



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SPOJOVACÍHO ČEPU OBJEMOVÝM TVÁŘENÍM

BULK FORMING TECHNOLOGY OF CONNECTING PIN

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. FILIP TRNKA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MILAN FOREJT, CSc.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Filip Trnka

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:

Výroba spojovacího čepu objemovým tvářením

v anglickém jazyce:

Bulk forming technology of connecting pin

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh technologie velkosériové(hromadné)výroby spojovacího čepu z konstrukční oceli 11320-5R objemovým tvářením za studena s důrazem na operace protlačování a pýchování.

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 2012/2013.

V Brně, dne 13.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

TRNKA Filip: Výroba spojovacího čepu objemovým tvářením.

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru M-STG předkládá návrh technologie výroby spojovacího čepu – z konstrukční oceli 11 320 5R. Na základě literární studie objemového tvářením za studena zejména se zaměřením na protlačování a pěchování byl navržen postup výroby a provedeny technologické výpočty. Za tvářecí stroj byl navržen postupový automat HATEBUR BKA-3 o jmenovité síle 1800 kN. Součást je zhotovena ve čtyřech tvářecích operacích. Průtlačník bude vyroben z nástrojové oceli 19 830, průtlačnice z nástrojové oceli 19 830 a objímka z nástrojové oceli 19 740.

Klíčová slova: Ocel 19 830, tvářením za studena, objemové tvářením, protlačování, pěchování

ABSTRACT

TRNKA Filip: Bulk forming technology of connecting pin.

The project elaborated in frame of engineering studies branch M-STG proposes a technology of connecting pin – structural steel 11 320 5R. The technological calculations were performed and the production procedure was devised on the basic on the literary study of cold bulk forming with concentration on the extrusion and upsetting. Forming machine was design HATEBUR BKA-3 with a nominal power 1800 kN. The component is made in four forming operations. Extruder will be made from tool steel 19 830, extrusion die from tool steel 19 830 and clamp ring from tool steel 19 740.

Keywords: 19 830 steel, cold forming, solid forming, extrusion, upsetting

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TRNKA, Filip. *Výroba spojovacího čepu objemovým tvářením*. Brno, 2013. 57s, 4 výkresy, 1 příloha, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí 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 dne 10.5.2013

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu prof. Ing. Milanu Forejtovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	TECHNOLOGIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ ZA STUDENA.....	11
2.1	Způsoby objemového tváření za studena – rozdělení.....	11
2.1.1	Pěchování.....	11
2.1.2	Kombinované tváření.....	12
2.1.3	Dopředné protlačování.....	13
2.1.4	Zpětné protlačování	13
2.1.5	Sdružené protlačování.....	14
2.1.6	Radiální tváření.....	15
3	MECHANICKÉ ZKOUŠKY MATERIÁLU	16
3.1	Kvazistatické zkoušky	16
3.1.1	Tahová zkouška	16
3.1.2	Pěchovací zkouška.....	18
3.2	Dynamické zkoušky.....	20
3.2.1	Hopkinsonův test	20
3.2.2	Taylorův test	22
4	SOUČASNÝ STAV VÝROBY SOUČÁSTÍ OBDOBNÉHO TVARU	24
5	CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU SOUČÁSTI.....	25
6	NÁVRH VLASTNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY	28
6.1	Výpočet objemu čepu spojky.....	28
6.2	Výpočet hmotnosti součásti	31
6.3	Technologické varianty výroby součásti objemovým tvářením	31
6.4	Technologická varianta výroby součásti třískovým obráběním	44
7	VOLBA TVÁŘECÍHO STROJE	47
8	NAVRH SESTAVY NÁSTROJE	49
8.1	Návrh nástrojů pro dopředné protlačování	50

9	TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....	53
9.1	Technické hodnocení	53
9.2	Ekonomické hodnocení.....	53
10	ZÁVĚRY	57

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SEZNAM PŘÍLOH

1 ÚVOD

Výroba dílců objemovým tvářením za studena (obr. 1.2) tvoří nenahraditelnou součást ve strojírenské technologii. Její využití je zejména v hromadné výrobě strojních dílců, jako jsou čepy, kalíšky, spojovací dílce, apod. Tyto dílce mohou být z různých materiálů např. z ocelí nebo z neželezných kovů. V neustále probíhajícím výzkumu zpracovávaného materiálu, maziv, technologických postupů, materiálu pro nástroje a modernějších strojních vybaveních se v této výhodné výrobě součástí dosahuje stále lepších výsledků.

V první části této diplomové práce jsou uvedeny některé základní možné způsoby objemového tvářením za studena-OTs s uvedenými příklady vyráběných součástí. U všech způsobů OTs jsou důležité základní parametry mechanického chování tvářeného materiálu. Tyto parametry se získávají z kvazistatických zkoušek. V dnešní výrobě je ale nutná znalost dějů probíhajících za vysokých rychlostí deformace, z toho důvodu jsou zde uvedeny příklady kvazistatických i dynamických zkoušek s příslušnými výpočtovými vztahy.

Druhá-výpočtová část je zaměřena na vlastní návrh technologie výroby. Zadaná součást je spojovací čep spojky z konstrukční oceli 11320-5R (obr. 1.1). Hromadná výroba této součásti je určena pro postupový tvářecí automat a je zde kladen důraz na dopředné protlačování a pěchování. Pro názorné ekonomické výhody výroby objemovým tvářením je součástí práce vypracovaný možný způsob výroby čepu třískovým obráběním a následné porovnání nákladů.

Měřítko : 1:1



Obr. 1.1 Model zadané součástky-čepu



Obr. 1.2 Příklady součástí vyráběných objemovým tvářením za studena [18]

2 TECHNOLOGIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ ZA STUDENA [3],[5]

Technologie výroby součástí probíhá pod rekrystalizační teplotou, za působení prostorové napjatosti, která je vyvolaná vnějšími silami. Ty způsobí v materiálu trvalé plastické deformace bez porušení soudržnosti materiálu. K porušení materiálu dochází pokud dojde zásoba plasticity, která je pro daný materiál charakteristická. Na plastičnosti závisí stupeň možné deformace materiálu. Některé materiály se dají tvářet poměrně malou silou s dosažením velkého stupně deformace. Jiné kladou při přetvoření velký deformační odpor, který je závislý zejména na teplotě, stavu napjatosti, rychlosti deformace, vlivu tření a stupni deformace. Podle způsobu a směru tečení materiálu v tvářecím nástroji se rozdělují hlavní způsoby objemového tváření.

2.1 Způsoby objemového tváření za studena – rozdělení [3]

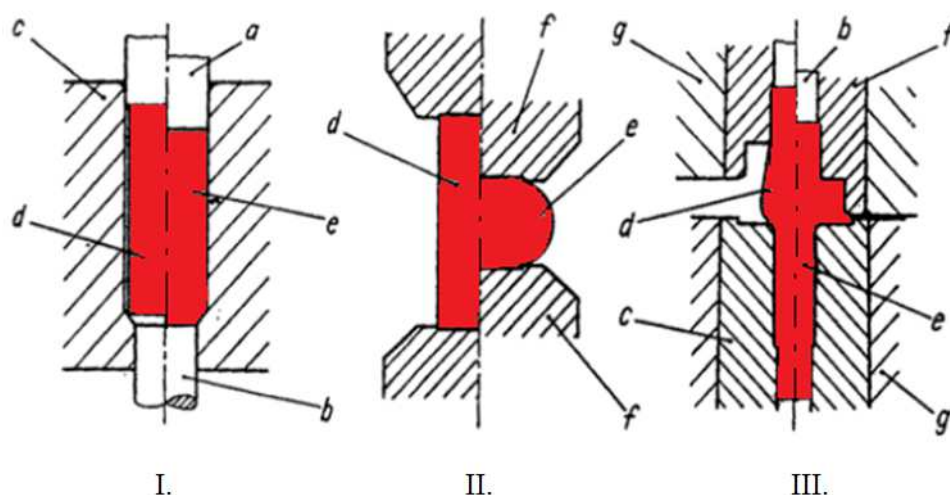
- Pěchování
- Kombinované tváření
- Protlačování - Dopředné
 - Zpětné
 - Stranové
 - Hydrostatické
 - Radiální

2.1.1 Pěchování [3], [4],[2]

Podstata této tvářecí operace za studena spočívá ve stlačování výchozího polotovaru k získání větších průřezů. Může se jednat o více či méně složité tvary (obr. 2.1). Deformace je v celém objemu pěchované součástky nerovnoměrná, což je způsobeno třením a tak vzniká soudečkovitý tvar. Z důvodu zabránění vzniku trhlin v oblasti největšího průměru se používá mazání a funkční plochy nástrojů se leští.

Tohoto způsobu tváření za studena se nejvíce používá v hromadné výrobě normovaných spojovacích součástí. Jedná se zejména o různé druhy šroubů, nýtů apod. Pokud jde o výrobu složitějších strojních součástek objemovým tvářením, můžeme se s pěchováním setkat při přípravných operacích, které jsou:

- I. Nejčastěji u postupových tvářecích automatů, jako kalibrace výchozího špalíku, za účelem zarovnání čel po stříhu (obr. 2.1- I.)
- II. Přípravná tvářecí operace pro jiné následné způsoby tváření, kde se přizpůsobí tvar i rozměr součástky (obr. 2.1- II.)
- III. Víceoperační tváření v samostatné nebo kombinované tvářecí operaci (obr. 2.1- III.)



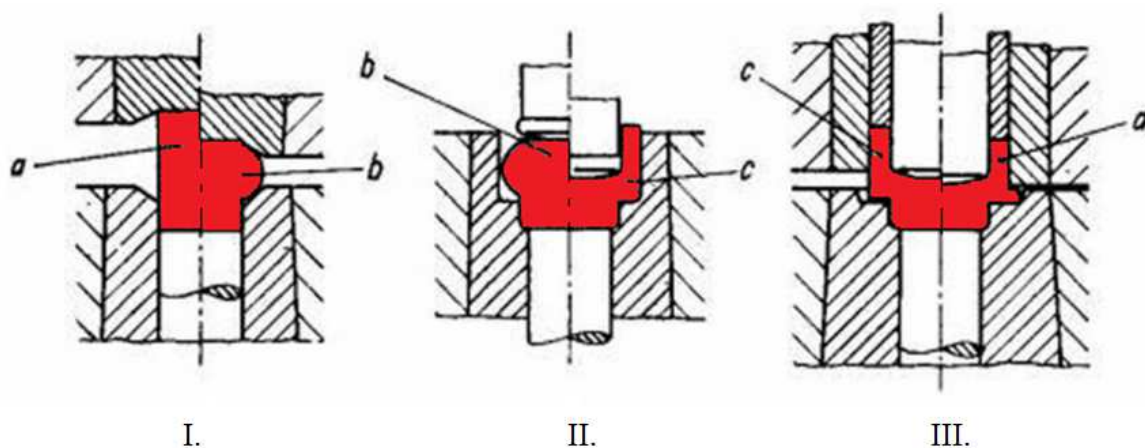
Obr. 2.1 Pěchování [3]

a - průtlačník; b - vyhazovač; c - průtlačnice; d - polotovar; e - výlisek; f – lisovnick; g - objímka

2.1.2 Kombinované tváření [3], [4]

Tento způsob tváření, dovoluje výrobu poměrně složitých tvarů součástek s vysokou přesností a využívá optimální deformaci za využití co nejmenších tlaků. V praxi se málo používají výše uvedené způsoby objemového tváření za studena samostatně, proto se naskýtá možnost využití tohoto způsobu při výrobě tvarově náročných součástek, viz. obr. 2.2.

Jedná se o kombinaci různých způsobů tváření sloučených v jednu tvářecí operaci. Možnost výroby je i pro dvě a více operací pěchováním, protlačováním apod.



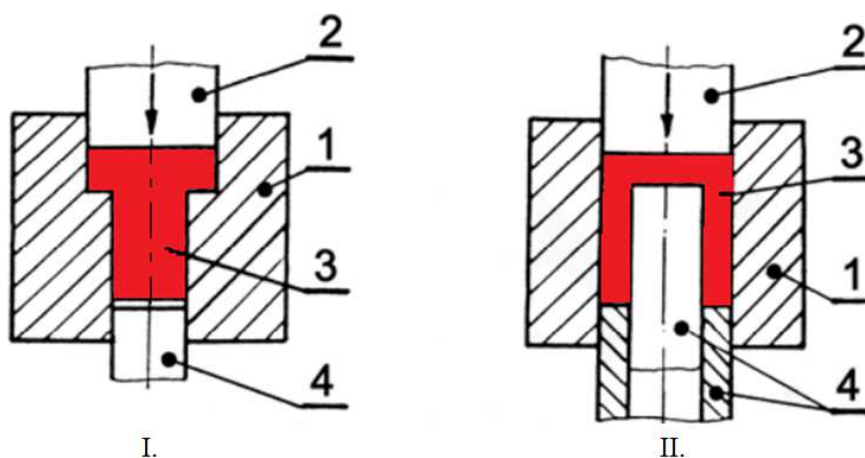
Obr. 2.2 Kombinované tváření [3]

I. - první operace; II.- druhá operace; III. - třetí operace
a – polotovar; b – polotovar z I. operace; c – polotovar z II. operace; d - výlisek

2.1.3 Dopředné protlačování [3], [4]

Při výrobě součástek tímto způsobem tváření teče materiál ve směru pohybu průtlačníku (obr. 2.3). Jedná se o základní technologii objemového tváření, při které vytéká kov z výstupu průtlačnice ve tvaru tyčí o různých průřezech.

Využívá se při tváření čepů, dříků šroubů, pouzder tj. u součástí, kde není konstantní průřez. Základním polotovarem pro tuto technologii mohou být kalíšky, rondele, prstence svařované i nesvařované a nejrozmanitější průměry drátu různého profilu. Abychom dosáhli dobré trvanlivosti protlačovacích nástrojů vybíráme pro tuto technologii materiál součástí z nízkouhlíkových ocelí, nebo neželezných kovů a volíme pro ně jednoduché tvary. Protlačování tvarově náročných dílců rozložíme na několik tvářecích operací.



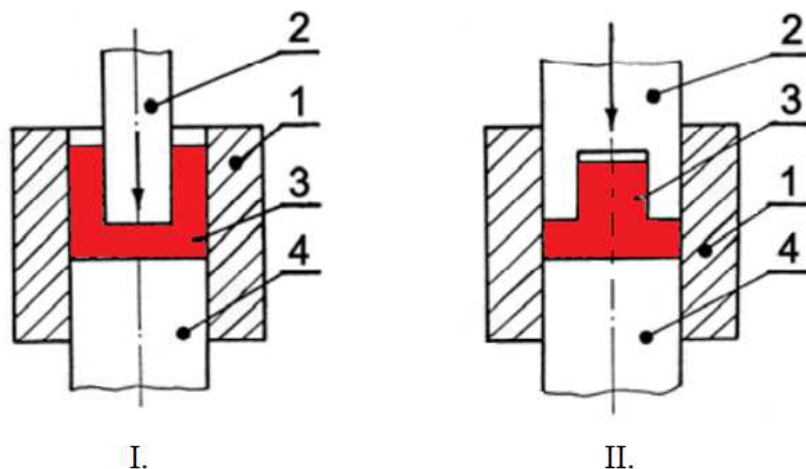
Obr. 2.3 Dopředné protlačování [4]

I. - klasické dopředné protlačování; II. - protlačování kalíškovitého tvaru
1 - průtlačnice; 2 - průtlačník; 3 - protlaček; 4 - spodní trn (vyhazovač)

2.1.4 Zpětné protlačování [2], [3]

Při zpětném protlačování materiál teče proti směru pohybu průtlačníku (obr. 2.4). Výchozí materiál je uložen do uzavřené průtlačnice, kde je tlakem průtlačníku zplastizován.

Touto metodou vznikají nejrůznější součástky kalíškovitého tvaru. Zpětně se dají protlačovat nejen duté průtlačky, ale i plné profily. Výchozím polotovarem bývá špalík, kde je obvykle jeho výška větší než polovina jeho průměru. U takto zvolené technologie výroby součástí vzniká problém ve velikosti deformačního odporu, který omezuje funkční délku průtlačníku. Použití takto zhotovených výlisků je zejména ve strojírenství, elektrotechnickém průmyslu, spotřebním průmyslu atd.

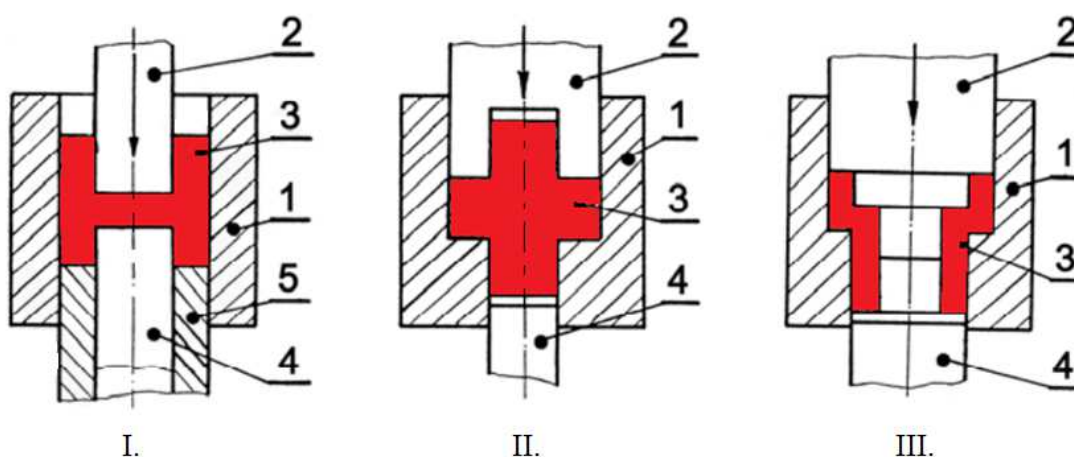


Obr. 2.4 Zpětné protlačování [4]

I. - klasické zpětné protlačování; II. - protlačování výčnělku
 1 - průtlačnice; 2 - průtlačník; 3 - protlaček; 4 - spodní trn (vyhazovač)

2.1.5 Sdružené protlačování [3], [4]

V tomto případě tváření za studena materiál teče ve směru i v proti směru pohybu průtlačníku. Jedná se o kombinaci dopředného a zpětného protlačování. Tlakem průtlačníku na polotovar teče tvářený kov nejprve do spodní části průtlačnice, až zaplní její dutinu a pak se protlačuje mezerou vzhůru. Je to zapříčiněno z důvodu dobré kvality výrobku a to tím, jak vyplývá ze zákona nejmenšího odporu, že u spodní části vylisku je zvolen menší stupeň přetvoření než v horní části (obr. 2.5). Jako výchozí polotovar může být použit prstenec, špalík nebo děrovaný rondel. Využití tohoto způsobu výroby je z ekonomického hlediska zejména pro méně složité součásti.

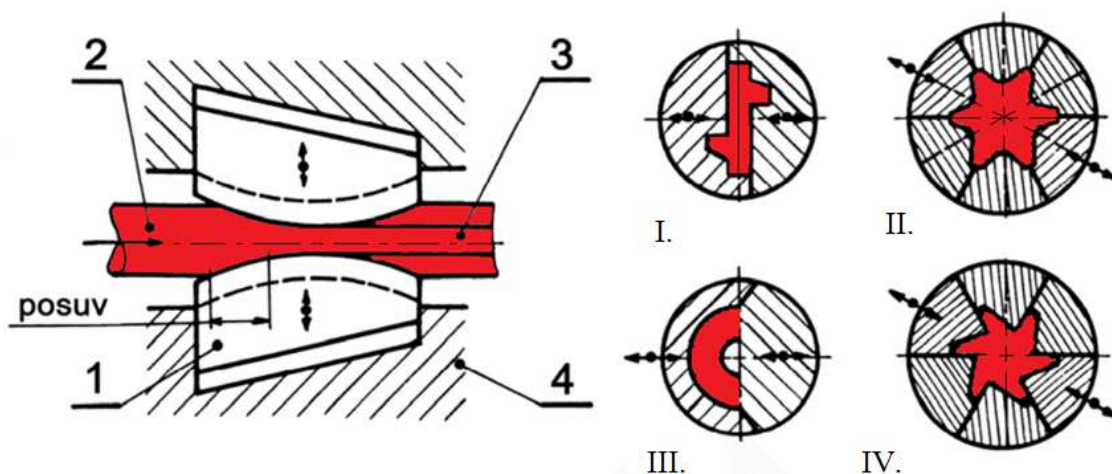


Obr. 2.5 Sdružené protlačování [4]

I. - protlačování pouzdra s přepážkou; II. - protlačování plného protlačku se dvěma výčnělky; III. - protlačování dutého osazeného pouzdra
 1 - průtlačnice; 2 - průtlačník; 3 - protlaček; 4 - spodní trn (vyhazovač);
 5 - pouzdro trnu

2.1.6 Radiální tváření [3], [4]

Princip tohoto objemového tváření spočívá v tom, že profil tvarované součásti (nejčastěji ozubení) je tvářen v zaváděném výchozím polotovaru současně dostředně se pohybujícími tvarovými čelistmi. Vedené čelisti tvoří negativ tvaru tvářené součásti. Využití tohoto způsobu je ke změně průřezu určité části vylisku podobným způsobem jako u předchozích technologií. Rozdíl spočívá ve změně průřezu polotovaru a nikoliv v jeho velikosti. Slouží k výrobě různých plošek, mnohohranů, zářezů a ozubení (obr. 2.6).

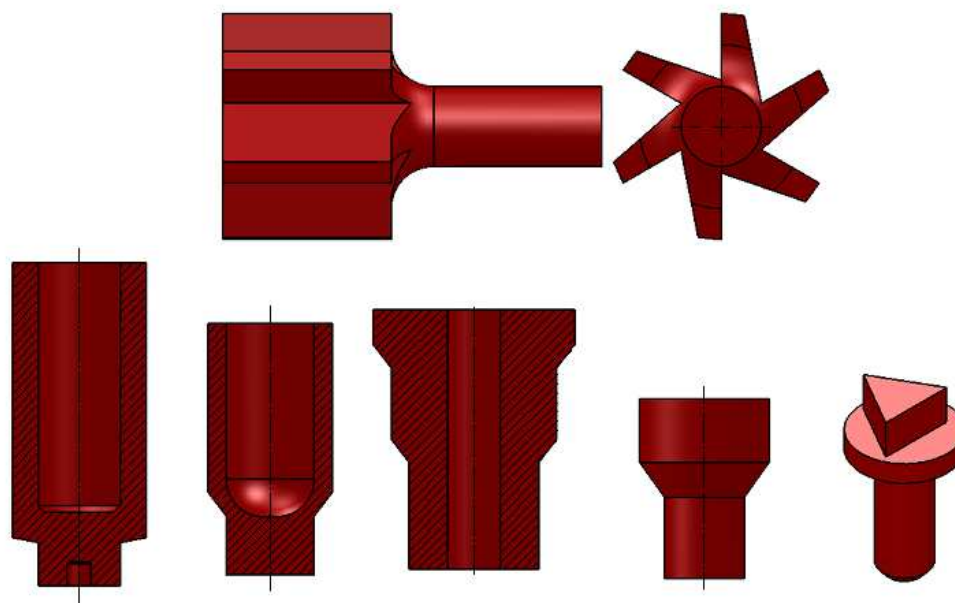


Obr. 2.6 Radiální tváření [3]

I. až IV. - různé profily tvarované součásti

1 - tlačné čelisti; 2 - výchozí polotovar; 3 - vytvářený profil;

4 - těleso s vodícími drážkami pro tlačné čelisti



Obr. 2.7 Ukázka součásti zhotovených tvářením [3], [4]

3 MECHANICKÉ ZKOUŠKY MATERIÁLU [6], [13]

Při rozhodování o možných technologických postupech při výrobě součástí je jedno z důležitých hledisek mít dostatek údajů o uvažovaném materiálu pro výrobu součástí a také o materiálu pro výrobu nástroje. Mechanické vlastnosti materiálů se získávají z různých zkoušek, u kterých je snaha dosáhnout co nejpodobnějšího zatížení, jako při konkrétní výrobě dané součásti. Mezi základní zkoušky, pro získání potřebných parametrů v objemovém tváření patří zkoušky kvazistatické a dynamické.

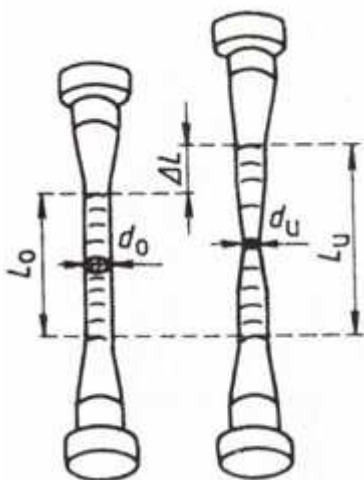
3.1 Kvazistatické zkoušky [2], [6]

Jedná se o zkoušky, kde zatěžující síla roste pomalu. U takto prováděných zkoušek je rychlost deformace malá (asi do 1 s^{-1}) a uvažuje se i konstantní teplota. Mezi základní kvazistatické zkoušky patří tahová zkouška a pěchovací zkouška.

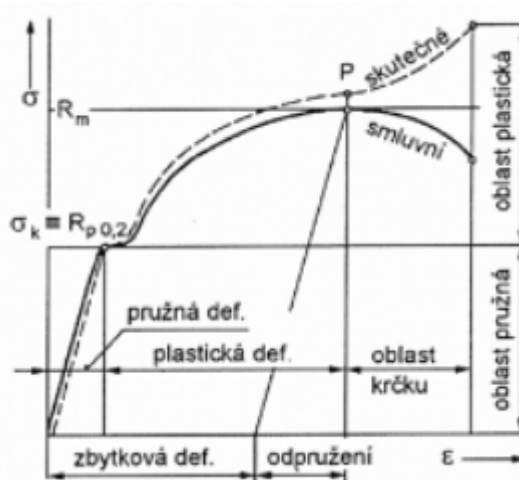
3.1.1 Tahová zkouška [2], [6]

Působením síly na zkušební vzorek dochází ke změně jeho tvaru, kde vzniká jednoosá napjatost (obr. 3.1). Při tahové zkoušce je zkušební vzorek zatěžován klidnou silou, zpravidla až do jeho porušení. Během této zkoušky se sleduje a zaznamenává vztah mezi zatěžující silou a jí odpovídající deformací (obr. 3.2). Zpočátku se vzorek chová elasticky, ale po překročení meze kluzu přechází do stádia plastických deformací. Tyto zkoušky jsou prováděny na trhacích strojích, které jsou vybaveny snímači pro určení velikosti zatěžující síly a prodloužení vzorku.

Z těchto naměřených hodnot se pak určují mechanické parametry zkoušeného materiálu. Mezi základní se řadí mez pevnosti, poměrné prodloužení, tažnost a kontrakce. Mezi méně běžné patří podrobnější zkoumání v oblasti pružných deformací, kde se určuje mez pružnosti a modul pružnosti.



Obr. 3.1 Zkušební tyč [6]



Obr. 3.2 Pracovní diagram tahové zkoušky [6]

Výpočet mechanických vlastností:**Mez pevnosti v tahu:**

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (3.1)$$

F_m max. síla před porušením tyče [N]

S_0vých. plocha průřezu tyče [mm^2]

Poměrné prodloužení:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_U - L_0}{L_0} \text{ [-]} \quad (3.2)$$

ΔL přírůstek prodloužení tyče [mm]

L_0počáteční délka tyče [mm]

L_Ukonečná délka tyče po přetržení [mm]

Tažnost:

$$A = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 = \frac{L_U - L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3.3)$$

Kontrakce:

$$K = \frac{S_0 - S_U}{S_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3.4)$$

S_Unejmenší plocha průřezu tyče po přetržení [mm^2]

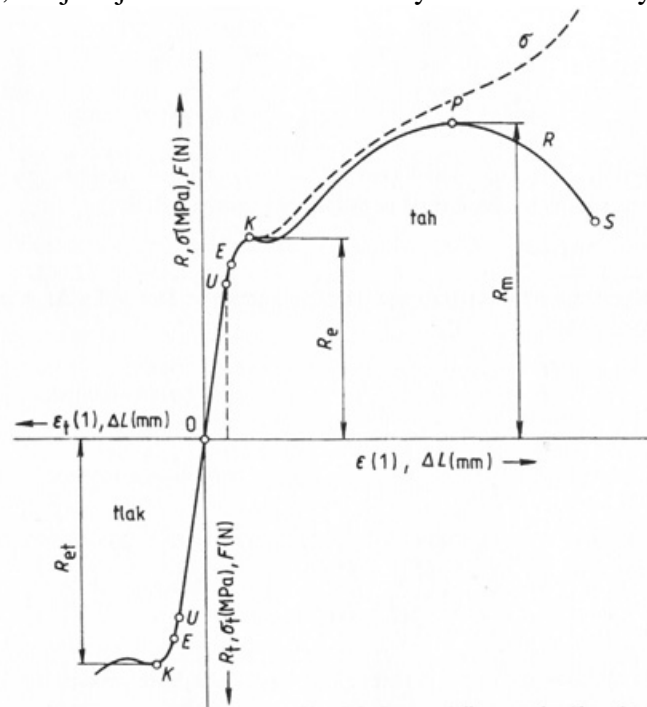


Obr. 3.3 Přetržená tyč z tahové zkoušky [19]

3.1.2 Pěchovací zkouška [2], [6]

Patří mezi běžně používané statické zkoušky. Jejím hlavním účelem je stanovení plastických vlastností kovů za pokojové i zvýšené teploty. Zkušební vzorek (obr. 3.4) je zatížen homogenním tlakovým zatížením.

V první fázi se zatěžovaný vzorek, stejně jako u tahové zkoušky chová elasticky-pružně. Dále nastává plastická deformace po překročení meze kluzu a vlivem zpevnění nastává růst přetvárného odporu (odolnosti materiálu proti působení tlaku) (obr.3.3). Provedení těchto zkoušek je možné např. na hydraulických lisech, které jsou vybaveny příslušnými snímači pro záznam a určení působící síly a velikosti deformace vzorku. Materiálový model by měl obsahovat informace o typu zkoušeného materiálu, počátečních rozměrech vzorku, teplotě a typu lisu.



Obr. 3.3 Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem u měkké oceli [6]

Výpočtové vztahy:

Poměrné stlačení:

$$\varepsilon_T = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.5)$$

H_0počáteční výška vzorku [mm]

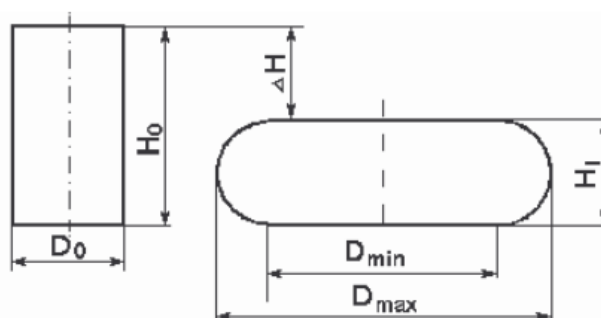
H_1konečná výška vzorku [mm]

Poměrné rozšíření:

$$\varepsilon_S = \frac{S_1 - S_0}{S_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.6)$$

S_0počáteční plocha vzorku [mm²]

S_1konečná plocha vzorku [mm²]



Obr. 3.4 Výchozí a spěchovaný vzorek pro pěchovací zkoušky [15]

Okamžitá skutečná deformace:

$$\varphi_i = \ln \frac{H_0}{H_i} \quad [-] \quad (3.7)$$

Okamžitá hodnota rychlosti deformace:

$$\dot{\varphi}_i = \frac{\frac{\Delta H}{H_i}}{\Delta t} \quad [s^{-1}] \quad (3.8)$$

Objem vzorku:

$$V = \frac{\pi \cdot D_s^2 \cdot H_i}{4} \quad [mm^3] \quad (3.9)$$

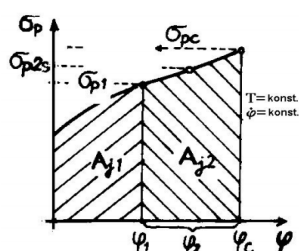
D_sstřední průměr vzorku [mm]

Okamžitá hodnota přirozeného přetvárného odporu:

$$\sigma_{pi} = \frac{4 \cdot F_i}{\pi \cdot D_{si}^2} \quad [MPa] \quad (3.10)$$

Okamžitá hodnota měrné přetvárné práce:

$$A_{ji} = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^n (\varphi_n - \varphi_{n-1}) \cdot \left(\frac{\sigma_n + \sigma_{n-1}}{2} \right) \quad [J \cdot mm^{-3}] \quad (3.11)$$



Obr. 3.5 Geometrický model [15]



Obr. 3.6 Vzorek před a po pěchovací zkoušce [19]

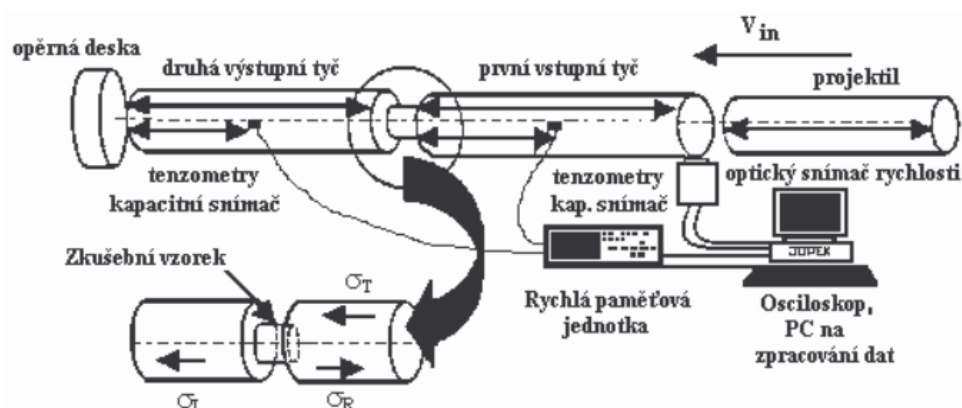
3.2 Dynamické zkoušky [2], [12], [15]

U těchto zkoušek jsou určovány důležité faktory pro vysokorychlostní tváření. Mezi ně patří hlavně vliv rychlosti deformace, teplota, strukturní změny, šíření napět'ových vln a také účinek setrvačných sil.

Ze základních zkoušek sem patří metoda Hopkinsonovy měrné dělené tyče a Taylorův kompresní test. Tyto zkoušky jsou mnohem méně používané z důvodů nutnosti použití nákladných zařízení, snímačů, velkých nároků na software a hlavně se jedná o nevratné děje, které se během experimentu nedají zastavit. Délka průběhu těchto zkoušek probíhá řádově v μs .

3.2.1 Hopkinsonův test [12], [13]

Tato zkouška patří mezi experimentální metody sloužící ke zjišťování dynamických vlastností materiálu. Jejím účelem je získat údaje o materiálu za vysokých rychlostí deformace. Tyto údaje se následně používají do výpočtových modelů jsou podkladem pro simulační programy tvářecích dějů. Podstata testu spočívá v uvažované jednorozměrné teorii šíření elastického pulzu v měrných tyčích a vzájemném působení mezi napět'ovým pulzem a vzorkem, který se nachází mezi tyčemi (obr.3.7).



Obr. 3.7 Schématické uspořádání Hopkinsonova testu [15]

Zkouška začíná urychlením impaktoru pomocí stlačeného vzduchu v zásobníku a následným nárazem na vstupní tyč. Impaktor je vyroben ze stejného materiálu jako jsou tyče a to z vysokopevnostní oceli. Náraz vyvolá elastický kompresní pulz σ_I (zatěžující pulz), který se dále šíří tyčí až na rozhraní se vzorkem. Část pulzu je odražena zpět σ_R (odražený pulz) a část projde pěchovaným vzorkem do výstupní tyče σ_T (prošlý pulz).

Tyto tři pulzy vyvolají změnu osového napětí na tyčích a jsou zaznamenávány např. pomocí kapacitních snímačů, které jsou připojeny k digitálnímu osciloskopu. Tyto snímače jsou založeny na změně kapacity kondenzátoru. Jejich výhodou je možné snímání velmi rychlých dějů a jelikož se řadí mezi bezdotykové snímače, tak se právě hodí pro snímání kmitání, nebo rychle se pohybujících těles.

Z průběhu a velikosti takto získaných pulzů jsme schopni stanovit dynamické mechanické vlastnosti materiálu. Zejména se vyhodnocují závislosti, napětí ve vzorku a rychlost deformace na deformaci (čase).

Výpočtové vztahy:**Rychlost elastické vlny:**

$$C_0 = \sqrt{\frac{10^6 \cdot E}{\rho}} \quad [\text{m/s}] \quad (3.12)$$

E.....modul pružnosti v tahu [MPa]

ρhustota materiálu [kg/m^3]

Doba trvání rázu:

$$T = \frac{2 \cdot L_0}{C_0} \quad [\text{s}] \quad (3.13)$$

L_0délka impaktoru [mm]

Úst'ová rychlost impaktoru:

$$v = \frac{l_f}{t_p} \quad [\text{m/s}] \quad (3.14)$$

l_fvzdálenost fotodiód [μm]

t_pdoba průletu [μs]

Poměrná deformace poloměru tyče:

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta R_1}{R_1} \quad [-] \quad (3.15)$$

ΔR_1 ...přírůstek poloměru tyče po zatížení [mm]

R_1poloměr tyče [mm]

Poměrná osová deformace tyče:

$$\varepsilon_z = -\frac{\varepsilon_r}{\mu} \quad [-] \quad (3.16)$$

μPoissonovo číslo [-]

Výsledné deformační napětí vzorku:

$$\sigma_{p(t)} = \frac{D_{\text{tyč}}^2}{D_{\text{vzorku}}^2} \cdot \frac{1}{2} [\sigma_{I(t)} + \sigma_{R(t)} + \sigma_{T(t)}] \quad [\text{MPa}] \quad (3.17)$$

$\sigma_{I(t)}$deformační napětí způsobené zatěžujícím pulzem [MPa]

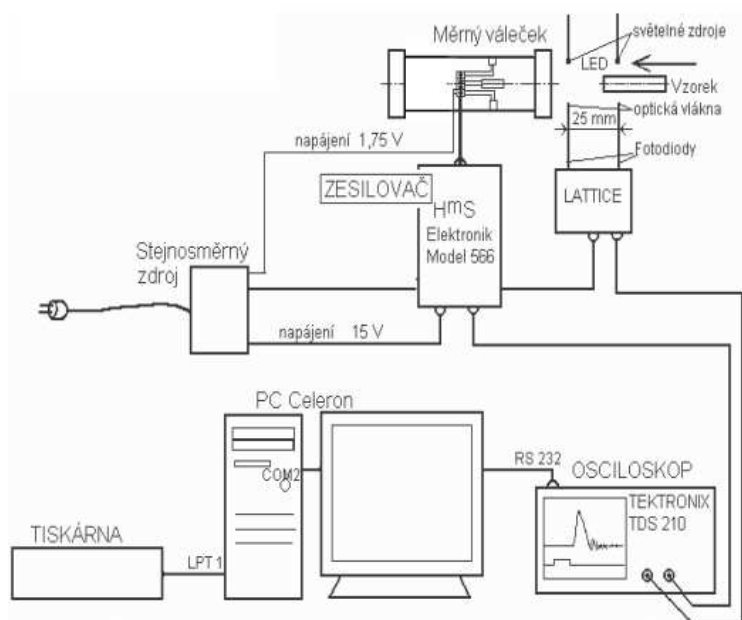
$\sigma_{R(t)}$deformační napětí způsobené odraženým pulzem [MPa]

$\sigma_{T(t)}$deformační napětí způsobené prošlým pulzem [MPa]

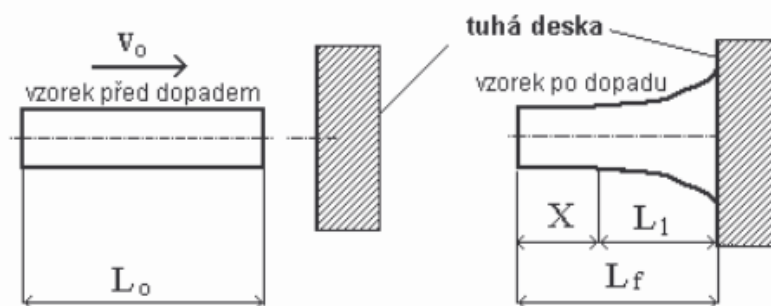
3.2.2 Taylorův test [7], [8] [12], [13]

Při této materiálové zkoušce je možné dosáhnout rychlosti deformace až 10^4 s^{-1} při nízkých dopadových rychlostech zkušební vzorku. Značnou výhodou je možnost na základě empirických vztahů a geometrii vzorku rychlé vyhodnocení dynamické meze kluzu. Experimentální zjišťování rázových sil a zatěžujícího napětí je možné srovnat s parametry získanými ze simulací v prostředí LS DYNA 3D.

Zkouška začíná nastřelením válcového vzorku (obr.3.9), který je umístěn v polystyrénovém nosiči na tuhou překážku. Vzorek společně s nosičem je vystřelen díky stlačenému vzduchu v pneumatickém kanónu na tuhou překážku umístěnou v dopadišti. Při určování doby, velikosti a průběhu napěťových pulzů je nutnost upravit dopadovou plochu. Na místo tuhé desky se umístí dopadová tyč (obr.3.8). Na té jsou umístěny tenzometry, které jsou zapojeny do Wheatstoneova můstku. Tyto tenzometry mohou být odporové nebo polovodičové.



Obr. 3.8 Schématické zapojení u Taylorova testu [15]



Obr. 3.9 Vzorek před dopadem a po dopadu [15]

Výpočtové vztahy:**Rychlost průletu ústím kanonu:**

$$v_0 = \frac{l_f}{t_p} \quad [\text{m/s}] \quad (3.18)$$

l_fměřená vzdálenost [μm]

t_pdoba průletu [μs]

Stanovení dynamické meze kluzu dle Taylora:

$$\sigma_{dy} = \rho \cdot v_0^2 \frac{(L_0 - X) \cdot 10^{-6}}{2(L_0 - L_f) \ln \frac{L_0}{X}} \quad [\text{MPa}] \quad (3.19)$$

v_0rychlost průletu ústím kanonu [m/s]

ρhustota materiálu [kg/m^3]

L_0 délka nedeformovaného vzorku [mm]

Xdélka nezdeformované části vzorku [mm]

Maximální rázová síla ze zákona zachování energie:

$$A = E_{\text{kin}}$$

$$F \cdot \Delta l = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2$$

$$m \cdot a_{\text{stř}} \cdot \Delta l = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2 \quad (3.20)$$

$$a_{\text{stř}} = -\frac{v_0^2}{2 \cdot \Delta l}$$

$$F_{\text{max}} = -m \cdot a_{\text{max}} = -m \cdot 2a_{\text{stř}} \quad [\text{N}]$$

Δlrozdíl délky deformovaného a nedeformovaného vzorku [μm]

mhmotnost vzorku ($m = \rho \cdot S_0 \cdot L_0$) [kg]

$a_{\text{stř}}$střední zpomalení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

a_{max}maximální zpomalení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

Největší rychlost deformace:

$$\dot{\phi}_{\text{max}} = -\frac{v_0}{L_0} \quad [-] \quad (3.21)$$

Doba trvání rázu:

$$\Delta t = \frac{v_0}{a_{\text{stř}}} = \frac{2 \cdot \Delta l}{v_0} \quad [\text{s}] \quad (3.22)$$

4 SOUČASNÝ STAV VÝROBY SOUČÁSTÍ OBDOBNÉHO TVARU [2], [3]

Při velkosériové výrobě rotačně symetrických součástí se v současné době hojně využívá víceoperačních tvářecích automatů. Jsou prezentovány zejména ve výrobě součástí pro automobilový a spotřební průmysl (obr.4.1). V těchto odvětvích se klade velký důraz na ekonomičnost výroby, přesnost vyráběných dílců, kvalitní povrch a dobré mechanické vlastnosti. Jelikož se objemového tváření řídí zákonem zachování objemu, dochází téměř ke stoprocentnímu využití výchozího materiálu a má nespočet výhod oproti třískovému obrábění.

Jedna z podstatných výhod je, že tvářená součást má lepší mechanické vlastnosti, než výchozí polotovar a to jak v podélném tak i v příčném směru. U objemového tváření dochází ke značné úspoře výrobního času a to až několikanásobně oproti třískovému obrábění. Některé ukázky tvářených součástí jsou znázorněny na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Příklady součásti zhotovené objemovým tvářením za studena [24]

5 CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU SOUČÁSTI [22]

Spojovací čep má být vyroben z konstrukční oceli 11320-5R objemovým tvářením. Pro výpočty a návrhy možných technologií výroby budu proto vycházet z výsledků grantu Ústavu strojírenské technologie, Odboru tvářením kovů a plastů na FSI v Brně, konkrétně grantu: Databáze materiálových modelů k predikci chování materiálů v tvářecím procesu. [22]

Stručná charakteristika oceli 11320-5R:

Jedná se o konstrukční ocel, která je vhodná k mírnému nebo hlubokému tažení a k objemovému tvářením. Má zaručenou svařitelnost.

Označení:

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

Zahraniční ekvivalenty: [22]

Tab. 5.3

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

Chemické složení v p % : [22]

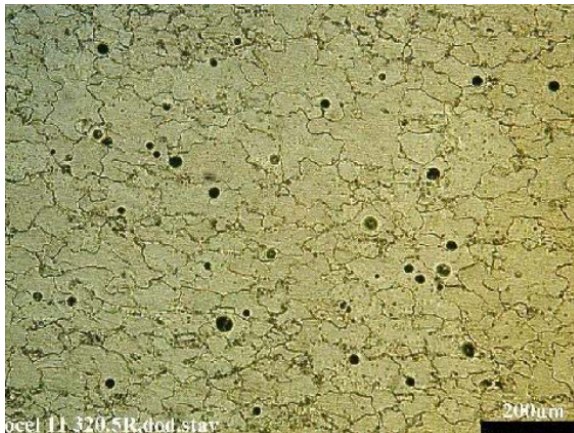
Tab. 5.1

C	Mn	Ni	Cu	P	S
0,04	0,32	-	-	0,008	0,024

Mechanické vlastnosti: [22]

Tab. 5.2

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

Výchozí struktura oceli 11 320 5R:

Obr. 5.1 Výchozí struktura oceli 11 320 5R $\approx 100x$ zvětšeno [22]



Obr. 5.2 Výchozí struktura oceli 11 320 5R $\approx 500x$ zvětšeno [22]

Popis struktury:

Tato ocel obsahuje globulární vměstky oxidu železa, křemíku a hliníku, což je dobře viditelné na obr. 5.1. Feritická struktura, která je rovnoměrná má střední velikost zrna $\approx 70 \mu\text{m}$ (minimální $\approx 20 \mu\text{m}$ a maximální $\approx 200 \mu\text{m}$). Na hranicích zrn, především v okolí trojných bodů se vyskytuje terciální cementit. Tvrdost oceli je okolo $\text{HV}_{10}=170$.

Parametry konstitutivní rovnice Johnson-Cooka: [22]

Tab. 5.4

σ_0	450
B	350
C	0,055
n	0,18
m	0,7

Pro BCC materiály je použit konstitutivní vztah dle Johnson-Cooka, který je uveden ve vzorci 5.1. Tento vztah zahrnuje základní fyzikální parametry. Výsledkem simulace Taylorova kompresního testu je právě stanovení těchto parametrů, které jsou uvedeny v tab. 5.4. a křivky deformačních napětí v závislosti na rychlosti deformace jsou znázorněny na obr. 5.3.

Konstitutivní rovnice Johnson-Cook:

$$\sigma = (\sigma_0 + B \cdot \varphi^n) \cdot \left(1 + C \cdot \ln \frac{\dot{\varphi}}{\dot{\varphi}_0} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{T - T_0}{T_m - T_0} \right)^m \right] \quad (5.1)$$

T..... teplota materiálu [K]

T₀.....referenční teplota při statické mezi kluzu [K]

T_m.....teplota tavení [K]

σ₀.....mez kluzu stanovená z kvazistatických testů [MPa]

n..... exponent zpevnění

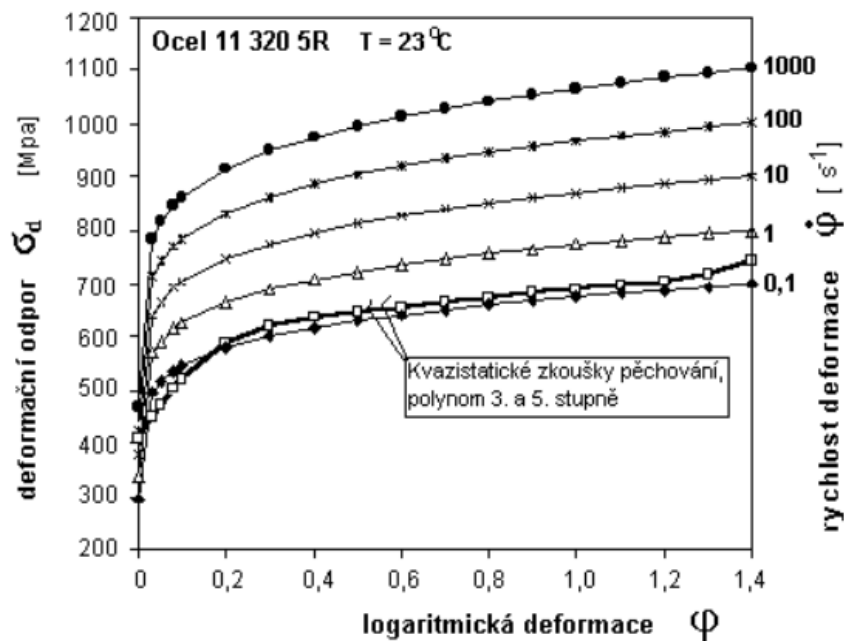
•
φ₀referenční rychlost přetvoření [s⁻¹]

•
φefektivní rychlost přetvoření [s⁻¹]

m..... exponent citlivosti na rychlost přetvoření

C..... parametr, který určuje citlivost na rychlost přetvoření

B..... pevnostní parametr

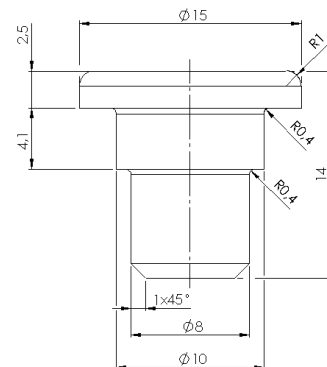


Obr. 5.3 Křivky deformačních napětí v závislosti na rychlosti deformace [22]

6 NÁVRH VLASTNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY

Čep spojky, jak je vidět na obr. 6.1 je možno vyrobit několika možnými způsoby. Cílem práce je zde uvést několik možných způsobů výroby objemovým tvářením se zaměřením na pěchování a dopředné protlačování.

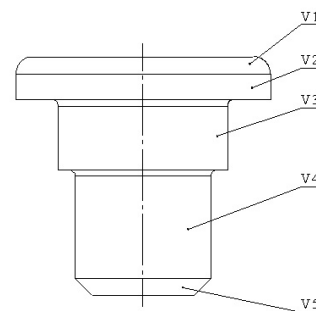
Pro ukázkou je zde také uveden možný způsob výroby třískovým obráběním v malé strojírenské firmě a to z důvodu možného porovnání hospodárnosti výroby objemovým tvářením oproti obrábění. U návrhu třískovým obráběním bude brán zřetel na strojní vybavení firmy.



Obr. 6.1 Rozměry čepu

6.1 Výpočet objemu čepu spojky [3]

Zadaný tvar součásti dle výkresu je rozdělen na jednotlivé segmenty, což je znázorněno na obr. 6.2. Pomocí známých matematických rovnic, které jsou uvedeny v rovnicích 6.1 a 6.2 spočítám jejich objemy, jejichž součtem získám celkový objem součásti. Celkový objem součásti je důležitý pro další jednotlivé výpočty. Pro ověření správnosti výpočtů bude porovnán vypočítaný objem s objemem dané součásti, která je vymodelována za pomoci programu SolidWorks 2010.



Obr. 6.2 Rozdělení čepu na jednotlivé segmenty

Objem válce:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h \quad [\text{mm}^3]$$

D.....průměr válce [mm]

h.....výška válce [mm]

(6.1)

Objem komolého kuželu:

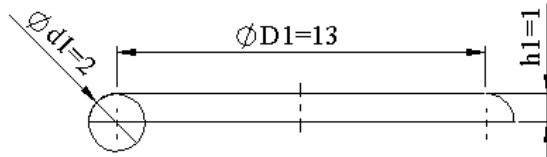
$$V = \frac{\pi \cdot h}{3} \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 + \frac{D \cdot d}{4} + \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right] \quad [\text{mm}^3]$$

D.....velký průměr kužele [mm]

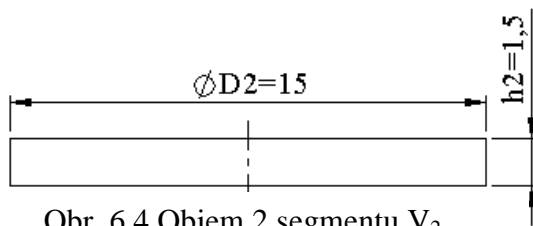
d.....malý průměr kužele [mm]

h.....výška kužele [mm]

(6.2)

Výpočet objemu V_1 :Obr. 6.3 Objem 1.segmentu V_1

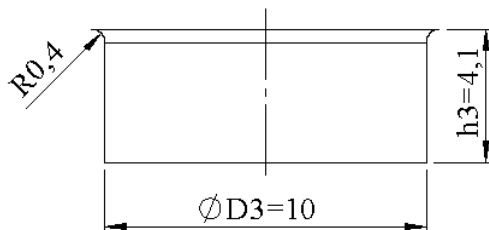
$$V_1 = \left(\frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot h_1 \right) + \left(\frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot \frac{\pi \cdot D_3}{4} \right) = \left(\frac{\pi \cdot 13^2}{4} \cdot 1 \right) + \left(\frac{\pi \cdot 2^2}{4} \cdot \frac{\pi \cdot 13}{4} \right) = \underline{164,80 \text{ mm}^3} \quad (6.3)$$

Výpočet objemu V_2 :Obr. 6.4 Objem 2.segmentu V_2

$$V_2 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot h_2 = \frac{\pi \cdot 15^2}{4} \cdot 1,5 = \underline{265,07 \text{ mm}^3} \quad (6.4)$$

Výpočet objemu V_3 :

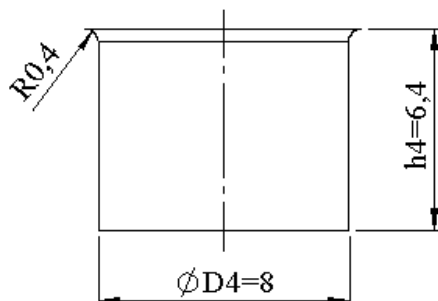
Při výpočtu objemu V_3 zanedbávám rádius $R_{0,4}$.

Obr. 6.5 Objem 3.segmentu V_3

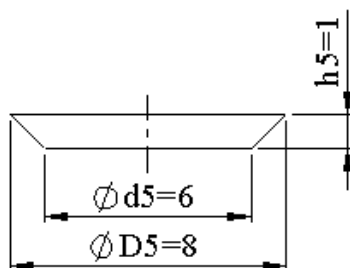
$$V_3 = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} \cdot h_3 = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} \cdot 4,1 = \underline{322,01 \text{ mm}^3} \quad (6.5)$$

Výpočet objemu V_4 :

Při výpočtu objemu V_4 zanedbávám rádius $R_{0,4}$.

Obr. 6.6 Objem 4.segmentu V_4

$$V_4 = \frac{\pi \cdot D_4^2}{4} \cdot h_4 = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} \cdot 6,4 = \underline{321,70 \text{ mm}^3} \quad (6.6)$$

Výpočet objemu V_5 :Obr. 6.7 Objem 5.segmentu V_5

$$V_5 = \frac{\pi \cdot h_5}{3} \left[\left(\frac{D_5}{2} \right)^2 + \frac{D_5 \cdot d_5}{4} + \left(\frac{d_5}{2} \right)^2 \right] = \frac{\pi \cdot 1}{3} \left[\left(\frac{8}{2} \right)^2 + \frac{8 \cdot 6}{4} + \left(\frac{6}{2} \right)^2 \right] = \underline{38,75 \text{ mm}^3} \quad (6.7)$$

Výpočet celkového objemu čepu:

$$V_{\text{celk}} = \sum V_i = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 \quad [\text{mm}^3] \quad (6.8)$$

V_{celk}celkový objem součásti $[\text{mm}^3]$

V_iobjemy jednotlivých segmentů $[\text{mm}^3]$

$$V_{\text{celk}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 = \\ = 164,80 + 265,07 + 322,01 + 321,70 + 38,75 = \underline{1112,33 \text{ mm}^3} \quad (6.9)$$

Objem určený za pomoci programu SolidWorks 2010:

$$V_{\text{celk}} = \underline{1116,41 \text{ mm}^3}$$

Rozdíl vypočítaného objemu a objemu určeného programem činí 0,4% což bylo způsobeno zanedbáním malých rádiů při výpočtech. Pro další výpočty budu počítat s přesnějším objemem, který je určen za pomoci programu SolidWorks 2010.



Obr. 6.8 Model čepu spojky

6.2 Výpočet hmotnosti součásti

$$m_{\text{č}} = V_{\text{celk}} \cdot \rho \text{ [kg]} \quad (6.10)$$

ρhustota oceli [kg/m³]

$$m_{\text{č}} = V_{\text{celk}} \cdot \rho = 1116,41 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = 0,00876 \text{ kg} = 8,76 \text{ g} \quad (6.11)$$

Pro výpočet hmotnosti čepu byl použit přesný objem součásti určený z programu. Hmotnost čepu je vypočítána pomocí vztahu 5.11 a vyšla 8,76g.

6.3 Technologické varianty výroby součásti objemovým tvářením

I. varianta:

Pro návrh I. technologické varianty, je vycházeno z možného postupu optimalizace geometrických charakteristik přetvoření a použití minimálního počtu operací. Ty jsou znázorněny na obr. 6.9, kde jsou uvedeny i rozměry součásti v jednotlivých operacích.

Postup operací:

stříhání

1. operace srovnání čel – předpěchování
2. operace dopředné protlačování první a druhé části dřívku
3. operace pěchování hlavy a druhé části dřívku

Ø D₀=8 mm

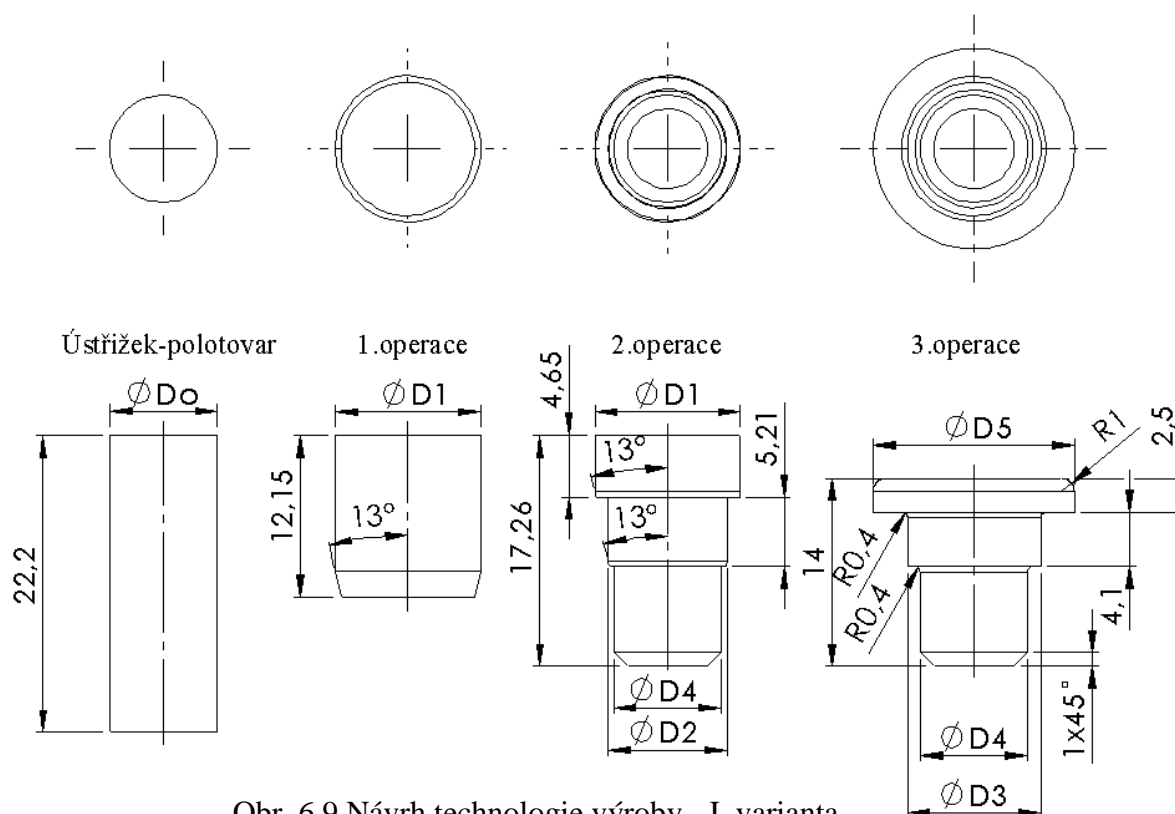
Ø D₁=10,9 mm

Ø D₂=8,9 mm

Ø D₃=10 mm

Ø D₄=8 mm

Ø D₅=15 mm



Obr. 6.9 Návrh technologie výroby - I. varianta

Optimalizace zpevnění [14]:

Výpočet přetvoření dle optimalizace zpevnění čerpá z předpokladu, že daná součást se v průběhu výroby bude v jednotlivých částech deformovat stejnou velikostí. Rozčlenění součásti je vidět na obr. 6.10.

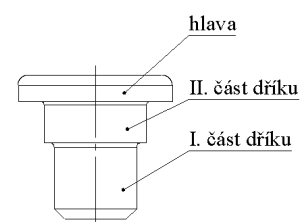
$$\Phi_{hl} = \Phi_{II} = \Phi_I$$

Φ_{hl}logaritmické přetvoření hlavy

Φ_Ilogaritmické přetvoření I. části dřívku

Φ_{II}logaritmické přetvoření II. části dřívku

$$\Phi_{pech} = \Phi_{protlač} + \Phi_{pech} = \Phi_{protlač}$$



Obr. 6.10 Rozčlenění součásti

$$\ln \frac{D_5^2}{D_1^2} = \ln \frac{D_1^2}{D_2^2} + \ln \frac{D_3^2}{D_2^2} = \ln \frac{D_1^2}{D_4^2} \quad (6.12)$$

Rovnice po odlogaritmování a matematických úpravách:

$$D_1 = \sqrt[4]{D_4^2 \cdot D_5^2} = \sqrt[4]{8^2 \cdot 15^2} = 10,954 \approx 10,9 \text{ mm} \quad (6.13)$$

$$D_2 = \sqrt[4]{\frac{D_1^4 \cdot D_3^2}{D_5^2}} = \sqrt[4]{\frac{10,9^4 \cdot 10^2}{15^2}} = 8,943 \approx 8,9 \text{ mm} \quad (6.14)$$

Výchozím polotovarem volím svitek drátu o průměru $D_o=8$ mm

Výpočet přetvoření pro jednotlivé části:

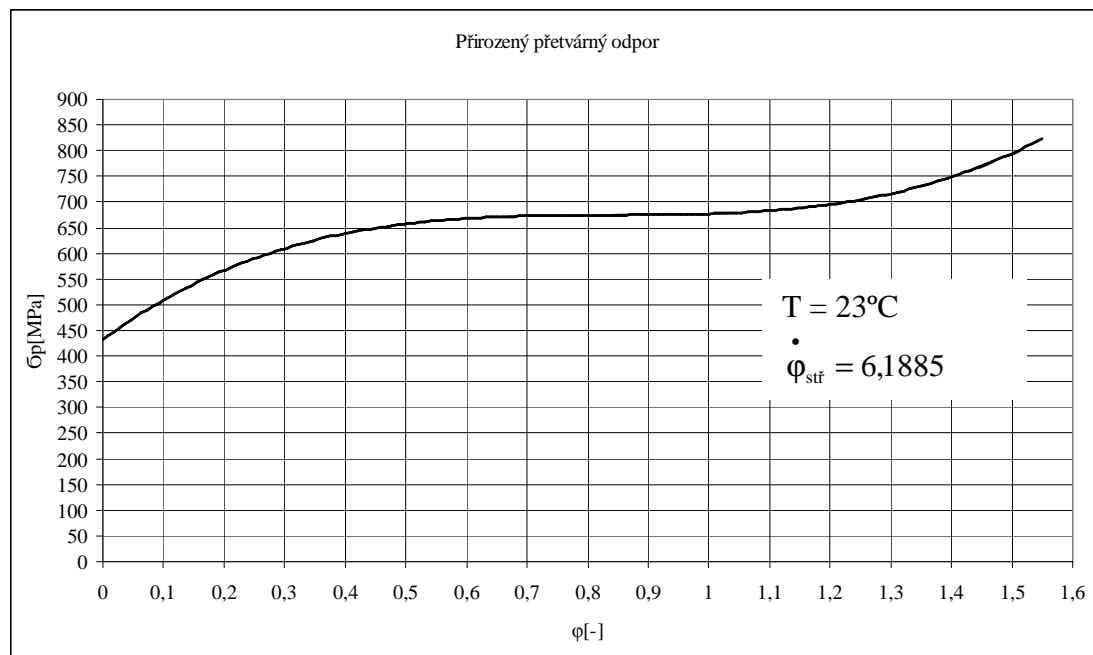
$$\varphi_{hl} = \ln \frac{D_5^2}{D_1^2} + \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} = \ln \frac{15^2}{10,9^2} + \ln \frac{10,9^2}{8^2} = 0,638 + 0,618 = \underline{1,257} \quad (6.15)$$

$$\varphi_I = \ln \frac{D_1^2}{D_4^2} + \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} = \ln \frac{10,9^2}{8^2} + \ln \frac{10,9^2}{8^2} = 0,618 + 0,618 = \underline{1,236} \quad (6.16)$$

$$\varphi_{II} = \ln \frac{D_1^2}{D_2^2} + \ln \frac{D_3^2}{D_2^2} + \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} = \ln \frac{10,9^2}{8,9^2} + \ln \frac{10^2}{8,9^2} + \ln \frac{10,9^2}{8^2} = 0,405 + 0,233 + 0,618 = \underline{1,256} \quad (6.17)$$

Výpočet výšky výchozího polotovaru:

$$h_o = \frac{4 \cdot V_{celk}}{\pi \cdot D_o^2} = \frac{4 \cdot 1116,41}{\pi \cdot 8^2} = \underline{22,2\text{mm}} \quad (6.18)$$



Obr. 6.11 Křivka přirozeného přetvárného odporu pro ocel 11320-5R [9]

Z vypočtených hodnot přetvoření v rovnicích 6.15-6.17 a grafu závislosti, který je znázorněn na obr. 6.11 jsou za pomoci programu EXCEL odečteny jednotlivé hodnoty přetvárného odporu pro jednotlivé části čepu.

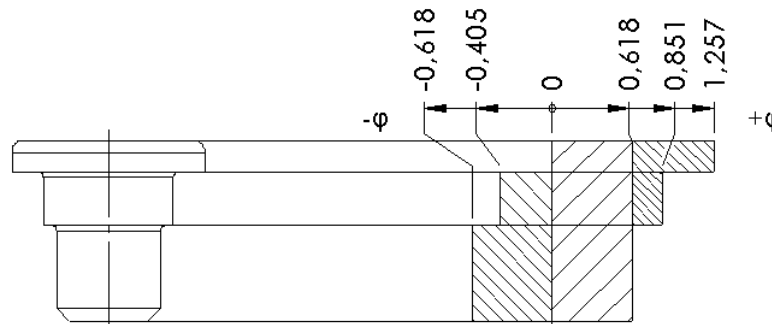
$$\varphi_{hl}=1,257 \rightarrow 706 \text{ MPa}$$

$$\varphi_I=1,236 \rightarrow 701 \text{ MPa}$$

$$\varphi_{II}=1,256 \rightarrow 705 \text{ MPa}$$

$$\varphi_{krit} \langle 0 - 1,55 \rangle, \varphi_{max} = 1,257$$

$$\varphi_{max} \leq \varphi_{krit} \text{ podmínka je splněna}$$



Obr. 6.12 Skladba logaritmických deformací

Zhodnocení:

Polotovár pro I. variantu technologie výroby je drát $\text{Ø}8 \times 22,2 \pm 0,2 \text{ mm}$. Tato varianta je výhodná co se týče rovnoměrnosti velikosti přetvoření v jednotlivých částech čepu. Skladbu logaritmických přetvoření můžeme vidět na obr. 6.12. Maximální přetvoření je v hlavě čepu, která se zpevnila na 706 MPa. Nedosahuje však kritického přetvoření a tak nedojde k přetížení lisu a ani k porušení materiálu.

Pro účely této práce je však nevhodná, protože výroba čepů se předpokládá na postupovém automatu HATEBUR BKA-3, který je konstruován na 4 operace a tudíž by byla tato varianta nevyhovující pro tento tvářecí stroj.

II. varianta:

Pro návrh II. technologické varianty, je vycházeno stejně jako u I. varianty z možného postupu optimalizace geometrických charakteristik přetvoření. Zde je již brána v úvahu výroba čepu na postupovém automatu HATEBUR BKA-3 a proto je zde upraven počet operací na 4 (obr. 6.13), aby byl vyhovující tomuto typu tvářecího stroje.

Postup operací:

stříhání

1. operace srovnání čel – předpěchování
2. operace dopředné protlačování první a druhé části dřívku
3. operace pěchování druhé části dřívku
4. operace pěchování hlavy dřívku

$\text{Ø } D_0 = 8 \text{ mm}$

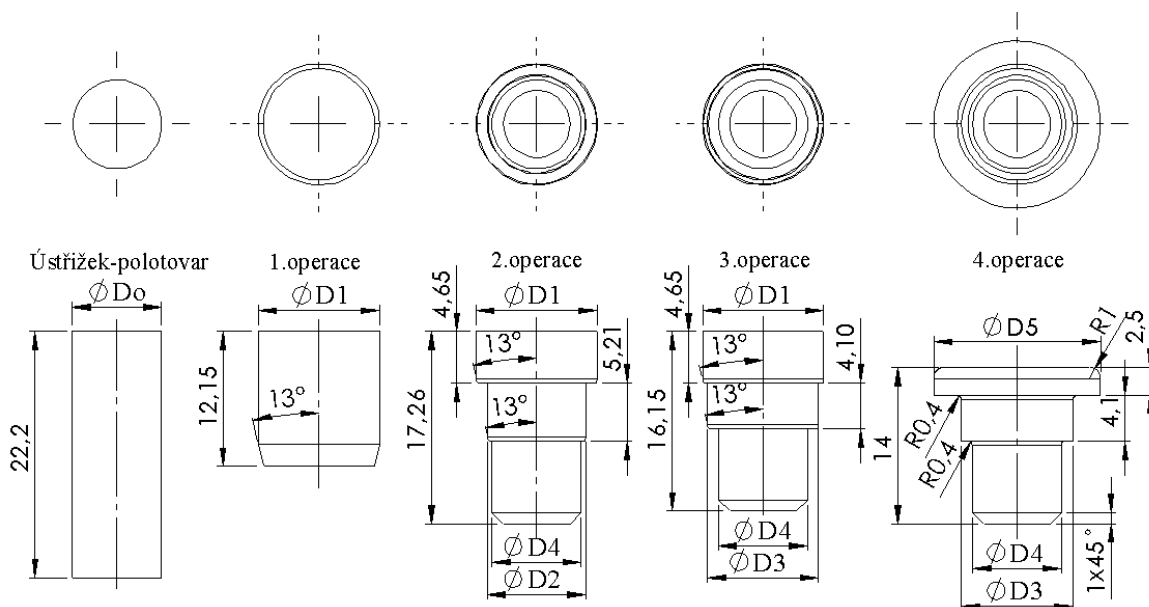
$\text{Ø } D_1 = 10,9 \text{ mm}$

$\text{Ø } D_2 = 8,9 \text{ mm}$

$\text{Ø } D_3 = 10 \text{ mm}$

$\text{Ø } D_4 = 8 \text{ mm}$

$\text{Ø } D_5 = 15 \text{ mm}$



Obr. 6.13 Návrh technologie výroby - II. varianta

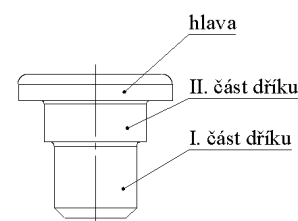
Optimalizace zpevnění [14]:

Výpočet přetvoření dle optimalizace zpevnění vychází ze stejného předpokladu, že daná součást se v průběhu výroby bude v jednotlivých částech deformovat stejnou velikostí. Výpočty jsou podobné jako v první variantě, akorát jsou rozšířeny o jednu operaci navíc. Rozčlenění součásti je stejné jako v I. variantě a je vidět na obr. 6.14.

$$\varphi_{hl} = \varphi_{II} = \varphi_I$$

$$\varphi_{pech} = \varphi_{protlač} + \varphi_{pech} = \varphi_{protlač}$$

$$\ln \frac{D_5^2}{D_1^2} = \ln \frac{D_1^2}{D_2^2} + \ln \frac{D_3^2}{D_2^2} = \ln \frac{D_1^2}{D_4^2}$$



Obr. 6.14 Rozčlenění součásti

(6.19)

Rovnice po odlogaritmování a matematických úpravách:

$$D_1 = \sqrt[4]{D_4^2 \cdot D_5^2} = \sqrt[4]{8^2 \cdot 15^2} = \underline{10,954 \approx 10,9\text{mm}} \quad (6.20)$$

$$D_2 = \sqrt[4]{\frac{D_1^4 \cdot D_3^2}{D_5^2}} = \sqrt[4]{\frac{10,9^4 \cdot 10^2}{15^2}} = \underline{8,943 \approx 8,9\text{mm}} \quad (6.21)$$

Výchozím polotovarem volím svitek drátu o průměru $D_0=8$ mm.

Výpočet přetvoření pro jednotlivé části:

$$\varphi_{hl} = \ln \frac{D_5^2}{D_1^2} + \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} = \ln \frac{15^2}{10,9^2} + \ln \frac{10,9^2}{8^2} = 0,638 + 0,618 = \underline{1,257} \quad (6.22)$$

$$\varphi_I = \ln \frac{D_1^2}{D_4^2} + \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} = \ln \frac{10,9^2}{8^2} + \ln \frac{10,9^2}{8^2} = 0,618 + 0,618 = \underline{1,236} \quad (6.23)$$

$$\varphi_{II} = \ln \frac{D_1^2}{D_2^2} + \ln \frac{D_3^2}{D_2^2} + \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} = \ln \frac{10,9^2}{8,9^2} + \ln \frac{10^2}{8,9^2} + \ln \frac{10,9^2}{8^2} = 0,405 + 0,233 + 0,618 = \underline{1,256} \quad (6.24)$$

Výpočet výšky výchozího polotovaru:

$$h_o = \frac{4 \cdot V_{celk}}{\pi \cdot D_o^2} = \frac{4 \cdot 1116,41}{\pi \cdot 8^2} = \underline{22,2mm} \quad (6.25)$$

Z vypočítaných hodnot přetvoření v rovnicích 6.22-6.24 a grafu závislosti, který je znázorněn na obr. 6.11 jsou za pomoci programu EXCEL, stejně jako v I. variantě odečteny jednotlivé hodnoty přetvárného odporu pro jednotlivé části čepu.

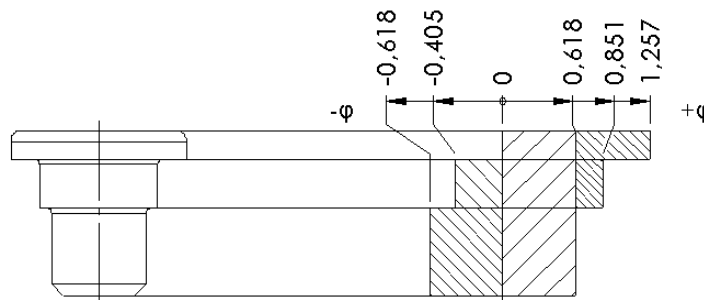
$$\varphi_{hl} = 1,257 \rightarrow 706 \text{ MPa}$$

$$\varphi_I = 1,236 \rightarrow 701 \text{ MPa}$$

$$\varphi_{II} = 1,256 \rightarrow 705 \text{ MPa}$$

$$\varphi_{krit} \langle 0 - 1,55 \rangle, \varphi_{max} = 1,257$$

$$\varphi_{max} \leq \varphi_{krit} \text{ podmínka je splněna}$$



Obr. 6.15 Skladba logaritmickech deformaci

Zhodnocení:

Polotovar pro II. variantu technologie výroby je drát $\varnothing 8 \times 22,2 \pm 0,2 \text{ mm}$. Tato varianta je výhodná co se týče rovnoměrnosti velikosti přetvoření v jednotlivých částech čepu. V první operaci je už špalík napěchován s úkosem, který zlepšuje zatékání materiálu v dalších tvářecích operacích. Skladbu logaritmickech přetvoření můžeme vidět na obr. 6.15. Maximální přetvoření je v hlavě čepu, která se zpevnila na 706 MPa. Nedosahuje však kritického přetvoření a tak nedojde k přetížení lisu a ani k porušení materiálu.

Tato varianta je vyhovující pro předběžně uvažovaný stroj a proto zde budou provedeny výpočty sil v jednotlivých operacích. Ze zadání není jednoznačné, jaké jsou funkční plochy čepu, a proto by se dala navrhnout ještě další varianta, kde by se neuvvažovalo se zpevněním v hlavě čepu, ale pouze bylo optimalizováno zpevnění v obou dřících.

Výchozím polotovarem pro tuto technologii výroby by byl špalík o průměru stejném jako je průměr hlavy a v následujících operacích by se jednalo pouze o dopředné protlačování.

Výpočet tvářecí síly [2] :

Probíhající děje v každé operaci nejsou kvazistatické a proto se musí uvažovat ve výpočtech i s proměnlivou rychlostí deformace. Pokud roste rychlost deformace, zvyšuje se i přirozený přetvárný odpor materiálu. Je zde tedy využito konstitutivní rovnice Johnson – Cook pro výpočet přetvárného odporu, aby byl zahrnut i vliv rychlosti deformace.

K úplnému naplnění této rovnice je použito údajů z řešeného grantu. Dále vypočítané hodnoty rychlosti deformace v jednotlivých operacích a rychlost pohybu nástroje. Výsledná tvářecí síla bude sloužit k ověření správné volby tvářecího automatu HATEBUR BKA-3 který disponuje těmito hodnotami $n = 60-100 \text{ min}^{-1}$, $h_{\text{beranu}} = 220 \text{ mm}$.

Rychlost pohybu nástroje:

$$v_0 = \frac{s}{t \cdot 10^3} = \frac{2 \cdot n \cdot h_{\text{beranu}}}{t \cdot 10^3} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 220}{60 \cdot 10^3} = \underline{0,44 \text{ m/s}} \quad (6.26)$$

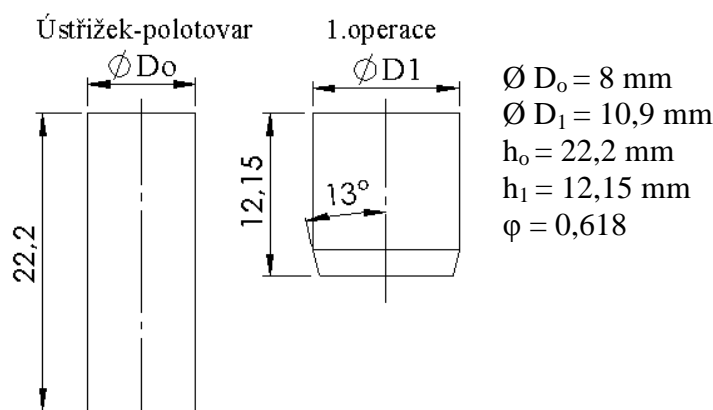
s.....celková dráha beranu [mm]

n.....počet zdvihů beranu za minutu

h_{beranu}zdvih beranu [mm]

t.....čas [s]

Výpočet tvářecí síly v 1. operaci:



Obr. 6.16 Rozměry po 1. operaci

Výpočet maximální rychlosti deformace v osovém směru:

Je to rychlost pohybu nástroje vztažená na okamžitou výšku.

$$\dot{\varphi}_z = \frac{v_0}{h_1} = \frac{0,44}{0,01215} = \underline{36,2 \text{ s}^{-1}} \quad (6.27)$$

Výpočet přetvárného odporu dle Johnson-Cooka:

Dosazované parametry do rovnice jsou:

$$\sigma_0 = 450 \text{ MPa}$$

$$B = 350$$

$$C = 0,055$$

$$n = 0,18$$

$$m = 0,7$$

$$T = 23 \text{ °C}$$

$$T_0 = 20 \text{ °C}$$

$$T_m = 1500 \text{ °C}$$

$$\sigma_p = (\sigma_0 + B \cdot \phi^n) \cdot \left(1 + C \cdot \ln \dot{\phi}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{T - T_0}{T_m - T_0}\right)^m\right] =$$

$$\sigma_p = (450 + 350 \cdot 0,618^{0,18}) \cdot (1 + 0,055 \cdot \ln 36,2) \cdot \left[1 - \left(\frac{23 - 20}{1500 - 20}\right)^{0,7}\right] = \underline{910,8 \text{ MPa}} \quad (6.28)$$

Výpočet deformačního odporu pro pýchování dle Siebela:

Dosazované parametry do rovnice jsou:

$$f = 0,05$$

$$D_1 = 10,9 \text{ mm}$$

$$h_1 = 12,15 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = \sigma_p \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{f \cdot D_1}{h_1}\right) \quad (6.29)$$

f.....součinitel tření

D₁.....průměr špalíku v 1. operaci [mm]

h₁.....výška špalíku v 1. operaci [mm]

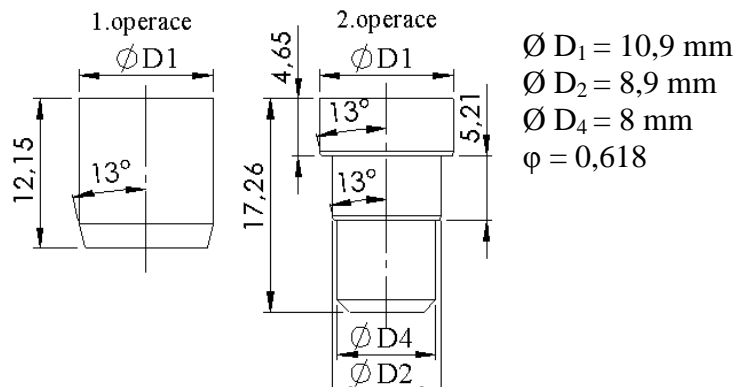
$$\sigma_d = 910,8 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{0,05 \cdot 10,9}{12,15}\right) = \underline{924,4 \text{ MPa}} \quad (6.30)$$

Výpočet síly pro 1. operaci:

$$F_1 = \sigma_d \cdot S = \sigma_d \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = 924,4 \cdot \frac{\pi \cdot 10,9^2}{4} = \underline{86258,7 \text{ N}} = \underline{86,3 \text{ kN}} \quad (6.31)$$

Výpočet práce pro 1. operaci:

$$A_1 = F_1 \cdot (h_0 - h_1) = 86258,7 \cdot (0,0222 - 0,01215) = \underline{866,9 \text{ J}} \quad (6.32)$$

Výpočet tvářecí síly v 2. operaci:

Obr. 6.17 Rozměry po 2. operaci

Výpočet maximální rychlosti deformace v osovém směru:

Největší rychlost deformace v této operaci bude při výstupu protlačovaného materiálu z kalibračního očka.

$$\dot{\varphi}_z = 2 \cdot v_0 \cdot \frac{R_1^2}{R_2^3} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 2 \cdot 0,44 \cdot \frac{0,00545^2}{0,00445^3} \cdot \operatorname{tg} 13 = \underline{68,5 \text{ s}^{-1}} \quad (6.33)$$

Výpočet přetvárného odporu dle Johnson-Cooka:

Dosazované parametry do rovnice jsou:

$$\sigma_0 = 450 \text{ MPa}$$

$$B = 350$$

$$C = 0,055$$

$$n = 0,18$$

$$m = 0,7$$

$$T = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_m = 1500 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\sigma_p = (\sigma_0 + B \cdot \varphi^n) \cdot (1 + C \cdot \ln \dot{\varphi}) \cdot \left[1 - \left(\frac{T - T_0}{T_m - T_0} \right)^m \right] = \quad (6.34)$$

$$\sigma_p = (450 + 350 \cdot 0,618^{0,18}) \cdot (1 + 0,055 \cdot \ln 68,5) \cdot \left[1 - \left(\frac{23 - 20}{1500 - 20} \right)^{0,7} \right] = \underline{937,8 \text{ MPa}}$$

Výpočet deformačního odporu pro protlačování dle Feldmana:

Dosazované parametry do rovnice jsou:

$$\sigma_p = 937,8 \text{ MPa}$$

$$f_1, f_2, f_3 = 0,05$$

$$D_1 = 10,9 \text{ mm}$$

$$D_4 = 8 \text{ mm}$$

$$L_1 = 10 \text{ mm}$$

$$L_3 = 2 \text{ mm}$$

$$\tilde{\alpha} = \frac{\alpha \cdot \pi}{180} = \frac{26^\circ \cdot \pi}{180} = \underline{0,453 \text{ rad}} \quad (6.35)$$

$$\sigma_d = \sigma_p \cdot \left[\left(1 + \frac{f_2}{\tilde{\alpha}} \right) \cdot \ln \left(\frac{D_1}{D_4} \right)^2 + \frac{2}{3} \cdot \tilde{\alpha} \right] + 4f_2 \cdot \frac{D_3 \cdot L_3}{D_1^2} \cdot \sigma_p + 4f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \sigma_0 \quad (6.36)$$

f_1, f_2, f_3, \dots součinitel tření

D_1, \dots, \dots \emptyset v zásobníku

D_2, \dots, \dots \emptyset v průtlačnici

D_4, \dots, \dots \emptyset v kalibr. očku

L_1, \dots, \dots délka zásobníku

L_3, \dots, \dots délka kalibr. očka

$\tilde{\alpha}, \dots, \dots$ oblouková míra $\left(\tilde{\alpha} = \frac{\alpha \cdot \pi}{180} \right) [\text{rad}]$

$$\begin{aligned} \sigma_d &= \sigma_p \cdot \left[\left(1 + \frac{f_2}{\tilde{\alpha}} \right) \cdot \ln \left(\frac{D_1}{D_4} \right)^2 + \frac{2}{3} \cdot \tilde{\alpha} \right] + 4f_2 \cdot \frac{D_3 \cdot L_3}{D_1^2} \cdot \sigma_p + 4f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \sigma_0 = \\ &= 937,8 \cdot \left[\left(1 + \frac{0,05}{0,443} \right) \cdot \ln \left(\frac{10,9}{8} \right)^2 + \frac{2}{3} \cdot 0,443 \right] + 4 \cdot 0,05 \cdot \frac{8 \cdot 2}{10,9^2} \cdot 937,8 + 4 \cdot 0,05 \cdot \frac{10}{10,9} \cdot 450 = \\ &= \underline{1029,72 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

Výpočet síly pro 2. operaci:

$$F_2 = \sigma_d \cdot S = \sigma_d \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = 1029,72 \cdot \frac{\pi \cdot 10,9^2}{4} = \underline{96086,4 \text{ N} = 96 \text{ kN}} \quad (6.37)$$

Výpočet práce pro 2. operaci:

$$A_2 = F_2 \cdot (h_2 - h_1) = 96086,4 \cdot (0,01726 - 0,01215) = \underline{49 \text{ J}} \quad (6.38)$$

Výpočet deformačního odporu pro pěchování dle Siebela:

Dosazované parametry do rovnice jsou:

$$f = 0,05$$

$$D_3 = 10 \text{ mm}$$

$$h_3 = 16,15 \text{ mm}$$

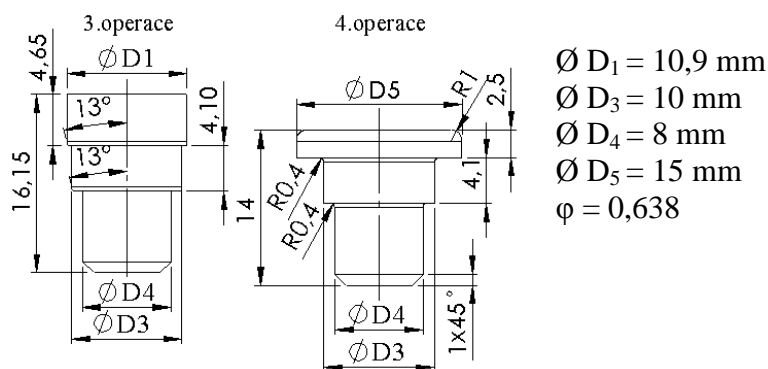
$$\sigma_d = \sigma_p \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{f \cdot D_3}{h_3}\right) = 839,2 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{0,05 \cdot 10}{16,15}\right) = \underline{847,9 \text{ MPa}} \quad (6.41)$$

Výpočet síly pro 3. operaci:

$$F_3 = \sigma_d \cdot S = \sigma_d \cdot \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} = 847,9 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = \underline{66593,9 \text{ N} = 66,6 \text{ kN}} \quad (6.42)$$

Výpočet práce pro 3. operaci:

$$A_3 = F_3 \cdot (h_3 - h_2) = 66593,9 \cdot (0,0521 - 0,0410) = \underline{739,2 \text{ J}} \quad (6.43)$$

Výpočet tvářecí síly v 4. operaci:

Obr. 6.19 Rozměry po 4. operaci

Výpočet maximální rychlosti deformace v osové směru:

Je to rychlost pohybu nástroje vztažená na okamžitou výšku.

$$\dot{\varphi}_z = \frac{v_0}{h_4} = \frac{0,44}{0,014} = \underline{31,4 \text{ s}^{-1}} \quad (6.44)$$

Výpočet přetvárného odporu dle Johnson-Cooka:

Dosazované parametry do rovnice jsou:

$$\sigma_0 = 450 \text{ MPa}$$

$$B = 350$$

$$C = 0,055$$

$$n = 0,18$$

$$m = 0,7$$

$$T = 23 \text{ °C}$$

$$T_0 = 20 \text{ °C}$$

$$T_m = 1500 \text{ °C}$$

$$\sigma_p = (\sigma_0 + B \cdot \phi^n) \cdot \left(1 + C \cdot \ln \dot{\phi}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{T - T_0}{T_m - T_0}\right)^m\right] = \quad (6.45)$$

$$\sigma_p = (450 + 350 \cdot 0,638^{0,18}) \cdot (1 + 0,055 \cdot \ln 31,4) \cdot \left[1 - \left(\frac{23 - 20}{1500 - 20}\right)^{0,7}\right] = \underline{907,4 \text{ MPa}}$$

Výpočet deformačního odporu pro pěchování dle Siebela:

Dosazované parametry do rovnice jsou:

$$f = 0,05$$

$$D_5 = 15 \text{ mm}$$

$$h_4 = 14 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = \sigma_p \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{f \cdot D_3}{h_4}\right) = 907,4 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{0,05 \cdot 10}{14}\right) = \underline{918,2 \text{ MPa}} \quad (6.46)$$

Výpočet síly pro 4. operaci:

$$F_4 = \sigma_d \cdot S = \sigma_d \cdot \frac{\pi \cdot D_5^2}{4} = 918,2 \cdot \frac{\pi \cdot 15^2}{4} = \underline{162259,3 \text{ N}} = \underline{162,3 \text{ kN}} \quad (6.47)$$

Výpočet práce pro 4. operaci:

$$A_4 = F_4 \cdot (h_3 - h_4) = 162259,3 \cdot (0,01615 - 0,014) = \underline{348,8 \text{ J}} \quad (6.48)$$

Celková tvářecí síla:

$$F_c = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 86,3 + 96 + 66,6 + 162,3 = \underline{411,2 \text{ kN}} \quad (6.49)$$

Celková práce:

$$A_c = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 866,9 + 491 + 739,2 + 348,8 = \underline{2445,9 \text{ J}} \quad (6.50)$$

6.4 Technologická varianta výroby součásti třískovým obráběním

Pro lepší představu efektivity výroby tohoto čepu objemovým tvářením za studena, je zde uveden jeden z možných způsobů výroby této součástky třískovým obráběním. V ekonomickém hodnocení je následně provedeno porovnání těchto způsobů.

Pro příklad je uvedena technologie výroby v malé strojírenské firmě, která disponuje vhodným strojním zařízením pro takto zvolenou výrobu součásti.

Technologický postup:

1. dělení tyčí
2. soustružení a broušení



Obr. 6.20 Pásová pila PEGAS 290x290 A-CNC-F [16]

1. Dělení tyčí:

Pro dělení tyčí je použita pásová pila PEGAS 290x290 A-CNC-F s příkonem 3 kW, která je na obr. 6.20. Tyče v dodávané délce 3000 mm jsou děleny na délku 500 mm z důvodu možného upnutí do sklíčidla v soustruhu. Dělení tyčí je možno provádět po více kusech po svaření na konci, protože tato pila je vybavena hydraulickým svěrákem s horním přitlakem.

2. Soustružení a broušení:

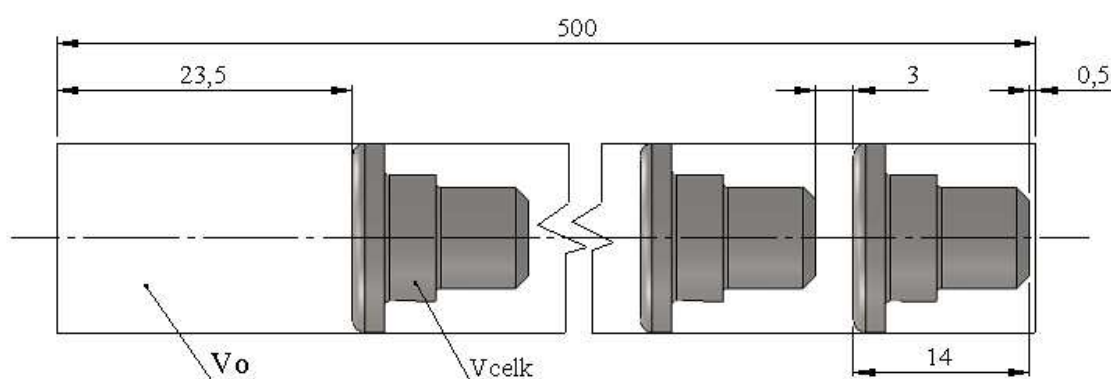
Pro soustružení čepu je určen revolverový CNC soustruh PINACHO MUSTANG 225/1000 s příkonem 7,5 kW, který je součástí strojního vybavení firmy viz. obr. 6.21.

Jako výchozí polotovary pro soustružení je použita hlazená tyč $\varnothing 15\text{mm}$ o délce 500 mm z důvodu malého chvění. Rozložení čepů v polotovaru je znázorněno na obr. 6.22. U tohoto typu stroje by bylo možno upnout polotovar o délce až 1m. U každé tyče se musí nejprve zarovnat čelo o 0,5 mm, aby zmizely stopy po pilovém pásu, nebo po případném šikmém řezu. Pro upichování součásti je využit nůž tl. 3 mm a min délka upnutí obrobku do sklíčidla je 20 mm.

Poslední operace na tomto výrobku je začištění čela hlavy čepu, na kterém vzniká otřep od upichovacího nože, který je nežádoucí. K tomu je určena pásová bruska a následně čištění může vykonávat obsluha soustruhu současně při soustružení. Z tohoto důvodu bude pro poslední operaci počítáno s nulovým strojním časem.



Obr. 6.21 Soustruh PINACHO MUSTANG 225/1000 [17]



Obr. 6.22 Umístění čepů v polotovaru pro soustružení

Určené parametry čepu z předchozích výpočtů:Objem: $V_{\text{celk}} = 1116,41 \text{mm}^3$ Hmotnost: $m_{\text{č}} = 0,00876 \text{kg} = 8,76 \text{g}$ **Počet kusů tyčí pro soustružení z výchozího polotovaru:**

$$P_t = \frac{L}{l} = \frac{3000}{500} = 6 \text{ks} \quad (6.51)$$

L..... délka výchozího polotovaru [mm]

l.....délka tyče pro soustružení [mm]

Počet kusů čepů z jedné tyče pro soustružení:

$$P_{\text{č}} = \frac{500 - 0,5 - 20}{17} = 28,2 \Rightarrow 28 \text{ks} \quad (6.52)$$

Počet kusů čepů z výchozího polotovaru:

$$P = P_c \cdot P_t = 28 \cdot 6 = \underline{168ks} \quad (6.53)$$

Objem výchozího polotovaru:

$$V_t = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l = \frac{\pi \cdot 15^2}{4} \cdot 3000 = \underline{530143,8mm^3} \quad (6.54)$$

Hmotnost výchozího polotovaru:

$$m_t = V_t \cdot \rho = 530143,8 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = \underline{4,16kg} \quad (6.55)$$

Objem odpadu z výchozího polotovaru:

$$V_o = V_t - 168 \cdot V_{celk} = 530143,8 - 168 \cdot 1116,41 = \underline{342586,9mm^3} \quad (6.56)$$

Hmotnost odpadu z výchozího polotovaru:

$$m_o = V_o \cdot \rho = 342586,9 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = \underline{2,69kg} \quad (6.57)$$

Vyjádřeno v %:

$$X = 100 \cdot \frac{2,69}{4,16} = \underline{64,7\% \approx 65\%} \quad (6.58)$$

Zhodnocení:

Při výrobě čepu třískovým obráběním odchází v tomto případě 65% výchozího materiálu do třísek a je efektivně využito jen zbylých 35% materiálu na vlastní výrobu čepů. Tato metoda výroby součástí by byla možná, pokud by se jednalo o kusovou výrobu. Jednou z mála výhod oproti tváření je jednoduchá úprava jakéhokoliv rozměru součásti při možných změnách výrobního výkresu ze strany zákazníka. Ve výrobě objemovým tvářením by to znamenalo výrobu nových nástrojů, což by bylo značně finančně náročné.

7 VOLBA TVÁŘECÍHO STROJE [11]

Při volbě tvářecího stroje je vycházeno z několika parametrů. Jedná se o velkosériovou výrobu členitého spojovacího čepu z konstrukční oceli a proto je nutné uvažovat postupový automat. Další z parametrů byla výše uvedená celková tvářecí síla, která z výpočtů vyšla ≈ 410 kN. Proto pro výrobu spojovacího čepu volím 4 operační postupový automat HATEBUR BKA-3, jehož jmenovitá tvářecí síla je 1800 kN (180 t). Tento stroj je předimenzovaný pro výrobu součástky, ale z důvodu dostupných podkladů je zvolen pro návrh výkresové dokumentace. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tab. 7.1. Na tomto stroji (obr. 7.1), budou prováděny veškeré operace při výrobě čepu, od ustřížení polotovaru, až po samotnou kalibraci protlačku.



Obr. 7.1 Postupový tvářecí automat HATEBUR BKA-3 [20]

Nejznámějším výrobcem postupových lisů ve Švýcarsku je firma HATEBUR (BASEL). Vyrábí postupové lisy se čtyřmi lisovnicemi s horizontálním uspořádáním lisovnic vedle sebe na svorníky, typ BKA na svorníky šroubů M6 – M20. HATEBUR patří k prvním výrobcům postupových lisů v Evropě. Lisy jsou klasického horizontálního provedení. Vynikají dobrou kvalitou a velkou spolehlivostí v provozu. Jsou tuhé konstrukce a hodí se pro různorodou výrobu součástí objemovým tvářením.

Skříňový stojan těchto lisů je velmi tuhý a kompaktní odlitek. Otevřený nůž na smykadle ovládaném vačkou, stíhá drát, podávaný ve směru pohybu beranu a přenáší současně ústrižek do osy první lisovnice. Beran má dlouhé a přesné vedení a je opatřen vyhazovači v nástrojích, které se dají snadno ustavit axiálně i vystředit vůči lisovnicím. Přímočaré přenášečské zařízení je opatřeno kleštěmi s nuceným otevíráním přes vačkové ústrojí. Okamžik otevírání a zavírání kleští se dá nastavit samostatně pro každou operaci zvlášť. Příslušné ovládací vačky jsou snadno přístupné a přestavitelné. Celé přenášečské ústrojí se dá ze stroje vyklonit, takže se dosáhne volného přístupu k nástrojům. Velká přizpůsobivost přenášečského zařízení umožňuje výrobu složitých výlisků. Lis je vybaven elektropneumatickou spojkou zpraženou s brzdou a převodovkou pro seřizovací běh (mikroposuv). K lisu BKA-3 možno dodat motorickou zaváděcí skříň s vlastní rovnačkou. Pracovní prostor lisu je znázorněn na obr. 7.2.

Tab. 7.1 Technické parametry postupového automatu HATEBUR BKA-3

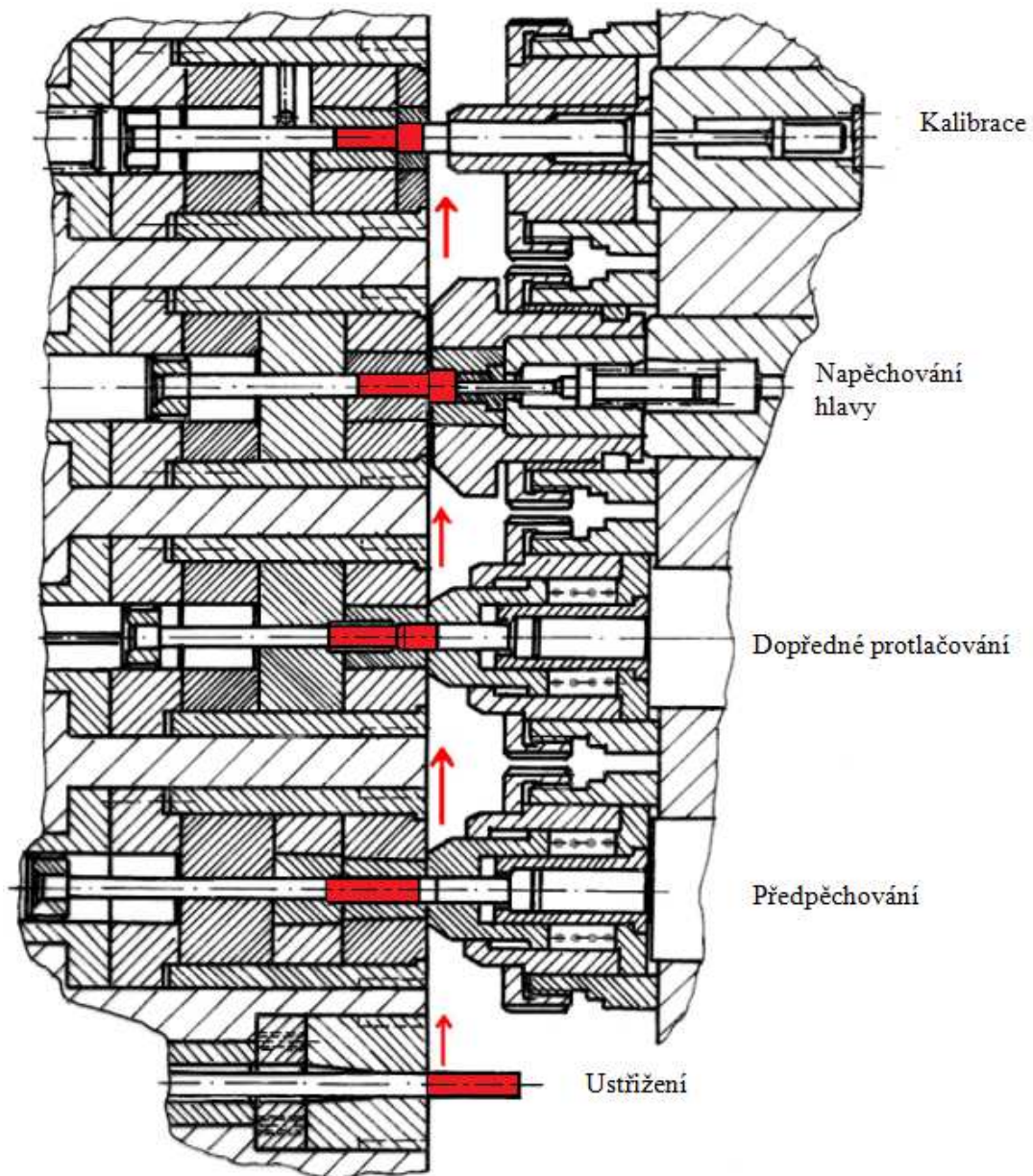
Pracovní plocha:	
Průměr hřídele	8-16 mm
Velikost šroubů se šestihrannou hlavou	max. 24 mm
Stlačitelný průměr	max. 40 mm
Délka stopky	20-127 mm
Průměr drátu	max. 20 mm
Délka úseku	max. 150 mm
Technické údaje:	
Výroba	60-100 ks/min
Celková tlaková síla	1800 kN (180t)
Výkon hnacího motoru	53 kW
Nástroje:	
Počet tvářecích fází	4
Průměr matrice	120 mm
Zdvih	180 mm
Vyhazovač v matrici	max. 130 mm
Vyhazovač razníku	max. 35 mm
Rozměry a hmotnost:	
Délka včetně motoru	4600 mm
Šířka včetně motoru	3750 mm
Výška	2100 mm
Hmotnost včetně motoru	cca 28 t



Obr. 7.2 Pracovní prostor tvářecího automatu HATEBUR BKA-3 [21]

8 NÁVRH SESTAVY NÁSTROJE [11]

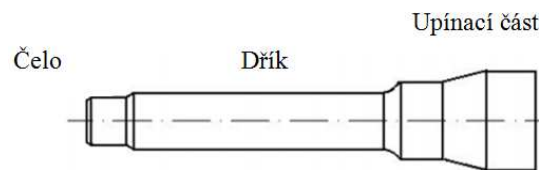
Navrhovaná sestava nástroje je k jednoduchosti výrobku, požadovanému množství vyrobených součástí a dostupných podkladů řešena pro postupový tvářecí automat HATEBUR BKA-3. Konečného výrobku se dosáhne po čtyřech tvářecích operacích plus jedné operaci pro ustrížení polotovaru ze svitku. Jedná se o horizontální uspořádání maticí desky. Výkresová dokumentace je narýsována podle dostupné fotografie, obě jsou umístěny v příloze. Ukázka výroby součásti na tomto tvářecím automatu je na obr. 8.1.



Obr. 8.1 Příklad schématu výroby součástky na postupovém automatu HATEBUR BKA-3 [11]

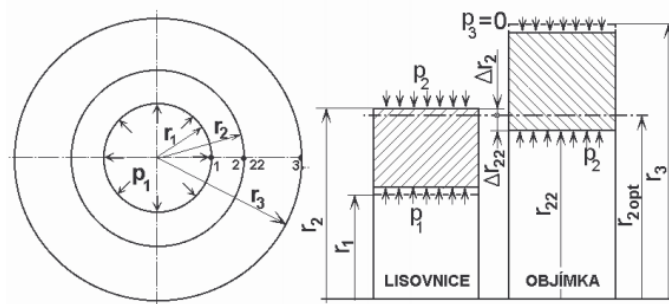
8.1 Návrh nástrojů pro dopředné protlačování (druhá tvářecí operace)[2], [10], [11]

Návrh nástrojů je právě pro druhou tvářecí operaci, protože v ní dochází k největším tlakům. Průtlačníky pro dopředné protlačování plných součástí jsou zpravidla z jednoho kusu i s upínací částí, kterou mohou mít válcovou nebo kuželovou (obr. 8.2). Kvůli možnosti vzniku koncentrace napětí, musí být přechod mezi dřikem a upínací částí pozvolný. Funkční broušená plocha by měla být lapována. Pro průtlačník volím stejný materiál jako pro průtlačnici a to ocel 19 830. Průtlačník není nutné kontrolovat na otláčení z důvodu malých rozměrů součásti.



Obr. 8.2 Tvar průtlačníku a jeho části [11]

Pro návrh lisovnice je využito programu OPTIM97, ten je uzpůsoben pro dimenzování složených průtlačnic s objímkou. Metoda výpočtů vychází z aplikace Lamého rovnic pro řešení tlustostěnného válce. Jednoduchou průtlačnici bez objímky lze použít pro radiální tlaky do 1000 MPa. Únosnost průtlačnic se dá zvýšit radiálním předpětím pomocí jedné nebo více objímk. V sestavě nástroje je využito lisovnice s jednou objímkou (obr. 8.3). Jako materiál lisovnice je použita ocel 19 830 a pro objímkou ocel 19 740.



Obr. 8.3 Úplný geometrický model lisovnice a objímky [10]

Vstupní data - materiál	Lisovnice - 19 830	Objímka - 19 740
Modul pružnosti v tahu E [MPa]	220000	207000
Mez pevnosti v tahu Rm [MPa]	1665	1570
Mez pevnosti v tlaku Rd [MPa]	3670	0
Mez kluzu $R_{p(0,2)}$ [MPa]	1480	1320
Poissonovo číslo μ	0,33	0,30
Dovolené napětí $\bar{\sigma}_d$ [MPa]	1425	1300

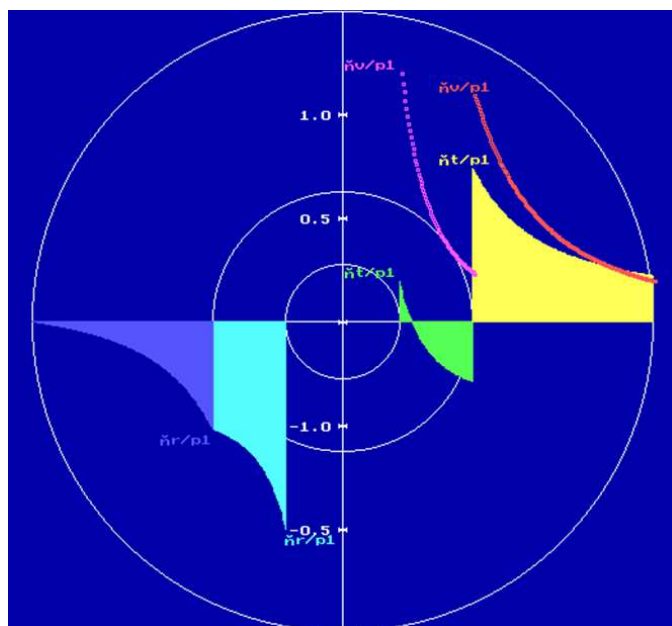
Vstupní data - geometrieVnitřní poloměr lisovnice r_1 [mm] 5,5Vnější poloměr objímky r_3 [mm] 30**Vstupní data – teplota, tep. roztažnost**Teplota okolí T_0 [°C] 23Teplota popouštěcí T_p [°C] 570Stř. hodnota koef. tepelné roztažnosti lisovnice α_1 [1/K] 0,0000124Stř. hodnota koef. tepelné roztažnosti objímky α_2 [1/K] 0,0000126**Vstupní data – podmínky únosnosti a podmínky pouzdření**

Lisovnice - Podmínka max. smykových napětí pro ocel

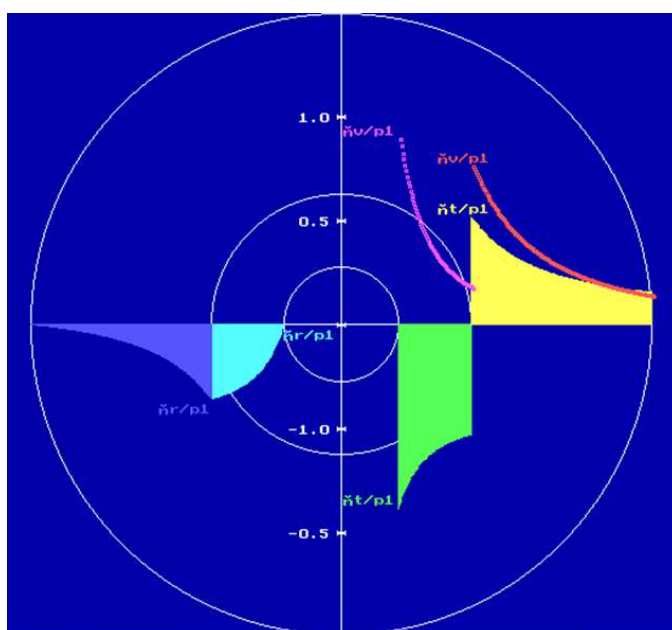
Objímka - Podmínka energetická HMH pro ocel

Pouzďeno za studena

Vypočtené hodnotyPoměrný dělicí poloměr r_2/r_1 [mm] 2,29153Maximální radiální tlak p_1 [MPa] 1194,9Kontaktní tlak p_2 [MPa] 618,085Dělicí poloměr r_2 [mm] 12,6Vypočtený přesah $2\Delta r$ [mm] 0,073Kontaktní předpětí \bar{p}_2 [MPa] 429,294Stažení vnějšího průměru lisovnice $2\Delta r_2$ [mm] 0,0280Roztažení vnitřního průměru objímky $2\Delta r_{22}$ [mm] 0,0451Zvětšení kontaktního tlaku od p_1 p'_2 [MPa] 188,791Konstrukční přesah $2\Delta r_5$ [mm] 0,07323



Obr. 8.4 Průběh předpětí od přesahu



Obr. 8.5 Průběh napětí

9 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

9.1 Technické hodnocení

Výroba této součásti v hromadné výrobě tvářením má nespočet výhod oproti třískovému obrábění. Jedna z hlavních výhod je úspora materiálu, která v současné době, kdy cena surovin stále stoupá, hraje velice důležitou roli. V případě výroby tohoto čepu třískovým obráběním odchází 65% materiálu do odpadu. V opačném případě je téměř 100%ní využití materiálu. Neméně důležitou výhodou je opotřebení tvářecích nástrojů, které je daleko menší než opotřebení břitových destiček a pilových pásů.

Mezi jednu z mála nevýhod patří, že výroba této součásti tvářením nemá téměř žádnou variabilitu při změně rozměrů. Rozměry jsou dány tvarem nástroje a nelze je ovlivnit špatným seřízením nebo nastavením. To umožní vyloučit z celého procesu lidský faktor a tím snížit riziko možných chyb na minimum. Zmetkovitost výrazně klesne oproti obrábění a tím se ušetří další možné náklady spojené s kontrolou jakosti a nekvalitou výrobku.

9.2 Ekonomické hodnocení

Daná problematika se odvíjí od veškerých nákladů na výrobu součástí během celého výrobního procesu. Pro přesné určení veškerých výpočtů není dostatek podkladů, jelikož do ekonomického hodnocení vstupuje velký počet neznámých parametrů. Jeden z velmi důležitých je rozmanitost strojního vybavení a struktury každé jednotlivé firmy.

Z toho důvodu budou v této kapitole jen stručně nastíněny základní vztahy. Pro naplnění jednotlivých výpočtů budou z důvodu proměnlivosti cen použity pouze orientační ceny materiálu, energií a jiných činitelů. I přes tuto neúplnost údajů by měly následující výpočty znázornit ekonomický rozdíl mezi objemovým tvářením a třískovým obráběním zadané součástky.

Dosazované parametry do rovnic jsou:

$C_m = 22$ Kč/kg – cena materiálu, pro tvářením i obrábění

$n = 80\ 000$ ks/rok – počet vyráběných součástí za rok

$M_t = 300$ Kč/hod – hodinová mzda pro tvářením i obrábění

$C_e = 5$ Kč/kWh – cena energie

Přímé náklady na obrábění:

Náklady na materiál:

$$N_{\text{materiál}} = S \cdot C_m \cdot n = 0,0247 \cdot 22 \cdot 80000 = 43472 \text{Kč} \quad (9.1)$$

S.....spotřeba materiálu [kg/ks]

C_mcena materiálu [Kč/kg]

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

Náklady na mzdy:

Celkové náklady na mzdy se skládají z nákladů na dělení materiálu a nákladů na soustružení.

Dělení materiálu:

$$N_{mzdyI} = t \cdot M_t \cdot n = 0,0166 \cdot 300 \cdot 80000 = \underline{400071Kč} \quad (9.2)$$

$$t \dots \text{výrobní čas} \left(t = t_a + t_b = \frac{t_{a1}}{60} + \frac{t_{b1}}{60 \cdot d_v} \right) = \frac{1}{60} + \frac{0,03}{60 \cdot 168} = \underline{0,0166\text{hod}} \quad (9.3)$$

t_{a1} ...čas výroby 1 kusu [min]

t_{b1} ...přípravný čas na 1 kus [min]

d_v ...počet kusů ve výrobní dávce [ks]

M_t ...hodinová mzda [Kč/hod]

Soustružení materiálu:

$$N_{mzdyII} = t \cdot M_t \cdot n = 0,05 \cdot 300 \cdot 80000 = \underline{1200595Kč} \quad (9.4)$$

$$t = t_a + t_b = \frac{t_{a1}}{60} + \frac{t_{b1}}{60 \cdot d_v} = \frac{3}{60} + \frac{0,25}{60 \cdot 168} = \underline{0,05\text{hod}} \quad (9.5)$$

Celkové náklady na mzdy:

$$N_{mzdy} = N_{mzdyI} + N_{mzdyII} = 400071 + 1200595 = \underline{1600666Kč} \quad (9.6)$$

Náklady na energii:

Celkové náklady na mzdy se skládají z nákladů na dělení materiálu a nákladů na soustružení.

Dělení materiálu:

$$N_{enerieI} = P \cdot \eta_j \cdot t_{a1} \cdot C_e \cdot n = 3 \cdot 0,8 \cdot 0,0166 \cdot 5 \cdot 80000 = \underline{16000Kč} \quad (9.7)$$

P ...příkon elektromotoru stroje [kW]

η_j ...využití stroje [0,8]

C_e ...cena energie [Kč/kWh]

Soustružení materiálu:

$$N_{enerieII} = P \cdot \eta_j \cdot t_{a1} \cdot C_e \cdot n = 7,5 \cdot 0,8 \cdot 0,05 \cdot 5 \cdot 80000 = \underline{120000Kč} \quad (9.8)$$

Celkové náklady na energii:

$$N_{enerie} = N_{enerieI} + N_{enerieII} = 16000 + 120000 = \underline{136000Kč} \quad (9.9)$$

Celkové náklady na obrábění:

$$N_{\text{celkové}} = N_{\text{materiál}} + N_{\text{mzdy}} + N_{\text{energie}} = 43472 + 1600666 + 136000 =$$

$$N_{\text{celkové}} = \underline{1780138\text{Kč}} \quad (9.10)$$

Náklady na jeden obrobek:

$$N_{\text{ks}} = \frac{N_{\text{celkové}}}{n} = \frac{1780138}{80000} = \underline{22,30\text{Kč}} \quad (9.11)$$

Přímé náklady na tváření:Náklady na materiál:

$$N_{\text{materiál}} = S \cdot C_m \cdot n = 0,00876 \cdot 22 \cdot 80000 = \underline{15417\text{Kč}} \quad (9.12)$$

S.....spotřeba materiálu [kg/ks]

C_m.....cena materiálu [Kč/kg]

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

Náklady na mzdy:

$$N_{\text{mzdy}} = t \cdot M_t \cdot n = 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot 80000 = \underline{300002\text{Kč}} \quad (9.13)$$

$$t \dots \text{výrobní čas} \left(t = t_a + t_b = \frac{t_{a1}}{60} + \frac{t_{b1}}{60 \cdot d_v} \right) = \frac{0,75}{60} + \frac{0,02}{60 \cdot 4000} = \underline{12,5 \cdot 10^{-3} \text{hod}} \quad (9.14)$$

t_{a1}...čas výroby 1 kusu [min]

t_{b1}...přípravný čas na 1 kus [min]

d_v...počet kusů ve výrobní dávce [ks]

M_t...hodinová mzda [Kč/hod]

Náklady na energii:

$$N_{\text{energie}} = P \cdot \eta_j \cdot t_{a1} \cdot C_e \cdot n = 53 \cdot 0,8 \cdot 0,0125 \cdot 5 \cdot 80000 = \underline{212000\text{Kč}} \quad (9.15)$$

P...příkon elektromotoru stroje [kW]

η_j...využití stroje [0,8]

C_e...cena energie [Kč/kWh]

Celkové náklady na tváření:

$$N_{\text{celkové}} = N_{\text{materiál}} + N_{\text{mzdy}} + N_{\text{energie}} = 15417 + 300002 + 212000 =$$

$$N_{\text{celkové}} = \underline{527419\text{Kč}} \quad (9.16)$$

Náklady na jeden tvařenec:

$$N_{ks} = \frac{N_{celkové}}{n} = \frac{527419}{80000} = \underline{6,60Kč} \quad (9.17)$$

Zhodnocení:

V uvedené tab. 9.1 je souhrn jednotlivých nákladů pro různé technologie výroby součástky.

Z předchozích výpočtů je zde názorně ukázána větší úspora nákladů při výrobě součásti objemovým tvářením. Pouze v případě nákladů na energie je na tom výroba součásti obráběním lépe a to z důvodu malých příkonů pro stroje na obrábění oproti tvářecímu automatu.

Tab. 9.1

NÁKLADY	OBRÁBĚNÍ	TVÁŘENÍ
MATERIÁL	43 472 Kč	15 417 Kč
MZDY	1 600 666 Kč	300 002 Kč
ENERGIE	136 000 Kč	212 000 Kč
CELKOVÉ	1 780 138 Kč	527 419 Kč
NA 1 KUS	22,30 Kč	6,60 Kč

10 ZÁVĚRY

Tato práce se zabývá problematikou objemového tváření za studena. V jejím úvodu jsou popsány některé základní technologie výroby s příslušnými obecnými vztahy. V hlavní části jsou řešeny možné technologické postupy výroby čepu spojky z konstrukční oceli 11320-5R. Při uvažované výrobě je zde kladen důraz zejména na využití pýchování a dopředného protlačování.

Jsou zde posouzeny dvě varianty technologického postupu, kdy obě vychází z optimalizace zpevnění ve všech třech částech čepu. Liší se pouze v počtu operací, kde I. varianta je navržena na co nejmenší počet, ale pro uvažovaný postupový automat HATEBUR BKA-3 je nevyhovující. Ze zadání není jednoznačně určena funkce součástky v sestavě a proto zde není uvažovaná varianta bez zpevnění hlavy a jako ideální je považovaná varianta II. Pro ni jsou zde potom provedeny technologické a pevnostní výpočty, které ověřují vhodnost použití daného lisu. Díky celkové tvářecí síle, jejíž hodnota je ≈ 410 kN a dostupným podkladům pro návrh sestavy nástroje je pro výrobu zvolen tvářecí automat HATEBUR BKA-3.

Pro porovnání ekonomického hlediska výroby součásti je zde navržena i možná varianta výroby čepu třískovým obráběním. Při porovnání celkových nákladů na výrobu součásti disponuje přibližně trojnásobně vyššími náklady, než při objemovém tváření. V tomto hodnocení jsou zahrnuty jen základní parametry a nejsou zde uvažovány náklady na břitové destičky, pilové pásy a jiné, spojené s touto variantou výroby.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [23]

- [1] LANGE, Kurt. *Handbook of metal forming*. New York: McGraw-Hill, c1985, ca. 900 p. in various pagings. ISBN 00-703-6285-8.
- [2] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [3] BABOR, Karel, Augustin CVILINEK a Jan FIALA. *Objemové tváření ocelí*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1967.
- [4] HEMR, František. *Konstruování součástí vhodných k protlačování za studena*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1968.
- [5] *ASM handbook: metalworking*. Ohio: ASM International, 2005, 888 s. ISBN 08-717-0708-X.
- [6] HLUCHÝ, Miroslav. *Strojírenská technologie 1 - 2. díl: Metalografie a tepelné zpracování*. 2. vyd. Praha: Scientia, 1999, 165 s. ISBN 80-718-3140-9.
- [7] FOREJT, Milan. *FORM '97: Proceeding of the 3th International Conference September 23rd-24th 1997. Conference Proceedings. Volume 1*. Brno: VUT Brno, 1997, 142 s. ISBN 80-214-0900-2.
- [8] *Form 2002: forming, technology, tools and machines*. vol. 1. Brno: Vysoké učení technické, 2002, 242 s. ISBN 80-214-2162-2.
- [9] BENEŠ, Milan a Bohumil MAROŠ. *Poradenská příručka: Křivky přetvárných odporů ocelí*. díl 1. Technickoekonomický výzkumný ústav hutního průmyslu: Praha, 1984.
- [10] FOREJT, Milan. *Vybrané statě z teorie tváření-HVT: Postup výpočtu složené lisovnice s jednou objímkou*. ÚST-odbor tváření kovů a plastů. FSI-VUT v Brně, 2013.
- [11] FOREJT, Milan. ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE. *Oborový projekt 2: Syllabus*. 1. vyd. FSI-VUT: Brno, 2003.
- [12] ŠLAIS, Miroslav. *Studium vlivu rychlostních a teplotních parametrů na tvařitelnost Ti slitin* [online]. 2012 [cit. 2013-05-12]. Disertační práce. FSI-VUT Brno. Vedoucí práce prof. Ing. Milan Forejt, CSc.
- [13] FOREJT, Milan, Jan KREJČÍ a Jaroslav BUCHAR. *Teorie a technologie tváření vysokými deformačními rychlostmi a energiemi: Vybrané statě z tváření*. 1. vyd. Vypracováno v rámci projektu PV 332/1994/VŠAV Program rozvoje vzdělávání, 1994.
- [14] FOREJT, Milan. Příspěvek k optimalizaci zpevnění přesných objemově tvářených součástí. In: *FORM 2004*. 1. vyd. VUT-Fakulta strojního inženýrství: Ústav strojírenské technologie, 2004.
- [15] FOREJT, Milan, Antonín HUMÁR, Miroslav PÍŠKA a Libor JANÍČEK. *Experimentální metody: syllabus*. 1. vyd. VUT- Fakulta strojního inženýrství, 2003.
- [16] Pásová pila PEGAS 290x290 A-CNC-F. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.uniron.cz/lisovna>

- [17] Soustruh PINACHO MUSTANG 225/1000. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.metosa-pinacho.com/es/productos/tornos_cnc/mustang_225.html
- [18] Příklady součástí vyráběných objemovým tvářením za studena. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.coldform.co.uk/cold.php>
- [19] Přetržená tyč z tahové zkoušky. [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.quido.cz/mereni/tah.htm>
- [20] Postupový tvářecí automat HATEBUR BKA-3. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.redimo.com/images/daten/fr/hatebur_bka_3_fr.pdf
- [21] Pracovní prostor tvářecího automatu HATEBUR BKA-3. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.steinfels-kg.de/maschinen3_M08E7092_M08_en.html
- [22] Databáze materiálových modelů k predikci chování materiálů v tvářecím procesu. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu.htm
- [23] Generátor citací. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/dok/QZsxFaVdR3S7j70X>
- [24] Součásti zhotovené objemovým tvářením za studena. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.grandeurfasteners.com/coldforming.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
Φ_{hl}	[-]	Logaritmické přetvoření hlavy
Φ_I	[-]	Logaritmické přetvoření I. části dřívku
Φ_{II}	[-]	Logaritmické přetvoření II. části dřívku
Φ_{krit}	[-]	Kritické log. přetvoření
OTs	[-]	Objemové tváření za studena

Symbol	Jednotka	Popis
L_0	[mm]	Počáteční délka tyče
L_U	[mm]	Konečná délka tyče
d_0	[mm]	Počátečný průměr tyče
d_U	[mm]	Konečný průměr tyče
ΔL	[mm]	Přírůstek prodloužení tyče
R_m	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
F_m	[N]	Síla před porušením tyče
A	[%]	Tažnost
K	[%]	Kontrakce
S_0	[mm ²]	Počátečný průřez tyče
S_U	[mm ²]	Konečný průřez tyče
ε_T	[%]	Poměrné stlačení
H_0	[mm]	Počáteční výška vzorku
H_1	[mm]	Konečná výška vzorku
ε_S	[%]	Poměrné rozšíření
φ	[-]	Deformace
$\dot{\varphi}$	[s ⁻¹]	Rychlost deformace
V	[mm ³]	Objem součásti
D_s	[mm]	Střední průměr vzorku
σ_P	[MPa]	Přirozený přetvárný odpor
A_j	[J·mm ⁻³]	Jednotková přetvárná práce

C_0	[m·s ⁻¹]	Rychlost elastické vlny
T	[s]	Doba trvání rázu
v	[m·s ⁻¹]	Rychlost impaktoru
l_f	[μm]	Vzdálenost fotodiod
t_p	[μs]	Doba průletu
ΔR_1	[mm]	Přírůstek poloměru tyče
R_1	[mm]	Poloměr tyče
ε_Z	[-]	Osová deformace tyče
μ	[-]	Poissonovo číslo
σ_I	[MPa]	Def. napětí vyvolané zatěžujícím pulzem
σ_R	[MPa]	Def. napětí vyvolané odraženým pulzem
σ_T	[MPa]	Def. napětí vyvolané prošlým pulzem
σ_{dy}	[MPa]	Dynamická mez kluzu
ρ	[kg·m ⁻³]	Hustota materiálu
X	[mm]	Délka nedeformované části vzorku
$a_{stř}$	[m·s ⁻²]	Střední zpomalení
a_{max}	[m·s ⁻²]	Maximální zpomalení
T	[K]	Teplota materiálu
T_m	[K]	Teplota tavení
T_0	[K]	Tepl. při statické mezi kluzu
C	[-]	Parametr citlivosti na rychlost přetvoření
B	[-]	Pevnostní parametr
D_1-D_5	[mm]	Průměry součástí
$\tilde{\alpha}$	[rad]	Oblouková míra
α_1	[1/K]	Stř. hodnota tep. roztažnosti lisovnice
α_2	[1/K]	Stř. hodnota tep. roztažnosti objímky
η	[%]	Využití stroje

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Materiály pro objímky a lisovnice
Příloha 2	Výkres spojovacího čepu
Příloha 3	Výkres sestavy nástroje
Příloha 4	Výkres průtlačníku ve 2. tvářecí operaci
Příloha 5	Výkres průtlačnice ve 2. tvářecí operaci

PŘÍLOHA 1 [10]

VÝBĚR NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ PRO PRŮTLAČNICE A OBJÍMKY

	Materiál	T _{KAL}	T _{JOP}	HRC	E	μ	Rm	Rd	R _{p0,2}	σ _D	α	R	
L I	SK 64	-	-	84	490000	0,26	1000	3400	0	750	0,0000063		
	SK 65	-	-	82,5	460000	0,26	1130	3140	0	850	0,000007		
S O V N	Ocel Mo-V 19830 M2 S 6-5-2 1.3343 EN HS 6-5-2	1140	620	62	220000	0,33	1665	3670	1480	1425	0,0000124	34	
I C E	Ocel Cr 19436 D3 X210Cr12 1.2080 EN X210CrW12	1060	520	59	208000	0,30	1860	3680	-	1620	0,0000128		
			60										
			61										
O B J í M K A	Ocel W-Cr-V 19733 60WCrV7 1.2550 EN 55WCrV8	920	570	47	206000	0,30	1790	-	1670	1525	0,0000136		
			49										
O B J í M K A	Ocel 19740	1025	500	47	207000	0,30	1570	-	1320	1300	0,0000126		
			600	46					1480			1390	1360
			620	45					1410			1370	1340
O B J í M K A	Ocel Si-Cr 19452 62SiMnCr4 1.2101	850	370	50	206000	0,30	1745	3040	1560	1500	0,0000130		
			400	47					1645	3090		1500	1450
O B J í M K A	Ocel 14.260.7	840 olej	450	49,5	200000	0,30	1670		1470				
			580	44					0370		1170		
O B J í M K A	Ocel 14.260.8	880	400	51	200000	0,30	1770		1580	1500			
			540	46					1470		1270		
O B J í M K A	Ocel Ni-Cr- Mo 19655 X45NiCrMo4 1.2767 EN 40NiCrMoV16												