

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 ZÁVĚSU OKEN

FORMING TECHNOLOGY PRODUCTION OF WINDOW HANGER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK ŠTEJNAR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

PROF. ING. MILAN FOREJT, CSC.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Radek Štejnár

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

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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 bakalářské práce:

Technologický postup výroby závěsu oken.

v anglickém jazyce:

Forming technology production of window hanger.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jde o návrh technologie velkosériové (hromadné) výroby tělesa závěsu oken z konstrukční oceli 11320 objemovým tvářením za studena s důrazem na zpětné protlačování.

Cíle bakalářské práce:

1. Vypracujte literární studii se zaměřením na technologii objemového tvářením za studena.
2. Zhodnoťte současný stav výroby součásti obdobného tvaru.
3. Navrhněte vlastní technologii výroby.
4. Vypracujte výkresovou dokumentaci postupového nástroje a doložte ji potřebnými výpočty
5. Zpracujte technické a ekonomické hodnocení navržené technologie.
6. Formulujte 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 bakalářské práce: prof. Ing. Milan Forejt, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 21.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je návrh technologického postupu výroby závěsu oken zpětným protlačováním a vypracování studie o objemového tváření za studena. Zadaná součást je z oceli 11 320 5R a polotovarem pro výrobu, je zvolen kruhový špalík o rozměrech Ø14,6h9 - 25,3 mm. Celkem jsou posouzeny 2 varianty technologického postupu. Pro vybranou variantu vyhotovení ve 4 operacích včetně ustřížení drátu jsou provedeny technologické a pevnostní výpočty s použitím výpočetní podpory programem TVÁŘENÍ a OPTIM97. Pro navrženou technologii byl vybrán postupový automat TPZK 25 výrobce ŠMERAL a.s. Brno. Nástroje pro výrobu jsou vyrobeny z rychlořezné nástrojové oceli 19830. Při zpracování výkresové dokumentace, jsem vycházel z daného zadání, potřebných výpočtů a technické dokumentace navrženého stroje. Výkresová dokumentace obsahuje výkres sestavy, výkres průtlačníku a výkres průtlačnice.

ABSTRACT

An objective of the bachelor's thesis is the solution of forming technology production of window hanger by means of backward extrusion and elaboration of study concerning cold bulk forming. Required component is made of material ČSN 41 1320 5R and rounded chock with dimension of Ø14,6h9 - 25,3 mm is selected as semifinished product for production. Generally 2 alternatives of technology process were assessed whereas technological and strength calculations are executed utilizing computing support of TVÁŘENÍ and OPTIM97 software. Component is produced within 4 operations including cutting of wire. Multi-stage cold forming press TPZK 25 made by ŠMERAL a.s. Brno producer was chosen for designed technology. Production tools are made of high speed tool steel 19830.

KLÍČOVÁ SLOVA:

tváření, tváření za studena, objemové tváření, protlačování, pěchování

KEYWORDS

forming, cold forming, solid forming, extrusion, upsetting

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠTEJNAR, R. *Technologický postup výroby závěsu oken..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 39 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Milan Forejt, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Technologický postup výroby závěsu oken vypracoval(a) samostatně s použitím konzultací, odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 26.5.2009

.....
Radek Štejnár

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu prof. Milanovi Forejtovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování práce.

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	

OBSAH

1.ÚVOD.....	10
2.ZPŮSOBY OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ.....	11
2.1.Dopředné protlačování.....	11
2.2.Zpětné protlačování.....	12
2.3.Sdružené protlačování	12
2.4.Hydrostatické protlačování	13
2.5.Stranové protlačování	13
2.6.Radiální tváření	14
2.7.Pěchování	14
2.8.Kombinované tváření	15
2.9.Deformační odpor.....	15
2.10.Tvářecí síla.....	16
2.11.Technologičnost tvaru.....	16
2.11.1.Pěchování.....	17
2.11.2.Zpětné protlačování	18
2.11.3.Dopředné protlačování.....	19
3.SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ.....	20
3.1.Zásady při navrhování součástí.....	20
3.2.Technologické postupy výroby tvářením kovů.....	20
3.3.Dosahované přesnosti v objemovém tváření dle ISO.....	20
3.4.Vlastnosti zadaného materiálu.....	21
4.NÁVRH SOUČÁSTI A TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY.....	22
4.1.Výpočet objemu výchozího polotovaru	23
4.2.Výpočet protlačovací síly.....	24
4.2.1.Výpočet síly pro první operaci.....	24
4.2.2.Výpočet síly pro druhou operaci.....	25
4.2.2.1Řešení zpětného protlačování dle Siebela.....	26
4.2.2.2Řešení zpětného protlačování dle Dippera.....	27
4.2.2.3Řešení zpětného protlačování dle pomoci programu „TVÁŘENÍ“	28
4.2.3.Výpočet síly pro třetí operaci.....	29

4.2.4.Celková protlačovací síla.....	29
5.NÁVRH STROJE.....	30
6.NÁVRH NÁSTROJE.....	31
6.1.Návrh sestavy pro protlačování.....	31
6.2.Návrh nástrojů pro zpětné protlačování.....	31
6.2.1.Pevnostní návrh složené průtlačnice programem Optim97.....	32
7.TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....	34
7.1.Ukazatel potenciálních úspor.....	34
8.ZÁVĚRY.....	35
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam příloh	

1. ÚVOD

Objemové tváření za studena probíhá pod rekrystalizační teplotou za působení prostorové napjatosti, tím je způsobena trvalá deformace bez porušení soudržnosti materiálu.

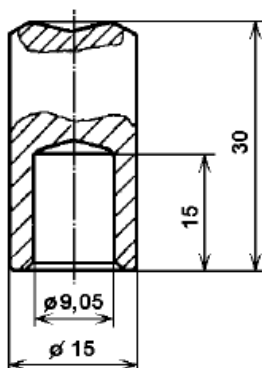
V dnešní době získává stále širší uplatnění především v seriové a hromadné výrobě při výrobě symetrických součástí, jelikož oproti obrábění poskytuje mnoho výhod tj.:

- a) snížení výrobních nákladů
- b) zlepšení kvality výrobků
- c) zvýšení produktivity
- d) úspora výrobního materiálu

Rozměrová přesnost i jakost tvářeného povrchu součástí vyrobených objemovým tvářením je na velmi dobré úrovni, takže vyrobené součásti je možné ihned použít k montáži celků.

Dochází také ke zlepšení mechanických a metalurgických vlastností materiálu. U metalurgických vlastností mluvíme především o nepřerušovaném průběhu vláken což má za následek zvýšení meze únavy následkem zpevnění. U mechanických vlastností je to zejména vyšší mez kluzu a mez pevnosti, proto při volbě výchozího polotovaru můžeme volit méně hodnotný materiál.

Zadaná součást M 1:1



Obr. 1.1 - Zadaná součást (Závěs oken)

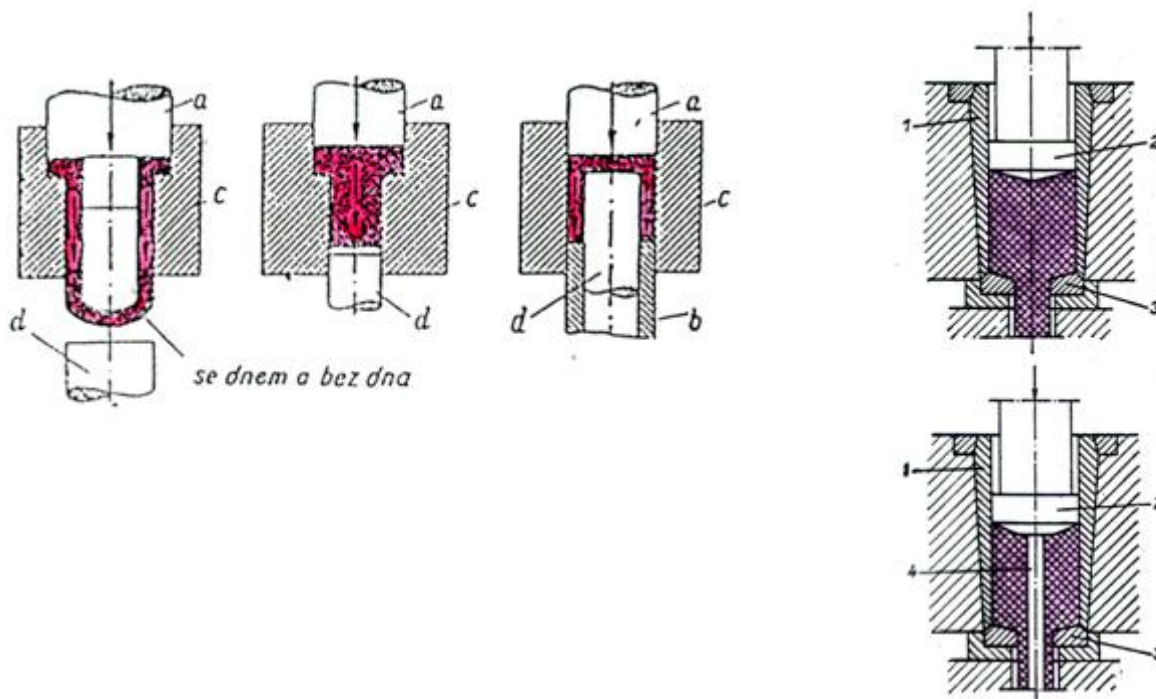
2. ZPŮSOBY OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ

Dle způsobu tečení a směru materiálu vůči nástroji dělíme objemové tváření na:

- a) dopředné protlačování (sousledné)
- b) zpětné protlačování (protisměrné)
- c) sdružené protlačování (kombinované)
- d) hydrostatické protlačování
- e) stranové protlačování
- f) radiální tváření
- g) pěchování

2.1. Dopředné protlačování

Při dopředném protlačování se materiál pohybuje ve stejném směru jako průtlačník. Používá se při tváření pouzder, čepů, šroubů tj. u výrobků, u kterých není konstantní průřez. Výchozím polotovarem bývá kalota, získaná například lisováním plechu nebo upichováním z tyčí.

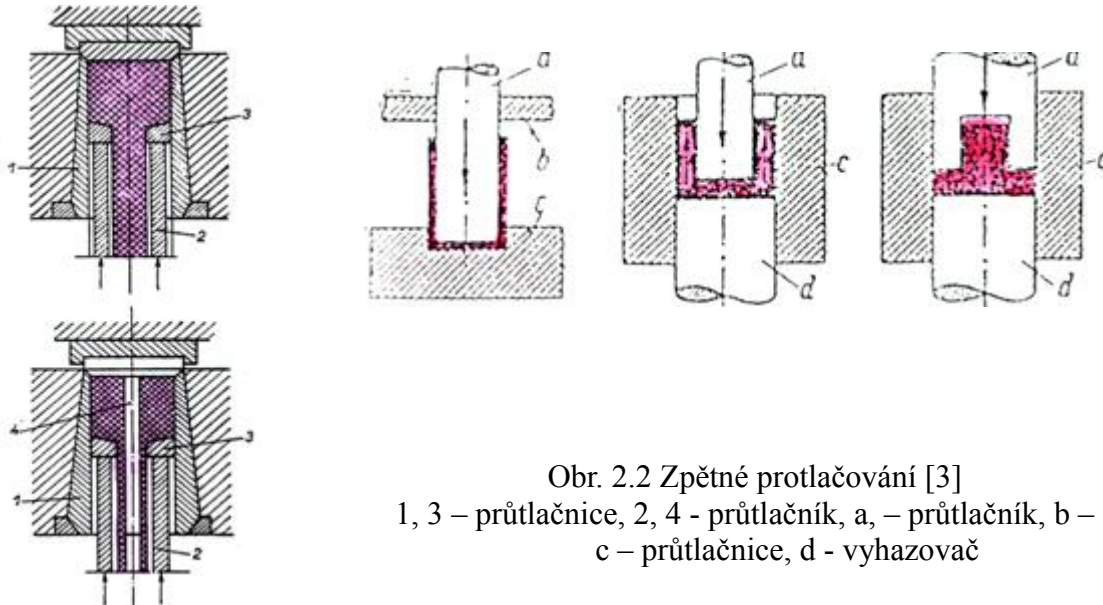


Obr. 2.1 Dopředné protlačování [3]

1, 3 – průtlačnice, 2, 4 - průtlačník, a, – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d - vyhazovač

2.2. Zpětné protlačování

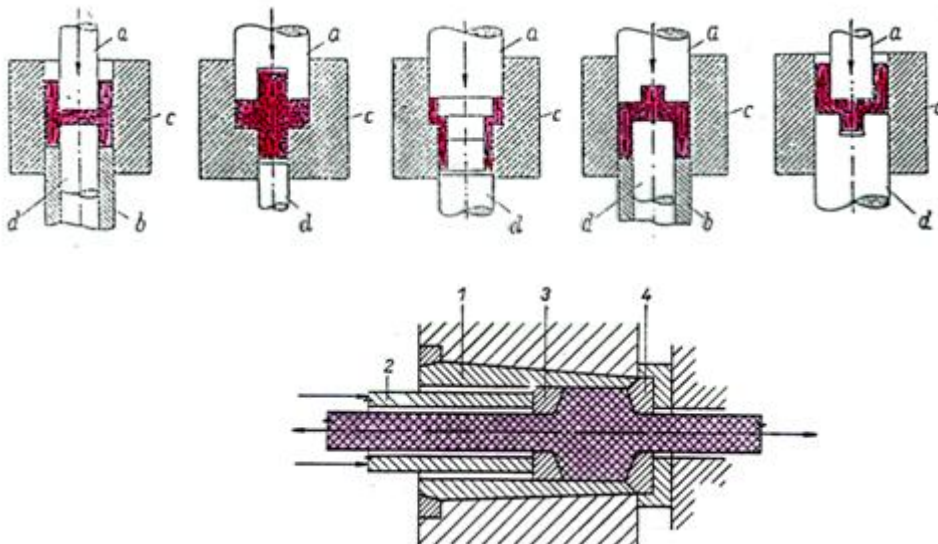
Při zpětném protlačování se pohybuje materiál v opačném směru než průtlačník a používá se k výrobě protlačků podobné kalíškům. Výchozím polotovarem je špalík, jehož výška je zpravidla větší než polovina průměru. Touto metodou lze vyrábět součásti pravidelného i nepravidelného tvaru.



Obr. 2.2 Zpětné protlačování [3]
1, 3 – průtlačnice, 2, 4 - průtlačník, a, – průtlačník, b – stírač,
c – průtlačnice, d - vyhazovač

2.3. Sdružené protlačování

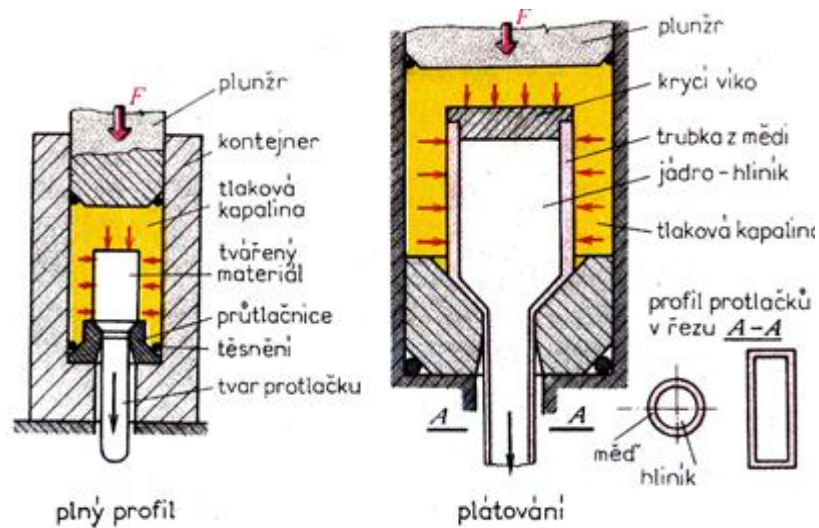
Je kombinace obou předešlých způsobů. Materiál teče ve směru i proti směru průtlačníku. U tohoto způsobu protlačování, abychom zajistili kvalitu, je nutno dodržet zásadu, že u spodní části vylisku je volený stupeň přetváření menší než v horní části, kterou tváří průtlačník, jinak materiál do tvarovaného dna nezateče. Výchozím polotovarem může být děrovaný rondel, prstenec či špalík a používá se pro méně složité součásti.



Obr. 2.3 Sdružené protlačování [3]
1, 3 – průtlačnice, 2, 4 - průtlačník, a, – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d - vyhazovač

2.4. Hydrostatické protlačování

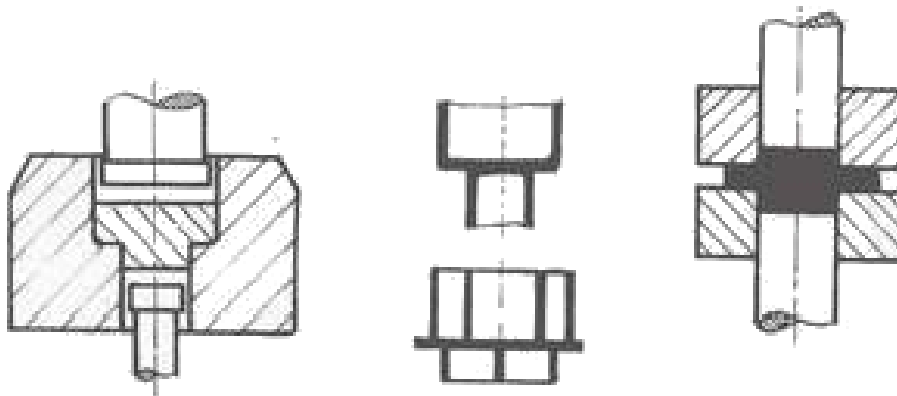
Je speciální technologie, kdy je polotovar obklopen kapalinou o vysokém tlaku. Tím se v něm vytváří všestranné napětí a tvárnost materiálu se zvýší. Další výhodou je zmenšení tření mezi polotovarem a stěnou zápusky a snížení protlačovací síly (např. u oceli je to v průměru o 40%). Takto lze tvářet i křehké materiály za předpokladu, že se použije protitlaku na výstupu ze zápusky.



Obr. 2.4 Hydrostatické protlačování [3]

2.5. Stranové protlačování

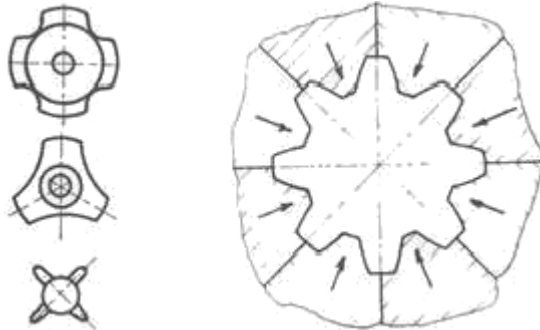
Při stranovém protlačování se tvářený materiál pohybuje kolmo na směr pohybu průtlačníku a slouží k výrobě průtlačků s vnějším i vnitřním oboustranným osazením.



Obr. 2.5 Stranové protlačování [2]

2.6. Radiální tváření

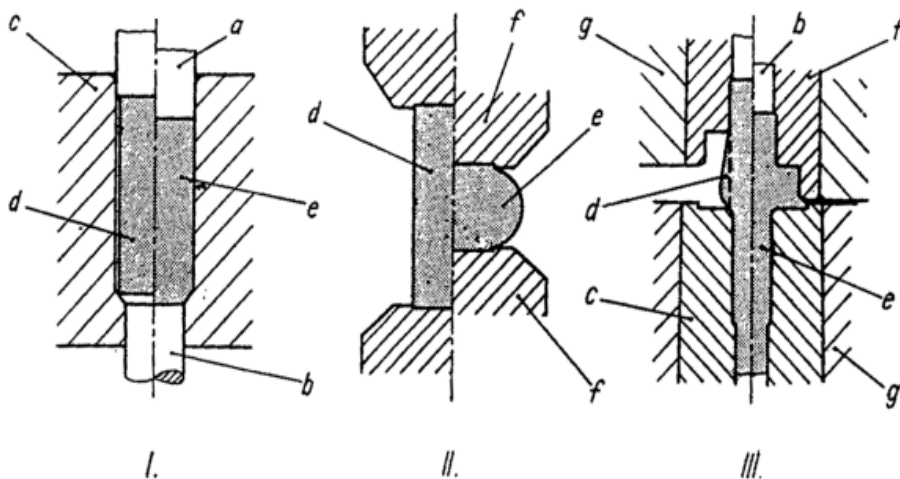
Profil obecně tvarovaného nebo ozubeného předmětu je tvářen v zaváděním výchozím polotovaru současně s dostředně se pohyujícími tvarovými čelistmi. Čelisti jsou vedeny a jsou negativem tvaru tvářecího předmětu. Používá se ke změně průřezu, jako u předchozího způsobu s tím rozdílem, že mění tvar průřezu polotovaru, nikoli jeho velikost.



Obr. 2.6 Radiální tváření [2]

2.7. Pěchování

Je tvářecí operace, která spočívá ve stlačování výchozího polotovaru k získání větších průřezů, ať se jedná o jednoduché či složité tvary. Nejvíce se používá při výrobě normalizovaných spojovacích součástí, jako jsou šrouby, nýty apod. Dále tento způsob tváření používáme ke kalibraci výchozího špalíku za účelem zarovnání čel, k přípravné tvářecí operaci a k víceoperačním tváření jako v samostatné nebo sloučené tvářecí operaci.

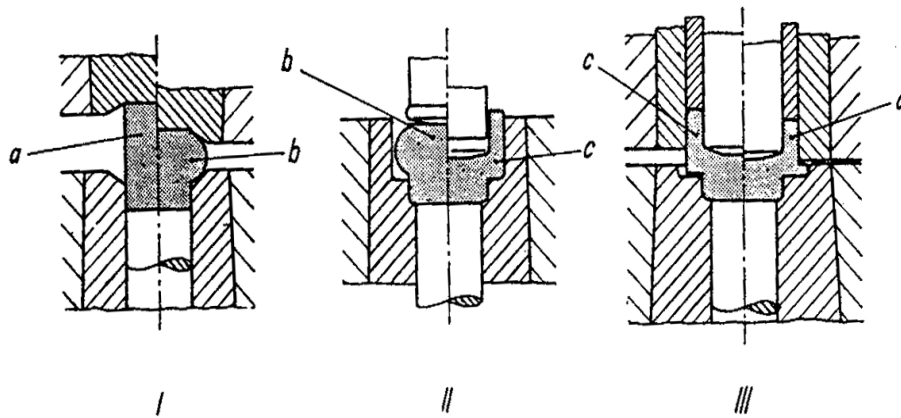


Obr. 2.7 Pěchování [2]

a - průtláčník; b - vyhazovač; c - průtláčnice; d - polotovar; e - výlisek; f - lisovník; g - objímka

2.8. Kombinované tváření

Je kombinace všech výše uvedených způsobů tváření. Používá se při výrobě tvarově složitějších součástí s velkou přesností, kde se dle potřeby kombinují různé způsoby objemového tváření.



Obr. 2.8 Kombinované tváření [2]

I. operace; II. druhá operace; III. třetí operace

a - polotovaz; b - polotovaz z první operace; c - polotovaz z druhé operace; d - výlisek

2.9. Deformační odpor

Je důležitá mechanická vlastnost při tváření kovů, jelikož je nutné překonat odpor proti plastické deformaci, aby došlo k požadované změně tvářeného tělesa. Deformační odpor při určitých podmínkách, jako je např. teplota a rychlost, má zcela určitou hodnotu.

Činitelé ovlivňující velikost deformačního odporu:

- teplota deformace
- rychlost deformace
- stav napjatosti
- chemické složení a fyzikální stav kovu
- stupeň deformace
- vliv vnějšího tření

Pro zpětné protlačování se hodnota vypočte např. ze vzorce [4]:

$$\sigma_d = \frac{1,152 \cdot \sigma_p \cdot S_0}{S_p} \left(\log \frac{S_0}{(S_0 - S_p)} + \frac{S_0}{(S_0 - S_p)} \cdot \log \frac{S_0}{S_p} + \log \frac{S_0}{(S_0 - S_p)} \right) [MPa] \quad (2.1)$$

Pro pēchování např. podle Siebela [4]:

$$\sigma_d = \sigma_p \left(1 + \frac{1}{3} \frac{f \cdot D}{h} \right) \quad (2.2)$$

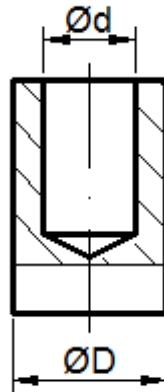
kde střední součinitel tření má hodnotu $f \leq 0,15$, platí pro pēchování za studena, kde poměr D/h je mezi hodnotami 0,7 - 1

Přirozený pērtvárný odpor σ_F je závislý na stupni deformaci φ a jeho hodnoty se dají odečíst z diagramu pro příslušné φ nebo vypočítat pomocí vzorce [1]:

$$\sigma_p = 383,23 \cdot \varphi^{0,4939} + 235,06 [MPa] \quad (2.3)$$

logaritmický stupeň přetvoření

$$\varphi = \ln \frac{S_0}{(S_0 - S_p)} = \ln \frac{D^2}{(D^2 - d^2)} [-] \quad (2.4)$$



Obr. 2.9 Geometrický model součásti

2.10. Tvářecí síla

Tvářecí sílu je nutné vypočítat, abychom určili potřebnou sílu k požadované tvářecí operaci, která nesmí překročit jmenovitou tvářecí sílu použitého lisu. Maximální hodnotu vypočteme ze vztahu

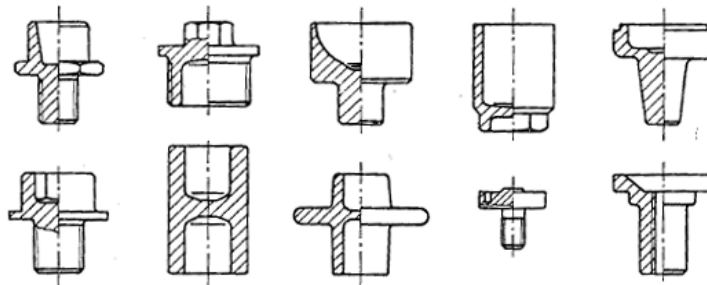
$$F_p = \sigma_d \cdot S_p \quad [N] \quad (2.5)$$

2.11. Technologičnost tvaru

Vhodné součásti k objemovému tváření mohou být jak symetrické tak nesymetrické, jednoduchých či složitějších tvarů. Při volbě technologického postupu si musíme uvědomit, že součásti pro objemové tváření budou jinak navrženy než při výrobě obráběním, odléváním či svařováním.

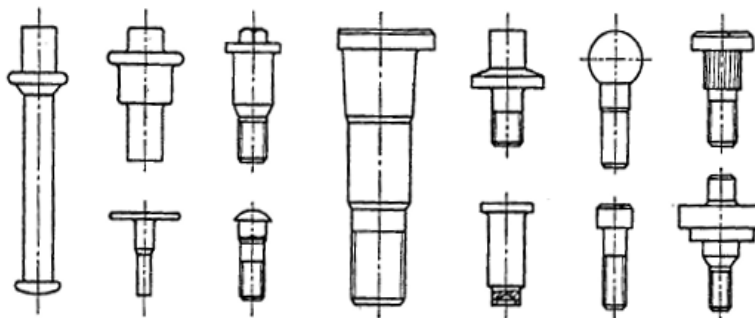
Dle tvarových znaků je můžeme rozdělit do skupin:

a) součásti kalíškového tvaru vyráběné převážně zpětným či dopředným protlačováním (obr. 2.10)



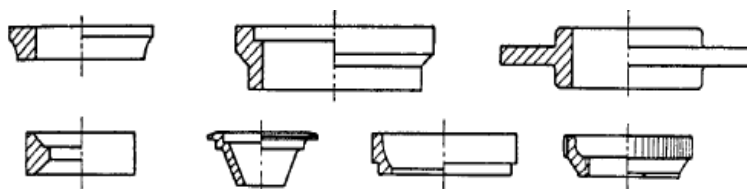
Obr 2.10 [2]

b) součásti typového tvaru (obr. 2.11)



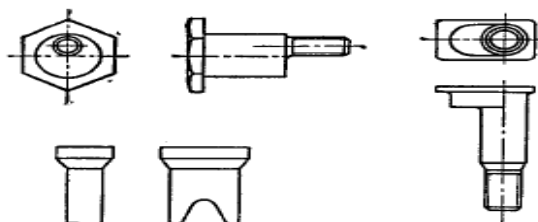
Obr 2.11[2]

c) nízké rotační součásti s průchozím otvorem (obr. 2.12)



Obr 2.12 [2]

d) součásti nepravidelného tvaru (obr. 2.13)



Obr. 2.13 [2]

2.11.1. Pěchování

Omezující faktor při pěchování za studena je pěchovací poměr, který je vyjádřen vzorcem

$$s = \frac{L}{d} \tag{2.6}$$

L... pěchovaná délka

d... průměr pěchovaného materiálu

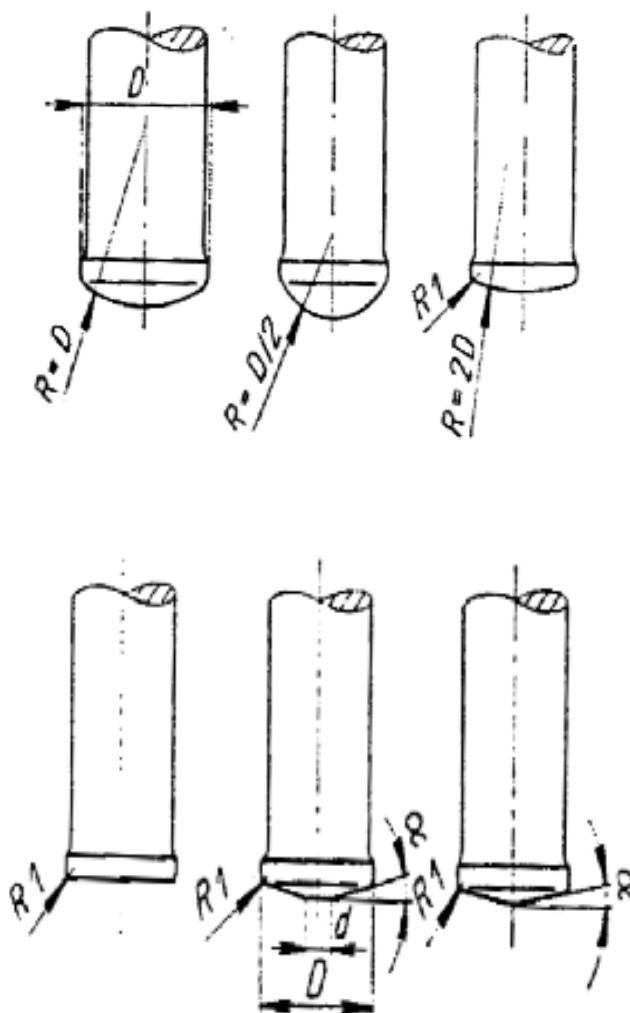
u válcových výlisku lze vyjádřit také vztahem

$$s = \frac{D^2}{d^3 \cdot H} \tag{2.7}$$

Pěchovací poměr „s“ by neměl přesahovat hodnotu 2,3, jinak je nutné pěchovat ve více operacích. Pokud se poměr pohybuje od 2,3 až 4,5 musíme operace rozdělit do dvou úderů. V prvním úderu se součást napěchuje do hruškovitého tvaru a v druhém do výsledného tvaru a rozměru.

2.11.2. Zpětné protlačování

Výlisky s plným dnem mohou mít různý průřez a tloušťku stěny, různě tvarované a tlusté dno. Omezení faktor v tomto případě je velikost deformačního odporu, který omezuje funkční délku průtlačníku. Maximální poměr délky ku průměru je 3 : 1. Bereme na zřetel, také průběh závislosti deformačního odporu na příčném zúžení, proto se doporučuje maximální redukce $q_2=65\%$. Tvar průtlačníku (viz. obr. 2.14) má na deformační odpor jen nepatrný vliv, pokud součást nevyžaduje nějaký speciální tvar zakončení využívá se nejčasteji zakončení s kuželovým čelem. Úhel α slouží k pravidelnému roztažení mazací vrstvy po stěně otvoru.

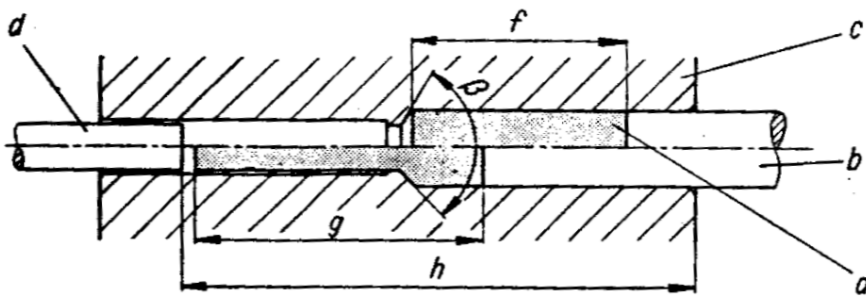


Obr. 2.14 [2]

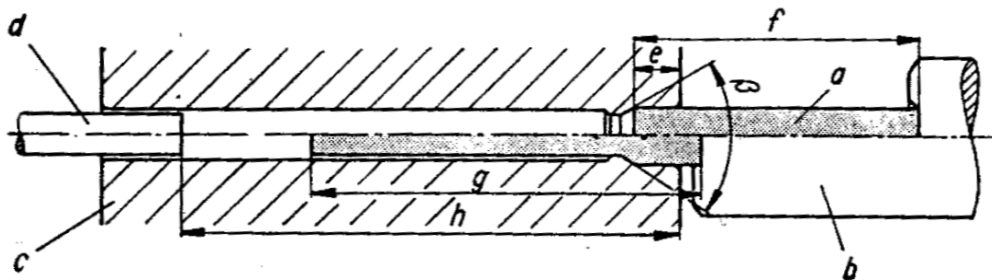
2.11.3. Dopředné protlačování

Používá se pro zmenšování průřezů plných špalíků či dutých polotovarů. Nejčastěji se tímto způsobem vyrábějí součásti čepového tvaru s pěchováním nebo miskového tvaru se zpětným protlačováním. Výhodou dopředného protlačování oproti zpětnému je, že poměr délky výlisku ku průměru může být až 24 : 1. Maximální velikost zúžení $q_2=70\%$.

Tímto způsobem můžeme protlačovat těleso v uzavřené či otevřené průtlačnici. Pokud je $q_2 < 30\%$ používá se vždy uzavřené průtlačnice (viz. obr. 2.15). Pokud je redukce $q_2 > 30\%$ může se použít otevřená průtlačnice (viz. obr. 2.16), jelikož nedochází k pěchování a průtlačník má funkci opěrky. V tomto případě je omezení průtlačnice délkou, která nesmí přesáhnout 12násobek výchozího průměru.



Obr. 2.15 [2]



Obr. 2.16 [2]

a – polotovar; b – průtlačník; c – průtlačnice; d – vyhazovač; e – délka válcové plochy; f – délka ústřížku; g – délka průtlačku; h – zdvih vyhazovače; β – redukční úhel

3.4. Vlastnosti zadaného materiálu

Ocel 11 320 5R obvyklých jakostí vhodná ke tváření za studena

Označení: ČSN 41 1320 dle chemického složení odpovídá oceli ČSN EN 10204 s úpravami dle podnikové normy PN 42 04 92 pro ocelové dráty kruhového průřezu od 1 do 20 mm, tažené za studena.

Význam označení:

5 - mořený, tažený, žíhaný naměkko, mořený a tažený s úběrem 5%

R - tažený v mýdlovém prášku

Zahraniční ekvivalenty - označení:

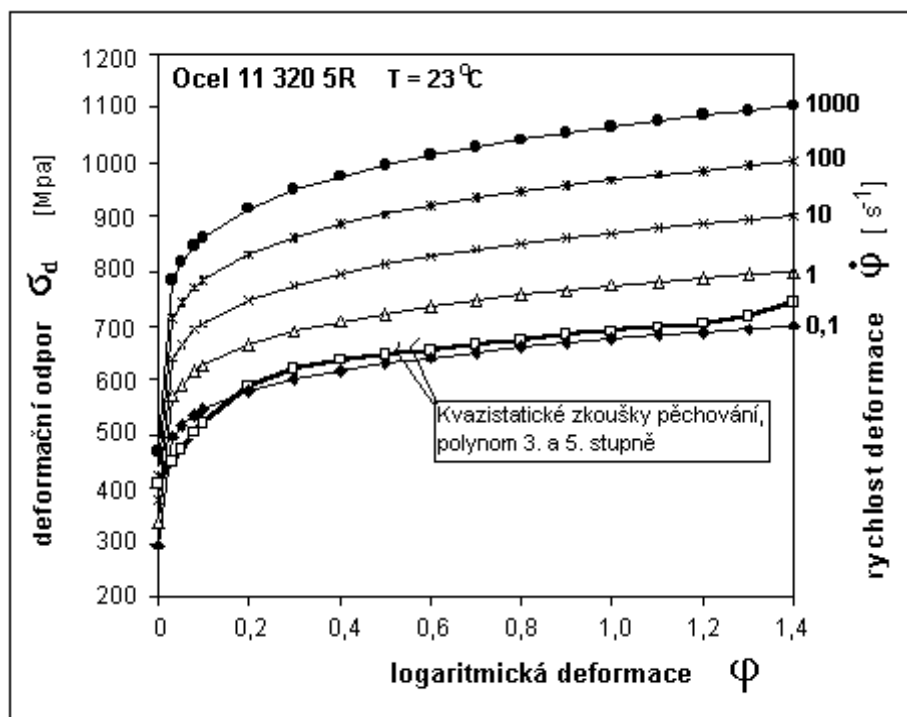
ISO	Cr01	ISO 17/12N49-69
DIN	St12	DIN 1623-72 (1.0320)
Rusko	08kp	GOST 9045-80
Švédsko	1142	SS 141142-75

Chemické složení v p %

C	Mn	Ni	Cu	P	S
0,040	0,320	-	-	0,008	0,024

Mechanické vlastnosti

Pevnost v tahu	R_m	355 MPa
Mez kluzu	$R_{p0,2}$	261 MPa
Tažnost	A_5	48 %
Kontrakce	Z	80 %

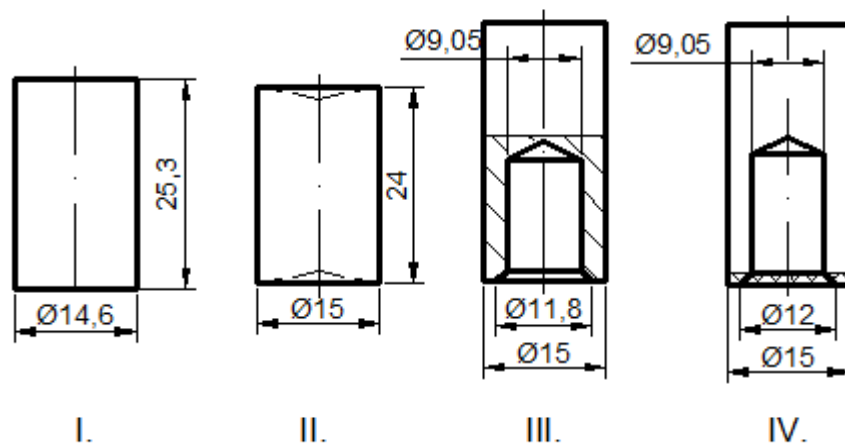


Obr. 3.2 Křivky deformačních odporů (deformačních napětí) oceli 11 320 5R [12]

4. NÁVRH SOUČÁSTI A TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

Danou součást můžeme vyrábět obráběním či tvářením. Pokud bychom vzali v úvahu první způsob výroby, byl by celý proces neekonomický. V druhém případě lze součást vyrábět zpětným či dopředným protlačováním. V našem případě se zaměříme dle zadání na výrobu zpětným protlačováním.

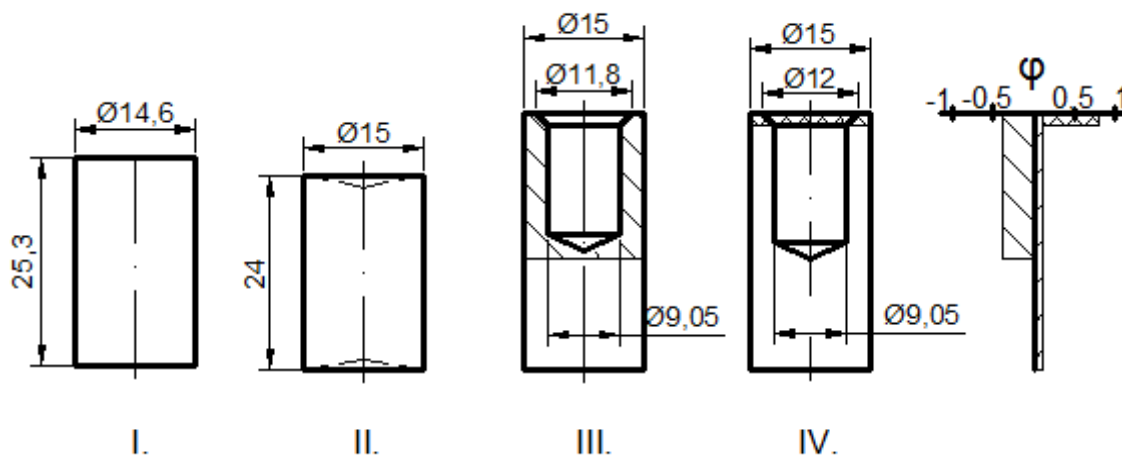
Varianta A



Obr. 4.1 Návrh výroby součásti - dopředné duté protlačování

I. výchozí polotovaz (ústřížek); II. předpěch (srovnání čel); III. zpětné protlačování; IV. kalibrace

Varianta B



Obr. 4.2 Návrh výroby součásti - zpětné protlačování

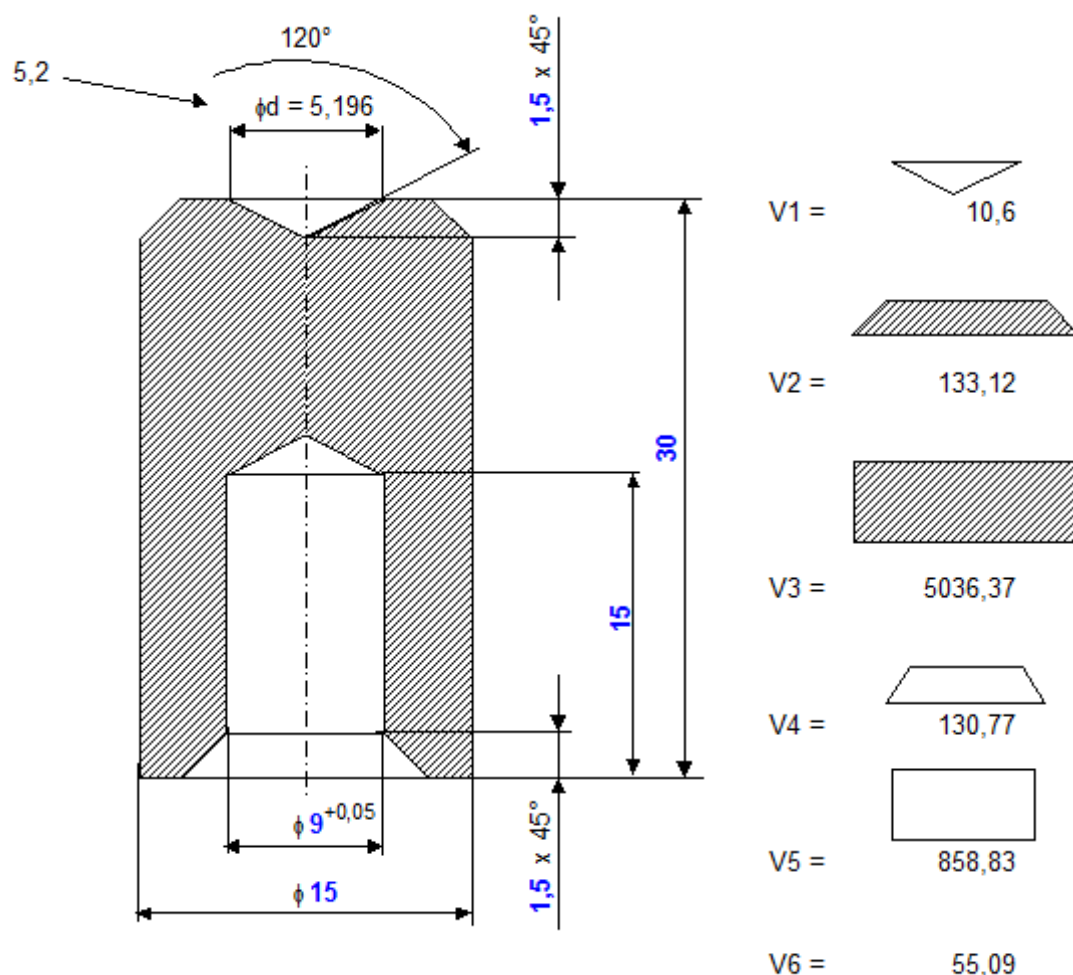
I. výchozí polotovaz (ústřížek); II. předpěch (srovnání čel); III. zpětné protlačování; IV. kalibrace

V první variantě by nám celou součást podražilo dopředné protlačování a dále dle zadání má být vyhotovena součást zpětným protlačováním, proto je zvolena varianta B.

Výchozím polotovarem je drát s fosfátovaným povrchem, kalibrovaný na průměr 14,6 h9.

Drát je nejdříve narovnán v rovnače a poté ustřižnut na požadovanou délku. Při další operaci dojde k pýchování špalíku, čímž je zaručeno lepší vedení průtlačníku při následné operaci a také zpevnění materiálu. Poté zpětným protlačováním je vyrobena součást kalíškovitého tvaru. V poslední operaci se provede kalibrace konečného výrobku.

4.1. Výpočet objemu výchozího polotovaru



Obr. 4.3 Součást pro výpočet výchozího polotovaru

$$D = 15 \text{ mm}$$

$$d = 9 \text{ mm}$$

Objem protlačku

$$\sum V_p = -V_1 + V_2 + V_3 - V_4 - V_6 = -10,6 + 133,12 + 5036,37 - 130,77 - 55,09 = 4114,19 \text{ mm}^3 \quad (4.1)$$

Objem výchozího polotovaru s přídatkem na zarovnání okraje protlačku

$$\sum V_0 = 1.03 \cdot V_p = 1.03 \cdot 4114,19 = 4237,62 \text{ mm}^3 \quad (4.2)$$

Výška špalíku

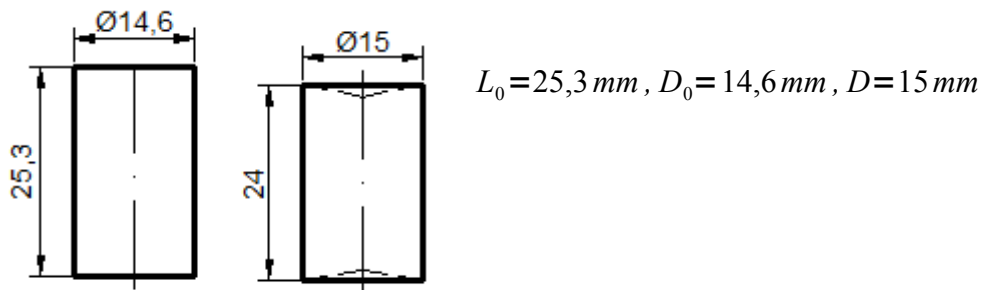
Pro naši součást volím průměr drátu 14,6, pak výška špalíku je:

$$\sum h = \frac{4 \cdot V_0}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 4237,62}{\pi \cdot 14,6^2} = \underline{\underline{25,3 \text{ mm}}} \quad (4.3)$$

Výchozí polotovar bude mít rozměry: $h_0 = 25,3 \text{ mm}$ $D_0 = 14,6 \text{ mm}$

4.2. Výpočet protlačovací síly

4.2.1. Výpočet síly pro první operaci



Obr. 4.4 První operace (předpěch)

Funkční plocha nástroje:

$$S_p = \frac{\pi_0 \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 15^2}{4} = \underline{\underline{176,7 \text{ mm}^2}} \quad (4.4)$$

Logaritmický stupeň deformace:

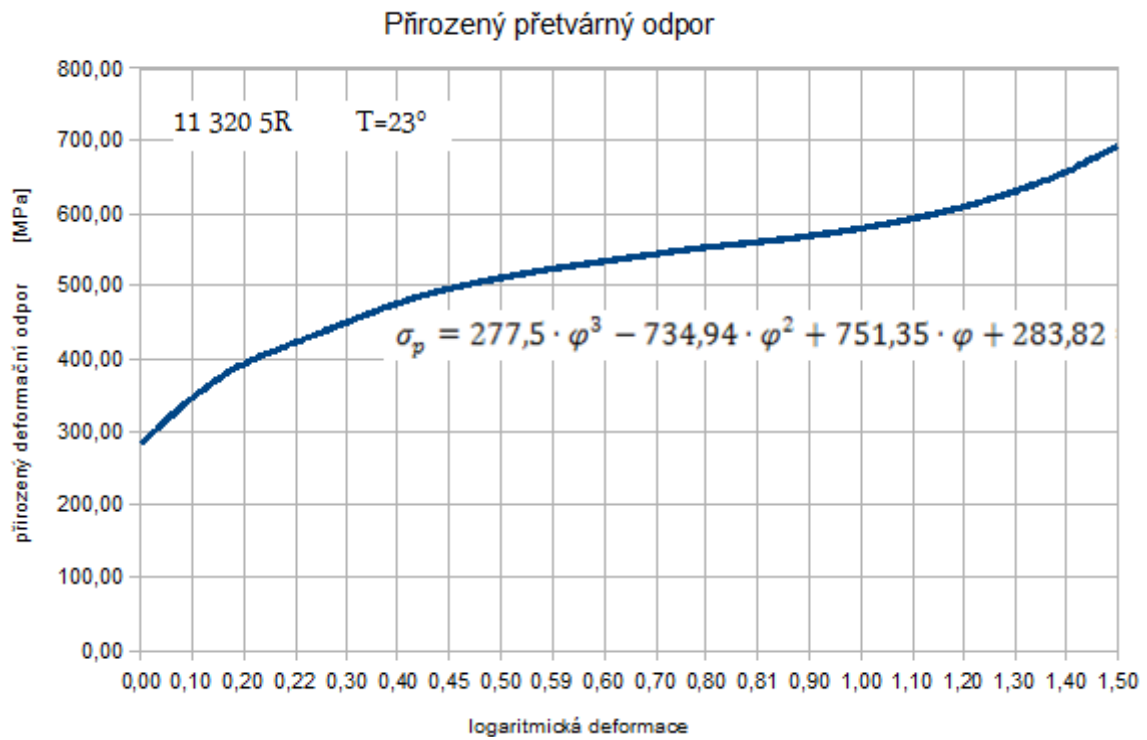
$$\varphi = \ln \frac{S_0}{S} = \ln \frac{D_0^2}{D^2} = \ln \frac{14,6^2}{15^2} = \underline{\underline{0,05}} < 1,4 \quad (4.5)$$

Deformační přetvárný odpor [8]:

Hodnotu deformačního přetvárného odporu můžeme vyčíst z grafu na obr. 4.5 či vypočítat ze vztahu:

$$\sigma_p = 277,5 \cdot \varphi^3 - 734,94 \cdot \varphi^2 + 751,35 \cdot \varphi + 283,82 = 277,5 \cdot 0,05^3 - 734,94 \cdot 0,05^2 + 751,35 \cdot 0,05 + 283,82494 = \underline{\underline{319,58 \text{ MPa}}} \quad (4.6)$$

$$\sigma_d = \sigma_p \left(1 + \frac{1}{3} \frac{f \cdot D}{h}\right) = 319,58 \left(1 + \frac{1}{3} \frac{0,1 \cdot 15}{24}\right) = \underline{\underline{325,65 \text{ MPa}}} \quad (4.7)$$

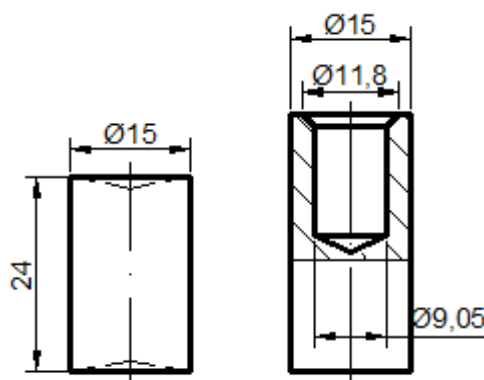


Obr. 4.5 Křivka přirozeného přetvárného odporu oceli 11 320 5R viz příloha 1

Výpočet protlačovací síly:

$$F_p = \sigma_d \cdot S_p = (4.7) \cdot 176,7 = 41256 \text{ N} = \underline{\underline{41 \text{ kN}}} \quad (4.8)$$

4.2.2. Výpočet síly pro druhou operaci



Obr. 4.6 Druhá operace - Zpětné protlačování

4.2.2.1 Řešení zpětného protlačování dle Siebela

Funkční plocha nástroje:

$$S_p = \frac{\pi_0 \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 9,05^2}{4} = \underline{\underline{64,33 \text{ mm}^2}} \quad (4.9)$$

Půdorysná plocha protlačku:

$$S_0 = \frac{\pi_0 \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 15^2}{4} = \underline{\underline{176,71 \text{ mm}^2}} \quad (4.10)$$

Logaritmický stupeň deformace:

$$\varphi = \ln \frac{S_0}{S_0 - S_p} = \ln \frac{D^2}{D^2 - d^2} = \ln \frac{15^2}{15^2 - 9,05^2} = \underline{\underline{0,45}} \quad (4.11)$$

$$\varphi_{2c} = \varphi_{pech} + \varphi_{protlac} = 0,05 + 0,45 = \underline{\underline{0,5}} < 1,4$$

Dovolený stupeň logaritmického přetvoření oceli je $\varphi = (0,5 \text{ až } 1,4)$

Deformační přetvárný odpor pro zpětné protlačování [6]:

Hodnota je odečtena z obr. 4.5

$$\sigma_p = \underline{\underline{510,40 \text{ MPa}}} \quad (4.12)$$

$$\begin{aligned} \sigma_d &= \frac{1,152 \cdot \sigma_p \cdot S_0}{S_p} \left(\log \frac{S_0}{(S_0 - S_p)} + \frac{S_0}{(S_0 - S_p)} \cdot \log \frac{S_0}{S_p} + \log \frac{S_0}{(S_0 - S_p)} \right) = \\ &= \frac{1,152 \cdot 510,4 \cdot 176,71}{64,33} \left(\log \frac{176,71}{(176,71 - 64,33)} + \frac{176,71}{(176,71 - 64,33)} \cdot \log \frac{176,71}{64,33} + \log \frac{64,33}{(176,71 - 64,33)} \right) = \\ &= \underline{\underline{1040,72 \text{ MPa}}} \end{aligned}$$

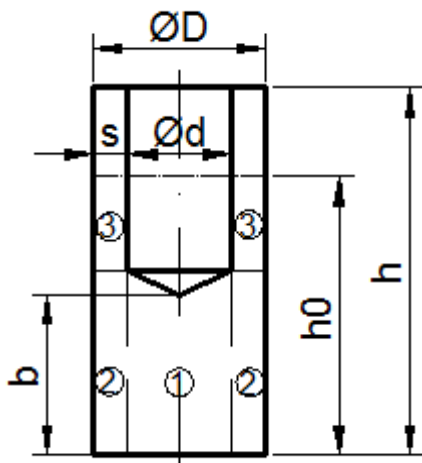
Přípustná poměrná deformace průřezu

$$\epsilon = \frac{d^2}{D^2} = \frac{9,05^2}{15^2} = \underline{\underline{0,36}} < 0,75 \quad (4.13)$$

Výpočet protlačovací síly:

$$F_p = \sigma_d \cdot S_p = 1040,72 \cdot 64,33 = 66949 \text{ N} = \underline{\underline{66,9 \text{ kN}}} \quad (4.14)$$

4.2.2.2 Řešení zpětného protlačování dle Dippera



$$\begin{aligned} s &= 3 \text{ mm} \\ d &= 9,05 \text{ mm} \\ H &= 30 \text{ mm} \\ h_0 &= 24 \text{ mm} \\ f_1 &= 0,06 \end{aligned}$$

Výpočet výšky dna:

$$b = h - \frac{D^2}{d^2}(h - h_0) = 30 - \frac{15^2}{9,05^2}(30 - 24) = \underline{\underline{13,3 \text{ mm}}} \quad (4.15)$$

Obr. 4.7 Geometrický model zpětného protlačování [4]

Logaritmický stupeň deformace

$$\varphi_1 = \ln \frac{h_0}{b} = \ln \frac{24}{13,3} = \underline{\underline{0,59}} \rightarrow \sigma_{p1} = \underline{\underline{528,2 \text{ MPa}}}$$

$$\varphi_c = \varphi_1 \left(1 + \frac{d}{8s}\right) = 0,59 \left(1 + \frac{9}{8 \cdot 3}\right) = \underline{\underline{0,81}} \rightarrow \sigma_{p2} = \underline{\underline{557,5 \text{ MPa}}} \quad (4.16)$$

$$\varphi_2 = \varphi_c - \varphi_1 = 0,81 - 0,59 = \underline{\underline{0,22}}$$

Kontrola podmínky Dippera:

$$\epsilon = \frac{(h_0 - b)}{h_0} = \frac{(24 - 13,3)}{24} = \underline{\underline{0,5}} \geq (0,5 - 0,6) \quad (4.17)$$

Deformační přetvárný odpor pro zpětné protlačování [1]:

$$\begin{aligned} \sigma_d &= \sigma_{p1} \left(1 + \frac{1}{3} f_1 \frac{d}{b}\right) + \sigma_{p2} \left[1 + \frac{b}{s} \left(0,25 + \frac{f_1}{2}\right)\right] = 528,2 \left(1 + \frac{1}{3} 0,06 \frac{9,05}{13,3}\right) + \\ &+ 557,5 \left[1 + \frac{13,3}{3} \left(0,25 + \frac{0,06}{2}\right)\right] = \underline{\underline{1784,9 \text{ MPa}}} \end{aligned} \quad (4.18)$$

Výpočet protlačovací síly:

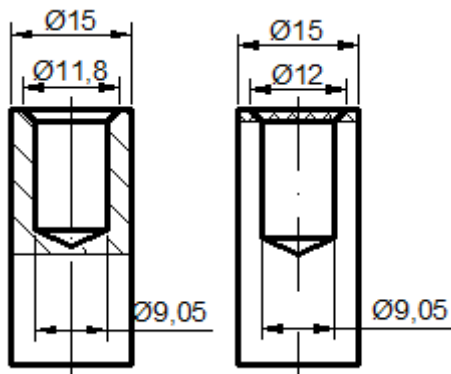
$$F_p = \sigma_d \cdot S_p = 1784,9 \cdot 64,3 = 114769 \text{ N} = \underline{\underline{114,8 \text{ kN}}} \quad (4.19)$$

4.2.2.3 Řešení zpětného protlačování dle pomoci programu „TVÁŘENÍ“

Program tváření byl vyvinut na Ústavu strojírenské technologie, odboru tváření kovů a plastů na FSI VUT v Brně v součinnosti s informatiky a specialisty firmy DINGO s.r.o. A Query. Pomocí tohoto programu lze počítat dopředné a zpětné protlačování. Vývojový diagram viz příloha 2

Ocel 11320 5R A	T=23°
$\Phi_{(max)}$	1,75
$\Phi_{(str)}$	0,0153
f_1	0,06
f_2	0,5
$f_{2stř}$	0,28
Konečná výška dna kalíšku b [mm]	13,33
Logaritmické přetvoření v zóně 1 ϕ_1 [-]	0,588
Přetvoření v zóně 2 ϕ_2 [-]	0,220
Celkové přetvoření ϕ_c [-]	0,808
Kontrola podmínky dle Dippera ε [-]	0,444
Přirozený přetvárný odpor v zóně 1 σ_{p1} [MPa]	527,82
Celkový přirozený přetvárný odpor σ_{pc} [MPa]	557,32
Přirozený přetvárný odpor v zóně 2 σ_{p2str} [MPa]	428,12
Střžení měrný tlak na čele průtlačníku $\sigma_{Z1stř}$ [MPa]	1506,31
Měrná přetvárná práce pro přetvoření v zóně 1 A_{j1} [J / mm ³]	0,319
Celková měrná přetvárná práce A_{jc} [J / mm ³]	0,414
Celková přetvárná práce A_c [J]	1754,2
Potřebná protlačovací síla F [kN]	95,83

4.2.3. Výpočet síly pro třetí operaci



Obr. 4.7 Třetí tvářecí operace - Kalibrace

Funkční plocha nástroje:

$$S_p = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (12^2 - 11,8^2)}{4} = \underline{\underline{3,7 \text{ mm}^2}} \quad (4.20)$$

Logaritmický stupeň deformace:

$$\varphi = \ln \frac{D^2}{d^2} = \ln \frac{12^2}{11,8^2} = \underline{\underline{0,03}} \quad (4.21)$$

$$\varphi_{3c} = \varphi_{2c} + \varphi = 0,5 + 0,03 = \underline{\underline{0,53}}$$

Deformační přetvárný odpor pro zpětné protlačování:

Hodnota je odečtena z grafu na obrázku 4.5

$$\sigma_p = \underline{\underline{516,85 \text{ MPa}}}$$

Výpočet protlačovací síly:

$$F_p = \sigma_d \cdot S_p = 516,85 \cdot 3,7 = 1912 \text{ N} = \underline{\underline{1,9 \text{ kN}}} \quad (4.22)$$

4.2.4. Celková protlačovací síla

Sílu pro zpětné protlačování jsem vzal hodnotu vypočtenou z programu tváření tj. 95,8 kN.

$$F_c = \sum F_p = 66,9 + 95,8 + 1,9 = 164,6 = \underline{\underline{165 \text{ kN}}} \quad (4.23)$$

5. NÁVRH STROJE

Potřebná síla ke zhotovení protlačku činí 165 kN. Na základě této hodnoty volím postupový automat TPZK 25, výrobce Šmeral Brno a.s. , jehož jmenovitá lisovací síla je 500kN . Tento stroj lze též vybavit jako zvláštní příslušenství, rovnačkou drátu a zakladačem špalíků viz příloha č. 3.

HLAVNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE

Pracovní rozsah

Jmenovitá tvářecí síla	kN	500
Střihací síla	kN	200
Jmenovitý průměr zpracovávaného materiálu/pevnost	mm/MPa	25/600
Max. průměr zpracovávaného materiálu/pevnost	mm/MPa	29/450
Délka ústřížku – max./min.	mm	89/25
Délka dřívku – max./min.	mm	100/25
Max. celková délka výlisku	mm	130
Max. průměr výlisku pro průchod kleští	mm	60
Beran		
Zdvih	mm	220
Počet zdvihů (výlisků)	min-1	40–80
Počet lisovníků		4
Max. zdvih vyražeče	mm	50
Vyřázcí síla	kN	50
Výkon hlavního motoru	kW	74,0
Stojan		
Počet lisovnic		4
Max. zdvih vyražeče	mm	100
Vyřázcí síla	kN	100
Stroj		
Celkový příkon	kVA	
Rozměry		
délka	mm	10 000
šířka	mm	3 900
výška	mm	3 200
Hmotnost	kg	61 120

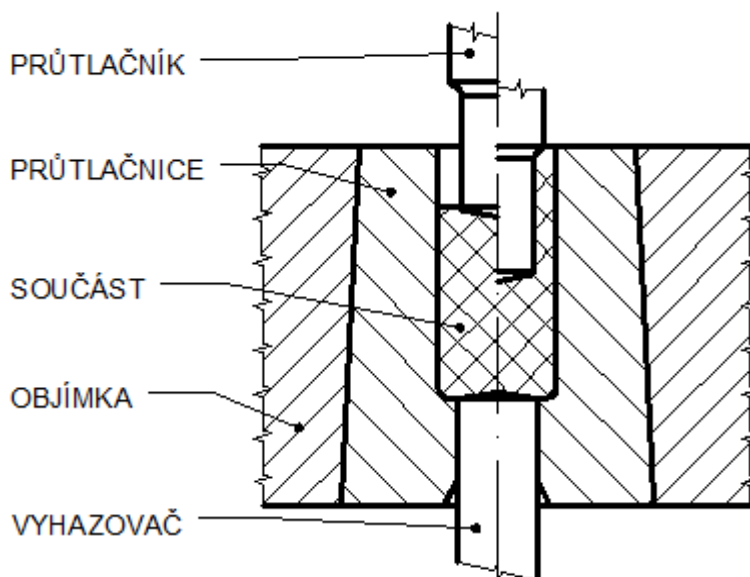
6. NÁVRH NÁSTROJE

6.1. Návrh sestavy pro protlačování

Navržená sestava je vzhledem k jednoduchosti výrobku i požadovanému množství, řešena pomocí postupového tvářecího nástroje s vyhotovením konečného výrobku ve čtyřech krocích včetně ustřížení drátu. Lisovnice s objímkou bude pouzdřena za studena. Výkres sestavy příloha 7.

6.2. Návrh nástrojů pro zpětné protlačování

Tvar čela průtlačníků je rozhodující, jelikož nám ovlivňuje velikost a průběh protlačovací síly. Čelní plocha je obvykle kuželovitěho tvaru, kde velikost kužele závisí na tvářecí teplotě a tvaru průtlačku. Pro naši vyráběnou součást volím nástroje z rychlořezné oceli. Pro průtlačník a průtlačnici jsem zvolil ocel 19830 Chemické složení a zahraniční značení viz příloha 6. Mechanické vlastnosti jsou uvedeny v příloze 4. Jelikož v našem případě u protlačované součásti nepřesahuje střední přetvárný odpor 2000MPa, je namáhání průtlačníku v normě. Výkres průtlačníku viz příloha 8. Schéma zpětného protlačování zadané součásti je na obr. 6.1.



Obr. 6.1 Schéma zpětného protlačování zadané součásti

U průtlačnice je funkční dutina dána tvarem protlačované součásti. Pro snadnější zavádění polotovaru je ústí dutiny zaobleno. Dutina je mírně kuželovitá ($\sim 1:1000$) což zabraňuje velkým osovým tahům při vyhazování. Únosnost průtlačnice se zvyšuje osovým předpětím pomocí jedné či více objímek. Bez objímky lze průtlačnice použít do radiálního tlaku do 1000MPa. Tloušťka stěny je dána poměrem $D_2 / D_1 = 2$, kde D_1 je vnitřní průměr průtlačnice a D_2 je vnější průměr. Pro naši součást je průtlačnice zvolena z rychlořezné 19830, kde pro výpočet jejího rozměru jsem použil program „Optim97“. Výkres průtlačnice viz příloha 9.

6.2.1. Pevnostní návrh složené průtlačnice programem Optim97

Program Optim byl vyvinut na fakultě strojní v roce 1988 pro dimenzování složených průtlačnic s jednoduchou objímkou. Metoda výpočtu vychází z maximálních přístupných intenzit napětí (MPIN) při aplikaci Lamého rovnic, ze kterých se stanoví výpočtové napětí, poté se stanoví optimum radiálního konstantního tlaku a z něho se dále stanoví radiální přesah v kontaktní ploše.

Pokud se pouzdří za tepla dochází ještě ke stanovení teplot pouzdření v našem případě bylo zvoleno pouzdření za studena. Nakonec programu se stanoví průběhy hlavních napětí – předpětí od přesahu a hlavní napětí při provozním zatížení. Kompletní matematický model lze nalézt v literatuře [10] Postup výpočtu viz příloha 5.

VSTUPNÍ DATA – MATERIAL

		Lisovnice – 19 830	Objímka - 19 733
Modul pružnosti v tahu	E [MPa]	220000	206000
Mezpevnosti v tahu	R_m [MPa]	1665	1790
Mez pevnosti v tlaku	R_d [MPa]	3670	0
Mez kluzu	$R_{p(0,2)}$ [MPa]	0	1670
Poissonovo číslo	μ	0,33	0,3
Dovolené napětí	σ_D [MPa]	1425	1525

VSTUPNÍ DATA - GEOMETRIE

Vnitřní poloměr lisovnice	r_1 [mm]	7,5
Vnější poloměr objímky	r_2 [mm]	35

VSTUPNÍ DATA GEOMETRIE – TEPLOTA, TEP. ROZTAŽNOST

Teplota okolí	T_o [°C]	23
Teplota popouštěcí	T_p [°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

VSTUPNÍ DATA – PODMÍNKY UNOSNOSTI A PODMÍNKY POUZDŘENÍ

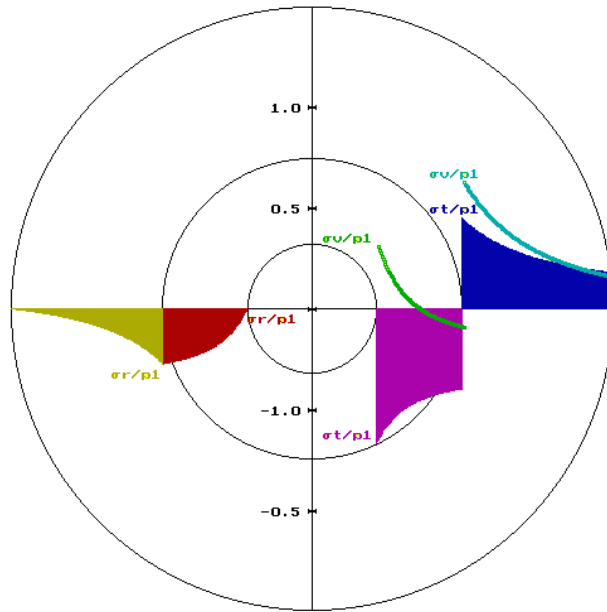
LISOVNICE - Moohrova podmínka křehké pevnosti pro slinutý karbid

OBJÍMKA - Podmínka energetická HMH pro ocel

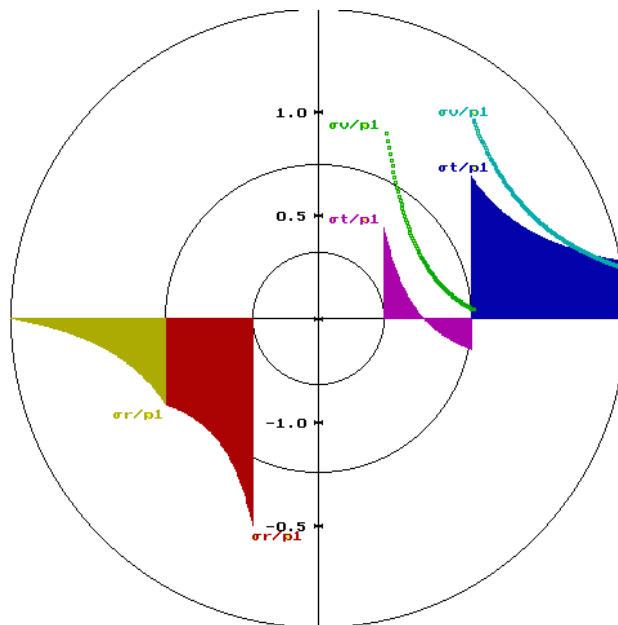
Pouzďřeno za studena

VYPOČTENÉ HODNOTY

Poměrný dělicí poloměr	r_2/r_1 [mm]	2,31727
Maximální radiální tlak	p_1 [MPa]	1598,51000
Kontaktní tlak	p_2 [MPa]	663,36379
Dělicí poloměr	r_2 [mm]	17,37956
Vypočtený přesah	$2\Delta r$ [mm]	0,22137
Kontaktní předpětí	\bar{p}_2 [MPa]	435,80179
Stažení většího průměru lisovnice	$2\Delta r_2$ [mm]	0,07765
Roztažení vnitřního průměru objímky	$2\Delta r_{22}$ [mm]	0,14373
Zvětšení kontaktního tlak od p_1	p_2' [Mpa]	227,56199
Konstrukční přesah	$2\Delta r_s$ [mm]	0,22137



Obr. č. 5.1 Průběh předpětí od přesahu



Obr. č. 5.6 Průběh napětí

7. TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

U prvního případu při zvoleném způsobu výroby třískovým obráběním, by byla výroba velice nevhodná a časově mnohem náročnější, což by se negativně projevilo na ceně výrobku. U toho způsobu výroby by tvořilo 20% materiálu odpad a kvalita výsledného produktu nedosahovala takových kvalit jako je tomu u výroby tváření za studena.

V našem případě je mnohem výhodnější použít metodu tváření za studena. Součást lze vyrobit zpětným či dopředným protlačováním. Přičemž u dopředného protlačování, dle mého názoru by šla vyrobit zadaná součást na jednu tvářecí operaci a tím by se zvýšila produktivita práce.

7.1. Ukazatel potenciálních úspor

Hmotnost polotovaru při soustružení na 1ks:

$$m_p = \frac{(\pi D^2)}{4} \cdot \rho = \frac{(\pi 0,015^2)}{4} \cdot 7850 = \underline{\underline{0,04162 \text{ kg}}} \quad (7.1)$$

Čistá hmotnost součásti:

$$m_c = m_p - \frac{(\pi d^2)}{4} \cdot \rho = 0,04162 - \frac{(\pi 0,00905^2)}{4} \cdot 7850 = \underline{\underline{0,03404 \text{ kg}}} \quad (7.2)$$

Hmotnost odpadu:

$$g = m_p - m_c = 0,04162 - 0,03404 = \underline{\underline{0,00758 \text{ kg}}} \quad (7.3)$$

Počet výrobků za 1 směnu s 80% využitím stroje:

$$N_1 = \frac{n \cdot 60 \cdot 8 \cdot 80}{100} = \frac{50 \cdot 60 \cdot 80}{100} = \underline{\underline{19200 \text{ kusů}}} \quad (7.4)$$

Cena materiálu za 1 kg $c \approx 22 \text{ Kč}$ [9]

Procento třísek z původního materiálu $p = \underline{\underline{18,2\%}}$

Potenciální úspory:

$$p_u = N_1 g c \frac{p}{100} = \frac{19200 \cdot 0,00758 \cdot 22 \cdot 18,2}{100} = \underline{\underline{1750 \text{ Kč/směna}}} \quad (7.5)$$

Materiálové úspory na výrobu dané součásti činí 1750 za jednu směnu. Pokud bychom vzali v úvahu 3 směnný provoz a časové období jeden rok, úspora by činila okolo 638tis.

8. ZÁVĚRY

Cílem této práce bylo řešení technologického postupu závěsu oken technologií zpětného protlačování a vypracování studie objemového tváření za studena. Pro porovnání s jinou technologií bylo vybráno třískové obrábění, kde jsem vzal v úvahu výrobu součásti soustružením. Při srovnání těchto dvou variant zjistíme, že lepších vlastností konečného výrobku získáme právě objemovým tvářením. Vlákna protlačované součásti jsou nepřerušena a také dochází ke zpevnění materiálu.

Celkem byly posouzeny 2 varianty technologického postupu a to výroba dané součásti dopředným a zpětným protlačováním. Podle zadání práce byla vybrána technologie zpětného protlačování (varianta B), pro kterou jsou provedeny technologické a pevnostní výpočty, kde jsme využili i výpočetní podpory programy TVÁŘENÍ a OPTIM97.

Technologický postup je navržen ve čtyřech krocích na postupovém tvářecím automatu. V první operaci je odstřížen polotovár z drátu navinutého svitku. Polotovár je vypočítán dle zákona o zachování objemu, který během všech operací zůstává stejný. Výchozí polotovárem je ocelový špalík o rozměrech $\text{Ø}14,6 \times 9 - 25,3 \text{ mm}$ z oceli 11 320 5R. V dalších operacích se součást pěchuje, protlačuje a kalibruje. Pro jednotlivé operace jsou vypočteny logaritmické stupně přetvoření a deformační přetvárné odpory. Hodnoty přetvárného odporu jsou přibližně odečteny z grafu pro daný materiál a také jsou zpočteny pomocí polynomu 3. stupně viz příloha [1].

Dle vypočtené celkové tvářecí síly, jejíž hodnota je 165 kN, je pro výrobu součásti zvolen tvářecí automat TPZK 25, výrobce Šmeral Brno a.s., který je opatřen rovnačkou drátu a jehož jmenovitá síla dosahuje hodnoty 500 kN.

Při zpracování výkresové dokumentace jsem vycházel z daného zadání, potřebných výpočtů a technické dokumentace navrženého stroje. Výkresová dokumentace obsahuje tyto výkresy: výkres sestavy, výkres průtlačníku a výkres průtlačnice.

V závěru práce je vypracováno technicko-ekonomické zhodnocení. Kde ve srovnání s třískovým obráběním při daném počtu kusů vychází lépe objemové tváření. Vlivem toho jsme schopni ušetřit na materiálu přes 638 tis. ročně, nehledě na manipulaci s odpadem při třískovém obrábění.

PŘÍLOHY

Příloha č. 1 - Křivky přetvárného odporu

Příloha č. 2 - Vývojový diagram výpočtu zpětného protlačování

Příloha č. 3 - Postupový automat TPZK 25

Příloha č. 4 - Výběr nástrojových materiálů pro průtlačnice a objímky

Příloha č. 5 - Vývojový diagram výpočtu průtlačnice

Příloha č. 6 - Nástrojové oceli

Výkresová dokumentace

Příloha č. 7 - Výkres sestavy a kusovník

Příloha č. 8 - Výkres průtlačníku

Příloha č. 9 - Výkres průtlačnice

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_5	tažnost	[%]
A_C	celková přetvárná práce	[J]
A_j	měrná přetvárná práce	[J/mm ³]
b	konečná výška dna kalíšku	[mm]
D	vnější průměr součásti	[mm]
D_0	průměr výchozího polotovaru	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F_p	tvářecí síla	[N]
g	hmotnost odpadu	[kg]
h	délka součásti	[mm]
h_0	délka výchozího polotovaru	[mm]
m_p	hmotnost polotovaru	[kg]
m_c	čistá hmotnost	[kg]
p_1	maximální radiální tlak	[MPa]
p_2	kontaktní tlak	[MPa]
p_i	ukazatel potenciálních úspor	[Kč]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_d	mez pevnosti v tlaku	[MPa]
$R_{p0,2}$	mez kluzu	[MPa]
r_1	vnitřní poloměr lisovnice	[mm]
r_2	vnější poloměr objímky	[mm]
S_0	půdorysná plocha protlačku	[mm ²]
S_p	funkční plocha nástroje	[mm ²]
s	omezující faktor při pēchování	[-]
T_o	teplota okolí	[°C]
T_p	teplota popouštění	[°C]
V_p	objem protlačku	[mm ³]
V_0	objem výchozího polotovaru	[mm ³]
α_1	střední hodnota tepelné roztažnosti lisovnice	[1/°K]
α_2	střední hodnota tepelné roztažnosti objímky	[1/°K]
ϵ	připustná poměrná deformace průřezu	[-]

<u>Označení</u>	<u>Legenda</u>	<u>Jednotka</u>
φ	logaritmický stupeň přetvoření	[-]
σ_d	deformační odpor	[MPa]
σ_p	přirozený přetvárný odpor	[MPa]
μ	poissonovo číslo	[-]

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BENEŠ, Milan. *Křivky přetvárných odporů*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1986. 228 s. ISBN 06-089-86
- [2] BABOR, Karel, CVILINEK, Augustin, FIALA, Jan. *Objemové tváření oceli*. Praha : SNTL, 1967. 328 s.
- [3] LENFELD, Petr . *Katedra tváření kovů a plastů : Skripta* [online]. 2002 [cit. 2008-05-05]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/05.htm>.
- [4] FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. [s.l.] : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [5] ŠMERALOVY ZÁVODY : VÝROBNÍ PROGRAM. [s.l.] : ČSCH Brno, [199-?]. 106 s.
- [6] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 2. vyd. [s.l.] : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7
- [7] *Katalog tvářecích a obráběcích strojů* [online]. Svaz výrobců a dodavatelů strojírenské techniky, 200? [cit. 2009-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/>>
- [8] HRUBÝ, Jiří, *Katedra mechanické technologie*[online]. 200? [cit. 2009-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/TTV/index.htm>>
- [9] JIRY - *Velkoobchod hutním materiálem* [online]. 2001 [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.jiry.cz/>>.
- [10] FOREJT, M.-KLEKOVÁ, J.-JUST, D., *Optimalizace geometrických parametr složené lisovnice s jednou objímkou s využitím s využitím počítače PP 01: Zpráva úkolu FS 2 (703) FS VUT Brno, duben 1988*
- [11] RUMÍŠEK, Pavel., *Plošné a objemové tváření (výcejazyčné názvosloví)*: FSI VUT Brno, říjen 2004
- [12] *Odbor technologie tváření kovů a plastů* [online]200? [cit. 2009-03-10]. Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_113205r.pdf>
- [13] Forejt, M. - *Oborový projekt 2*, FSI VUT Brno, říjen 2003