



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI "KROUŽEK" PLOŠNÝM TVÁŘENÍM

PRODUCTION SINGLE PARTS "RING" FROM SHEET METAL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. LUBOŠ STEJSKAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LADISLAV ŽÁK, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Luboš Stejskal

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba součásti "Kroužek" plošným tvářením

v anglickém jazyce:

Production single parts "Ring" from sheet metal

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhnout technologii výroby kroužku s bočními prolisy a doložit konstrukčním řešením nástrojů

Cíle diplomové práce:

1. Zhodnocení technologičnosti výroby součásti.
2. Literární studie dané problematiky
3. Návrh technologie výroby součásti
4. Konstrukční řešení tvářecího nástroje
5. Ekonomické hodnocení

Seznam odborné literatury:

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. New York : Industrial Press, 2004. ISBN 0-8311-3182-9.

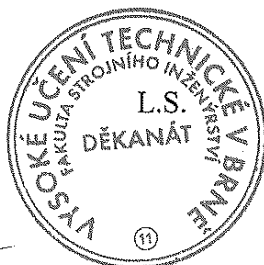
FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. Brno : CERM, 1996. ISBN 80-85867-95-8 .

KOTOUČ, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. ČVUT. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1993. ISBN 80-01-01003-1.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

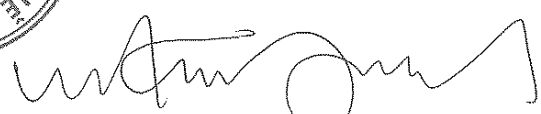
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 23.11.2011





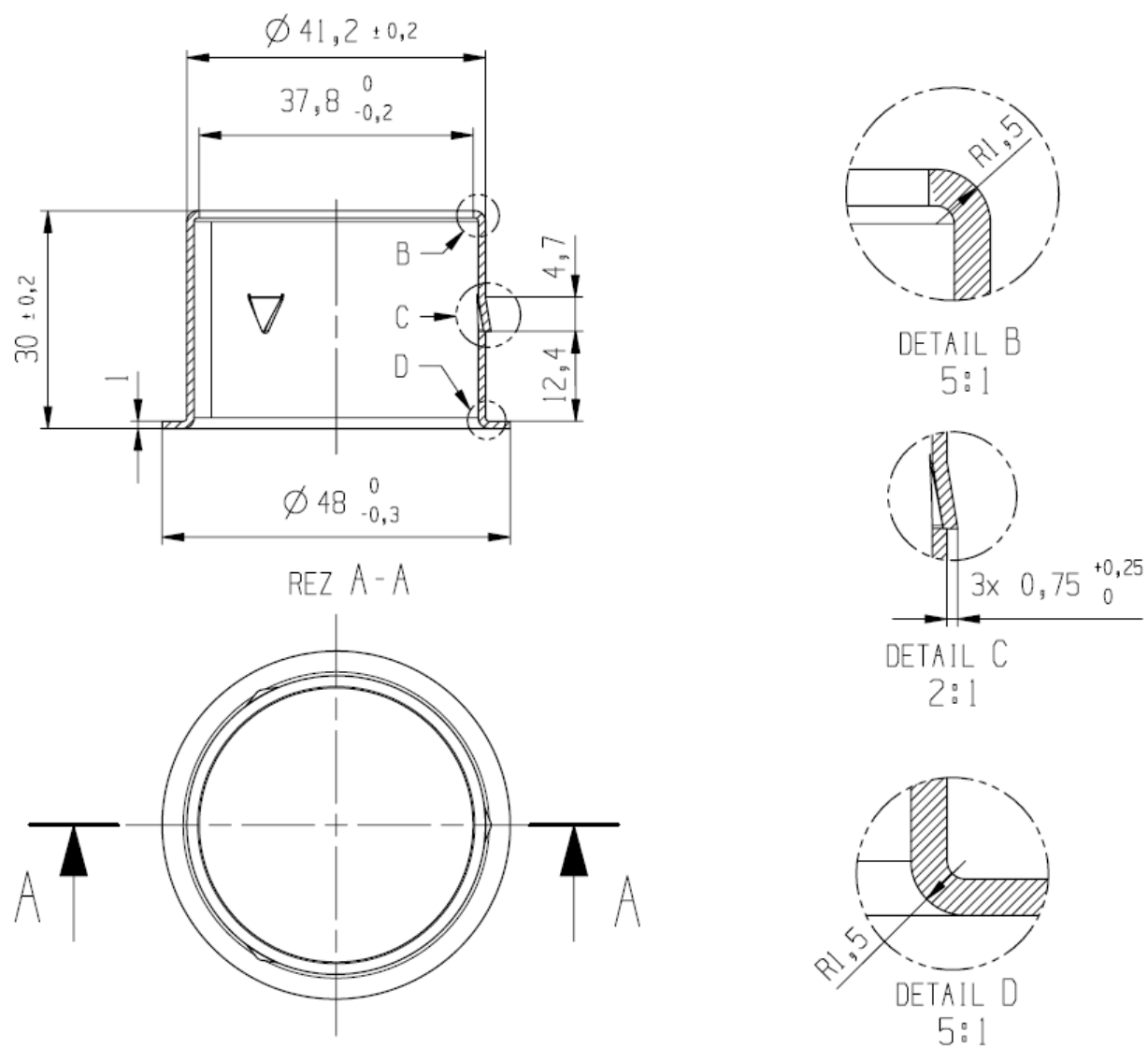
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

Výkres zadané součásti:

M1:1



ABSTRAKT

Luboš Stejskal: Výroba součásti "Kroužek" plošným tvářením

Diplomová práce vypracovaná v rámci magisterského studia oboru 23-03-T002 předkládá návrh technologie výroby součásti „Kroužek“ plošným tvářením z hlubokotažné oceli ČSN 11305. Předpokládaná roční série 250 000 kusů. Na základě literární studie problematiky plošného tváření byly pro zadanou součást, s ohledem na výrobní sérii, zvoleny technologie hlubokého tažení a stříhání. Podle provedených technologických výpočtů byl stanoven výrobní postup o sedmi operacích. Pro navržený postup byl vybrán postupový automat Paust 40 (VVB WMW), který je určený především pro velkosériovou a hromadnou výrobu výlisků z plechu. Stroj je vybavený mechanizací a tím vytváří plně automatickou linku. Na zvolený typ stroje byl zkonstruován nástroj. Práce dále obsahuje ekonomické zhodnocení řešené technologie výroby.

Klíčová slova: tvářením, stříhání, tažení, výstřižek, výtažek, nástroj, tvářením, postupový automat

ABSTRACT

Luboš Stejskal: Production single parts "Ring" from sheet metal

This thesis elaborated within a master degree in 23-03-T002 line, introduces a suggestion of production technology of part „Ring“ by sheet metal forming out of deep-drawing steel W.Nr. 1.0338. Supposed production amount is 250 000 pieces per year. Based on a literary study of problematic of sheet forming for this required part regarding production series, technologies of this of deep drawing and cutting were chosen. According to performed technological calculations, a production process of seven operations was designed. A sequence automatic machine Paust 40 (VVB WMW), was chosen for this suggested process. This machine is particularly appointed for big series and wholesale production of impressions of sheet metal. It is equipped with mechanization and therefore creates a fully automatic line. A tool was designed for this chosen type of machine. Project includes economical evaluations of elaborated of production technology.

Keywords: metal forming, cutting, deep drawing, blanks, drawn parts, tool, forming, sequence automatic machine

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STEJSKAL, L. *Výroba součástí "Kroužek" plošným tvářením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 92 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Letohradě dne 20. 5. 2012

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavovi Žákovi, Ph.D. za vedení této diplomové práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

1. ÚVOD	13
2. CHARAKTERISTIKA ZADANÉ SOUČÁSTI	14
2.1 Materiál součásti	14
2.2 Zhodnocení výrobitelnosti	15
3. LITERÁRNÍ STUDIE	16
3.1 Technologie stříhání	16
3.1.1 Teorie stříhání	17
3.1.2 Střížná vůle	18
3.1.3 Síly a práce při stříhání na stříhadlech	21
3.1.4 Úprava střížných hran pro snížení střížné síly	24
3.1.5 Nástřihový plán	25
3.1.6 Přesnost výstřížků a kvalita střížné plochy	26
3.1.7 Střížné nástroje (stříhadla)	27
3.1.8 Funkční části stříhadel	28
3.1.8.1 Střížníky	29
3.1.8.2 Střížnice	32
3.1.9 Materiál střížných nástrojů	34
3.2 Technologie tažení	36
3.2.1 Teorie tažení	38
3.2.2 Tažná síla a práce	38
3.2.3 Technologické parametry	40
3.2.3.1 Velikost přístřihu	40
3.2.3.2 Počet tažných operací	42
3.2.3.3 Volba přidržovače a určení jeho síly	45
3.2.3.4 Poloměr zaoblení funkčních hran tažidla	46
3.2.3.5 Tažná mezera	48
3.2.3.6 Přesnost výtažků	48

3.2.4 Počítačová simulace procesu tažení	48
3.2.5 Tažné nástroje	49
3.2.5.1 Tažnice	51
3.2.5.2 Tažníky	52
3.2.5.3 Přidržovače	52
3.2.5.4 Materiál tažných nástrojů	53
3.2.6. Maziva pro tažení	54
3.2.7. Stroje	54
4. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI	57
4.1 Výrobní postup	57
4.2 Pracovní schémata nástrojů	62
4.3 Výpočet sil	68
5. STROJ	72
6. KONSTRUKCE NÁSTROJE	74
6.1 Nástřihový plán	76
6.2 Popis nástrojů	76
7. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	80
8. ZÁVĚR	82
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratek	
Seznam příloh	

1. ÚVOD [4], [23], [24], [25]

Technologie plošného tváření má širokou oblast uplatnění a s jeho produkty se setkáváme v každodenním životě. Tvary a velikosti výrobků jsou velice rozmanité (obr. 1.1). Uplatnění nachází především v automobilovém a elektro-technickém průmyslu. Mezi výhody technologie plošného tváření patří vysoká produktivita, hospodárné využití materiálu, minimální požadavky na dokončovací operace, dobré mechanické vlastnosti a přesnost dílů. V oblasti výroby sériové až hromadné patří mezi nejefektivnější, a proto jí finální výrobci nahrazují vše, co je možné touto technologií vyrobit. Tvářením se vyrábějí i díly, které nelze vyrobit jinou technologií.

V současné době se technologie plošného tváření velice rychle vyvíjí, konstruktéři výlisků navrhují tvarově složitější díly a předepisují materiály o malé tloušťce a vysoké pevnosti, aby u konstrukcí dosáhli vyšší torzní tuhosti a přitom nízké hmotnosti. Tyto aspekty výrobu výlisků komplikují (větší opotřebení nástrojů, vyšší lisovací síla, větší odpružení, nestabilita výlisku, nedostatek zkušeností s podobnými díly). Ze strany zákazníků jsou kladeny zvýšené požadavky na jakost a na nízkou cenu za výlisky a lisovací nástroje. Proto jsou čím dál více uplatňovány moderní technologie:

- polotovary typu Tailored Blanks, Patchwork Blanks
- tažení vysokopevnostních ocelí, slitin hliníku a hořčíku za zvýšené teploty
- počítačová simulace tažení
- jsou zdokonalovány a vyvíjeny nové lisovací stroje
- tažení povrchově upravených plechů
- automatizace toku materiálu v lisovnách

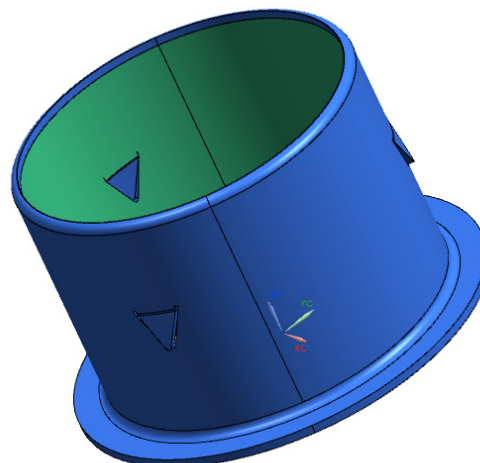


Obr. 1.1 Ukázka dílů vyrobených technologií tažení [25]

2. CHARAKTERISTIKA ZADANÉ SOUČÁSTI

V následujících částech diplomové práce se budu zabývat návrhem technologie výroby pro součást “Kroužek”. Díl má být vyráběn z materiálu 11305 v množství 250 000 ks/rok po dobu 6 let. Výkres dílu je přílohou práce (VUT-DP-00).

Kroužek slouží jako výztuha příruby plastové součásti – boxu pro sací filtr osobního automobilu. Kroužek je do plastové součásti zalisován. Tři trojúhelníková prostřižení slouží jako zajištění proti vytažení.



Obr. 2.1. Součást “Kroužek”

2.1 Materiál součásti

Díl bude vyráběn z oceli ČSN 11305 (ekvivalent W.Nr. 1.0338). Jde o ocel obvyklých jakostí k tváření za studena. Ocel je vhodná na velmi hluboké tažení, lakování a povlakování. Ocel je uklidněná, má tedy zvýšenou odolnost proti stárnutí. Po dobu šesti měsíců má ocel zaručené mechanické vlastnosti uvedené v materiálovém listu.

Použití: hutní průmysl (profily, svařované trubky), automobilový průmysl (výlisky), strojírenství (ložiska, radiátory), spotřební průmysl (galanterie).

Tabulka č. 3.1 Chemické složení oceli 11305

Chemické prvky	C	Mn	P	S	Al	Si
Obsah v %	max. 0,07	max. 0,40	max. 0,025	max. 0,035	min. 0,025	max. 0,03

Chemické prvky obsažené v oceli:

Hliník - tvoří stabilizační přísadu

Mangan - přítomnost manganu je u nízkouhlíkových ocelí nutná (pro vyvážení síry), i když zhoršuje mechanické vlastnosti pro tváření (zvyšuje tvrdost a pevnost, snižuje houževnatost), obsah by neměl být vyšší než 0,4%

Fosfor a síra - jde o nežádoucí prvky, jejich obsah by neměl překročit hodnotu 0,025%

Uhlík - je prvkem, který nejvíce ovlivňuje mechanické vlastnosti hlubokotažných ocelí válcovaných za studena. Obsah by neměl být vyšší než 0,07%

Křemík - zhoršuje plastické vlastnosti ocelí, obsah nesmí přesáhnout 0,03%

Mechanické vlastnosti:

- maximální mez kluzu $R_{p0,2} = 210 \text{ MPa}$
- pevnost v tahu $R_m = 290 - 360 \text{ MPa}$
- minimální tažnost $A_{80} = 36\%$
- maximální tvrdost 110 HB.

2.2 Zhodnocení výrobitelnosti

Výsledného tvaru součásti lze dosáhnout mnoha metodami. S přihlédnutím k počtu vyráběných kusů a materiálu, z jakého má být součást vyrobena, nelze reálně součást vyrábět jinak, než konvenčními nebo nekonvenčními technologiemi plošného tváření. Bez ohledu na konkrétní technologie výroby, vždy bude muset nejprve proběhnout výroba přístřihu, až poté přetvoření přístřihu v dutou součást. Přístřih je možné vyrobít technologií stříhání nebo řezání laserem, vodním paprskem, plasmou. Pro vysoký počet vyráběných dílců přichází v úvahu pouze technologie stříhání. K přetvoření přístřihu v dutou součást je nejvýhodnější využít technologie hlubokého tažení. Vzhledem k velikosti poloměru zaoblení u dna i u příruby je jisté, že nebude stačit jedna tažná operace. Po vytažení tvaru bude z důvodu materiálové anizotropie okraj příruby nekruhový, proto je nutné počítat s operací na zarovnání průměru příruby. Trojúhelníkové výstupky, kruhový otvor ve dně a tvar příruby lze produktivně vyrábět technologií stříhání. Pro výrobu dílu je tedy zapotřebí několik výrobních operací. I z tohoto důvodu jsou vybrané technologie výhodné, lze je totiž sdružovat, provádět na jednom pracovišti a snadno automatizovat, na rozdíl od technologií nekonvenčních. Vzhledem k množství vyráběných dílů bude vhodné výrobu co nejvíce automatizovat. Automatizace přispěje ke snížení nákladů, zvýšení produktivity výroby, zvýšení kvality výroby a snížení nebo odstranění vlivu lidského činitele.

Po prověření chemického složení a mechanických vlastností oceli, ji hodnotím jako vhodnou pro výrobu zadané součásti vybranými technologiemi.

Pro netolerované rozměry je na výkrese uvedena norma ISO 2768 – mK. Tolerované i netolerované rozměry jsou technologiemi stříhání a tažení výrobitelné. Na kvalitu povrchu nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky.

Operace musí proběhnout v následujícím sledu:

- I. vystřížení přístřihu
- II. vytažení tvaru
- III. kalibrace rádiusů
- IV. prostřížení trojúhelníkových otvorů, prostřížení otvorů ve dně, zarovnání příruby výtazku

3. LITERÁRNÍ STUDIE

3.1 Technologie stříhání [2], [13]

Stříhání je jednou z nejpoužívanějších technologií pro dělení materiálu a zpracování plechů. Působením dvěma protilehlými břity na materiál polotovaru dochází k porušení jeho soudržnosti - k oddělení.

Zařízení pro stříhání:

- univerzální ruční přípravky (zámečnické pákové nůžky, kotoučové nůžky)
- univerzální stroje (tabulové nůžky, kotoučové nůžky)
- stříhadla (jednoduchá, postupová, sloučená)
- CNC vysekávací lisy

Dříve bylo stříhání pomocí střížných nástrojů efektivní ve velkosériové výrobě. Při současném použití CNC vysekávacích lisů je hospodárné stříhání i v kusové výrobě. Díky velkému množství nástrojů upnutých v revolverové hlavě jsou vysekávací lisy schopny zhotovit výstřižky rozmanitých tvarů.

Podle provedení operace (zhotovení výstřižku) norma ČSN 22 6001 rozlišuje:

- prosté stříhání (dělení materiálu, např. pásů tyčí, nůžkami nebo stříhadlem)
- děrování (vystřihování děr různých tvarů)
- vystřihování (buď za použití stříhadla výstřižek různého tvaru zhotovujeme oddělením od materiálu po uzavřeném obrysu (vystřižená část tvoří výstřižek), nebo oddělování částí v okraji materiálu (vystřižená část tvoří odpad)
- ostřihování (oddělování přebytečného materiálu)
- přistřihování (slouží k dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch)
- nastřihování (částečné nastřihnutí materiálu tak, že není materiál úplně oddělen)
- prostřihování (částečné nastřihnutí materiálu v libovolném tvaru uvnitř výstřižku)
- protrhování (protržení materiálu pro vytvoření hrotů, děr a výstupků)

Podle konstrukce nožů (střížníků) se prosté stříhání dělí na stříhání:

- rovnoběžnými noži
- skloněnými noži
- kotoučovými noži
- noži na profily a tyče

Speciální způsoby stříhání:

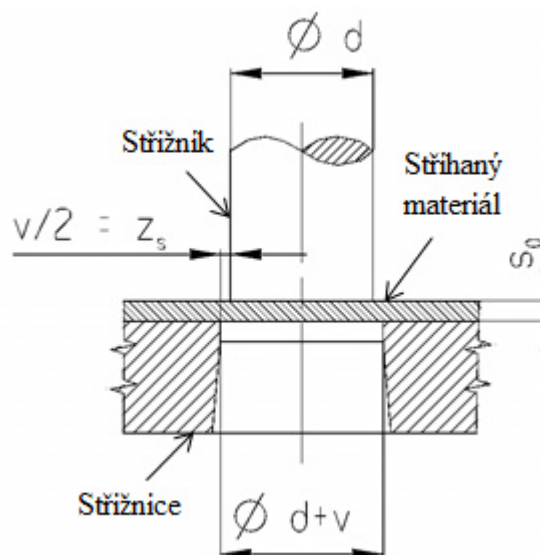
- stříhání nepevným nástrojem (stříhání pomocí pryže)
- stříhání se zvýšenou rychlostí
- magneticko-impulsní tváření
- elektro-hydraulické impulsní tváření

Varianty technologie přesného stříhání:

- s tlačnou hranou
- se zaoblenou střížnou hranou
- přistříhování
- se skoseným přidržovačem.

3.1.1 Teorie stříhání [1], [5], [8], [22]

Operace stříhání je zakončena porušením (lomem) v ohnisku deformace. Během stříhání dochází i k plastické deformaci, tu ale považujeme za nežádoucí. Relativním pohybem dvou břitů, vytvářející nutné smykové napětí, dochází k postupnému nebo současnému oddělení podél křivky stříhu. Průběh stříhání lze demonstrovat na příkladu prostříhování otvorů s uzavřenou křivkou stříhu (obr. 3.1). Proces stříhání můžeme rozdělit na tři základní fáze.

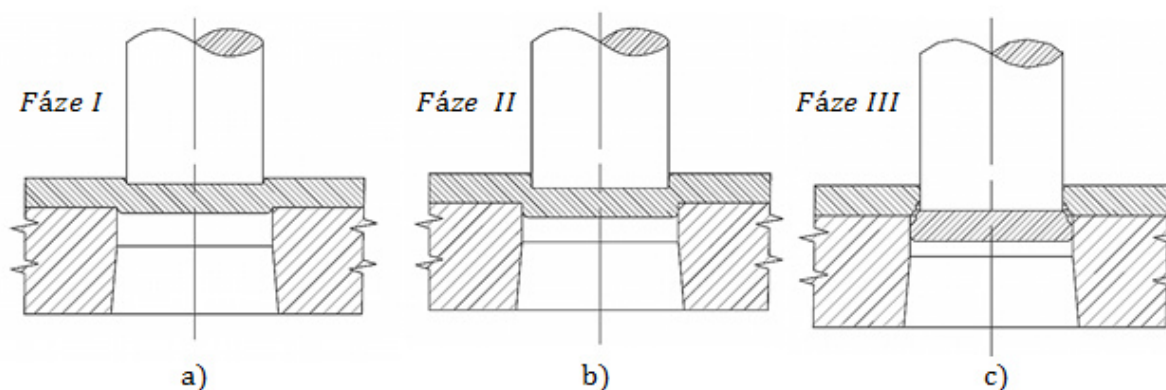


Obr.3.1 Schéma stříhání

V první fázi (obr. 3.2 a) po dosednutí střížníku na plech dochází k pružnému vnikání do materiálu. Stříhaný materiál je deformován ohybem. Hloubka vniknutí bývá 5-8% tloušťky materiálu, je závislá na mechanických vlastnostech materiálu.

Ve druhé fázi (obr. 3.2 b) je napětí větší než mez kluzu a dochází k plastické deformaci. Podle druhu kovu a jeho mechanických vlastností střížník proniká do 10-25% tloušťky materiálu.

Ve třetí fázi (obr. 3.2 c) napětí dosáhne meze pevnosti ve stříhu. Ve stříhaném materiálu se začínají tvořit trhlinky, tento proces je podporován tahovým normálovým napětím ve směru vláken. Rychlým šířením trhlinek dojde k oddělení materiálu. Hloubka vniknutí střížníku se pohybuje od 10% pro tvrdé křehké materiály až do 60% pro měkké houževnaté materiály. Velký vliv na okamžik vzniku a postup šíření trhlin má střížná vůle.



Obr. 3.2 Fáze stříhu

Vzhled střížené plochy můžeme rozdělit do jednotlivých pásem

Pásma zaoblení (obr. 3.3 I)

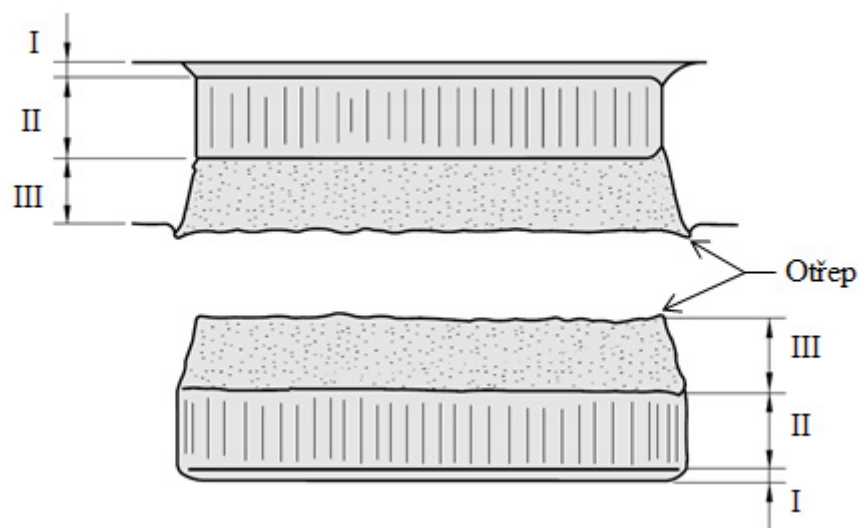
Zaoblení vzniká ve druhé fázi stříhu, kdy je materiál plasticky deformován - vtahován střížníkem do střížnice. Velikost zaoblení závisí na mechanických vlastnostech materiálu.

Pásma otěru (obr. 3.3 II)

Hladká, přesná a lesklá plocha. Šířka pásma je dána velikostí střížné vůle a mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu. Pohybuje se od 10% pro tvrdé křehké materiály až do 40% tloušťky pro měkké houževnaté materiály.

Pásma utržení (obr. 3.3 III)

V tomto pásmu dochází k lomu, tj. k oddělení vystřihnuté části. Plocha má matný povrch s vyšší drsností.

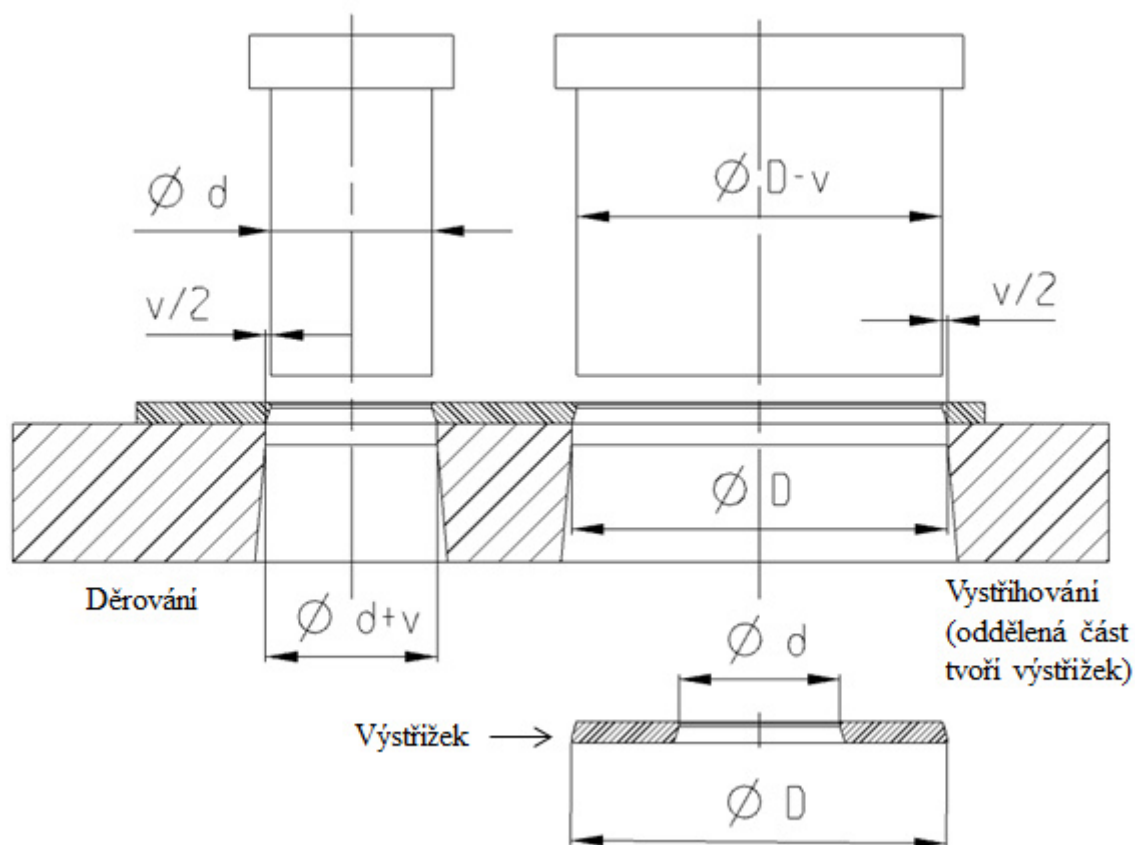


Obr. 3.3 Vzhled střížené plochy [22]

3.1.2 Střížná vůle [2], [10], [21], [22]

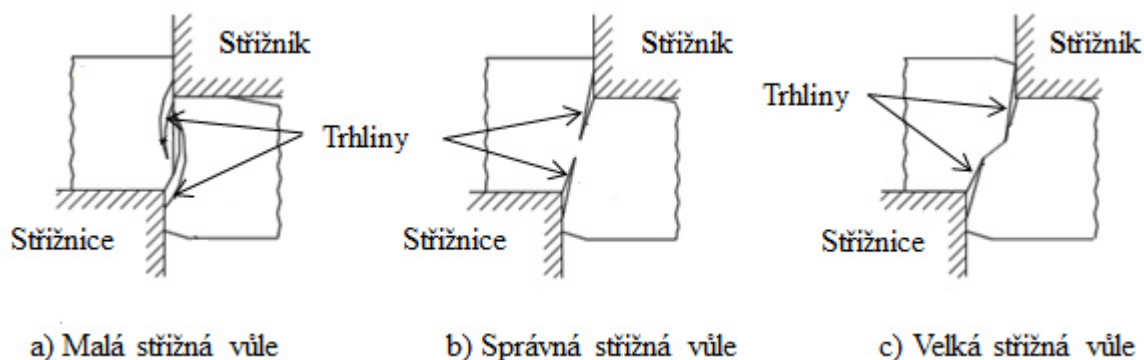
Střížná vůle (v) je dána rozdílem mezi rozměry střížníku a střížnice. Jednostranný rozdíl mezi střížníkem a střížnicí nazýváme střížnou mezerou (z_s). Velikost střížné mezery se pohybuje od 3 do 20% tloušťky stříhaného materiálu. Je závislá na druhu a tloušťce stříhaného materiálu. Správně zvolená velikost střížné vůle zaručuje požadovanou jakost střížených ploch, dlouhou trvanlivost nástroje, minimální otřep a nízkou střížnou sílu.

Střížná vůle se aplikuje na střížník nebo střížnici s ohledem na požadované rozměry výstřížku (obr. 3.4). Při stříhání přesného vnějšího obvodu výstřížku (kdy výstřížek je protlačen střížníkem skrz střížnici) se vytvoří střížná vůle zmenšováním rozměru střížníku. Při děrování otvorů vznikne střížná vůle zvětšením rozměru střížnice.

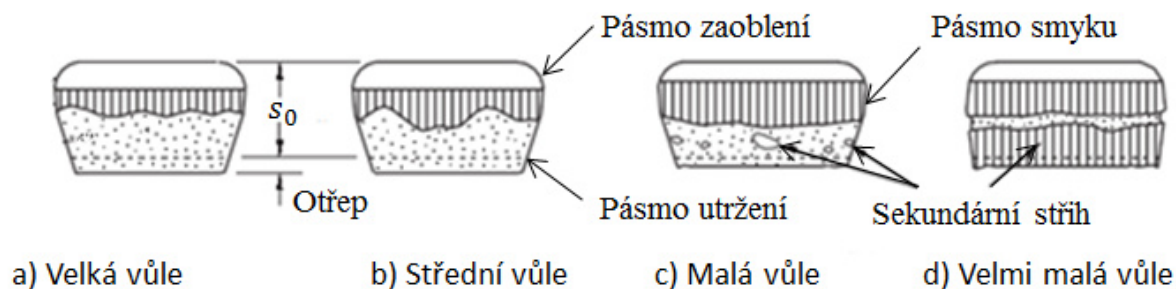


Obr. 3.4 Aplikace střížné vůle [10]

Při optimální střížné vůli se trhliny iniciované od střížných hran obou střížných prvků setkají (obr. 3.5 b). Při malé nebo velké střížné vůli se trhliny nesetkají (obr. 3.5 a, b) a vytvoří nerovný povrch v ploše stříhu. Při malé střížné vůli je materiál mezi střížnými hranami deformován a znovu stříhán. Na střížené ploše pak vzniknou ohlazené nebo sekundárně střížené prstence. Velká střížná vůle má za následek ohyb stříhané součásti a zvětšení pásma zaoblení.



Obr. 3.5 Rozdíl v šíření prasklin v závislosti na velikosti střížné vůle [22]



Obr. 3.6 Vliv velikosti střížné vůle na kvalitu střížené plochy a na velikost jednotlivých pásem [22]

Výpočet střížné mezery pro tloušťky plechu do 3 mm:

$$z_s = \frac{v}{2} = c_v \cdot s_0 \cdot \sqrt{\frac{\tau_{ps}}{10}} \quad [mm] \quad (3.1)$$

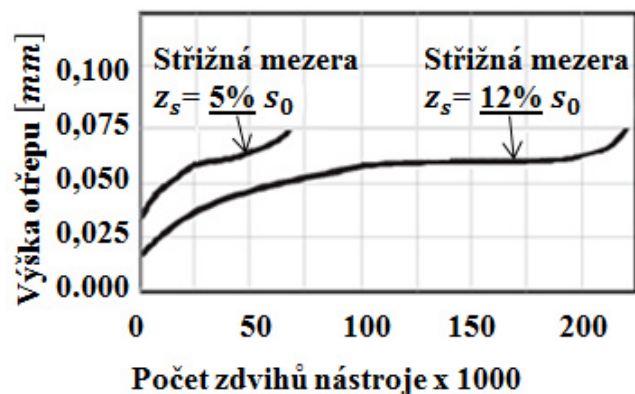
Výpočet střížné mezery pro tloušťky plechu nad 3 mm:

$$z_s = \frac{v}{2} = (1,5 \cdot c_v \cdot s_0 - 0,15) \cdot \sqrt{\frac{\tau_{ps}}{10}} \quad [mm] \quad (3.2)$$

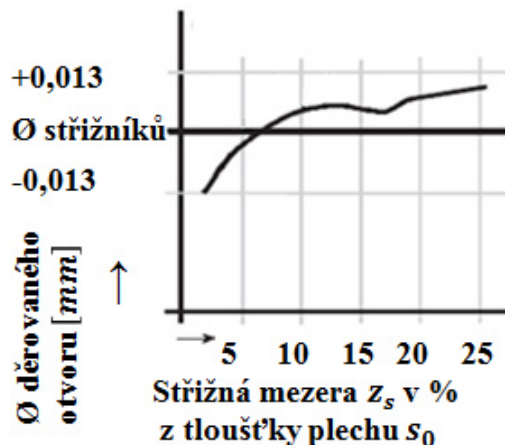
c_v – součinitel, jehož velikost se volí v rozmezí 0,005 – 0,035. Nižší hodnoty volíme, chceme-li získat lepší střížnou plochu, vyšší hodnoty součinitele umožní dosáhnout minimální střížné síly.

Střížná vůle má vliv na:

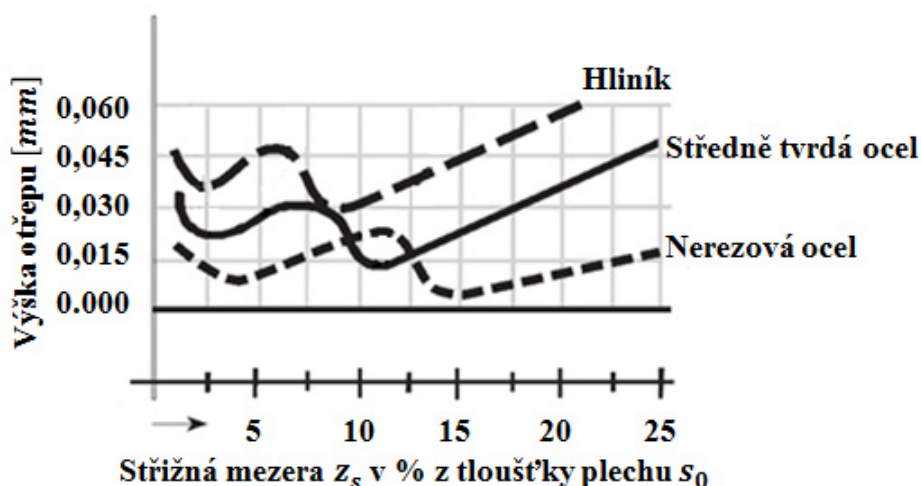
- velikost střížné síly (se zmenšováním střížné mezery se zvětšuje střížná práce až o 40%)
- velikost stírací síly
- kvalitu střížených ploch (velikost jednotlivých pásem)
- trvanlivost bříty střížníku a střížnice (obr 3.7)
- velikost otřepu (obr. 3.9)
- rozměry výstřížku (obr 3.8).



Obr. 3.7 Vliv střížné vůle na trvanlivost břitů nástroje (graf pro středně tvrdou ocel, tloušťka materiálu $s_0 = 1$ mm) [21]



Obr. 3.8 Vliv velikosti střížné vůle na $\varnothing$ děrovaného otvoru (graf pro tvrdou ocel, tloušťka materiálu $s_0 = 0,5$ mm)



Obr. 3.9 Vliv velikosti střížné vůle na výšku otřepu [21]

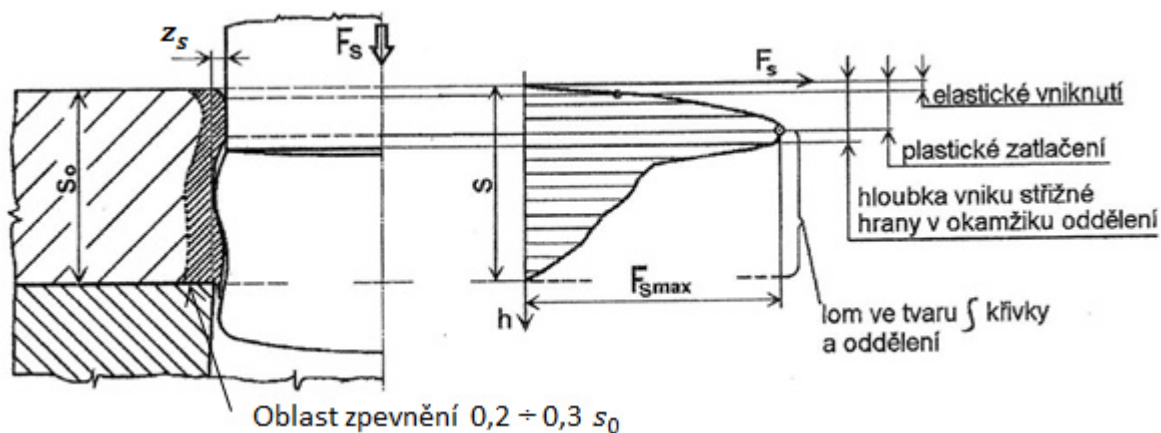
3.1.3 Síly a práce při stříhání na stříhadlech [1] [2] [3] [5] [10] [13]

Znalost velikosti střížné síly je důležitá pro volbu stroje a konstrukci nástroje. Střížná síla potřebná k oddělení materiálu, je úměrná stříhané ploše a pevnosti ve stříhu stříhaného materiálu. Závisí také na velikosti střížné vůle a otupení hran nástroje. Ke snížení střížné síly a rázu (v případě rozměrných součástí) se používají různé úpravy střížných hran, většinou jde o zešíkmení pod určitým úhlem.

Faktory ovlivňující velikost střížné síly:

- velikost střížné vůle
- ostrost střížných hran
- mechanické vlastnosti stříhaného materiálu (mez pevnosti ve stříhu)
- délka střížné hrany.

Střížná síla prudce roste při elastickém vnikání břitů a dále vlivem deformačního zpevnění roste při plastickém vniknutí. Průběh síly nabývá svého maxima při vzniku prvních trhlinek, dále už střížná síla klesá, nejprve zvolna do úplného porušení, potom klesá prudce. Otupení střížných hran během provozu stříhadla má za následek zvětšení střížné síly.



Obr. 3.10 Charakteristický průběh střížného procesu [5]

Střížná síla

$$F_s = \tau_{ps} \cdot S_s \cdot k = \tau_{ps} \cdot l \cdot s_0 \cdot k \quad [N] \quad (3.3)$$

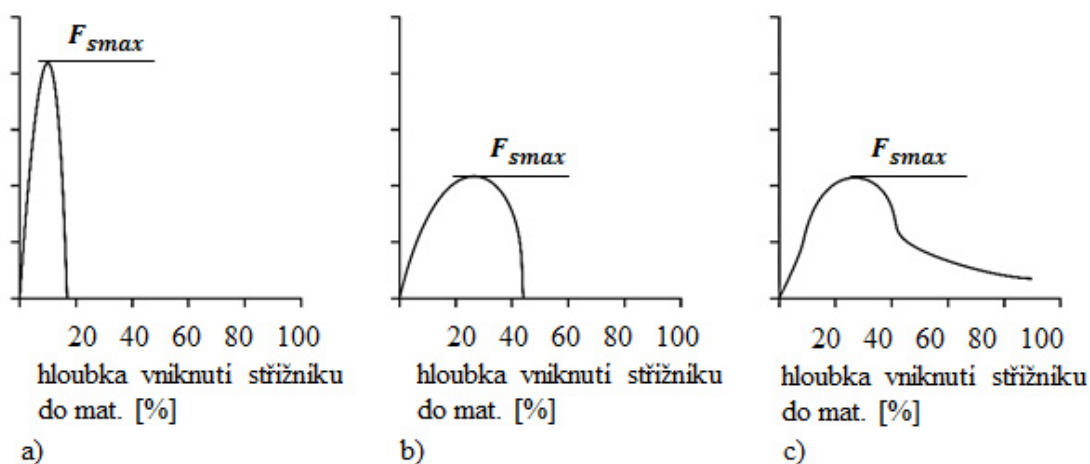
$$\text{kde: } \tau_{ps} = R_m \cdot 0,8 \quad [N] \quad (3.4)$$

R_m – mez pevnosti materiálu [MPa]

l – délka střížné hrany [mm]

S_s – střížná plocha [mm²]

k – koeficient otupení střížných hran 1,15 - 1,5



a) materiál s malou tažností, b) materiál s velkou tažností, velká vůle v nástroji, c) materiál s velkou tažností, malá vůle v nástroji

Obr. 3.11 průběh střížné síly v závislosti na tažnosti materiálu a velikosti střížné vůle [3]

Je důležité si uvědomit, že mimo střížnou sílu dochází při střížném procesu ke vzniku dalších sil.

Síla potřebná k protlačení výstřížku (odpadu) F_{Pr} se určuje jako poměrná část střížné síly F_S :

$$F_{Pr} = (0,02 \text{ až } 0,05) \cdot F_S \cdot n_v \quad (3.5)$$

kde: n_v – počet výstřížků (odpadů) ve střížnici

0,02 až 0,05 - koeficient závislý na druhu stříhaného materiálu a velikosti střížné vůle

Při vyjíždění střížníku z materiálu působí na boční stěny střížníku svěrná síla od prostříhaného materiálu. To je způsobeno pružností stříhaného materiálu. Svěrná síla vyvolává třecí sílu, kterou musí překonat **stírací síla**. Výpočet této síly je důležitý pro správnou konstrukci nástroje, pro správné navržení stírací desky, síly pružin stírací desky a ukotvení střížníků.

Velikost stírací síly je závislá na:

- druhu a tloušťce stříhaného materiálu
- velikosti střížné vůle
- tvaru stříhané součásti
- kvalitě ploch střížníku
- mazivu.

Výpočet stírací síly

$$F_{st} = c_{st} \cdot F_S \quad [N] \quad (3.6)$$

c_{st} – součinitel, jehož hodnota je závislá na tloušťce materiálu

$c_{st} = 0,02 \text{ až } 0,02$ pro $s_0 < 1\text{mm}$

$c_{st} = 0,06 \text{ až } 0,16$ pro $1 \leq s_0 \leq 5\text{mm}$

$c_{st} = 0,08 \text{ až } 0,20$ pro $s_0 > 5\text{mm}$

Vyšší hodnoty součinitele c_{st} se volí v případech, kdy se stříhá více střížníky současně.

Střížná práce

Střížná práce nutná pro vystřížení součásti z materiálu je přímo úměrná střížné síle a hloubce vtlačení střížníku do materiálu.

Výpočet střížné práce:

$$A_S = F_S \cdot s_0 \cdot c_A \quad [J] \quad (3.7)$$

kde: c_A – koeficient hloubky vtlačení, závislý na druhu a tloušťce materiálu

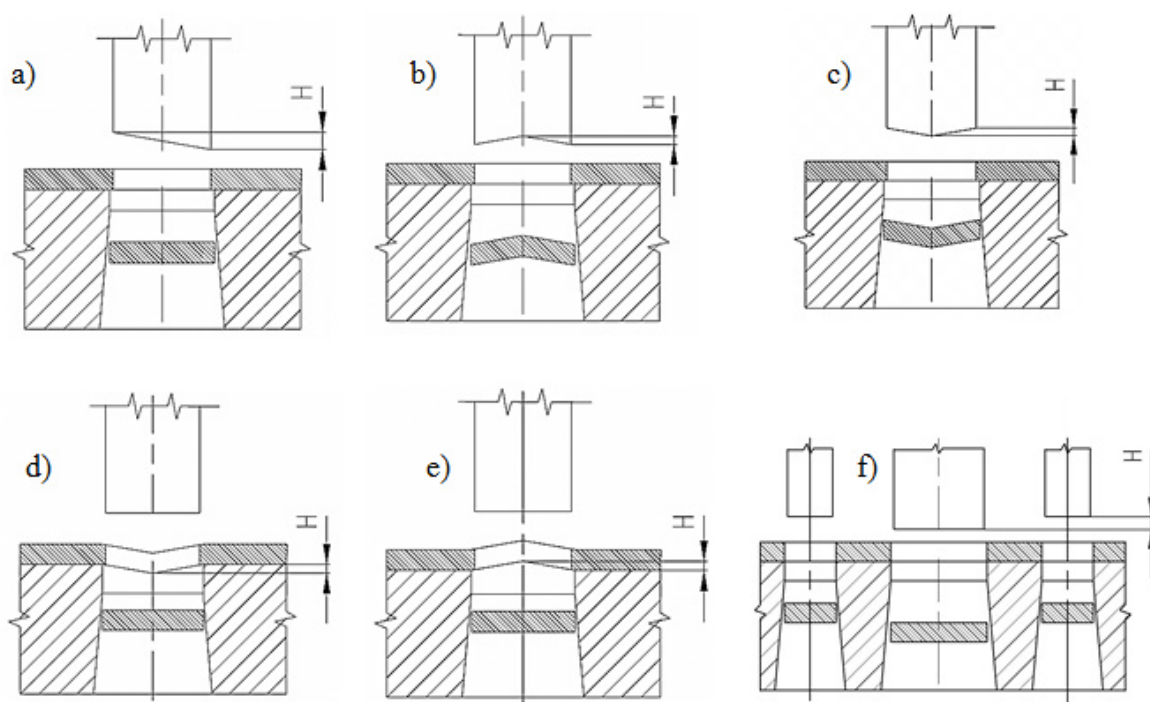
3.1.4 Úprava střížných hran pro snížení střížné síly [10]

Pro snížení střížné síly se používají různé úpravy (obr. 3.12) střížníků nebo střížnic, většinou jde o zešíkvení pod úhlem $5^\circ - 8^\circ$ nebo výškové odstupňování střížníku. Úpravami lze snížit střížnou sílu o 30 – 40%. Síla pak působí rovnoměrněji na delší dráze, čímž se dosahuje snížení hlučnosti nástroje a klidnějšího provozu bez velkých rázů. Velké rázy mohou způsobit rychlejší otupení nástroje a také zvlnění materiálu.

Zkosený střížník se používá při děrování – ohnutý odpad, zkosená střížnice se používá při vystřihování – výstřížek zůstane rovný. Tyto úpravy nejsou vhodné při stříhání složitějších tvarů.

Zkosený střížník se používá při děrování – ohnutý odpad (obr. 3.12 a, b, c). Zkosená střížnice se používá při vystřihování – výstřížek zůstane rovný (obr. 3.12 d, e). U jednostranně zkoseného střížníku (obr. 3.12 a) se výškový rozdíl H se volí od $0,6 \cdot s_0$ (tvrdé křehké materiály) do $0,9 \cdot s_0$ (tvárné materiály). Úhel úkosu by neměl být větší než 5° , aby nedošlo k poškození střížných hran funkčních elementů vyhnutím střížníku z osy. Oboustranným zkosením střížníku lze vyhnutí střížníku předejít (obr. 3.12 a, b).

Pro děrování nebo vystřihování střížníky menších průřezů na jeden zdvih lisu se používají odstupňované střížníky (obr. 3.12 f). U tohoto typu se výškový rozdíl H se volí od 0,3 do $0,4 \cdot s_0$.



Obr. 3.12 Úpravy střížných hran pro snížení střížné síly [10]

3.1.5 Nástřihový plán [11], [10], [18], [23]

Nástřihem se rozumí vhodné rozmístění výstřižků na výchozí polotovar, tj. pásy nebo tabule plechu. Nástřih obsahuje i informaci o sledu jednotlivých operací a rozměrech polotovaru (tj. šířka, tloušťka materiálu, krok, rozměry můstků mezi jednotlivými výstřižky, šířku postranních odpadů). Velikosti můstku (vzdálenost mezi jednotlivými výlisky) a postranních odpadů se určují podle tabulek (případně grafů) s doporučenými hodnotami pro dané rozměry, tvar a tloušťku výstřižku (viz příloha 1). Tyto rozměry byly stanoveny na základě empirických zkušeností. Na jejich správné volbě závisí kvalita výstřižku.

Protože náklady na materiál představují 80 - 90% celkových nákladů, je důležité, aby odpad byl co nejmenší. Náklady na materiál jsou k celkovým výrobním nákladům na výlisek tím větší, čím je větší počet vyráběných výlisků. Nejehospodárnější je výchozí materiál ve tvaru svitku.

Uspořádání a orientace výlisků na páse jsou dány:

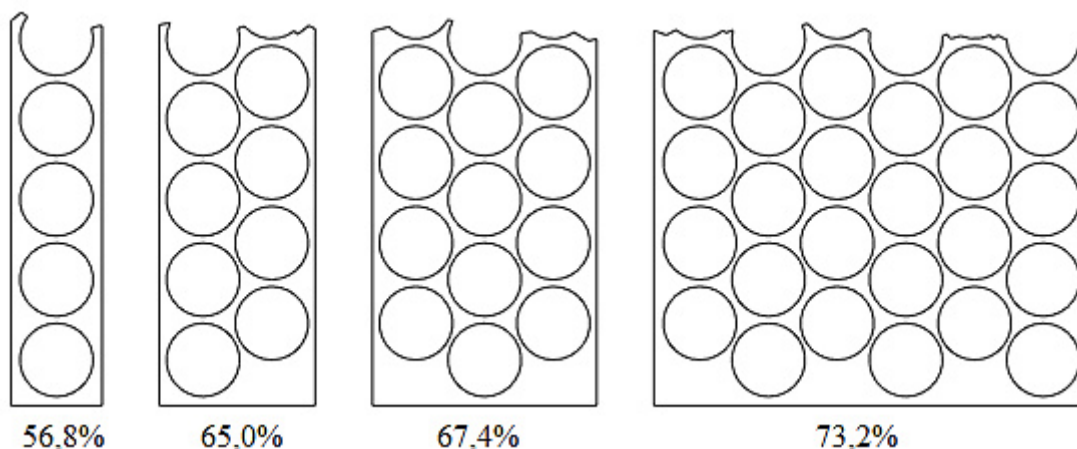
- tvarem a rozměry výstřižku (např. šířka výchozího pásu nezávisí jen na rozměrech součásti, ale i na umístění a natočení výstřižku vzhledem k ose pásu; při stejné spotřebě materiálu je lepší dát přednost nástřihu, u něž je kratší krok než šíře pásu)
- směrem vláken materiálu (zejména u výstřižků je nutné přihlédnout k tomu, aby ohyb byl buď kolmý, nebo alespoň svíral se směrem vláken úhel cca 45°)
- způsobem podávání
- počtem vyráběných kusů (v případě malého počtu kusů se používá nejčastěji jednořadé uspořádání, v případě velkého množství se používá dvou a více řádkové uspořádání).

Výpočet využití materiálu:

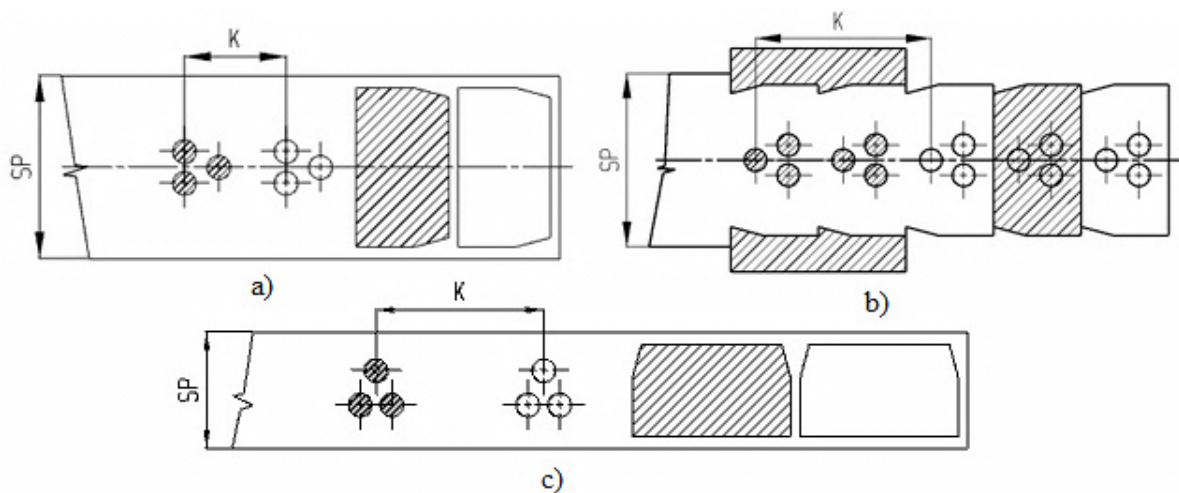
$$X = \frac{\sum S_m}{S_c} \cdot 100 [\%] \quad (3.8)$$

kde: $\sum S_m$ – součet obsahů ploch všech výstřižků [mm²]

S_c – celková plocha spotřebovaného materiálu [mm²]



Obr. 3.13 Využití materiálu při jednonásobném a vícenásobném uspořádání výstřižků v nástřihovém plánu. [10]



Obr. 3.14 Různé varianty nástřihového plánu pro stejný díl. Využití pásu a) $X = 70\%$, b) $X = 77\%$, na jeden zdvih jsou vystřiženy dva díly, c) $X = 66,8\%$

3.1.6 Přesnost výstřižků a kvalita střížné plochy [3], [13], [23]

Přesnost výstřižku a kvalita střížné plochy závisí na:

- přesnosti zhotovení střížníku a střížnice
- konstrukci nástroje
- mechanických vlastnostech stříhaného materiálu (rostoucí tvrdost zhoršuje jakost povrchu střížené plochy)
- kvalitě a geometrii střížných hran
- velikosti a rovnoměrnosti střížné vůle
- pružné deformaci při stříhání
- tloušťce stříhaného materiálu.

Při stříhání výstřižků do tloušťky 4 mm o rozměrech do 200 mm se dosahuje přesnosti IT12 až IT15. V nástroji vybaveném vodícími stojánky a přidržováním lze vyrábět v toleranci IT9 až IT11. Speciálními nástroji pro přesné stříhání lze dosáhnout přesnosti IT6 až IT8.

Jakost povrchu závisí na:

- konstrukci a stavu stříhadel
- velikosti střížné vůle
- materiálu
- rychlosti stříhání
- tloušťce stříhaného materiálu.

Běžným stříháním u plechů do $s_0 = 1$ mm se dosahuje drsnosti střížené plochy $R_a = 0,4$ až $0,8$. Pro plechy o tloušťce $s_0 = 1-3$ mm dosahujeme $R_a = 1,6 - 3,2$. Nad $s_0 = 3$ mm je drsnost $R_a = 6,3$. Se zvyšující se tvrdostí stříhaného materiálu se drsnost zvětšuje. Metodami přesného stříhání a děrováním lze dosáhnout $R_a = 0,2$.

Běžným stříháním nelze dosáhnout kolmosti střižené plochy. V případě požadavku kolmosti je nutné zvolit metodu přesného stříhání. Rovinnosti výstřižku se vlivem ohybového momentu těžko dosahuje.

3.1.7 Střižné nástroje (stříhadla) [3], [13], [21]

Zásady konstrukce nástrojů:

- a) Zásady technické, které zaručují, že nástroj vyhovuje funkci, pro kterou je určen. To znamená, že vyrobí dostatečný počet dílů v náležité kvalitě a přesnosti. Mimo to splňuje podmínku snadné vyrobitelnosti, jednoduché montáže a vyměnitelnosti při dostatečné kvalitě a trvanlivosti všech dílů nástroje.
- b) Zásady ekonomické, tj. maximální využití používaných materiálů a minimální spotřeba energie při výrobě. Pořizovací cena výrobního stroje a nástroje má být co nejmenší, výrobní náklady malé a produktivita práce vysoká.

Konstrukční řešení střižných nástrojů

Střižný nástroj bez vedení – používá se pro výrobu malých a středně velkých, spíše jednoduchých dílů, vyráběných v malé sérii. Vzájemná poloha střižníku a střižnice je závislá na přesnosti vedení beranu lisu. U nekrhového výstřižku je potřeba zajistit správnou orientaci střižníku proti střižnici. Pro zajištění je například možné použít vodící příložky, které se upevňují na střižnici. U těchto nástrojů je nutné zvolit vhodný způsob stírání prostřiženého pásu ze střižníku.

Střižný nástroj s vedením – vedení střižníku proti střižnici zajišťuje vodící deska nebo vodící sloupky s pouzdry (vedení kluzné nebo valivé). Vodící deska zde současně stírá materiál ze střižníku při otvírání nástroje. Vodící deska může být pevně spojena se spodní částí nástroje nebo může být odpružená. Výhodou koncepce nástrojů s odpruženou vodící deskou je, že materiál je během stříhání a stírání stisknut mezi střižnou a vodící deskou. Tím je zabráněno nežádoucím deformacím pásu. Odpružená vodící deska je použitelná až do 1000 zdvihů za minutu.

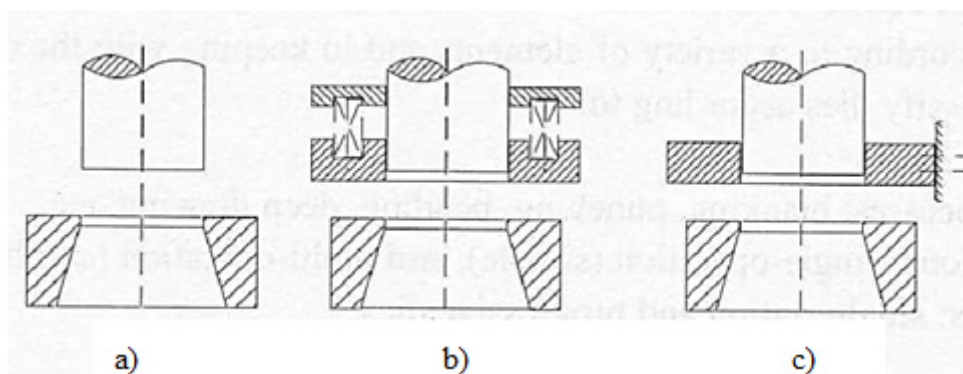
Postupová stříhadla – finálního tvaru výrobku je dosaženo v několika po sobě jdoucích krocích. Ve větší míře nacházejí uplatnění ve velkosériové a hromadné výrobě. Postupová stříhadla bývají vybavena doplňkovými zařízeními, která zajišťují velikost kroku.

Podle způsobu krokování mohou být rozděleny na stříhadla:

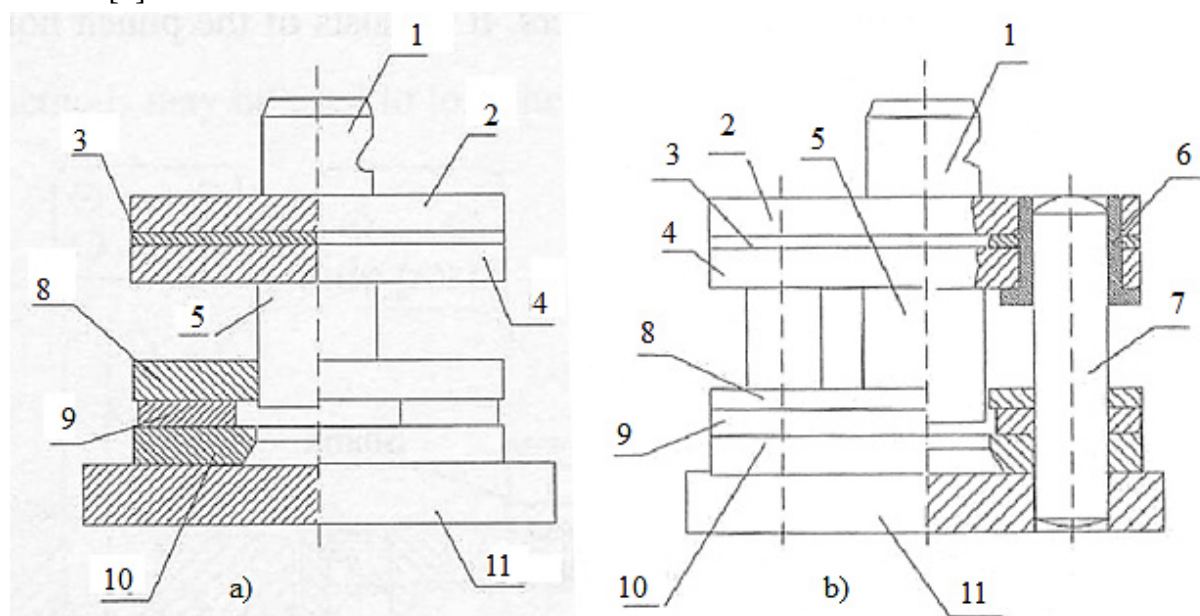
- s pevným dorazem
- s jedním odstřihovačem
- se dvěma odstřihovači

Sloučené nástroje – díl se děruje a současně vystřihuje bez posouvání pásu na jeden zdvih. Jejich nevýhodou je složitá a drahá výroba, proto se vyplácí jen ve velkosériové výrobě.

Díly vyrobené těmito nástroji jsou velmi přesné a snadno se u nich dosáhne přesná poloha děr vůči obrysu.



Obr. 3.15 Schémata stříhadla a) bez vedení, b) s odpruženou vodící deskou, s pevnou vodící deskou [1]



1 – upínací stopka, 2 - upínací deska, 3 - opěrná deska, 4 – kotevní deska, 5- střížník, 6 – vodící pouzdro, 7- vodící sloupek 8 – vodící deska, 9 – vodící lišta, 10 – střížná deska, 11- základová deska

Obr. 3.16 Stříhadlo a) vedené vodící deskou, b) vedené vodící deskou a vodícími sloupky [1]

3.1.8 Funkční části stříhadel [3]

Tvar a rozměry funkčních částí stříhadel, tedy střížníku a střížnice jsou dány tvarem stříhaného dílu. Poloha a uspořádání otvorů ve střížnici jsou dány nástřihovým plánem.

Konstrukční řešení funkčních částí stříhadel ovlivňuje:

- počet stříhaných kusů
- druh zpracovávaného materiálu
- druh použitého stroje.

Rozměrová přesnost funkčních částí běžných nástrojů se stanovuje podle velikosti dílů a velikosti střížné vůle. Obvykle se volí stupeň přesnosti od IT6 do IT8. U nástrojů pro přesné výstřižky musí být přesnost funkčních dílů až IT4. Drsnost povrchu funkčních částí se pro plech do tloušťky do 1 mm doporučuje Ra 0,4 až 0,8 a pro materiály o větších tloušťkách Ra 1,6 až 3,2.

3.1.8.1 Střížníky [13], [14], [22]

Střížníky jsou funkční částí stříhadel. U střížných nástrojů se lze setkat se střížníky různých konstrukcí. Všechny by však měly splňovat základní předpoklady. Jsou to:

- odolnost proti namáhání na tlak, vzpěr a otěr
- kolmé upevnění
- odolnost proti bočním a stíracím silám.

Skutečné namáhání střížníku na tlak (σ_D):

$$\sigma_D = \frac{F}{S} \leq \sigma_{Ddov} \quad [MPa] \quad (3.9)$$

kde F_s - je střížná síla střížníku [N]
 S - plocha průřezu střížníku [mm²]
 σ_{Ddo} - dovolené namáhání v tlaku [MPa]

Tenké dlouhé střížníky mohou vybočit z osy, proto je nutné provést kontrolu vzpěrné tuhosti. Tuhost tenkých střížníků se zvyšuje osazením nebo vložením do pouzdra. Kritická délka l_k střížníku se vypočítá podle vztahu:

$$l_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_s}} \quad [mm] \quad \text{pro nevedený střížník} \quad (3.10)$$

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_s}} \quad [mm] \quad \text{pro střížník vedený ve vodící desce} \quad (3.11)$$

kde: E - modul pružnosti v tahu [MPa]
 I - moment setrvačnosti průřezů [mm⁴]
 k_b - koeficient bezpečnosti (1.5 - 2)
 F_s - střížná síla [N]

Střížníky mohou být nevedené nebo vedené. Uchycení střížníků v kotevní desce je velmi různorodé a je závislé na druhu stříhaného materiálu, složitosti tvaru, na konstrukci, na způsobu výroby a zvyklostech podniku. Ukotvení musí odolat stírací. Stírací síla dosahuje maximálně 20 % střížné síly. Způsoby ukotvení střížníku jsou znázorněny na obr. 3.18 a 3.19.

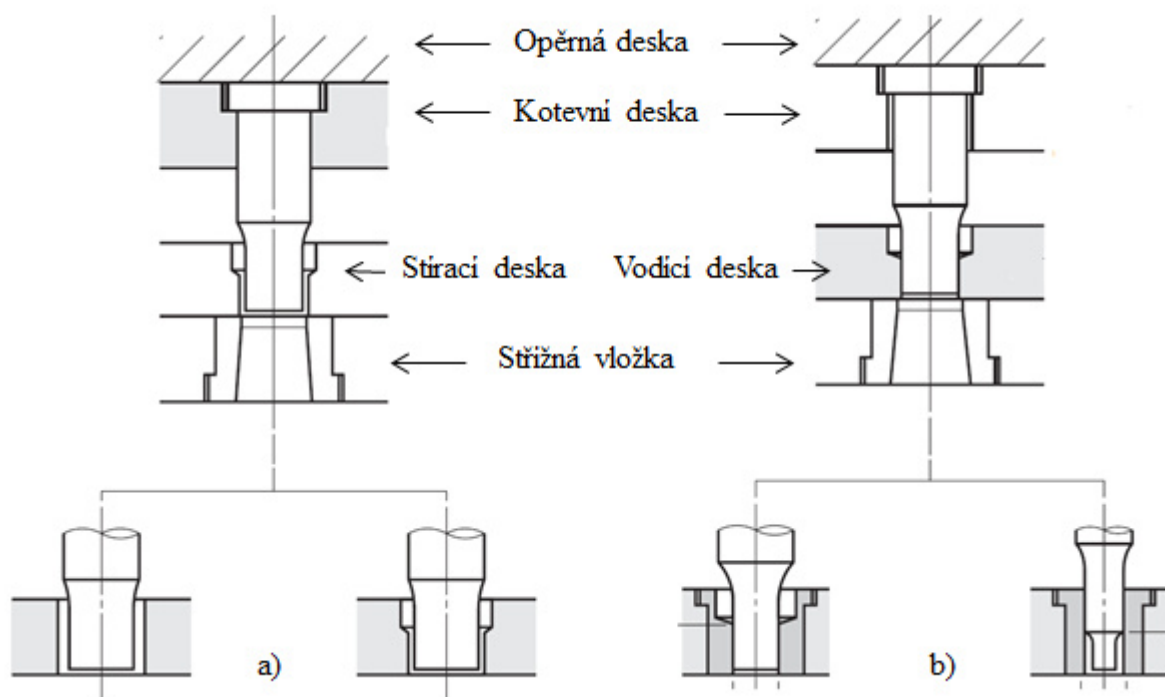
Malé střížníky jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu, větší střížníky je možné vyrobit ze dvou částí - nosnou část z konstrukční oceli a funkční část z nástrojové oceli. Obě části se spojují šrouby a zajistí se jejich vzájemná poloha.

Vedený střižník (3.17 b)

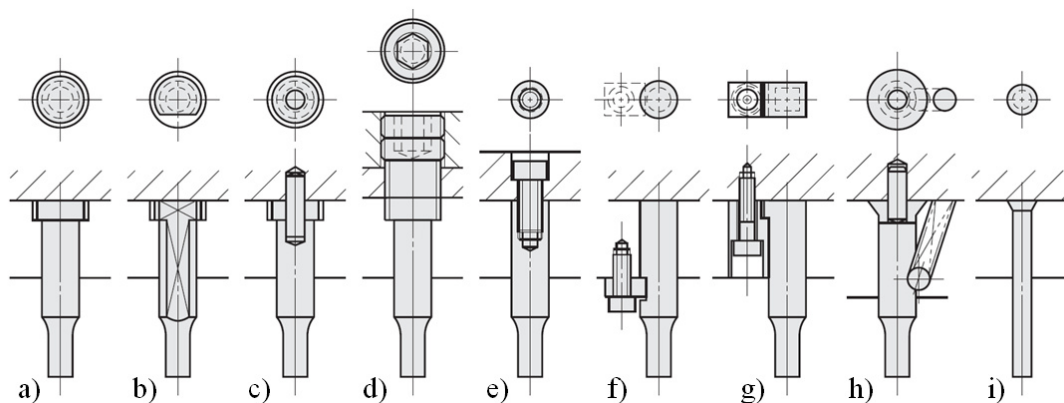
Střižník je v kotevní desce uložen s malou vůlí. Ve vodící desce je uložení suvné H6/h6. Používá se pro nástroje s malou střižnou vůlí, tenké střižníky a přesné výstřižky. Tento způsob je dražší, ale zaručuje stejnoměrnou vůli mezi střižníkem a střižnicí. Vedení zaručuje, že se střižník nemůže při nestejnoměrném zatížení vyhnout z osy, nehrozí tedy poškození střižných hran.

Nevedený střižník (3.17 a)

Střižník je v kotevní desce uložen s přesahem H6/m6 a ve stírací desce s vůlí. Tento způsob je vhodný pro nástroje pracující s velkými střižnými vůlemi, pro střižníky větších průřezů a výstřižky s nižšími nároky na přesnost. Nevedené střižníky se používají od děrovacího poměru $s_0/d > 0,7$ a pro délky střižníků $l/d < 4$.

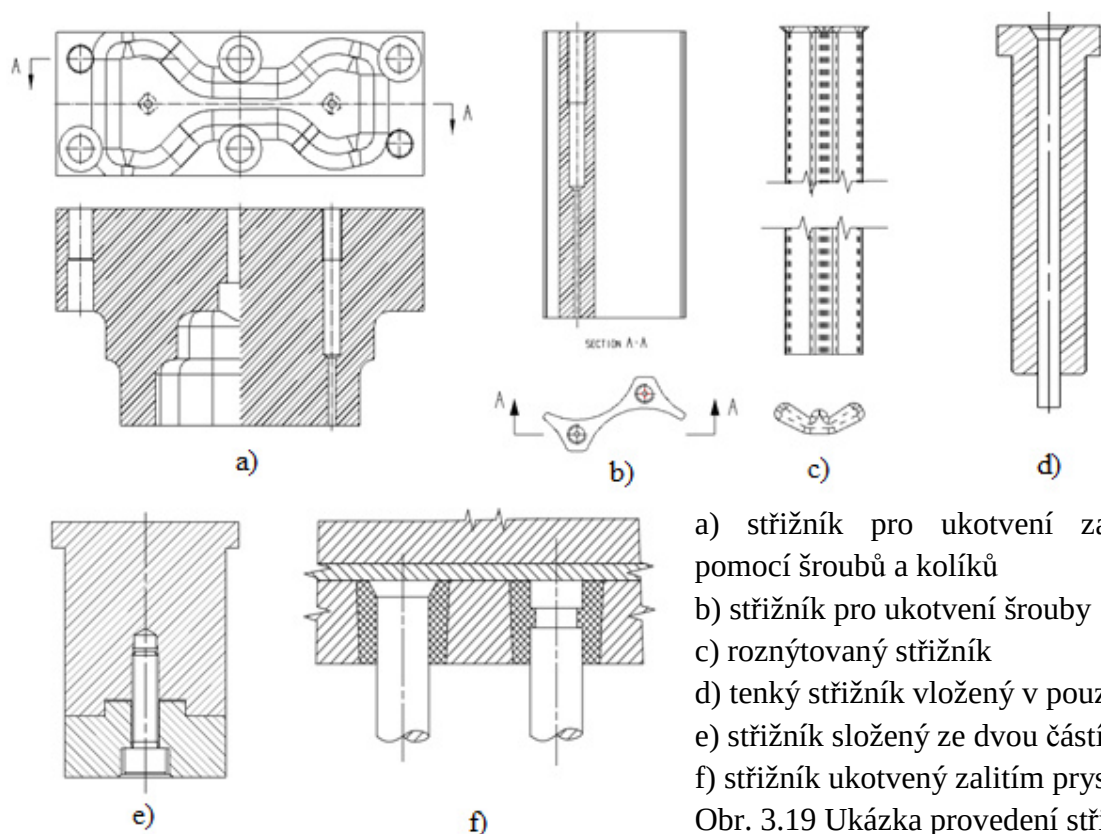


Obr. 3.17 a) nevedený střižník, b) vedený střižník



- a) válcová hlava
- b) válcová hlava s aretační ploškou (nekruhové střížníky)
- c) poloha střížníku zajištěna přes kolík
- d) střížník s válcovou hlavou vyměnitelný bez rozebrání nástroje
- e) střížník ukotvený pomocí šroubu (nevhodný způsob pro tenké střížníky a větší tloušťky plechu)
- f) ukotvení střížníku příložkou za drážku ve střížníku (možnost výměny střížníku v nástroji upnutém na lise)
- g) ukotvení střížníku za osazení upínkou (možno použít, i když je malá vzdálenost mezi kotevní a strhovací deskou)
- h) ukotvení pomocí speciálního držáku s kuličkou (pro menší stírací síly, možnost výměny střížníku v nástroji upnutém na lise)
- i) kuželová hlava (požívá se pro malé průměry střížníků)

Obr. 3.18 Varianty ukotvení normalizovaných střížníků:



- a) střížník pro ukotvení za přírubu pomocí šroubů a kolíků
- b) střížník pro ukotvení šrouby
- c) roznýtovaný střížník
- d) tenký střížník vložený v pouzdru
- e) střížník složený ze dvou částí
- f) střížník ukotvený zalitím pryskyřicí

Obr. 3.19 Ukázka provedení střížníků

3.1.8.2 Střížnice [13], [14], [15], [22]

Střížnice je funkční částí stříhadla, která může být upevněna přímo k základové desce nebo je mezi střížnicí a základovou deskou vložen opěrný plech. Střížná hrana střížnice může být na kuželové nebo válcové ploše. Podle složitosti výstřížku, jeho rozměrů a počtu vyráběných kusů se střížnice konstruuji jako:

- monolitní (tj. z jednoho kusu)
- dělené (skládané)
- vložkované

Určujícím kritériem pro zvolení vhodné konstrukce střížnic je velikost a složitost tvaru výstřížku, velikost série, druh nástroje, druh stříhaného materiálu aj.

Kontrola tloušťky střížnice na ohyb. Odhad tloušťky střížnice z velikosti střížné síly podle Oehlera:

$$H_s = \sqrt[3]{F_s} \quad [mm] \quad (3.12)$$

Tloušťka střížnice vypočítaná s přihlédnutím k dovolenému napětí v ohybu

$$H_s = \sqrt{\frac{1,5 \cdot F_s}{\sigma_{dov}}} \quad [mm] \quad (3.13)$$

kde: σ_{dov} – dovolené napětí v ohybu pro ocel 300 až 400 MPa

Vložkované střížnice (obr. 3.20 a-i)

Tyto střížnice nacházejí uplatnění u rozměrných složitých nástrojů. Používají se hlavně v sériové a hromadné výrobě. Využívají se především z důvodu úspory nástrojového materiálu, zvýšení životnosti nástroje a zjednodušení údržby. Vložky lze snadno vyměnit. Lze tedy rychle a levně řešit výměnu nebo opravu v případě jejího poškození. U střížnic vložkovaných se střížná deska vyrobí z konstrukční oceli a jednotlivé vložky jsou do ní vsazeny.

Dělené střížnice (obr. 3.20 j)

Používají se, jestliže požadovaný tvar součásti je složitý. Jejich výroba je snadnější, protože se skládají z několika menších dílců jednoduššího tvaru. Jsou vhodné pro použití v sériové a hromadné výrobě. Vyšší náklady na zhotovení jsou vyváženy vyšší životností, menší zmetkovostí při výrobě a levnější údržbou. Části dělených střížnic jsou zalisovány do měkké, nekalené ocelové desky. Větší části bývají většinou přišroubovány a přikolíkované.

Monolitní střižnice (obr. 3.20 k)

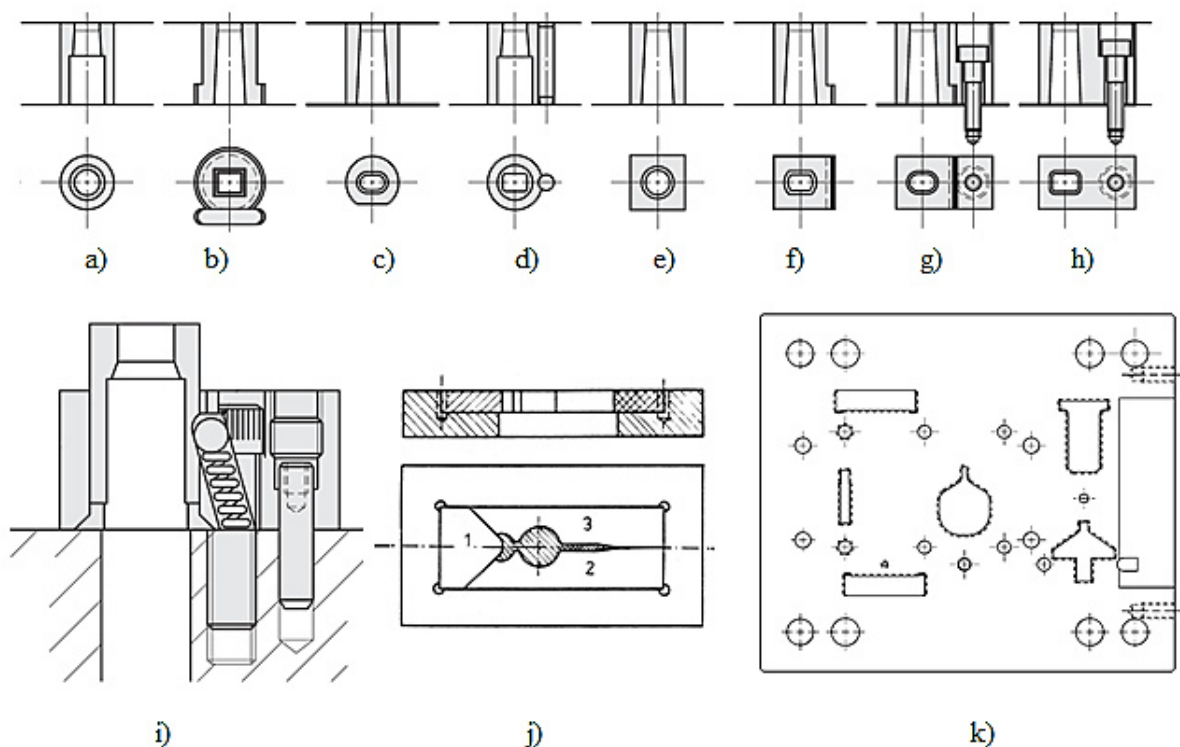
Monolitní střižnice se používají v případě menších výstřižků a jejich upevnění k základové desce se realizuje různými způsoby:

- středícími elementy a šrouby přímo na základovou desku
- zalisováním do ocelového rámu
- zapuštěním do základové desky a upevněním šrouby, klíny atd.

Střižnice nesmí být nikde extrémně zeslabena, aby se zamezilo možnému ovlivnění sousedních otvorů při stříhání a vzniku velkého prnutí a prasklin při tepelném zpracování.

Tab. 3.1 Tvary funkčních otvorů střižnic a rozsah jejich použití [14]

Tvar střižnice		Použití
Kuželová s válcovou fazetkou	Díly s komplikovaným obvodem a vysokými požadavky na přesnost. Fazetka: $h_f = 3 \div 5 \text{ mm}$ při $s_0 = 0,5 \text{ mm}$ $h_f = 5 \div 10 \text{ mm}$ při $s_0 = 0,5 - 5 \text{ mm}$ $h_f = 10 \div 15 \text{ mm}$ $s_0 = 5 - 10 \text{ mm}$ $\angle = 3 \div 5^\circ$	
Kuželová	Malé díly se střední přesností. Úkos: $\angle = 10 \div 15'$ $s_0 = 0,1 \div 0,5 \text{ mm}$ $\angle = 15 \div 20'$ $s_0 = 0,5 \div 1,0 \text{ mm}$ $\angle = 20 \div 30'$ $s_0 = 1 \div 2 \text{ mm}$ $\angle = 30 \div 45'$ $s_0 = 2 \div 4 \text{ mm}$ $\angle = 45' \div 1^\circ$ $s_0 = 4 \div 6 \text{ mm}$	
Válcová nebo prizmatická	Díly vyhazované zpět a rozměrné díly	
	Malé díly do $\varnothing = 5 \text{ mm}$	



- a) válcová vložka s kruhovým tvarem (uložení n5/H7)
- b) válcová vložka s hlavou nekruhového tvaru, proti otočení zajištěna perem (uložení m5/H7)
- c) válcová vložka s nekruhovým tvarem, proti otočení zajištěna aretační ploškou (uložení n5/H7)
- d) válcová vložka s nekruhovým tvarem, proti otočení zajištěna kolíkem (uložení n5/H7)
- e) čtvercová vložka (uložení n5/H7)
- f) vložka s hlavou (uložení m5/H7)
- g) vložka s hlavou ukotvená upínkou
- h) vložka přichycená šroubem (uložení m5/H7, snadná vyměnitelnost)
- i) vložka ukotvená pomocí speciálního držáku s kuličkou (snadná vyměnitelnost)
- j) dělená střížnice
- k) monolitní střížnice

Obr. 3.20 Ukázka různých provedení střížných vložek a střížnic

3.1.9 Materiál střížných nástrojů [20]

Funkční části stříhadel se vyrábějí většinou z nástrojových ocelí nelegovaných a legovaných. U více namáhaných nástrojů se používají rychlořezné oceli, nástrojové oceli vyrobené práškovou metalurgií a slinuté karbidy. Pro zvýšení životnosti a lepší třecí vlastnosti lze střížníky z materiálů s teplotou popouštění vyšší než 550°C opatřit PVD povlaky. Nejčastěji používanými povlaky jsou nitrid titanu (TiN) a karbonitrid titanu (TiCN). Povlakováním se může životnost funkčních částí zvýšit až 10x.

Požadavky na funkční části stříhadel jsou:

- odolnost proti opotřebení (abrazi a adhezi)
- tvrdost povrchu a houževnatost
- odolnost proti vyštipování hran
- únavová pevnost
- obrobitelnost
- stálost rozměrů
- kalitelnost a prokalitelnost.

Běžně se pro výrobu stříhadel používají tyto materiály

Střížníky a střížnice

méně namáhané - 19191, 19192, (58-62 HRC)

více namáhané - 19346, 19347, 19348, 19572, 19824, 19830 (60-62 HRC)

Desky základové, kotevní, upínací - 11373, 11375, 11500, 11523, 11600,

Vodící a stírací desky - 11500, 11600, 12060

Opěrné desky - 12061 (cementováno kaleno 50-58 HRC), 12050 (kaleno 50-54 HRC), 12060 (kaleno 50-55 HRC), 19312 (kaleno 56-58 HRC)

Stopky a středící čepy 11500, 11600

Vodící lišty - 11600, 12050

Vodící sloupky a pouzdra - 14220 (cementováno do hloubky 0,5mm, 61-63 HRC)

Hledáčky - 19312 (45-50 HRC), 19421 (45-50 HRC)

3.2 Technologie tažení [4], [6], [8], [10]

Podstatou procesu tváření je vyvolání plastické deformace vnějšími silami, které způsobí přemístění částic v tuhém stavu bez porušení soudržnosti. Dojde k trvalé změně rozměrů a tvaru při zachování objemu materiálu.

Při tváření za studena ($T \leq 0.34T_f$) dochází ke zpevnění materiálu, zablokování pohybu dislokací, zvýšení meze pevnosti. Vlivem natáčení kluzových rovin ve směru působících sil dochází k prodlužování zrn ve směru deformace. Dalším zvyšováním tvářecí síly může dojít k porušení soudržnosti - vzniku trhlin. Tváření materiálu za studena je vhodné u materiálů s nižší pevností, kterou je možno zpevněním zvýšit.

U materiálu pro tváření jsou rozhodující jeho tvárné vlastnosti - tvařitelnost je definována jako velikost deformace, kterou kov může snést bez částečného nebo úplného porušení celistvosti při dané teplotě a rychlosti deformace.

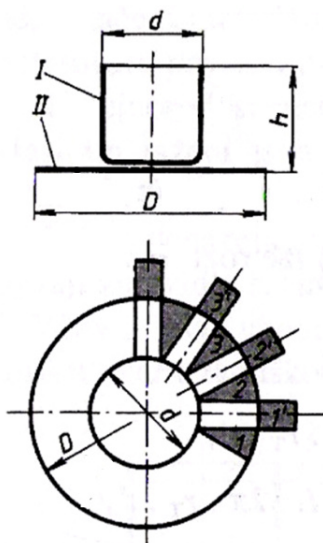
Na tvařitelnost mají vliv:

- plastické vlastnosti tvářeného materiálu (mechanické vlastnosti, součinitel plastické anizotropie, exponent deformačního zpevnění)
- podmínky procesu tváření (rozložení napětí a deformací, konstrukčně technologické parametry tvářecích nástrojů, deformační rychlost, teplota, tření)

Hlavní hodnoty charakterizující plastické vlastnosti materiálu:

- R_m – mez pevnosti v tahu
- $R_{p0.2}$ – smluvní mez kluzu
- r_{90}, r_{45}, r_0 - součinitel plastické deformace vůči směru válcování
- n_{90}, n_{45}, n_0 – exponent deformačního zpevnění vůči směru válcování
- ε – poměrná deformace
- φ – logaritmické přetvoření
- A – tažnost

Tažení je lisovací technologie pro zpracování plechu, při níž se využívá řízené tvárné deformace (v jedné nebo více operacích) k přetvoření plochého polotovaru (rondel, přístřih) v dutou součást (výtažek) pomocí lisovacího nástroje. Během tažení se objem nemění, dochází k jeho přesunu. Přesun materiálu je schematicky znázorněn na obr. 3.21.



I - výtažek (výrobek)

II - výstřižek (polotovaz)

d - průměr výtažku

D - průměr přístřihu

h - výška výtažku (nádoby)

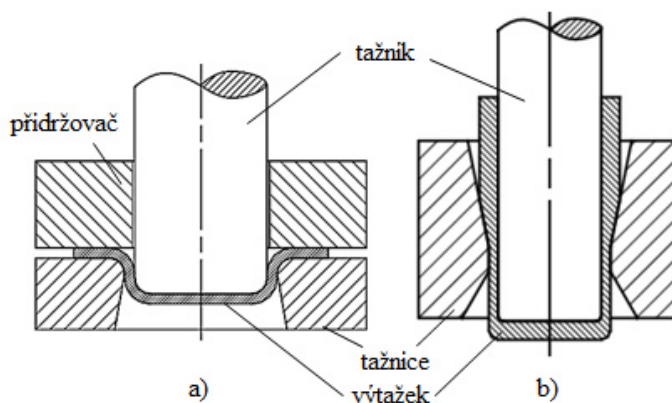
1 - 3 trojúhelníky, které se postupně přemísťují na místa obdélníků 1' - 3'

Obr. 3.21 Průběh tažení [13]

Technologii tažení lze rozdělit do skupin. První skupinou, kterou se budu podrobněji zabývat v následujícím textu, je tažení bez zeslabení stěny (obr. 3.22 a). Druhou skupinou je tažení se zeslabením stěny (obr. 3.22 b). Touto technologií se vyrábějí díly, které mají tloušťku stěny menší než tloušťku dna. Síla materiálu ve dně se nemění, zůstává stejná s výchozím polotovarem. Síla stěny se redukuje menší tažnou mezerou.

Mezi základní způsoby tažení bez zeslabení stěny patří:

- prosté tažení
- zpětné tažení
- žlábkování
- protahování
- přetahování
- zužování
- rozšiřování
- lemování



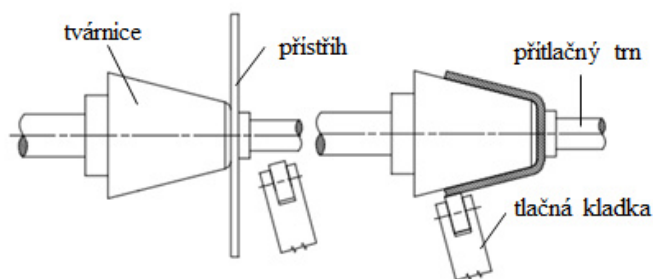
Obr. 3.22 Tažení a) bez zeslabení stěny, b) se zeslabením stěny [10]

Nekonvenční metody tažení:

- hydromechanické tažení (metoda WHEELON, HYDROFORM)
- tažení do pryžové tažnice (metoda GUERIN, MARFORM)
- elektrohydraulické tažení
- ultrazvukové hluboké tažení (se ztenčením stěny a bez ztenčení stěny)

Mezi alternativní technologie, které v některých případech mohou nahradit hluboké tažení, patří technologie rotačního kovotlačení (obr. 3.23), tváření výbuchem a elektrohydraulické impulsní tváření.

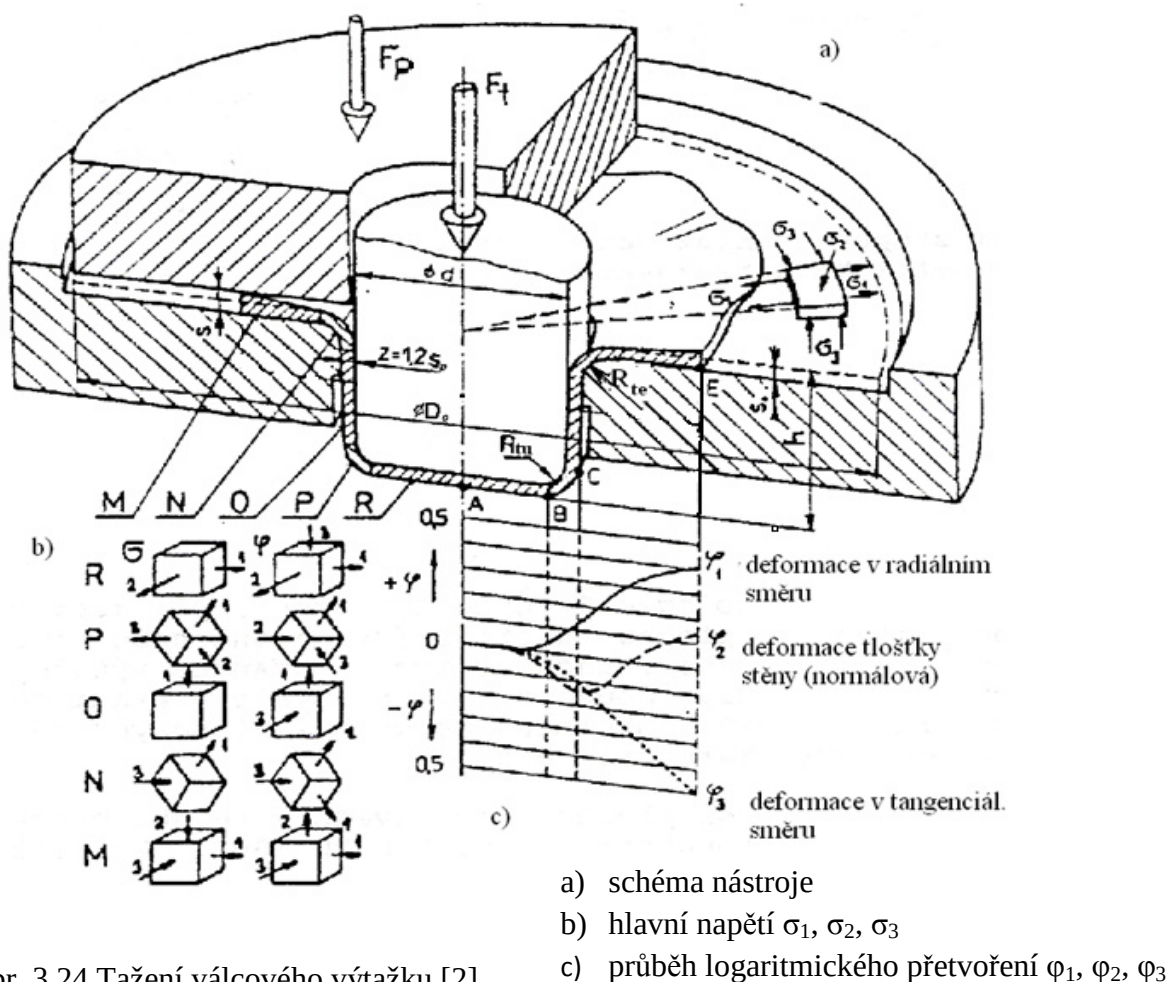
Kovotlačení je technologií, která nachází uplatnění ve výrobě dutých kruhových, případně eliptických tvarů. Je ekonomicky výhodná i při nižších výrobních sériích, pro vysoké série není vhodná z důvodu delších výrobních časů. Tuto technologii lze rozdělit na tlačení se ztenčením stěny nebo bez ztenčení stěny. Výhodami ve srovnání s hlubokým tažením je zhotovení velmi komplikovaných tvarů v jedné operaci, snadné zhotovení zápchů a drážek na válcových a kuželových plochách, nízká cena (zpravidla stačí vyrobit lisovnici, tlačné kladky a přitlačné trny mají univerzální použití).



Obr. 3.23 Rotační kovotlačení [10]

3.2.1 Teorie tažení [2], [5], [15], [16]

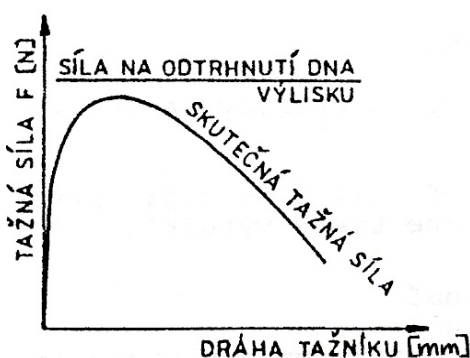
Při hlubokém tažení se v taženém materiálu vyskytuje prostorový stav napjatosti i deformace, složky napětí a deformace mění svůj směr, orientaci a velikost v různých místech vznikajícího výtažku. Obrázek 3.24 znázorňuje stavy napjatosti (σ_1 , σ_2 , σ_3) a logaritmického přetvoření (φ_1 , φ_2 , φ_3) při tažení výtažku s přídržovačem.



Obr. 3.24 Tažení válcového výtažku [2]

3.2.2 Tažná síla a práce [1], [2], [3], [15], [16]

Sílu potřebnou k přetvoření přístřihu ve výtažek a překonání třecích sil (mezi nástrojem a materiálem výtažku) nazýváme tažnou silou. Síla během tažení není konstantní, je maximální, když tažník dosáhne hloubky $h_1 = R_{tu} + R_{te} + s_0$. Průběh tažné síly je znázorněn na obrázku 3.25. V praxi se používají pro stanovení jmenovité síly lisu empirické vztahy, kterými lze určit maximální sílu F_w . To je síla, kterou mohou přenést stěny výlisku, aniž by došlo ke vzniku trhlin.



Obr. 3.25 Průběh tažné síly [2]

Tažná síla (F_t) vyvolává v plášti výtažku tahové napětí. Výsledné tahové napětí (σ_v) je dáno vztahem:

$$\sigma_v = (\sigma_1 + \sigma_{tr} + 2\sigma_0) \cdot e^{\mu \cdot \alpha} \cdot \sin \alpha \quad (3.14)$$

kde: σ_1 – radiální tahové napětí, které vzniká v oblasti příruby

σ_{tr} – napětí vyvolané tlakem přidržovače na zesilující se okraj přístřihu

σ_0 – napětí vyvolané ohybem přístřihu na zaoblené hraně tažnice (poloměru tažnice), $2\sigma_0$ -dvojí ohyb (ohyb a narovnání)

$e^{\mu \cdot \alpha}$ – součinitel vyjadřující vliv tření na zaoblené hraně tažnice

μ – součinitel tření

α – úhel ohybu opásání plechu na tažné hraně, pro $\alpha = 90^\circ$ je $e^{\mu \cdot \alpha} \approx 1 + 1.6\mu$

Tažná síla v prvním tahu dle literatury [16]

$$F_t = \frac{\dot{k}}{\eta} \cdot \left[\pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot R_e \cdot \left(\ln \frac{D}{d_s} + \frac{s_0}{2 \cdot \rho} \right) + 2 \cdot \mu \cdot \frac{d_s}{D} \cdot F_p \right] \quad [N] \quad (3.15)$$

$\dot{k}$ – koeficient zpevnění (lze stanovit z obr. 3.26)

η – koeficient rovný $1 - \mu \cdot \alpha$

α – úhel opásání tažné hrany ($\alpha = \frac{\pi}{2}$)

ρ – poloměr zakřivení střední vrstvy plechu na tažné hraně, $\rho = R_{te} + \frac{s_0}{2}$ [mm]

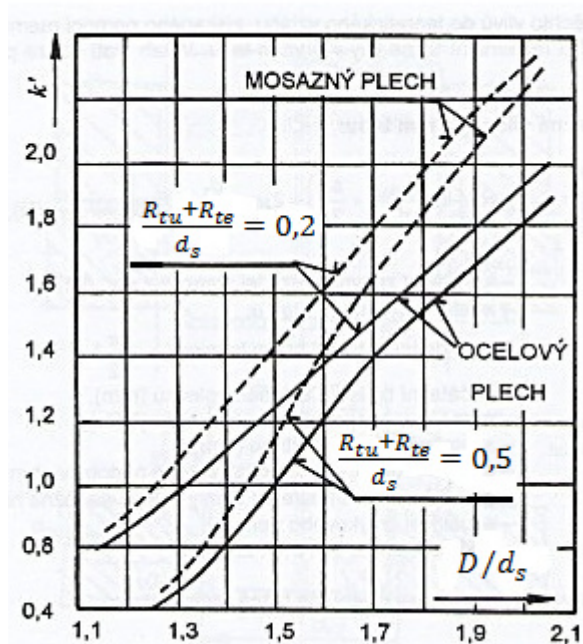
F_p – síla přidržovače [N]

R_e – mez kluzu neztuženého materiálu [MPa]

R_{te} – poloměr zaoblení tažnice [mm]

R_{tu} – poloměr zaoblení tažníku [mm]

μ – koeficient tření (hodnoty viz příloha 3)



Obr. 3.26 závislost koeficientu zpevnění $\dot{k}$ na D/d_d pro ocelový hlubokotažný a ocelový plech [16]

Tažná síla v prvním tahu dle literatury [15]

$$F_t = 2 \cdot \pi \cdot \frac{d_s}{2} \cdot s_0 \cdot \left[\left(\gamma \cdot R_e \cdot \ln \frac{D}{d_s} + \frac{\mu \cdot F_p}{\frac{D}{2} \cdot \pi \cdot s_0} \right) \cdot e^{\mu \cdot \alpha} + \frac{R_m}{2 \cdot \frac{R_{te}}{s_0} + 1} \right] \quad [N] \quad (3.16)$$

γ – konstanta 1,15

Síla na utržení dna upravená opravným součinitelem:

Pro první tah:

$$F_{tu} = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot k_1 \cdot R_m \quad [N] \quad (3.17)$$

kde: k_1 – opravný součinitel pro první tah dle tab. 3.2

Vztah pro další tahy:

$$F_{tun} = \pi \cdot d_{sn} \cdot s_0 \cdot k_n \cdot R_m \quad [N] \quad (3.18)$$

kde: k_n – opravný součinitel pro n-tý tah dle tab. 3.3

Tab. 3.2 Hodnoty opravných silových součinitelů pro první tah [16]

$m_1 (-)$	0,50	0,52	0,55	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70	0,72	0,75	0,80
$k_1 (-)$	1,14	1,08	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,40

Tab. 3.3 Hodnoty opravných silových součinitelů pro druhý a další tahy [16]

$m_n (-)$	0,70	0,72	0,75	0,77	0,80	0,85	0,90	0,95
$k_n (-)$	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70	0,60	0,50

V případě tažení s přidržovačem na jednočinném lisu, je k získání celkové potřebné lisovací síly nutné přičíst sílu přidržovače F_p k tažné síle F_t :

$$F_C = F_{tu} + F_p \text{ nebo } F_C = F_t + F_p \quad [N] \quad (3.19)$$

K orientačnímu výpočtu **tažné práce** slouží následující vzorec:

$$W = \frac{C \cdot F_C \cdot h}{100} \quad [J] \quad (3.20)$$

kde: h – výška výtažku [mm]

C - součinitel zaplnění diagramu

$C = 0.66$ při tažení bez kalibrování

$C = 0.8$ při tažení s kalibrováním

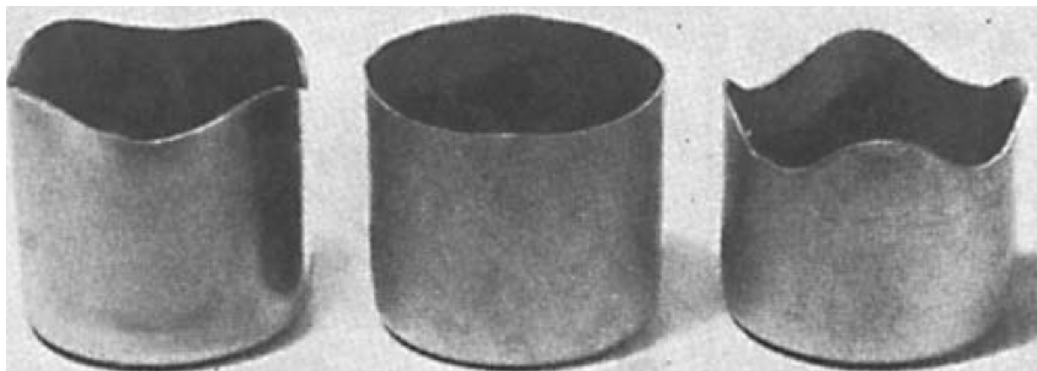
3.2.3 Technologické parametry

3.2.3.1 Velikost přístřihu [4], [7]

Velikost přístřihu je možné stanovit výpočtem nebo graficky (Guldinova metoda). Další možností je použití softwaru pro simulaci procesu tváření, nebo některé CAD systémy, které v sobě mají implementované moduly pro výpočet rozvinutých tvarů. Např. PAM-

STAMP 2G, Dynaform, AutoForm, SolidWorks s modulem BlankWorks. Programy přístřih spočítají přesně a rychle i pro velice složité tvary výlisků.

Dosáhnout požadovaného okraje výtažku bez následného zastřížení, je u hlubších výtažků prakticky nemožné. Důvodem je materiálová anizotropie, nestejnorodost ve struktuře materiálu. Proto je k objemu výtažku nutné přičíst technologický přídavek, který se po vytažení požadovaného tvaru odstříhne. Přídavek se podle ČSN 22 7301 volí podle počtu tažných operací. Pro 1. operaci 3% a pro každou další tažnou operaci 1%.



Obr. 3.27 Rozdílná cípovitost - výtažky tažené za stejných podmínek z jiného materiálu. [9]

Při výpočtu velikosti přístřihu se vychází z rovnosti objemu polotovaru a výtažku. Při tažení výtažku bez ztenčení stěn se předpokládá, že ztenčení stěny je zanedbatelné. Pro běžné tvary výtažku jsou odvozeny vzorce. Při výpočtu komplikovaného tvaru se postupuje tak, že se výtažek rozdělí na jednoduché základní části, pro které se pak počítá velikost ploch (u výtažku bez ztenčené stěny) nebo objemů (u výtažku se ztenčením stěny). Součet všech ploch (objemů) hotové součásti se musí rovnat povrchu (objemu) přístřihu. Malé prolisy, malá zaoblení (do osminásobku tloušťky materiálu) a technologický úkos výtažku je možné pro zjednodušení výpočtu zanedbat. Konstruktor, který pracuje ve 3D CAD aplikaci, nemusí počítat objem podle výše uvedených metod, neboť dnes již většina 3D aplikací objem tělesa přesně určí.

Pro základní tvary výtažku byly odvozeny vztahy, jimiž lze průměr přístřihu přímo spočítat. Vztahy (3.21) a (3.22) je možné použít u výtažků, u kterých poloměr zaoblení u dna nedosahuje osminásobku síly materiálu. Hodnoty spočítané těmito vzorci je třeba zvětšit o přídavek na zastřížení.

$$\text{Vztah válcovitý výtažek: } D_t = \sqrt{d_s^2 + 4 \cdot d_s \cdot h} \quad [mm] \quad (3.21)$$

$$\text{Vztah válcovitý výtažek s přírubou: } D_t = \sqrt{D_p^2 + 4 \cdot d \cdot h} \quad [mm] \quad (3.22)$$

3.2.3.2 Počet tažných operací [1], [4], [7], [14]

Zda je výtažek možné zhotovit na jednu nebo více operací závisí na jeho tvaru, druhu materiálu, tloušťce materiálu, konstrukci tažného nástroje a druhu lisu. Zdánlivě nepatrná odchylka ve tvaru výtažku může výrazně ovlivnit počet tažných operací. Tvarově jednoduché a nízké výtažky jsou zhotovovány jednou operací, hluboké a složité tvary vyžadují operací více.

K rychlému určení počtu tažných operací byly sestaveny grafy a tabulky, pomocí kterých je možné určit rozměry výtažků v jednotlivých krocích. Z určitého průměru přístřihu D lze zhotovit na jeden tah výtažek o určitém minimálním průměru d_s . Při překročení této hodnoty dojde k porušení výtažku. V praxi se často pro určení minimálního průměru d_s používá tzv. součinitel tažení m nebo také maximální redukce průměru R [%]. Doporučené hodnoty mezních součinitelů m a doporučené redukce R jsou empiricky zjištěné hodnoty pro konkrétní tvary a materiál výtažku. Jiné hodnoty jsou pro válcové výtažky, válcové výtažky s přírubou, hranaté výtažky atd. Hodnoty také závisí na druhu a tvaru polotovaru - tažení válcového výtažku ze čtvercového přístřihu, tažení z pásů bez obstřihu nebo s obstřihem.

Během tváření za studena dochází ke změnám mechanických vlastností. Zvyšuje se mez pevnosti, mez kluzu a tvrdost, klesá houževnatost a tažnost. Mez kluzu roste rychleji než mez pevnosti. Tím se snižují schopnosti materiálu k plastickému přetvoření, proto je nutné při víceoperačním tažení zařadit rekrytalizační žíhání. Literatura uvádí po 3. až 4. tažné operaci. Tím výtažek získá vlastnosti původního polotovaru.

Dosažitelnost mezních součinitelů (redukcí) ovlivňuje:

- způsob mazání během tažení
- poměrná tloušťka plech s_0/D (má největší vliv)
- mechanické vlastnosti materiálu
- poloměr zaoblení tažníku a tažnice
- tažení bez přidržovače nebo s přidržovačem
- jakost povrchu plechu

Součinitel tažení

Vzorec pro výpočet součinitele tažení v prvním tahu: $m_1 = \frac{d_1}{D}$ (3.23)

Vzorec pro výpočet součinitele tažení v druhém tahu: $m_2 = \frac{d_2}{d_1}$ (3.24)

Vzorec pro výpočet součinitele tažení ve třetím tahu: $m_3 = \frac{d_3}{d_2}$ (3.25)

Minimální hodnoty součinitelů pro hlubokotažnou ocel:

$m_1 = 0.48 - 0.50$; $m_2 = 0.73 - 0.75$; $m_3 = 0.72 - 0.74$

Doporučené redukce průměru výtažku:

Vzorec pro výpočet průměru prvního tahu:

$$d_1 = D \cdot \left(1 - \frac{R_1}{100}\right); \quad (3.26)$$

pro výpočet druhého tahu

$$d_2 = d_1 \cdot \left(1 - \frac{R_2}{100}\right); \quad (3.27)$$

pro všechny další tahy platí

$$d_n = d_{(n-1)} \cdot \left(1 - \frac{R_n}{100}\right). \quad (3.28)$$

$$\text{Vztah mezi součinitelem tažení } m \text{ a redukcí } R (\%): m = \frac{100-R}{100} \quad (3.29)$$

Orientační stanovení počtu tažných operací (n):

Dle literatury [5]:

$$n = 1 + \frac{\ln(d_s) - \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln(\bar{m})} \quad (3.30)$$

kde: $\bar{m}$ – hodnota součinitele pro další tahy 0,75 – 0,85

Pokud vyjde $n \leq 1,2$, předpokládá se zhotovení výtažku v jednom tahu, pokud $n > 1,2$, potom se jedná o dva a více tahů.

Dle literatury [1] lze stanovit počet tažných operací z tab. 3.4 podle poměru výšky h_s a průměru výtažku d_s .

$$n = \frac{h_s}{d_s} \quad (3.31)$$

Tab. 3.4 Počet tažných operací.

h_s/d_s	<0,6	0,6 až 1,4	1,4 až 2,5	2,5 až 4,0	4,0 až 7,0	7,0 až 12,0
n	1	2	3	4	5	6

Válcové výtažky s přírubou

Tab. 3.5 Součinitelé tažení pro válcové výtažky s přírubou.

Součinitel tažení	Poměrná tloušťka výstřižku $s_0/D \cdot 100$ [%]				
	2 až 1,5	1,5 až 1,0	1,0 až 0,6	0,6 až 0,3	0,3 až 0,15
m_1	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58
m_2	0,73	0,75	0,76	0,78	0,80
m_3	0,75	0,78	0,79	0,80	0,82
m_4	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84
m_5	0,80	0,82	0,84	0,85	0,86

Výtažek lze zhotovit na jednu operaci pokud $\frac{s_0}{D} \cdot 100$ a $\frac{d_p}{d_s}$ bude poměrná hloubka $\frac{h_s}{d_s}$ odpovídat nebo je menší, než jsou hodnoty uvedené v tab. 3.6.

Tab. 3.6 Poměrné hodnoty $\frac{h_s}{d_s}$ pro válcové výtažky s přírubou.

Poměrný ø příruby d_p/d	Poměrná tloušťka výstřižku $s_0/D \cdot 100$ [%]				
	2 až 1,5	1,5 až 1,0	1,0 až 0,6	0,6 až 0,3	0,3 až 0,1
do 1,1	0,90 až 0,75	0,82 až 0,65	0,70 až 0,57	0,62 až 0,50	0,50 až 0,45
1,3	0,80 až 0,65	0,72 až 0,56	0,60 až 0,50	0,53 až 0,45	0,47 až 0,40
1,5	0,70 až 0,58	0,63 až 0,50	0,53 až 0,45	0,48 až 0,40	0,42 až 0,35
1,8	0,58 až 0,48	0,53 až 0,42	0,44 až 0,37	0,39 až 0,34	0,35 až 0,29
2,0	0,51 až 0,47	0,46 až 0,36	0,38 až 0,32	0,34 až 0,29	0,30 až 0,25
2,2	0,45 až 0,35	0,40 až 0,31	0,33 až 0,27	0,29 až 0,25	0,26 až 0,22
2,5	0,25 až 0,28	0,32 až 0,25	0,27 až 0,22	0,23 až 0,20	0,21 až 0,17
2,8	0,27 až 0,22	0,24 až 0,19	0,21 až 0,17	0,18 až 0,15	0,16 až 0,13
3	0,22 až 0,18	0,20 až 0,16	0,17 až 0,14	0,15 až 0,12	0,13 až 0,10

U výtažků s menšími rozměry příruby, u kterých je splněna podmínka $\frac{d_p}{d_s} < 1,2$ a $\frac{h_s}{d_s} > 1$, se v první operaci táhnou výtažky bez příruby a příruha se postupně vytváří v dalších operacích.

Výpočet výšky výtažku po prvním tahu:

$$h_s = 0,25 \cdot \left(\frac{D}{m_1} - \frac{d_p^2}{d_s} + 3,44 \cdot R \right) [mm] \quad (3.32)$$

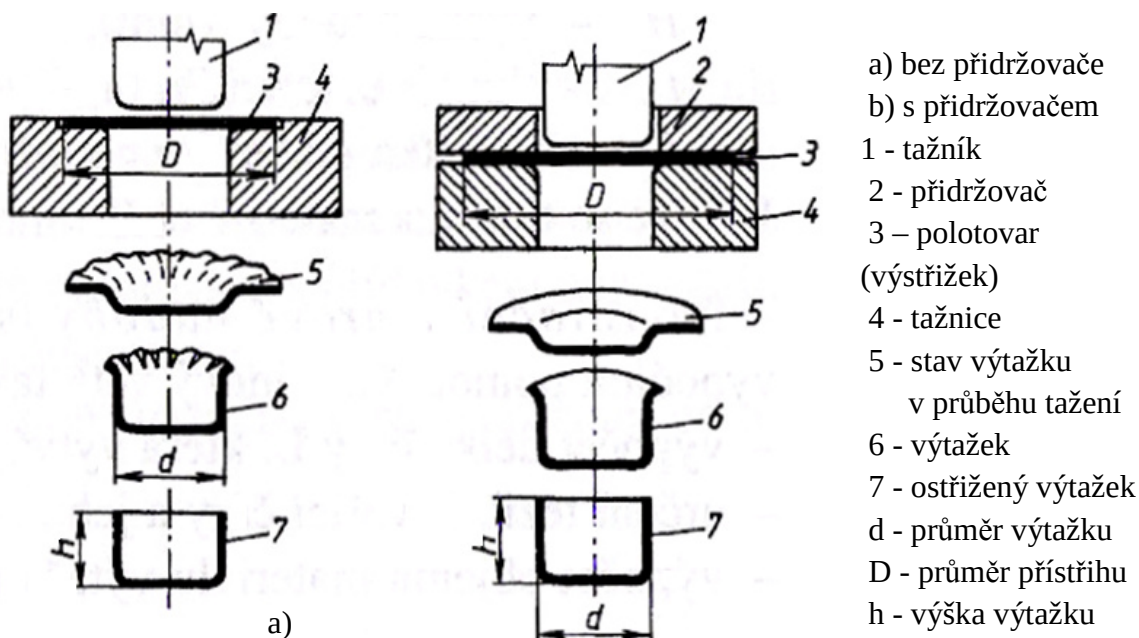
Výpočet výšky výtažku po libovolné další tahy:

$$h_{sn} = 0,25 \cdot \left(\frac{D}{m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n} - \frac{d_p^2}{d_n} + 3,44 \cdot R \right) [mm] \quad (3.33)$$

kde R je poloměr zaoblení dna výtažku = R_{tu} poloměr zaoblení tažníku.

3.2.3.3 Volba přidržovače a určení jeho síly [4], [10], [13]

Přidržovač zabráňuje tvorbě vln na výtažku. U druhého a dalších tahů také středí výtažek proti tažnici. Bez přidržovače lze táhnout výlisky, u kterých redukce nedosahuje 10%. Při tažení nízkých výtažků ze silného plechu se vlny netvoří. Tenké plechy do 0,5 mm z hlubokotažné oceli se musí táhnout vždy s přidržovačem.



Obr. 3.28 Tažení [13]

Maximální redukci, kterou je možné táhnout bez použití přidržovače, lze vypočítat pomocí empirického vzorce:

$$R_{max} = 50 \cdot \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D}} + 100 \cdot (1 - c) \quad (3.34)$$

kde c - konstanta závislá na druhu použitého materiálu

- pro ocel $c = 0.95$
- pro měď a její slitiny $c = 0.975$

Bez přidržovače je možné táhnout, pokud platí tyto vztahy:

Vztah pro válcový výtažek v prvním tahu:

$$s_r = \frac{s_0}{D} \cdot 100 \geq 2\% \quad \text{a zároveň} \quad m_1 = \frac{d_{s1}}{D} \geq 0,6 \quad (3.35)$$

Vztah pro válcový výtažek v dalších tazích:

$$s_r = \frac{s_0}{d_{sn-1}} \cdot 100 \geq 1,5\% \quad \text{a zároveň} \quad m_i = \frac{d_{sn}}{d_{sn-1}} \geq 0,8 \quad (3.36)$$

Použití přidržovače pro danou redukci lze také určit dle normy ČSN EN 22 7301. Ta uvádí vztah:

$$k_p = 50 \left(Z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D}} \right) \quad (3.37)$$

je-li $k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D}$, je nutno táhnout s přidržovačem

je-li $k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D}$, není nutné táhnout s přidržovačem

kde Z je materiálová konstanta

- pro ocelový hlubokotažný plech $Z = 1,9$
- pro mosazný plech $Z = 1,95$
- pro hliníkový plech $Z = 2,00$

Přidržovač musí působit takovou silou, při které nebude docházet ke zvlnění okraje výlisku a přitom nebude docházet k nežádoucímu zeslabení nebo k tvorbě prasklin. Přidržovací sílu nejvíce ovlivňuje tloušťka materiálu, druh materiálu a velikost redukce. V praxi se síla přidržovače nastaví na hodnotu, při které se netvoří vlny a nevznikají trhliny.

Síla přidržovače se stanoví podle vztahu:

$$F_p = S_p \cdot p \text{ [N]} \quad (3.38)$$

kde: p je tlak přidržovače [MPa]

S_p je plocha přístřihu pod přidržovačem [mm²]

Příloha č. 2 obsahuje tabulku pro stanovení tlaku přidržovače podle tloušťky a vlastností materiálu.

Tlak přidržovače je možné také vypočítat vztahy:

Vzorec pro první tah:

$$p = (0,002 \div 0,003) \cdot \left[\left(\frac{D}{d_s} - 1 \right)^3 + \frac{d_s}{200 \cdot s_0} \right] \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (3.39)$$

pro další tahy:

$$p_n = (0,002 \div 0,003) \cdot \left[\left(\frac{d_{sn-1}}{d_{sn}} - 1 \right)^3 + \frac{d_{sn}}{200 \cdot s_0} \right] \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (3.40)$$

3.2.3.4 Poloměr zaoblení funkčních hran tažidla [3], [4], [14]

Tažný poloměr výrazně ovlivňuje celý proces tažení. Příliš velké zaoblení hran může způsobit zvlnění výtažku, malé zaoblení může zavinit utržení dna výtažku. Tažné hrany musí být pečlivě opracovány a leštěny.

Tažný poloměr má vliv na:

- tvoření vln a přehybů
- velikost tažné síly
- napětí v tvářeném materiálu
- velikost ztenčení stěn výtažku

Zaoblení tažných hran je závislé:

- na druhu taženého materiálu
- na síle materiálu
- na velikosti mezikruží mezi D a d_s

Poloměr zaoblení tažnice (R_{te}) je možné určit pomocí diagramu (obr. 3.29) použitím empirického vzorce nebo pomocí normy ČSN EN 22 7301, která uvádí velikost zaoblení pro jednooperační tažení $R_{te} = (6 \text{ až } 10) \cdot s_0$.

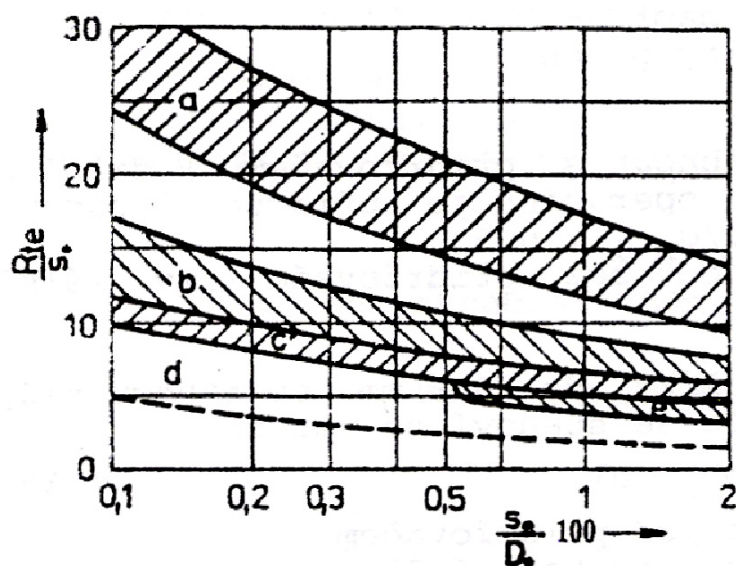
Empirické vzorce:

- poloměr zaoblení tažnice pro první tah: $R_{te} = 0.8 \cdot \sqrt{(D - d_1) \cdot s_0}$ (3.41)

- poloměr zaoblení tažnice se pro další tahy určí vztahy:

$$- R_{te} = \frac{d_1 - d_2}{2} - s_0 \text{ pro výtažky do průměru 60 mm;} \quad (3.42)$$

$$- R_{te} = (6 - 10) \cdot s_0 \text{ pro výtažky nad průměr 60 mm.} \quad (3.43)$$



Obr. 3.29 Diagram pro určení poloměru tažného zaoblení: Závislost poměrného poloměru R_{te}/s_0 na poměrné tloušťce přístříhu s_0/D_0 [2]

Poloměr zaoblení tažníku (R_{tu}) – volí se stejné nebo větší než zaoblení tažnice. Má-li být zaoblení na finálním výlisku menší, je třeba zařadit kalibrovací operaci.

Poloměry zaoblení výtažku (tažníku), které lze zhotovit v prvním tahu:

$$- R_{tu} = (3 \text{ až } 4) \cdot s_0 \text{ pro průměr výtažku 10 - 100 mm,} \quad (3.44)$$

$$- R_{tu} = (4 \text{ až } 5) \cdot s_0 \text{ pro průměr výtažku 100 - 200 mm,} \quad (3.45)$$

$$- R_{tu} = (5 \text{ až } 7) \cdot s_0 \text{ pro průměr výtažku nad 200 mm a více.} \quad (3.46)$$

V dalších tazích poloměr zmenšujeme na jednu polovinu až jednu třetinu poloměru předchozího, vždy však R_{tu} má být větší nebo rovno poloměru zaoblení na hotové součásti.

3.2.3.5 Tažná mezera [3], [14]

Tažná mezera (z) je vůle mezi tažníkem tažnicí. Velká tažná mezera způsobuje vlny na plášti výtažku. Malá tažná mezera zvyšuje lisovací sílu, může způsobit utržení dna.

Vzorce pro výpočet:

$$- z = (1,2 - 1,3) \cdot s_0 \quad \text{pro první až předposlední tah} \quad (3.47)$$

$$- z = (1,1 - 1,2) \cdot s_0 \quad \text{pro poslední tah} \quad (3.48)$$

$$- z = (1,0 - 1,05) \cdot s_0 \quad \text{pro kalibrování}$$

Při určování tažné vůle je nutné přihlídnout k tolerancím výlisku a k toleranci síly výchozí síly plechu.

3.2.3.6 Přesnost výtažků

U výtažků je třeba rozlišovat přesnost rozměrů příčného průřezu, výšky a tloušťky stěn. Přesnost příčného průřezu výtažku ovlivňuje přesnosti tažníku a tažnice. Závisí na stupni jejich opotřebení, na velikosti tažné mezery mezi tažníkem a tažnicí, na pružení výtažku po jeho vyjmutí z tažnice. Odpružení může být v různých směrech příčného průřezu různé vlivem materiálové anizotropie. S ohledem na tyto skutečnosti je možné docílit příčných průřezů IT 11 až 12, v případě kalibrace IT 7 až 8.

3.2.4 Počítačová simulace procesu tažení [26]

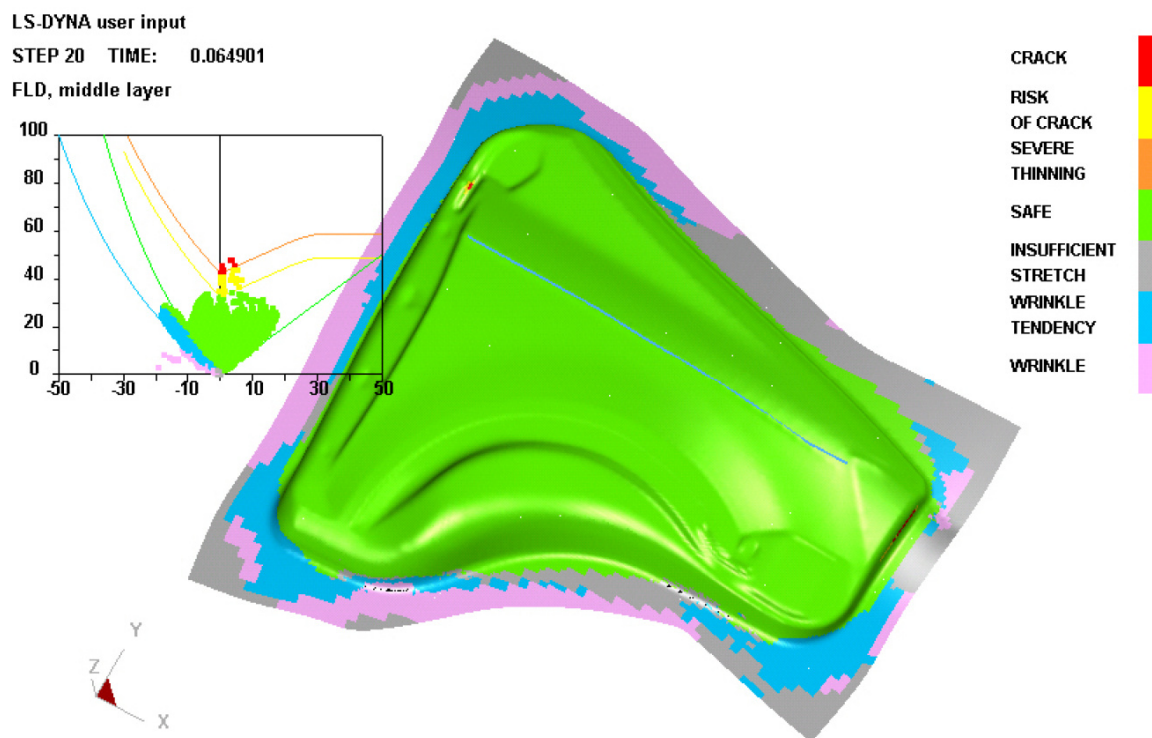
Počítačové simulace mají nezastupitelnou roli ve fázi technické přípravy výroby, tj. určení počtu operací a optimalizaci technologického postupu a jednotlivých technologických parametrů, především pro tvarově složité součásti. Jak ukazuje vývojový trend v konstruování, kdy je velký důraz kladen na zvýšenou tuhost a nízkou hmotnost, jsou navrhovány tvarově složité díly (malé zaoblení, hluboké prolisy) a je u nich často volen materiál z řad vysokopevnostních ocelí nebo hliníku. S takovými díly si dokáže poradit jen velice zkušený pracovník. Počítačová simulace do určité míry zkušenosti pracovníků nahrazuje.

Simulace tváření (tažení) přispívá ke zrychlení a zlevnění celého procesu zhotovení (konstrukční, technologické, výrobní) funkčního nástroje. Snižuje počet cyklů na doladění nástroje, které je nutno realizovat pro uvolnění nástroje do sériové výroby.

Pro provoz simulačního softwaru postačí běžná pracovní stanice. Rozhraní programu je přizpůsobeno tak, aby ho by schopen ovládat běžný konstruktér nebo technolog bez znalostí metody konečných prvků.

Pomocí simulačního softwaru je možné určit:

- velikost a tvar přístřihu
- lisovatelnost dílu
- počet operací
- přesnou simulaci tažení pro stanovení technologických sil a detailní ověření metody lisování
- odpružení
- sílu přidržovače
- potřebnou lisovací sílu
- kritická místa výlisku (zeslabení, zvlnění)
- vliv brzdícího žebra
- efektivní technologické plochy kolem výlisku
- napětí, přetvoření, tlak přidržovače



Obr. 3.30 Výsledek simulace hlubokého tažení provedené v programu eta/Dynaform [26]

3.2.5 Tažné nástroje [8], [12]

Konstrukce nástroje je závislá na velikosti výlisku, tvaru výlisku, materiálu výlisku, stroji, sériovosti výlisku, rozměrových a povrchových požadavcích. Funkčními částmi tažných nástrojů je tažník, tažnice a přidržovač.

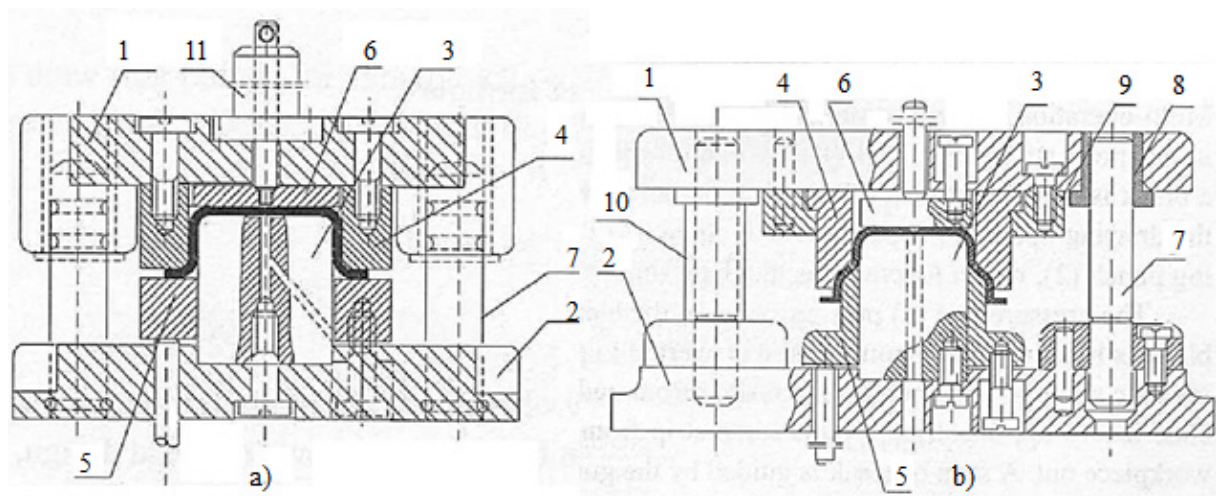
Rozdělení konstrukcí nástrojů:

- jednoduché - nástroje, ve kterých se provádí jedna tažná operace
- sdružené - sdružují operaci tažení s např. děrováním nebo vystřihováním
- sloučené - provedou několik tažných operací v jednom zdvihu
- postupové - tažení probíhá ve více krocích v jednom nástroji

Povrchovými vrstvami lze prodloužit životnost nástroje 2x až 4x, zlepšují také přesnost a drsnost povrchu výtažků.

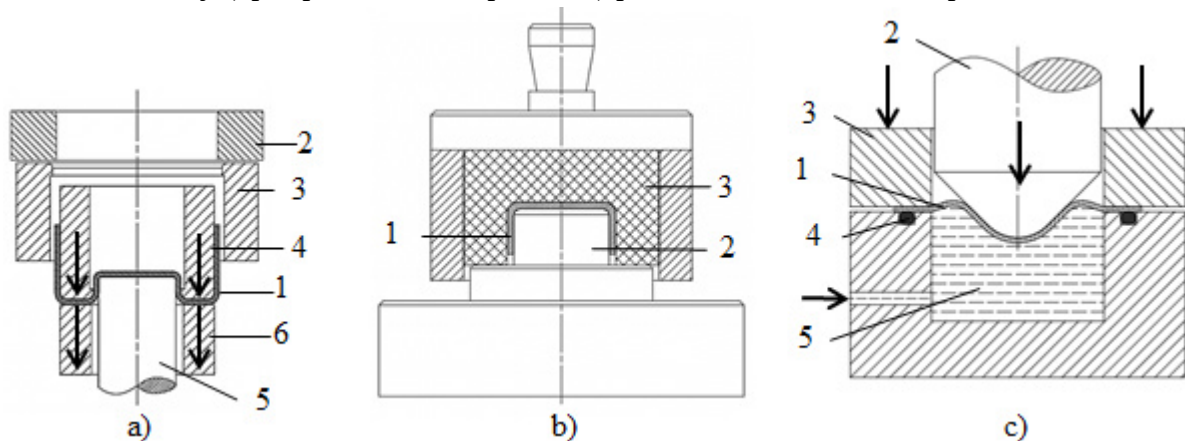
Používanými povrchovými úpravami jsou:

- povrchové vrstvy - vytvářené modifikací chemického složení nebo struktury povrchových vrstev (nitridace, borování)
- povlaky - na povrch se nanáší tenká tvrdá vrstva, např. povlaky typu PVD (TiN, TiAlN, CrN), CVD (TiC, TiCN)
- duplexní povlaky - kombinace dvou výše uvedených



1- upínací deska, 2 – základová deska, 3- tažník, 4 – tažnice, 5 – přidržovač, 6 – vyhazovač, 7 – vodící sloupek, 8 – vodící pouzdro, 9 - držák tažnice, 10 – doraz, 11 – stopka

Obr. 3.31 Nástroj a) pro první tažnou operaci, b) pro druhou a další tažné operace [1]



a) sloučený nástroj pro 1. a 2. tažnou operaci (1 – výtažek, 2 – přidržovač pro 1. tah, 3 – tažnice pro 1. tah, 4 – tažník pro 1. tah a zároveň tažnice pro 2. tah, 5 – tažník pro 2. tah, 6 – přidržovač pro 2. tah)

b) tažení do pryžové tažnice (1 – výtažek, 2 - tažník, 3 – pryž)

c) hydromechanické tažení (1 – výtažek, 2 – tažník, 3 – přidržovač, 4 – těsnění, 5 – kapalina)

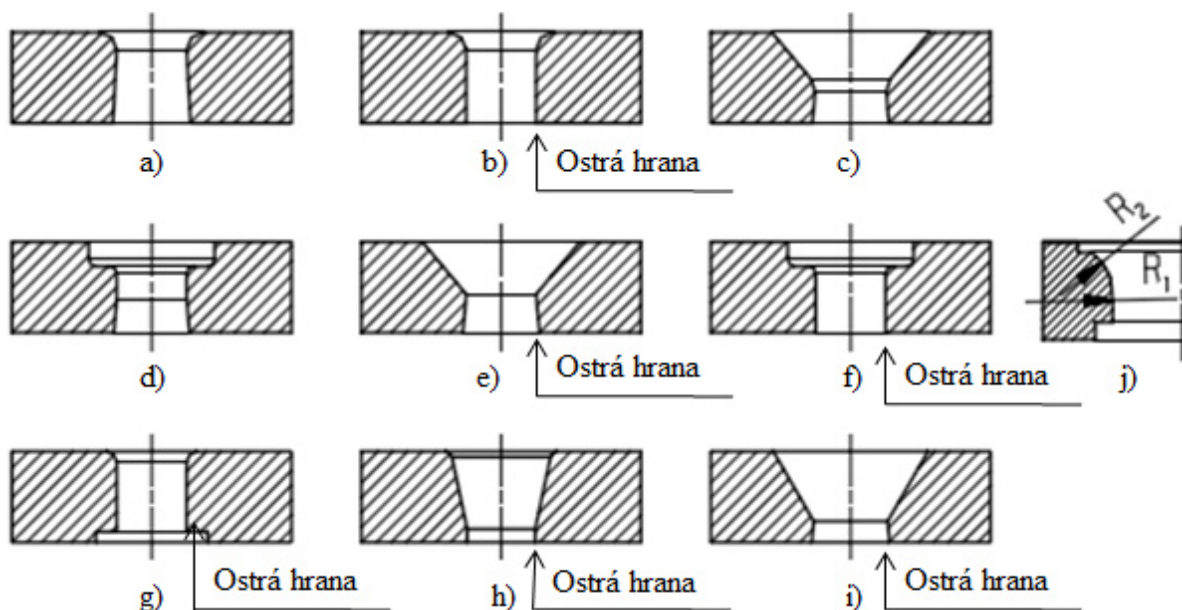
Obr. 3.32 Schémata nástrojů [10]

3.2.5.1 Tažnice [1], [14]

Funkční částí tažnic je tažný otvor. Tvar otvoru a úprava hran závisí na způsobu, jakým budou výtažky odstraňovány z tažnice. Několik provedení tažnic je na obrázku č. 3.33. Tažnice jsou oproti tažníkům více opotřebovávány, proto se pro ně doporučuje volit přídavek na opotřebení. Ten je závislý na velikosti tolerance výlisku.

Délka válcové části tažnice:

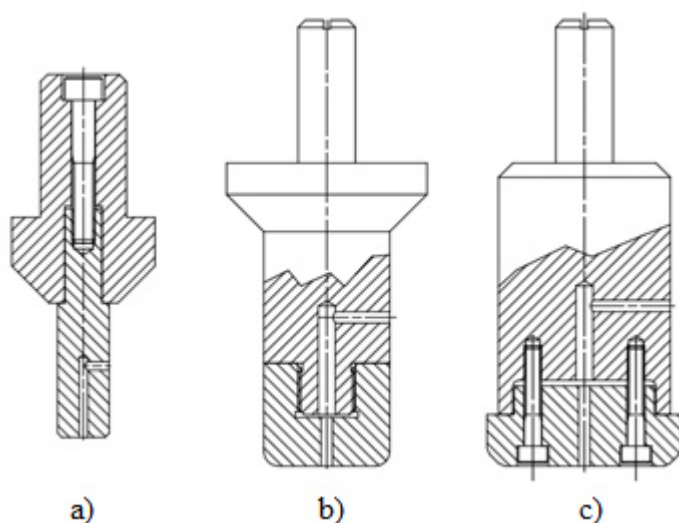
$$H_{te} = (3 \div 5) \cdot s_0 \text{ [mm]} \quad (3.50)$$



- a) výtažek se vrací nad tažnici a je setřen z tažníku
- b) výtažek propadá pod nástroj, je setřen ostrou hranou tažnice nebo speciálním stíračem
- c) pro druhý případně další tah, kdy se výtažek vrací nad tažnici
- d) pro druhý případně další tah do průměru 60 mm, kdy se výtažek vrací nad tažnici
- e) pro druhý případně další tah, kdy výtažek propadá
- f) pro druhý případně další tah do průměru 60 mm, kdy výtažek propadá
- g) tažný otvor dole odlehčený
- h) tažný otvor mírně kuželový, výtažek propadá, vhodné pro nástroje bez přidržovače
- i) tažný otvor pro plechy o větší tloušťce
- j) tvarový tažný otvor kuželový nebo podle křivky zv. traktrixa (lze dosáhnout $m = 0.35$), vhodné pro tažení bez přidržovače.

Obr. 3.33 Tažnice pro kruhové výtažky

3.2.5.2 Tažníky [14]



- a) tažník s průměrem do 30 mm
- b) tažník s průměrem do 80 mm
- c) tažník s průměrem nad 100 mm

Obr. 3.34 Příklady provedení tažníků:

Funkční částí tažníku je čelo, poloměr zaoblení a válcová část. Tažník je namáhán na vzpěr a na obvodu válcové části radiálními silami. Tažníky menších průměrů (obr. 3.34 a) se celé vyrábí z nástrojové oceli. Tažníky větších průměrů (obr. 3.34 b, c) se vyrábí ze dvou částí, funkční část z nástrojového materiálu a držák z konstrukční oceli.

Pro odvod vzduchu během tažení a snazší stírání z tažníku musí být tažníky opatřeny odvodušňovací otvorem.

- Pro $\varnothing$ výtažku < 100 mm odvodušňovací otvor $\varnothing 6$ mm,
- pro $\varnothing$ výtažku 100 až 200 mm odvodušňovací otvor $\varnothing 8$ mm,
- pro $\varnothing$ výtažku > 200 mm odvodušňovací otvor $\varnothing 10$ mm.

3.2.5.3 Přidržovače [4], [10]

Pro první tah (ve výjimečných případech i pro další tahy) se používají přidržovače s dosedací plochou rovinnou (obr. 3.31 a), pro další tahy s dosedací plocha kuželovou (obr. 3.31 b).

Během tažení tlak přidržovače na přístřih při konstantní síle není stejný - se zmenšující se stykovou plochou přístřihu a přidržovače se tlak zvyšuje. K docílení konstantního přitlačného tlaku by se síla měla zmenšovat. U pružinových přidržovačů se síla zvyšuje vlivem stlačování pružin. Zvyšující se tlak přidržovače má za následek obtížnější vtahování materiálu do tažnice. To může způsobit utržení dna výlisku. Tento problém je vyřešený u dvojčinných lisů, u kterých přidržovač ovládá druhý beran. Tyto přidržovače se nazývají pevné.

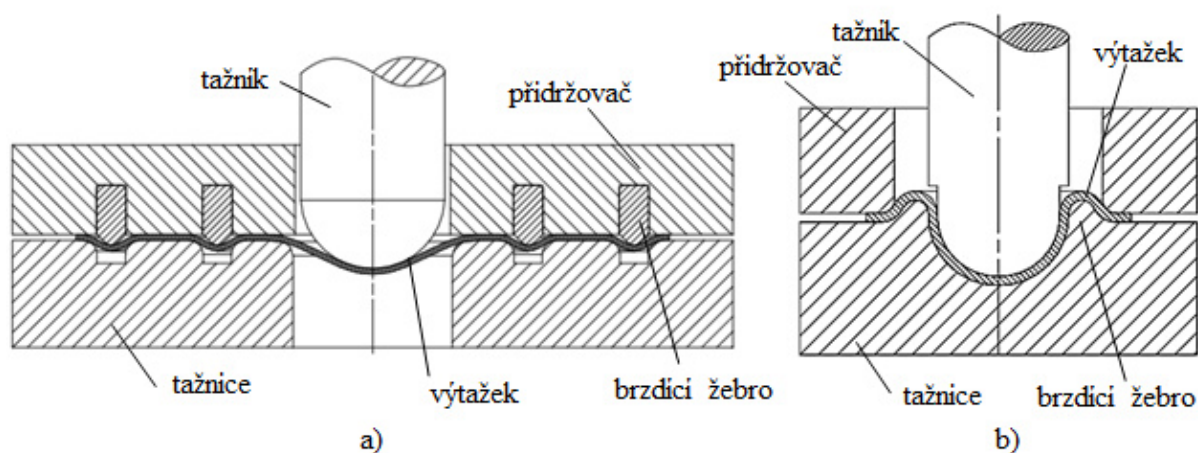
U pevných přidržovačů je důležitá mezera pro plech mezi přidržovačem a tažnicí. Musí být taková, aby nedocházelo ke zvlnění okraje. Mezera pro plech je seřiditelná. S příliš malou mezerou pro materiál může dojít k utržení dna nebo nadírání materiálu pod přidržovačem.

Kromě přidržovačů popsaných výše se používají přidržovače hydraulické a pneumatické. Tyto přidržovače jsou výhodné, protože sílu přidržovače je možné změnit podle aktuálních výsledků lisování. Některé konstrukce umožňují automatické regulování

přítlačné síly v závislosti na poloze zdvihu. Tím lze snadno dosáhnout konstantního tlaku přidržovače na stále měnící se plochu přístřihu pod přidržovačem.

Na dvojčinných lisech nebo při tažení s konstantním tlakem přidržovače lze vyrábět velice obtížné a hluboké výtažky.

V případě potřeby přidržet přístřih pevněji a tím přibrzdit materiál vtahovaný do tažnice, např. při tažení nízkých, tvarově složitých výtažků nebo výtažků s vypuklým dnem, se používají brzdící žebra (lišty). U kruhových výlisků jsou žebra po celém obvodu, u nerotačních jen v rovinných místech. Můžou být v jedné nebo více řadách. Brzdící žebra se umísťují blízko tažnému poloměru do přidržovače nebo tažnice.



Obr. 3.35 a) brzdící žebra ve dvou řadách, b) brzdící žebro - zaoblený výstupek na tažnici

3.2.5.4 Materiál tažných nástrojů [14]

Materiál funkčních částí

Výkon, spolehlivost a trvanlivost u tažných nástrojů jsou ovlivněny řadou faktorů. Mezi základní patří druh materiálu částí nástroje a jeho tepelné zpracování. Funkční části nástrojů se vyrábějí převážně z nástrojových ocelí. Vysoce výkonné nástroje vyžadují vložkování funkčních částí slinutými karbidy, keramickými materiály nebo povlakování materiály odolnými proti opotřebení. Materiály funkčních částí nástroje musí odolávat abrazivním a adhezivním účinkům, které vznikají na stykových plochách tvářeného materiálu a nástroje vlivem tření podmíněným vysokými tlaky, které v některých případech dosahují až 3500 MPa. Nejčastěji používanými nástrojovými oceli jsou 19321, 19436, 1.2080 s tvrdostí a po tepelné zpracování 58 až 64 HRC.

Materiál desek stojánků/rámů

U menších nástrojů se používají konstrukční oceli třídy 11 (11373, 11500, 11600). U velkých nástrojů se preferuje z ekonomických důvodů šedá litina (422421, 422424) nebo litá ocel s lepšími mechanickými vlastnostmi (422650.2, 422563.1).

3.2.6. Maziva pro tažení [4]

Tření mezi nástrojem a materiálem výtažku výrazně ovlivňuje celý proces tažení (okrajové podmínky, tok materiálu, spotřebu sil a energie, nerovnoměrnost deformace). Ke snížení součinitele tření se používají maziva, která zabraňují kovovému styku mezi materiálem výtažku a nástrojem. O použití maziva rozhoduje obtížnost tváření, tlak mezi taženým materiálem a nástrojem, druh taženého materiálu. Čistě kapalná maziva se používají tam, kde tlaky nedosahují 600 MPa, pro vyšší tlaky se k mazivu přidává tuhá složka (mastek, plavená křída, grafit). Kvalitní maziva dobře ulpívají na povrchu plechu a odolávají vysokým tlakům, ale je obtížné je odstranit. Na odstranění je možné použít speciální přípravky. V současné době důležitou roli hrají i ekologické aspekty, vyžaduje se ekologické nanášení a likvidace, důležitá je biologická rozložitelnost maziv.

Maziva minimalizují abrazivní a adhezivní účinky a tím:

- zvyšují kvalitu povrchu výlisků
- zvyšují životnost nástrojů
- zvyšují produktivitu
- dosažitelnost mezních redukci
- zvyšují rozměrovou stabilitu výtažků

Lanolín a lůj - nejsou vhodné pro zvláště těžké a hluboké tažení, mají lepší viskózní vlastnosti za zvýšených teplot než minerální oleje.

Maziva hypoidní - směsi minerálních olejů se sloučeninami obsahující síru a chlor.

Maziva mýdlová - jsou tuhá, polotuhá nebo tekutá podle pracovní teploty, suchá mýdla mají velice dobrou přilnavost k povrchu při smykovém zatížení

Maziva s grafitem - pro nejobtížnější tváření, používá se čistého grafitu nebo jeho směsí s olejem nebo lojem, nevytlačí se ani vysokými tlaky, zachovávají si dobré mazací schopnosti za zvýšených teplot.

Kovové povlaky (amorfní vrstvičky zinku, olova, mědi apod.) - pro obtížné tažení.

3.2.7. Stroje [10], [12], [24]

Podle druhu mechanismu použitého k přenosu energie lze lisy rozdělit na:

- mechanické
- hydraulické

Podle konstrukce se dělí na:

- jednočinné
- dvojčinné
- trojčinné
- postupové

Mechanické tažné lisy disponují jmenovitou silou již při 90° před dolní úvratí. Jsou v praxi nejpoužívanější pro jejich jednoduchou konstrukci, nízkou cenu a vysokou výrobnost.

Klasická konstrukce klikového mechanismu dává beranu nevýhodný průběh rychlosti (nulová rychlost ve spodní úvratí, maximální rychlosti dosahuje při 90° před dolní úvratí). Průběh rychlosti se u moderních konstrukcí lisů podařilo zlepšit. Např. firma Aida vyvinula systém ServoPro. Ten umožňuje programovat rychlost pohybu smýkadla v závislosti na úhlu kliky díky servomotoru, který přenáší kroutící moment přímo na kliku lisu (obr. 3.37 b).

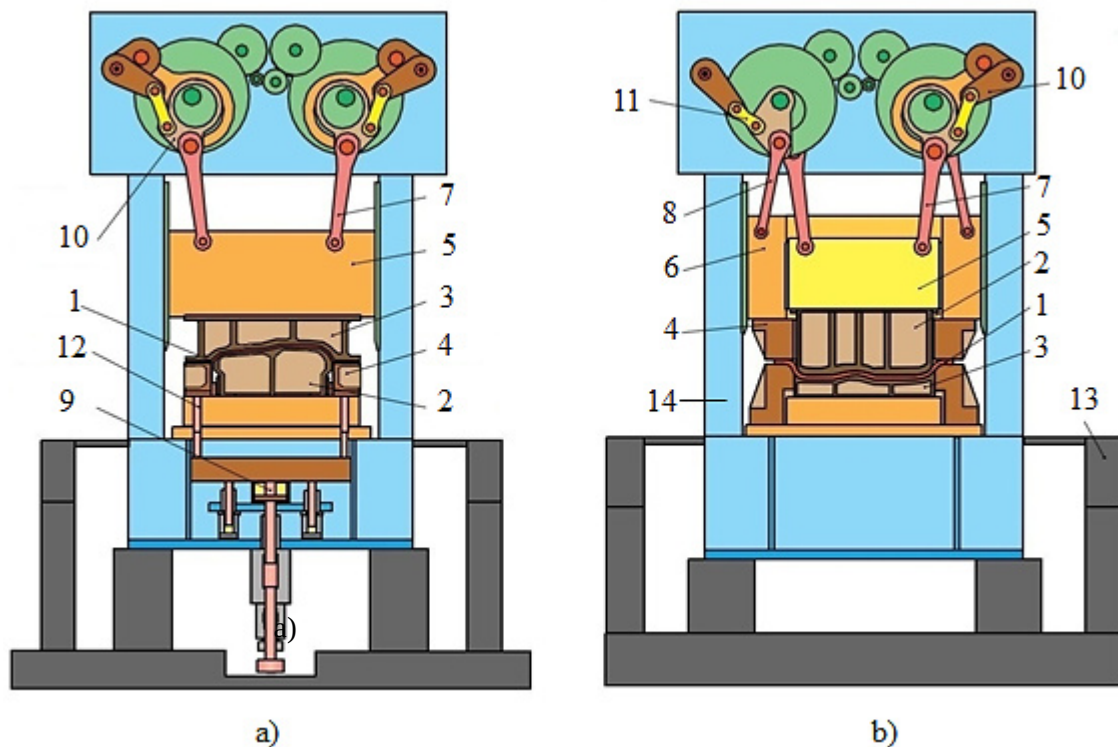
Hydraulické lisy jsou pro tažení nejvýhodnější díky možnosti docílení konstantního tlaku beranu, konstantní rychlosti beranu, plynule nastavitelné rychlosti beranu, nastavitelné přitlačné síle. Nevýhodou je nižší výrobnost, vyšší pořizovací cena.

Dvojčinné, trojčinné (s hydraulickým nebo mechanickým pohonem) lisy jsou zvláště výhodné pro tažení komplikovaných hlubokých výtažků. U nízkých výtažků ze silného plechu, u kterých není potřeba přidržovač, nebo postačí přidržovač pružinový, je možné použít jednočinné tažné lisy, případně i univerzální klikové a výstředníkové lisy.

Postupové lisy nacházejí využití při lisování vysokých sérií u výlisků, které nelze vyrobít jednou operací. Lisy pracují v plně automatickém cyklu. Většinou mají 7 - 12 pracovních pozic pro tažení a některé lisy i střižnou pozici, ve které je možné zhotovit první tah. Do každé lisovací pozice se upíná samostatný nástroj. Transport materiálu od jedné lisovací pozice ke druhé obstarává transferový podavač. Lisy jsou vybaveny pneumatickými vyhazovači a pneumatickými přidržovači v každé tažné pozici.

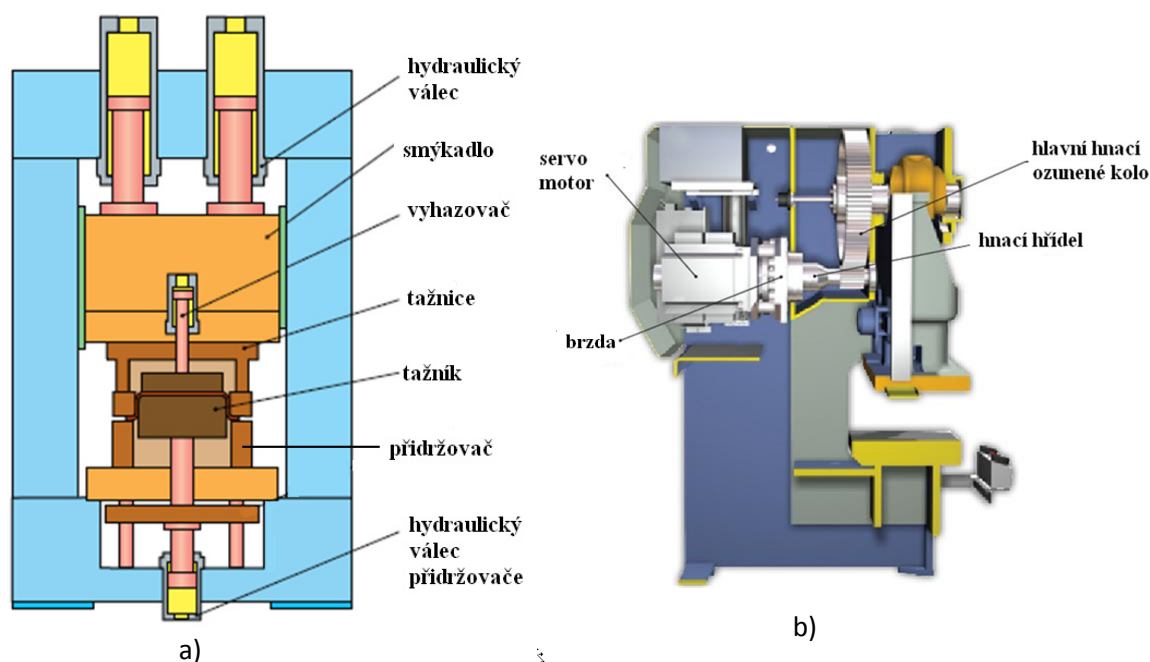
Moderní trendy v konstrukci lisů:

- regulace rychlosti a síly během zdvihu smýkadla, např. pomocí servomotorů
- zvýšení produktivity (vyšší počet zdvihů za minutu)
- regulace tlaku přidržovače během zdvihu smýkadla
- počítačová podpora
- snížení času potřebného pro výměnu nástroje a přestavení lisu pro jinou výrobu
- automatizace výměny nástrojů
- automatizace toku materiálu v lisovně
- senzorika pro hlídání lisů proti poškození
- snižování hlučnosti lisů



1 – výtažek, 2 – tažník, 3 – tažnice, 4 – přidržovač, 5 - tažné smýkadlo, 6 - přidržovací smýkadlo, 7 – ojnice tažného smýkadla, 8 – ojnice přidržovacího smýkadla, 9 – hydraulický přidržovač, 10 – mechanismus pro nastavení tažného smýkadla, 11 – mechanismus pro nastavení přitlačného smýkadla, 12 – odtlačovací čep, 13 – základ lisu, 14 – rám lisu

3.36 Lis a) jednočinný s hydraulickým přidržovačem, b) dvojčinný [10]



3.37 Lis a) hydraulický, b) výstředníkový se servomotorem (Aida ServoPro) [10], [24]

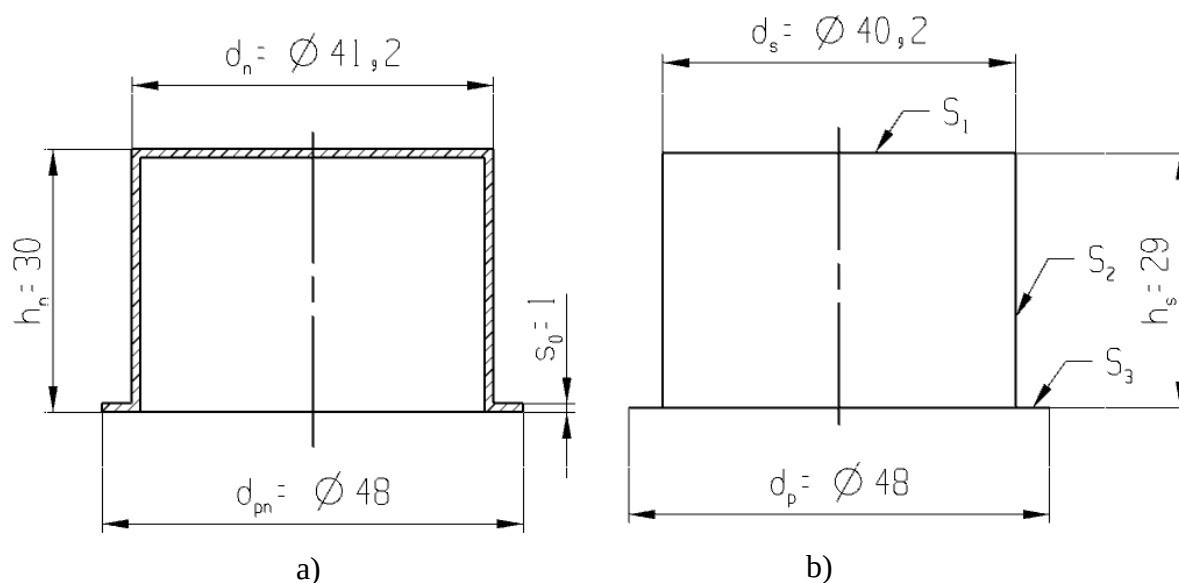
4. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI

4.1 Výrobní postup

1. operace – vystřížení přístřihu

Výpočet velikosti střednicové plochy výtažku

Tvar výtažku je dobré před výpočtem zjednodušit. Odstranit je možné všechny otvory a také rádiusy, které nedosahují $8 \cdot s_0$. Tvar výtažku po zjednodušení je zobrazen na obr. 4.1 a.



Obr. 4.1 a) výtažek po zjednodušení tvaru, b) střednicová plocha zjednodušeného výtažku

Výpočet povrchu jednotlivých částí

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 40,2^2}{4} = 1268,6 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \pi \cdot d_s \cdot h_s = 3,14 \cdot 40,2 \cdot 29 = 3662,5 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_p^2 - d_s^2) = \frac{3,14}{4} \cdot (48^2 - 40,2^2) \cdot 28 = 540,4 \text{ mm}^2$$

Celkový objem výtažku bez děr a přídavek na zastřížení

$$S_V = S_1 + S_2 + S_3 = 1268,6 + 3662,5 + 540,4 = \underline{5471,5 \text{ mm}^2}$$

Výpočet velikosti přístřihu D_t z rovnosti ploch

Průměr přístřihu D_t bez přídavek

$$S_V = \frac{\pi \cdot D_t^2}{4} \Leftrightarrow D_t = \sqrt{\frac{4 \cdot S_V}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5471,5}{\pi}} = \underline{83,5 \text{ mm}}$$

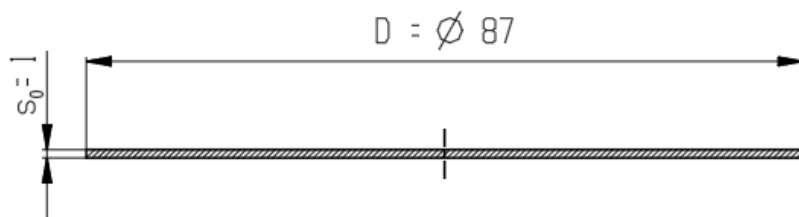
Výpočet průměru přístřihu D_t podle vzorce (3.22)

$$D_t = \sqrt{D_p^2 + 4 \cdot D_s \cdot h} = \sqrt{48^2 + 4 \cdot 40,2 \cdot 29} = \underline{83,5 \text{ mm}}$$

Průměr přístřihu D_t je nutné zvětšit o přídavek na zastřižení. Podle ČSN 22 7301 se průměr zvětšuje o 3% procenta pro 1. tažnou operaci a 1% procento pro každou další tažnou operaci. Tento výtažek na zhotovení vyžaduje dvě tažné operace a jednu kalibrační operaci pro zmenšení rádiusů (důkaz níže). Celkem je třeba průměr D_t zvětšit o 4% (3% procenta pro 1. tažnou operaci a 1% procento pro 2. tažnou operaci, kalibrační operaci záměrně nepočítám, protože v ní nedochází k velkým přesunům materiálu – cípovitost se nebude zvětšovat).

Průměr přístřihu s přídavkem D

$$D = 1,04 \cdot D_t = 1,04 \cdot 83,4 = 86,8 \cong \underline{87 \text{ mm}}$$



Obr. 4.2 Přístřih

2. operace – 1. tah

Počet tažných operací

Výtažek lze zhotovit na jednu operaci pokud $\frac{s_0}{D} \cdot 100$ a $\frac{d_p}{d_s}$ s bude poměrná hloubka $\frac{h_s}{d_s}$ odpovídat nebo bude menší, než jsou hodnoty v tab. 3.6

$$\frac{s_0}{D} \cdot 100 = \frac{1}{87} \cdot 100 = 1,15 \text{ a } \frac{d_p}{d_s} = \frac{48}{40,2} = 1,19$$

$$\frac{h_s}{d_s} = \frac{29}{40,2} = 0,72$$

Nelze táhnout na jednu operaci.

Určení počtu tažných operací dle vztahu (3.31)

$$n = \frac{h_s}{d_s} = \frac{29}{40,2} = 0,72 \rightarrow \text{dle tab. 3.4 je nutné táhnout na dvě operace}$$

Určení počtu tažných operací dle vztahu (3.30)

Hodnoty součinitelů m_1 a $\dot{m}$ volím dle tab. 3.5

$$n = 1 + \frac{\ln(d_s) - \ln(m_1 \cdot D)}{\ln(\dot{m})} = 1 + \frac{\ln(40,2) - \ln(0,50 \cdot 87)}{\ln(0,75)} = 1,7 \cong 2$$

Výsledky obou metod se shodují, zhotovení daného tvaru vyžaduje dvě tažné operace.

Průměr výtažku pro 1. tah dle vztahu (3.23)

pro první tah (dle tab. 3.5) volím součinitel tažení $m_1 = 0,55$

$$d_{s2} = m_1 \cdot D = m_1 \cdot 0,55 = 47,4 \text{ mm}$$

Poloměr zaoblení tažnice dle vztahu (3.41)

$$R_{te2} = 0,8 \sqrt{(D - d_{s2}) \cdot s_0} = 0,8 \cdot \sqrt{(87 - 48,4) \cdot 1} = 4,95 \cong 5 \text{ mm}$$

Poloměr zaoblení tažníku dle vztahu (3.44)

Pro průměr výtažku v rozmezí 10 až 100 má být zaoblení tažníku $R_{tu} = (3 \text{ až } 4) \cdot s_0$

$$R_{tu2} = 3 \text{ mm}$$

Tvar výtažku (s přírubou, nebo bez příruby)

U výtažků s menšími rozměry příruby, u kterých je splněna podmínka $\frac{d_p}{d_s} < 1,2$ a $\frac{h_s}{d_s} > 1$ se v první operaci táhnou bez příruby.

$$\frac{d_p}{d_s} = \frac{48}{40,2} = 1,19 \quad \text{a} \quad \frac{h_s}{d_s} = \frac{29}{40,2} = 0,72$$

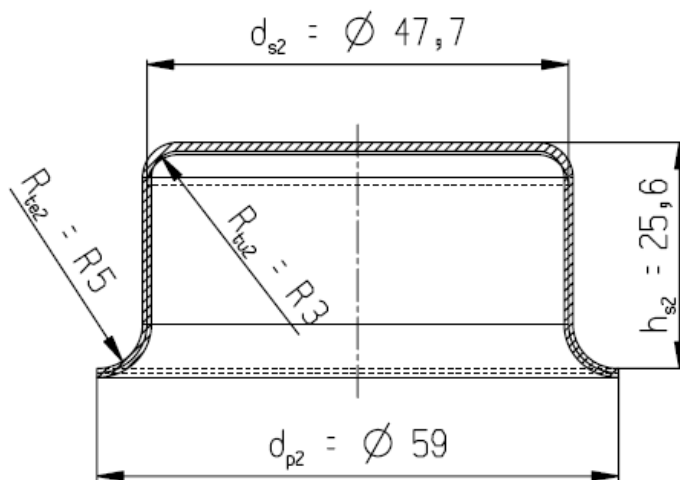
Podmínka $\frac{h_s}{d_s} > 1$ není splněna, je tedy nutné v první operaci táhnout s přírubou.

Průměr příruby

$$d_{p2} = d_{s2} + s_0 + 2 \cdot R_{te2} = 47,7 + 1 + 2 \cdot 5 = 59 \text{ mm}$$

Výška výtažku dle vztahu (3.32)

$$h_{s2} = 0,25 \cdot \left(\frac{D}{m_1} - \frac{d_{p2}^2}{d_{s2}^2} + 3,44 \cdot R_{tu2} \right) = 0,25 \cdot \left(\frac{87}{0,55} - \frac{59^2}{47,7^2} + 3,44 \cdot 5 \right) = 25,6 \text{ mm}$$



Obr. 4.3 Díl po 2. operaci, po 1. tahu

3. operace – 2. tah

Průměr výtažku

Ve druhém tahu vznikne průměr $d_s = d_{s3} = 40,2$. Součinitel tažení m_2 má podle vztahu (3.24) velikost:

$$m_2 = \frac{d_{s3}}{d_{s2}} = \frac{40,2}{47,4} = 0,84 \rightarrow \text{součinitel vyhovuje povoleným limitům tab. 3.5.}$$

Poloměr zaoblení tažnice dle vztahu (3.42)

$$R_{te3} = \frac{d_{s2} - d_{s3}}{2} - s_0 = \frac{47,7 - 40,2}{2} - 1 = 2,75 \cong 3 \text{ mm}$$

Poloměr zaoblení tažníku

V dalších tazích poloměr zmenšujeme na jednu polovinu až jednu třetinu poloměru předchozího, vždy však R_{tu} má být větší nebo rovno poloměru zaoblení na hotové součásti.

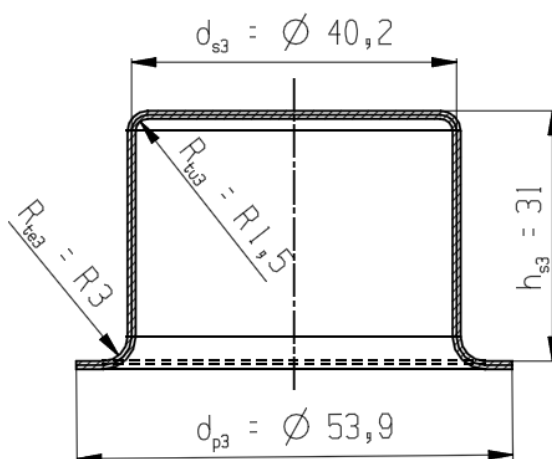
$$R_{tu3} = \frac{1}{2} R_{tu2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ mm}$$

Průměr příruby

$d_{p3} = d_{p4} = 53,9$ (stejný průměr jako v dalším kroku, výpočet průměru příruby d_{p4} níže)

Výška výtažku

$$\begin{aligned} h_{s3} &= 0,25 \cdot \left(\frac{D}{m_1 \cdot m_2} - \frac{d_{p3}^2}{d_{s3}^2} + 3,44 \cdot R_{tu3} \right) \\ &= 0,25 \cdot \left(\frac{87}{0,55 \cdot 0,85} - \frac{53,9^2}{40,2^2} + 3,44 \cdot 1,5 \right) = 31,0 \text{ mm} \end{aligned}$$



Obr. 4.4 Díl po 3. operaci – 2. tahu

4. operace - kalibrace

Průměr výtažku

$$d_{s4} = d_s = 40,2 \text{ mm}$$

Poloměr zaoblení tažnice

V kalibrovací operaci bude rádius na tažnici shodný s rádiusem u příruby na hotovém díle.

$$R_{te4} = \underline{0,5 \text{ mm}}$$

Poloměr zaoblení tažníku

V kalibrovací operaci bude rádius na tažníku shodný s rádiusem u dna na hotovém díle.

$$R_{tu4} = \underline{0,5 \text{ mm}}$$

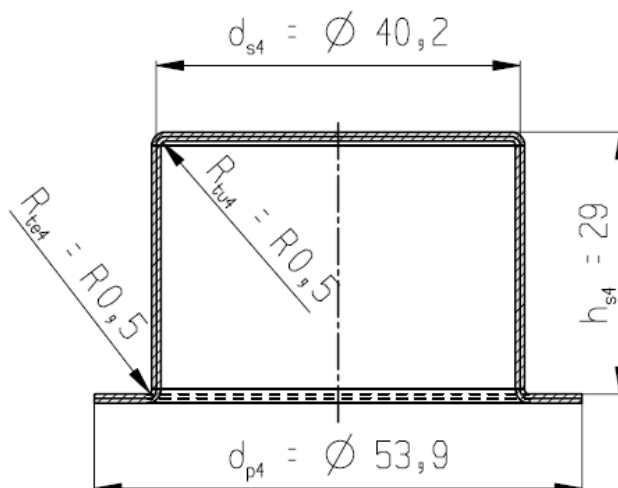
Průměr příruby dle vztahu (3.22)

Výpočet vychází ze zákona zachování objemu. Protože rádiusy jsou malé, lze je zanedbat.

$$D = \sqrt{d_{p4}^2 + 4 \cdot d_{s4} \cdot h_s} \leftrightarrow d_{p3} = \sqrt{D^2 - 4 \cdot d_{s4} \cdot h_{s4}} = \sqrt{87^2 - 4 \cdot 40,2 \cdot 29} = \underline{53,9 \text{ mm}}$$

Výška výtažku

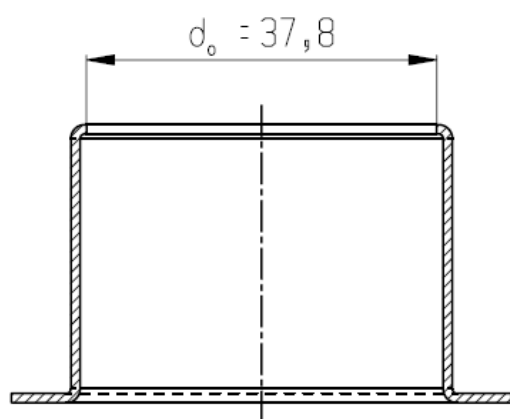
$$h_{s4} = h_s = 29$$



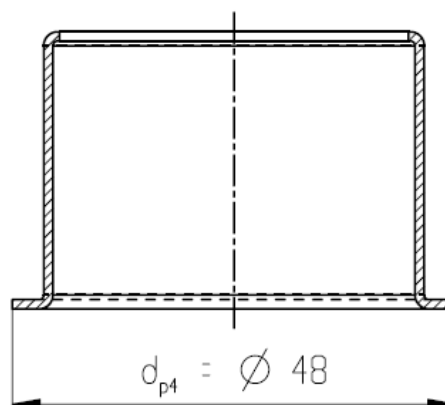
Obr. 4.5 Díl po 4. operaci - kalibrace

5. operace – děrování otvoru ve dně

6. operace – odstřížení přídavku na přírubě

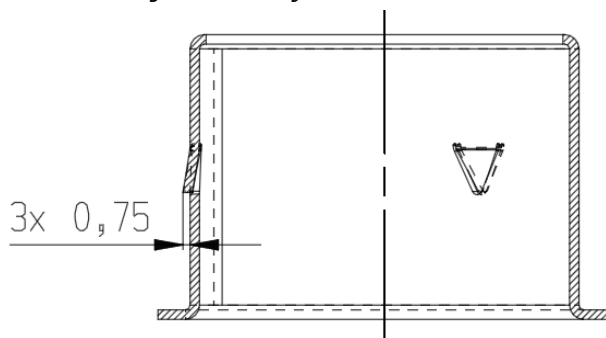


Obr. 4.6 Díl po 5. operaci



Obr. 4.7 Díl po 6. operaci

7. operace – prostřížení tří trojúhelníkových otvorů



Obr. 4.8 Díl po 7. operaci

4.2 Pracovní schémata nástrojů

1. operace – vystřížení přístřihu

Střížná vůle dle vtahu (3.1)

$$v_1 = 2 \cdot z_s = 2 \cdot c \cdot s_0 \cdot \sqrt{\frac{\tau_{ps}}{10}} = 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot 0,8}{10}} = \underline{0,22 \text{ mm}}$$

Průměr střížnice dle přílohy č. 4

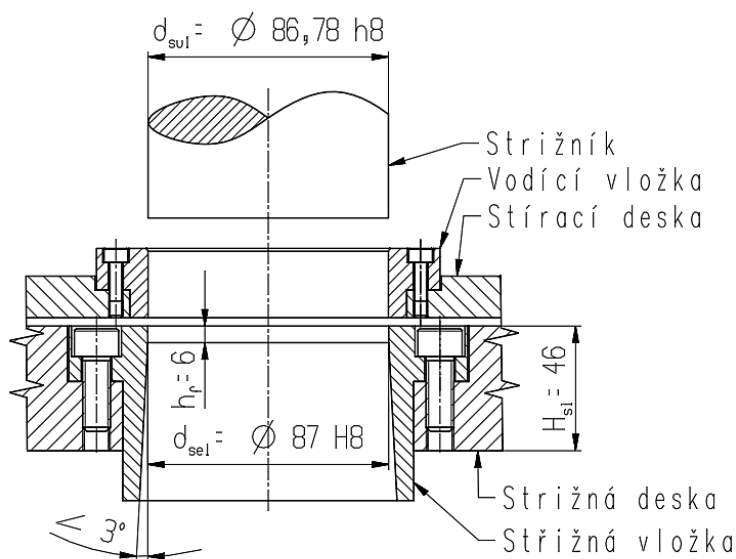
$$d_{se1} = D = \underline{87 \text{ mm}}$$

Průměr střížníku

$$d_{su1} = d_{se1} - v_1 = 87 - 0,22 = \underline{86,726 \text{ mm}}$$

Tloušťka střížnice dle vztahu (3.12)

$$H_{s1} = \sqrt[3]{F_s} = \sqrt[3]{102278,6} = \underline{46,3 \text{ mm}}$$



Obr. 4.9. Schéma nástroje pro 1. operaci

2. operace – 1. tah

Tažná mezera dle vtahu (3.47)

$$z_2 = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot s_0 = 1,3 \cdot 1 = \underline{1,3 \text{ mm}}$$

Průměr tažnice

$$d_{te2} = d_{s2} + s_0 = 47,7 + 1 = \underline{48,7 \text{ mm}}$$

Průměr tažníku

$$d_{tu2} = d_{te2} - 2 \cdot z_2 = 48,7 - 2 \cdot 1,3 = 46,1 \text{ mm}$$

Délka válcové části tažnice dle vtahu (3.50)

$$H_{te2} = (3 \div 5) \cdot s_0 = 4 \cdot 1 = \underline{4 \text{ mm}}$$

Výpočet potřeby přidržovače dle vztahu (3.35)

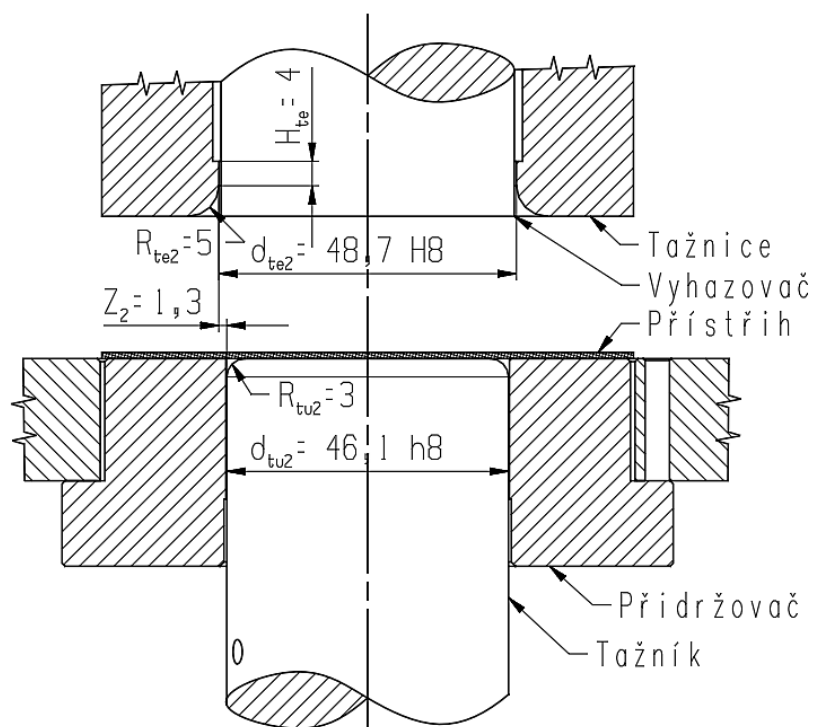
Je možné táhnout bez přidržovače, pokud platí tyto vztahy:

$$s_{r2} = \frac{s_0}{D} \cdot 100 \geq 2\% \quad \text{a zároveň} \quad m_1 = \frac{d_{s1}}{D} \geq 0,6$$

$$s_{r2} = \frac{s_0}{D} = \frac{1}{87} \cdot 100 = 1,1\% < 2\% \rightarrow \text{nesplňuje podmínku}$$

$$m_1 = \frac{d_{s2}}{D} = \frac{47,7}{87} = 0,55 < 0,6 \rightarrow \text{nesplňuje podmínku}$$

Protože $s_{r2} < 2\%$ a zároveň $m_1 < 0,6$ je nutné táhnout s přidržovačem.



Obr. 4.10 Schéma nástroje pro 2. operaci

3. operace – 2. tah

Tažná mezera dle vtahu (3.48)

$$z_3 = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot s_0 = 1,1 \cdot 1 = \underline{1,1 \text{ mm}}$$

Průměr tažnice

$$d_{te3} = d_n + z_3 - s_0 = 41,2 + 1,1 - 1 = \underline{41,3 \text{ mm}}$$

Průměr tažníku

$$d_{tu3} = d_{te3} - (2 \cdot z_3) = 41,3 - 2 \cdot 1,1 = \underline{39,1 \text{ mm}}$$

Délka válcové části tažnice dle vtahu (3.50)

$$H_{te3} = (3 \div 5) \cdot s_0 = 4 \cdot 1 = \underline{4 \text{ mm}}$$

Výpočet potřeby přidržovače dle vztahu (3.36)

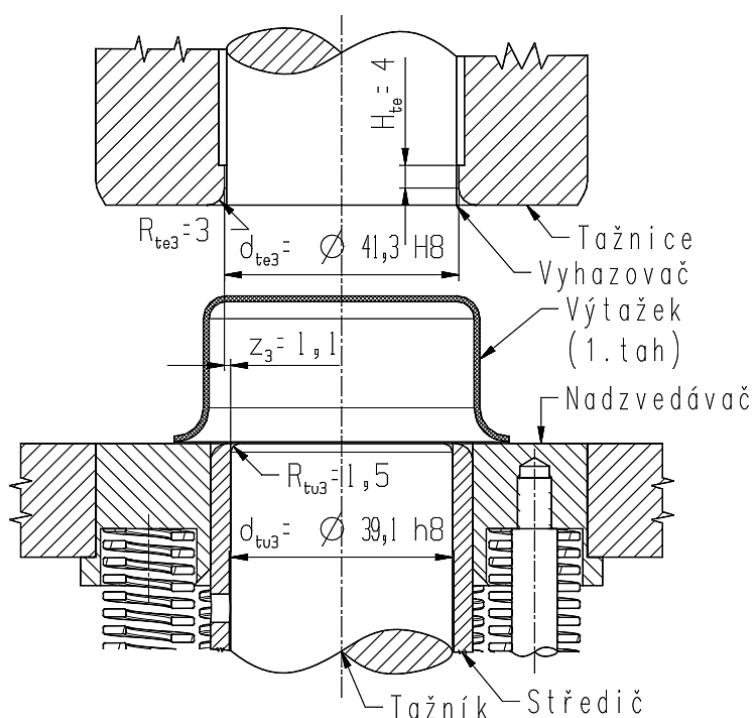
Je možné táhnout bez přidržovače, pokud platí tyto vztahy:

$$s_r = \frac{s_0}{d_{s2}} \cdot 100 \geq 1,5\% \quad \text{a zároveň} \quad m_2 = \frac{d_{s3}}{d_{s2}} \geq 0,8$$

$$s_r = \frac{s_0}{d_{s2}} \cdot 100 = \frac{1}{47,7} \cdot 100 = 2,1\% > 1,5\% \rightarrow \text{splňuje podmínku}$$

$$m_2 = \frac{d_{s3}}{d_{s2}} = \frac{40,2}{47,7} = 0,84 < 0,8 \rightarrow \text{splňuje podmínku}$$

Protože $s_r > 2,1\%$ $m_2 > 0,8$ není nutné táhnout s přidržovačem.



Obr. 4.11 Schéma nástroje pro 3. operaci

4. operace – kalibrace

Tažná mezera dle vtahu (3.49)

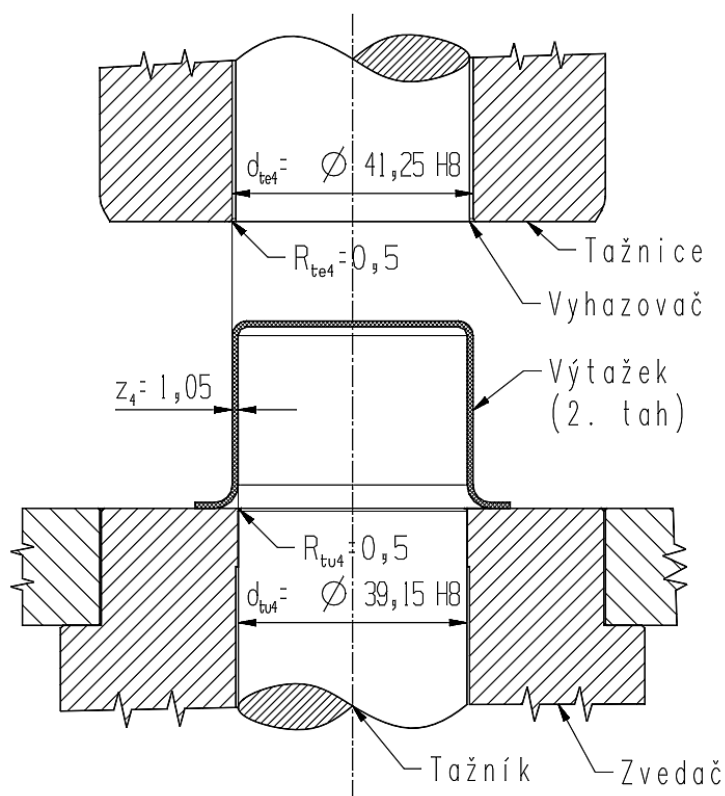
$$z_4 = (1,00 \text{ až } 1,05) \cdot s_0 = 1,05 \cdot 1 = \underline{1,05 \text{ mm}}$$

Průměr tažnic

$$d_{te4} = d_n + z_4 - s_0 = 41,2 + 1,05 - 1 = \underline{41,25 \text{ mm}}$$

Průměr tažníku

$$d_{tu4} = d_{te4} - 2 \cdot z_4 = 41,25 - 2 \cdot 1,05 = \underline{39,15 \text{ mm}}$$



Obr. 4.12 Schéma nástroje pro 4. operaci

5. operace – děrování otvoru ve dně

Střižná vůle vtahu (3.1)

$$v_5 = v_1 = \underline{0,22 \text{ mm}}$$

Průměr střižníku dle přílohy č. 4

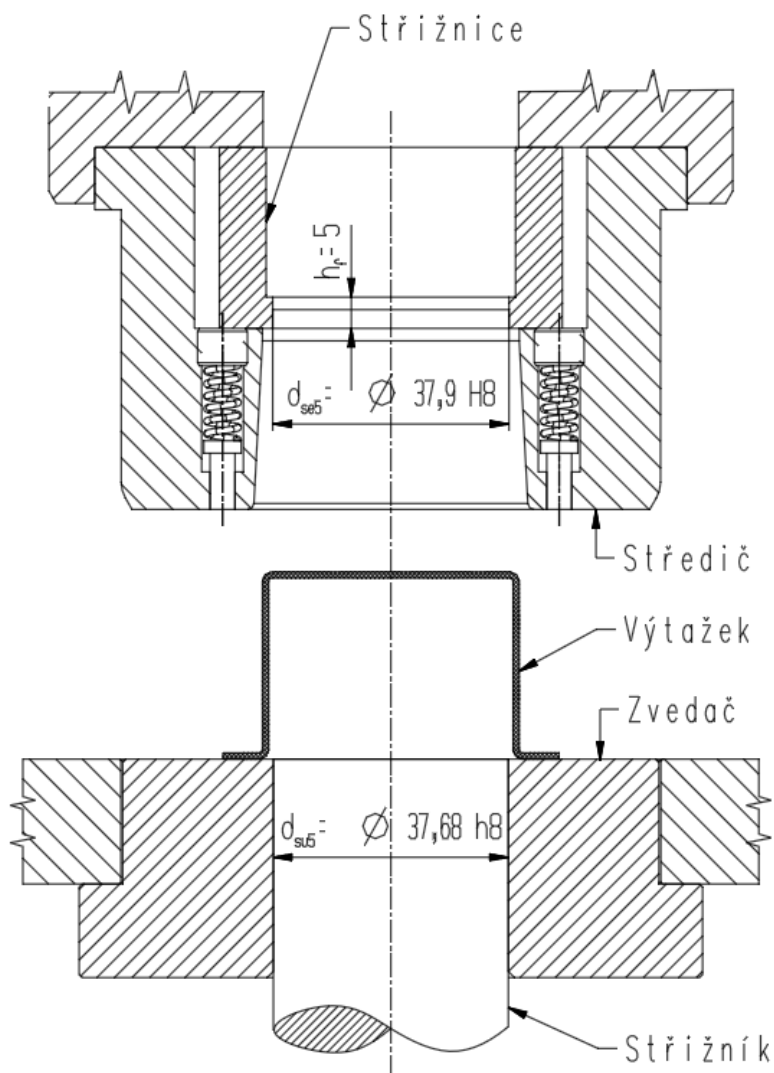
$$d_{su5} = (d_o - 0,8 \cdot U_s) - P_k = (37,8 - 0,8 \cdot 0,2) + 0,039 = \underline{37,679 \text{ mm}}$$

kde: U_s – spodní úchylka tolerance [mm]

P_k – výrobní tolerance střižníku [mm]

Průměr střížnice

$$d_{se5} = d_{su5} + v_5 = 37,68 + 0,22 = \underline{37,899 \text{ mm}}$$



Obr. 4.12 Schéma nástroje pro 5. operaci

6. operace – odstrizení přídavku na přírubě

Střížná vůle vtahu (3.1)

$$v_6 = v_1 = \underline{0,22 \text{ mm}}$$

Průměr střížnice dle přílohy č. 4

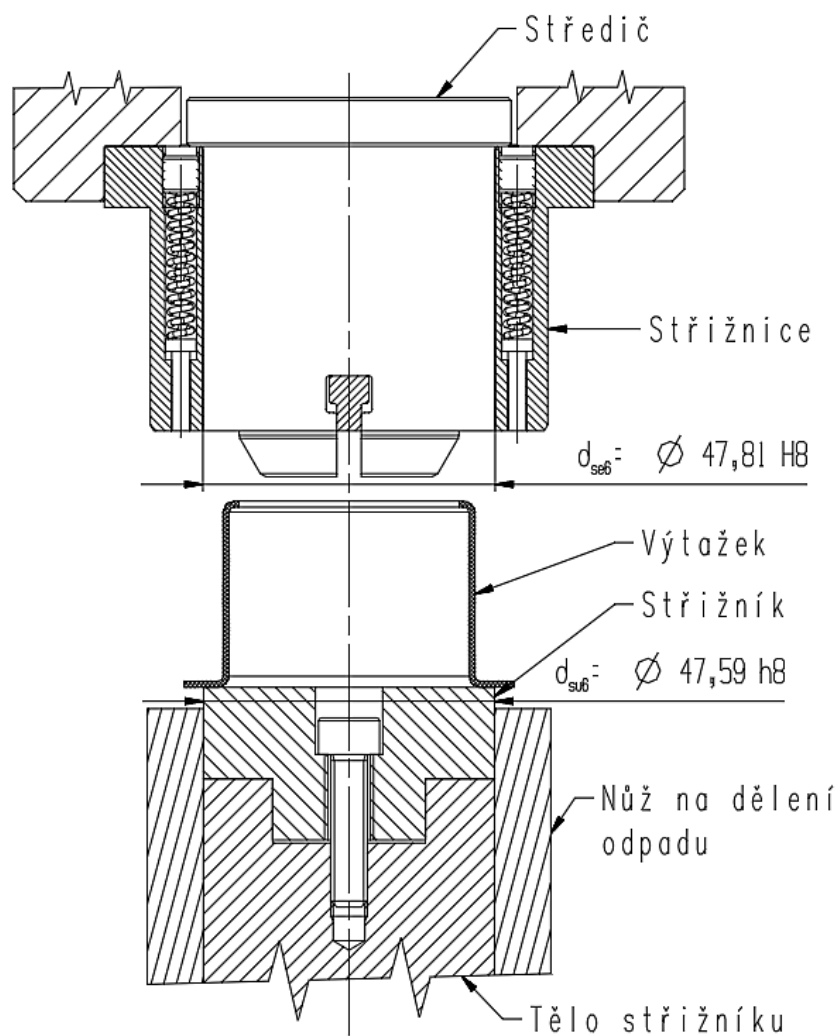
$$d_{se6} = (d_p - 0,8 \cdot U_s) + P_s = (48 - 0,8 \cdot 0,3) + 0,046 = \underline{47,806 \text{ mm}}$$

kde: U_s – spodní úchylka tolerance [mm]

P_s – výrobní tolerance střížnice [mm]

Průměr střížníku

$$d_{su6} = d_{se6} - v_6 = 47,806 - 0,22 = \underline{47,586 \text{ mm}}$$



Obr. 4.13 Schéma nástroje pro 6. operaci

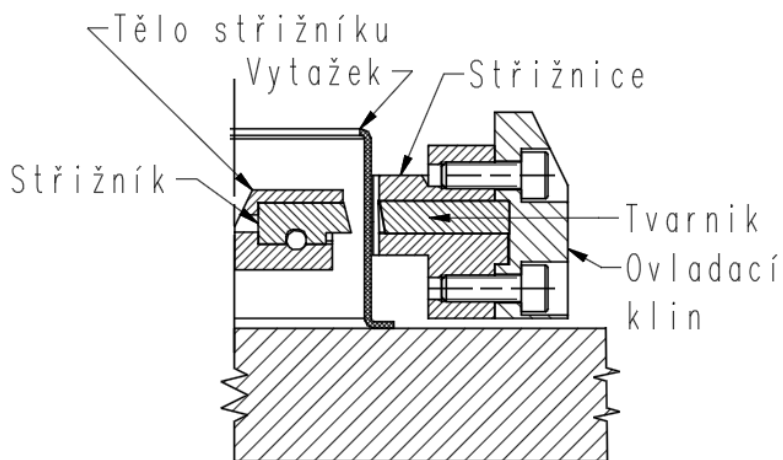
7. operace – prostřížení tří trojúhelníkových otvorů

Střižná vůle vtahu (3.1)

$$v_7 = v_1 = \underline{0,22 \text{ mm}}$$

Rozměry střižníku a střižnice

O střižnou vůli zmenšen střižník.



Obr. 4.14 Schéma nástroje pro 7. operaci

4.3 Výpočet sil

1. operace – vystřížení přístříhu

Střížná síla dle vztahu (3.3)

$$F_{S1} = \tau_{ps} \cdot l \cdot s_0 \cdot k = R_m \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot D \cdot s_0 \cdot k = 360 \cdot 0,8 \cdot 3,14 \cdot 87 \cdot 1 \cdot 1,3 = \underline{102278,6 \text{ N}}$$

Stírací síla dle vztahu (3.6)

$$F_{st1} = F_{s1} \cdot c_{st} = 102278,6 \cdot 0,1 = \underline{10227,9 \text{ N}}$$

Síla na protlačení výstřížku dle vztahu (3.5)

$$F_{Pr1} = (0,02 \text{ až } 0,05) \cdot F_{s1} \cdot n_v = 0,05 \cdot 102278,6 \cdot 1 = \underline{5113,9 \text{ N}}$$

Celková síla – minimální síla lisu na operaci

$$F_{C1} = F_{st1} + F_{Pr1} = 102278,6 + 5113,9 = \underline{107392,5 \text{ N}}$$

2. operace – 1. tah

Tlak přidržovače dle vztahu (3.39)

$$\begin{aligned} p_2 &= (0,002 \div 0,003) \cdot \left[\left(\frac{D}{d_{s2}} - 1 \right)^3 + \frac{d_{s2}}{200 \cdot s_0} \right] \cdot R_m = \\ &= 0,0025 \cdot \left[\left(\frac{87}{47,4} - 1 \right)^3 + \frac{47,4}{200 \cdot 1} \right] \cdot 325 = \underline{0,67 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

Síla přidržovače dle vztahu (3.38), tlak $p_2 = 0,67 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} F_{p2} &= S_{p2} \cdot p_2 = \frac{\pi}{4} \cdot [D^2 - (d_{te2} + 2 \cdot R_{te2})^2] \cdot p_2 = \frac{\pi}{4} \cdot [87^2 - (48,4 + 2 \cdot 5)^2] \cdot 0,67 = \\ &= \underline{2188 \text{ N}} \end{aligned}$$

Síla přidržovače dle vztahu (3.38) po dosažení hodnoty tlaku z tabulky přílohy č. 2 pro doporučené tlaky přidržovačů, tlak $p_2 = 2,05 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} F_{p2} &= S_{p2} \cdot p_2 = \frac{\pi}{4} \cdot [D^2 - (d_{te2} + 2 \cdot R_{te2})^2] \cdot p_2 = \frac{\pi}{4} \cdot [87^2 - (48,4 + 2 \cdot 5)^2] \cdot 2,05 = \\ &= \underline{6695 \text{ N}} \end{aligned}$$

Tažná síla dle vztahu (3.16)

$$\begin{aligned} F_{t2} &= 2 \cdot \pi \cdot \frac{d_{s2}}{2} \cdot s_0 \cdot \left[\left(\gamma \cdot Re \cdot \ln \frac{D}{d_{s1}} + \frac{\mu \cdot F_{p2}}{\frac{D}{2} \cdot \pi \cdot s_0} \right) \cdot e^{\mu \cdot \alpha} + \frac{R_m}{2 \cdot \frac{R_{te2}}{s_0} + 1} \right] = \\ &= 2 \cdot \pi \cdot \frac{47,4}{2} \cdot 1 \cdot \left[\left(1,15 \cdot 210 \cdot \ln \frac{87}{47,4} + \frac{0,15 \cdot 6695}{\frac{87}{2} \cdot \pi \cdot 1} \right) \cdot 1,24 + \frac{350}{2 \cdot \frac{5}{1} + 1} \right] = \\ &= \underline{33176 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$e^{\mu \cdot \alpha} = 1 + \mu \cdot \alpha = 1 + \mu \cdot \frac{\pi}{2} = 1 + 1,6 \cdot 0,15 = 1,24$$

Tažná síla dle vztahu (3.15)

$$F_{t2} = \frac{\hat{k}}{\eta} \cdot \left[\pi \cdot d_{s2} \cdot s_0 \cdot R_e \cdot \left(\ln \frac{D}{d_{s2}} + \frac{s_0}{2 \cdot \rho} \right) + 2 \cdot \mu \cdot \frac{d_{s2}}{D} \cdot F_{p2} \right] =$$

$$= \frac{1,65}{0,76} \cdot \left[\pi \cdot 47,4 \cdot 1 \cdot 210 \cdot \left(\ln \frac{87}{47,4} + \frac{1}{2 \cdot 5,5} \right) + 2 \cdot 0,15 \cdot \frac{47,4}{87} \cdot 6697 \right] = \underline{48590 N}$$

Poloměr zakřivení střední vrstvy plechu ρ na tažné hraně tažnice:

$$\rho = R_{te1} + \frac{s_0}{2} = 5 + \frac{1}{2} = 5,5$$

Závislosti koeficientu zpevnění $\hat{k}$ na $\frac{D}{d_{s1}}$ pro ocelový hlubokotažný plech:

$$\hat{k} = 1,65 \text{ hodnota vyčtená z grafu } \left(\frac{D}{d_{s2}} = \frac{87}{47,7} 1,84; \frac{R_{te2} + R_{tu2}}{d_{s2}} = \frac{5+3}{47,4} = 0,16 \right)$$

Koeficient η závislý na úhlu opásání tažné hrany α a na koeficientu tření μ (tabulka přílohy č. 3)

$$\alpha = \frac{\pi}{2}; \mu = 0,15$$

$$\eta = 1 - \mu \cdot \alpha = 1 - 0,15 \cdot \frac{\pi}{2} = 0,76$$

Síla na utržení dna dle vztahu (3.17)

$$k_1 = 1 \text{ dle tab. 3.3}$$

$$F_{tu2} = \pi \cdot d_{s2} \cdot s_0 \cdot k_1 \cdot R_m = \pi \cdot 47,4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 360 = \underline{52422,3 N}$$

Celková síla – minimální síla lisu na operaci

$$F_{c2} = F_{tu2} + F_{p2} = 52422,3 + 6695 = \underline{59117,3 N}$$

3. operace – 2. tah

Síla na utržení dna dle vztahu (3.18)

$$k_i = 0,7 \text{ dle tab. 3.3}$$

$$F_{tu3} = F_{c3} = \pi \cdot d_{s3} \cdot s_0 \cdot k_3 \cdot R_m = \pi \cdot 40,2 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 350 = 31809,5 N$$

4. operace – kalibrace

Síla na kalibrování rádiusů a průměru 41,2±0,2

Při tažení s kalibrováním se tažná síla zvětšuje 3x až 5x

$$F_{tu4} = F_{c4} = \pi \cdot d_{s3} \cdot s_0 \cdot k_i \cdot R_m \cdot (1,5 \div 3) = \pi \cdot 40,2 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 360 \cdot 3 = \underline{95428 N}$$

5. operace – děrování otvoru ve dně

Střížná síla dle vztahu (3.3)

$$F_{s5} = \tau_{ps} \cdot l \cdot s_0 \cdot k = R_m \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot d_o \cdot s_0 \cdot k = 360 \cdot 0,8 \cdot 3,14 \cdot 37,8 \cdot 1 \cdot 1,3 = \underline{44438,3 \text{ N}}$$

Stírací síla dle vztahu (3.6)

$$F_{st5} = F_{s5} \cdot c_{st} = 44438,3 \cdot 0,1 = \underline{4443,8 \text{ N}}$$

Síla na protlačení výstřížku dle vztahu (3.5)

$$F_{Pr5} = (0,02 \text{ až } 0,05) \cdot F_{s5} \cdot n_v = 0,05 \cdot 44438,3 \cdot 5 = \underline{11109,6 \text{ N}}$$

Celková síla – minimální síla lisu na operaci

$$F_{C5} = F_{st5} + F_{Pr5} = 44438,3 + 11109,6 = \underline{55547,9 \text{ N}}$$

6. operace – odstřížení přídavku na přírubě

Střížná síla dle vztahu (3.3)

$$F_{s6} = \tau_{ps} \cdot l \cdot s_0 \cdot k = R_m \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot d_o \cdot s_0 \cdot k = 360 \cdot 0,8 \cdot 3,14 \cdot 48 \cdot 1 \cdot 1,3 = \underline{56429,6 \text{ N}}$$

Stírací síla dle vztahu (3.6)

$$F_{st6} = F_s \cdot c_{st6} = 56429,6 \cdot 0,1 = \underline{5643,0 \text{ N}}$$

Síla na protlačení výstřížku dle vztahu (3.5)

$$F_{Pr1} = (0,02 \text{ až } 0,05) \cdot F_{s1} \cdot n_v = 0,05 \cdot 54862,1 \cdot 3 = \underline{8464,4 \text{ N}}$$

Celková síla – minimální síla lisu na operaci

$$F_{C5} = F_{st5} + F_{Pr5} = 54862,1 + 8464,4 = \underline{63326,1 \text{ N}}$$

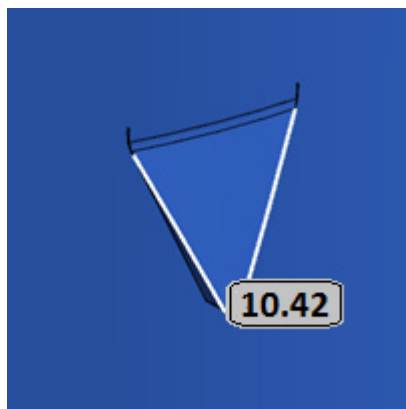
7. operace – prostřížení tří trojúhelníkových otvorů

Střížná síla na prostřížení tří trojúhelníkových otvorů dle vztahu (3.3)

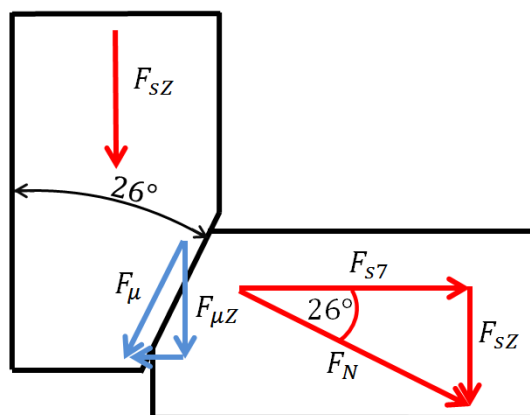
$$F_{s7} = \tau_{ps} \cdot l \cdot s_0 \cdot k = R_m \cdot 0,8 \cdot 3 \cdot 10,4 \cdot s_0 \cdot k = 360 \cdot 0,8 \cdot 3 \cdot 10,4 \cdot 1 \cdot 1,3 = \underline{11681,3 \text{ N}}$$

Stírací síla na třech střížnicích dle vztahu (3.6)

$$F_{st7} = F_{s7} \cdot c_{st} = 11681,3 \cdot 0,1 = \underline{1168,1 \text{ N}}$$



a)



b)

Obr. 4.15 a) Měření délky střížené plochy (CAD NX), b) schéma sil při stříhání

Výpočet síly F_{sC} působící v ose z na prostřížení tří otvorů

Střížná síla v ose z

$$F_{sZ} = \tan 26^\circ \cdot F_{s7} = 5697,4 \text{ N}$$

Třecí síla F_μ

$$F_\mu = F_N \cdot \mu = \frac{F_{s7}}{\cos 26^\circ} \cdot \mu = \frac{11681,3}{\cos 26^\circ} \cdot 0,15 = 1949,5 \text{ N}$$

Třecí síla v ose z $F_{\mu Z}$, koeficient tření $\mu = 0,15$

$$F_{\mu Z} = \cos 26^\circ \cdot F_N \cdot \mu = \cos 26^\circ \cdot \frac{F_{s7}}{\cos 26^\circ} \cdot 0,15 = 1752,2$$

$$F_{sC} = F_{\mu Z} + F_{sZ} = 1752,2 + 5697,4 = \underline{7449,6 \text{ N}}$$

Výpočet stírací síly působící v ose z

$$F_{stZ7} = F_{sC} \cdot 0,1 = 7449,6 \cdot 0,1 = \underline{745,0 \text{ N}}$$

Celková síla – minimální síla lisu na operaci

V tomto případě je nutné celkovou sílu navýšit o sílu pružin pro stírání materiálu ze střížníku.

$$F_{C7} = F_{sC} + F_{stZ7} = 7449,6 + 745,0 = \underline{8194,6 \text{ N}}$$

Celková síla

Vystřížení přístřihu proběhne 70 mm před spodní úvratí (viz kapitola 6.2), proto sílu F_{C1} do výpočtu nezahrnuji.

$$F_C = F_{C2} + F_{C3} + F_{C4} + F_{C5} + F_{C6} + F_{C7} = 59117,3 + 31809,5 + 95428 + 55547,9 + 63326,1 + 8194,6 = 313423,4 \text{ N} = \underline{313,423 \text{ kN}}$$

5. STROJ

Vhodnost lisu v tomto případě určuje: jmenovitá síla lisu, velikost zdvihu, sevření, rozměry stolu a beranu, možnost automatizace, vybavení lisu (přidržovač, vyhazovač, atd.).

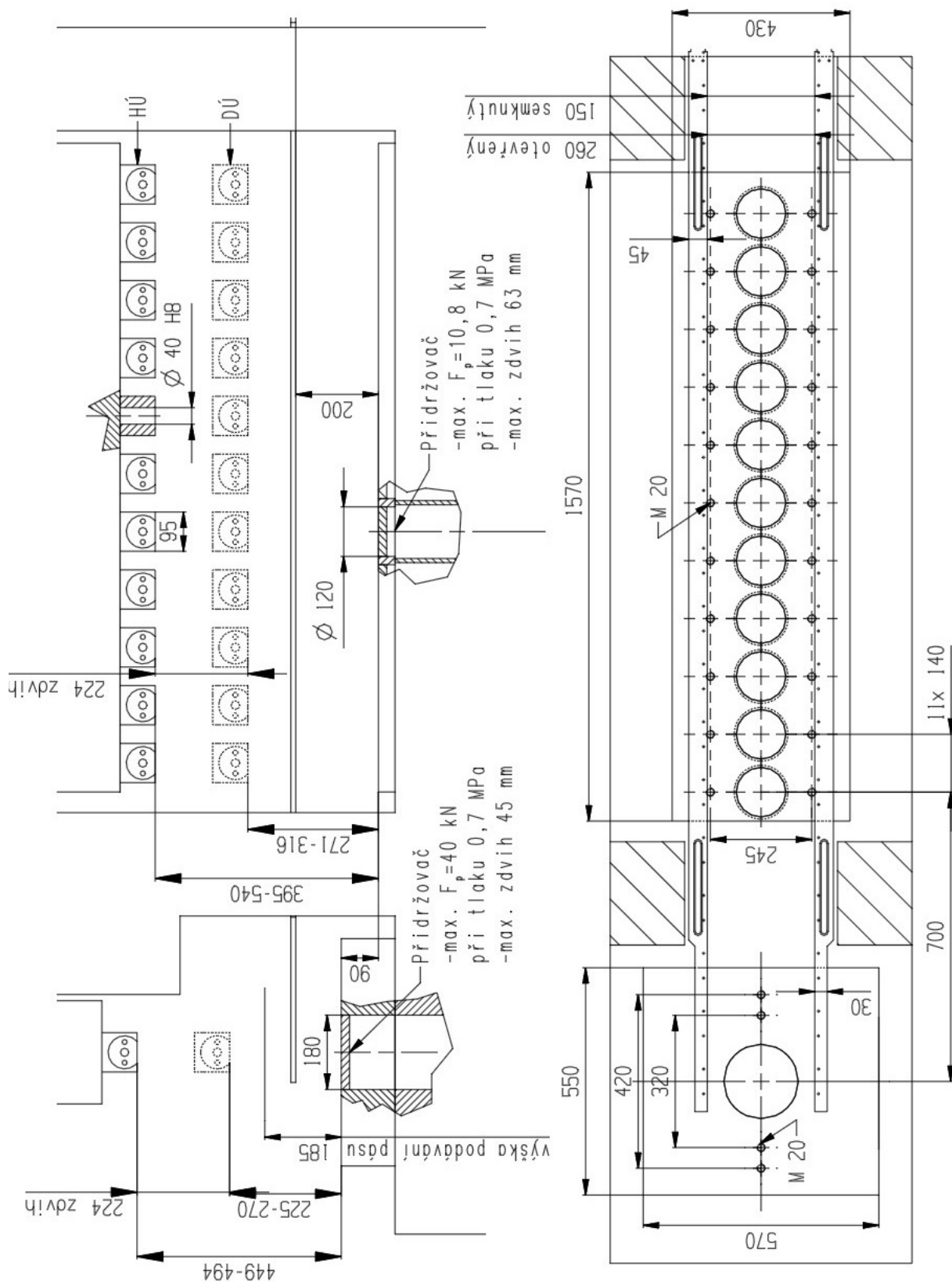
Podle výše uvedených výpočtů volím postupový lis PAUST 40 výrobce VVB Werkzeugmaschinen und Werkzeuge (WMW) Zeulenroda.

Popis lisu

Jedná se o postupový automat určený především pro velkosériovou a hromadnou výrobu výlisků z plechu. Lis je stroj klikový se dvěma berany. Je vybaven mechanizací a tím vytváří plně automatickou linku. Výlisky jsou postupně lisovány ve více pracovních operacích. První pracovní pozice lisu je na samostatném beranu. Tato pozice je určená pro vystřihování přístřihu případně pro 1. tah. Dalších 11 pozic je umístěno na druhém beranu. Mezi pozicemi jsou díly přenášeny transferovým podavačem. Transferový podavač je dvouosý, to znamená, že výlisky nejsou při přenášení nadzvedávány. V pracovním prostoru je tedy při jednom zdvihu současně zpracováváno více výlisků. Všechny pozice včetně střížné jsou vybaveny spodním pneumatickým přidržovačem a horním mechanickým vyhazovačem. To znamená, že už v první střížné pozici lisu lze zhotovit první tah. Součástí stroje je podávací zařízení pásu plechu, rovnačka a nůžky na dělení odpadního pásu. Na podavači pásu lze kromě dopředného kroku nastavit i krok stranový (krok zleva doprava, tzv. cik-cak). Je tedy možné vystřihovat přístřihy ve dvou řadách. V případě kruhových přístřihů se stříháním ve dvou řadách se uspoří cca 8% vstupního materiálu.

Tab. 5. 1 Technické parametry stroje Paust 40

Jmenovitá síla	400	kN	Přidržovač 1. pozice		
Sevřená výška poz.1	225-270	mm	Průměr spodního přidržovače	180	mm
Sevřená výška poz.2-12	271-316				
Zdvih	224	mm	Síla spodního přidržovače	max. 40 (0,7 MPa)	kN
Přestavitelnost beranů	45	mm	Zdvih spodního přidržovače	max. 45	mm
Počet zdvihů za min	35 - 71	1/min	Přidržovač 2. až 12. pozice		
Rozteč mezi pozicemi	140	mm	Průměr spodního přidržovače	120	mm
Počet pracovních pozic	11+1 střížná	mm	Síla spodního přidržovače	max. 10,8 (0,7 MPa)	kN
Průměr upínacího čepu	Ø 40	mm	Zdvih spodního přidržovače	max. 63	mm
Upínací plocha beranu	12 pozic 95 x 95	mm	Podavač		
Upínací plocha stolu	1600 x 430	mm	Maximální šíře pásu	180	mm
Maximální dovolená síla na jedné pracovní pozici	17	kN	Maximální tloušťka pásu	1,2	mm
Výkon hlavního motoru	15	kW	Maximální podání (krok)	180	mm
			Cik - cak	100	mm



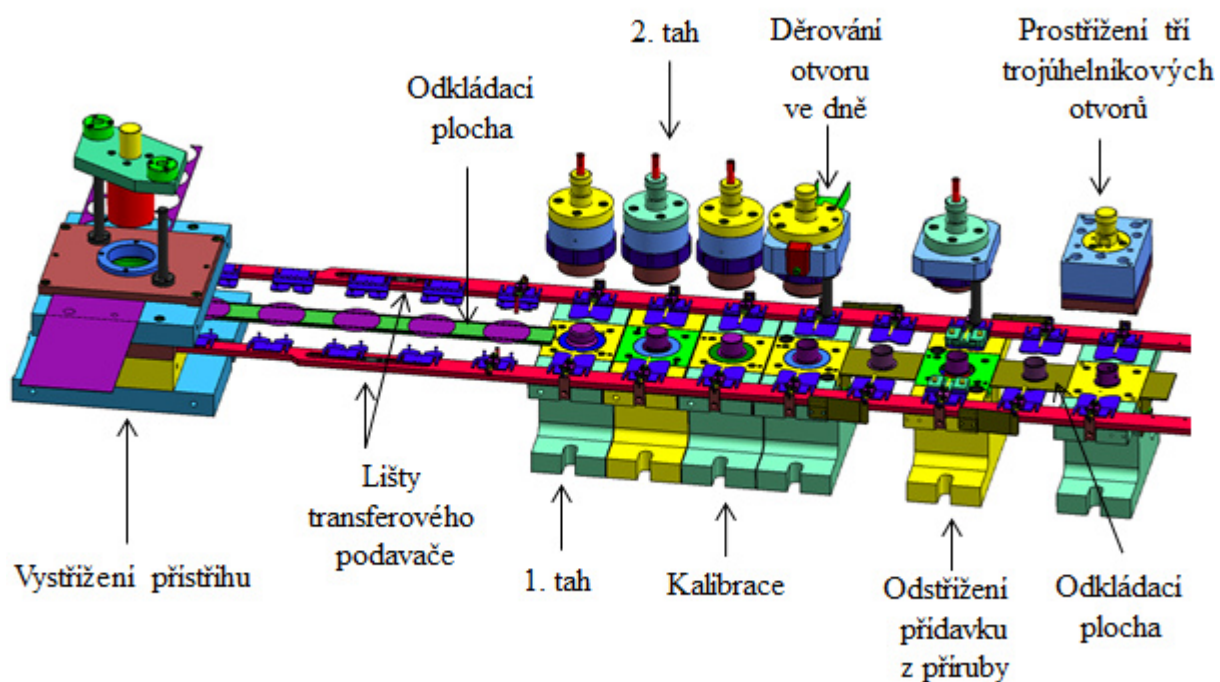
Obr. 5.1 Pracovní prostor lisu Paust 40

6. KONSTRUKCE NÁSTROJE

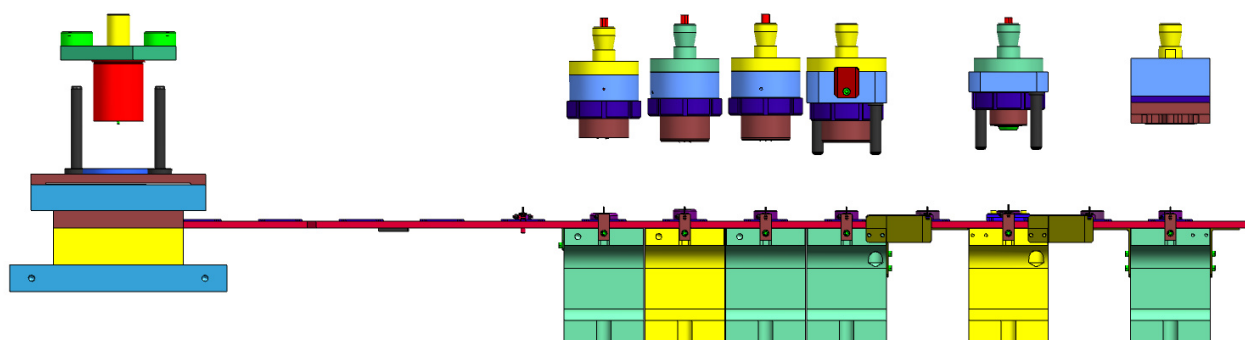
Konstrukce nástroje vychází nejen z tvaru dílu a technologie výroby, ale i z typu lisu, pro který je nástroj navržen. Z technické specifikace lisu určíme způsob upínání, maximální a minimální rozměry nástroje, sevřenou výšku, transportní výšku podávání, výšku vstupujícího pásu atd.

Pro tento typ lisu se nástroje konstruuji jako samostatné jednotky (jednoduchá tažidla a stříhadla) pro každou operaci. V tomto případě je potřeba sedm jednotek (čtyři stříhadla a tři tažidla). Přesun dílů mezi operacemi zajišťuje transferový podavač. Před podáním musí být díly zvednuty nástrojem do transportní výšky, ve které nesmí nic bránit podání (výtažky nejsou transferovým podavačem nadzvedávány, jsou jenom vodorovným pohybem přesunuty do dalšího kroku). Výtažky musejí být vhodně orientovány, aby je bylo možné mezi operacemi bez problému přesunovat a nástroje nebyly příliš složité. Pro tento díl je optimální orientace výtažku přírubou dolů. Je-li potřeba mezi nástroji vynechat pracovní pozici např. z důvodu odvodu odpadů, pak je nutné tuto díru zakrýt plechem, aby vznikla odkládací plocha na výtažek.

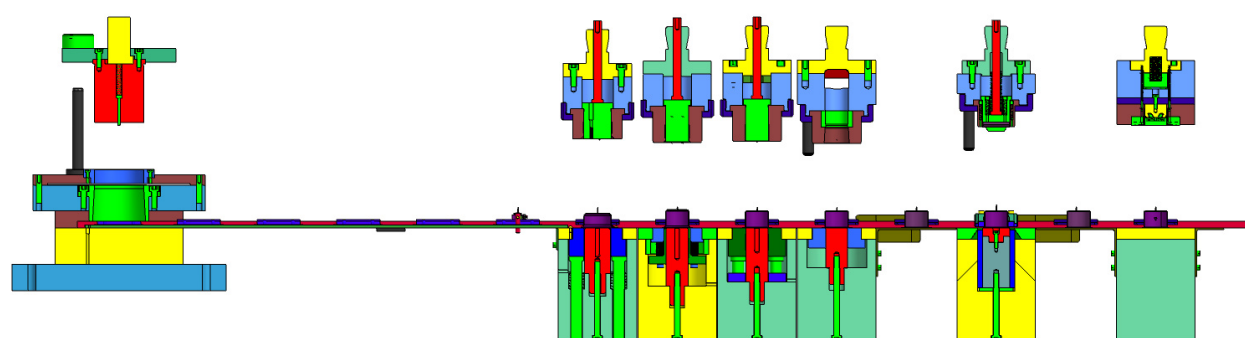
Jednotlivé nástroje se na lis upínají samostatně. Vrch nástroje za upínací čep $\varnothing 40$ a spodek nástroje pomocí šroubů M20.



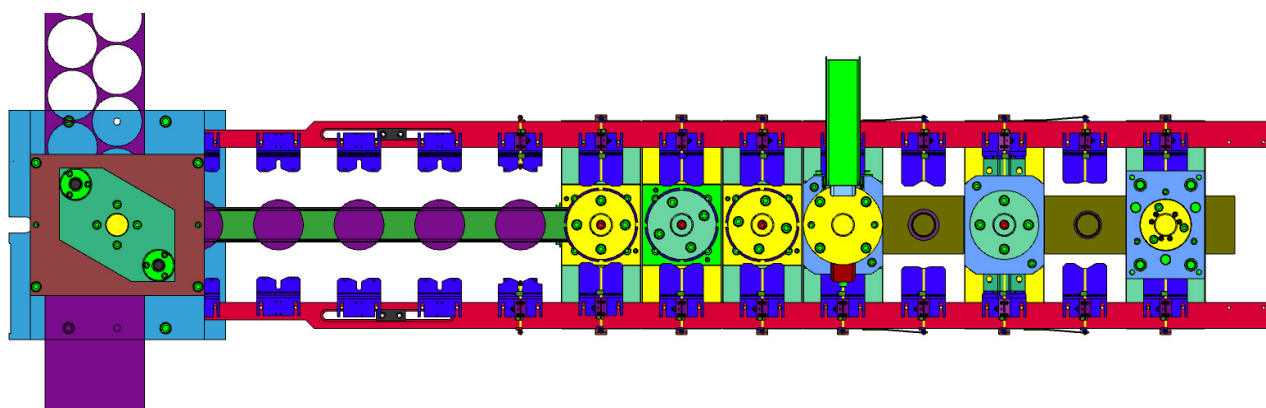
Obr. 6.1 Sestava nástroje (prostorový pohled)



Obr. 6.2 Sestava nástroje (pohled ze strany obsluhy)



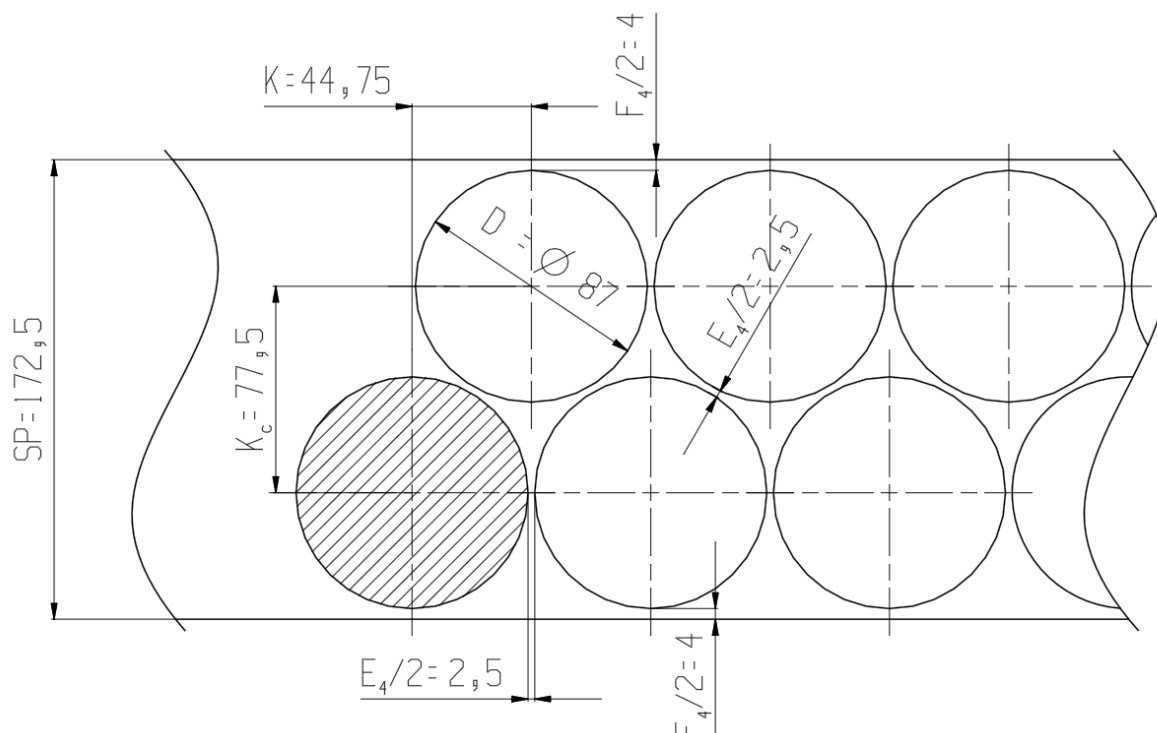
Obr. 6.3 Sestava nástroje v řezu



Obr. 6.4 Sestava nástroje (pohled shora)

6.1 Nástřihový plán

Přepážky a můstky stanoveny dle přílohy č. 1



Obr. 6.5 Nástřihový plán

6.2 Popis nástrojů

1. operace – vystřížení přístřihu (2D sestava příloha VUT-DP-01)

Nástroj je konstruovaný pro vystřihování přístřihu z pásu plechu ze svitku. Vystřížené přístřihy odpadávají na lištu, po které je podavač posunuje do 1. tažného nástroje. Vzhledem k tomu, že posunutí pásu nemusí být zcela přesné, nástroj nemusí být vybaven doplňkovým zařízením pro přesné krokování. Velikost kroku je zajištěna pouze podávacím zařízením lisu. Vybrání pro plech ve vodící desce musí být širší o krok K_c (krok cik-cak). Přístřihy se nesmí hromadit ve střižnici, musí odpadávat jednotlivě ihned pro vystřížení. Toho je dosaženo střižníkem, který zajíždí 70 mm do střižnice. Proti ulpívání přístřihu na čele střižníku, je opatřen odpruženým odlepovačem. Aby nedocházelo vlivem hlubokého průniku střižníku do stříhaného materiálu k nadírání povrchu střižníku, je jeho válcová část po 10 mm od střižné hrany odlehčená 0,05 mm z průměru. Dalším vhodným opatřením, které zabraní nadírání je PVD povlak. Střižník ale musí být vyroben z vhodného materiálu. Pro střižník (i střižnici) volím materiál 19573.3. Aby tento materiál bylo možné povlakovat metodou PVD, je nutné střižník zakalit na sekundární tvrdost. Pro úsporu nástrojového materiálu je střižná a vodící deska vložkováná.

2. operace – 1. tah (2D sestava příloha VUT-DP-02)

Nástroj s přidržovačem ovládaným lisem. Pro přesné středění (založení podavačem) přístřihu jsou ve spodní části nástroje středící kolíčky. Z tažnice je výtažek vysunut vyhazovačem ovládaným lisem. Do transportní polohy výtažek zvedá přidržovač. Pro snadnou údržbu (přešetření) je tažnice upnuta převlečnou maticí. Tím je dosaženo snadné demontáže pomocí speciálního klíče na nástroji upnutém na lise.

3. operace – 2. tah (2D sestava příloha VUT-DP-03)

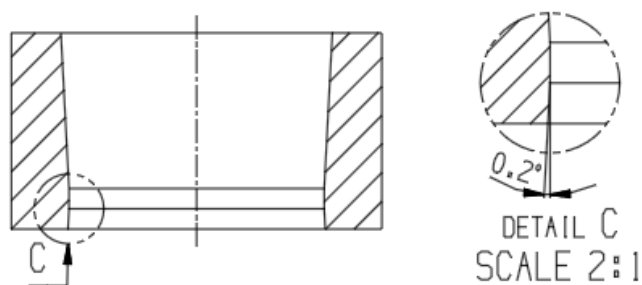
Výtažek z prvního tahu je zde ustaven pomocí středíče, který lze v případě potřeby použít jako přidržovač – je ovládaný pneumatickým přidržovačem lisu (nastavitelná síla). Do transportní polohy výtažek zvedá zvedací kroužek. Vyhazování z tažnice a upnutí tažnice je řešeno stejně jako v předchozí operaci.

4. operace – kalibrace (2D sestava příloha VUT-DP-04)

Operace kalibrování vyžaduje dorazy pod horním vyhazovačem a spodním zvedačem. V této operaci vzniká konečná výška výtažku, proto u nástroje musí být na lise přesně nastaveno sevření. Zvedač je ovládaný pneumatickým přidržovačem lisu. Vyhazování z tažnice a upnutí tažnice je řešeno stejně jako v předchozí operaci.

5. operace – děrování otvoru ve dně (2D sestava příloha VUT-DP-05)

Nástroj musí být koncipovaný obráceně, než je běžné. Odpady odcházejí vrchem nástroje. Odpady jsou proti vypadnutí ve střižnici zajištěny úkosem $0,2^\circ$ na fazetce (obr 6.6). Přesné vedení střižníku proti střižnici zajišťují vodící sloupky s pouzdry. Zvedač je ovládaný lisem. Díl je v této operaci středěný za $\varnothing 41,2$.



Obr. 6.6 Střižnice

6. operace – odstřížení příravku z příruby (2D sestava příloha VUT-DP-06)

Díl je středěný za otvor $\varnothing 37,8$ vystřížený v předchozím kroku. Z příruby jsou odstříženy odpady ve tvaru kroužku, které jsou navlíknuty na střižníku. Odpady je potřeba rozdělit na více částí, aby šly ze střižníku odstranit. K tomuto účelu jsou po obvodu střižníku rovnoměrně rozmístěny čtyři nože. Přesné vedení střižníku proti střižnici zajišťují vodící sloupky s pouzdry.

7. operace – prostřížení tří trojúhelníkových otvorů (2D sestava příloha VUT-DP-07)

Všechny funkční části nástroje jsou součástí horní části nástroje. Spodní část nástroje tvoří pouze stojan. Svislý pohyb lisu je v nástroji přeměněn na vodorovný pohyb střížníku a střížnice pomocí klínů. Aby šel díl vyjmout, musí vodorovný pohyb konat nejen střížník ale i střížnice. Nejprve musí přijet do pracovní polohy střížnice a až poté je možné stříhat. Do výchozí polohy vrací střížník a střížnici klín. O vyhození dílu se stará šest samostatných vyhazovačů s pružinami.

Popis funkce nástroje:

150 mm před spodní úvratí – díl z předchozího kroku je zanechán podavačem na daném místě na stojanu

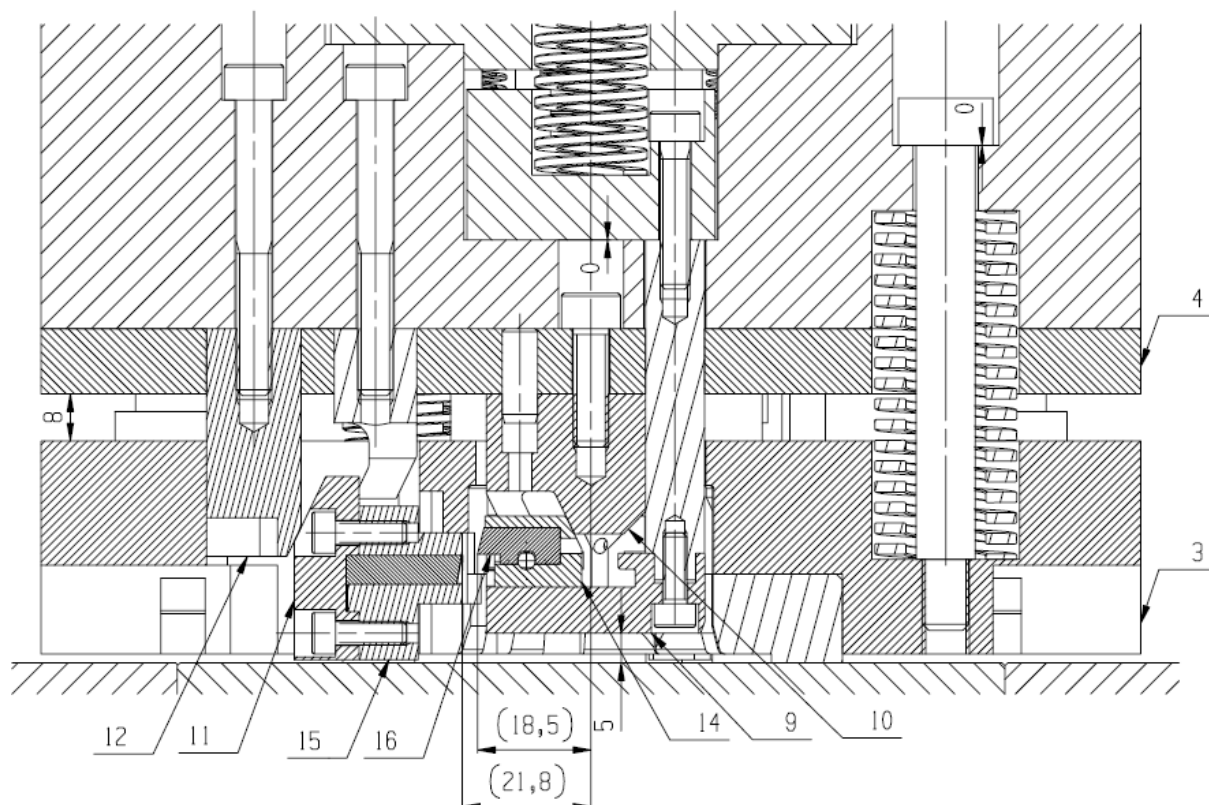
30 – 8 mm před spodní úvratí – vrch nástroje sjíždí na díl a vystředí jej

8 mm před spodní úvratí (obr. 6.7) - deska pozice 3 dosedne na stojan (deska pozice 3 spolu s klínem pozice 12 ovládá střížnice)

8 – 3 mm před spodní úvratí – vzdálenost mezi deskami pozic 3 a 4 se zmenšuje, pružiny se stlačují, klín pozice 12 vysune střížnici pozici 15 do pracovní polohy

3 mm před spodní úvratí (obr. 6.8) – díl pozice 9 dosedne na stojan, střížnice je v pracovní poloze (pozice 9 spolu s klínem pozice 10 ovládá střížníky)

3 – 0 mm před spodní úvratí (obr. 6.9) – vzdálenost mezi deskami pozic 3 a 4 se dále zmenšuje, pružiny se stlačují, střížnice je v pracovní statické poloze, klín pozice 10 vtlačuje střížníky do materiálu.



Obr. 6.7 Detail sestavy nástroje 7. operace ve stavu 8 mm před spodní úvratí

7. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Při kalkulaci výrobních nákladů budu uvažovat výrobní sérii 250 000 ks/rok po dobu 6 let. 2% připisují na výrobní ztráty.

a) Cena materiálu výlisku pro roční dávku

Počet svitků plechu

Hmotnost svitku:	540 Kg
Hmotnost materiálu jednoho kroku:	$1 \cdot 172,5 \cdot 44,75 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,0606 \text{ Kg}$
Počet dílů z jednoho svitku:	$540 \div 0,0606 = 8910,9 = 8910 \text{ ks}$
Počet svitků:	$250\,000 \div 8910 = 28 \text{ ks}$
Hmotnost materiálu (M_m):	$M_m = 28 \cdot 540 = 15\,120 \text{ kg}$

Zhodnocení odpadu (Z_o)

Hmotnost výlisku:	0,03316 kg (hodnota vypočítaná CAD aplikací NX7.5)
Celková hmotnost výlisků:	$0,03316 \cdot 250\,000 = 8290 \text{ kg}$
Celková hmotnost odpadu:	$15\,120 - 8\,290 = 6830 \text{ kg}$
Odpadový materiál bude zhodnocen:	5 Kč/kg
Zhodnocení odpadu:	$Z_o = 6\,830 \cdot 5 = 34\,150 \text{ Kč}$

Náklady na materiál (N_m)

Cena materiálu ve svitku $C_m = 26 \text{ Kč/kg}$

Náklady na pořízení materiálu:

$$N_m = m_m \cdot C_m = 15\,120 \cdot 26 = 393\,120 \text{ Kč}$$

Náklady na materiál po odečtení zhodnoceného odpadu (N_{mc}):

$$N_{mc} = N_m - Z_o = 393\,120 - 34\,150 = \underline{358\,970 \text{ Kč}}$$

b) Náklady na mzdy za roční dávku (P_{mc})

Přípravný čas:	1 hod/směnu
Kontrola:	0,5hod/směnu
Výrobní čas:	$3\,000 \text{ ks/h} \cdot 6 = 18\,000 \text{ ks/směnu}$ (při taktu 50ks / min)
Celkový čas na operaci:	$250\,000 \div 18\,000 = 13,9 \cong 14 \text{ směn} \cdot 7,5 = 105 \text{ hod.}$
Mzdové náklady:	$105 \cdot 160 = 16\,800 \text{ Kč}$
Lis bude pracovat v automatickém cyklu. Počítám s jedním pracovníkem pro obsluhou dvou lisů:	$16\,800 / 2 = \underline{8\,400 \text{ Kč}}$

c) Náklady na provoz lisu (N_l)

Hodinová sazba lisu:	700 Kč/hod
Výrobní čas:	105 hod
Náklady na provoz lisu:	$700 \cdot 105 = \underline{73\,500 \text{ Kč}}$

d) Náklady za nástroje (N_n)

Za nástroje celkem:	650 000 Kč
---------------------	------------

Pro přehlednost a zjednodušení výpočtu budou náklady na pořízení nástroje započítány jako 1/6 pořizovacích nákladů (při předpokladu požadavku zákazníka na celkový objem výroby 1 500 000 ks v průběhu šesti let) namísto daňových odpisů.

Náklady za nástroje – přepočet na jeden rok: $N_n = N_{nc} / 6 = \underline{108\,333,30 \text{ Kč}}$

e) Náklady na údržbu nástroje:

Na každých 100 000 ks počítám s náklady na údržbu ve výši 1,2% z ceny nástroje.

$$N_{nu} = 650\,000 \cdot 0,012 \cdot \frac{250\,000}{100\,000} = \underline{19\,500 \text{ Kč}}$$

g) Výrobní režie (V_r) – náklady na energie (osvětlení pracovišť, vytápění, ventilaci), spotřebovaný režijní materiál,... Náklady na investice do výrobních prostor nejsou zahrnuty, výroba bude probíhat ve výrobních prostorech, které jsou vlastním, již odepsaným majetkem výrobce.

$$V_r = 5\,000 \text{ Kč}$$

h) Správní režie (S_r) – zahrnuje náklady na mzdy (THP pracovníků, managementu), další související náklady na energie, telefon,...

$$S_r = 11\,000 \text{ Kč}$$

i) Zásobovací režie (Z_r) – zahrnuje náklady na dopravu, manipulaci, skladování, režijní mzdu pracovníka pro manipulaci,...

$$Z_r = 8\,000 \text{ Kč}$$

j) Odbytová režie (O_r) – zahrnuje náklady balení, expedici výrobků, náklady na mzdy pracovníka odbytu

$$O_r = 33\,000 \text{ Kč}$$

Přímé náklady výroby (P_{nv})

$$P_n = N_{mc} + P_{mc} + N_l + N_{nu} + N_n = 358\,970 + 8\,400 + 73\,500 + 650\,000 + 19\,500 = \underline{1\,110\,370 \text{ Kč}}$$

Nepřímé náklady výroby (N_{nv})

$$N_{nv} = V_r + S_r + Z_r + O_r = 5\,000 + 11\,000 + 8\,000 + 33\,000 = \underline{57\,000 \text{ Kč}}$$

Úplné náklady výroby (U_{nv})

$$U_{nv} = P_{nv} + N_{nv} = 1\,110\,370 + 57\,000 = \underline{1\,167\,370 \text{ Kč}}$$

Uvažovaný roční zisk (Z_z) ve výši 20%

$$Z_z = U_{vn} \times 0,20 = 1\,167\,370 \times 0,20 = \underline{233\,474 \text{ Kč}}$$

Náklady na jeden výlisek (N_{jv})

$$N_{jv} = U_{nv} / 250\,000 = 1\,167\,370 / 250\,000 = \underline{4,67 \text{ Kč}}$$

Zisk vztažený na jeden výlisek (Z_{jv})

$$Z_{jv} = Z_z / 250\,000 = 233\,474 / 250\,000 = \underline{0,93 \text{ Kč}}$$

Cena jednoho výlisku (C_{jv})

$$C_{jv} = N_{jv} + Z_{jv} = 4,67 + 0,93 = \underline{5,60 \text{ Kč}}$$

Cena jednoho výlisku + 20% DPH

$$C_c = 5,60 \cdot 1,20 = \underline{6,72 \text{ Kč}}$$

8. ZÁVĚR

V diplomové práci jsem se zabýval návrhem technologie výroby součásti “Kroužek” technologií plošného tváření.

Poznatky získané při vypracování literární studie jsem uplatnil při návrhu postupu výroby, výběru stroje a konstrukci nástrojů. V práci je zaznamenán celý cyklus návrhu od výběru vhodných technologií až po ekonomické zhodnocení výrobního postupu.

Při výběru vhodných technologií výroby jsem vycházel z tvaru, tolerancí rozměrů, druhu materiálu a sériovosti zadané součásti. Mojí snahou bylo vybrat nejefektivnější výrobní metody, kterými se staly technologie stříhání a tažení. Pro tyto technologie jsem provedl technologické výpočty a následně navrhnul postup výroby o sedmi operacích.

Vzhledem k vysokému počtu vyráběných dílů se jako optimální stroj pro výrobu jeví postupový automat Paust (výrobce VVB WMW) o jmenovité síle 400 kN. Na tomto stroji probíhá lisování všech operací současně. Lis je vybavený střížnou pozicí s podavačem pásu plechu a transferovým podavačem pro přesun dílu až mezi 12 operacemi. Výroba na tomto stroji probíhá zcela automaticky rychlostí až 71 kusů za minutu, je tedy velice efektivní. Při konstrukci nástroje jsem vycházel z technické specifikace lisu a technologických výpočtů.

Na zvolený lis se pro každou operaci konstruuje nástroje jako samostatné jednotky (jednoduchá tažidla a stříhadla). Pro všechny operace jsem navrhnul nástroje. Sestavy s kusovníky jsou přílohou práce. S ohledem na jednoduchost a seřiditelnost navržené nástroje maximálně využívají možností lisu, tj. horní vyhazovače a spodní přidržovače.

V závěru diplomové práce jsem provedl ekonomické zhodnocení řešené technologie, jejímž výstupem je cena za jeden výlisek při kalkulovaném taktu lisu 50 ks/min.

Seznam použitých zdrojů

- [1] BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. New York : Industrial Press, 2004. ISBN 0-8311-3182-9.
- [2] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření : plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [3] KOTOUČ, Jiří, et al. *Tvářecí nástroje*. ČVUT. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1993. ISBN 80-01-01003-1.
- [4] TIŠNOVSKÝ, Miroslav, MÁDLE, Luděk. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.
- [5] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
- [6] ČADA, Radek. *TVAŘITELNOS MATERIÁLU A NEKONVENČNÍ METODY TVÁŘENÍ, PLOŠNÁ TVAŘITELNOST : (návodů do cvičení)*. 1. vyd. Ostrava : VŠB, 2002. 149 s. ISBN 80-248-0019-5.
- [7] ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
- [8] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
- [9] WILLIAM, HOSFORD, ROBERT, CADDELL. *METAL FORMING : Mechanics and Metallurgy*. 1st edition. Cambridge : Cambridge University Press, 2007. 328 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
- [10] Schuler. *Metal forming handbook*. A. Taylan. 1st edition. Berlin : Springer, 1998. 563 s. ISBN 3540611851.
- [11] VÁVRA, Pavel, ŘASA, Jaroslav, LEIVEBER, Jan. *Strojnické tabulky*. 1. vyd. Praha : SCIENTIA, 1999. 987 s.
- [12] NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení : část tvářecí stroje*. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2002. 27 s.
- [13] ŘASA, Jaroslav, HANĚK, Václav, KAFKA, Jindřich. *Strojírenská technologie 4*. 1. vyd. Praha : SCIENTIA, 2003. 505 s. Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel, Zásady montáže. BAREŠ, K. a kol.: *LISOVÁNÍ*. 1. vyd., Praha, SNTL, 1971, 543 s.
- [14] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno : Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

- [15] DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., ŽÁK, L.: Technologie tváření – Návody na cvičení, VUT v Brně, PC-DIR Real s. r. o., 2000, 106 str., ISBN 80-214-1723-4
- [16] ČADA, Radek. Technologie I. : Objemové a plošné tváření za studena (návodů do cvičení) Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2009. 87 s.
- [17] NOVOTNÝ, Josef, LANGER, Zdeněk. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Brno: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV- 41/22674.
- [18] BAREŠ, K. a kol. *Lisování*. 1. vyd., Praha, SNTL, 1971, 543 s.
- [19] KŘÍŽ, Václav a Pavel VÁVRA. Strojírenská příručka. 1. vyd. Praha : Scientia, 1998. ISBN 80-7183-054-2. 255 s.
- [20] M. FOREJT. *ROČNÍKOVÝ PROJEKT I: SYLABUS pro kombinované studium bakalářského studijního programu STROJÍRENSTVÍ*. Brno, 2002.
- [21] DAYTON PROGRESS CORPORATION. *High Speed Stamping*. 2003. Dostupné z: <http://www.daytonprogress.com/>
- [22] MISUMI CORPORATION. *Standard Components for Press Dies*. TOKYO, 2007. Dostupné z: <http://www.misumi.co.jp>
- [23] *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003 [cit. 2012-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/>>.
- [24] *Technický týdeník* [online]. 2008 [cit. 2012-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.techtydenik.cz/>>.
- [25] *SANWA PACKING INDUSTRY CO., LTD* [online]. 2009 [cit. 2009-05-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.sanwa-packing.co.jp/>>.
- [26] ENGINEERING TECHNOLOGY ASSOCIATES, Inc. *Eta/Post: User's Manual* [online]. 2006-06-02. [cit. 2012-05-04].

Seznam použitých symbolů a zkratk

A	tažnost	[%]
A ₈₀	tažnost při počáteční měřené délce zkušební tyče 80 mm	[%]
A _S	střížná práce	[J]
C	součinitel zaplnění diagramu	[-]
C _c	cena za výlisek s DPH	[Kč]
C _{jv}	cena jednoho výlisku	[Kč]
C _m	cena za kg materiálu	[Kč]
c	konstanta závislá na druhu použitého materiálu	[-]
c _A	koeficient hloubky vtlačení, závislý na druhu a tloušťce materiálu	[-]
C _{st}	součinitel velikosti stírací síly	[-]
c _v	součinitel kvality střížené plochy	[-]
D	průměr přístřihu	[mm]
D _t	průměr přístřihu bez přídavků	[mm]
d	průměr výtažku	[mm]
d _n	nominální průměr výtažku	
d _p	průměr příruby výtažku	[mm]
d _s	střední průměr výtažku	[mm]
E	modul v pružnosti v tahu	[MPa]
F _C	celková síla při tažení	[N]
F _S	střížná síla	[N]
F _{st}	stírací síla při stříhání	[N]
F _t	tažná síla	[N]
F _{tu}	síla na utržení dna	[N]
F _{tun}	síla na utržení dna v dalších tazích	[N]
F _p	přidržovací síla	[N]
F _{pr}	síla na protlačení výstřižku	[N]
H _S	tloušťka střížnice	[mm]
H _{te}	délka válcové části tažnice	[mm]
h	výška výtažku	[mm]
h _f	výška fazetky	[mm]
h _s	střední výška výtažku s přírubou	[mm]
I	moment setrvačnosti průřezů	[mm ⁴]
K	krok	[mm]
k	opotřebení střížných hran	[-]
k ₁	opravný součinitel tažné síly pro první tah	[-]
k _n	opravný součinitel tažné síly pro n-tý tah	[-]
k _p	součinitel použití přidržovače	[-]
k _b	koeficient bezpečnosti	[-]
$\tilde{k}$	koeficient zpevnění	[-]
l	délka střížné hrany	[mm]
l _k	kritická délka střížníku	[mm]
M _m	hmotnost materiálu	[kg]

m	součinitel tažení	[-]
N_{jv}	náklady na jeden výlisek	[Kč]
N_l	náklady na provoz lisu	[Kč]
N_n	náklady na nástroje na jeden rok	[Kč]
N_{nu}	náklady na údržbu nástroje	[Kč]
N_m	náklady na materiál	[Kč]
N_{nc}	náklady na nástroje celkem	[Kč]
N_{mC}	náklady na materiál celkem	[Kč]
n	počet tažných operací	[-]
n_v	počet výstřížků (odpadů) ve střížnici	[-]
O_r	odbytová režie	[Kč]
T	teplota	[°C]
T_t	teplota tavení	[°C]
P_{mc}	náklady na mzdy	[Kč]
p	tlak přidržovače	[MPa]
R	redukce průměru výtažku	[-]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{p02}	smluvní mez kluzu	[MPa]
R_{te}	poloměr zaoblení tažnice	[mm]
R_{tu}	poloměr zaoblení tažníku	[mm]
S	plocha	[mm ²]
S_s	střížená plocha	[mm ²]
S_C	celková plocha spotřebovaného materiálu	[mm ²]
S_m	součet obsahů ploch všech výstřížků	[mm ²]
S_p	plocha přístřihu pod přidržovačem	[mm ²]
S_r	správná režie	[Kč]
SP	šíře pásu	[mm]
s_0	výchozí tloušťka plechu	[mm]
s_r	poměr s_0/D	[-]
V_r	výrobní režie	[Kč]
W	tažná práce	[J]
v	střížná vůle	[mm]
Z	materiálová konstanta (součinitele použití přidržovače)	[-]
z	tažná vůle	[mm]
z_s	střížná mezera	[mm]
Z_{jv}	zisk vztažený na jeden výlisků	[Kč]
Z_o	zhodnocení odpadu	[Kč]
Z_r	zásobovací režie	[Kč]
Z_z	roční zisk	[Kč]
X	využití materiálu	[%]
α	úhel ohybu opásání plechu na tažné hraně	[rad]
γ	konstanta 1,15	[-]
ε	poměrná deformace	[-]
η	koeficient rovný $1 - \mu \cdot \alpha$	[-]

μ	součinitel tření	[-]
ρ	poloměr zakřivení střední vrstvy plechu na tažné hraně	[mm]
σ_0	napětí vyvolané ohybem přístřihu	[MPa]
σ_D	skutečné namáhání střižníku na tlak	[MPa]
σ_{Ddo}	dovolené namáhání v tlaku	[MPa]
σ_{dov}	dovolené napětí v ohybu	[MPa]
σ_{tr}	napětí vyvolané od tlaku přidržovače na zesilující se okraj přístřihu	[MPa]
σ_v	výsledné tahové napětí	[MPa]
σ_1	radiální tahové napětí, které vzniká v oblasti příruby	[MPa]
τ_{ps}	$R_m \cdot 0,8$	[MPa]
φ	logaritmické přetvoření	[-]
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	napětí	[MPa]
n_{90}, n_{45}, n_0	exponent deformačního zpevnění vůči směru válcování	[-]
r_{90}, r_{45}, r_0	součinitel plastické deformace vůči směru válcování	[-]
$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$	logaritmické přetvoření	[-]

Seznam příloh:

Příloha č. 1: Tabulka pro stanovení okrajů a přepážek nástřihového pásu

Příloha č. 2: Doporučené velikosti tlaků přidržovače

Příloha č. 3: Součinitel tření μ

Příloha č. 4: Výpočet rozměru střížníku a střížnice

Výkres součásti „Kroužek“ (VUT-DP-00)

Sestava nástroje pro 1. operaci (VUT-DP-01) – vystřížení přístřihu

Sestava nástroje pro 2. operaci (VUT-DP-02) – 1. tah

Sestava nástroje pro 3. operaci (VUT-DP-03) – 2. tah

Sestava nástroje pro 4. operaci (VUT-DP-04) – kalibrace

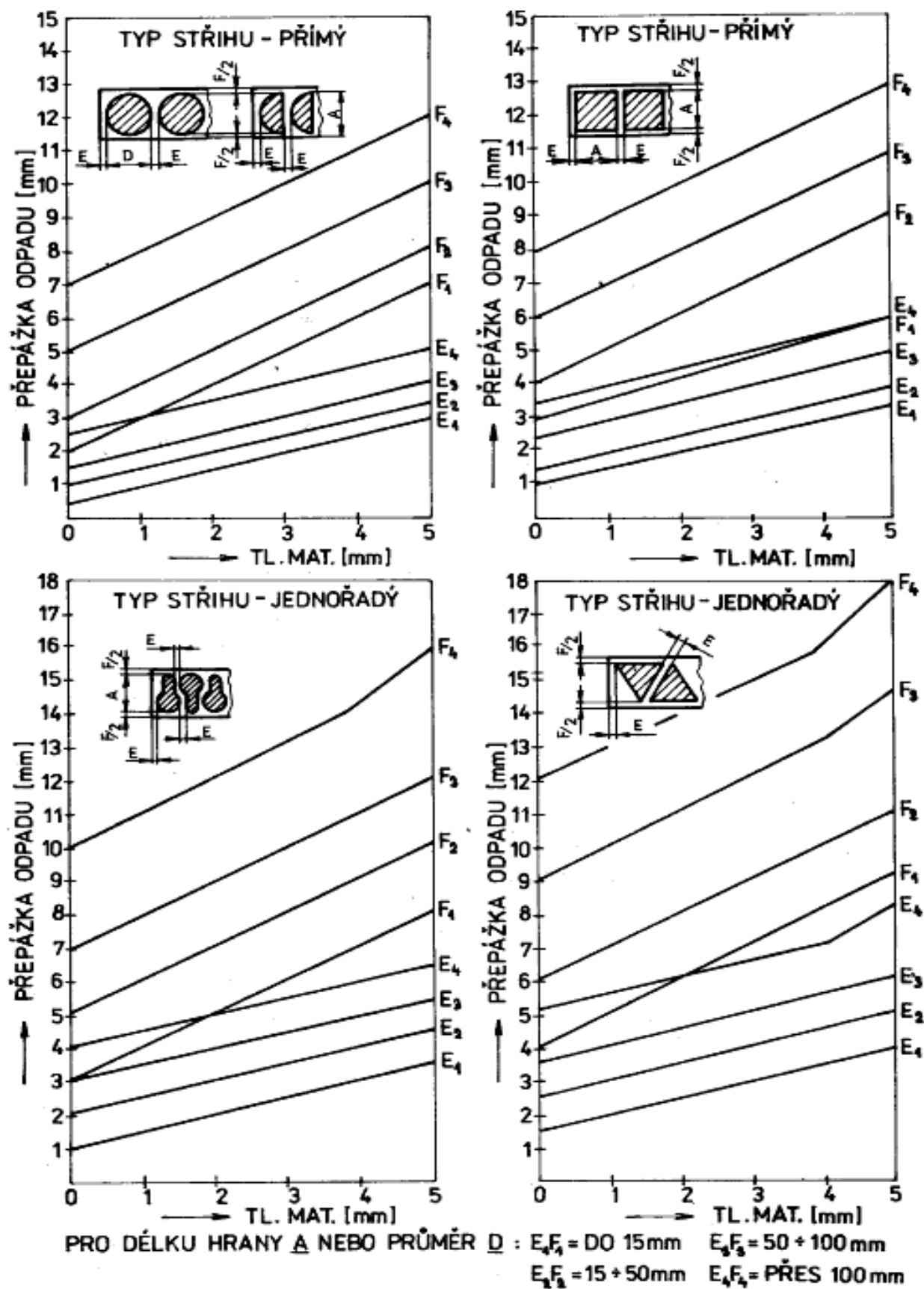
Sestava nástroje pro 5. operaci (VUT-DP-05) – děrování otvoru ve dně

Sestava nástroje pro 6. operaci (VUT-DP-06) – odstřížení přídavku z příruby

Sestava nástroje pro 7. operaci (VUT-DP-07) – prostřížení tří trojúhelníkových otvorů

Příloha č. 1 [20]

Tabulka pro stanovení okrajů a přepážek nástřihového pásu



Příloha č. 2 [4]

Doporučené velikosti tlaků přidržovače p

Tloušťka taženého plechu (mm)	Tlak přidržovače (Mpa)			
	Tažený materiál			
	Ocelový plech		Mosaz Tombak	Hliník
	tvrdý	hlubokotažený		
0,2	3,0	2,1 až 2,5	2	1,5
0,4	2,9	2,0 až 2,4	1,9	1,5
0,6	2,8	2,0 až 2,4	1,9	1,45
0,8	2,8	1,9 až 2,3	1,8	1,45
1	2,7	1,8 až 2,3	1,8	1,4
1,5	2,7	1,8 až 2,2	1,7	1,35
2	2,6	1,8 až 2,1	1,7	1,3
2,5	2,5	1,8 až 2,1	1,6	1,25
3	2,5	1,9 až 2,1	1,6	1,2
3,5	2,4	1,9 až 2,0	1,5	1,2
4	2,3	1,9	1,5	1,15
4,5	2,3	1,8	1,4	1,15
5	2,2	1,8	1,4	1,1
6	2,1	1,7	1,3	1,1
7	2,1	1,7	1,3	1,05
8	2,0	1,6	1,2	1,0

Příloha č. 3 [1]

Tab. Součinitel tření μ

Mazivo	Tažený materiál		
	Ocel	Hliník	Dural
Minerální olej	0,14 až 0,16	0,15	0,16
Rostlinný olej		0,10	
Grafitové mazivo	0,06 až 0,10	0,10	0,08 až 0,10
Bez maziva	0,18 až 0,20	0,35	0,22

Příloha č. 4 [16]

Tab. 16 Závislost tolerance nástrojů na rozměru nástroje

Střížná vůle [mm]	Rozměr nástroje [mm]											
	1 až 3	3 až 6	6 až 10	10 až 18	18 až 30	30 až 50	50 až 80	80 až 120	120 až 180	180 až 260	260 až 360	360 až 500
0,0005 až 0,003	+D IT 6 nebo -d IT 6											
0,003 až 0,002	+D IT 6 nebo -d IT 6											
0,02 až 0,06	+D IT 7 -d IT 7											
0,06 až 0,15												
0,15 až 0,20												
0,20 až 0,30	+D IT 8 -d IT 8											
0,30 až 0,60												
0,60 až 2,0												
nad 2	IV											

Tab. 17 Vzorce ke stanovení rozměrů střížníků a střížnic

Způsob předepsání tolerance výstřížku (otvoru)	Základní nástroj	Vzorce ke stanovení rozměrů prac. částí	
		s přídavkem na opotř. $P_o = 0,8 P_u$	s přídavkem na opotř. $P_o = P_u$
D_{-U_s}	střížnice	$D_s = (D - 0,8 U_h) + P_s$	$D_s = (D - U_s) + P_s$
$D_{-U_h}^{-U_s}$		$D_s = (D - 0,2 U_h - 0,8 U_s) + P_s$	$D_s = (D - U_s) + P_s$
D		$D_s = (D + 0,2 U_h + 0,8 U_s) + P_s$	$D_s = (D + U_s) + P_s$
$D_{-U_s}^{+U_h}$		$D_s = (D + 0,2 U_h - 0,8 U_s) + P_s$	$D_s = (D - U_s) + P_s$
$D \pm U$		$D_s = D + P_s$	$D_s = D + P_s$
d^{+U_h}	střížník	$d_k = (d + 0,8 U_h) - P_k$	$d_k = (d + U_h) - P_k$
$d_{-U_s}^{+U_h}$		$d_k = (d - 0,8 U_s + 0,8 U_h) - P_k$	$d_k = (d + U_h) - P_k$
$d \pm U$		$d_k = d - P_k$	$d_k = d - P_k$

D – jmenovitý rozměr

U_h – horní úchylka tolerance

U_s – spodní úchylka tolerance

P_u – dovolená úchylka výstřížku

P_o – přídavek na opotřebení

P_s – výrobní tolerance střížnice

P_k – výrobní tolerance střížníku

Je-li $P_o = P_u$ – výstřížky v toleranci IT6 až IT9

$P_o = 0,8 P_u$ – výstřížky v toleranci IT6 až IT11