



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY KONCOVKY BRZDOVÉ HADICE

FORMING TECHNOLOGY PRODUCTION OF ENDING OF BRAKE HOSE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MILOŠ OBŮRKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MILAN FOREJT, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Miloš Obůrka

který/která studuje v **magisterském navazujícím 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:

Technologický postup výroby koncovky brzdové hadice

v anglickém jazyce:

Forming technology production of ending of brake hose

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jde o návrh technologie velkosériové (hromadné) výroby koncovek brzdové hadice z konstrukční oceli 12 010.3 objemovým tvářením za studena s důrazem na dopředné a zpětné protlačování.

Cíle diplomové práce:

1. Vypracovat literární studii se zaměřením na technologii objemového tváření za studena.
2. Zhodnotit současný stav výroby součásti obdobného tvaru.
3. Navrhnout vlastní technologii výroby.
4. Vypracovat výkresovou dokumentaci postupového nástroje a doložit ji potřebnými výpočty
5. Zpracovat technické a ekonomické hodnocení navržené technologie.
6. Formulovat závěry a doporučení pro technickou praxi.

Seznam odborné literatury:

1. LANGE, Kurt, et al. Handbook of metal forming. Kurt Lange. 1st edition. New York : McGraw-Hill Book Company, 1985. 1156 s. ISBN 0-07-036285-8.
2. FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Milan Forejt; Design obálky: Ildikó Putzová. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. BABOR, Karel, CVILINEK, Augustin, FIALA, Jan. Objemové tváření ocelí. Vladimír Hašek; Eva Tamelová. 1. vyd. Praha : SNTL, 1967. 332 s. Strojírenská literatura; sv. 6006.

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Milan Forejt, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 16.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

OBŮRKA Miloš: Technologický postup výroby koncovky brzdové hadice.

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru Strojírenská technologie se zabývá návrhem postupu výroby koncovky brzdové hadice z oceli 12010.3 objemovým tvářením za studena. Na základě literární studie problematiky objemového tvářením za studena a následujících výpočtů byl navržen postup výroby ve třech tvářecích operacích. Polotovarem byl zvolen ústřížek drátu o průměru 11,2mm a délce 27mm. Výroba je navržena pro postupový automat TPZK 25 tuzemského výrobce Šmeral Brno, a.s.

Klíčová slova: Protlačování za studena, koncovka brzdové hadice, objemové tvářením, ocel 12010.3

ABSTRACT

OBŮRKA Miloš: technology production of ending of brake hose.

The purpose of the diploma thesis elaborated during studies of Engineering technology is to project the technological process for production of brake hose end made of 12010.3 steel by cold forming. Based on the study of the cold forming problems and following technical calculations of the production process was designed a 3 steps process of forming. As a semiproduct was chosen wire stub with a diameter of 11.2 mm and a length of 27mm. The production is designed for automatic multistage press TPZK 25 from local manufacturers Šmeral Brno, a.s.

Keywords: Cold extrusion, ending of brake hose, bulk forming, steel 12010.3

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OBŮRKA, Miloš. *Technologický postup výroby koncovky brzdové hadice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 63s. Vedoucí bakalářské práce Prof. Ing. Milan Forejt, Csc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Jihlavě dne 25.5. 2011

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Milanu Forejtovi, CSc. za cenné rady a připomínky při vypracování této diplomové práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1. ÚVOD	9
2. MOŽNOSTI TECHNOLOGIE VÝROBY	10
3. TECHNOLOGE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ ZA STUDENA	11
3.1 Způsoby objemového tváření	11
3.2 Zpevňování materiálu tvářením	14
3.3 Křivky zpevnění a deformační diagramy	15
3.4 Deformační přetvárný odpor	17
3.5 Tvářecí síly	20
3.6 Tvářecí práce	20
3.7 Technologičnost tvaru	20
3.8 Nástroje pro objemové tváření za studena	23
3.8.1 Nástroje pro pěchování	23
3.8.2 Nástroje pro dopředné protlačování	24
3.8.3 Nástroje pro zpětné protlačování	26
3.9 Stroje pro protlačování	27
3.10 Materiály nástrojů pro protlačování	29
4. NÁVRH TECHNOLOGIE	30
4.1 Výpočet objemu protlačku	30
4.2 Návrh materiálu	34
4.3 Varianty technologie	36
4.3.1 Výpočet výchozích rozměrů polotovaru	36
4.3.2 Varianta I	36
4.3.3 Varianta II	42
4.4 Zhodnocení variant	46
4.5 Výpočet tvářecích sil	46
4.6 Návrh lisovnice	50
5. POSTUP VÝROBY SOUČÁSTI	52
6. NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE	53
7. TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	54
8. ZÁVĚRY	58

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam použité literatury

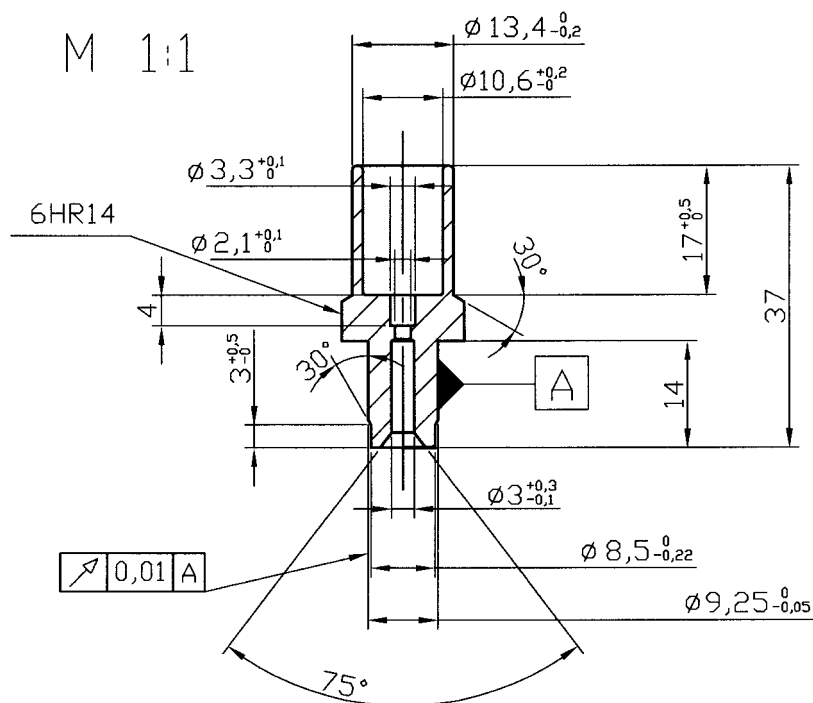
Seznam příloh

1. ÚVOD [1]

Protlačování za studena je známo od roku 1886, první použití bylo zaznamenáno ve Francii. Nejprve byly tímto způsobem zpracovávány cín a olovo, poté bylo zjištěno, že tímto způsobem lze tvářet zinek, hliník a některé hliníkové slitiny. Do třicátých let bylo považováno za nemožné použít tuto metodu pro ocel. Na začátku třicátých let v počátcích vyzbrojování německé armády z důvodu nedostatku mědi, byly provedeny první pokusy zpracovávat ocel pro výrobu nábojnic. První pokusy byly neúspěšné, docházelo k velkému zadírání z důvodu velkého tření, které vzniká mezi tvářenou ocelí a ocelovým nástrojem. Až objev fosfátové vrstvy společně s vhodným mazivem odstranil tento problém. Objemové tváření se uplatňuje v sériové výrobě symetrických i nesymetrických součástí, proti obrábění a dalším výrobním metodám dochází k významné úspoře materiálu, výrobních časů, roste produktivita, zlepšuje se kvalita výrobků a snižují se výrobní náklady.

Cílem této práce je výběr nejvhodnější z navržených variant výroby zadané součásti a technologie – dopředné a zpětné protlačování za studena, za předpokladu dosažení žádaných rozměrů a jakosti. Předpokládaná produkce je 200 tisíc kusů ročně. Po vyvrtání vnitřního otvoru o průměru 2,1 mm a vyřezání vnějšího závitu na dřívku je do kalíšku, který musí mít příslušnou zásobu plasticity, nalisována hadice.

Práce je rozdělena dle obsahu na dvě hlavní části. Úvodní část je literární studii obsahující problematiku objemového tváření za studena nutnou k řešení této práce. Na základě úvodní části jsou ve výpočtové části navrženy varianty technologií výroby, dále jsou varianty zhodnoceny, je zpracován návrh výroby součásti a navazuje technicko – ekonomické hodnocení výroby.



Obr. 1.1 Zadaná součást

2. MOŽNOSTI TECHNOLOGIE VÝROBY [2]

Zadaná součást dle svého tvaru je poměrně komplikovaná, dle výkresové dokumentace se dá z hlediska technologie vyrábět několika způsoby. Mezi tyto technologie může patřit:

1. kování
2. protlačování za tepla
3. lití
4. třískové obrábění
5. protlačování za studena

Při výrobě jakoukoliv z výše uvedených technologií je nutné připojit operaci řezání závitu na dřívku koncovky brzdové hadice. Závít bude sloužit k připojení hydraulického brzdového okruhu pravděpodobně k brzdovému třmenu. Tato operace není součástí řešení této práce.

Technologie číslo jedna není nevhodná z důvodu velkého zpevnění v oblasti připojení hadice a nutnosti použití třískového obrábění jako dokončovací operaci po kování. Protlačování za tepla je pro svoji energetickou náročnost a poměrně malé stupně přetvoření konečného výrobku zbytečně zdlouhavé a drahé. Technologie číslo tři je nevhodná z důvodu možného vzniku vad při odlévání a nedostatečné zásobě plasticity při lisování hadice do koncovky.

Třískové obrábění je výhodné pouze pro menší série a to až z šestihranného nebo kruhového polotovaru, velká část polotovaru se promění v odpad a s tím souvisí vysoké náklady na výrobu touto technologií. Jako nejvýhodnější se pro danou sérii jeví technologie číslo pět (protlačování za studena) krátké výrobní časy, dobré mechanické vlastnosti a malý podíl odpadu jsou její hlavní výhody. Výběr varianty protlačování za studena bude uveden a zdůvodněn dále v této práci.

Porovnáme-li danou metodu s jinými výrobními metodami, objemové tváření probíhá pod rekrytalizační teplotou za působení prostorové napjatosti, která tvoří podmínky pro velké trvalé deformace bez porušení tvářeného materiálu. Dochází k maximálnímu využití hmoty výchozího materiálu a ke zvýšení mechanických vlastností. Výrobek dosahuje vyšší meze kluzu a meze pevnosti, lze tedy použít méně kvalitního výchozího materiálu. Zlepšení metalurgických vlastností je například nepřerušovaný průběh vláken, zvýšení meze únavy následkem zpevnění.

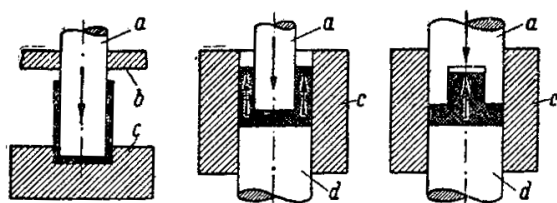
3. TECHNOLOGIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ ZA STUDENA [2]

Působením sil se dá většina kovů tvářet, tj. měnit tvar bez porušení soudržnosti materiálu. Při tomto pochodu dojde ke kluzu uvnitř jednotlivých krystalů tvořících strukturu kovu. Nastává podstatná změna tvaru tvářené součásti a to nejčastěji kombinací pýchování a různých způsobů protlačování. Probíhá za působení prostorové napjatosti, která je podmínkou pro tento způsob tváření a dosahuje se velkých plastických deformací.

3.1 Způsoby objemového tváření [1], [2], [3], [4]

Podle směru a způsobu tečení materiálu rozeznáváme hlavní způsoby objemového tváření kovů:

Zpětné protlačování



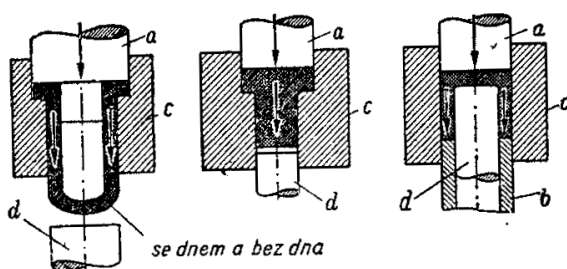
Tok materiálu je proti směru pohybu průtlačníku, vznikají tvary podobné kalíšům nejčastěji kruhového průřezu. Výchozím polotovarem je špalík vysoký zpravidla více než polovina průměru. Výrobky jsou většinou kruhového průřezu, ale lze docílit výroby součástí i jiného pravidelného nebo nepravidelného tvaru. Příklady zpětného protlačování jsou zobrazeny na obr. 3.1.

Obr. 3.1 Zpětné protlačování [1]

a – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d- vyhazovač

Dopředné protlačování

Materiál se pohybuje ve směru pohybu průtlačníku, vznikají dutá nebo plná tělesa většinou kruhového průřezu. Polotovarem je kalíšek rondel, prstenec, drát nebo špalík. Na obr. 3.2

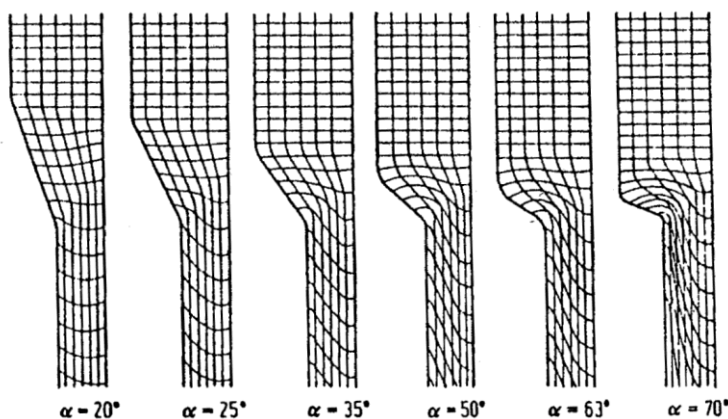


vidíme typické příklady dopředného protlačování. Tok materiálu v závislosti na velikosti kuželu průtlačnice je zobrazen na obr. 3.3, se zvětšujícím se úhlem kužele roste protlačovací síla.

Obr. 3.2 Dopředné protlačování [1]

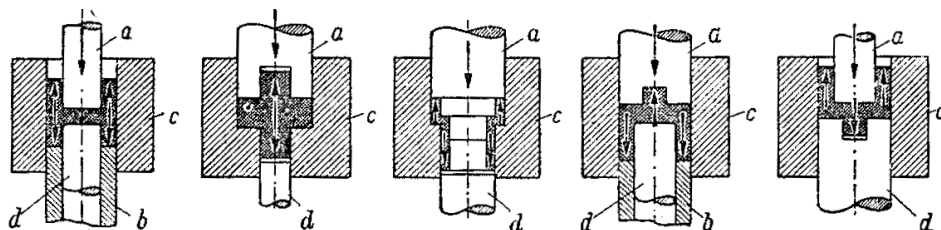
a – průtlačník, b – stírač,
c – průtlačnice, d – vyhazovač

Obr. 3.3 Tok materiálu v závislosti na velikosti kužele. [3]



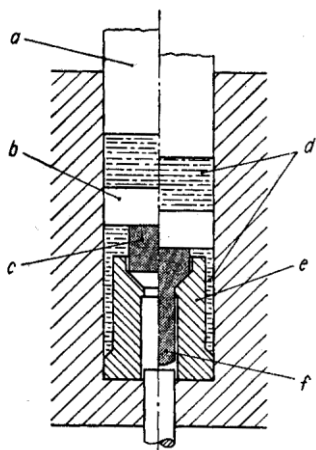
Sdružené protlačování

Kombinace zpětného a dopředného protlačování. Materiál teče ve směru i proti směru pohybu průtlačníku. Důležitá podmínka je zásada, že u spodní části výlisku je volený stupeň přetvoření menší (v té části, kde materiál teče dopředně) než v horní části. Ze schématu na obr. 3.4 jsou patrné příklady výrobků zhotovené sdruženým protlačováním.



Obr. 3.4 Sdružené protlačování [1]

a – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d- vyhazovač



Hydrostatické protlačování

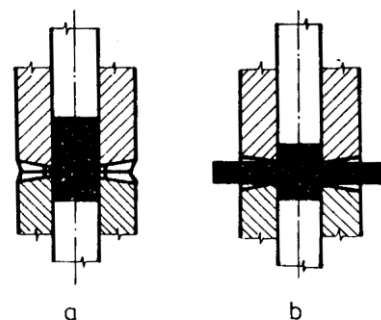
Protlačovací síla je přenášena tlakovou kapalinou. Výchozí polotovár je obklopen kapalinou a tření mezi polotovarem a stěnou zápusky je téměř nulové. Kapalina zmenšuje tření i v pásmu vlastního protlačování a zároveň slouží jako výztuž samotné protlačovací zápusky, kterou obklopuje. Dochází k významnému snížení protlačovací síly přibližně o 40% u oceli. a obr. 3.5 je zobrazeno schéma hydrostatického protlačování včetně popisu jednotlivých součástí nástroje.

Obr. 3.5 Hydrostatické protlačování [2]

a – vysokotlaký píst, b – vodící píst, c – polotovár, d – vysokotlaká kapalina, e – průtlačnice, f - průtlaček

Stranové protlačování

Od výše popsaných způsobů protlačování se liší směrem, kterým se materiál při protlačování přemísťuje. Hlavní tok materiálu je ve směru kolmém k ose polotovaru. Stranové protlačování lze použít např. při změně průřezu určité části výlisku, tváření výstupků, jak je patrné na obr. 3.6.

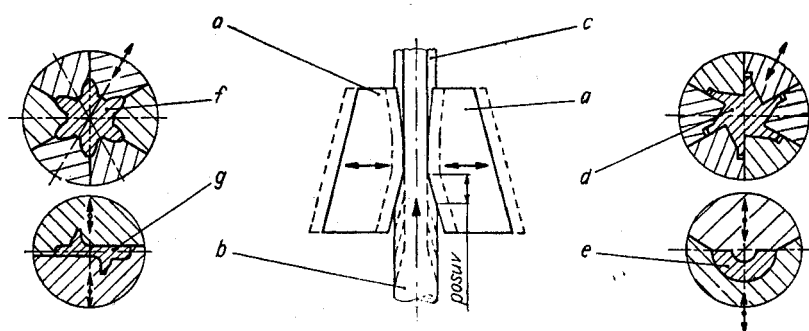


Obr. 3.6 Stranové protlačování [5]

a – před tvářením, b – po tvářením

Radiální tváření

Princip radiálního tváření spočívá v tom, že tvářený předmět (ozubený či obecně tvarovaný) je tvářen mezi dostředně se pohybujícími čelistmi negativního tvaru. Užívá se ke změně průřezu polotovaru, ale nedochází k redukci průřezu. Příklady tvářených profilů jsou spolu se schématem radiálního tváření na obr. 3.7.

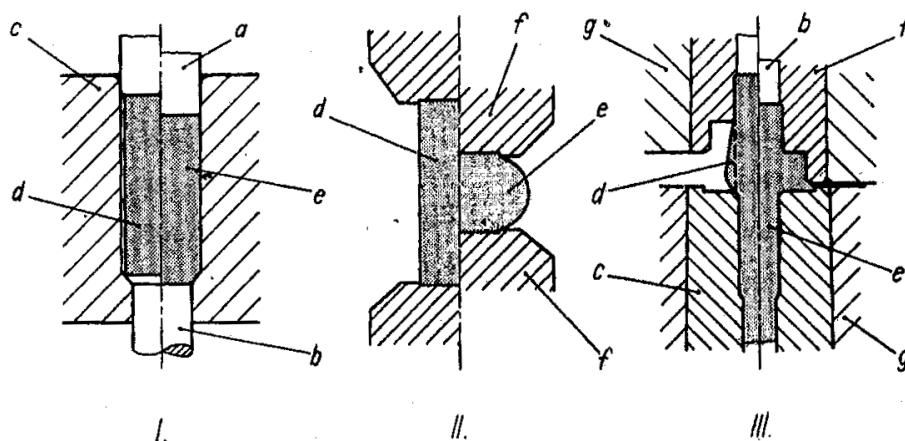


Obr. 3.7 Radiální tváření [2]

a – tvářecí čelisti, b – výchozí materiál, c – tvářený profil, d, e, f, g – tvary vznikající radiálním tvářením

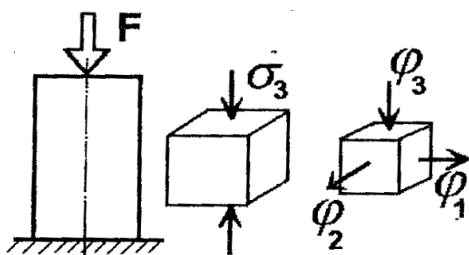
Pěchování

Pěchování je základní operací objemového tváření. Dochází k napěchování výchozího polotovaru za účelem rozšíření průřezu jak je vidět z obr. 3.8. Největší využití je při výrobě šroubů nýtů a při přípravných operacích pro další tváření kalibrace nebo zarovnání čel po ustřižení špalíku. Obr. 3.9 znázorňuje mechanické schéma deformace při ideálním pěchování bez tření, kterému se snažíme při reálném tváření co nejvíce přiblížit. Na obr. 3.10 je znázorněné reálné pěchování se třením, v důsledku tření na čele dochází k nerovnoměrné deformaci a vzniku soudečkového tvaru pěchovaného polotovaru. Soudečkový tvar se snažíme eliminovat vhodným mazáním a leštěním funkčních ploch nástrojů.

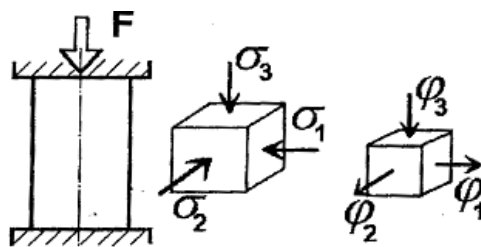


Obr. 3.8 Pěchování [2]

a – průtláčník, b – vyhazovač, c – průtláčnice, d – polotovar, e – výlisek, f – lisovnick, g – objímka



Obr. 3.9 Ideální pēchování [6]



Obr. 3.10 Pēchování se třením [6]

Kombinované tváření

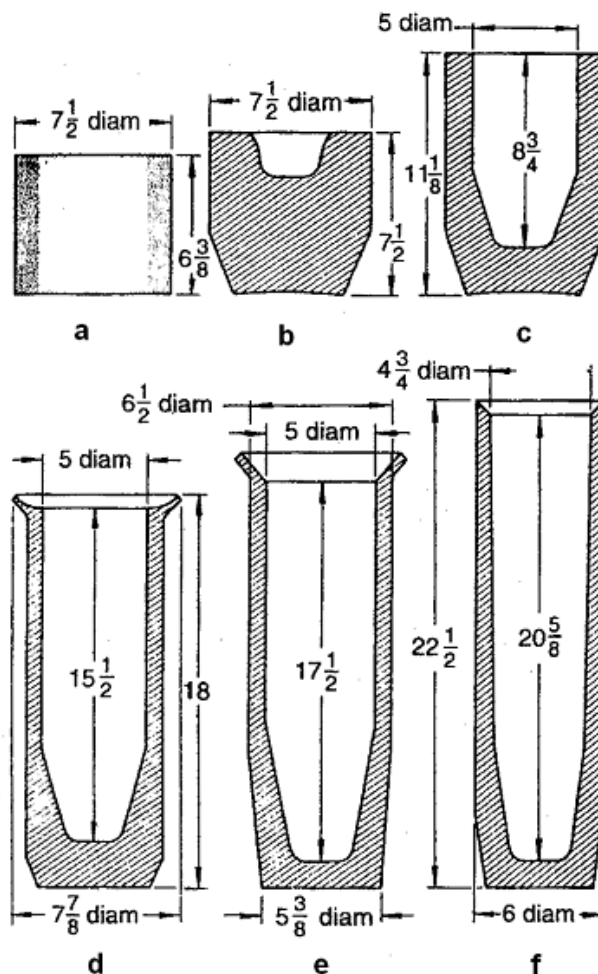
Výše uvedených způsobů tváření se samostatně používá velmi málo. Nejčastější jsou jejich kombinace v jedné až šesti operacích. Postup kombinovaného tváření na pět tvářecích operací znázorňuje obr. 3.11

- a – ustřižený polotovár
- b – operace 1 – předpēchování
- c – operace 2 – zpětné protlačování
- d – operace 3 – dopředné protlačování
- e – operace 4 – dopředné protlačování
- f – operace 5 – dopředné protlačování.

3.2 Zpevňování materiálu tvářením [2], [7]

Pro materiál pro objemové tváření je nejdůležitější vlastností tvárnost, což je souhrn vlastností umožňující plastickou deformaci až do porušení. Tvárnost charakterizujeme podle výsledků zkoušek materiálu tahem (tažnost, kontrakce) a tlakem (síla a práce pro pēchování), nebo dle dalších zkoušek, jako jsou zkouška krutem za tepla pro kování, zkouška Erichsenova na zkoušení plechů pro tažení.

Pro případ objemového tváření jsou nejdůležitější zkoušky pēchovací. Děj probíhající za procesu tváření v závislosti na změně průřezu polotovaru spojený se změnou mechanických vlastností (tažnost, pevnost, mez kluzu) nazýváme zpevňením materiálu. Jeho znalost je klíčová pro navrhování dílčích technologických postupů. Zpevňení přináší také zvýšením tvrdosti materiálu. Tažnost při zpevňování klesá a snižuje se i houževnatost. Díky odlišné krystalické mřížce se zpevňení projevuje u všech tvárných kovů ale v jiné míře. Dochází k natočení a deformaci krystalické mřížky kovu a zrna se prodlužují ve směru toku. Obecně platí, že povrchové vrstvy materiálů zpevňují více než vnitřní. Nestejnoměrným zpevňením vzniká v materiálu vnitřní napětí a to roste s velikostí deformace a průřezu.



Obr. 3.11 Kombinované tváření [4]

Zpevnění ocelí lze snížit až zcela eliminovat tepelným zpracováním – žíháním, které se dělí:

- A. zotavování – odstranění vnitřního pnutí a poruch krystalických mřížek
- B. rekrytalizace – růst nových zrn, výrazná změna mechanických vlastností, odstranění zpevnění, pokles tvrdosti a pevnosti, růst houževnatosti.

3.3 Křivky zpevnění a deformační diagramy [2], [6]

Křivky zpevnění, jako ukazatel průběhu zpevňování materiálu používáme v praxi při návrzích technologie objemového tváření. Pro každý materiál a různé tvářecí teploty se sestavují specifické křivky zpevnění. Vyjadřují graficky závislost zpevňování materiálu na deformaci.

Deformace logaritmická, příčné spěchování, příčné zúžení, podélné spěchování a jejich vzájemné vztahy

Skutečná (logaritmická) deformace φ

$$\varphi = \ln \frac{L}{L_0} [-] \quad (3.1)$$

Tento vztah vychází ze **zákona o zachování objemu**

$$V = h_1 b_1 l_1 = h_2 b_2 l_2 = konst \quad (3.2)$$

h_1, b_1, l_1 - původní rozměry polotovaru

h_2, b_2, l_2 - konečný rozměr výrobku

Zákon zachování objemu v jiném tvaru

$$\frac{h_2 b_2 l_2}{h_1 b_1 l_1} = 1 \quad (3.3)$$

Zákon zachování objemu po logaritmování

$$\ln \frac{h_2}{h_1} + \ln \frac{b_2}{b_1} + \ln \frac{l_2}{l_1} = \varphi_h + \varphi_b + \varphi_l = 0 \quad (3.4)$$

Příčné spěchování q_1

$$q_1 = \frac{S_2 - S_1}{S_2} \cdot 100[\%] \quad (3.5)$$

Příčné zúžení q_2

$$q_2 = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \cdot 100[\%] \quad (3.6)$$

Kde S_1 je výchozí a S_2 konečný obsah protlačované nebo pěchované plochy

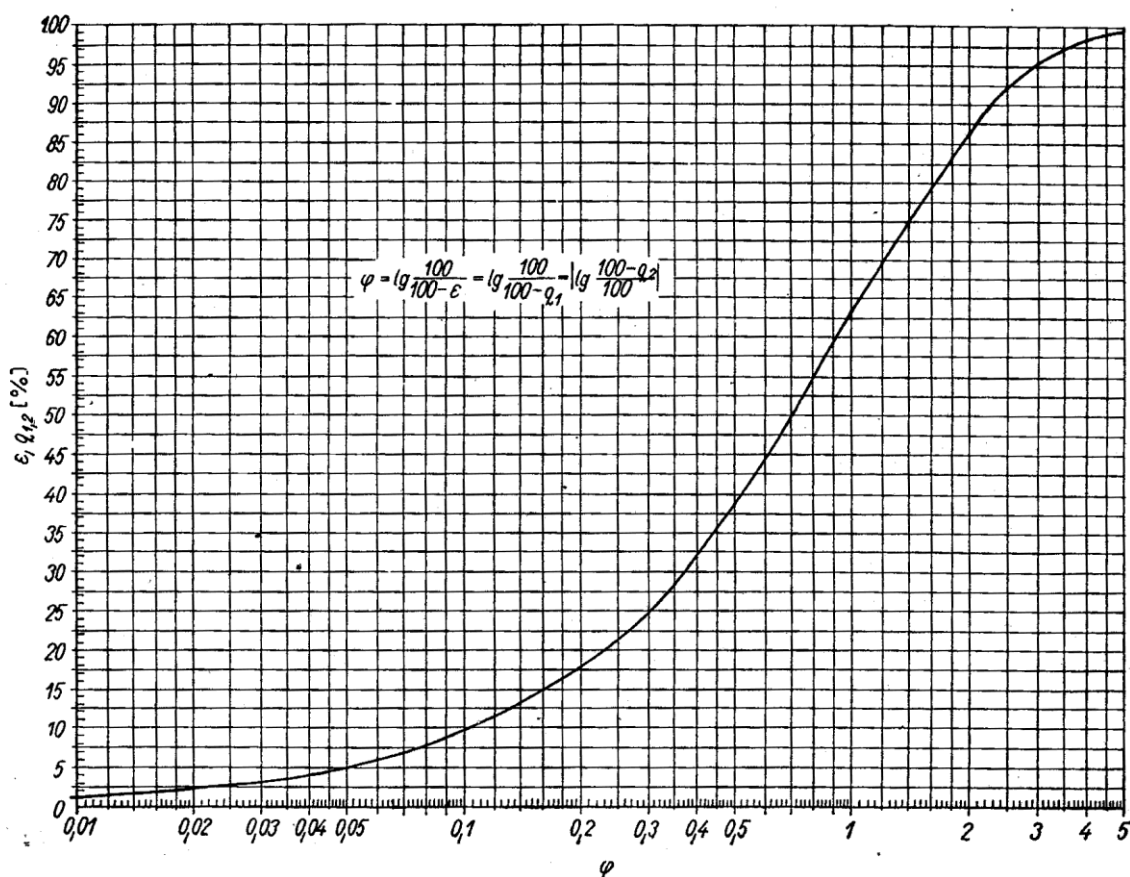
Poměrné přetvoření

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L} = \pm \frac{\Delta L}{L_0} [-] \quad (3.7)$$

U válcových těles $\varepsilon = q_1$, lze použít převod skutečné (logaritmické) deformace na podélné spěchování ε , příčné spěchování q_1 , příčné zúžení q_2

$$\varphi = \ln \frac{L_0}{L} = \ln \frac{S_2}{S_1} = \ln \frac{100}{100 - \varepsilon} = \ln \frac{100}{100 - q_1} = \ln \frac{100 - q_2}{100} [-] \quad (3.8)$$

Lze snadno odečíst z diagramu na obr. 3.12.

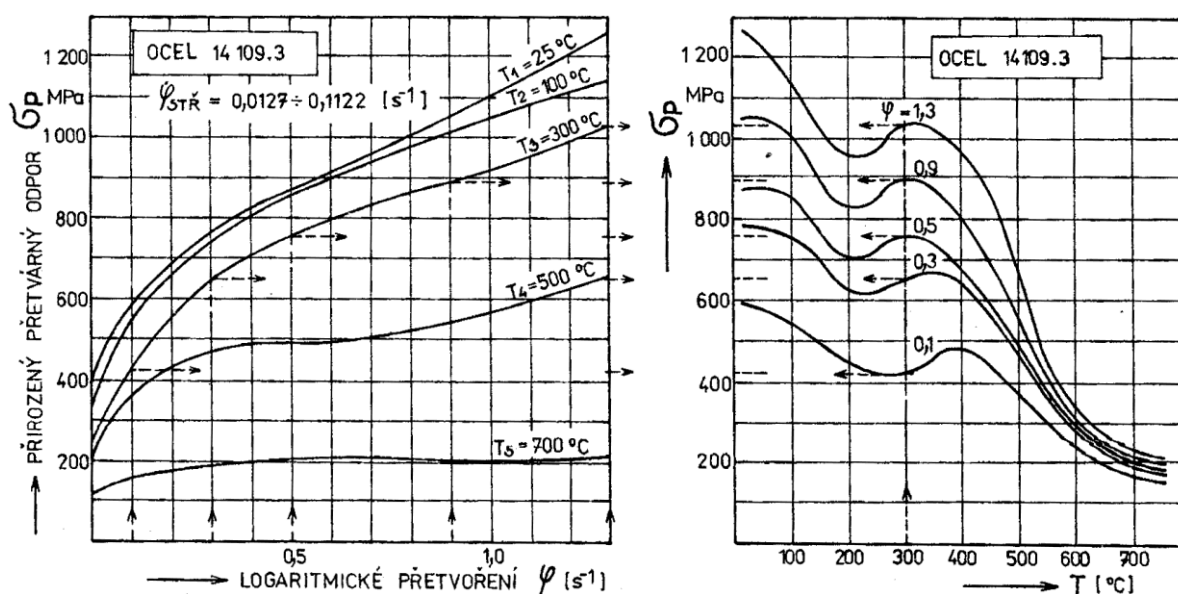


Obr. 3.12 Diagram závislosti skutečné deformace na podélném spěchování [2]

Zpevnění

Výsledné zpevnění tvářeného dílce odpovídá celkové deformaci, která je rovna součtu jednotlivých deformací v dílčích operacích. Křivky lze použít pro běžné tvářecí rychlosti. Příklad křivky zpevnění je na obr. 3.13. Příloha 1 obsahuje vzorce pro výpočet přetvárného odporu při daném přetvoření.

Při objemovém tváření je dále důležitý stav výchozího polotovaru neboť například tyče tažené za studena při použití na pěchování vykazují do deformace $\varphi = 1,2$ pokles pevnosti a od této hranice dochází k opětovnému zpevňování.



Obr. 3.13 Příklad křivek přirozených přetvárných odporů s vlivem teploty [7]

3.4 Deformační odpor [6]

Základní vlastností materiálu je **přirozený přetvárný odpor**, který je definován, jako vnitřní odpor materiálu proti působení tvářecích sil, při kterém dojde ke změně tvaru tělesa. Závisí na chemickém složení, výchozím stavu ($R_e, R_m, \varepsilon, \varphi$), teplotě tváření (T), rychlosti přetvoření ($\dot{\varepsilon}, \dot{\varphi}$). Určujeme ho většinou experimentálně a vyjadřujeme nejčastěji pomocí polytropy, polynomu nebo racionálně lomenou funkcí.

Deformační odpor je přirozený přetvárný odpor zvětšený o vliv pasivních technologických odporů při změně tvaru tvářeného tělesa. Zahrnuje (vliv tření, vliv změny geometrie – tvaru, vliv změny teplotních podmínek, vliv napjatosti a změn nerovnoměrné napjatosti, vliv lokálních změn rychlosti deformací toku kovu).

Pro výpočty střední hodnoty deformačního přetvárného odporu se používá následujících vztahů:

Pěchování

Siebel [8]

$$\sigma_{ds} = \sigma_p \left(1 + \frac{f \cdot D}{3h} \right) \quad [MPa] \quad (3.9)$$

Unkov [2]

$$\sigma_{ds} = \sigma_p \left[1 + \frac{2f}{3} \cdot (1-f) \cdot \frac{D}{H} \right] \quad [MPa] \quad (3.10)$$

Sandin [2]

$$\sigma_{ds} = 2\sigma_p \left[\left(\frac{H}{fD} \right)^2 \cdot \left(e^{\frac{fD}{H}} - 1 \right) - \frac{H}{fD} \right] \quad [MPa] \quad (3.11)$$

H – výška po spěchování, D – průměr po spěchování, f – součinitel smykového tření, σ_p – přirozený přetvárný odpor

Protlačování dopředné

- plné

Feldmann [6]

$$\sigma_{ds} = \sigma_{ps} \left[\left(1 + \frac{f_2}{\hat{\alpha}} \right) \ln \left(\frac{D_1}{D_3} \right) + \frac{2}{3} \cdot \hat{\alpha} \right] + 4 f_2 \frac{D_3 \cdot L_3}{D_1^2} \sigma_{ps} + 4 f_1 \frac{L_1}{D_1} \sigma_{p1} \quad [MPa] \quad (3.12)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \quad [-] \quad (3.13)$$

Sieber [2]

$$\sigma_{ds} = \sigma_{ps} (\varphi + 0,6) \left(1,25 + 2 f \sqrt{\frac{\pi L^2}{S_1}} \right) \quad [MPa] \quad (3.14)$$

D_1 - počáteční průměr

D_3 - konečný průměr

L_1 - počáteční délka

L_3 - konečná délka

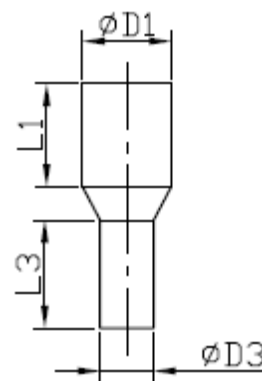
f_1 - součinitel smykového tření v zásobníku

f_2 - součinitel smykového tření v průtlačnici

α - úhel redukčního kužele

σ_{ps} - střední hodnota přirozeného přetvárného odporu

σ_{p1} - přirozený přetvárný odpor



Obr. 3.14 Plné protlačování

- duté

Feldmann [6]

$$\sigma_{ds} = \sigma_{ps2} \cdot \varphi \left(1 + \frac{1\hat{\alpha}}{2\varphi} + 2 \frac{f}{\hat{\alpha}} \right) + \pi \cdot D_1 \cdot L_1 \frac{f}{S_1} \sigma_{p1} \quad [MPa] \quad (3.15)$$

Sieber [2]

$$\sigma_{ds} = \sigma_{ps} (\varphi + 0,6) \left(1,25 + \frac{\pi(D_2 + D_1)}{fL} \frac{fL}{S_1} \right) \quad [MPa] \quad (3.16)$$

D_1 - průměr průtlačníku

D_3 - průměr průtlačnice

L - výška polotovaru před protlačováním

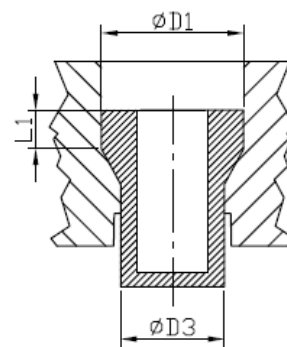
f - součinitel smykového tření

α - úhel redukčního kužele

σ_{ps} - střední hodnota přirozeného přetvárného odporu

σ_{p1} - přirozený přetvárný odpor

S_1 - průřez materiálu před protlačováním



Obr. 3.15 Duté protlačování

Protlačování zpětné

Dipper [7] pro poměrné přetvoření $\varepsilon = \frac{\Delta S}{S_0} = \frac{d^2}{D_0^2} \geq 0,5až0,6, \frac{h_0 - b}{h_0} \geq 0,5až0,6$ a $f_2 = 0,5$

$$\sigma_{ds} = \sigma_{p1} \left(1 + \frac{f_1 \cdot d}{3b} \right) + \sigma_{ps2} \left(1 + \frac{2 \cdot f_{2stř} \cdot b}{D - d} \right) [MPa] \quad (3.17)$$

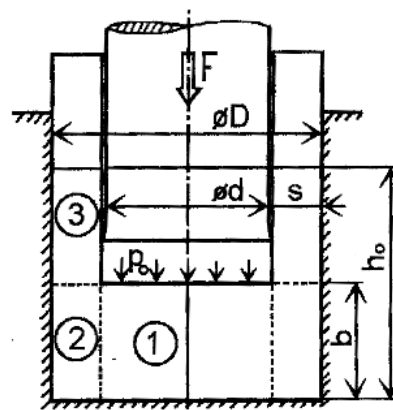
$$f_{2stř} = 0,5 \cdot (f_1 + f_2) [-] \quad (3.18)$$

$$\sigma_{ps2} = \frac{A_{j1}}{\varphi_2} \cdot 10^3 [MPa] \quad (3.19)$$

$$\varphi_3 = \varphi_1 + \varphi_2 = \varphi_1 \left(1 + \frac{d}{8s} \right) [-] \quad (3.20)$$

$$\varphi_2 = \varphi_3 - \varphi_1 [-] \quad (3.21)$$

$$\varphi_1 = \ln \frac{h_0}{b} [-] \quad (3.22)$$



Obr. 3.16 Zpětné protlačování [6]

Siebel [6]

- pro kalíšky z oceli a mosazi s tloušťkou stěny větší než desetina průměru průtlačníku

$$\sigma_{ds} = 1,152 \cdot \sigma_p \frac{D^2}{d^2} \left(\log \frac{D^2}{D^2 - d^2} + \frac{D^2}{D^2 - d^2} \cdot \log \frac{D^2}{d^2} + \log \frac{d^2}{D^2 - d^2} \right) [MPa] \quad (3.23)$$

Sachs [6]

$$\sigma_{ds} = 1,58 \cdot \sigma_p \ln \frac{D^2}{D^2 - d^2} [MPa] \quad (3.24)$$

D - průměr polotovaru

d - průměr průtlačníku

b - výška dna

f_1 - součinitel smykového tření na čele průtlačníku

f_2 - součinitel plastického tření mezi oblastmi 1 a 2

σ_p - přirozený přetvárný odpor

σ_{p1} - přirozený přetvárný odpor

σ_{ps2} - střední hodnota přirozeného přetvárného odporu v oblasti 2

A_{j1} - měrná přetvárná práce

φ_2 - logaritmická deformace

s - síla stěny

h_0 - výška tvářeného polotovaru

3.5 Tvářecí síly [2]

Pro provedení příslušného kroku tvářecí operace musíme překonat odpory v materiálu a vlivem tření. Síla F použitá na překonání nesmí překročit jmenovitou tvářecí sílu použitého stroje. Výpočet maximální síly je nutný ke správnému návrhu nástrojů a ke kontrole dovoleného zatížení lisu. Pro výpočet použijeme následujícího vztahu.

$$F = \sigma_{ds} \cdot S_F [N] \quad (3.23)$$

S_F - konečný průřez plochy protlačku na kterou působí tvářecí síla

Maximální deformační odpor nesmí vzhledem k pevnosti nástrojů překročit dovolené namáhání v tlaku příslušných tvářecích nástrojů běžně 1800MPa až 2200MPa a maximálně 2700MPa.

3.6 Tvářecí práce [6]

Tvářecí práce A a výkon slouží jako další ukazatel při volbě lisu pro tváření daného dílce. Konkrétně k ověření zatížitelnosti pohonu lisu – setrvačníku a hnacího elektromotoru. Práce síly je dána jako součin deformační síla F a dráha beranu z .

$$A = F \cdot z [J]$$

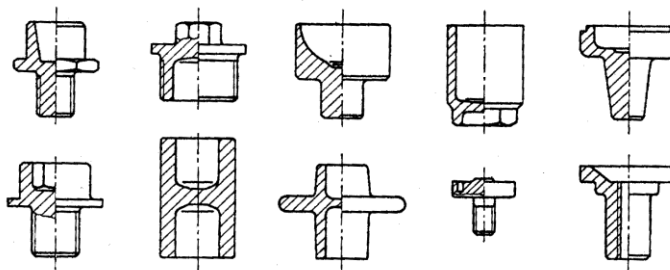
Jiný tvar pro výpočet tvářecí práce vychází z deformačních diagramů (příloha 2) pro daný materiál. Z diagramu jsou odečteny hodnoty měrné přetvárné práce A_j vztažené na jednotku plochy, jako plocha pod křivkou zpevnění vyjádřená deformačním odporem. Kde V je objem tvářené součásti.

$$A = A_j \cdot V [J]$$

3.7 Technologičnost tvaru [2]

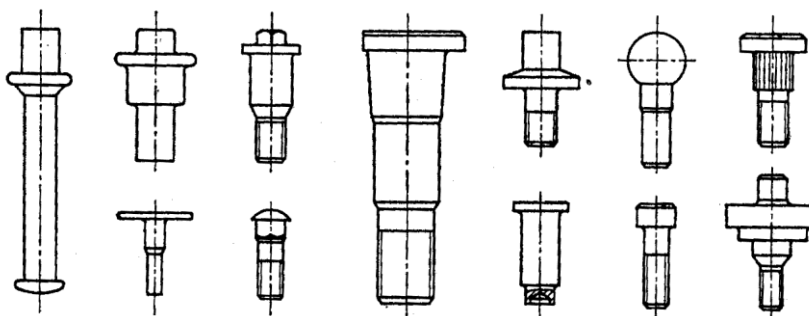
Pestrost tvarů zhotovitelných objemovým tvářením za studena je vysoká. Mohou být zhotoveny součásti at' symetrického nebo nesymetrického tvaru. Lze je rozdělit do několika skupin dle tvaru, avšak mnohé výrobky vznikají kombinací základních tvarů.

- a) Součásti kalíškového tvaru (jednostranné, dvoustranné) jsou vyráběny hlavně dopředným a zpětným protlačováním.



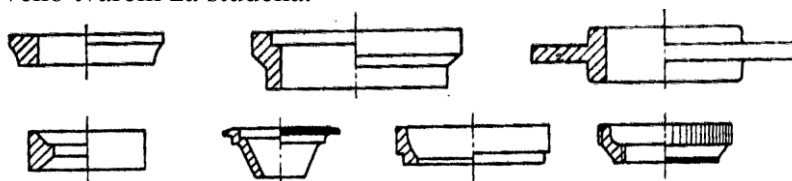
Obr. 3.17 Součásti typu kalíšek [2]

- b) Součásti čepového tvaru, vyráběné nejčastěji stranovým a dopředným protlačováním nebo pýchováním.



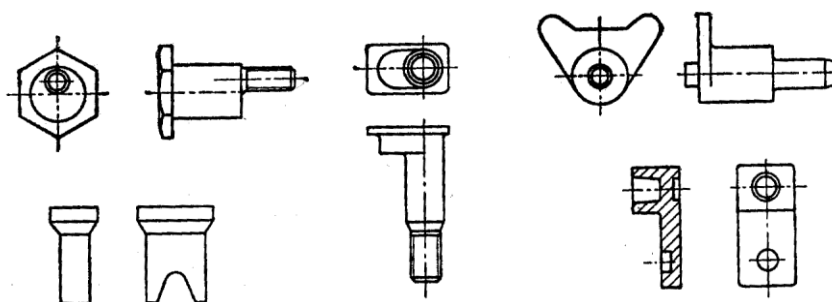
Obr. 3.18 Součásti typu čep [2]

- c) Nízké rotační součásti s průchozím otvorem, tvářené kombinací libovolných základních metod objemového tváření za studena.



Obr. 3.19 Nízké rotační součásti [2]

- d) Součásti nepravidelného tvaru.



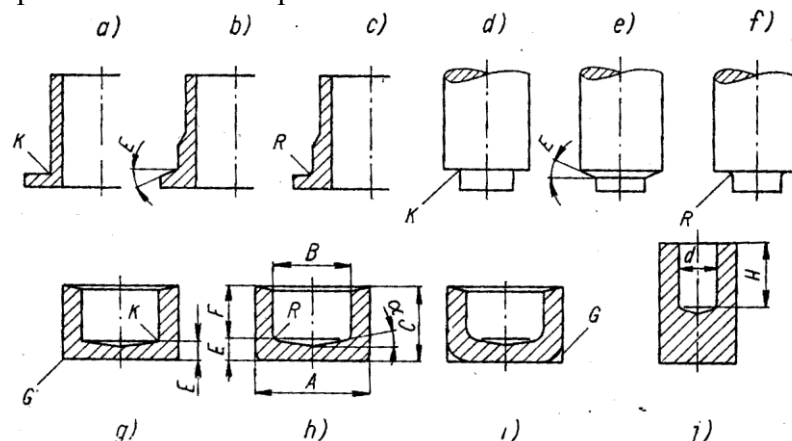
Obr. 3.20 Součásti nepravidelného tvaru [2]

Důležitým poznatkem je nutnost přizpůsobit tvar součásti dané technologii, v našem případě objemovému tváření za studena. Při výrobě součásti odléváním, soustružením nebo svařováním bude součást pro stejné použití jinak tvarově a rozměrově navržena.

Zásady pro návrh tvaru součásti:

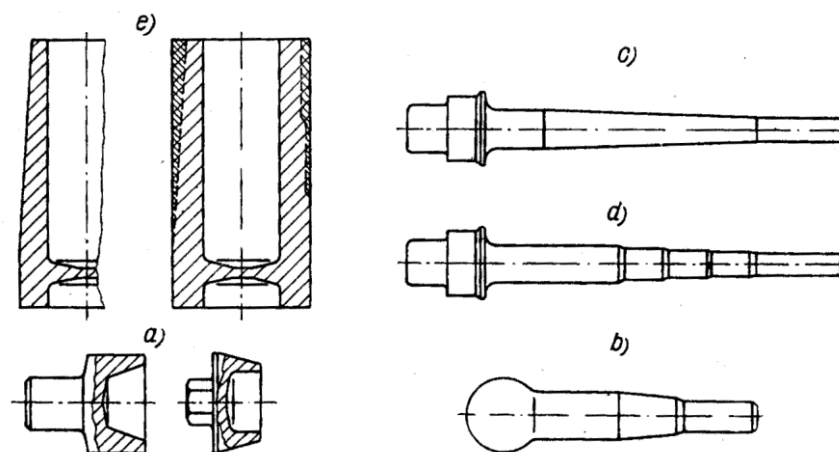
1. Vyvarování se náhlých přechodů, příliš náhlých změn příčného průřezu, ostrých hran a rohů (obr. 3.21a, d, g, pozice K). Ostré hrany brzdí tok materiálu požadovaným směrem a dochází ke zvýšení tvářecí síly, tyto přechody lze zmírnit pomocí vhodné úpravy součásti například náběhovým kuzelem o minimálním úhlu 27° (obr. 3.21b, j, pozice E) nebo vhodným zaoblením rohu s ohledem na další tvářecí operaci (obr. 3.21c, f, pozice R).
2. Pro součást kalíškovitého tvaru platí, je-li tloušťka dna větší než tloušťka stěny ostré hrany nejsou na závalu (obr. 3.21j). U součástí kde je tloušťka dna stejná nebo menší než tloušťka stěny dochází často k porušení v rozích jak je patrné z obr. 3.21g,i, pozice G.

3. U tváření vnitřních otvorů je nutné dodržet vtláčovanou hloubku otvoru H obr. 3.21j. Volíme ji maximálně dvojnásobnou proti průměru tvářeného otvoru, v opačném případě může dojít k napěchování či ohnutí průtláčnicku.



Obr. 3.21 Příklady vhodných a nevhodných tvarů [2]

4. Zpětným a dopředným protlačováním dosahujeme výlisků, jejichž stěny jsou rovnoběžné s pohybem průtláčnicku. Při snaze vyrobit součást s vnitřním nebo vnějším kuzelem se vyskytují problémy s nárůstem sil, zejména u dlouhých kuželů, působí jako klín (obr. 3.22). U dlouhých kuželových ploch se doporučuje odstupňování průměru (obr. 3.22c, d, e) a poté dodatečně obrobit. Součásti s krátkou kuželovou plochou (obr. 3.22a, b) ve výjimečných případech vyrobit lze.



Obr. 3.22 Součásti s kuželovými plochami [2]

5. Rozměr otvoru při protlačování by neměly mít menší průměr než 10mm

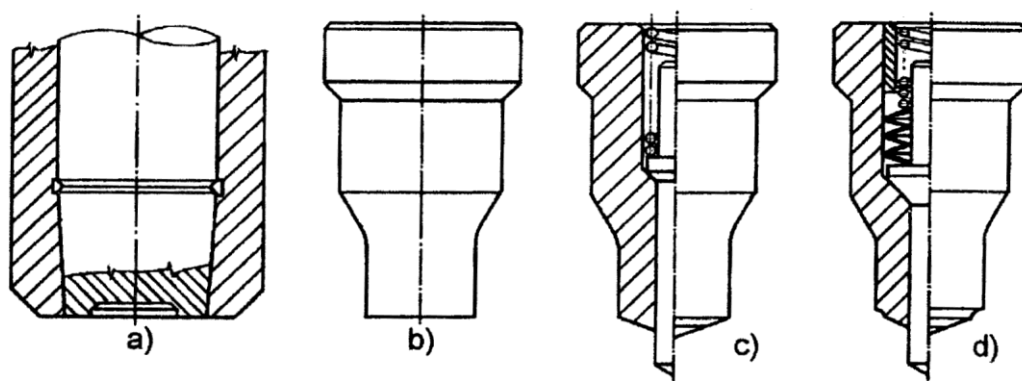
Pro rozměry vyráběné součásti teoreticky neplatí žádné omezení. Jsou omezeny pouze dosažitelnou silou použitého stroje a únosností použitých nástrojů. Standardně lze dnes zhotovit součásti o rozměrech do průměru 160mm a délce 1500mm. Dutá tělesa je možné konstruovat s minimální tloušťkou stěny až 0,1mm. Tvářené součásti malých rozměrů nelze vyrábět hospodárně na tvářecích strojích s velkou jmenovitou silou a dlouhou dráhou beranu. Výroba součásti se tedy řídí často výrobním strojem, který má výrobce k dispozici.

3.8 Nástroje pro objemové tváření za studena

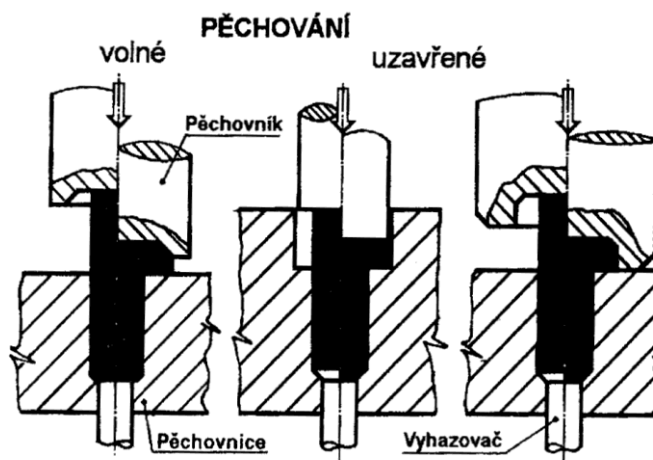
Základní rozdělení nástrojů pro objemové tváření za studena je dle použití pro určité operace a jejich konstrukce vychází z praxe ověřených tvarů a provedení jak bude uvedeno dále v následujících kapitolách.

3.8.1 Nástroje pro pěchování [2], [6]

Návrh pěchovacího nástroje a jeho konstrukční řešení ovlivňuje do značné míry technologický postup výroby, který se bude dále skládat z jednotlivých základních tvářecích operací, a použití tvářecího stroje (jednooperační kovací stroj, lis, pěchovací automat, víceoperační stroj. Pro pěchovníky jsou dva druhy použití. První pro předpěchování výchozího materiálu před další tvářecí operací a druhý pro napěchování žádaného tvaru. Funkční dutina pěchovníku je negativem tvářené součásti například hlavy šroubu. Obr. 3.23 znázorňuje tvary pěchovníku. Jejich popis je následující, obr. 3.23a vložkový pěchovník sloužící osvědčeného tvaru, obr. 3.23b pěchovník s rovným čelem se používá pro kalibrování čel ústřížku v průtláčnici, obr. 3.23c,d pěchovník se zahloubením pro vytvoření středních kuželů. U posledních dvou typů odpružené kolíky pomáhají zavádět polotovary a slouží pro stírání polotovaru z pěchovníku. Příklady pěchování jsou zobrazeny na obr. 3.24.



Obr. 3.23 Tvary pěchovníku [6]

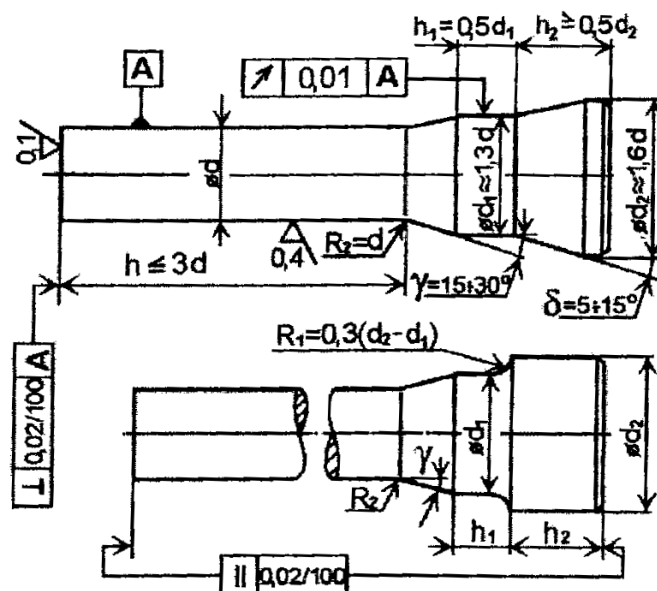


Obr. 3.24 Typy pěchování [6]

3.8.2 Nástroje pro dopředné protlačování [6], [9]

Průtlačníky pro plné protlačování

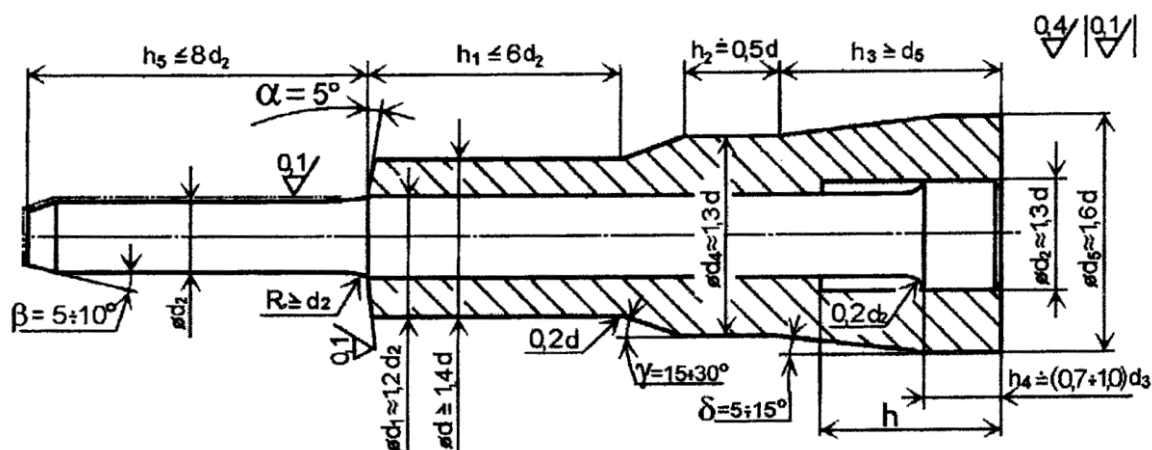
Průtlačníky pro výrobu plných součástí jsou vyrobeny nejčastěji jako monolitní nástroj z jednoho kusu. Dle obr. 3.25 jej můžeme rozdělit na dřík – funkční část a upínací část – kuželovou nebo válcovou hlavu. Největší pozornost musí být kladena na koncentraci napětí v místě přechodu mezi funkční částí a upínací částí, doporučuje se volit co nejpozvolnější přechod. Příklad tvaru a rozměru je patrný z obr. 3.25. Při konstrukci průtlačníku je třeba se zaměřit především na geometrické tolerance, zejména na kolmost, házivost, rovnoběžnost a finální úpravu – lapování broušené plochy.



Obr. 3.25 Průtlačník pro plné protlačování [6]

Průtlačník pro duté protlačování

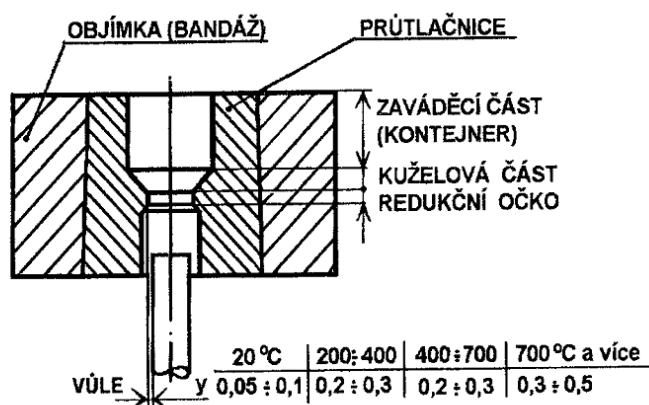
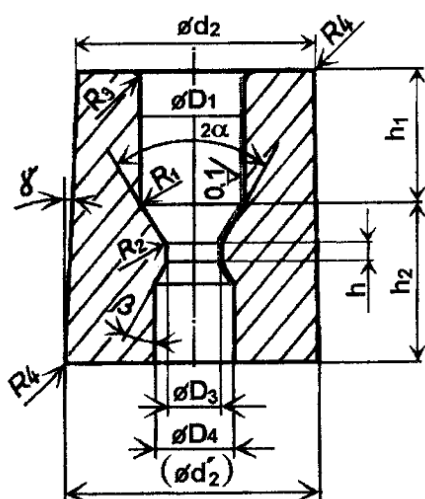
Průtlačníky pro dopředné duté protlačování se nejčastěji vyrábějí jako dělené na pouzdro a samotný průtlačník. Výroba z jednoho kusu je problematická z důvodu koncentrace napětí v místě zúžení průtlačníku. Příklad doporučených tvarů a rozměrů je patrný z obr. 3.26.



Obr. 3.26 Průtlačník pro duté protlačování [6]

Průtlačnice pro dopředné protlačování

Hlavním geometrickým parametrem průtlačnice pro dopředné protlačování je tvar redukční části – očka. Nejpoužívanějším tvarem oka průtlačnice je redukční kužel, tato část má zásadní vliv na velikost deformačního odporu. Na obr. 3.27 je zobrazen příklad tvaru průtlačnice a doporučené rozměry v tabulce 3.1. Válcová dutina průtlačnice - kontejner slouží k vedení polotovaru a pro jeho zavádění je opatřena rádiusem nebo náběhovým kuzelem pro snadné vkládání. Výška kontejneru je dána rozměrem tvářeného polotovaru, doporučený rozměr je je-li kontejner o 10mm vyšší než horní hrana zavedeného polotovaru. Zbylá část kontejneru slouží jako vedení průtlačníku. Průměr redukčního oka je dán výsledným průměrem součástí. Odlehčení na průměr D_4 snižuje tření v průtlačnici a příčné dělení v rovině mezi válcovým kontejnerem a redukčním kuzelem snižuje vrubový účinek. Další prvek zvyšující únosnost průtlačnice je použití objímky – bandáže (obr. 3.28), dochází k zapouzdření s přesahem na kuželovou plochu nebo s ohřevem objímky na válcovou plochu.



Obr. 3.27 Příklad průtlačnice [6] Obr. 3.28 Průtlačnice s bandáží [6]

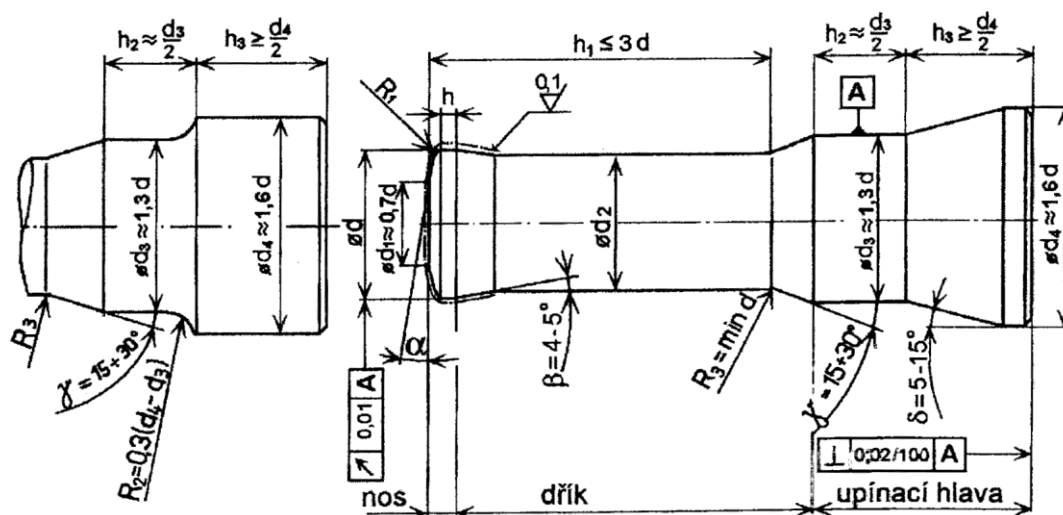
Tab. 3.1 Parametry průtlačnice [6]

Tvářecí teplota	20°C	200° až 400°C	400° až 700°C	700°C a více
D_4	$D_3 + (0,1až0,2)$	$D_3 + (0,2až0,4)$	$D_3 + (0,41až0,6)$	$D_3 + (0,6až0,8)$
H	$0,5 \cdot \sqrt{D_3}$	2 až 3 mm	3 až 5 mm	5 až 20 mm
2α	30°až 90°	60°až 120°	90°až 120°	90°až 150°
R_1	$(D_1 - D_3)/2$			
R_2	$(0,05až0,1) \cdot D_3$	1 až 2 mm	2 až 4 mm	4 až 10 mm
R_3	$Asi0,15 \cdot D_1$			
H_2	$Min0,7 \cdot D_1$			
γ	1° až 2°			
β	5° až 10°			

3.8.3 Nástroje pro zpětné protlačování [6]

Průtlačník pro zpětné protlačování

Nejdůležitější částí průtlačníku pro zpětné protlačování je jeho čelo, jeho provedení významně ovlivňuje velikost a průběh tvářecí síly. Obvyklý tvar čelní plochy je kužel a jeho úhel je nutno volit dle materiálu, teploty a tvaru průtlačku. Příklad tvaru a parametrů průtlačníku nalezneme na obr. 3.29 a v tabulce 3.2.



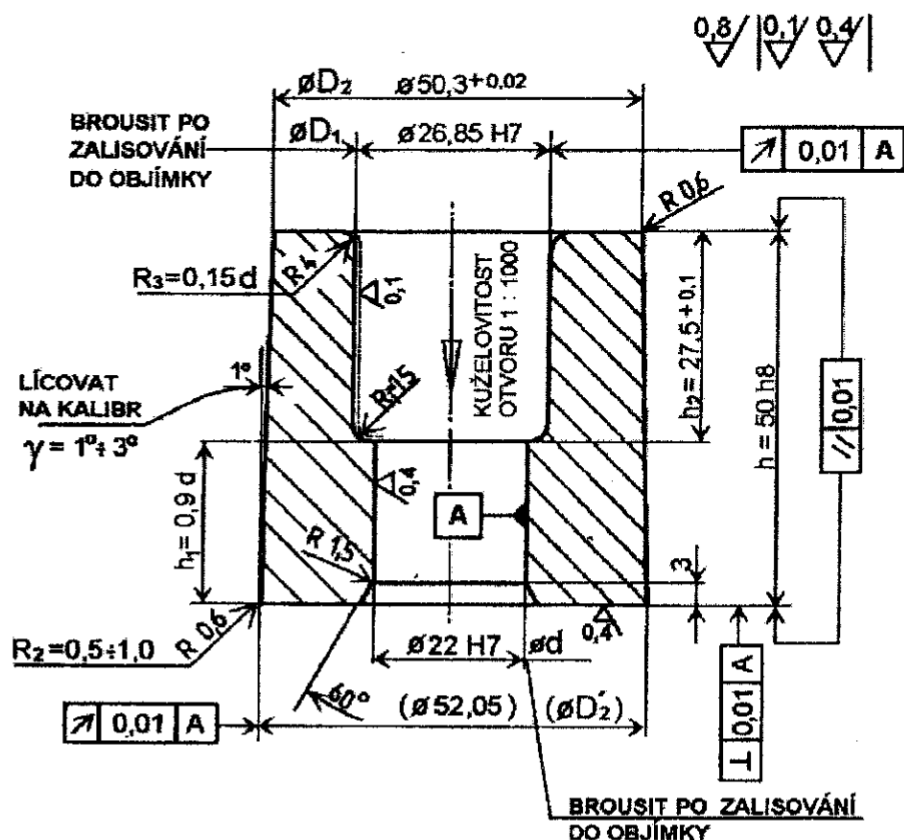
Obr. 3.29 Průtlačník pro zpětné protlačování [6]

Tab. 3.2 Parametry průtlačníku [6]

Teplota tváření	20°C	200° až 400°C	400° až 700°C	700°C a více
d	d-(0,1 až 0,2)	d-(0,2 až 0,5)	d-(0,3 až 0,6)	d-(0,4 až 1,0)
h	$0,5 \cdot \sqrt{d}$	2 až 3 mm	3 až 5 mm	5 až 20 mm
α	5° až 8°	5° až 15°	5° až 15°	20°
R_1	(0,05 až 0,1)d	1 až 3 mm	1 až 4 mm	2 až 10 mm
d_1	$d-(2R_1 + 0,2d) \approx 0,7d$			

Průtlačnice pro zpětné protlačování

Při zpětném protlačování vznikají nejčastěji součásti typu kalíšek. Tvarem a rozměrem navržené součásti se řídí i rozměr a tvar funkčních ploch průtlačnice. Válcová dutina průtlačnice slouží k vedení polotovaru a pro jeho zavádění je opatřena rádiusem nebo náběhovým kuzelem pro snadné vkládání, její povrch je broušen a lapován. Zaoblení R_1 snižuje koncentrace radiálních napětí, příklad konstrukce průtlačnice je na obr. 3.30. Dutina průtlačnice se vyrábí s mírnou kuželovitostí zhruba 1:1000, která brání vzniku velkých osových sil při vyhazování hotových součástí.



Obr. 3.30 Průtlačnice pro zpětné protlačování [6]

3.9 Stroje pro protlačování [10]

Pro protlačování (zpětné, dopředné, kombinované) a pěchování součástí i jejich dokončovací operace (tažení, kalibrování, stříhání, ražení) používáme stroje, které lze rozdělit na tři základní skupiny:

1. Mechanické lisy
2. Hydraulické lisy
3. Speciální stroje

Mechanické lisy

Jejich uplatnění nalezneme především tam, kde je zapotřebí velkých tvářecích sil (velké výlisky), při malých sériích, pro výlisky, které se vyrábí na jednu maximálně dvě operace a kde je mezi operacemi nutný ohřev. Největší výhodou mechanických lisů je jejich velká tuhost, která má přímý vliv na životnost nástrojů a stroje, účinnost tváření a přesnost. Mechanické lisy můžeme dále rozdělit:

- klikové lisy

Pohyb klikového lisu vychází od elektromotoru, který přes převody pohání spojku dále kliku, ojnici a beran lisu. Na beranu lisu je obvykle upevněn nástroj. Bývá nejčastěji dvoustojanové konstrukce a vyrábí se v široké škále tvářecích sil. Jejich předností je velký

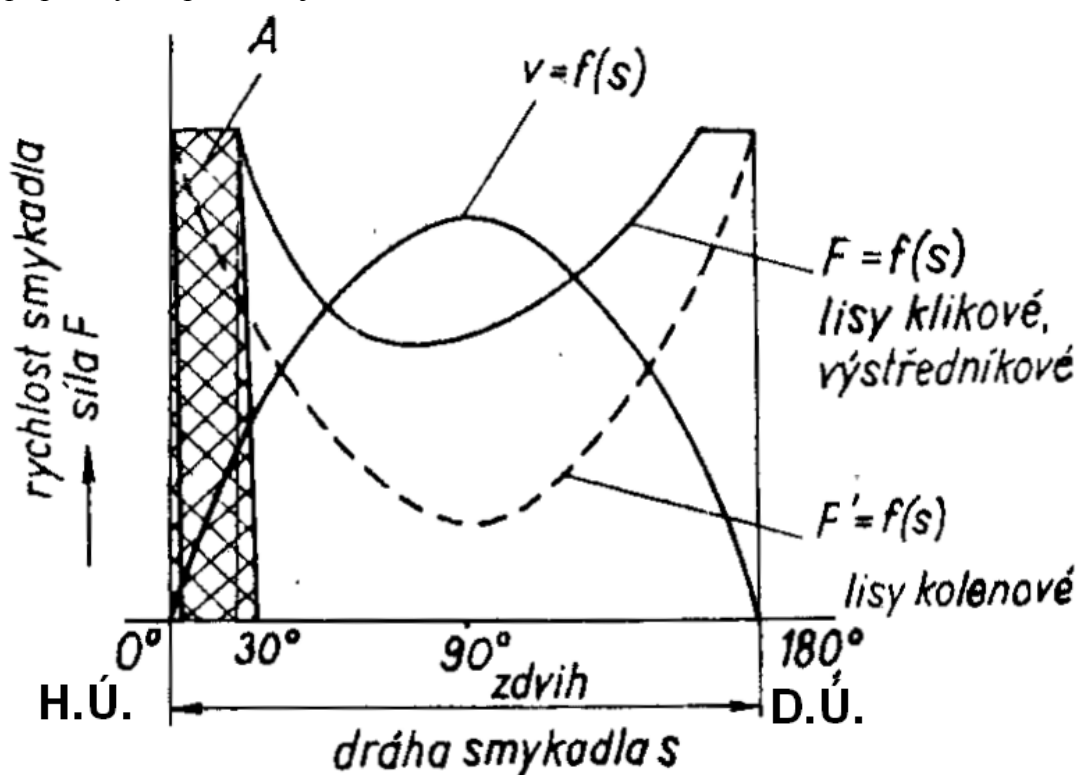
zdvih, jsou tedy vhodné pro protlačování. Nevýhodou poměrně velká rychlost beranu při dosednutí nástroje, kterou je nutné kompenzovat například hydraulickou poduškou v beranu nebo ve stole ke snížení rázové špičky. Pracovní diagram je na obr. 3.31.

- kolenové lisy

Pohon je zajišťován elektromotorem, který je spojkou přenášen na setrvačnický a klikový mechanismus na kolenové ústrojí spojené s beranem lisu. Těleso lisu je často ocelový odlitek. Využití při protlačování je omezené nízkým zdvihem beranu, lze tvářet pouze nízké součásti. Vyznačují se charakteristickou špičkou síly na konci zdvihu a velkou tuhostí samotného lisu. Průběh síly je patrný z obr. 3.31.

- výstředníkové lisy

Výstředníkové lisy využívají k přenosu síly výstředníkového mechanismu, který je poháněn elektromotorem. Dále pohání výstředníkový hřídel, ojnice a beran. Zdvih beranu je nastavitelný pomocí výstředníkového pouzdra, díky tomu lze měnit rychlost beranu a průběh síly (obr. 3.31). Tyto lisy jsou podstatně méně tuhé a jejich využití je hlavně u přípravných operací objemového tváření.



Obr. 3.31 Pracovní diagram lisů [10]

Hydraulické lisy

Pohon těchto lisů zabezpečuje hydraulické čerpadlo poháněné elektromotorem, Přenos síly zabezpečuje tlaková kapalina (voda, olej), přes akumulátor pohání hydraulický píst, který pohání beran lisu. Jsou vhodné díky velké tvářecí síle a dlouhé pracovní dráze k protlačování dlouhých a rozměrných výlisků. Výhodou proti mechanickým lisům je využití jmenovité tvářecí síly během celé operace, velkou nevýhodou je však nízký počet zdvihů a malá pracovní rychlost.

3.10 Materiály nástrojů pro protlačování [2], [11]

Při protlačování jsou na nástroje kladeny vysoké nároky a je nutné použít vhodné materiály na jejich výrobu. Nástroje a jejich materiály musí mít velkou tvrdost, pevnost a odolnost proti opotřebení, důležitá je i nízká drsnost povrchu. Správnou volbou materiálu dosáhneme požadované životnosti nástroje, jeho volba je značně závislá na výsledcích experimentů.

Trvanlivost nástrojů má největší význam při použití v automatizované výrobě na tvářecích automatických linkách. Průtlačníky a průtlačnice nemají být vystaveny větším tlakům než 2500MPa až 3000MPa, k jejich porušení dochází většinou únavovým lomem. K náhlému lomu může dojít z důvodu špatné konstrukce nástroje nebo překročí-li tvářecí síla dovolené zatížení nástrojů. K defektu nástroje z důvodu opotřebení dochází výjimečně, nástroje jsou dobře mazány.

Druh nástrojové oceli se navrhuje dle použité technologie protlačování, druhu a stavu tvářeného materiálu, tvaru, velikosti výrobku, velikosti deformace, počtu kusů a druhu nástroje. Vybraná ocel musí mít předpoklady k dalšímu tepelnému zpracování (žihání, kalení, popouštění). Příklady ocelí jsou uvedeny v tabulce 3.3.

Tab. 3.3 Materiály k výrobě protlačovadel [11]

Součást protlačovadla			Materiál
Průtlačník			19 314, 19315, 19 426, 19 572, 19 820, 19 830
Průtlačnice			19 436, 19 550, 19 569, 19 572, 19 655, 19735, 19 820, 19 830
Objímka	Jednoduchá		19550, 19740 tepelně zpracováno na 45 až 48 HRC
	Dvojitá	Vnitřní objímka	19 550 tepelně zpracováno na 52 až 55 HRC 19 655 tepelně zpracováno na 50 HRC (průtlačnice velkých rozměrů s hlubokou dutinou)
		Vnější objímka	15 261 tepelně zpracováno na 40 až 45 HRC; pro objímky větších rozměrů při požadavku větší houževnatosti 19426 tepelně zpracováno na 40 až 45 HRC
Vyhazovač			19 314, 19 569, 19 820, 19 830
Kolík vyhazovače			19 314, 19 426, 19 550
Opěrná deska a podložka, vodící vložka			19 314, 19 356, 19 550; pro nejvyšší tlaková namáhání 19 436
Těleso protlačovadla, matice			11 600, 11 700, 12 060, 13 180, 14 260 tepelně zpracováno na 40 až 45 HRC

Poznámky – oceli 19820 a 19 830 se doporučují pro nástroje maximálně namáhané nebo při výrobě větších sérií. Nástroje z těchto materiálů se doporučuje upravovat buď iontovou nitridací nebo fyzikálním iontopazmovým polakováním nitridem titanu TiN.

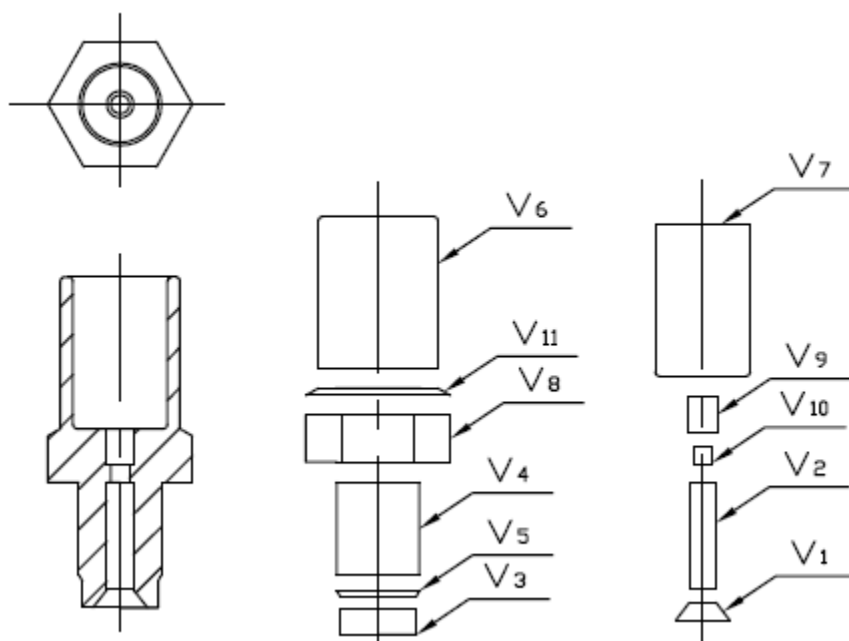
Mimo nástrojových ocelí se pro výrobu průtlačníků a průtlačnic používá slinutých karbidů a to pro jejich vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení, ale s ohledem na menší houževnatost. Nejvíce používané jsou slinuté karbidy wolframu a kobaltu, mají ve srovnání s ocelí větší trvanlivost (až 100krát), pevnost v ohybu a tahu je nižší a pevnost v tlaku několikrát vyšší než u oceli.

4. NÁVRH TECHNOLOGIE

Cílem čtvrté kapitoly je navrhnout vhodné varianty technologie výroby koncovky brzdové hadice a výběr nejvhodnější varianty. Pro tuto variantu vypočítat deformační odpory a příslušnou tvářecí sílu a práci. Na základě těchto výpočtů bude navržen vhodný tvářecí stroj.

4.1 Výpočet objemu protlačku

Výpočet objemu součásti určíme z konečného tvaru vylisku s ohledem na případné dokončovací operaci vyvrtáním průchozích otvorů. Protlaček rozdělíme na tělesa, pro které jsou známy matematické vzorce pro výpočty objemů.



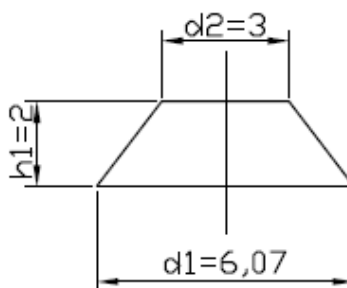
Obr. 4.1 Rozdělení součásti na základní tělesa

Těleso 1 – vnitřní kužel

$$d_1 = 6,07mm$$

$$d_2 = 3mm$$

$$h_1 = 2mm$$



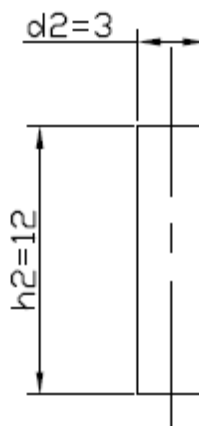
Obr. 4.2 Těleso 4.2 Vnitřní kužel

$$V_1 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot h_1 \cdot (d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2) = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 2 \cdot (6,07^2 + 6,07 \cdot 3 + 3^2) = 33,5mm^3 \quad (4.1)$$

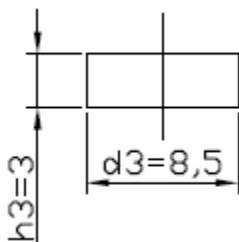
Těleso 2 – vnitřní válec 1

$$d_2 = 3mm, h_2 = 12mm$$

$$V_2 = h_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = 12 \cdot \frac{\pi \cdot 3^2}{4} = 84,8mm^3 \quad (4.2)$$



Těleso 3 - válec vnější 1

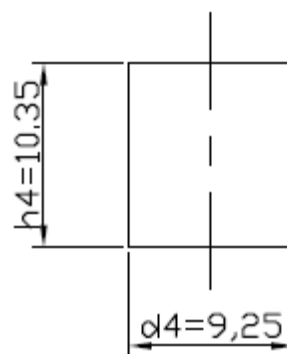


Obr. 4.3 Těleso 3 – vnější válec 1

$$d_3 = 8,5mm, h_3 = 3mm$$

$$V_3 = h_3 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8,5^2}{4} = 170,2mm^3 \quad (4.3)$$

Obr. 4.4 Těleso 2 – vnitřní válec 1



Těleso 4 - válec vnější 2

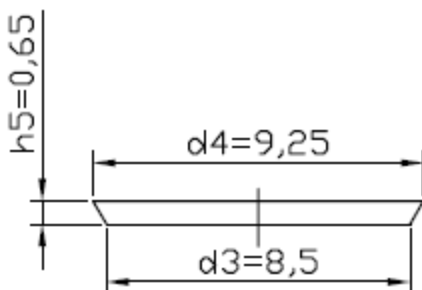
$$d_4 = 9,25mm, h_4 = 10,35mm$$

$$V_4 = h_4 \cdot \frac{\pi \cdot d_4^2}{4} = 10,35 \cdot \frac{\pi \cdot 9,25^2}{4} = 695,5mm^3 \quad (4.4)$$

Těleso 5 - kužel vnější

$$d_1 = 8,5mm, d_2 = 9,25mm, v = 0,65mm$$

Obr. 4.5 Těleso 4 – vnější válec 2



Obr. 4.6 Těleso 2 – vnější válec 2

$$V_5 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot h_5 \cdot (d_3^2 + d_3 d_4 + d_4^2) = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 0,65 \cdot (8,5^2 + 8,5 \cdot 9,25 + 9,25^2) = 40,2mm^3 \quad (4.5)$$

Objem dřívku

Stanovíme z objemů V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 a označíme jej V_D .

$$V_D = V_3 + V_4 + V_5 - V_1 - V_2 = 787,6 \text{ mm}^3 \quad (4.6)$$

Těleso 6 – vnější válec 3

$$d_5 = 13,4 \text{ mm}, h_6 = 17 \text{ mm}$$

$$V_6 = h_6 \cdot \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} = 17 \cdot \frac{\pi \cdot 13,4^2}{4} = 2397,4 \text{ mm}^3 \quad (4.7)$$

Těleso 7 – vnitřní válec

$$d_6 = 10,6 \text{ mm}, h_7 = 17 \text{ mm}$$

$$V_7 = h_7 \cdot \frac{\pi \cdot d_6^2}{4} = 17 \cdot \frac{\pi \cdot 10,6^2}{4} = 1500,2 \text{ mm}^3 \quad (4.8)$$

Objem kalíšku

Stanovíme z objemů V_6, V_7 a označíme jej V_K .

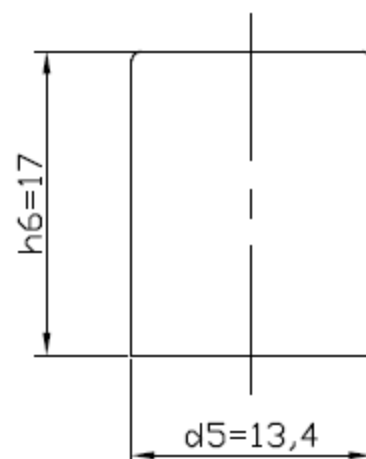
$$V_K = V_7 - V_6 = 897,2 \text{ mm}^3 \quad (4.9)$$

Těleso 8 – šestihran

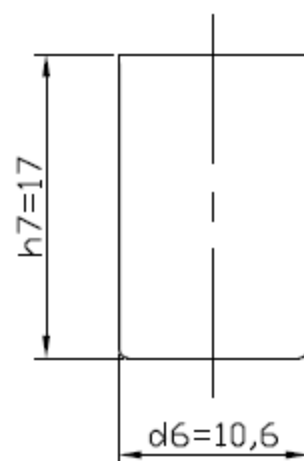
$$h_8 = 5,19 \text{ mm}, n = 6, \varphi = 60^\circ$$

$$R_1 = \frac{m_1}{2} = \frac{16,16}{2} = 8,08 \text{ mm} \quad (4.10)$$

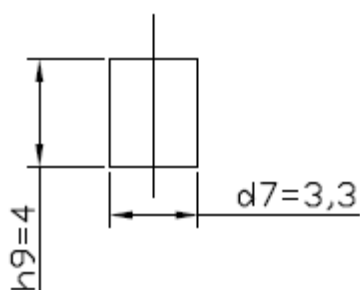
$$V_8 = \frac{1}{2} \cdot n \cdot R_1^2 \cdot \sin \varphi \cdot h_8 = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 8,08^2 \cdot \sin 60^\circ \cdot 5,19 = 881 \text{ mm}^3 \quad (4.11)$$



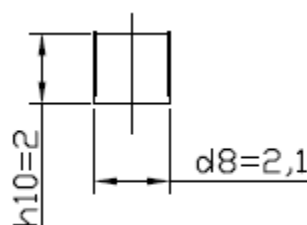
Obr. 4.7 Těleso 6 – vnější válec 2



Obr. 4.8 Těleso 7 – vnitřní válec 2



Obr. 4.9 Těleso 9 – vnitřní válec v šestihranu



Obr. 4.10 Těleso 10 – vnitřní válec

Těleso 9 – vnitřní válec v šestihranu

$$d_7 = 3,3mm, h_9 = 4mm$$

$$V_9 = h_9 \cdot \frac{\pi \cdot d_7^2}{4} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 3,3^2}{4} = 34,2mm^3 \quad (4.12)$$

Těleso 10 – vnitřní válec

$$d_8 = 2,1mm, h_{10} = 2mm$$

$$V_{10} = h_{10} \cdot \frac{\pi \cdot d_8^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 2,1^2}{4} = 6,9mm^3 \quad (4.13)$$

Těleso 11 - Kužel mezi šestihranem a kalíškem

Plocha šestihranu

$$S_8 = \frac{1}{2} \cdot n \cdot R_1^2 \cdot \sin \varphi = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 8,083^2 \cdot \sin 60^\circ = 169,7mm^2 \quad (4.14)$$

Plocha šestihranu je nahrazena plochou kruhu, z které je vypočten průměr nahrazeného kruhu. Dále je výpočet proveden jako objem komolého kužele.

$$S_8 = S_{kruhu} \quad (4.15)$$

$$d_{kruhu} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{kruhu}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 169,741}{\pi}} = 14,701 \quad (4.16)$$

$$d_{kruhu} = d_{10} = 14,7mm, d_9 = 13,4mm, h_{11} = 0,81mm$$

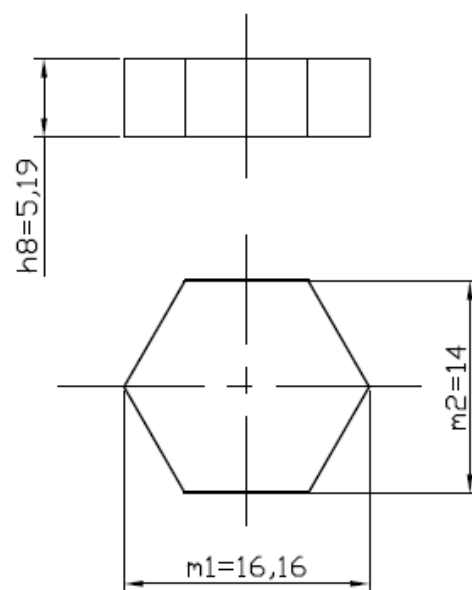
$$\begin{aligned} V_{11} &= \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot h_{11} \cdot (d_{10}^2 + d_{10}d_9 + d_9^2) = \\ &= \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 0,81 \cdot (14,701^2 + 14,701 \cdot 13,4 + 13,4^2) = 125,7mm^3 \end{aligned} \quad (4.17)$$

Objem šestihranu

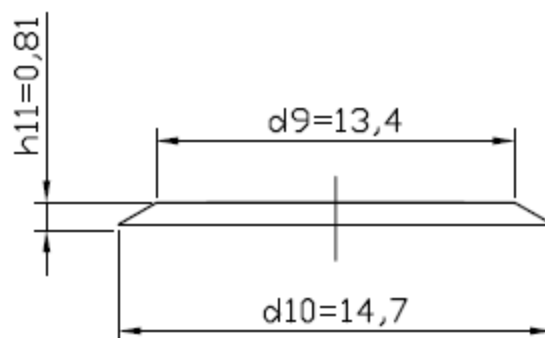
Stanovíme z objemů V_8, V_9, V_{10}, V_{11} a označíme jej V_S .

$$V_S = V_8 - V_9 - V_{10} + V_{11} \quad (4.18)$$

Z důvodu nutnosti vrtání válcové plochy, těleso 10 – vnitřní válec o rozměrech $d = 2,1mm, v = 2mm$ v dokončovacích operacích je objem plochy $V_{10} = 0$



Obr. 4.11 Těleso 8 – šestihran



Obr. 4.12 Těleso 11 – kužel

$$V_s = 881 - 34,2 - 0 + 125,7 = 972,5 \text{ mm}^3 \quad (4.19)$$

Celkový objem

Stanovíme z vypočtených objemů kalíšku V_K , dříku V_D a šestihranu V_s označíme jej V_C .

$$V_C = V_D + V_K + V_s = 787,6 + 897,2 + 972,5 = 2657,3 \text{ mm}^3 \quad (4.20)$$

4.2 Návrh materiálu [11], [12]

Pro výrobu součásti brzdová hadice má být použito oceli 12010.3. Výpočty deformačních odporů materiálu v jednotlivých tvářecích operacích budou zahrnovat vliv stupně deformace (zpevnění) na tvářený materiál. Jako výchozí stav materiálu po konzultaci s vedoucím diplomové práce bude použita ocel 12010-S5R, pro kterou lze použít pro výpočet deformačního odporu výstupů z Poradenské příručky Křivky přetvárných odporů ocelí (příloha 2).

Vlastnosti oceli 12010-S5R [11]

Konstrukční ocel nelegovaná, obvyklých jakostí, obsah uhlíku 0,07-0,14% – vhodná k objemovému tváření za studena. Možno cementovat, normalizačně žíhat, žíhat na měkko, popouštět a kalit. Zaručená svařitelnost, použití na méně namáhané součásti čepy pouzdra, šrouby, vačkové hřídele ozubená a řetězová kola, kalibry, upínací trny, frézy na dřevo.

Ekvivalentní označení [14]

Norma	Stát	Materiál	Číslo materiálu
ČSN412010	ČR	12010	412010
EN10084	EU	C10E	1.1121
EN10277-2	EU	C10	1.0301
DIN17210	D	C 10	1.0301
DIN17210	D	Ck 10	1.1121
ASTM A510	USA	1010	G10100
GOST1050-88	RUSKO	08	
GOST1050-88	RUSKO	10	

Chemické složení oceli 12010-S5R v %

Tab. 4.1 Chemické složení oceli 12010-S5R [11]

Materiál		C %	Cr %	Cu %	Mn %	Ni %	P %	S %	Si %
ČSN412010	min.	0,07							
	max.	0,14	0,15	0,3	0,65	0,3	0,04	0,04	0,4

Význam dalšího označení (příloha 1):

S – tažený v silivosku

5 – mořený, tažený, žíhaný na měkko, mořený, tažený s úběrem 5%

R – tažený v mýdlovém prášku

Mechanické vlastnosti

Tab. 4.3 Mechanické vlastnosti oceli 12010-S5R [12]

Mez pevnosti R_m	max. 392	MPa
Kontrakce Z	min. 60	%

Mechanické vlastnosti zkoušeného materiálu o průměru 16,5mm jsou uvedeny v následující tabulce 4.4(příloha 3).

Tab. 4.4 Mechanické vlastnosti zkoušeného materiálu z oceli 12010-S5R [12]

Mez pevnosti R_m	372	MPa
Kontrakce Z	75	%
Dosažené přetvoření $\varphi_{dosažené}$	2,1554	-
Kritické přetvoření $\varphi_{kritické}$	2,2149	-

Závislost deformačního odporu a měrné přetvárné práce na logaritmickém přetvoření při tváření za studena vychází z experimentálních zkoušek pro daný materiál uveřejněných v Poradenské příručce. Pro potřebu této práce je využito grafického a analytického vyjádření označeném jako “B” v příloze 2.

Polotovar [11]

Tažený ocelový drát pro všeobecné účely KR 11,2 ČSN426410.5 – 12010-S5R.

4.3 Varianty technologie

Vzhledem k tvarové náročnosti součásti se nám nabízejí 2 varianty řešení protlačku na 3 nebo 4 operace, jak bude popsáno dále.

4.3.1 Výpočet výchozích rozměrů ustřiženého polotovaru

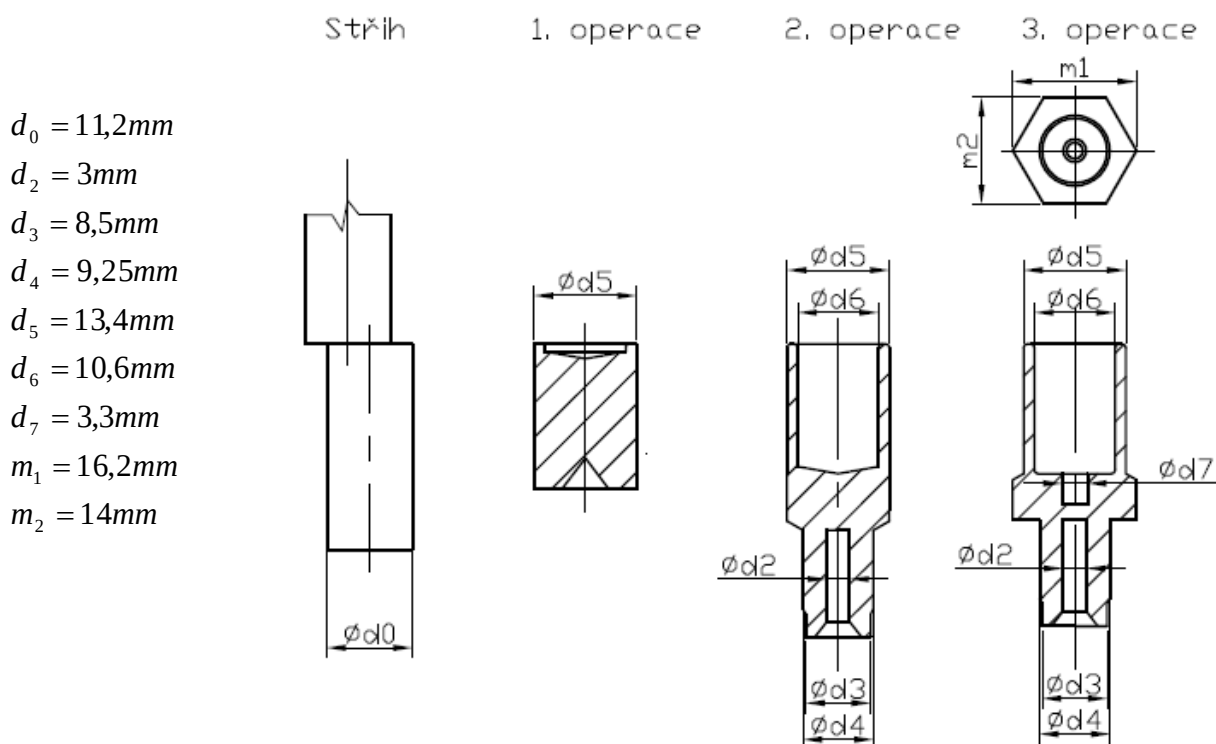
Výpočet rozměrů polotovaru je proveden na základě zákona zachování objemu (objem součásti po tváření a před tvářením se nemění) a dostupného polotovaru o známém průřezu. Vybraný průměr drátu polotovaru $d_0 = 11,2mm$

$$h_0 = \frac{V_C}{S_{tyč}} = \frac{V_C}{\pi \cdot d_0^2 / 4} = \frac{2657,3}{\pi \cdot 11,2^2 / 4} = 27mm \quad (4.21)$$

4.3.2 Varianta I

Ustřížení polotovaru z tyče kruhového průřezu o výchozím průměru d_0 .

1. operace Rovnání čel po předchozí operaci dělení materiálu ustřížením a předpěchování výchozího průměru d_0 na průměr d_5 , vytvoření středících otvorů pro další operace.
2. operace Dopředné protlačování díčku z průměru d_5 na průměr d_4 a d_3 , vytvoření vnitřní dutiny o průměru d_2 a zároveň zpětné protlačování kalíšku z počátečního průměru d_5 na vnitřní průměr d_6 .
3. operace Pěchování vnějšího šestihranu z počátečního průměru d_5 , kalibrace.

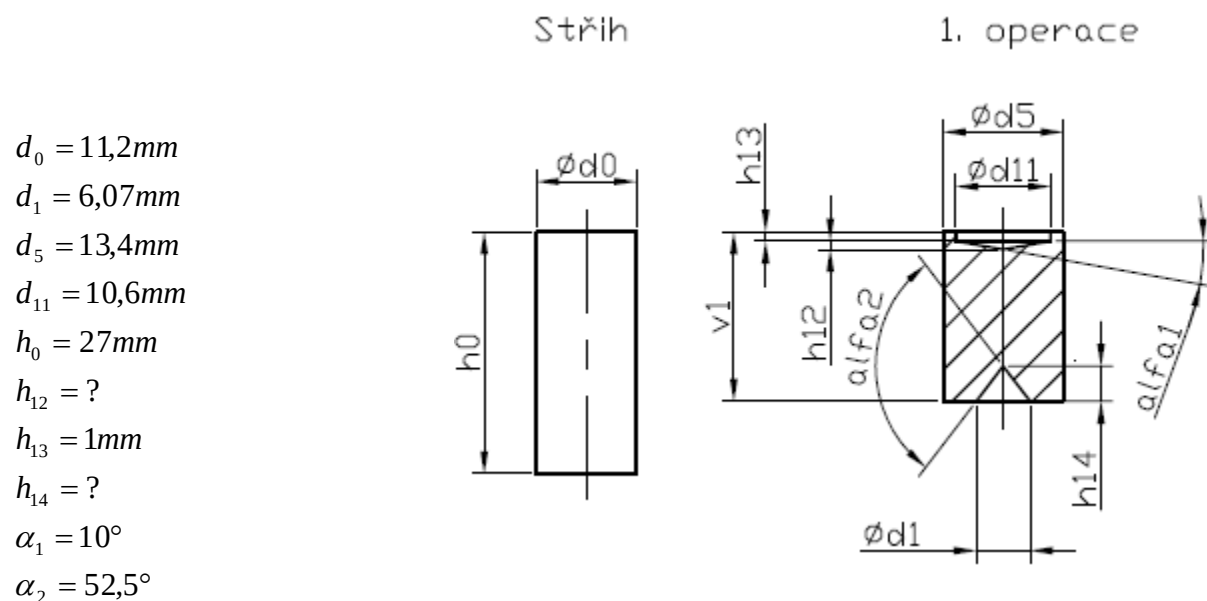


Obr. 4.13 Varianta I

Výpočet logaritmických přetvoření a rozměrů v jednotlivých operacích varianta I

1. operace – předpěchování

Předpěchování před protlačováním použijeme z důvodu tvarových úchylek a zpevnění materiálu tvářeného polotovaru, který vykazoval po stříhání z tyčového materiálu nerovnoběžnost čel a průhyb v ose.



Obr. 4.14 1. operace – varianta I

Přetvoření v 1. Operaci:

$$\varphi_1 = \ln \frac{d_5}{d_0} = \ln \frac{13,4}{11,2} = \ln 1,43 = 0,36 \quad (4.22)$$

Výpočet rozměrů po 1. Operaci

Rozměr středícího kužele 1: $d_{11} = 10,6mm, \alpha_1 = 10^\circ$

$$h_{12} = \tan \alpha_1 \cdot \frac{d_{11}}{2} = \tan 10^\circ \cdot \frac{10,6}{2} = 0,93mm \quad (4.23)$$

Rozměr válce: $d_{11} = 10,6mm, h_{13} = 1mm$

Rozměr středícího kužele 2: $d_1 = 6,07mm, \alpha_2 = 52,5^\circ$

$$h_{14} = \tan \alpha_2 \cdot \frac{d_1}{2} = \tan 52,5^\circ \cdot \frac{6,07}{2} = 3,955mm \quad (4.24)$$

Pro výpočet výšky předpěchovaného válce v_1 je nutno objem středících kuželů $V_{kužel1}, V_{kužel2}$ a objem válce $V_{válec}$ přičíst k celkovému objemu součásti V_C .

$$V_{kužel1} = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot h_{12} \cdot d_{11}^2 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 0,93 \cdot 10,6^2 = 27,4mm^3 \quad (4.25)$$

$$V_{\text{v\acute{a}lec}} = \frac{\pi \cdot d_{11}^2}{4} \cdot h_{13} = \frac{\pi \cdot 10,6^2}{4} \cdot 1 = 88,2 \text{ mm}^3 \quad (4.26)$$

$$V_{\text{kužel2}} = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot h_{14} \cdot d_1^2 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 3,955 \cdot 6,07^2 = 38,2 \text{ mm}^3 \quad (4.27)$$

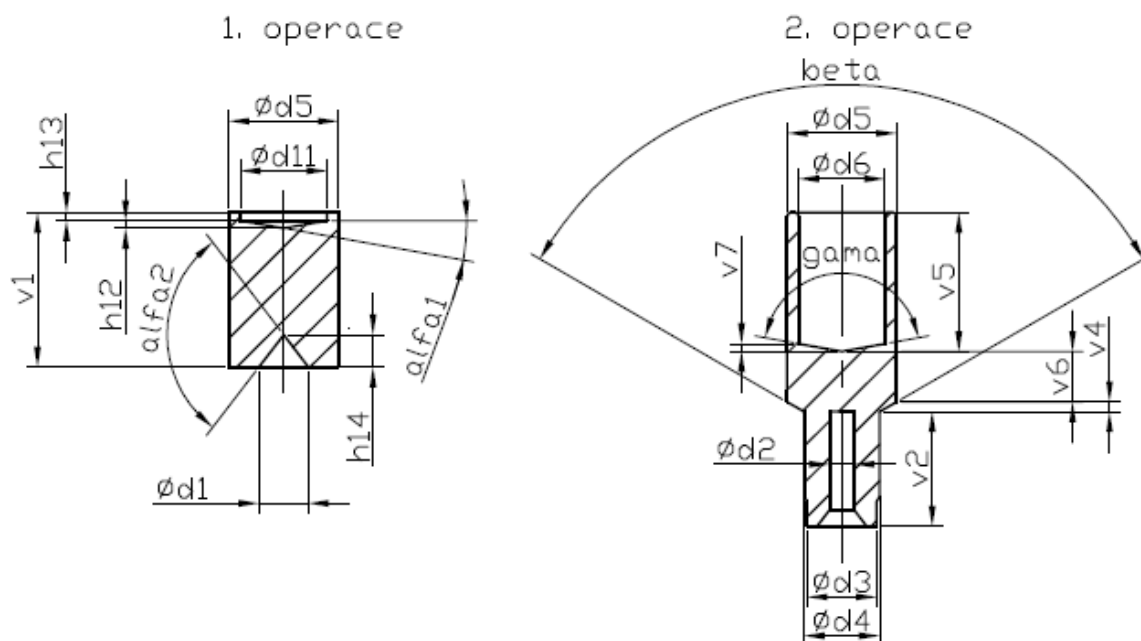
$$V_C = V_V + V_{\text{kužel1}} + V_{\text{kužel2}} + V_{\text{v\acute{a}lec}} \\ = \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} \cdot v_1 + V_{\text{kužel1}} + V_{\text{kužel2}} + V_{\text{v\acute{a}lec}} \quad (4.28)$$

Výpočet výšky předpěchovaného válce

$$v_1 = \frac{V_C + V_{\text{kužel1}} + V_{\text{kužel2}} + V_{\text{v\acute{a}lec}}}{\frac{\pi \cdot d_5^2}{4}} \\ = \frac{2657,3 + 27,4 + 88,2 + 35,2}{\frac{\pi \cdot 13,4^2}{4}} = 19,91 \text{ mm} \quad (4.29)$$

Rozměr předpěchovaného válce po 1. operaci: $v_1 = 19,91 \text{ mm}$

2. operace – dopředné protlačování dříku a zpětné protlačování kalíšku



$d_1 = 6,07 \text{ mm}, d_2 = 3 \text{ mm}, d_3 = 8,5 \text{ mm}, d_4 = 9,25 \text{ mm}, d_5 = 13,4 \text{ mm}, d_6 = 10,6 \text{ mm},$
 $h_{12} = v_7 = 0,934, h_{13} = 1 \text{ mm}, h_{14} = 3,955 \text{ mm}, \alpha_1 = 10^\circ, \alpha_2 = 52,5^\circ, \beta = 120^\circ, \gamma = 160^\circ,$
 $v_2 = 14 \text{ mm}, v_4 = ?, v_5 = 17, v_6 = ?$

Obr. 4.15 2. operace – varianta I

Přetvoření v 2. Operaci
dřík

$$\varphi_1 = \ln \frac{d_5}{d_0} = \ln \frac{13,4}{11,2} = \ln 1,43 = 0,36 \quad (4.30)$$

$$\varphi_2 = \ln \frac{d_5^2}{d_4^2 - d_2^2} = \ln \frac{13,4^2}{9,25^2 - 3^2} = \ln 2,35 = 0,854 \quad (4.31)$$

$$\varphi_3 = \ln \frac{d_4^2 - d_2^2}{d_3^2 - d_2^2} = \ln \frac{9,25^2 - 3^2}{8,5^2 - 3^2} = \ln 1,068 = 0,066 \quad (4.32)$$

pro tvářený průměr 9,25mm

$$\varphi_{9,25} = \varphi_1 + \varphi_2 = 0,36 + 0,854 = 1,214 \quad (4.33)$$

pro tvářený průměr 8,5mm

$$\varphi_{8,5} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0,36 + 0,854 + 0,066 = 1,28 \quad (4.34)$$

kalíšek

$$\varphi_1 = \ln \frac{d_5}{d_0} = \ln \frac{13,4}{11,2} = \ln 1,43 = 0,36 \quad (4.35)$$

$$\varphi_4 = \ln \frac{d_5^2}{d_5^2 - d_6^2} = \ln \frac{13,4^2}{13,4^2 - 10,6^2} = \ln 2,67 = 0,98 \quad (4.36)$$

$$\varphi_{kalíšek} = \varphi_1 + \varphi_2 = 0,36 + 0,98 = 1,34 \quad (4.37)$$

Výpočet rozměrů po 2. operaci

Objem redukčního kužele $V_{kužel3}$ (část mezi průměry 13,4mm a 9,25mm)

$$\alpha_3 = \frac{180 - \beta}{2} = \frac{180^\circ - 120^\circ}{2} = 30^\circ \quad (4.38)$$

$$v_4 = tg \alpha_3 \cdot \frac{d_5 - d_4}{2} = tg 30^\circ \cdot \frac{13,4 - 9,25}{2} = 1,2mm \quad (4.39)$$

$$V_{kužel3} = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot v_4 \cdot (d_4^2 + d_4 \cdot d_5 + d_5^2) = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 1,2 \cdot (9,25^2 + 9,25 \cdot 13,4 + 13,4^2) \quad (4.40)$$

$$= 122,2mm^3$$

Pro výpočet rozměru v_6 je nutné zohlednit kuželový tvar čela průtláčnicku objem $V_{kužel1}$

$$\alpha_4 = \frac{180 - \gamma}{2} = \frac{180^\circ - 160^\circ}{2} = 10^\circ \quad (4.41)$$

$$v_7 = tg \alpha_4 \cdot \frac{d_6}{2} = tg 10^\circ \cdot \frac{10,6}{2} = 0,93mm \quad (4.42)$$

$$V_{kužel1} = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot v_7 \cdot d_6^2 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 0,93 \cdot 10,6^2 = 27,4mm^3 \quad (4.43)$$

$$V_{válecmitrni} = (h_7 - v_7) \cdot \frac{\pi \cdot d_6^2}{4} = (17 - 0,93) \cdot \frac{\pi \cdot 10,6^2}{4} = 1418,1mm^3 \quad (4.44)$$

$$V_{vnitřní} = V_{kužel1} + V_{válecvnitřní} = 27,4 + 1418,1 = 1445,5 \text{ mm}^3 \quad (4.45)$$

$$V_6 = h_6 \cdot \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} = 17 \cdot \frac{\pi \cdot 13,4^2}{4} = 2397,4 \text{ mm}^3 \quad (4.46)$$

$$V_{kališek} = V_6 - V_{vnitřní} = 2397,4 - 1445,5 = 951,9 \text{ mm}^3 \quad (4.47)$$

$$\begin{aligned} V_C &= V_V + V_D + V_{kužel3} + V_{kališek} = S_{kruhu} \cdot v_1 + V_D + V_{kužel3} + V_{kališek} \\ &= \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} \cdot v_1 + V_D + V_{kužel3} + V_{kališek} \end{aligned} \quad (4.48)$$

Výpočet výšky válce v_6 (netvářený objem)

$$\begin{aligned} v_6 &= \frac{V_C - (V_D + V_{kužel3} + V_{kališek})}{S_{kruhu}} = \frac{V_C - (V_D + V_{kužel3} + V_{kališek})}{\frac{\pi \cdot d_5^2}{4}} \\ &= \frac{2657,3 - (787,6 + 122,2 + 951,9)}{\frac{\pi \cdot 13,4^2}{4}} = 5,64 \text{ mm} \end{aligned} \quad (4.49)$$

Rozměry přechované součásti po 2. operaci: $v_6 = 5,64 \text{ mm}$, $v_4 = 1,2 \text{ mm}$.

3. operace – přechování šestihranu

Přetvoření ve 3. operaci

$$\begin{aligned} S_8 &= \frac{1}{2} \cdot n \cdot R_1^2 \cdot \sin \varphi = \frac{1}{2} \cdot n \cdot \left(\frac{m_2}{2} \right)^2 \cdot \sin \varphi = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot \left(\frac{16,2}{2} \right)^2 \cdot \sin 60^\circ \\ &= 169,741 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (4.50)$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_7^2}{4} = \frac{\pi \cdot 3,3^2}{4} = 8,553 \text{ mm}^2 \quad (4.51)$$

$$S_0 = \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} = \frac{\pi \cdot 13,4^2}{4} = 141,026 \text{ mm}^2 \quad (4.52)$$

$$\varphi_5 = \ln \frac{S_8 - S_1}{S_0} = \ln \frac{169,741 - 8,553}{141,026} = \ln 1,143 = 0,134 \quad (4.53)$$

$$\varphi_6 = \ln \frac{S_8}{S_0} = \ln \frac{169,741}{141,026} = \ln 1,204 = 0,186 \quad (4.54)$$

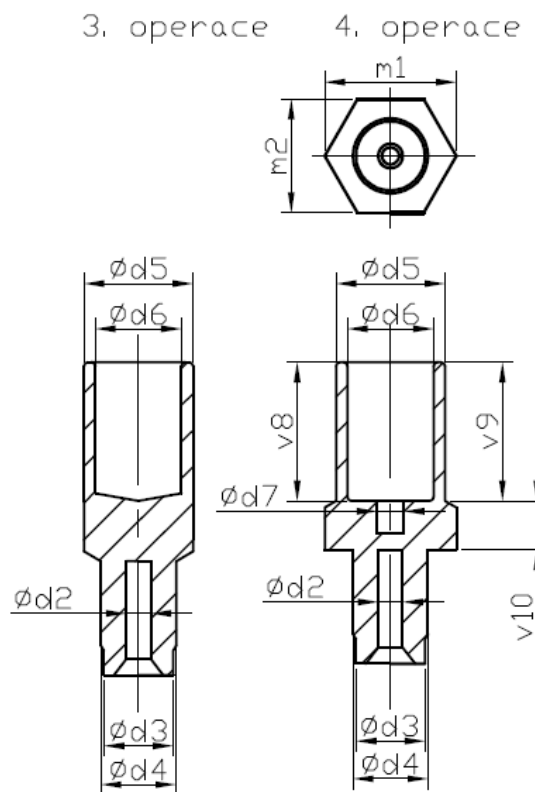
pro šestihran s vnitřním otvorem

$$\varphi_{šestihran1} = \varphi_1 + \varphi_5 = 0,36 + 0,134 = 0,494 \quad (4.55)$$

pro plný šestihran

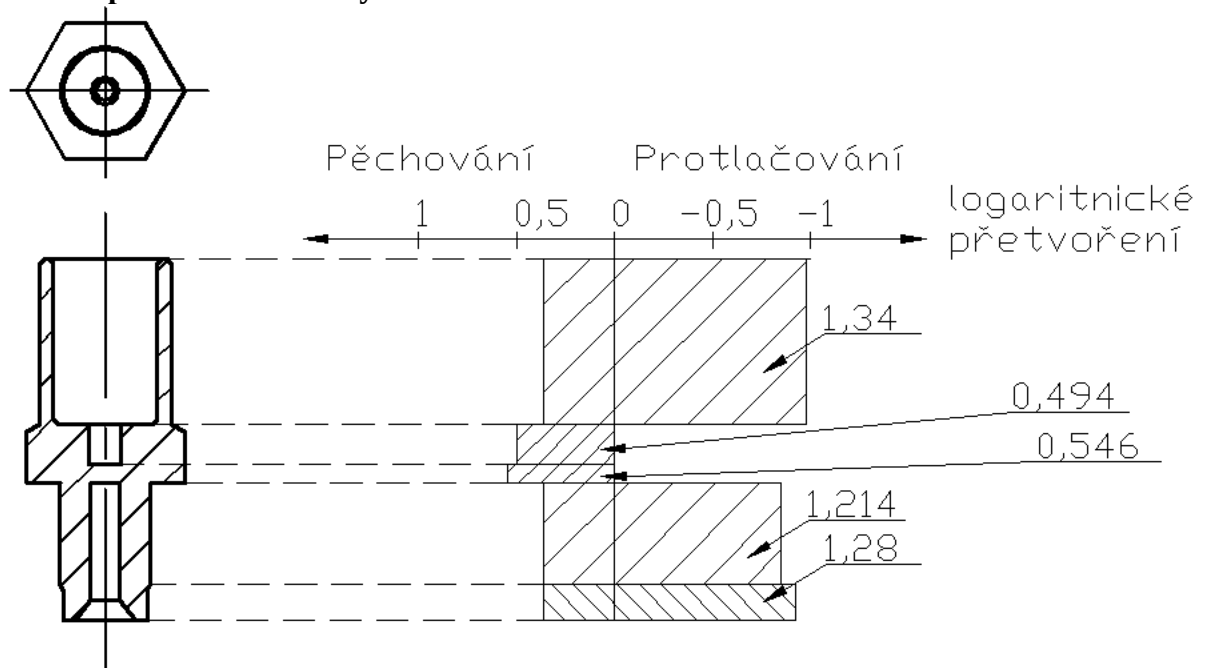
$$\varphi_{šestihran2} = \varphi_1 + \varphi_6 = 0,36 + 0,186 = 0,546 \quad (4.56)$$

$d_2 = 3mm$
 $d_3 = 8,5mm$
 $d_4 = 9,25mm$
 $d_5 = 13,4mm$
 $d_6 = 10,6mm$
 $d_7 = 3,3mm$
 $v_8 = 17mm$
 $v_9 = 17mm$
 $v_{10} = 6mm$
 $m_1 = 14mm$
 $m_2 = 16,2mm$



Obr. 4.16 3. operace – varianta I

Celkové přetvoření varianty I

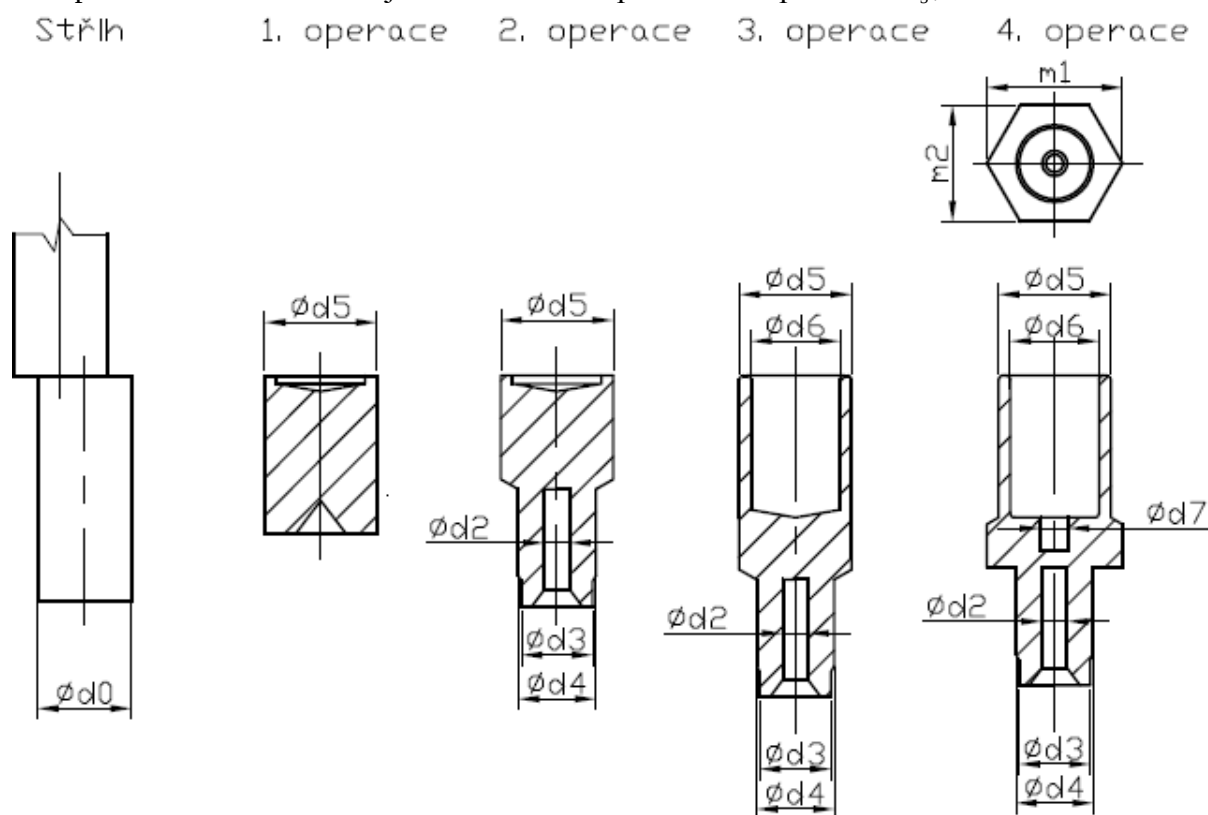


Obr. 4.17 Celkové přetvoření – varianta I

4.3.3 Varianta II

Ustřížení polotovaru z tyče kruhového průřezu o výchozím průměru d_0 .

1. operace Rovnání čel po předchozí operaci dělení materiálu ustřížením a předpěchování výchozího průměru d_0 na průměr d_5 , vytvoření středících otvorů pro další operace.
2. operace Dopředné protlačování dříku z průměru d_5 na průměr d_4 a d_3 , zároveň vytvoření vnitřní dutiny o průměru d_2 .
3. operace Zpětné protlačování kalíšku z počátečního průměru d_5 na vnitřní průměr d_6 .
4. operace Pěchování vnějšího šestihranu z počátečního průměru d_5 , kalibrace.



$$d_0 = 11,2mm, d_2 = 3mm, d_3 = 8,5mm, d_4 = 9,25mm, d_5 = 13,4mm, d_6 = 10,6mm, d_7 = 3,3mm$$

Obr. 4.12 Varianta II

Výpočet logaritmických přetvoření a rozměrů v jednotlivých operacích varianta II

1. operace – předpěchování

shodná s variantou I

2. operace – dopředné protlačování dříku

Přetvoření v 2. Operaci – dřík

$$\varphi_2 = \ln \frac{d_5^2}{d_4^2 - d_2^2} = \ln \frac{13,4^2}{9,25^2 - 3^2} = \ln 2,35 = 0,854 \quad (4.57)$$

$$\varphi_3 = \ln \frac{d_4^2 - d_2^2}{d_3^2 - d_2^2} = \ln \frac{9,25^2 - 3^2}{8,5^2 - 3^2} = \ln 1,068 = 0,066 \quad (4.58)$$

pro tvářený průměr 9,25mm

$$\varphi_{9,25} = \varphi_1 + \varphi_2 = 0,36 + 0,854 = 1,214 \quad (4.59)$$

pro tvářený průměr 8,5mm

$$\varphi_{8,5} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0,36 + 0,854 + 0,066 = 1,28 \quad (4.60)$$

$$d_1 = 6,07mm$$

$$d_2 = 3mm$$

$$d_3 = 8,5mm$$

$$d_4 = 9,25mm$$

$$d_5 = 13,4mm$$

$$d_{11} = 10,6mm$$

$$h_{12} = 0,934$$

$$h_{13} = 1mm,$$

$$h_{14} = 3,955mm$$

$$\alpha_1 = 10^\circ$$

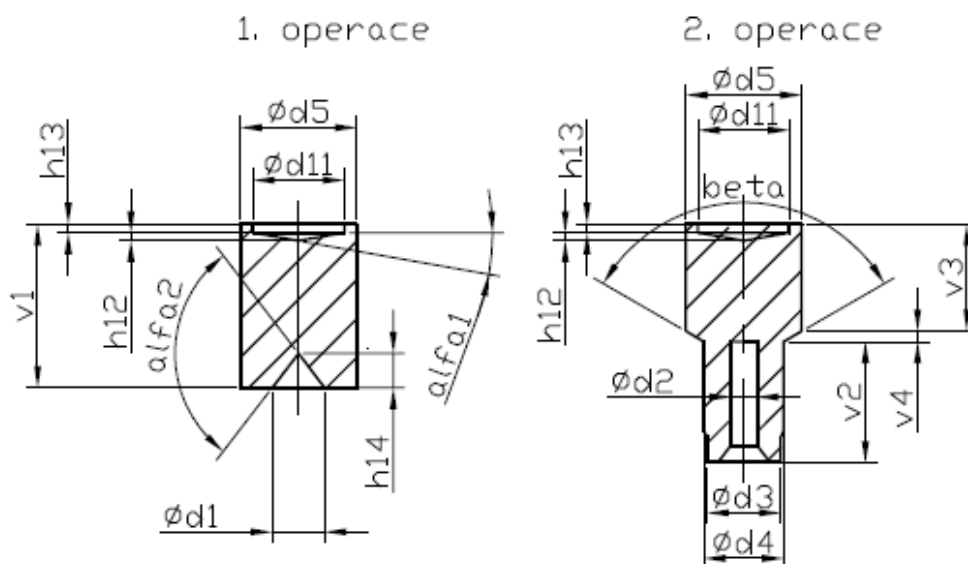
$$\alpha_2 = 52,5^\circ$$

$$\beta = 120^\circ$$

$$v_2 = 14mm$$

$$v_3 = ?$$

$$v_4 = ?$$



Obr. 4.19 2. operace – varianta II

Výpočet rozměrů po 2. operaci

Pro výpočet výšky součásti v_3 v 2. operaci je nutno objem středícího kužele V_{Kuzel1} (4.25) a V_{valec} (4.26) přičíst k celkovému objemu součásti V_C .

$$\alpha_3 = \frac{180 - \beta}{2} = \frac{180^\circ - 120^\circ}{2} = 30^\circ \quad (4.61)$$

$$v_4 = tg \alpha_3 \cdot \frac{d_5 - d_4}{2} = tg 30^\circ \cdot \frac{13,4 - 9,25}{2} = 1,2mm \quad (4.62)$$

Objem redukčního kužele $V_{kužel3}$ (část mezi průměry 13,4mm a 9,25mm)

$$V_{kužel3} = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot v_4 \cdot (d_4^2 + d_4 \cdot d_5 + d_5^2) = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 1,2 \cdot (9,25^2 + 9,25 \cdot 13,4 + 13,4^2) \quad (4.63)$$

$$= 122,2 \text{ mm}^3$$

$$V_C = V_V - V_{kužel1} + V_D + V_{kužel3} - V_{válec} = S_{kruhu} \cdot v_1 - V_{kužel1} + V_D + V_{kužel3} - V_{válec} \quad (4.64)$$

$$= \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} \cdot v_1 - V_{kužel1} + V_D + V_{kužel3} - V_{válec}$$

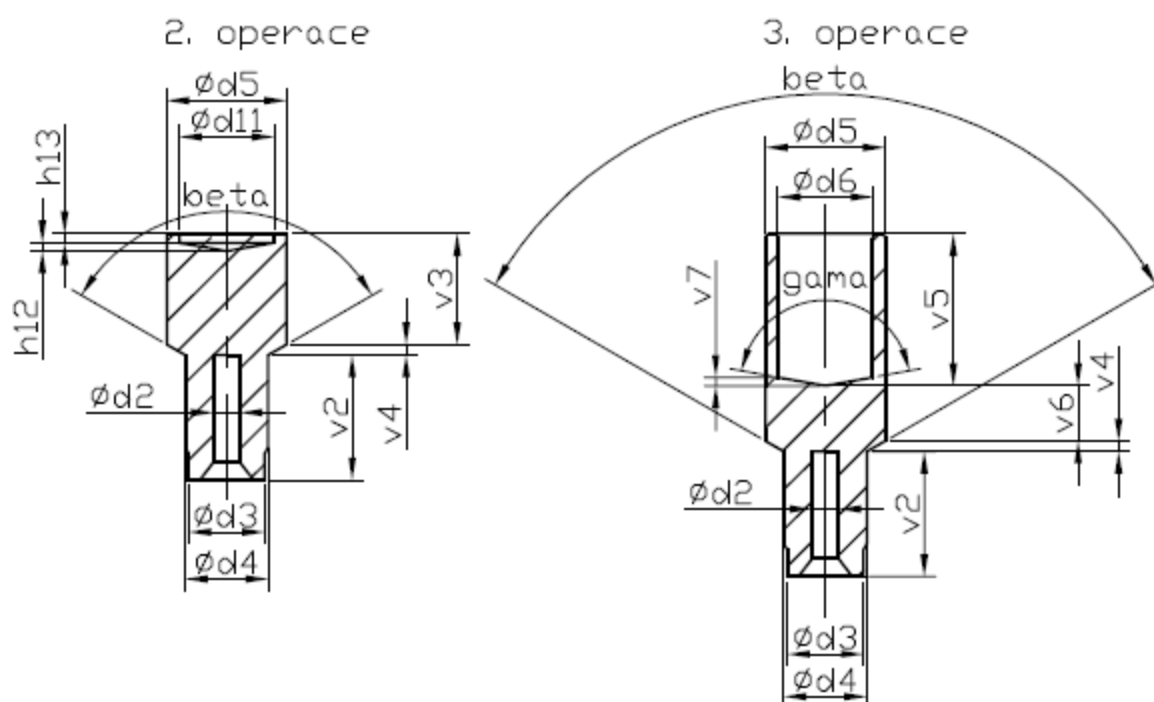
Výpočet výšky v_3 součásti

$$v_3 = \frac{V_C + V_{kužel1} - V_D - V_{kužel3} + V_{válec}}{S_{kruhu}} = \frac{V_C + V_{kužel1} - V_D - V_{kužel3} + V_{válec}}{\frac{\pi \cdot d_5^2}{4}} \quad (4.65)$$

$$= \frac{2657,3 + 27,4 - 787,6 - 122,2 + 88,2}{\frac{\pi \cdot 13,4^2}{4}} = 13,6 \text{ mm}$$

Rozměry přechované součásti po 2. operaci: $v_3 = 13,6 \text{ mm}$, $v_4 = 1,2 \text{ mm}$

3. operace – zpětné protlačování kalíšku



$$d_2 = 3 \text{ mm}, d_3 = 8,5 \text{ mm}, d_4 = 9,25 \text{ mm}, d_5 = 13,4 \text{ mm}, d_6 = d_{11} = 10,6 \text{ mm}, h_0 = 27 \text{ mm},$$

$$h_{12} = v_7 = 0,934, h_{13} = 1 \text{ mm}, \beta = 120^\circ, \gamma = 160^\circ, v_2 = 14 \text{ mm}, v_4 = ?, v_5 = 17 \text{ mm}, v_6 = ?$$

Obr. 4.20 3. operace – varianta II

Přetvoření ve 3. operaci

$$\varphi_4 = \ln \frac{d_5^2}{d_5^2 - d_6^2} = \ln \frac{13,4^2}{13,4^2 - 10,6^2} = \ln 2,67 = 0,98 \quad (4.66)$$

$$\varphi_{kališek} = \varphi_1 + \varphi_4 = 0,36 + 0,98 = 1,34 \quad (4.67)$$

Výpočet rozměrů po 3. operaci

Pro výpočet rozměru v_6 je nutné zohlednit kuželový tvar průtláčníku objem $V_{kužel1}$

$$\alpha_4 = \frac{180 - \gamma}{2} = \frac{180^\circ - 160^\circ}{2} = 10^\circ \quad (4.68)$$

$$v_7 = tg \alpha_4 \cdot \frac{d_6}{2} = tg 10^\circ \cdot \frac{10,6}{2} = 0,93 mm \quad (4.69)$$

$$V_{kužel1} = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot v_7 \cdot d_6^2 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 0,93 \cdot 10,6^2 = 27,4 mm^3 \quad (4.70)$$

$$V_{válec vnitřní} = (h_7 - v_7) \cdot \frac{\pi \cdot d_6^2}{4} = (17 - 0,93) \cdot \frac{\pi \cdot 10,6^2}{4} = 1418,1 mm^3 \quad (4.71)$$

$$V_{vnitřní} = V_{kužel1} + V_{válec vnitřní} = 27,357 + 1418,135 = 1445,5 mm^3 \quad (4.72)$$

$$V_{kališek} = V_6 - V_{vnitřní} = 2397,444 - 1445,492 = 951,9 mm^3 \quad (4.73)$$

$$\begin{aligned} V_C &= V_V + V_D + V_{kužel3} + V_{kališek} = S_{kruhu} \cdot v_1 + V_D + V_{kužel3} + V_{kališek} \\ &= \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} \cdot v_1 + V_D + V_{kužel3} + V_{kališek} \end{aligned} \quad (4.74)$$

Výpočet výšky předpěchovaného válce

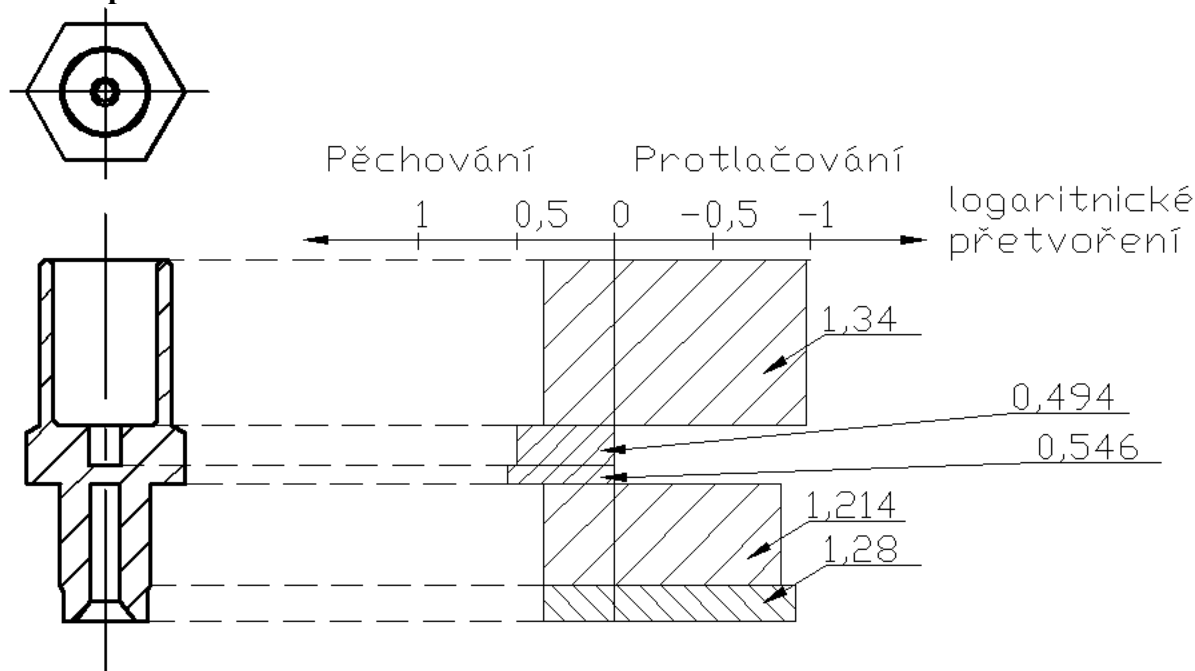
$$\begin{aligned} v_6 &= \frac{V_C - (V_D + V_{kužel3} + V_{kališek})}{S_{kruhu}} = \frac{V_C - (V_D + V_{kužel3} + V_{kališek})}{\frac{\pi \cdot d_5^2}{4}} \\ &= \frac{2657,3 - (787,6 + 122,2 + 951,9)}{\frac{\pi \cdot 13,4^2}{4}} = 5,64 mm \end{aligned} \quad (4.75)$$

Rozměry pěchované součásti po 3. operaci: $v_6 = 5,64 mm$, $v_7 = 0,93 mm$.

4. operace – pěchování šestihranu

shodná se 3. operací varianty I

Celkové přetvoření varianta II



Obr. 4.21 Celkové přetvoření – varianta II

4.4 Zhodnocení variant

V porovnání variant I a II není rozdíl v rozložení přetvoření. Varianta I je výhodnější z důvodu snížení operací ze 4. na 3 a to sloučením 2. a 3. operace varianty II. Hlavní úsporou bude zjednodušení a tím pádem i zlevnění nástroje na výrobu součásti a snížení výrobních časů. K významnému rozdílu tvářecích sil ani prací pro obě varianty nedojde. Vybrána byla varianta I.

4.5 Výpočet tvářecích sil a prací

Následující početní operace zahrnují výpočty přirozeného přetvárného odporu (dle vzorců uvedených v příloze 2), výpočty tvářecích sil a prací pro hodnoty přetvoření v jednotlivých operacích.

1. operace

Přirozený přetvárný odpor v 1. operaci $\varphi_1 = 0,36$

- dle polytropy

$$\sigma_p = 295,29 \cdot \varphi_1^{0,4219} + 433,68 = 295,29 \cdot 0,36^{0,4219} + 433,68 = 625,57 \text{ MPa} \quad (4.76)$$

- dle polynomu 5. Stupně

$$\begin{aligned} \sigma_p &= 181,02 \cdot \varphi_1^5 - 906,07 \cdot \varphi_1^4 + 1847,79 \cdot \varphi_1^3 - 1918,51 \cdot \varphi_1^2 + 1065,09 \cdot \varphi_1 \\ &+ 446,97 = 181,02 \cdot 0,36^5 - 906,07 \cdot 0,36^4 + 1847,79 \cdot 0,36^3 - 1918,51 \cdot 0,36^2 \\ &+ 1065,09 \cdot 0,36 + 446,97 = 653,85 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (4.77)$$

Dále bude již použito pouze výpočtu pomocí polynomu 5. Stupně, jako přesnější varianty výpočtu.

Deformační odpor dle Siebla

Podle výchozího stavu materiálu byl zvolen součinitel tření $f = 0,05$

$$\sigma_{ds} = \sigma_p \left(1 + \frac{f \cdot d_5}{3 \cdot v_1} \right) = 653,85 \left(1 + \frac{0,05 \cdot 13,4}{3 \cdot 19,91} \right) = 661,56 \text{ MPa} \quad (4.78)$$

Deformační odpor dle Unksova

$$\sigma_{dU} = \sigma_p \left(1 + \frac{2f(1-f)}{3} \cdot \frac{d_5}{v_1} \right) = 653,85 \left(1 + \frac{2 \cdot 0,05(1-0,05)}{3} \cdot \frac{13,4}{19,91} \right) = 668,5 \text{ MPa} \quad (4.79)$$

Deformační odpor dle Hennekeho

$$\sigma_{dH} = \sigma_p \left[1 + 0,045 \left(\frac{d_5}{v_1} \right)^{\frac{3}{2}} \right] = 653,85 \left[1 + 0,045 \left(\frac{13,4}{19,91} \right)^{\frac{3}{2}} \right] = 671,37 \text{ MPa} \quad (4.80)$$

Dále bude použito pro výpočet tvářecí síly při přechování, vzhledem k dostatečné přesnosti, výpočtu deformačního odporu dle Siebla.

Tvářecí síla v 1. operaci

$$F_1 = \sigma_{ds} \cdot S = \sigma_{ds} \cdot \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} = 661,56 \cdot \frac{\pi \cdot 13,4^2}{4} = 93297 \text{ N} = 93,3 \text{ kN} \quad (4.81)$$

Práce v 1. operaci $\varphi_1 = 0,36$

$$A_{j1} = 0,06 \cdot \varphi_1^4 - 0,25 \cdot \varphi_1^3 + 0,38 \cdot \varphi_1^2 + 0,46 \varphi_1 = \quad (4.82)$$

$$0,06 \cdot 0,36^4 - 0,25 \cdot 0,36^3 + 0,38 \cdot 0,36^2 + 0,46 \cdot 0,36 = 0,204 \text{ J / mm}^3$$

$$A_1 = A_{j1} \cdot V_C = 0,204 \cdot 2657,298 = 542 \text{ J} \quad (4.83)$$

2. operace

Přirozený přetvárný odpor v 2. operaci

dřík $\varphi_{8,5} = 1,28$

- dle polynomu 5. Stupně

$$\begin{aligned} \sigma_p &= 181,02 \cdot \varphi_{8,5}^5 - 906,07 \cdot \varphi_{8,5}^4 + 1847,79 \cdot \varphi_{8,5}^3 - 1918,51 \cdot \varphi_{8,5}^2 \\ &+ 1065,09 \cdot \varphi_{8,5} + 446,97 = 181,02 \cdot 1,28^5 - 906,07 \cdot 1,28^4 + 1847,79 \cdot 1,28^3 \\ &- 1918,51 \cdot 1,28^2 + 1065,09 \cdot 1,28 + 446,97 = 731,9 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (4.84)$$

kalíšek $\varphi_{kalíšek} = 1,34$

- dle polynomu 5. Stupně

$$\begin{aligned} \sigma_p &= 181,02 \cdot \varphi_{kalíšek}^5 - 906,07 \cdot \varphi_{kalíšek}^4 + 1847,79 \cdot \varphi_{kalíšek}^3 - 1918,51 \cdot \varphi_{kalíšek}^2 \\ &+ 1065,09 \cdot \varphi_{kalíšek} + 446,97 = 181,02 \cdot 1,34^5 - 906,07 \cdot 1,34^4 + 1847,79 \cdot 1,34^3 \\ &- 1918,51 \cdot 1,34^2 + 1065,09 \cdot 1,34 + 446,97 = 736,04 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (4.85)$$

Deformační odpor dle Feldmanna

dřík

$$\alpha = \beta / 2 = 60^\circ, f_2 = 0,05, L_1 = v_6 + v_5 = 22,64 \text{ mm} \text{ (obrázek 4.14)}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot 60^\circ}{180} = 1,047 \quad (4.86)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{d1} &= \sigma_p \left[\left(1 + \frac{f_2}{\hat{\alpha}} \right) \ln \left(\frac{d_5^2}{d_4^2} \right) + \frac{2}{3} \cdot \hat{\alpha} \right] + 4 f_2 \frac{d_4 \cdot v_2}{d_5^2} \sigma_p + 4 f_1 \frac{L_1}{d_5} \sigma_{p\text{PŘEDPĚCH}} \\ &= 731,9 \left[\left(1 + \frac{0,05}{1,047} \right) \ln \left(\frac{13,4^2}{9,25^2} \right) + \frac{2}{3} \cdot 1,047 \right] + 4 \cdot 0,05 \frac{9,25 \cdot 14}{13,4^2} \cdot 731,9 \\ &\quad + 4 \cdot 0,05 \frac{22,64}{13,4} \cdot 653,85 = 1415,57 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (4.87)$$

Deformační odpor dle Sachse

kalíšek

$$\sigma_{d2} = 1,58 \cdot \sigma_p \cdot \ln \frac{d_5^2}{d_5^2 - d_6^2} = 1,58 \cdot 736,04 \cdot \ln \frac{13,4^2}{13,4^2 - 10,6^2} = 1142,98 \text{ MPa} \quad (4.88)$$

Síla ve 2. operaci

dřík F_{d1}

$$F_{d1} = \sigma_{d1} \cdot S = \sigma_{d1} \cdot \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} = 1415,57 \cdot \frac{\pi \cdot 13,4^2}{4} = 199632 \text{ N} = 199,6 \text{ kN} \quad (4.89)$$

kalíšek F_{d2}

$$F_{d2} = \sigma_{d2} \cdot S = \sigma_{d2} \cdot \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} = 1142,98 \cdot \frac{\pi \cdot 13,4^2}{4} = 161190 \text{ N} = 161,2 \text{ kN} \quad (4.90)$$

Práce v 2. operaci

dřík $\varphi_2 = 0,854$ a $\varphi_3 = 0,066$

$$A_{j2} = 0,06 \cdot \varphi_2^4 - 0,25 \cdot \varphi_2^3 + 0,38 \cdot \varphi_2^2 + 0,46 \varphi_2 = \quad (4.91)$$

$$0,06 \cdot 0,854^4 - 0,25 \cdot 0,854^3 + 0,38 \cdot 0,854^2 + 0,46 \cdot 0,854 = 0,546 \text{ J} / \text{mm}^3$$

$$A_2 = A_{j2} \cdot V_C = 0,546 \cdot 2657,298 = 1451 \text{ J} \quad (4.92)$$

$$A_{j3} = 0,06 \cdot \varphi_3^4 - 0,25 \cdot \varphi_3^3 + 0,38 \cdot \varphi_3^2 + 0,46 \varphi_3 = \quad (4.93)$$

$$0,06 \cdot 0,066^4 - 0,25 \cdot 0,066^3 + 0,38 \cdot 0,066^2 + 0,46 \cdot 0,066 = 0,032 \text{ J} / \text{mm}^3$$

$$A_3 = A_{j3} \cdot V_C = 0,032 \cdot 2657,298 = 85 \text{ J} \quad (4.94)$$

kalíšek $\varphi_4 = 0,98$

$$A_{j4} = 0,06 \cdot \varphi_4^4 - 0,25 \cdot \varphi_4^3 + 0,38 \cdot \varphi_4^2 + 0,46 \varphi_4 = \quad (4.95)$$

$$0,06 \cdot 0,98^4 - 0,25 \cdot 0,98^3 + 0,38 \cdot 0,98^2 + 0,46 \cdot 0,98 = 0,636 \text{ J} / \text{mm}^3$$

$$A_4 = A_{j4} \cdot V_C = 0,636 \cdot 2657,298 = 1689 \text{ J} \quad (4.96)$$

3. operace – přechování šestihranu

Přirozený přetvárný odpor v 3. operaci

- dle polynomu 5. Stupně

$$\begin{aligned}\sigma_p &= 181,02 \cdot \varphi_{\text{šestihran}}^5 - 906,07 \cdot \varphi_{\text{šestihran}}^4 + 1847,79 \cdot \varphi_{\text{šestihran}}^3 - 1918,51 \cdot \varphi_{\text{šestihran}}^2 \\ &+ 1065,09 \cdot \varphi_{\text{šestihran}} + 446,97 = 181,02 \cdot 0,546^5 - 906,07 \cdot 0,546^4 + 1847,79 \cdot 0,546^3 \\ &- 1918,51 \cdot 0,546^2 + 1065,09 \cdot 0,546 + 446,97 = 685,6 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (4.97)$$

Deformační odpor dle Siebla

$$\sigma_d = \sigma_p \left(1 + \frac{f \cdot m_1}{3 \cdot v_{10}} \right) = 685,6 \left(1 + \frac{0,05 \cdot 16,2}{3 \cdot 6} \right) = 716,5 \text{ MPa} \quad (4.98)$$

Síla ve 3. operaci

$$F_3 = \sigma_d \cdot S = \sigma_d \cdot \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} = 716,5 \cdot \frac{\pi \cdot 13,4^2}{4} = 110297 \text{ N} = 110,3 \text{ kN} \quad (4.99)$$

Práce ve 3. operaci $\varphi_5 = 0,134$ a $\varphi_6 = 0,186$

$$A_{j_5} = 0,06 \cdot \varphi_5^4 - 0,25 \cdot \varphi_5^3 + 0,38 \cdot \varphi_5^2 + 0,46 \varphi_5 = \quad (4.100)$$

$$0,06 \cdot 0,134^4 - 0,25 \cdot 0,134^3 + 0,38 \cdot 0,134^2 + 0,46 \cdot 0,134 = 0,068 \text{ J / mm}^3$$

$$A_5 = A_{j_5} \cdot V_C = 0,068 \cdot 2657,298 = 180 \text{ J} \quad (4.101)$$

$$A_{j_6} = 0,06 \cdot \varphi_6^4 - 0,25 \cdot \varphi_6^3 + 0,38 \cdot \varphi_6^2 + 0,46 \varphi_6 = \quad (4.102)$$

$$0,06 \cdot 0,186^4 - 0,25 \cdot 0,186^3 + 0,38 \cdot 0,186^2 + 0,46 \cdot 0,186 = 0,097 \text{ J / mm}^3$$

$$A_6 = A_{j_5} \cdot V_C = 0,068 \cdot 2657,298 = 258 \text{ J} \quad (4.103)$$

Celková síla

- ve 2. operaci počítáme pouze s nejvyšší ze sil F_{d1}, F_{d2} , a to je z předchozích výpočtů

F_{d1} , za nižší dosedíme $F_{d2} = 0$

$$F_C = F_1 + F_{d1} + F_{d2} + F_3 = 93,3 + 199,6 + 0 + 110,3 = 403,2 \text{ kN} \quad (4.104)$$

Celková práce

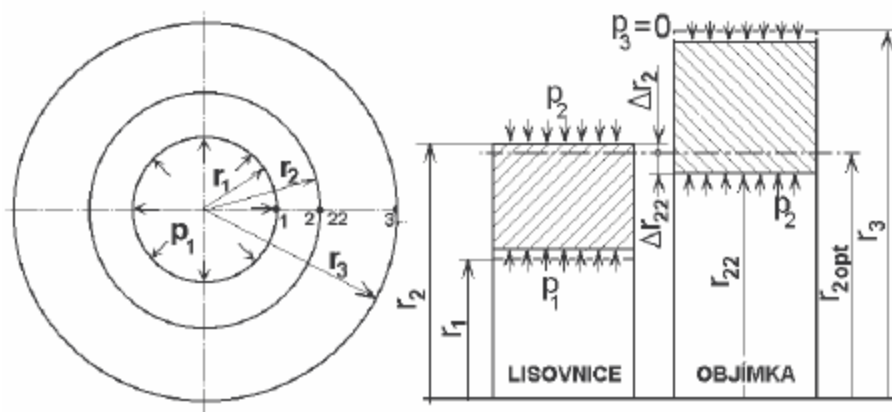
$$A_C = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 = 542 + 1454 + 85 + 1689 + 180 + 258 = 4208 \text{ J} \quad (4.105)$$

4.6 Návrh lisovnice [13]

Zapouzdření průtlačnice v objímce ve 2. tvářecí operaci je závislé na radiálním tlaku, který působí na stěnu průtlačnice. Z praxe vychází hodnoty pro zapouzdření následující, pro radiální tlak do 1000MPa není potřeba zapouzdření, od 1000MPa do 1600MPa je nutné použití jedné objímky a dvě objímky se používají pro tlaky od 1600MPa až 2000MPa.

Protože není možné vypočítat radiální tlak dle Dippera z důvodu nesplnění počáteční podmínky $h_0 - b / h_0 \geq (0,5 - 0,6)$, příliš silné dno. Pro odhad radiálního tlaku, který působí na stěnu lisovnice, použijeme deformačního odporu dle Sachse $\sigma_{d2} = 1142,98 \text{MPa}$. Radiální tlak na stěnu musí být nižší než hodnota deformačního odporu pro danou operaci. Pro dostatečnou rezervu při návrhu bude zvolena průtlačnice s jednou objímkou.

Návrh zapouzdření průtlačnice byl vypočten pomocí programu OPTIM96.EXE na Odboru tváření kovů a plastů. Materiálové charakteristiky jsou uvedeny v příloze 4 a geometrický model průtlačnice je na obrázku 4.10.



Obr. 4.22 Geometrický model průtlačnice a objímky [13]

Vstupní hodnoty

$T_{okolí} = 23^{\circ}\text{C}$

Teplota okolí

Průtlačnice

Objímka

Materiál – ocel 19830

Materiál – ocel 19733

$E_1 = 220000 \text{MPa}$

Modul pružnosti v tahu

$E_2 = 206000 \text{MPa}$

$\mu_1 = 0,33$

Poissonovo číslo

$\mu_2 = 0,33$

$r_1 = 6,7 \text{mm}$

$r_3 = 32 \text{mm}$

$r_2 = ? \text{mm}$

$r_2 = ? \text{mm}$

$\alpha_1 = 1,24 \cdot 10^{-5}$

Koeficient tepelné roztažnosti

$\alpha_2 = 1,36 \cdot 10^{-5}$

$R_{m1} = 1665 \text{MPa}$

Mez pevnosti v tahu

$R_{m1} = 1790 \text{MPa}$

$R_{d1} = 3670 \text{MPa}$

Mez pevnosti v tlaku

$R_{d2} = 0 \text{MPa}$

$R_{p0,2-1} = 1480 \text{MPa}$

Mez kluzu

$R_{p0,2-2} = 1670 \text{MPa}$

$\sigma_{d1} = 1425 \text{MPa}$

Dovolené napětí

$\sigma_{d2} = 1525 \text{MPa}$

$T_{pop1} = 620^{\circ}\text{C}$

Popouštěcí teplota

$T_{pop2} = 570^{\circ}\text{C}$

Vypočtené hodnoty

$r_1 / r_2 = 2,44617$	poměrný dělicí poloměr
$p_1 = 1600MPa$	maximální radiální tlak
$p_2 = 642,55649MPa$	kontaktní tlak
$r_2 = 16,63394mm$	dělicí poloměr
$2\Delta r_C = 0,21874mm$	vypočtený přesah
$p_{d2} = 445,01908MPa$	kontaktní napětí
$2\Delta r_2 = 0,07209mm$	stažení vnějšího otvoru průtlačnice
$2\Delta r_{22} = 0,14665mm$	roztažení vnitřního průměru objímky
$p_2 = 197,53741MPa$	zvětšení kontaktního tlaku od p_1
$2\Delta r_{s1} = 0,21874mm$	konstrukční přesah

Z vypočtených hodnot jsou patrné všechny údaje pro pouzdření průtlačnice. Zapouzdření bude provedeno za studena na kuželovou plochu.

5. POSTUP VÝROBY SOUČÁSTI

V této kapitole bude zjednodušeně uveden postup výroby zadané koncovky brzdové hadice a následná výroba celku brzdové hadice. Celek hadice i s nalisovanými konci je zobrazen na obrázku 5.1.



Obr. 5.1 Brzdová hadice

1. krok rovnání polotovaru materiálu – ocelový drát dodávaný ve svitku
2. krok ustřížení rovnaného materiálu odvíjeného ze svitku na požadovaný rozměr
3. krok **1.operace** – předpěchování
4. krok **2.operace** – zpětné protlačování kalíšku a dopředné protlačení dříku
5. krok **3.operace** – pěchování vnějšího šestihranu a kalibrace
6. krok vrtání průchozího otvoru o průměru 3mm a řezání závitu M10x1
7. krok povrchová úprava – chromátování
8. krok lisování koncovek na hadici

6. NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE [15]

Návrh tvářecího stroje vychází z možnosti výběru dostupných strojů vhodných pro protlačování a z celkové vypočtené tvářecí síly, která činí 403,2kN (dle 4.104). Jako nejvýhodnější je vybrán postupový automat tuzemského výrobce tvářecí techniky a strojů ŠMERAL BRNO a.s. TPZK 25 o jmenovité tvářecí síle 5000kN, ostatní parametry jsou patrné z tabulky 6.1. Vybraný tvářecí stroj je určen pro víceoperační objemové tváření strojních součástí typu matice nebo svorník. Využití stroje je především v automobilovém a spotřebním průmyslu i v jiných odvětvích hromadné strojírenské výroby.

Konstrukční provedení stroje je následující. Čtyři vodorovné lisovnice uspořádané vedle sebe; svislá kladková rovnačka drátu, 2 páry podávacích kladek s pneumatickým přitlačováním, přestavitelnou zarážkou s indikací krátkého ústřížku a stříhacím mechanismem; časově nastavitelné zavírání a otevírání kleštín mechanického přednášecího zařízení; přesné vedení beranu na tuhém stojanu pomocí valivých elementů; upevnění průtlačnic v tělese stojanu a vybaveny vyhazovači; průtlačníky jsou upnuty ve stavitelných držácích beranu a vybaveny vyhazovači.

Pohon stroje je elektromotorem přes klínové řemeny, spojkový hřídel, setrvačník, lamelovou spojku a brzdu; je vybaven olejovým centrálním mazáním. Chlazení a mazání nástrojů zabezpečuje samostatný agregát se zubovým čerpadlem. Z důvodu bezpečnosti a pro komfort ovládání je stroj vybaven trhací pojistkou ve stříhacím a vyhazovacím mechanismu, pružnou pojistkou v přenášecím zařízení, tlakovým spínačem v rozvodu vzduchu, snímačem hladiny oleje v mazacím systému a hlídačem konce drátu.

Tab. 6.1 Technické údaje TPZK 25 [15]

Rozsah použití stroje	
Jmenovitý průměr zpracovávaného materiálu	25 mm
Maximální pevnost materiálu	600MPa
Maximální průměr zpracovávaného materiálu	29 mm
Délka ústřížku max./min.	85/20 mm
Celková délka výlisku	130 mm
Maximální průměr výlisku	60mm
Počet zdvihů – výlisků/min.	40-60 /min
Stříhací síla	200 kN
Vyhazovací síla z průtlačnice (pro 1 trn)	100 kN
Vyhazovací síla z průtlačníku (pro 1 trn)	50 kN
Jmenovitá síla	5000 kN
Zdvih beranu	220 mm
Zdvih vyhazovače z průtlačnice	100 mm
Zdvih vyhazovače z průtlačníku	50 mm
Výkon elektromotoru pro pohon	75 kW
Rozměry automatu	
Délka	8110 mm
Šířka	3900 mm
Výška bez zdvihadla	2700 mm
Výška se zdvihadlem	4200 mm
Hmotnost	63200 kg

7. TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Výroba součástí technologií objemového tváření je z hlediska produktivity práce neúspornější variantou, produkce kusů vyrobených součástí objemovým tvářením za jednotku času několikrát převyšuje produkci vytvořenou třískovým obráběním. Použití postupového automatu je produktivita vyrobených součástí v řádech stovek kusů za jednotku času. Využití této technologie nalezneme především tam, kde se jedná o hromadnou nebo sériovou výrobu. Roční výrobní série touto metodou bývají v řádech statisíců až milionů kusů. Ve srovnání s ostatními výrobními metodami objemové tváření dosahuje lepší jakosti výrobků a lepších mechanických vlastností.

Z předešlých výsledků této práce je patrné, že náklady na výrobu dané součásti nejvíce ovlivní volba technologie výroby a počet kusů v sérii. Z poznatků z technologie objemového tváření a technologie obrábění je zřejmé, že vstupní náklady pro objemové tváření (stroje a nástroje) jsou o mnoho vyšší než u třískového obrábění. S počtem kusů se však náklady na jeden kus snižují.

Třískové obrábění se vyznačuje nízkými vstupními náklady. Náklady na materiál, energie a mzdy však významně snížit nelze a to ani s růstem počtu kusů. Obecně lze říci, že objemové tváření je vhodné zejména pro hromadnou a sériovou výrobu a obrábění pro kusovou výrobu a malé výrobní série. Pro porovnání obou technologií jsou vypočteny přímé náklady. Rovnovážný bod na obrázku 7.1 znázorňuje okamžik (počet kusů), kdy náklady na výrobu součástí se rovnají výnosům.

Výpočet nákladů při objemovém tváření [16]

Přímé náklady

Přímé náklady na materiál

Polotovar tažený ocelový drát pro všeobecné účely KR 11,2 ČSN426410.5 – 12010-S5R

Rozměry polotovaru

délka $l = 27mm$, plocha průřezu $S_{kruhu} = 98,52mm^2$, hmotnost $0,773kg/1m$,

objem polotovaru $V_{šestihranu} = 2657,3mm^3$, hmotnost polotovaru $0,0209kg$

$$N_{materiál2} = S_{M2} \cdot C_{materiál2} \cdot n = 0,0209 \cdot 40 \cdot 100000 = 167200Kč \quad (7.1)$$

kde S_{M2} ... spotřeba materiálu [kg/ks]

$C_{materiál2}$... cena materiálu [Kč/kg]

n ... počet vyrobených kusů za rok [ks]

Přímé náklady na mzdy

$$t_2 = \left(t_A + t_B = \frac{t_{A2}}{60} + \frac{t_{B2}}{60 \cdot d_v} \right) = \frac{0,02}{60} + \frac{0,025}{60 \cdot 10000} = 0,00033hod \quad (7.2)$$

$$N_{mzdy2} = t_2 \cdot M_{t2} \cdot n = 0,00033 \cdot 600 \cdot 200000 = 39600Kč \quad (7.3)$$

kde t_2 ... výrobní čas $\left(t_A + t_B = \frac{t_{A2}}{60} + \frac{t_{B2}}{60 \cdot d_v} \right)$ [hod]

t_{A2} ... čas výroby 1 kusu [min]

t_{B2} ... přípravný čas 1 kusu [min]

d_v	...	počet kusů ve výrobní dávce [ks]
M_{t2}	...	hodinová mzda [Kč/hod]
n	...	počet vyrobených kusů za rok [ks]

Přímé náklady na energii

$$N_{\text{energie}2} = P_2 \cdot n_{j2} \cdot t_{A2} \cdot C_E \cdot n = 74 \cdot 0,8 \cdot 0,02 \cdot 4,5 \cdot 200000 = 1065600 \text{ Kč} \quad (7.4)$$

kde	P_2	...	příkon elektromotoru stroje [kW]
	n_2	...	využití stroje [-]
	C_E	...	cena energie [Kč/kWh]
	d_v	...	počet kusů ve výrobní dávce [ks]
	n	...	počet vyrobených kusů za rok [ks]

Celkové přímé náklady

$$N_{\text{celkové}2} = N_{\text{materiál}2} + N_{\text{mzdy}2} + N_{\text{energie}2} = 167200 + 39600 + 1065600 = 1272400 \text{ Kč} \quad (7.5)$$

Přímé náklady na jeden protlaček

$$N_{pr} = \frac{N_{\text{celkové}2}}{n} = \frac{1272400}{200000} = 6,37 \text{ Kč} \quad (7.6)$$

Nepřímé náklady

$$NN_2 = \frac{N_{pr} \cdot n \cdot (VR + SR)}{100} = \frac{6,37 \cdot 200000 \cdot (350 + 100)}{100} = 5733000 \text{ Kč} \quad (7.7)$$

Variabilní náklady

$$VN_2 = N_{\text{celkové}2} + NN_2 = 1272400 + 5733000 = 7005400 \text{ Kč} \quad (7.8)$$

variabilní náklady na jeden protlaček

$$VN_{pr} = \frac{N_{\text{celkové}2} + NN_2}{n} = \frac{VN_2}{n} = \frac{7005400}{200000} = 35,03 \text{ Kč} \quad (7.9)$$

Fixní náklady

Náklady na tvářecí stroj jsou stanoveny odhadem

$$FN_2 = 1000000 \text{ Kč}$$

Celkové náklady

$$CN_2 = VN_2 + FN_2 = 7005400 + 1000000 = 8005400 \text{ Kč} \quad (7.10)$$

celkové náklady na jeden protlaček

$$CN_{pr} = \frac{CN_2}{n} = \frac{8005400}{200000} = 40,03 \text{ Kč} \quad (7.11)$$

Zisk

$$Z_2 = \frac{(VN_2 + FN_2) \cdot r}{100} = \frac{CN_2 \cdot r}{100} = \frac{8005400 \cdot 20}{100} = 1601080 \text{ Kč} \quad (7.12)$$

r – rentabilita (15-20%)

Zisk za jeden kus

$$Z_{2pr} = \frac{Z_2}{n} = \frac{1601080}{200000} = 8,01 \text{ Kč} \quad (7.13)$$

cena jednoho kusu při zachování zisku 20%

$$C_{2pr} = \frac{FN_2 + VN_2 + Z_2}{n} = \frac{1000000 + 7005400 + 1601080}{200000} = 48,03Kč \quad (7.14)$$

rovnovážný stav

$$RB_2 = \frac{FN_1}{C_{2pr} - VN_{2pr}} = \frac{1000000}{48,03 - 35,03} = 76923Ks \quad (7.15)$$

Výpočet nákladů při třískovém obrábění [16]

Přímé náklady

Přímé náklady na materiál

Polotovar šestihraná tyč 6HR 17h11 – ČSN 42 6530.12 – 12010 x 37

Rozměry polotovaru

délka $l = 37mm$, plocha průřezu $S_{šestihranu} = 169,70mm^2$, hmotnost $1,330kg/1m$,

objem polotovaru $V_{šestihranu} = 6278,9mm^3$, hmotnost polotovaru $0,0492kg$

$$N_{materiál1} = S_{M1} \cdot C_{materiál1} \cdot n = 0,0492 \cdot 60 \cdot 100000 = 590400Kč \quad (7.16)$$

kde S_{M1} spotřeba materiálu [kg/ks]
 $C_{materiál1}$ cena materiálu [Kč/kg]
 n počet vyrobených kusů za rok [ks]

Přímé náklady na mzdy

$$t_1 = \left(t_A + t_B = \frac{t_{A1}}{60} + \frac{t_{B1}}{60 \cdot d_v} \right) = \frac{1,5}{60} + \frac{0,05}{60 \cdot 10000} = 0,025hod \quad (7.17)$$

$$N_{mzdy1} = t_1 \cdot M_{t1} \cdot n = 0,025 \cdot 600 \cdot 200000 = 3000000Kč \quad (7.18)$$

kde t_1 výrobní čas $\left(t_A + t_B = \frac{t_{A1}}{60} + \frac{t_{B1}}{60 \cdot d_v} \right)$ [hod]
 t_{A1} čas výroby 1 kusu [min]
 t_{B1} přípravný čas 1 kusu [min]
 d_v počet kusů ve výrobní dávce [ks]
 M_{t1} hodinová mzda [Kč/hod]
 n počet vyrobených kusů za rok [ks]

Přímé náklady na energii

$$N_{energie1} = P_1 \cdot n_j \cdot t_{A1} \cdot C_E \cdot n = 11 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 4,5 \cdot 200000 = 11880000Kč \quad (7.19)$$

kde P_1 příkon elektromotoru stroje [kW]
 n_j využití stroje [-]
 C_E cena energie [Kč/kWh]
 d_v počet kusů ve výrobní dávce [ks]
 n počet vyrobených kusů za rok [ks]

Celkové přímé náklady

$$N_{\text{celkové}1} = N_{\text{materiál}1} + N_{\text{mzdy}1} + N_{\text{energie}1} = 590400 + 3000000 + 11880000 = 15470400 \text{ Kč} \quad (7.20)$$

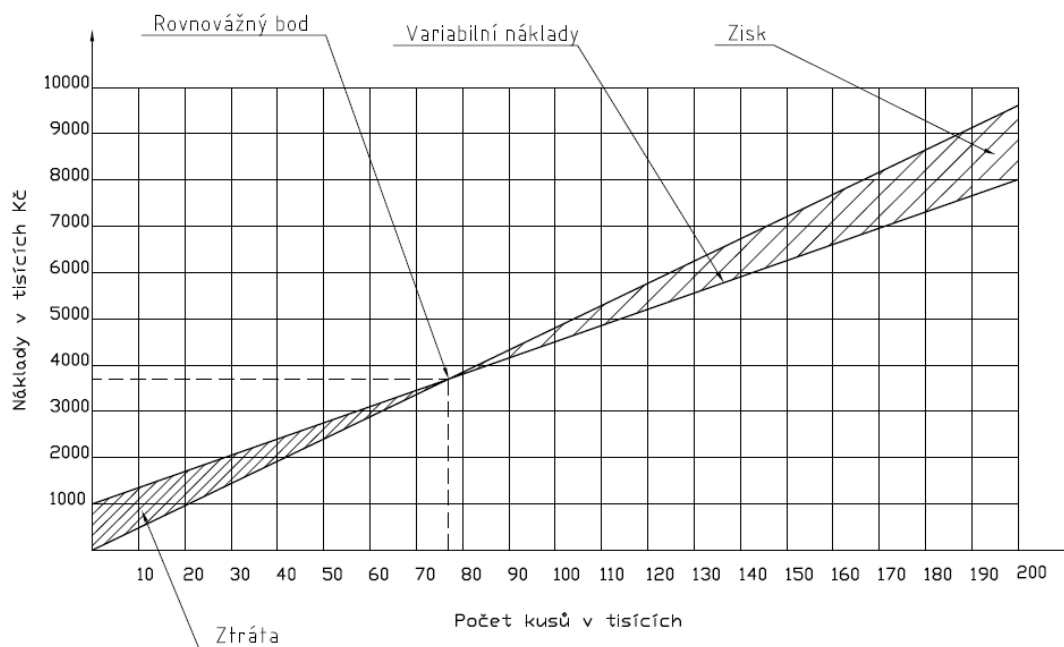
Přímé náklady na jeden obrobek

$$N_{\text{obrobek}} = \frac{N_{\text{celkové}1}}{n} = \frac{1547400}{200000} = 77,352 \text{ Kč} \quad (7.21)$$

Protože výše přímých nákladů na jeden kus při obrábění již převyšují cenu součásti vyrobené technologií objemového tváření je další výpočet nákladů pro třískové obrábění bezpředmětné.

Tab. 7.1 Porovnání přímých nákladů

Náklady/technologie	Obrábění	Tváření
Materiál $N_{\text{materiál}}$	590400Kč	167200Kč
Mzdy N_{mzdy}	3000000Kč	39600Kč
Energie N_{energie}	11880000Kč	1065600Kč
Celkové $N_{\text{celkové}}$	15470400Kč	1272400Kč
Náklady na 1 kus	77,35Kč	6,37Kč



Obr. 7.1 Průběh nákladů

8. ZÁVĚRY

V této diplomové práci je řešena výroba koncovky brzdové hadice technologií objemového tváření za studena. Na začátku této práce je uveden vývoj objemového tváření a porovnání zadané technologie s ostatními běžnými technologiemi. Dále v teoretické části jsou rozebrány a vysvětleny základy technologie objemového tváření za studena.

Ve výpočtové části je nejprve vypočítán objem protlačku, poté je navržen materiál a vypočten rozměr polotovaru taženého ocelového drátu o průměru 11,2mm a délce 27mm. Další rozměry v jednotlivých operacích byly vypočteny s pomocí zákona zachování objemu. Následně se práce zabývá návrhem a srovnáním dvou variant řešení protlačování dané součásti. Výběr varianty I (tříoperační) vyplývá z úspory jedné operace oproti variantě II. Varianta I se skládá z následujících operací:

1. operace Ustřížení polotovaru z tyče kruhového průřezu o výchozím průměru d_0 .
Rovnění čel po předchozí operaci dělení materiálu ustřížením a předpěchování výchozího průměru d_0 na průměr d_5 , vytvoření středících otvorů pro další operace.
2. operace Dopředné protlačování dříku z průměru d_5 na průměr d_4 a d_3 ,
vytvoření vnitřní dutiny o průměru d_2 a zároveň zpětné protlačování kalíšku z počátečního průměru d_5 na vnitřní průměr d_6 .
3. operace Pěchování vnějšího šestihranu z počátečního průměru d_5 , kalibrace.

Pro vybranou variantu jsou následně určeny pro jednotlivé operace přirozené přetvárné odpory, deformační odpory, tvářecí síly a přetvárné práce. Z předchozích výpočtů je navržen dostupný tvářecí stroj a lisovnice, pro kterou pomocí programu OPTIM96.EXE jsou stanovené přesné rozměry pro zapouzdření průtlačnice v objímce.

Ke konci práce jsou naznačeny další kroky výroby brzdové hadice přímo navazující na řešené operace. Nakonec je uvedeno technicko – ekonomické hodnocení výroby s porovnáním s třískovým obráběním. Pouze z porovnání přímých nákladů je patrné, že výroba objemovým tvářením za studena vykazuje úsporu okolo 120% proti obrábění.

Seznam použitých symbolů a zkratek

Označení	Jednotky	Legenda
V	[mm ³]	objem
D,d	[mm]	průměr
H,h,v	[mm]	výška
R,r	[mm]	poloměr
b	[mm]	tloušťka dna
φ	[-]	logaritmické přetvoření
f	[-]	součinitel tření
α, β, γ	[°]	úhel
F	[N]	síla
S	[mm ²]	plocha
A	[J]	práce
A _j	[J/mm ³]	měrná přetvárná práce
l	[mm]	délka
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
t	[s]	čas
T	[°C]	teplota
p	[MPa]	tlak
π	[-]	Ludolfovo číslo
σ_d	[Mpa]	deformační odpor
σ_p	[Mpa]	přirozený přetvárný odpor
μ	[-]	Poissonovo číslo
N _{materiál}	[Kč]	přímé náklady na materiál
N _{mzdy}	[Kč]	přímé náklady na mzdy
N _{celkové}	[Kč]	přímé náklady celkové
N _{energie}	[Kč]	přímé náklady na energii
N _{pr}	[Kč]	přímé náklady na 1 kus
S _M	[kg/ks]	spotřeba materiálu
C _{materiál}	[kg/ks]	cena materiálu
NN	[Kč]	nepřímé náklady
VN	[Kč]	variabilní náklady
FN	[Kč]	fixní náklady
CN	[Kč]	celkové náklady
n	[ks]	počet kusů
M _t	[Kč/hod]	hodinová mzda
C _E	[Kč/kWh]	cena enezgie
t _A	[min]	čas výroby 1 kusu
t _B	[min]	přísravný čas 1 kusu
R _m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
R _d	[MPa]	mez pevnosti v tlaku
R _{p0,2}	[MPa]	mez kluzu
ε	[-]	poměrné přetvoření
q ₁	[-]	příčné spěchování
q ₂	[-]	příčné zúžení
Z	[-]	konrakce
P	[kW]	příkon

$2\Delta r_C$	[mm]	vypočtený přesah
$2\Delta r_2$	[mm]	stažení vnějšího otvoru průtlačnice
$2\Delta r_{22}$	[mm]	roztážení vnitřního průměru objímky
$2\Delta r_{S1}$	[mm]	konstrukční přesah
ρ	[kg/m ³]	hustota
obr.	[-]	obrázek

Seznam použité literatury

1. FELDMANN, Heinz D. *Protlačování oceli*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1962. 196s.
2. BABOR, Karel; Augustin CVILINEK a Jan FIALA. *Objemové tváření oceli*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1967. 332 s. ISBN 04-239-67
3. LANGE, Kurt; et al. *Handbook of metal forming*. Kurt Lange. 1st edition. New York: McGraw-Hill Book Company, 1985. 1156 s. ISBN 0-07-036285-8.
4. ASM International. *ASM Handbook: Metalworking: Bulk forming*. 1st edition Vol. 14. S. L. Semiatin, Ohio, USA, 2005. ISBN 0-87170-708-X. Cold Extrusion, s.405-418.
5. NOVOTNÝ, Jiljí, et al. *Technologie I : (Slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. 227 s. ISBN 80-01-02351-6.
6. FOREJT, Milan; Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2-9.
7. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
8. ŠANOVEC, Jan. *Technologie I : Návod pro cvičení*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. 140 s. ISBN 80-01-02211-0.
9. KOTOUČ, Jiří, et al. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: STNL, 1993. 351s. ISBN 80-01-01003-1.
10. HEMR, František. *Konstruování součástí vhodných k protlačování za studena*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1968. 216 s.
11. LEINVEBER, Jan; Jaroslav ŘASA, Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 2. vyd. Praha: Scientia, spol. s r.o., pedagogické nakladatelství, 1998. 911 s. ISBN 80-7183-123-9.
12. BENEŠ, Milan; Bohumil MAROŠ. *Poradenská příručka*. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1986. Křivky přetvárných odporů ocelí 4. díl, s. 7-77. 06-089-86.
13. FOREJT, Milan; Jan VRBKA. Metodologie návrhu lisovnice – ověření metodou konečných prvků. *Strojírenství*. 1988, roč. 38, č. 7, s. 402-409.
14. *Informace z materiálových věd* [online]. Poslední úpravy: 22. 02. 2004 .Česká společnost pro nové materiály a technologie, 2004, 22. 02. 2004 [cit. 2011-05-23]. Materiál ČSN 412010 12010. Dostupné z WWW: <<http://cesar.fme.vutbr.cz/informace/nezelezo/Fe67.htm>>.
15. KŘIVÁK, L. *Výrobní program*. Šmeralovy závody Brno, 1991. 107s.

16. ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2002. 158 s. ISBN 802142219X.
17. SOBEK, Evžen, et al. *Základy konstruování : Návod pro konstrukční cvičení*. 6. přep. vyd. Brno: Akademické nakladatelství Cerm, 2004. 110 s. ISBN 80-7204-331-50.

Seznam příloh

- Příloha 1:** Zjišťování přetvárného odporu oceli
- Příloha 2:** Křivky přetvárného odporu oceli 12010-S 5R
- Příloha 3:** Mechanické vlastnosti oceli
- Příloha 4:** Výběr nástrojových materiálů pro průtlačnice a objímky
- Příloha 5:** Výstup – protokol programu OPTIM96.EXE
- Příloha 6:** Průběhy napětí na lisovnici
- Příloha 7:** Průběhy předpětí na lisovnici
- Příloha 8:** Výkres zadané součásti, č.v. DP-05-2011-04
- Příloha 9:** Kusovník, č.v. DP-05-2011-05
- Příloha 10:** Výkres průtlačníku ve 2. tvářecí operaci, č.v. DP-05-2011-02
- Příloha 11:** Výkres průtlačnice ve 2. tvářecí operaci, č.v. DP-05-2011-03
- Příloha 12:** Výkres sestavy nástroje, č.v. DP-05-2011-01

Příloha 1: Zjišťování přetvárného odporu oceli [12]

1. ZJIŠŤOVÁNÍ KŘIVEK PŘETVÁRNÉHO ODPORU POMOCÍ PĚCHOVACÍ ZKOUŠKY

Experimentálními zkouškami byl zjištěn přetvárný odpor v závislosti na stupni přetvoření pro materiály používané pro tváření spojovacích součástí a strojních dílů, které byly pěchovány při teplotě 21°C. Zkoušky byly provedeny na hydraulickém lisu CZR 600, grafické a analytické vyjádření označené "A", a na výstředníkovém lisu LEPU 100 označené "B" [4].

Příprava a provedení zkoušek, stejně jako metodika měření a vyhodnocení, je popsána v 1., 2. a 3.dílu [1], [2], [3].

Získané hodnoty pro jednotlivá měření byly aproximovány metodou nejmenších čtverců polynomem 3. a 5. stupně, polytropou a racionálně lomenou funkcí [1].

Pro označení materiálů používaných pro výrobu spojovacích součástí platí podniková norma PN 42 04 92 [5].

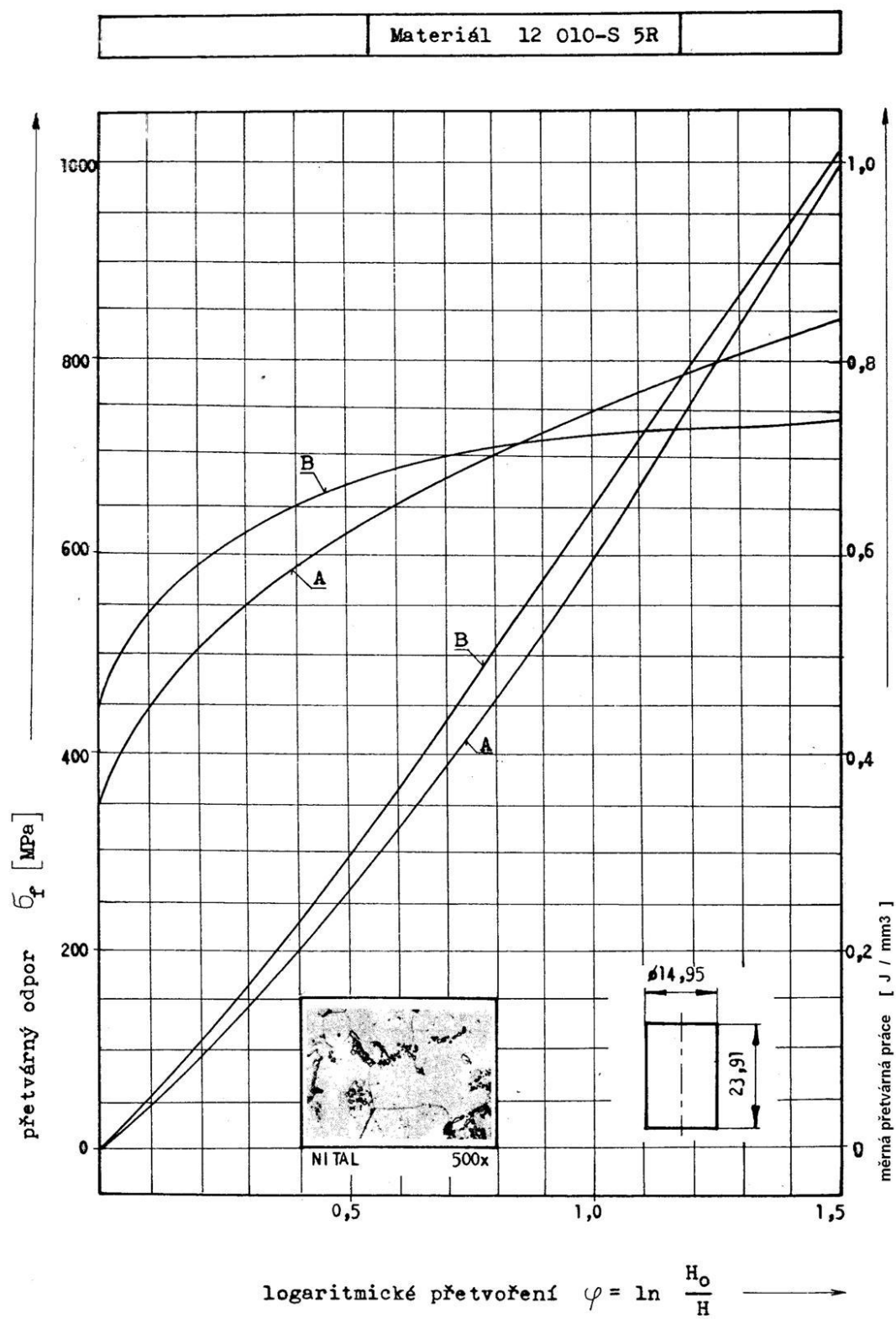
Tato norma platí pro ocelové dráty kruhového průřezu od ϕ 1 mm do 20 mm, tažených zastudena na jedno nebo více bubnových drátotazích, z ocelí tř. 11 až 15.

Tažený drát je vyráběn podle jakosti a potřeby s úpravou povrchu na základě technologických postupů:

Označení	Povrch
F	fosfátovaný
FR	fosfátovaný, tažený v mýdl. prášku
RM	tažený v Molyku s mýdl. práškem
R	tažený v mýdlovém prášku
V	vápněný
S	tažený v silivosku
A	tažený v stearátu
T	tažený v tuku
RG	tažený na grafit s mýdl. práškem

Označení číslicí	Technologický postup
0	mořený, tažený
1	mořený, tažený s úběrem cca 10%
2	mořený, tažený s úběrem cca 20%
3	mořený, tažený s úběrem cca 35%
4	mořený, tažený, žíhaný na měkko, mořený
5	mořený, tažený, žíhaný na měkko, mořený, tažený s úběrem 5%
6	mořený, tažený, žíhaný na měkko, mořený, tažený s úběrem 25%
7	mořený, tažený, žíhaný na měkko, mořený, tažený s úběrem cca 35%
8	mořený, žíhaný na měkko, mořený, tažený s úběrem cca 10%
9	žíhaný, mořený, tažený, žíhaný na měkko, mořený, tažený s úběrem cca 5%

Příloha 2: Křivky přetvárného odporu oceli 12 010-S 5R [12]



Materiál 12 010 - S 5 R		označení B		Teplota 21°C		
Aprox. křivka		Rovnice *)		I_{yx}	σ^2	δ^2
Polytropa		$\sigma_f = 295,29 \varphi^{0,4219} + 433,68$ [MPa]		0,97054	452,549	10861,173
Polynom 3.stupně		$\sigma_f = 255,74 \varphi^3 - 761,67 \varphi^2 + 757,75 \varphi + 463,79$ [MPa]		0,99428	108,836	2503,238
Polynom 5.stupně		$\sigma_f = 181,02 \varphi^5 - 906,07 \varphi^4 + 1847,79 \varphi^3 - 1918,51 \varphi^2 + 1065,09 \varphi + 446,97$ [MPa]		0,99769	48,119	1010,505
Racionálně lomená funkce		$F = 81,43 \varphi^5 - 327,23 \varphi^4 + 598,37 \varphi^3 - 413,42 \varphi^2 + 280,10 \varphi + 76,72$ [kN]		0,99994	3,434	72,124
		$D = 1,99 \varphi^5 - 9,45 \varphi^4 + 16,37 \varphi^3 - 7,65 \varphi^2 + 6,83 \varphi + 14,85$ [mm]		0,99997	0,002	0,038

$a = 0,06 \varphi^4 - 0,25 \varphi^3 + 0,38 \varphi^2 + 0,46 \varphi$ [Jmm ⁻³]	$\dot{\varphi}_{st\dot{x}} = 0,0614$ [s ⁻¹]
--	---

*) Pozn. Rovnice platí pro φ v intervalu 0 až 1,65

Příloha 3: Mechanické vlastnosti oceli [12]

Mechanické vlastnosti hotového drátu podle PN 42 0492

Značka oceli	Provedení drátu	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Kontrakce Z min. [%]
11 320	0R	539 - 833	-
	1R	343 - 471	50
	3R	451 - 608	50
	5R	294 - 422	50
	4F	270 - 360	60
11 343	0R	539 - 883	-
	2R	412 - 569	50
	3R	471 - 637	50
	5R	314 - 441	55
	6R	392 - 539	50
	7R	471 - 618	50
12 010-S	5R	max. 392	60
12 040	5R	max. 667	53
12 042	8R	max. 686	53
	4V	max. 530	53
12 071	9R	686 - 833	32
12 122	1R	max. 686	50
	2R	max. 686	50
	8R	max. 588	53
14 240	9R	max. 735	50
14 331	9R	max. 784	50

Mechanické hodnoty zkoušených materiálů

Provedení drátu	Průměr [mm]	Mez pevnosti R _m [MPa]	Kontrakce Z [%]	Dosažené přetvoření φ _{dos.}	Kritické přetvoření φ _{krit.}
11 320 OR	2,5	707	60	1,8737	2,1972
11 320 1R	15,5	439	73	2,1428	-
11 320 3R	6,28	516	63	2,0250	2,0875
11 320 5R	17,5	355	80	1,7472	-
11 320 4F	15,5	306	77	2,1076	-
11 343 OR	2,5	743	55	1,8578	2,0327
11 343 2R	5,7	597	64	1,7844	1,7992
11 343 2R	18,2	449	68	2,1071	-
11 343 3R	11,8	552	57	2,1410	-
11 343 5R	9,8	432	67	1,8328	1,9106
11 343 6R	3,8	400	79	2,0206	2,1110
11 343 7R	3,8	635	61	1,7686	1,8827
12 010-S 5R	16,5	372	75	2,1554	2,2149
12 010 4F	17,5	347	70	1,6251	2,0457
12 040 5R	12,59	589	62	1,6803	1,8212
12 040 8R	15,8	588	48	1,3833	1,4969
12 040 4V	15,8	500	65	1,8430	1,8988
12 042 5R	7,85	579	70	1,9643	1,9992
12 071 9R	3,7	726	78	0,9692	1,0854

Příloha 4: Výběr nástrojových materiálů pro průtlačnice a objímky [13]

Výběr nástrojových materiálů pro průtlačnice a objímky

	Materiál	T_{KAL}	T_{POP}	HRC	E	μ	R_m	R_d	$R_{p0,2}$	σ_d	α
		[°C]	[°C]	[-]	[Mpa]	[-]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[K ⁻¹]
LISOVNICE	SK 64	-	-	84	490000	0,26	1000	3400	0	750	$0,65 \cdot 10^{-5}$
	SK 65	-	-	82,5	460000	0,26	1130	3140	0	850	$0,70 \cdot 10^{-5}$
	Ocel 19 830	1140	620	62	220000	0,33	1665	3670	1480	1425	$1,24 \cdot 10^{-5}$
	Ocel 19 436	1060	520	59	208000	0,30	1860	3680	-	1620	$1,28 \cdot 10^{-5}$
				60							
				61							
OBJÍMKA	Ocel 19 733	920	570	47	206000	0,30	1790	-	1670	1525	$1,36 \cdot 10^{-5}$
			600	49							
	Ocel 19 740	1025	500	47	207000	0,30	1570	-	1320	1300	$1,26 \cdot 10^{-5}$
			600	46			1480		1390	1360	
			620	45			1410		1370	1340	
	Ocel 19 452	850	370	50	206000	0,30	1745	3040	1560	1500	$1,30 \cdot 10^{-5}$
			400	47			1645	3090	1500	1450	

Oborový projekt2, Šylabus Forejt2003

Příloha 5: Výstup – protokol programu OPTIM96.EXE

O P T I M A L I Z A C E L I S O V N I C E S J E D N O U O B J I M K O U

VSTUPNI DATA - MATERIAL:

		LISOVNICE	OBJIMKA
Modul pružnosti v tahu	- E [MPa]	: 220000	206000
Mez pevnosti v tahu	- Rm [MPa]	: 1665	1790
Mez pevnosti v tlaku	- Rd [MPa]	: 3670	0
Mez kluzu	- Rp(0,2) [Mpa]	: 1480	1670
Poissonovo číslo	- ϵ	: 0.33	0.30
Dovolene napeti	- σ_D [MPa]	: 1425	1525

VSTUPNI DATA - GEOMETRIE:

Vnitřní polomer lisovnice	- r1 [mm]	: 6.80
Vnější polomer objímky	- r3 [mm]	: 32.00

VSTUPNI DATA - TEPLOTA, TEPEL. ROZTAZNOST:

Teplota okolí	- To [°C]	: 23
Teplota popouštění	- Tp [°C]	: 570
Str.hodnota koef.tepel.roztaznosti lisovnice	- α_1 [1/°K]	: 0.0000124
Str.hodnota koef.tepel.roztaznosti objímky	- α_2 [1/°K]	: 0.0000136

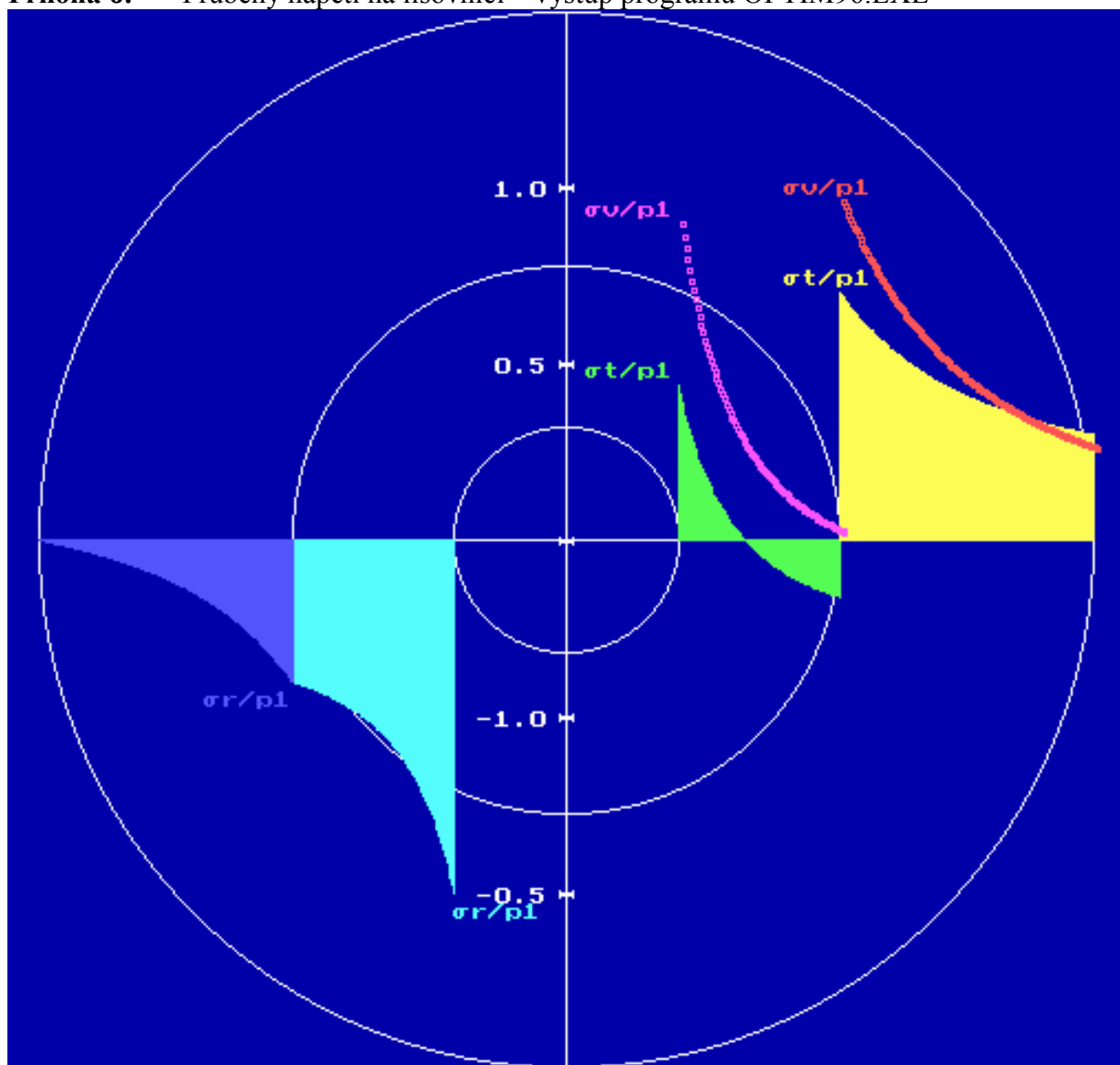
VSTUPNI DATA - PODMINKY UNOSNOSTI A PODMINKY POUZDŘENÍ:

LISOVNICE - Mohrova podmínka křehké pevnosti pro slinutý karbid
 OBJIMKA - Podmínka energetická HMH pro ocel
 Pouzdřeno za studena

V Y P O C T E N E H O D N O T Y *****

Poměrný delící polomer	- r2/r1 [mm]	=	2.44617
Maximální radiační tlak	- p1 [MPa]	=	1600.00000
Kontaktní tlak	- p2 [MPa]	=	642.55649
Delící polomer	- r2 [mm]	=	16.63394
Vypočtený přesah	- $2\epsilon_r$ [mm]	=	0.21874
Kontaktní předpetí	- $\overline{p_2}$ [MPa]	=	445.01908
Stážení vnějšího ϵ lisovnice	- $2\epsilon_r^2$ [mm]	=	0.07209
Roztážení vnitřního ϵ objímky	- $2\epsilon_r^{22}$ [mm]	=	0.14665
Zvětšení kontaktního tlaku od p1	- $p_2^{\sim}$ [MPa]	=	197.53741
Konstrukční přesah	- $2\epsilon_{rs}$ [mm]	=	0.21874
Stážení funkčního ϵ lisovnice	- 2ϵ		

Příloha 6: Průběhy napětí na lisovnici – výstup programu OPTIM96.EXE



Příloha 7: Průběhy předpětí na lisovnici – výstup programu OPTIM96.EXE

