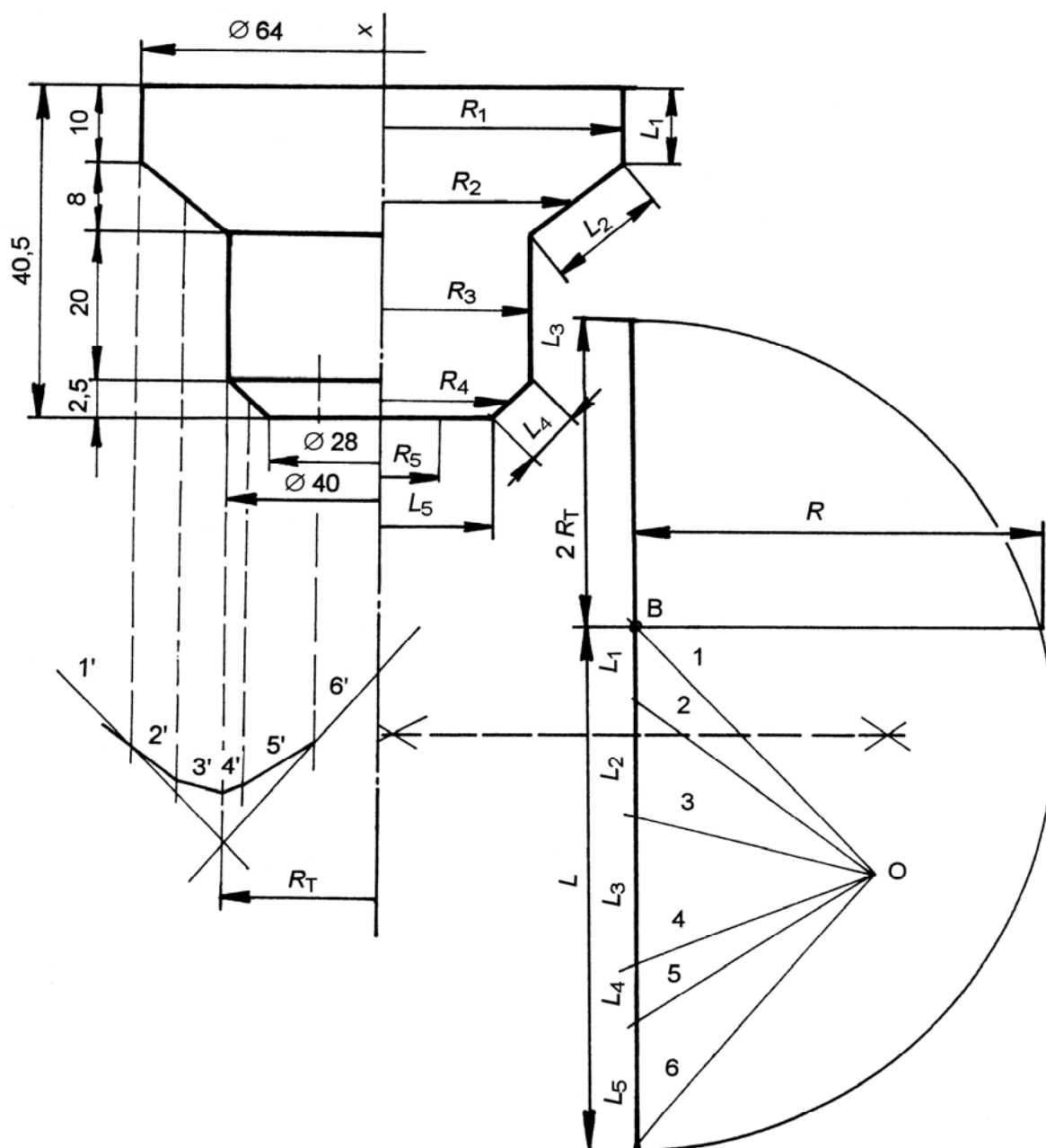
kde je R_0 – poloměr přístřihu. Tento poloměr se rovná délce kolmice, vztyčené v bodu B na úsečku L , do průsečíku s půlkružnicí o průměru $L + 2 R_T$ (Obrázek 3.4).

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:

$$D_{0\text{skut}} = D_0 \cdot [1 + 0,03 + (i - 1) \cdot 0,01] \quad (\text{mm}), \quad (3.16)$$

kde je i – počet tažných operací.

Obrázek 3.4 – Grafické určení průměru přístřihu ($D_0 = 2R_0$)

3.2.3 Odstupňování tažných operací při výrobě válcových výtažků

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. **mezní 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:

$$M_1 = \frac{d_1}{D_0}; \quad M_2 = \frac{d_2}{d_1}; \quad M_{n-1} = \frac{d_{n-1}}{d_{n-2}}; \quad M_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} \quad (-). \quad (3.17)$$

Celkový součinitel odstupňování tahu:

$$M_c = \frac{d_n}{D_0} = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_{n-1} \cdot M_n \quad (-). \quad (3.18)$$

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.

3.2.4 Postup stanovení optimálního počtu tažných operací

Z požadovaného středního průměru d hotového výtažku a stanoveného průměru přístřihu D_0 se vypočte celkový součinitel odstupňování tahu:

$$M_c = \frac{d}{D_0} \quad (-). \quad (3.19)$$

Tabulka 3.6 – Mezní součinitelé odstupňování tahu M a poměrné hloubky h/D_0 při tažení 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 (Tabulka 3.6). Menší hodnoty součinitelů se používají při větším poloměru zaoblení tažné hrany tažnice $r_t = (8 \div 15) s$, větší hodnoty při $r_t = (4 \div 8) s$.

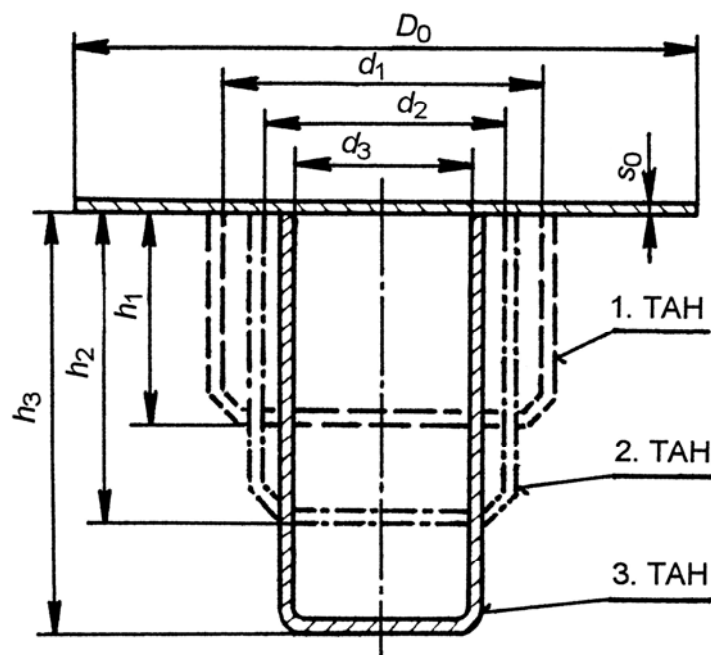
Táhnou-li se méně tvárné kovy (např. oceli 10 370, 11 370, mechanicky zpevněný hliník, mosaz), je třeba brát součinitele tažení poněkud větší. Při tažení tvárnějších kovů (např. ocel 11 321, hliník), popřípadě žlá-li se výtažek mezi operacemi, je třeba brát součinitele poněkud menší, než jsou uvedeny v Tabulce 3.6.

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 Obrázku 3.5. Musí být splněna podmínka:

$$M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot \dots \cdot M_n \leq M_c, \quad (3.20)$$

$$\text{kde je } M_1 = \frac{d_1}{D_0}; \quad M_2 = \frac{d_2}{d_1}; \quad M_{n-1} = \frac{d_{n-1}}{d_{n-2}}; \quad M_n = \frac{d_n}{d_{n-1}}; \quad M_c = \frac{d}{D_0}$$



Obrázek 3.5 – Odstupňování tažných operací



Průvodce studiem

Po výpočtu potřebného počtu tažných operací je účelné provést **kontrolu**, zda není poslední operace tažení jen malým zmenšením průměru výtažku s vysokou hodnotou součinitele odstupňování tahu. Pokud tomu tak je, lze provést **rozvolnění tahů**, které spočívá v úpravě jednotlivých součinitelů odstupňování 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.

3.2.5 Rozhodnutí o nutnosti použití přidržovače při tažení

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:

- při tažení hlubokotažného plechu tloušťky $s < 0,5 \text{ mm}$
- v prvním tahu v případě, že:

$$\alpha \geq \frac{100d_1}{D_{0\text{skut}}} \quad (-). \quad (3.21)$$

Součinitel α se vypočte ze vztahu:

$$\alpha = 50 \cdot \left(z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_{0\text{skut}}}} \right), \quad (3.22)$$

kde je s – jmenovitá tloušťka plechu (mm),
 $D_{0\text{skut}}$ – 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 lis*y, 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:

- 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.
- tažnice s profilem podle Pelczyńského.** Nejvýhodnější podmínky tažení se docilují tím, že bod dotyku tažnice s přístřihem zůstává na hraně výtažku.
- 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.

3.2.6 Stanovení měrného tlaku, síly a vhodného tvaru 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:

$$p_i = (0,002 \div 0,003) \cdot \left[\left(\frac{1}{M_i} - 1 \right)^3 + 0,5 \frac{d_i}{100 s} \right] \cdot R_m \quad (\text{MPa}), \quad (3.23)$$

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:

$$F_{pi} = S_i \cdot p_i \quad (\text{N}), \quad (3.24)$$

kde je S_i – účinná plocha přidržovače (mm²),

p_i – měrný tlak přidržovače (MPa).

Účinnou plochu přidržovače v prvním tahu lze vypočítat dle vztahu:

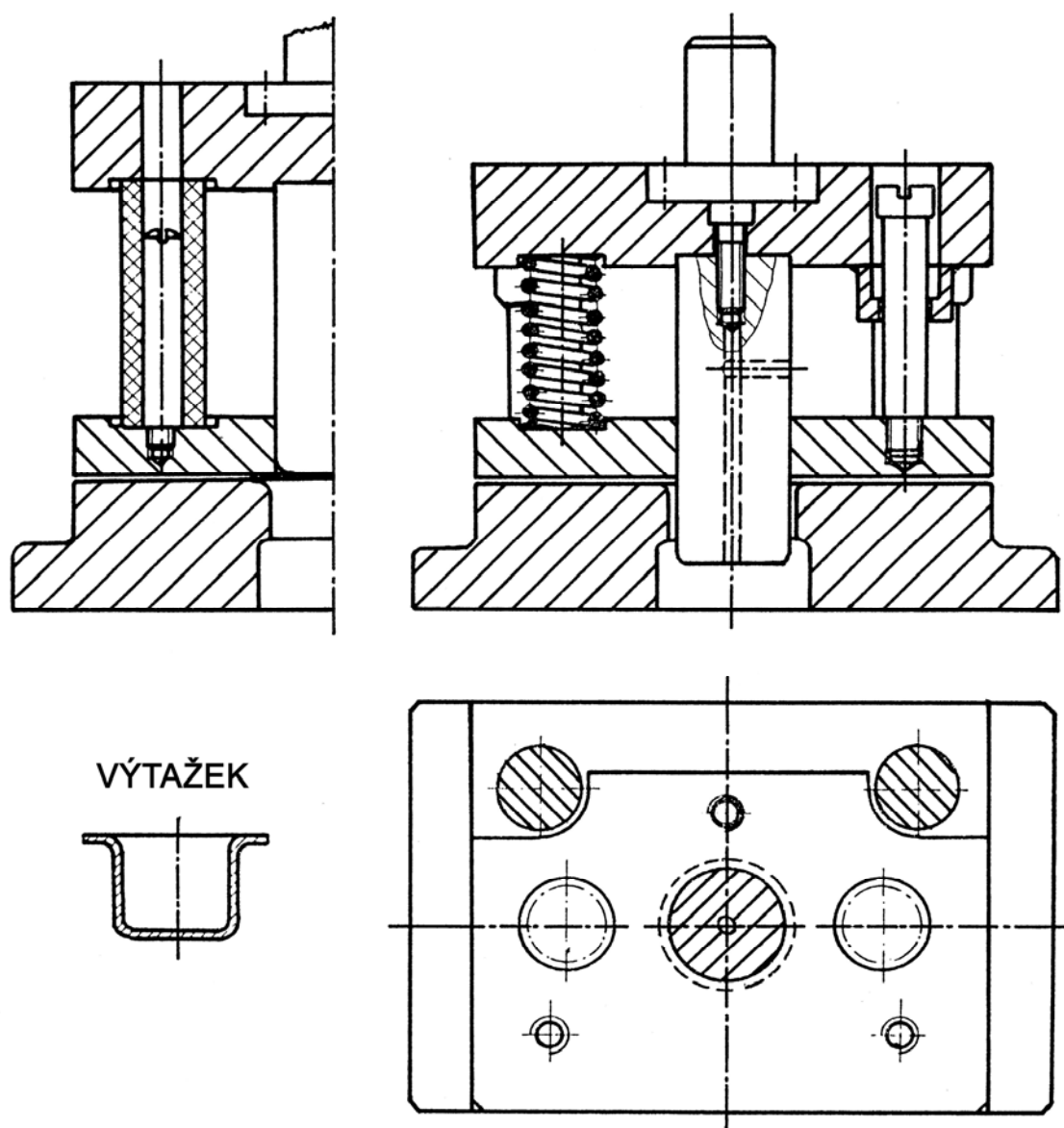
$$S_1 = \frac{\pi \cdot D_{0\text{skut}}^2}{4} - \frac{\pi \cdot (d_1 + 2s + 2r_{t1})^2}{4} \quad (\text{mm}^2). \quad (3.25)$$

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 3.24.

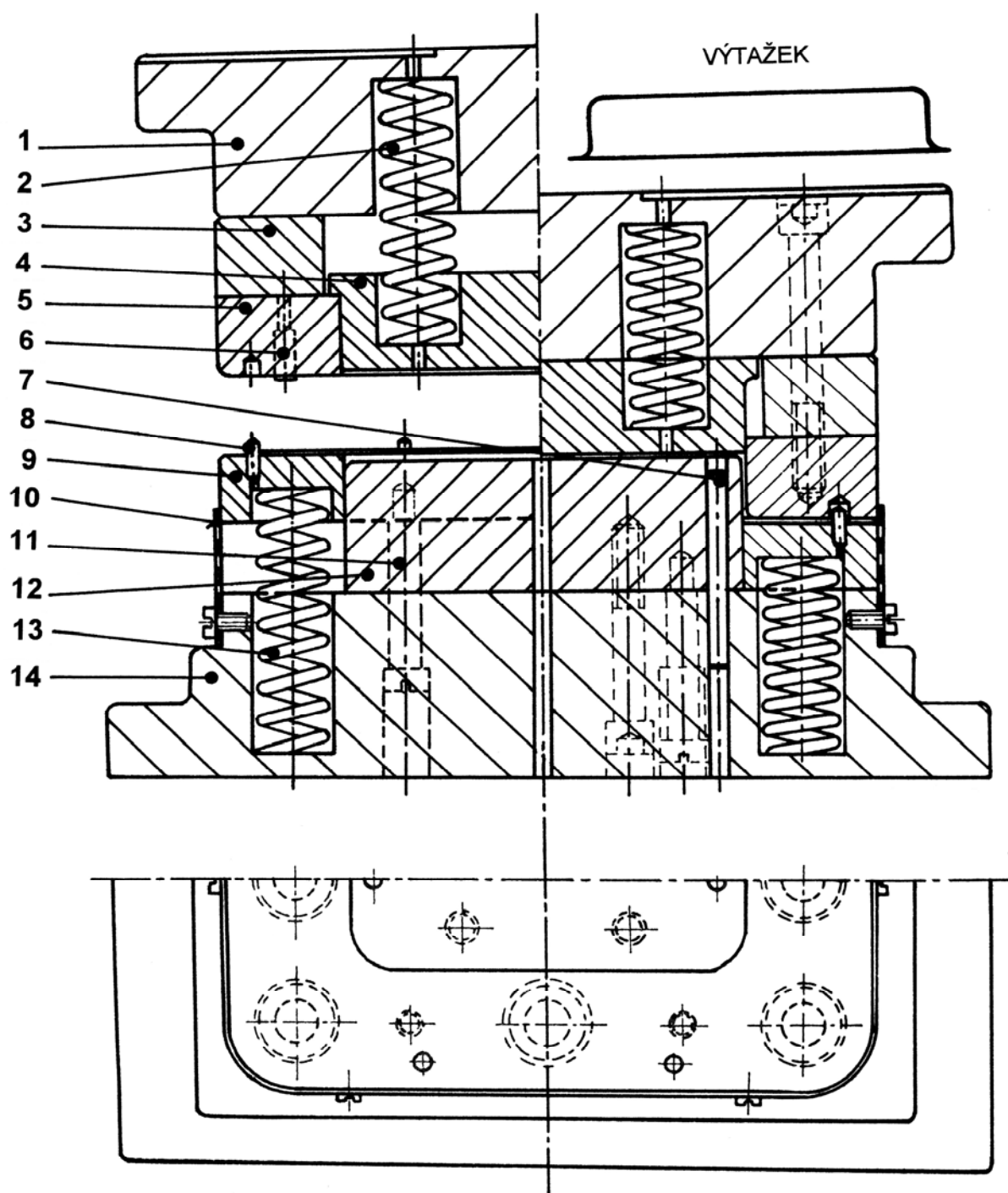
K vyvození přidržovací síly v tažném nástroji se využívá buď *beranu lisu*, provádějící vlastní tažnou operaci, nebo *samostatného beranu*, jehož pohyb je odvozen od pohybu hlavního beranu lisu. *První případ* je používán pro tažení nízkých výtažků *na jednočinných lisech* (klikových nebo výstředníkových), *druhý případ* se používá při tažení hlubokých výtažků *na lisech dvojčinných 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 obyčejných 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.

Na Obrázku 3.6 je vyobrazen tažný nástroj jednoduché konstrukce, který je určen *pro jednočinné lisy 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 Obrázku 3.7.

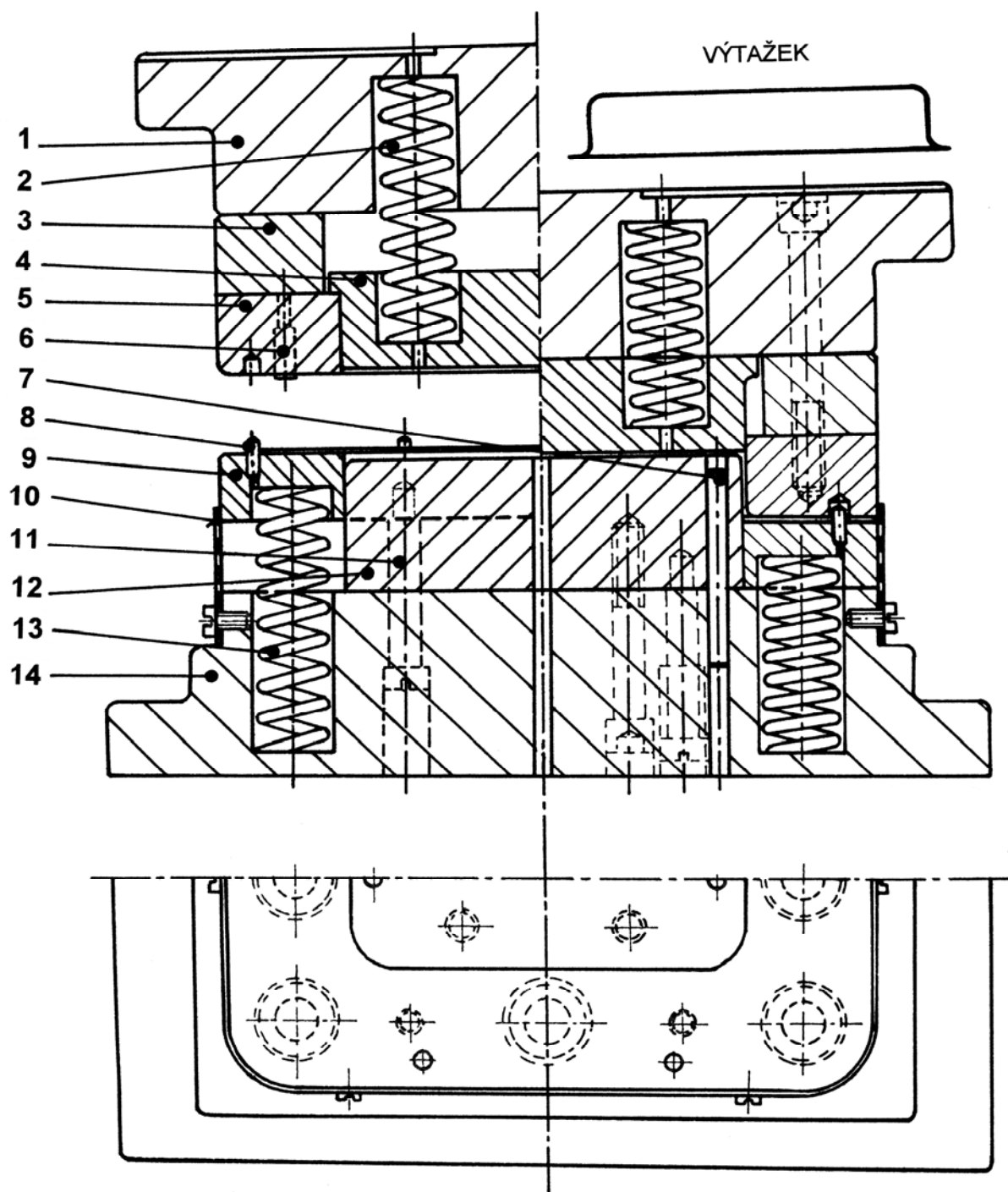


Obrázek 3.6 – Tažidlo s horním pružinovým přidržovačem, určené pro jednočinné lisy



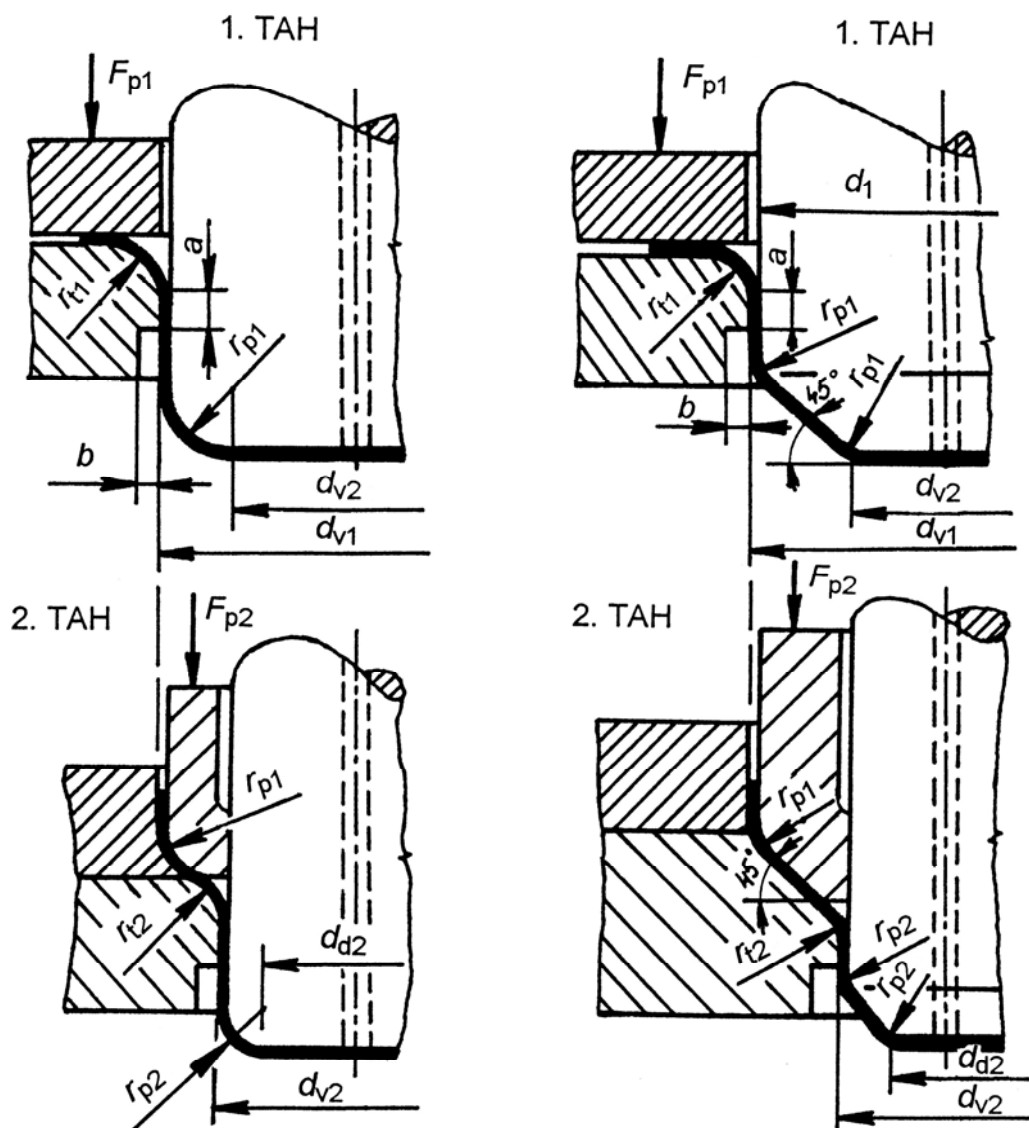
Obrázek 3.7 – Tažidlo se spodním pružinovým přidržovačem, určené pro jednočinné lis

Provedení tažidla pro druhý tah s horním přidržovačem, určené *pro dvojčinný lis*, je na Obrázku 3.8. Tažník je oddělen od přidržovače a každá tato část nástroje se připevňuje na samostatný beran lisu.



Obrázek 3.8 – 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)

Dosedací plocha přidržovače je přizpůsobena tvaru polotovaru a není tedy vždy rovinná. Možné tvary přidržovače pro první a druhý tah jsou zřejmé z Obrázku 3.9. Pokud je čelo přidržovače zkosené, podle ČSN 22 7301 se úhel tohoto zkosení volí v rozmezí 30 až 45 °.



Obrázek 3.9 – Možné tvary přidržovače pro první a druhý tah



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady využití tažení s přidržovačem při výrobě součástí v praxi.

3.2.7 Stanovení optimální velikosti tažné mezery v jednotlivých tazích

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

$$t_{m1} = (1,2 \div 1,3) s \quad (\text{mm}), \quad (3.26)$$

$$b) \text{ pro poslední tah} \quad t_{mn} = (1,1 \div 1,2) s \quad (\text{mm}). \quad (3.27)$$

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:

$$t_{mk} = (1,0 \div 1,1) s \quad (\text{mm}). \quad (3.28)$$



Průvodce studiem

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



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady projevů vlivu tažné mezery na proces tažení při výrobě výtažků v praxi.

3.2.8 Stanovení vhodných hodnot zaoblení tažné hrany 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 nepřidržovaná plocha přístřihu, takže **vznikne riziko porušení podmínek stability procesu plastické deformace**, což by se projevilo vznikem vrásek a přeložek (tzv. **sekundární zvlnění**).

Doporučují se následující hodnoty zaoblení tažné hrany tažnice:

$$a) \text{ pro první tah} \quad r_{t1} = (8 \div 10) s \quad (\text{mm}), \quad (3.29)$$

$$b) \text{ pro druhý a další tahy} \quad r_{tn} = (6 \div 8) s \quad (\text{mm}). \quad (3.30)$$

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 (3.31).

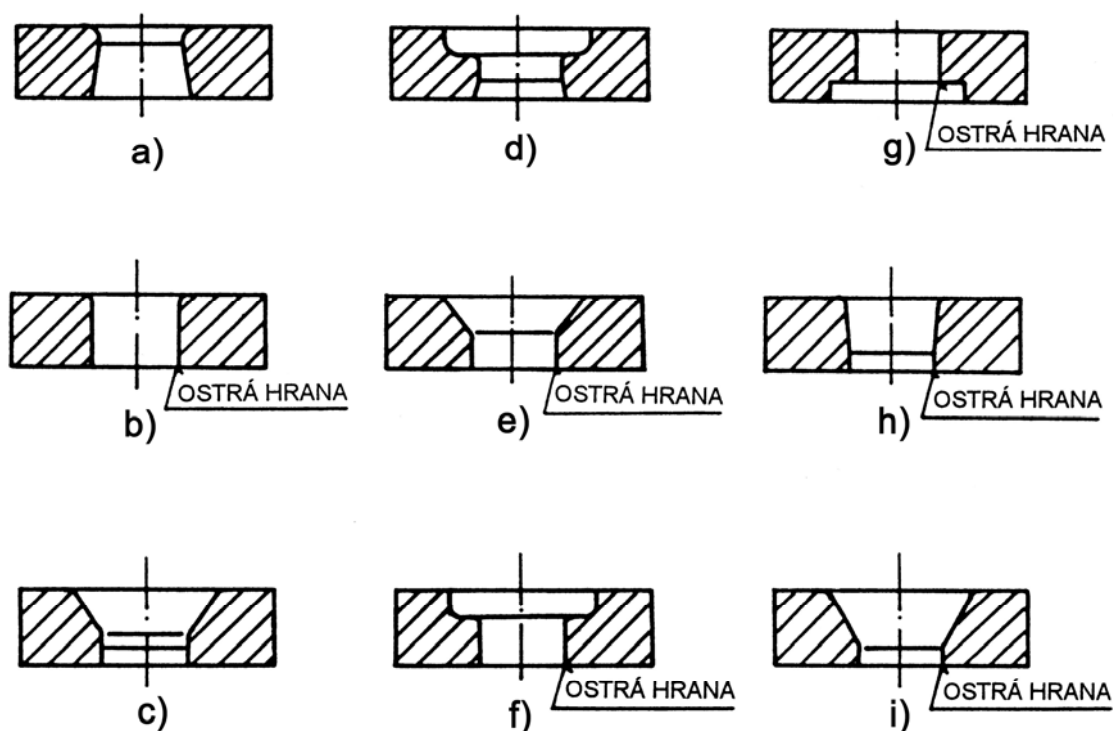
Výška válcové části tažnice:

$$h_t = (2 \div 8) s \quad (\text{mm}). \quad (3.31)$$

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 (Obrázek 3.10 a). Když výtažek odchází z nástroje spodem (propadem), tažnice se opatřují ve spodní části ostrou hranou (Obrázek 3.10 b), o níž se výtažek po odpružení okraje setře.

Varianty provedení tažnic jsou následující (Obrázek 3.10):

- 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.



Obrázek 3.10 – Funkční otvory tažnic



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady využití některých typů tažnic při výrobě výtažků v praxi.

3.2.9 Stanovení vhodných poloměrů zaoblení tažných hran tažníku

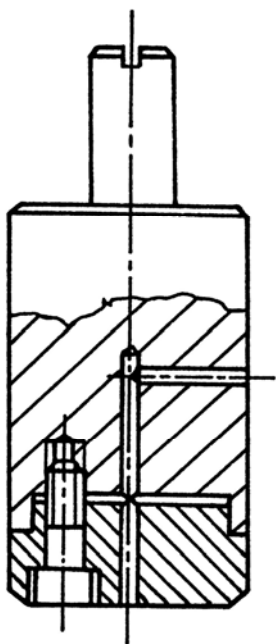
Poloměry zaoblení tažných hran tažníku r_p jsou stejné nebo větší než zaoblení tažné hrany tažnice r_t . **Je-li zaoblení hran tažníku příliš velké**, vzniká nebezpečí, že se na volné části plechu mezi čelem tažníku a tažnicí vytvoří tzv. **druhotné vlny**, znehodnocující vzhled výtažku.

Poloměr zaoblení tažné hrany tažníku r_p **u posledního tahu** se volí podle velikosti výtažku:

$$\text{a) pro průměr výtažku 10 až 100 mm} \quad r_p = (3 \div 4) s \quad (\text{mm}), \quad (3.32)$$

$$\text{b) pro průměr výtažku 100 až 200 mm} \quad r_p = (4 \div 5) s \quad (\text{mm}), \quad (3.33)$$

$$\text{c) pro průměr výtažku 200 mm a výše} \quad r_p = (5 \div 7) s \quad (\text{mm}). \quad (3.34)$$



Obrázek 3.11 – 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 (Obrázek 3.11).



Průvodce studiem

Tažník může být dělený dle Obrázku 3.11, nebo nedělený. U děleného tažníku je výhodou menší spotřeba nástrojové oceli na jeho výrobu, nevýhodou je složitější konstrukce. O použití rozhoduje ekonomika strojírenské výroby.



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady využití tažníku jednak s jedním poloměrem zaoblení tažné hrany, jednak se zkoseným čelem a dvěma přechodovými poloměry zaoblení při výrobě výtažků v praxi.

3.2.10 Konstrukce tažidel pro víceoperační tažení

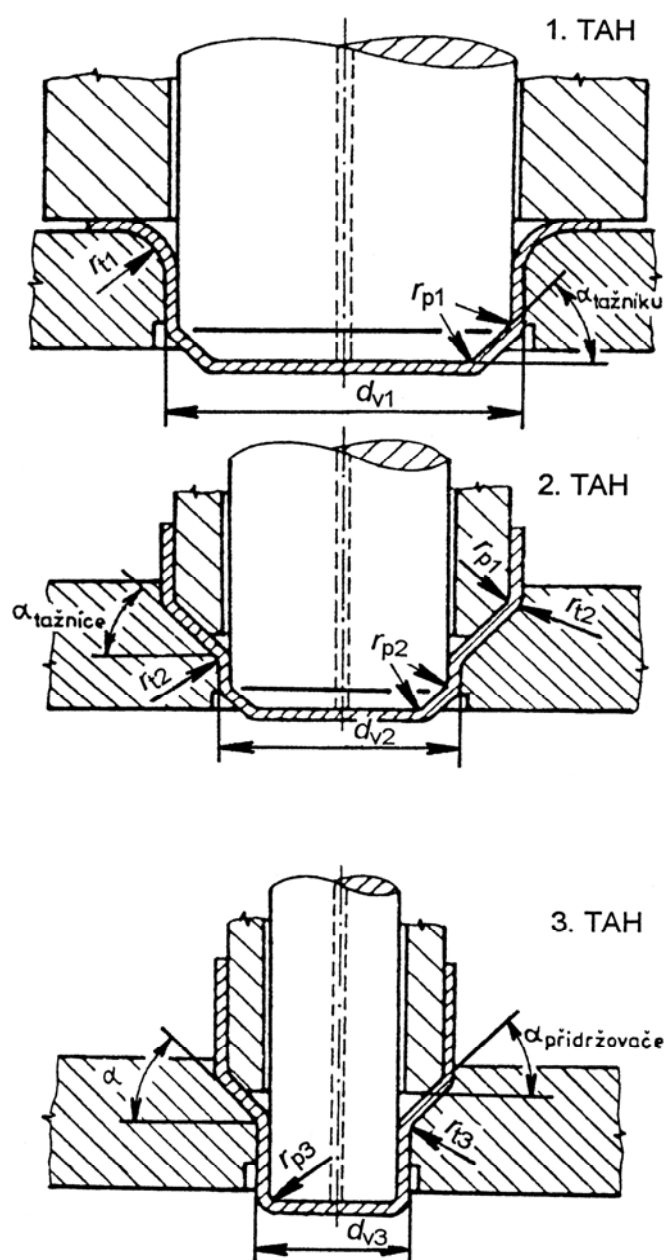
Tažení probíhá v tažných nástrojích, které sestávají z *tažníku*, *tažnice* a *přidržovače*. Tvar a umístění jednotlivých činných částí nástroje jsou závislé na typu tažné operace (tj. tažení v první operaci nebo tažení v dalších operacích) a na konstrukci tvářecího stroje.

Uspořádání jednotlivých tažných operací je takové, aby se průměr výtažku v základní operaci rovnal průměru výtažku v následující operaci (Obrázek 3.12). 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*.

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 středicí funkci. Vnitřní průměr přidržovače je o příslušnou vůli větší než průměr tažníku pro danou operaci.



Obrázek 3.12 – Víceoperační tažení válcového výtažku



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady využití víceoperačního tažení při výrobě výtažků v praxi.

3.2.11 Postupy výpočtu 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 součinu ($R_e \cdot s$) 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:

$$F_{\max 1} = \frac{k'}{\eta} \cdot \left[\pi \cdot d_1 \cdot s_0 \cdot R_e \cdot \left(\ln \frac{D_{0\text{skut}}}{d_1} + \frac{s_0}{2\rho} \right) + 2\mu \cdot \frac{d_1}{D_{0\text{skut}}} \cdot F_{p1} \right] \quad (\text{N}), \quad (3.35)$$

kde je k' – koeficient zpevnění (lze jej stanovit z Obrázku 3.13),

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:

$$\rho = r_{t1} + \frac{s}{2} \quad (\text{mm}), \quad (3.36)$$

kde je r_{t1} – poloměr zaoblení tažné hrany tažnice v prvním tahu (mm),
 s – tloušťka plechu (mm).



Průvodce studiem

Rovnici 3.35 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 3.37 a 3.38.

Tažnou sílu lze též vypočítat z jednoduchých vztahů, které vycházejí z meze pevnosti ve výtažku s využitím *experimentálně zjištěných opravných silových součinitelů* (Tabulka 3.9). 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.

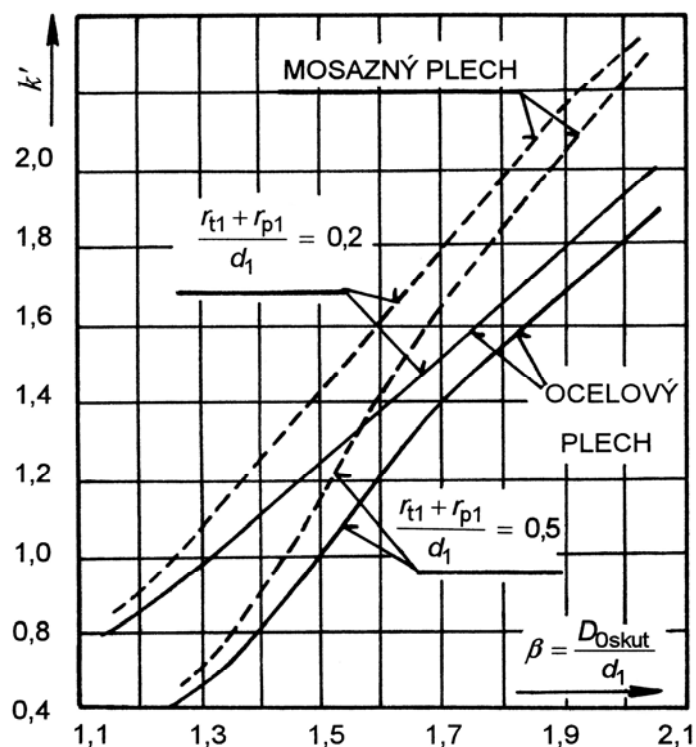
Tažná síla pro první tah:

$$F_{t1} = \pi \cdot d_1 \cdot s_0 \cdot k_1 \cdot R_m \quad (\text{N}). \quad (3.37)$$

Tažná síla pro další tahy:

$$F_{ti} = \pi \cdot d_i \cdot s_0 \cdot k_i \cdot R_m \quad (\text{N}), \quad (3.38)$$

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 (Tabulka 3.7) a pro i-tý tah (Tabulka 3.8). Tento součinitel vyjadřuje vliv součinitele odstupňování tahu na velikost tažné síly.



Obrázek 3.13 – Závislost koeficientu zpevnění k' na $\beta = \frac{D_{0skut}}{d_1}$ pro ocelový hlubokotažný a mosazný plech

Tabulka 3.7 – 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

Tabulka 3.8 – 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:

$$F_{ci} = F_{ti} + F_{pi} + F_{vi} \quad (\text{N}), \quad (3.39)$$

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*.



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady využití vyhazovače při výrobě výtažků v praxi.

3.2.12 Výpočet práce při tažení

Práci, která je potřebná pro tažení, lze vypočítat dle vztahu:

$$A = F_c \cdot h \cdot k_p \quad (\text{J}), \quad (3.40)$$

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.

3.3 Navržení 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 výtažků. *Polotovar se maže pouze ze strany tažnice*. Ze strany tažníku je výhodné tření co nejvyšší.

Základní druhy maziv, používané při tažení jsou:

- a) *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 používají v koncentraci 10 až 20 %. Výhodou mýdlových emulzí je značný *chladičí účinek* a snadné odstraňování z výlisků.

Pro nejnáročnější tahy se používá **chlórparafín** ředěný olejem, trichlorethylenem, benzínem apod.

- b) **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.
- c) **maziva tuhá** – mají nepatrnou tvrdost a velkou afinitu ke kovům. Používají se jako **přísady k běžným mazivům** při tažení hlubokých nebo složitých výtažků. Do teploty 400 °C se může používat **siřník 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.



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady způsobů mazání a druhů maziv při výrobě výtažků v praxi.

3.4 Rozhodnutí o mezioperačním tepelném zpracování výtažku z plechu

Vyžaduje-li výtažek větší počet tahů, zhoršuje zpevnění materiálu proces deformace při tažení. Dovolená deformace se stále zmenšuje, proto bývá nutné obnovit tvárné vlastnosti materiálu žiháním. U ocelových plechů je žihání obvykle zařazeno po třetí tažné operaci.

Jako mezioperační tepelné zpracování při tažení je možno doporučit:

- a) **žihání k odstranění pnutí,**
- b) **rekrytalizační žihání,**
- c) **normalizační žihání** – je vhodné v případě tváření měkkých ocelí zastudena, kdy je nebezpečí, že by při rekrytalizačním žihání nadměrně zhrublo feritické zrna.



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.



Příprava na tutoriál

Promyslete si příklady využití tepelného zpracování při výrobě výtažků v praxi.



CD-ROM

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***animaci prvního tahu tažení válcového výtažku z rovinného kruhového přístřihu s použitím přidržovače*** – jde o tzv. tažení prosté, s přidržovačem, bez ztenčení stěny. V procesu tažení je vidět velká plastická deformace příruby a vznik mírného zvlnění jejího okraje v závěru tažení vlivem tlakových tečných napětí. V průběhu celé animace je zobrazena analýza deformací v diagramu mezních deformací použitého plechu.

X:\TTaS\Animace+video\03-01-Simulace-tazeni-valcoveho-vytazku+DMD.mp4

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***animaci prvního tahu tažení kuželového výtažku z rovinného čtvercového přístřihu s použitím přidržovače*** – jde o tzv. vypínání plechu, s přidržovačem. V procesu tažení je vidět velká plastická deformace u vrcholu zaobleného kužele, v závěru tažení vlivem tahových napětí překročení meze tvárnosti a vznik porušení – červenou barvou. V průběhu celé animace je zobrazena analýza deformací v diagramu mezních deformací použitého plechu, ze které je rovněž zřejmé překročení křivky mezních deformací použitého plechu.

X:\TTaS\Animace+video\03-02-Simulace-tazeni-kuzeloveho-vytazku+DMD.mp4

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***animaci postupového tažení válcového výtažku*** – jde o tzv. tažení prosté, s přidržovačem, bez ztenčení stěny. V prvním tahu je vytvořen výtažek s kuželovou přírubou. Ve druhém tahu je dosažena větší hloubka válcového výtažku za současného zmenšení průměru. Výtažek po druhém tahu má rovněž kuželovou přírubu. Ve třetí operaci je provedeno ostřížení horního okraje výtažku, který je nerovný. Nerovný okraj válcového výtažku, tzv. cípovitost výtažku, je způsobena plošnou anizotropií mechanických vlastností použitého plechu. Po pohybu beranu s horními částmi nástrojů směrem nahoru dojde k vysunutí jednotlivých polotovarů. Následně jsou uchyceny do kleštin krokového podavače a přesunuty do následující operace. Po rozevření kleštin a vložení polotovarů do nástrojů se podavač vrací do výchozí polohy.

X:\TTaS\Animace+video\03-03-Simulace-postupoveho-tazeni-valcoveho-vytazku.mp4

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***simulaci tažení blatníku na jednočinném lisu*** – je vidět model tažnice (nahore), model přidržovače, model tažníku (nejspodnější) a modře přístřih z plechu, který je vložen do tažného nástroje. V první

fázi tažení dochází k pohybu tažnice směrem dolů a sevření přístřihu k tažnici přidržovačem. Tažnice s přidržovačem pokračuje v pohybu směrem dolů k nepohyblivému tažníku. Následuje vlastní tažení tvarového výtažku. Animace pokračuje znázorněním deformací ve výtažku v procesu tažení, zobrazení půdorysu, analýza deformací v diagramu mezních deformací použitého plechu, ze které je zřejmé, že v procesu tažení nedošlo k překročení křivky mezních deformací použitého plechu. Je simulováno ostřížení příruby a rovněž deformace příruby po tažení.

X:\TTaS\Animace+video\03-04-Simulace-tazeni-blatniku-na-jednocinnem-lisu.mp4

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***záznam tváření na postupovém lisu*** – v pracovním prostoru lisu je vidět kleštinový krokový podavač, který transportuje polotovary z plechu mezi jednotlivými operacemi. Jednotlivé tvářecí nástroje jsou uchyceny vedle sebe do drážek typu T – horní části nástrojů do beranu lisu, dolní části nástrojů do stolu lisu. Každý jednotlivý tvářecí nástroj je proveden s vodicím stojánkem, který má čtyři vodicí sloupky. Toto vedení eliminuje nepřesnost vedení beranu a zvyšuje přesnost vyráběných výtažků.

X:\TTaS\Animace+video\03-05-Tvareni-na-postupovem-lisu.mp4

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***simulaci tažení výtažku stříšky na jednočinném lisu*** – je vidět model tažníku (nahore, vybarvený zeleně), model přidržovače (nahore, vybarvený hnědě), model tažnce (dole, vybarvený modře) a šedě přístřih z plechu, který je vložen do tažného nástroje. V první fázi tažení dochází k pohybu tažníku směrem dolů a sevření přístřihu k tažnici přidržovačem. Tažník pokračuje v pohybu směrem dolů k nepohyblivé tažnici. Následuje vlastní tažení tvarového výtažku – je vidět, jak čelo tažníku se postupně dostává do kontaktu s plechem přístřihu a jak vznikají svislé stěny výtažku. Fialovou barvou jsou znázorněny oblasti výtažku, na kterých vznikne zvlnění – jde o střední část delší stěny a rohy výtažku. Toto zvlnění se nazývá sekundární a je zapříčiněno nízkým radiálním napětím v procesu tažení.

X:\TTaS\Animace+video\03-06-Simulace-tazeni-strisky.avi

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit ***simulaci tažení výtažku výztuhy na jednočinném lisu*** – je vidět tvarový přístřih z plechu, který je vložen do tažného nástroje. Model tažníku (je umístěn dole), model přidržovače (je umístěn dole), model tažnce (je umístěn nahore) nejsou zobrazeny, aby bylo umožněno lépe sledovat plastickou deformaci přístřihu v procesu tažení. V první fázi tažení dochází k pohybu tažníku směrem nahoru a sevření přístřihu k tažnici přidržovačem. Tažník pokračuje v pohybu směrem nahoru k nepohyblivé tažnici. Následuje vlastní tažení tvarového výtažku výztuhy. Lze pozorovat vznik cípů a vznik zvlnění.

X:\TTaS\Animace+video\03-07-Simulace-tazeni-vyztuhy.avi

Pomocí odkazu níže si můžete z průvodního CD-ROMu spustit **simulaci tažení výtažku s brzdícím žebrem** – je vidět část tvarového přístřihu z plechu, který je vložen do tažného nástroje. Model tažníku (je umístěn dole), model přidržovače (je umístěn dole), model tažnice (je umístěn nahoře) nejsou zobrazeny, aby bylo umožněno lépe sledovat plastickou deformaci přístřihu v procesu tažení. V první fázi tažení dochází k pohybu tažníku směrem nahoru a sevření přístřihu k tažnici přidržovačem. V oblasti příruby výtažku je v tažném nástroji provedeno brzdící žebro, které slouží ke zvětšení radiálního napětí v plechu při tažení a tím zabránění vzniku sekundárního zvlnění. Tažník pokračuje v pohybu směrem nahoru k nepohyblivé tažnici. Následuje vlastní tažení tvarového výtažku. Lze pozorovat vtahování příruby do dutiny tažnice bez vzniku primárního ani sekundárního zvlnění.

X:\TTaS\Animace+videa\03-08-Simulace-tazeni-s-brzdicim-zebrem.avi



Shrnutí pojmů 3.1

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 jsou následující:

1. tvar a velikost přístřihu,
2. počet tažných operací a jejich odstupňování,
3. použití přidržovače,
4. velikost tažné mezery,
5. tvar tažníku,
6. tvar tažnice,
7. tažná síla,
8. rychlost tažení,

9. drsnost plechu a funkčních částí nástroje,

10. mazání při tažení.

Stanovení tvaru a velikosti přístřihu: za předpokladu, že tloušťka plechu se při tažení nemění, zákon stálosti objemu přejde v **zákon stálosti ploch**.

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

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

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

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:

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

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

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

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

Přidržovač se používá:

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

b) **v prvním tahu** v případě, že:

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

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

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

Přidržovací síla v i -tém tahu:

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

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

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

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

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

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

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

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

Tažná síla pro i -tý tah: $F_{ti} = \pi \cdot d_i \cdot s_0 \cdot k_i \cdot R_m$ (N).

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

Celková síla tažného lisu v i -tém tahu: $F_{ci} = F_{ti} + F_{pi} + F_{vi}$ (N),

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

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 nenáročné tahy a při tažení barevných kovů.), **maziva tuhá** (Používají se jako přísady k běžným mazivům při tažení hlubokých nebo složitých výtažků.).



Pojmy k zapamatování

Tažení, deformace, výtažek, plošné tváření, tažení prosté, přidržovač, 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 přidržovače, tangenciální pětchování, tah, hlubokotažný plech, jmenovitá tloušťka plechu, tlak přidržovače, přidržovací síla, měrný tlak přidržovače, pružina, beran, dvojčinný lis, tažná mezera, zvlnění, kalibrace výtažku, jednočinný lis, zaoblení tažné hrany tažnice, vyhazovač, přechodový poloměr tažníku, sekundární zvlnění výtažku, odvodušnění, tažná síla, pevnost v tahu, celková síla tažného lisu, práce, součinitel tření, mazání, tepelné zpracování.



Otázky 3.1

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku třetí kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek:

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?



Příprava na tutoriál

Popište jednotlivé způsoby výroby, které patří do technologie tažení. Uveďte příklady z praxe, kdy se vyskytují při výrobě součástí.

Vysvětlete technologii postupového tažení v pásu. Uveďte příklady z praxe, kdy se využívá.

Objasněte technologii tažení se ztenčením stěny. Uveďte příklady z praxe, kdy se používá.



Další zdroje

Pro rozšíření znalostí popisované problematiky prostudujte:

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



Korespondenční úkol 3.1

Program č. 2 „Stříhání a tažení plechu“

Navrhněte technologický postup výroby válcového výtažku tažením z plechu:

- 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 střižnou plochu, sílu a vůli, stanovte rozměry střižníku a střižnice,
- 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.

Pro týmové řešení tohoto zadání:

- 1) vytvořte v rámci své studijní skupiny dvoučlenný (výjimečně tříčlenný) tým,
- 2) zahajte zpracování kapitoly s názvem: *Týmové řešení programu č. 2 „Stříhání a tažení plechu“*, která bude při odevzdání protokolu zařazena na jeho konci, přičemž v této kapitole uveďte veškeré informace o organizaci a průběhu své týmové práce s členěním do podkapitol, přičemž nejvhodnějším způsobem je průběžné zapisování během řešení,
- 3) rozdělte si v týmu, které části zadání budete řešit společně a které samostatně, zvažte rovněž způsob kontrol dílčích částí, aby nebylo navazováno na chybné řešení, zvažte, zda budete provádět písemné zápisy o předáních dílčích částí mezi členy týmu, kontrolách zpracovaných dílčích částí jiným členem týmu, urgencích členů týmu, aby dodali svou zpracovanou část v termínu, запиšte diskuzi v týmu a závěry,
- 4) dohodněte si v týmu, jaký zvolíte postup v případě nemoci člena týmu nebo nezpracování dílčí části, na kterou má být navazováno jiným členem týmu, v dohodnutém termínu, který byl zapsán v dohodnutém harmonogramu,
- 5) dohodněte si v týmu, které způsoby komunikace mezi sebou budete používat a ve které denní době budete které preferovat, запиšte diskuzi v týmu a závěry,
- 6) dohodněte a zpracujte v týmu harmonogram zpracování a vzájemných kontrol zpracování jednotlivých bodů zadání, do tohoto harmonogramu zahrňte i konzultaci části řešení s vyučujícím na cvičení a vyučujícím stanovený termín odevzdání výsledného protokolu, запиšte diskuzi v týmu a závěry,
- 7) zvažte v týmu časové vytížení jednotlivých členů týmu při řešení a pokuste se rozdělit práce na jednotlivých bodech zadání tak, aby bylo zatížení členů týmu pokud možno rovnoměrné, během řešení proveďte kontrolu časového vytížení

jednotlivých členů týmu, která může vést k případnému přehodnocení rozdělení jednotlivých dílčích úkolů mezi členy týmu,

- 8) v kapitole s názvem: *Týmové řešení programu č. 2 „Stříhání a tažení plechu“* uveďte nejen informace o dohodách v týmu na počátku řešení zadání, ale uveďte i podrobné informace o průběhu řešení, tj. plnění harmonogramu, datumy jednotlivých činností, provedení kontrol dílčích částí, termíny společných řešení a samostatných řešení, provedení kontrol před použitím pro navazující práce, dohodnuté změny harmonogramu řešení nebo prací apod., na závěr uveďte zkušenosti a názory jednotlivých členů týmu na svou práci v týmu při řešení tohoto konkrétního zadání včetně postřehů a námětů na zlepšení jednak práce ve stejném týmu na řešení dalšího zadání, jednak obecně pro týmy.



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 „Návrh technologického postupu výroby součástí kováním zatepla v zápustkách“:

1. Dokážete charakterizovat zápustkové kování? (viz 1 Návrh technologického postupu výroby součástí kováním zatepla v zápustkách)
2. Jaké druhy strojů používaných ke kování znáte? Pro jaký druh výroby je každý z nich vhodný? (viz 1.1 Jak zvolit vhodný tvářecí stroj, 1.1.1 Buchary, 1.1.2 Vřetenové lis, 1.1.3 Mechanické klikové lis)
3. Co a jak se kreslí na výkresu výkovku? (viz 1.2 Hlavní zásady pro nakreslení výkresu výkovku)
4. Jaké jsou hlavní zásady pro volbu dělicí roviny? (viz 1.2.1 Jak zvolit vhodnou dělicí rovinu výkovku)
5. Uveďte názvy jednotlivých přesností provedení výkovku. Jak se pro daný výkovek předepisují? (viz 1.2.3 Předepsání stupně přesnosti a provedení výkovku)
6. Co jsou to přídavky na obrábění? Na které plochy se dávají? (viz 1.2.4 Stanovení přídavků na obrábění pro jednotlivá provedení výkovku)
7. Jaké druhy technologických přídavků při konstrukci zápustkových výkovků znáte? Jaký mají tyto přídavky účel? (viz 1.2.5 Stanovení technologických přídavků)
8. Na které plochy se dávají boční úkosy? Na čem závisí jejich velikost? (viz Tabulka 1.7)
9. Jaké jsou rozměrové a tvarové úchytky zápustkových výkovků? (viz 1.2.6 Stanovení dovolených rozměrových a tvarových úchytek zápustkových výkovků)
10. Jaké jsou typy výronkových drážek? Kdy se která varianta používá? (viz 1.3 Stanovení typu, tvaru a rozměrů výronkové drážky)
11. Dokážete popsat konstrukci průřezového obrazce a ideálního předkovku? (viz 1.6.1 Postup konstrukce průřezového obrazce a ideálního předkovku pro výkovky I. skupiny)
12. Uveďte názvy základních typů předkovacích dutin. Na co se která používá? (viz 1.6.2 Volba vhodných přípravných předkovacích dutin)
13. Jak se u výkovků stanoví objem výchozího materiálu a délka polotovaru? (viz 1.4 Způsoby výpočtu objemu výkovku, 1.3 Stanovení typu, tvaru a rozměrů výronkové drážky, 1.6.3 Výpočet objemu polotovaru a stanovení jeho rozměrů)

Klíč k řešení teoretických otázek druhé kapitoly „Návrh technologického postupu výroby součástí plošným stříháním“:

1. Co se rozumí stříháním? (viz 2 Návrh technologického postupu výroby součástí plošným stříháním)

2. Které oblasti lze rozlišit na střížné ploše? Jaké jsou příčiny jejich vzniku? (viz 2.1 Stříhání plechu pomocí tabulových nůžek)
3. Jak se vypočte střížná plocha, maximální střížná síla a střížná práce? (viz 2.1.1 Stříhání rovnoběžnými noži)
4. Dokážete vysvětlit výhody stříhání skloněnými noži? Jaké má tato technologie nevýhody? (viz 2.1.2 Stříhání skloněnými noži)
5. Na co má vliv velikost střížné mezery? (viz 2.2.1 Stanovení optimální velikosti střížné mezery)
6. Při vystřihování, kdy je výrobkem výstřížek, odpovídá rozměr výstřížku rozměru střížnice, nebo střížníku? (viz 2.2.3 Stanovení potřebného stupně přesnosti a rozměrů střížníku a střížnice)
7. Co je to stříhadlo? Z čeho se skládá? (viz 2.2 Stříhání plechu ve stříhadlech)
8. Jak lze stříhadla rozdělit podle funkce? Jak podle způsobu vedení? (viz 2.2 Stříhání plechu ve stříhadlech)
9. Co je to nástřihový plán? Jakými způsoby se konstruuje? (viz 2.3 Zásady pro navržení optimálního nástřihového plánu)
10. Co jsou přepážky? Co je boční odpad? (viz 2.3 Zásady pro navržení optimálního nástřihového plánu)
11. Jak lze stanovit hospodárnost nástřihového plánu? (viz 2.3 Zásady pro navržení optimálního nástřihového plánu)
12. Co je využitelný odpad? Co je nevyužitelný odpad? (viz 2.3 Zásady pro navržení optimálního nástřihového plánu)

Klíč k řešení teoretických otázek třetí kapitoly „Návrh technologického postupu výroby součástí tažením z plechu“:

1. Dokážete definovat pojem tažení? Popište výhody součástí vyrobených touto technologií. (viz 3 Návrh technologického postupu výroby součástí tažením z plechu)
2. Které způsoby výroby patří do technologie tažení? (viz 3 Návrh technologického postupu výroby součástí tažením z plechu)
3. Jaké vlastnosti jsou žádoucí u ocelových plechů k tažení? (viz 3.1 Druhy ocelových plechů k tažení)
4. Co je charakteristické pro tažení bez ztenčení stěny? (viz 3.2 Tažení válcových výtažků bez ztenčení stěny)
5. Jakým způsobem lze určit tvar a velikost přístřihu? (viz 3.2.1 Postup stanovení optimální velikosti přístřihu pro tažení válcového výtažku, 3.2.2 Postup stanovení optimálního rozměru přístřihu pro tažení rotačního výtažku složitějšího tvaru)
6. Jaký je postup stanovení počtu tažných operací a jejich odstupňování? (viz 3.2.3 Odstupňování tažných operací při výrobě válcových výtažků, 3.2.4 Postup stanovení optimálního počtu tažných operací)
7. Jaký je účel přidržovače při tažení plechu a ve kterých případech se používá? (viz 3.2.5 Rozhodnutí o nutnosti použití přidržovače při tažení)

8. Jak se vypočte přidržovací síla? (viz 3.2:6 Stanovení měrného tlaku, síly a vhodného tvaru přidržovače)
9. Jakými způsoby se mohou vyvozovat přidržovací síly? (viz 3.2:6 Stanovení měrného tlaku, síly a vhodného tvaru přidržovače)
10. Co je tažná mezera? Jaká je její vhodná velikost? (viz 3.2:7 Stanovení optimální velikosti tažné mezery v jednotlivých tazích)
11. Jaký vliv na tažení má velikost zaoblení tažné hrany tažnice? (viz 3.2:8 Stanovení vhodných hodnot zaoblení tažné hrany tažnice)
12. Jaké tvary mohou mít výstupní části tažnic? (viz 3.2:8 Stanovení vhodných hodnot zaoblení tažné hrany tažnice)
13. Dokážete popsat zásady pro konstrukci tažníku? (viz 3.2:9 Stanovení vhodných poloměrů zaoblení tažných hran tažníku)
14. Jak se vypočte tažná síla a celková síla tažného lisu v libovolném tahu? (viz 3.2.11 Postupy výpočtu tažné síly)
15. Jaký je účel mazání při tažení? Jaké jsou základní druhy maziv? (viz 3.3 Navržení mazání při tažení)