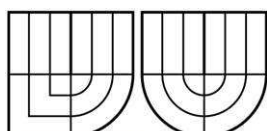


VYSOKU ĀENTECHNICK V BRN Ě
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INENRSTV
ÚSTAV STROJRENSK TECHNOLOGIE



FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VROBDUTHO ĀEPUSP ŘRUBO UTV ŘENÍM
FORMING OF THE HOLLOW PIN WITH UPPER FLANGE

BAKALÁRSKÉ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN JEDOVNICK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

DOC. ING. JIND ŘCHŠPA ĀEK, CSC.

BRNO2009

Vysoká škola technická v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojní a technické technologie

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student: Jan Jedovnický

který studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní a technické technologie (2303R002)**

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

Výroba dutého čepu s řířubou tvá řením

v anglickém jazyce:

Forming of the hollow pin with upper flange

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhnout technologický postup výroby zadané součásti objemově tvá řením a zpracovat technickou dokumentaci

Cíle bakalářské práce:

Zhodnotit zadanou součást z hlediska možných způsobů její výroby.

Navrhnout a zpracovat technologický postup výroby zadané součásti víceoperačním objemově tvá řením zastudena.

Vyhotovit výkresovou dokumentaci nástrojů (soustavy a určených detailů).

Zpracovat technicko-ekonomické zhodnocení navrženého postupu výroby.

Formulovat závěrečnou doporučenou realizaci navržené technologie.

Seznam odborné literatury:

1. BABOR, Karel a CVILINEK, Augustin a FIALA, Jan. Objemové tváření oceli. Praha: SNTL, 1967. 300s.
2. FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jindřich Špaček, 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

JEDOVNICKÝ Jan: Výroba dutého čepu s řířubou tvářením.

Jedovnický Jan: Výroba dutého čepu s řířubou tvářením. Závěrečná práce bakalářského studia 3. ročníku, školního roku 2008/2009. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, odborná řešení úřadů plastů.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru Strojírenská technologie (2303R002) předkládá návrh technologie výroby dutého čepu s řířubou z oceli 12040 tvářením za studena. Na základě konzultací, literární studie a výpočtů bylo navrženo tváření na víceoperačním postupovém tvářecím automatu TPZK25 s nominální tvářecí silou 5.000 kN.

Klíčová slova: Ocel 12 040, tváření, přetlačování, postupový automat TPZK25

ABSTRACT

JEDOVNICKÝ Jan: Forming of the hollow pin with upper flange.

Jedovnický Jan: Forming of the hollow pin with upper flange. Bachelor's Thesis, school year 2008/2009. FSI VUT in Brno, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Manufacturing Technology.

A project developed during a bachelor's study of a program Mechanical Engineering (2303R002) brings in a proposal of a technology of cold forming of the hollow pin with upper flange out of 12040 steel. The forming on a multi-stage processual automatic machine TPZK25 with nominal forming power 5.000 kN was projected based on consultations, study of literary resources and calculations.

Keywords: 12 040 steel, forming, compressing, squinting, processual automatic machine TPZK25

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JEDOVNICKÝ, Jan. *Výroba dutého čepu s řířubou tvářením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 44 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jindřich Špaček, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 15.5.2009

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. B. Jedovnickému, CSc., Doc. Ing. J. Špačkovi, CSc., Ing. J. Jedovnickému, Ing. M. Mareškově a Ing. K. Podanému za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.:

1 ÚVOD	9
2 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ	10
2.1 Fyzikální a metalurgické základy tváření	11
2.2 Základní zákony plastické deformace	12
2.3 Odpor při tváření	12
2.4 Deformace při tváření v teple	13
2.5 Vliv plastické deformace na strukturu a vlastnosti použitého materiálu	14
3 PŘEHLED METOD VĚLENÍ MATERIÁLU	16
3.1 Stříhání	16
4 PROTLAČOVÁNÍ KOVŮ ZASTUDENA	17
4.1 Hlavní zásady protláčování a výpočet přetvoření	17
4.2 Porovnání výroby součástí obráběním a tvářením	19
4.3 Materiál a jeho úprava	20
4.4 Nástroje	21
4.5 Stroje	21
5 ZHODNOCENÍ ZADANÉ SOUČÁSTI	23
6 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	25
7 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY	30
8 NÁVRH STROJE	37
9 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	38
10 ZÁVĚR	41

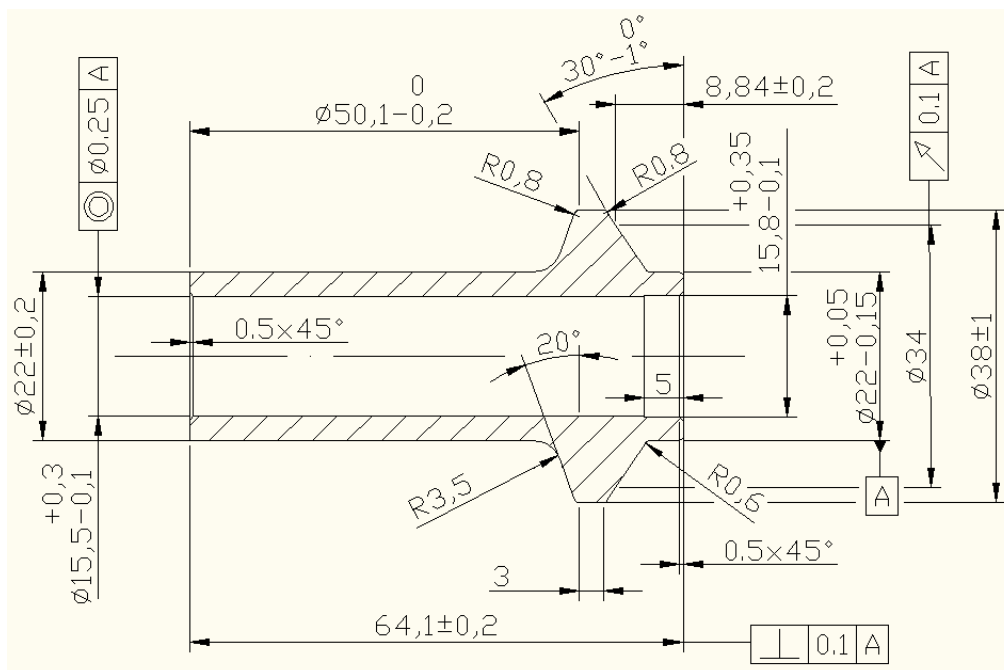
Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých zkratk a symbolů

Seznam příloh

1 ÚVOD

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout několik variant technologických postupů výroby dutého čepu s přírubou nebo pouzdra silentbloku viz. obr. 1.1 a obr. 1.2. Jako materiál pouzdra byla zvolena dle výkresové dokumentace ocel 12040. Navržené varianty výroby byly zhodnoceny z hlediska finančních nákladů na materiál zvolený byl ten nejekonomičtější. Zvolená varianta (výroba tvářením) byla dále zpracována. Byly provedeny technologické a technicko-ekonomické výpočty a zhotovena výkresová dokumentace. Předpokládaná velikost série je 250.000 ks/rok. Součástí byla zadána firmou J-VST s.r.o. Brno.



Obr.1.1 Nákres zadání součásti



Obr.1.2 3D model zadání součásti

2 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ

[1],[2],[4],[5]

Technologie tváření kovů představuje výrobní proces, při němž dostávají polotovary po zpracování konkrétní navržený tvar za působení vnějších sil bez porušení materiálu. Tváření patří do oblastí beztržiskových technologií. Tváření se zhotovují polotovary určené ke dalšímu zpracování tvářením, obráběním atd., ale i hotové výrobky rozmanitých tvarů a rozměrů. Tváření má v hutní a zejména v strojírenské výrobě velký význam. Jedná se o ekonomicky efektivní technologii, která se převážně uplatňuje v sériové a hromadné výrobě. Základní dělení tváření je na tváření plošné a objemové. Plošné tváření zahrnuje operace jako stříhání, ohýbání, tažení a tvarování. Objemové tváření se uskutečňuje buď pod rekrystalizační teplotou (tzv. tváření za studena) a zahrnuje operace jako jsou například ražení, přechování a protlačování. Tváření nad rekrystalizační teplotou (tzv. tváření za tepla) zahrnuje volné kování a zápuštění.

Historie a současnost

Technologie se zformovala v samostatnou vědu na konci 18. století. Ve svém rozvoji se opírala o výsledky převážně přírodních a technických věd. Výroba plechu válcováním se unástrahuje už od dob zavedení vysokých pecí koncem 18. století. V technologii zpracování plechů, zvláště při hlubokém tažení, byl vykázán kvalitativní skok požadavky armády na výrobu nábojníc. Protlačování ocelí zastaveno se uvádí už od roku 1933.

V období 2. světové války, v důsledku stavby velkých lodí a letadel, se objevily požadavky na velkoplošné výlisky. Tehdy na základě válečných poznatků o účinku deformace ve vodě začala průmyslová realizace technologie tváření výbuchem.

V současné době již není nepřekonatelným problémem tváření prakticky jakýkoliv kov nebo slitinu. Tvářecí stroje i nástroje jsou schopny zpracovat i velmi tvrdé a málo tvárné kovy. Při tzv. hydrostatickém tváření, kdy je materiál obklopen kapalinou o tlaku 5.000 MPa lze plasticky tvářet i mramor nebo jemu vlastnostmi podobné kovy.

Zavedení nových progresivních technologií umožňuje v podmínkách tržní ekonomiky zvyšovat nadále produktivitu práce, přispívat k vyšší kvalitě produkce, snižovat výrobní náklady a respektování ekologických hledisek výroby.

Pozornost je třeba věnovat aspektům jako jsou ekonomické tváření malých sérií výrobků, kdy zatím poměrně vysoká cena tvářecího nástroje hraje negativní úlohu v celkové cenové kalkulaci => tváření s maximální možnou přesností, aby součást vyžadovala jen minimum dokončovacích (tržiskových) operací, odstranění ruční práce v výrobním procesu nahrazením vhodným mechanizačním prostředkem pro tváření, případně prostředky pracujícími plně automaticky.

2.1 Fyzikální metalurgické základy tvářen

Působí-li na kovové těleso vnější síly, které uvedou těleso do plastického stavu, mění těleso svůj tvar. Účinkem sil vzniká současně v tělese napětí, neboť jeho vnější síly brání změně tvaru. Tvarová změna vyvolaná působením vnějších sil se nazývá řetvoření nebo plastická deformace. Při nízkých hodnotách vnější síly je deformace pouze pružná a platí pro ni Hookův zákon. Po odlehčení tělesa zanikne a těleso nabude původního tvaru. Trvalá deformace, která zůstane i po odlehčení se nazývá plastická. Elastická i plastická deformace se pod zatížením vyskytují současně. Když působit vnější síly, elastická deformace zanikne a zůstane pouze plastická, která způsobí, že těleso je trvale deformováno.

Plastická deformace má zásadní význam z hlediska tvářecích procesů. Fyzikální vlastnost kovů, která umožňuje jejich plastickou deformaci se nazývá plasticita. Plastická deformace krystalických materiálů se uskutečňuje pohybem dislokací a tubu d' skluzem nebo dvojčatěním.

Skluz se uskutečňuje posuvem dislokací ve skluzových rovinách krystalu, což jsou souzprávné roviny s nejvyšší hustotou atomů.

Při dvojčatěním dochází k náhlému přeskupení celé krystalové mřížky v některé části krystalu tak, že původní a přeskupená mřížka jsou zrcadlově symetrické vzhledem k tzv. rovině dvojčatěním. Dvojčatěním umožňuje jen malé deformace, které jsou doprovázeny relativně velkým zpevněním.

U polykrystalických materiálů se vyskytuje i jiný mechanismus plastické deformace spočívající ve vzájemném pohybu a natáčení zrn. Uvedený způsob umožňuje dosáhnout vysoké stupně deformace za určitých podmínek a je základem „superplasticity“.

Metalurgie ocelí

Základním předpokladem dosažení požadovaných mechanických a technologických vlastností ocelí je dodržení předepsaného chemického složení. Značný vliv na požadované vlastnosti má i čistota, tj. obsah P, S, doprovodných a stopových prvků, plynů a nekovových městek.

Fosfor: již při nízkých obsazích zhoršuje vlastnosti ocelí. Zvyšuje náchylnost ocelí ke vzniku trhlin a prasklin.

Síra: zhoršuje vlastnosti tvářených i litých ocelí. Morfologie a rozložení sulfidů má totiž vliv na vrubovou houževnatost, mezúnavyatečení.

Doprovodné a stopové prvky: jsou v ocelích přítomny v tisícinách až desetinách procenta. Jsou to například Cu, As, Sb, Sn, Zn, Pb aj. Dostávají se do ocelí ze složek surovin případně během výrobního procesu a mají vliv i na některé vlastnosti ocelí.

Vodík: zhoršuje plastické vlastnosti, snižuje pevnost a vrubovou houževnatost.

Dusík: se vzrůstajícím obsahem se zvyšuje pevnost a tvrdost. Tažnost, kontrakce a vrubová houževnatost klesá. Způsobuje tzv. „stárnutí oceli“, zvyšující její tvrdost a křehkost.

2.2 Základní zákony plastické deformace

Při řešení problematiky tváření se vychází z určitých základních zákonů.

Zákon stálosti objemu: vychází z předpokladu o nestlačitelnosti kovů při plastické deformaci materiálu.

Zákon nejmenšího odporu: ze všech možných směrů pohybu bodů tvářeného tělesa se každý bod bude pohybovat ve směru nejmenšího odporu. Zákon se využívá při konstrukci tvářecích nástrojů.

Zákon o řídivných napětích a nerovnoměrnosti deformací: při konkrétní tvářecí operaci je napětí rozloženo nerovnoměrně, a tedy i deformace. Nerovnoměrnost je především způsobena třením na styčných plochách materiálu s nástrojem, nehomogenitou mechanických, fyzikálních – chemických vlastností, tvary a rozměry deformovaného materiálu atd.

Zákon podobnosti: umožňuje na základě tvářecích pochodů v modelových podmínkách posuzovat odpovídající parametry při reálném relativně složitějším tvářecím procesu. Zákon podobnosti respektuje tři druhy podmínek: geometrickou, mechanickou a fyzikální podobnost.

2.3 Odpor při tváření

K dosažení požadované změny tvaru materiálu tvářením je třeba překonat odpor materiálu proti plastické deformaci.

Deformační odpor (technologický): je souhrn všech napětí v deformovaném materiálu, které působí proti napětí vyvolanému vnějšími silami. Deformační odpor je rovinnou součtu hodnot $\sigma_{\text{p}}^{\text{přirozený}}$ a $\sigma_{\text{p}}^{\text{převárný}}$.

Pasivní odpory: mimo tváření zde patří i geometrie tvářeného dílce, vliv odlišnosti konkrétní poměrné rychlosti deformace a rychlosti užitého přístroje, vliv nerovnoměrného rozložení, které je ve svém důsledku důsledkem řídicího komplikovaného tvaru tvářeného dílce a nehomogenního teplotního pole. Dále je třeba respektovat i změnu napjatosti při reálném tvářecím procesu a experimentální zjišťování převárného odporu.

Přirozený převárný odpor: je odpor materiálu proti působení vnějších sil za podmínek jednoosého stavu napjatosti. Závisí obecně na jeho chemickém složení, struktuře, velikosti a rychlosti deformace a teplotě tváření.

Deformační odpor (skutečný): představuje napětí, které je třeba překonat při deformaci konkrétního materiálu v určitých podmínkách technologického postupování tváření.

Znalost hodnot deformačních odporů má význam v praxi při navrhování technologického postupování tváření. K řízení deformačních odporů se zjišťují pomocí zkoušky, která probíhá při určité teplotě a v určitém rychlostním intervalu.

2.4 Deformace tváření metálové

Rozeznáváme dva typy tváření: sekvence technické praxe je častěji vyjadřují pomocí absolutní deformace, poměrné deformace, redukce, skutečné logaritmické deformace s přihlednutím rychlosti deformace.

Absolutní deformace (Δl):

je absolutní změna délky vzhledem k původní délce:

$$\Delta l = l_0 - l_1 \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

kde l_0 ...výchozí délka [mm]
 l_1 ...konečná délka [mm]

Poměrná deformace (ε):

představuje poměr absolutní deformace a původního rozměru v případech přechování a jednoosého tahání:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad [-] \quad (2.2)$$

Redukce (R):

vyjadřuje poměr absolutní deformace v procentech:

$$R = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2.3)$$

Skutečná logaritmická deformace (φ):

$$\varphi = \ln \frac{\Delta l}{l_0} \quad [-] \quad (2.4)$$

Rychlost deformace (poměrná rychlost tváření) ($\dot{\varepsilon}$, $\dot{\varphi}$):

je definována jako rychlost, s jakou se mění rozměr vzhledem k původnímu rozměru, které jsou od sebe vzdáleny o jednotku délky. Závisí na výšce tváření (h) a při stejné rychlosti nástroje (v) je tím větší, čím menší je výška tváření (h). Deformační rychlost není totožná s rychlostí nástroje (v).

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{v}{h} \text{ [s}^{-1}] \quad (2.5)$$

kde h ...výška tváření [mm]
 v ...rychlost nástroje [mm · s⁻¹]

2.5 Vliv plastické deformace na strukturu a vlastnosti použitého materiálu

S rostoucími stupni deformace se mění tvar zrna. Při úvodně polyedrická zrna se prodlužují ve směru řezavující deformace, až se z nich stanou protažená vlákna s poměrně malými příčnými rozměry. Důsledkem plastické deformace je také změna orientace krystalové řížky. Při úvodní náhodné orientaci se během plastické deformace mění i směrem.

Při úvodním jevu deformace materiálu je také deformační zpevnění. Deformační zpevnění kovů a slitin je doprovázeno změnou jejich mechanických vlastností. Při snižování tažnosti a kontrakce, vzrůstá pevnost a tvrdost. Zvýšení pevnostních hodnot tvářených materiálů je v mnoha případech v technické praxi nežádoucí. Zejména ve víceoperačních tvářecích procesech. Na druhé straně se poměrně často využívá.

Deformační stárnutí: představuje změnu vlastností tvářeného materiálu v závislosti na čase a teplotě. Deformační stárnutí způsobuje pokles tažnosti a dochází ke vzniku ostré horní meze kluzu. Mez kluzu se zvyšuje s větší intenzitou než mez pevnosti, což má za následek zhoršení tvárnosti za studena. Stárnutí způsobují sloučeniny dusíku s kovy na hranicích zrn a kluzných rovin. Tento proces je charakteristický pro neúklidněné oceli.

Zotavení, rekrytalizace, zamezení snížení deformačního stárnutí

Zotavení: je-li zastavena deformovaná kovová látka na teplotu $T \leq 0,3 \cdot T_{tav}$, dochází vnitřní stav k změnám, které se projevují postupným zmenšováním zpevnění. Struktura deformovaná předchozím tvářením se nemění a celý proces probíhá v submikrostrukturu. Zotavovací proces je procesem nevratným.

Rekrytalizace: probíhá za teplot $T \geq (0,35 \div 0,45) \cdot T_{tav}$ a celý proces je doprovázen změnou mechanických a fyzikálních vlastností. Rekrytalizací získává materiál výtvarku, zpevněný vlivem předchozího tvářením, své úvodní vlastnosti a v některých případech v důsledku rovnoměrnější struktury po tvářením dokonce vlastnosti lepší vzhledem k vyšším hodnotám. Deformovaná mřížka tvářením je při procesu rekrytalizace nahrazena mřížkou novou, nedeformovanou. Kritický stupeň deformace nastává u nízkouhlíkové oceli při obvykle malých stupních deformace cca 8% až 10% a má za následek zhrubnutí zrna v strukturu. Obecně lze říci, že kritické oblasti tvářením, kdy dochází k růstu zrn, je při nižších teplotách kolem 5% až 20% stupně deformace. Hruba zrna rekrytalizovaný materiál lze regenerovat ohřevem na teplotu fázové přeměny následným volným chlazením navzdůch nebo další tvářením, je-li to technicky možné (normalizační žhání).

Možnosti zamezení popř. snížení deformace při stárnutí:

Pro dosažení vyšší odolnosti oceli proti deformaci při stárnutí při běžné teplotě prostředí 20°C je možné použít zásady z níže uvedených čtyř skupin:

- úprava chemického složení
- tepelné zpracování
- tváření za studena nezbytným úběrem na válečkových rovňáčkách nebo válcovacích stolicích
- snížení teploty oceli a doby její skladování

3 PŘEHLEDMETODD ĚLENÍMATERIÁLU

[1],[2]

Volba způsobu dělení polotovaru souvisí s požadavky na přesnost a kvalitu dělené plochy.

Dělení řezáním: za použití okružních, rámových, kotoučových nebo pásových pil. Z hlediska produktivity a kvality dělené plochy jsou nejčastěji používané pásové pily. Řezání s využitím pil se používá tam, kde nelze stříhat z úvodu velkého průřezu. Nevýhodou je poměrně malá produktivita, vysoké náklady a ztráty prořezem. Kvůli poměrně hladký řez v četně dodržení přesnosti i hmotnosti řezaného materiálu.

Dělení upichováním: je málo produktivní říznáčná metoda řezání materiálu.

Dělení rozbrušováním: používá se brusného kotouče. V dělicí ploše dochází k prudkému vzrůstu teploty a místnímu tepelnému ovlivnění. Vzniká též značný otřep. Je však mnohem produktivnější než metody dříve uvedené.

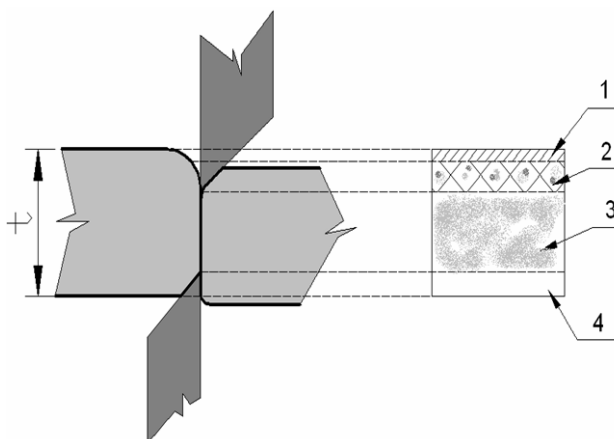
Dělení stříháním: je nejrozšířenější technologická operace ve strojírenské výrobě tváření. Stříhání se používá například při dělení tabulí plechu, tyčí kruhového nebo kruhového průřezu. Materiál se může dělit za studena nebo za tepla.

Další metody dělení: lámání, sekání, laserem, vodním paprskem, ultrazvukem...

3.1 Stříhání

Rozbor střízného procesu

Podstata stříhání spočívá v odělování materiálu protilehlými břity nože. Oddělení nastane přesně v žádané rovině. Je to proto, že materiál je elastický, tvárný a smykové napětí způsobuje tlak nože na celé ploše. Proces stříhání se víceméně přibližuje čistému smyku. Stříhání probíhá ve třech fázích a střízná plocha se skládá ze čtyř pásů, viz obr. 3.1.



Obr. 3.1 Pásmo střízných ploch: [1]

1. pásmo zaoblení, 2. pásmo vlastního řihu, 3. pásmo otržení, 4. pásmo otlačení

Výpočet střízného síly:

$$F_{s_{max}} = (1,15 \div 1,30) \cdot S \cdot \tau_{ps} \quad [N] \quad (3.1)$$

kde S...plocha úvodního průřezu v rovině [mm²]

R_m...mezpevnost [MPa]

τ_{ps}...pevnost v řihu [Mpa]

$$\tau_{ps} = 0,8 \cdot R_m$$

4 PROTlačOVÁNÍKOV ŮZASTUDENA

[1],[2],[8],[9],[10]

Technologie tváření, při které dochází k přeměně polotovaru na tělesar úzného tvaru, většinou kruhového nebo symetrického průřezu. K přeměně dochází vlivem působení tlaku průtlačníku na materiál, který se vlivem působení prostorového stavu napjatost stává plastickým a dojde k přemístění jeho částic, přičemž nedojde k porušení soudržnosti jeho molekulární vazby.

Protlačováním lze zhotovit tvary, které je možné získat lišováním z plechu, ale přirovnání je protlačování hospodárnější. Další předností je vysoká přesnost a kvalita povrchu. Dosahuje se výrobních tolerancí IT8 až IT7 a v případě zařazení další tvářecí operace – kalibrování, až tolerance IT6 (tj. řádově přesnosti $\pm 0,05$ adrsnosti $R_a = 0,8$).

Na druhé straně má tato technologie určitá omezení ve výběru materiálu a nelze zaručit přesnou délku a výšku protlačků – je nutno upravit třískovým obráběním.

4.1 Hlavní způsoby protlačování a výpočet řetvoření

Podle směru tčení materiálu, vzhledem k pohybu průtlačníku, rozeznáváme různé druhy protlačování uvedené níže. Velikost řetvoření se v praxi používá max. 80%.

Zpětné protlačování:

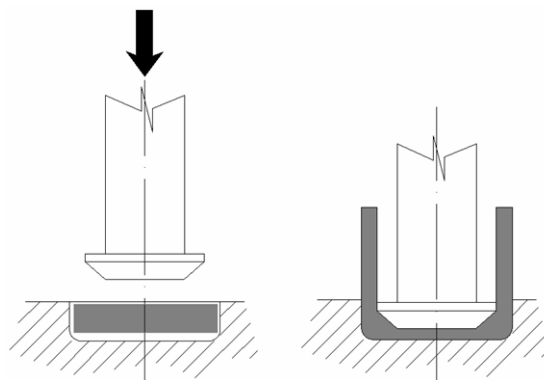
Polotovar je založen do uzavřené průtlačnice a tlakem průtlačníku se přivede do plastického stavu. Pak se přemísťuje mezerou mezi průtlačníkem a stěnou průtlačnice ve směru proti pohybu průtlačníku, jak je vidět na obr. 4.1.

Použití: výroby ve elektrotechnickém průmyslu, strojírenství a spotřební průmysl.

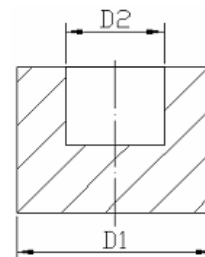
Výpočet řetvoření:

$$\varepsilon = \frac{D_2^2}{D_1^2} \cdot 100 [\%] \quad (4.1)$$

$$\varphi_h = \ln \frac{D_1^2}{(D_1^2 - D_2^2)} \quad [-] \quad (4.2)$$



Obr. 4.1 Zpětné protlačování

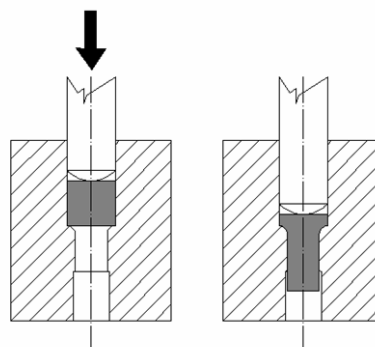


Obr. 4.2 Zpřesné protlačování

Dopřednéprotla čování:

Materiál se přemísťuje ve směru souhlasném se směrem pohybu přetlačníku viz. obr. 4.3. Konečný tvar dává protlačovací přetlačnice. Jako polotovar se používá plný nebo dutý materiál, získaný například z protlačování.

Použití: výrobky čepového charakteru, šrouby, svorníky, nýty, pouzdra, trubky a řídící trubky.



Obr.4.3 Dopřednéprotla čování

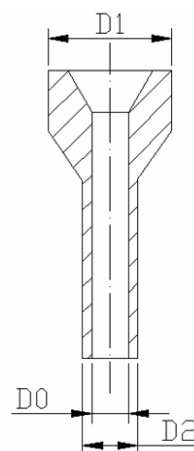
Výpočet přetvoření:

$$\varphi_h = \ln \frac{D_1^2}{D_2^2} [-] (4.3)$$

$$\varepsilon = \frac{(D_1^2 - D_2^2)}{D_1^2} \cdot 100 [\%] (4.4)$$

$$\varphi_h = \ln \frac{D_1^2 - D_0^2}{D_2^2 - D_0^2} [-] (4.5)$$

$$\varepsilon = \frac{D_1^2 - D_2^2}{D_1^2 - D_0^2} \cdot 100 [\%] (4.6)$$

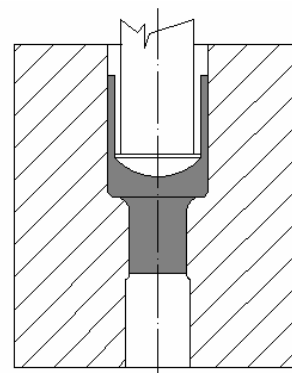


Obr.4.4 Dopřednéprotla čování

Kombinovanéprotla čování:

Vzniká kombinací z předního a dopředného protlačování. Část materiálu se přemísťuje před čelem přetlačníku a vyplňuje dutinu přetlačnice a část materiálu vytváří přední nádobu viz. obr. 4.5.

Použití: průřezně profilované součásti

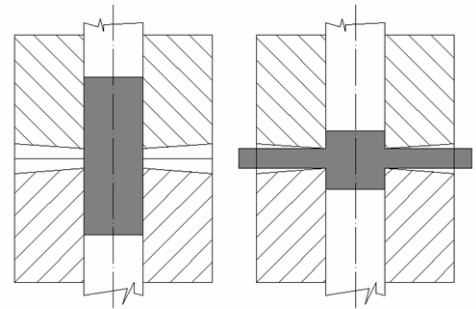


Obr.4.5 Kombinovanéprotla čování

Stranové protlačování:

Polotovar je vložen do dělené průtláčnice a uzavřen průtláčníky z obou stran tak, že se čení materiálu je umožněno pouze v směru kolmém k podélné ose polotovaru viz. obr. 4.6.

Použití: jsou částky výstupky po obvodu...



Obr. 4.6 Stranové protlačování

Protlačovací síla:

Na velikost protlačovací síly mají vliv tyto parametry:

- chemické složení a mechanické vlastnosti materiálu
- přípravu před protlačováním (zejména mazání)
- geometrii nástroje
- velikost redukce (čím větší redukce, tím větší síla)
- velikost průtláčníku (čím větší plocha průtláčníků, tím větší síla)
- tloušť vrstvy dutých součástí (čím je tenčí, tím je síla větší)
- druh použitého stroje

$$F = p \cdot S \text{ [N]} \quad (4) \quad .7)$$

kde p ...měrný tvářecí tlak [MPa]
 S ...čelní plocha průtláčníků [mm²]

4.2 Porovnání výroby součástí obráběním a tvářením:



Obr. 4.7 Průběh vláken v obráběné a tvářené součásti [1]

Na obr. 4.7 jsou dvě součásti, levá součást je zhotovena obráběním a má vlákna přerušena. Pravá součást je zhotovena tvářením. Její vlákna jsou neporušena a přizpůsobena vnějšímu tvaru součástky. Zhuštěná vlákna zesilují oblast zvýšeného namáhání.

Na obr. 4.8 je znázorněn technologický postup výroby šroubu tvářením. Jak je vidět, nevzniká žádný odpad. Kdežto při obrábění by byly ztráty značné.



Obr. 4.8 Postup výroby šroubu tvářením zastyděl [10]

4.3 Materiálajehoúprava

Pro protlačování lze použít všech kovových materiálů, které jsou schopny plastické deformace. Nejčastěji používaným materiálem ke tváření je ocel, a to v širokém rozmezí od nízkouhlíkových ocelí až po legované a nerezové oceli. Vedle ocelí se při výrobě polotovaru pro technologii tváření používají lehké a barevné kovy včetně jejich slitin, zejména hliníkové a hliníkové slitiny, mosazi atd.

Neželezné kovy: svými mechanickými schopnostmi vyhovují protlačování nejlépe, protože v porovnání s materiálem nástrojů jsou velmi měkké a nevyžadují většinou žádnou speciální povrchovou úpravu s výjimkou některého žíhání některých slitin.

Používané materiály: Al a jeho slitiny, Cu a její slitiny, Pb, Zn, Sn, Ni, ...

Ocel: nejdůležitější materiál pro protlačování. Sestoupajícím stupněm deformace roste pevnost. Velmi důležité je věnovat pozornost přípravě polotovaru, jeho mazání, úpravě geometrie nástroje a volbě materiálu nástroje a jeho tepelnému zpracování. V praxi jsou nejvhodnější oceli do obsahu 0,2% C pro nízkolegované oceli. Při zvyšujícím se obsahu C a vyšším % legur se zvyšuje měrný tvářecí tlak a k dosažení konečnéhotvaru součástí je třeba více operací a tím mezioperačního žíhání.

Zpraxe platí, že neekonomický je ten materiál, při kterém je nutný tvářecí tlak vyšší než 2.500 MPa, nebo ten, u něhož nelze provést deformaci min. 25% v jedné operaci.

Stupeň přetvoření je limitován zpevněním materiálu a je proto nutné zachovat určitou hodnotu přetvoření, aby nenastalo porušení celistvosti protlačku. Přetvoření se vyjadřuje buď logaritmickým přetvořením φ_n nebo poměrnou změnou průřezu ε [%].

Příprava polotovaru

Zahrnuje tyto technologické operace:

- příprava rovnáním
- loupání materiálu (pro odstranění povrchových vad a pro zabezpečení přesného rozměru materiálu)
- dělení materiálu
- tepelné zpracování
- úprava povrchu (čištění, mražení, neutralizace, odmaštění...)
- fosfátování = vytvoření nosného povrchu pro mazivo. Fosfátová vrstva je pórovitá a dobře ulpí na povrchu polotovaru. Do svých pórů nasaje mazivo, které podrží po celou dobu tváření i po procesu.
- mazání (strojní olej - používaný k mazání stroje a nástrojů při chodu, technický olej, vápená voda, mazlavé mýdlo, molikot MoS₂)

4.4 Nástroje

Požadavky na nástroj:

- nástroj jako celek musí být dostatečně tuhý
- musí zajišťovat snadné vyhození protlačovacího nástroje
- musí mít dokonalé vedení funkčních částí
- musí zajišťovat snadnou montáž při tvorbě nástroje
- musí splňovat podmínky maximální životnosti a hospodárnosti při jeho zhotovení
- musí zajišťovat dokonalé mazání a chlazení nástroje
- musí splňovat podmínky bezpečnosti práce a zabraňovat zároveň možnosti poškození protlačovacího

Materiál nástroje:

Tab. 4.1 Materiály pro útláčnic Tab. 4.2 Materiály pro útláčnicků

Materiál pro útláčnic	
19436	56-62HRC
19474	52-56HRC
19614	58-60HRC
19721	max. 52HRC

Materiál pro útláčnicků	
19423	62-63HRC
19733	56-58HRC
19824	62-63HRC
19436	58-60HRC

Obvyklý materiál bandáž je ocel 14160 a ocel 142 60, obě z ušlechtilé nerezavějící oceli s pevností 1.200 MPa nebo ocel 19740 z ušlechtilé nerezavějící oceli s pevností 48-52 HRC.

Ostatní díly: konstrukční nebo nástrojové oceli (11600, 11700, 19423, apod.)

4.5 Stroje

Naprotlačovací je potřebovat, pokud má být sila, která musí působit na poměrně dlouhý dráze.

Požadavky na stroj:

- dostatečně zdvihberanů a conejvíššího čet zdvihů za minutu
- conejvíššího pracovního zdvihberanů k celkovému
- dostatečně tuhost lisu
- dlouhé vedení beranů
- velká tuhost stolu
- samostatně ovladatelný a restaurovatelný vyhadzovač
- možnost tuhého upnutí nástroje
- možnost poloautomatického nebo automatického podávání
- možnost restaurovatelnosti zdvihberanů
- kvalitní chlazení a mazání

Používají se mechanické lisování, hydraulické lisování a různé druhy speciálních lisování.

Mechanických lisů (obr. 4.9) se využívá tam, kde je potřeba poměrně malý zdvih beranů lisu, tj. hlavně při zpracování protlačování, kdy kalota má malou tloušťku. Používají se klikové, výstředníkové, kolenopákové a další lisy.



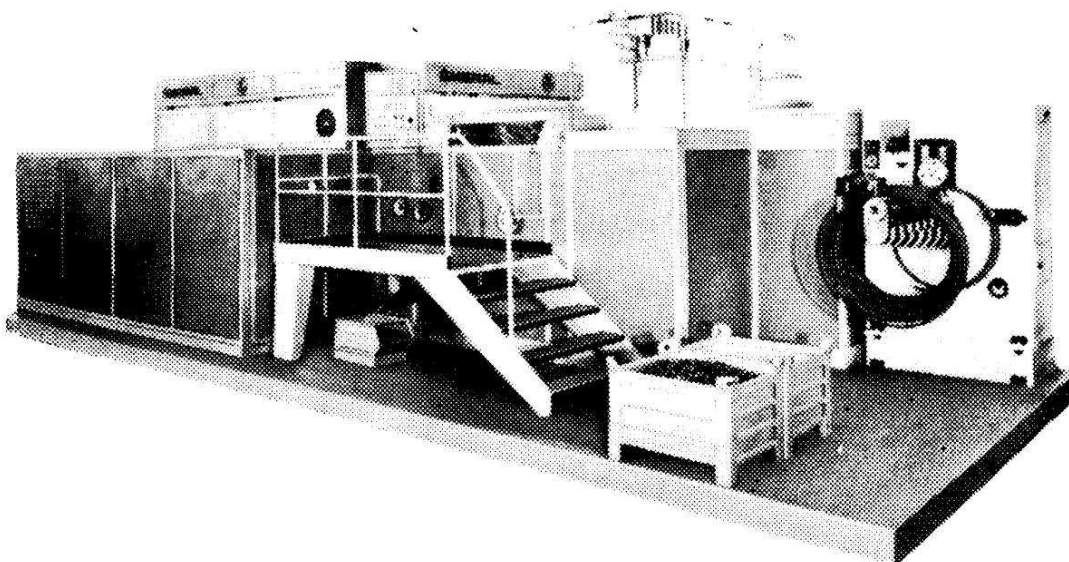
Obr. 4.9 Výstředníkový lis [9]



Obr. 4.10 Hydraulický lis [8]

Hydraulické lisy (obr. 4.10) jsou vhodné pro součásti o větší délce, neboť zajišťují konstantní sílu, v kterékoliv poloze beranu. Nevýhodou je malý počet zdvihů za minutu.

Speciální lisy (obr. 4.11) jsou určeny pro postupové tvářecí automaty pro hromadnou výrobu.



Obr. 4.11 TPZK25 (Tvářecí postupový automat) [10]

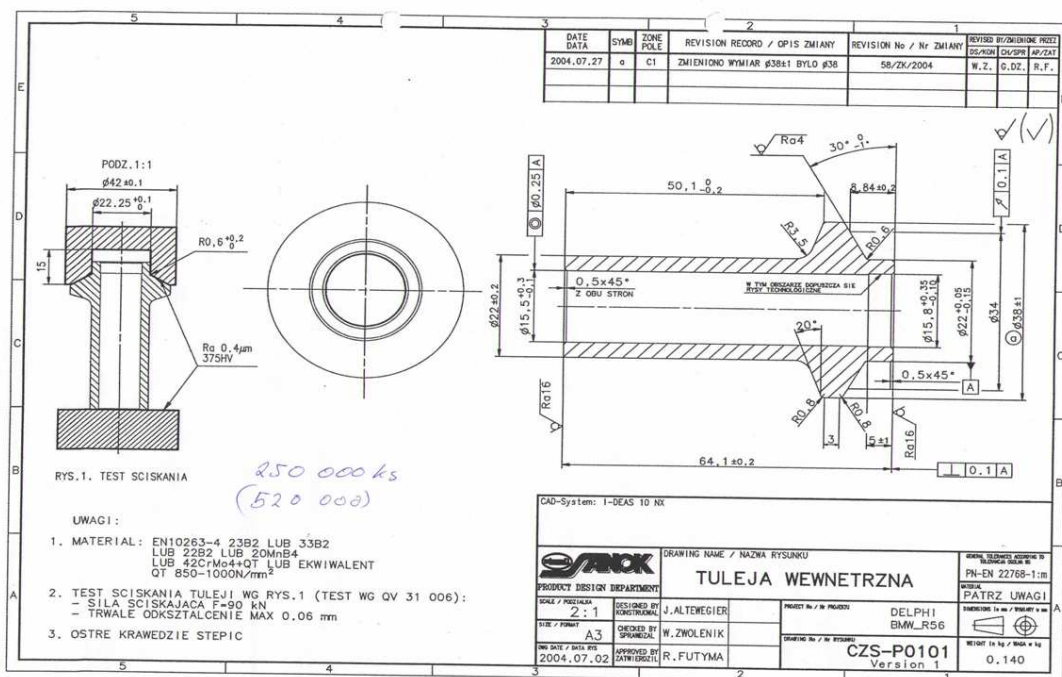
5 ZHODNOCENÍ ZADANÉ SOU ČÁSTI

[3],[6],[7]

Tab.5.1 Shrnutí základních údajů a údlevýkresové dokumentace

Název	TULEJA WEWNETRZNA
Materiál	42CrMo4=1.7225=15142 20MnB4=1.5525=12120,12122 33B2=1.5514 19MnB4 12040 23B2 22B2
Velikost série	250.000 ks/rok

Jedná se o pouzdro silentbloku, na které bude po je ho obvod ě navulkanizována pryž. Toto pouzdro má být ur ěeno konkrétn ě pro automobilku BMW. Požadovaná pevnost sou ěásti se pohybuje v rozmezí 850 MPa až 1.000 MPa a je zde dále požadavek, aby p ři axiálním zatížení silou 90 kN byla trvalá deformace max. 0,06 mm.



Obr.5.1 Originální výkres zadán sou ěásti

Byl zvolen materiál ocel třídy 12040, jelikož kvalitou je plně dostačující a dá se lehce dohledat v literatuře (Strojnické tabulky, Poradenská příručka-křivky přetvárných odporů, www, ceníky, ...).

Tab.5.2 Základní vlastnosti zvoleného materiálu

Označení dle ČSN	R_m [MPa]	R_{emin} [MPa]	Tvrdość [HB]	řída odpadu
12040	440-1030	225-550	135-290	002

Ocel k zkušebnímu tváření obsahuje obsah uhlíku $C = (0,32 \div 0,40)\%$. Kritické přetvoření při tváření nastane při $1,8212$. Mez pevnosti dle Poradenské příručky je $R_m = 589 \text{ MPa}$.

Nejčastější použití: část rozvodů, předlohy a klikové řízení, ojnice, páky, rotory pro turbogenerátory, zkušební šrouby, drát na lana, matice a podobně.

Tab.5.3 Základní teploty pro tepelné zpracování zvoleného materiálu

Teploty pro tepelné zpracování oceli 12040	
Normalizační žíhání	840–870°C
Žíhání naměkko	680–720°C
Kalení	840–880°C (voda, olej)
Popouštění	530–670°C

Výchozí materiál bude kruhová tažena tyč s úběrem 5% s přesností 9.

Objem hmotnosti součástí byl stanoven pomocí programu Inventor. Hodnota objemu je $V_{\zeta} = 18.040 \text{ mm}^3$ a hmotnost součástí činí $m_{\zeta} = 142 \text{ g}$.

Hmotnost celé série hotových součástí:

$$m_{\zeta s} = \text{série} \cdot m_{\zeta} = 250.000 \cdot 0,142 = 35.500 \text{ kg}$$

kde $m_{\zeta s}$... čistá hmotnost celé série [kg]
 m_{ζ} ... čistá hmotnost jedné součásti [kg]

6 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Pro výrobu součástí byly zvoleny tři způsoby, dva obráběním z kulatiny a tlustostěnné trubky a jeden objemovým tvářením zastudena.

$$V_{\zeta} = 18.040 \text{ mm}^3$$

$$m_{\zeta} = 142 \text{ g}$$

$$m_{\zeta s} = 35.500 \text{ kg}$$

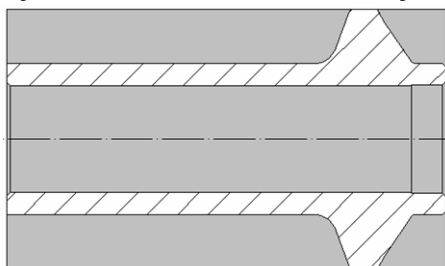
Ceny materiálů byly stanoveny dle informací z webových stránek oddělení firmy Ferona a.s., kde vycházel z aktuálního ceníku pro duben 2009.

Tab. 6.1 Ceny zvolených polotovarů

Φ38h9, ocel 12040	28,04K	č/kg
Φ28h9, ocel 12040	28,61K	č/kg
Tr Φ38/Φ14, ocel 12040	60,00K	č/kg

1. Varianta

Výroba obráběním z kulatiny



Výchozí materiál je kruhová tažená tyč Φ38h9 ČSN 426510 – 12040, která bude obráběna. Vnější max. průměr polotovaru je roven max. průměru výrobku. Daný rozměr nebude obráběn, jelikož rozměry součástí je ve velké toleranci ($\pm 1 \text{ mm}$) a polotovar dostatečně zajistí nejen danou přesnost, ale i odpovídající jakost povrchu. Tyč se bude řezat a následně

Obr. 6.1 Varianta č. 1 obráběním. Tyče se dodávají v délkách 3.000 mm a 6.000 mm, pro výrobu byla zvolena délka 3.000 mm z důvodu snazší manipulace a menších skladovacích nároků.

Délka jednoho kus polotovaru:

$$l_{p1} = l_s + p_d + p_o = 64,1 + 1 + 1 = 66,1 \text{ mm}$$

kde l_s ...délka jedné součásti [mm]

p_d ...přídavek na dělení polotovaru [mm]

p_o ...přídavek na obrábění polotovaru [mm]

Počet polotovarů uzjednotěný číselně:

$$i_{p1} = \frac{l_t}{l_{p1}} = \frac{3.000}{66,1} = 45,39 \text{ ks}$$

$$i_{pt1} = 45 \text{ ks}$$

kde l_t ...délka uzjednotěná číselně [mm]

Potřebný počet čínek série:

$$i_{t1} = \frac{\text{série}}{i_{pt1}} = \frac{250.000}{45} = 5.555,6 \text{ ks}$$

$$i_{t1} = 5.556 \text{ ks}$$

Celková hmotnost čí:

$$m_{t1} = i_{t1} \cdot l_t \cdot S_{t1} \cdot \rho = i_{t1} \cdot l_t \cdot \frac{\pi \cdot D_{t1}^2}{4} \cdot \rho = 5.556 \cdot 3.000 \cdot \frac{\pi \cdot 38^2}{4} \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 148.391,9 \text{ kg}$$

$$m_{t1} = 148.392 \text{ kg}$$

kde S_{t1} ... čelní plocha čí [mm²]
 ρ ... hustota oceli [kg · mm⁻³]
 D_{t1} ... průměr čí [mm]

Hmotnost odpadu:

$$m_{odp1} = m_{t1} - m_{cs} = 148.392 - 35.500 = 112.892 \text{ kg}$$

Cena materiálu na celou sérii:

$$P_{m1} = m_{t1} \cdot P_{p1} = 148.391,9 \cdot 28,04 = 4.160.908,9 \text{ Kč}$$

kde P_{p1} ... cena za 1 kg materiálu [Kč]

Zisk z vratného odpadu:

$$Z_{vo1} = m_{odp1} \cdot P_{vo1} = 112.892 \cdot 1,5 = 169.338 \text{ Kč}$$

kde P_{vo1} ... cena za 1 kg vratného odpadu [Kč]

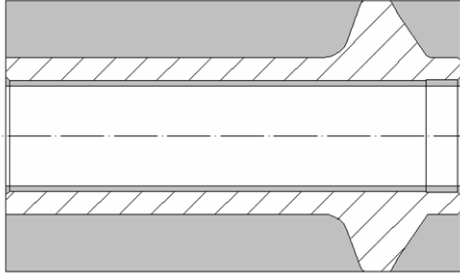
Náklad na jednu součást:

$$N_{m1} = \frac{P_{m1} - Z_{vo1}}{\text{série}} = \frac{4.160.908,9 - 169.338}{250.000} = 15,96 \text{ Kč}$$

Náklady za materiál pro variantu č. 1 jsou 16 Kč/ks.

2.Varianta

Výrobaobráb ěnímztrubky



Výchozípolotovarej řesnátrubka $\Phi 38/\Phi 14$ stolerancíroz m ěřů $\pm 0,15$ mm. Délka trubky bude stejn ě jako u kruhové ty ě 3.000 mm. Trubka se bude řezat a následn ě obráb ět.

Obr.6.2Varianta ě.2

Délkajednohokusupolotovaru:

$$l_{p2} = l_s + p_d + p_o = 64,1 + 1 + 1 = 66,1 \text{ mm}$$

Početpolotovar ůjedn ětrubky:

$$i_{pt2} = \frac{l_t}{l_{p2}} = \frac{3.000}{66,1} = 45,39 \text{ ks}$$

$$i_{pt2} = 45 \text{ ks}$$

Potřebn ýpo ěttrubeknacelous ěrii:

$$i_{t2} = \frac{s ěrie}{i_{pt2}} = \frac{250.000}{45} = 5.555,6 \text{ ks}$$

$$i_{t2} = 5.556 \text{ ks}$$

Celkováhmotnosttrubek:

$$m_{t2} = i_{t2} \cdot l_r \cdot S_r \cdot \rho = i_{t2} \cdot l_r \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot \rho =$$

$$= 5.556 \cdot 3.000 \cdot \frac{\pi \cdot (38^2 - 14^2)}{4} \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} =$$

$$= 128.250 \text{ kg}$$

$$m_{t2} = 128.250 \text{ kg}$$

Hmotnostodpadu:

$$m_{odp2} = m_{t2} - m_{ěs} = 128.250 - 35.500 = 92.750 \text{ kg}$$

Cenamateriálu nacelous ěrii:

$$P_{m2} = m_{t2} \cdot P_{p2} = 128.250 \cdot 60 = 7.695.000 \text{ Kě}$$

Ziskzvrátnehoodpadu:

$$Z_{vo2} = m_{odp2} \cdot P_{vo2} = 92.750 \cdot 1,5 = 139.125 \text{ Kě}$$

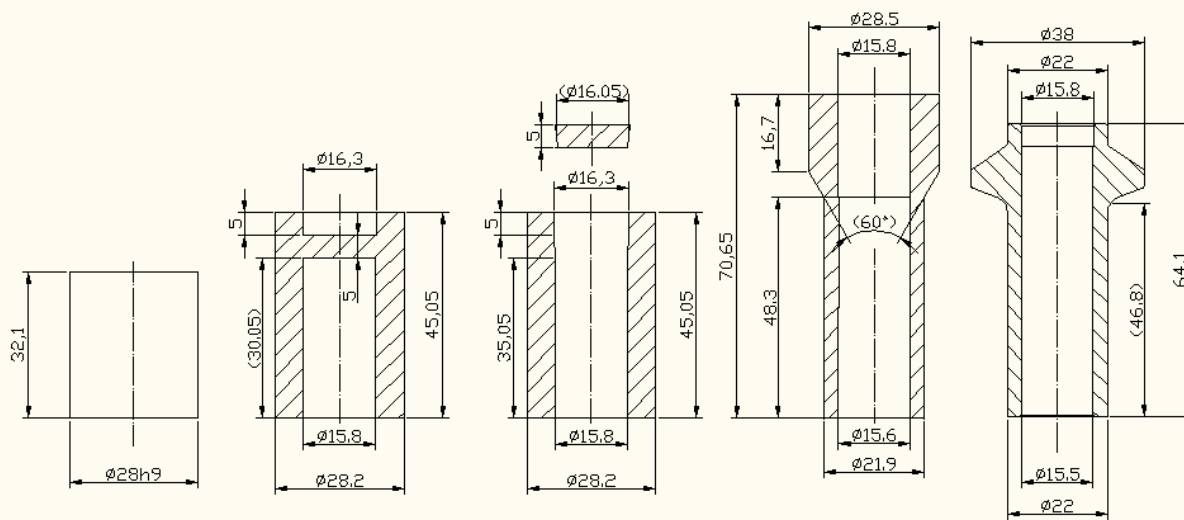
Nákladynajednosou část:

$$N_{m2} = \frac{P_{m2} - Z_{vo2}}{série} = \frac{7.695.000 - 139.125}{250.000} = 30,24Kč$$

Nákladyzamateriálprovariantu č.2jsou31K č/ks.

3.Varianta

Tvářenízastudena



Obr.6.3Varianta č.3

Výchozímateriálbudekruhovátaženátý čsúb ěrem5%, $\Phi 28h9$ adélky 3.000mm,kterásébudest říhat.

Délkajednohokusupolotovaru:

$$l_{p3} = l_s = 32,1mm$$

Početpolotovar úzjednýtý če:

$$i_{pt3} = \frac{l_t}{l_{p3}} = \frac{3.000}{32,1} = 93,5ks$$

$$i_{pt3} = 93ks$$

Potřebnýpo četty čínacelousérii:

$$i_{t3} = \frac{série}{i_{pt3}} = \frac{250.000}{93} = 2.688,2ks$$

$$i_{t3} = 2.689ks$$

Celkováhmotnostty čí:

$$m_{t3} = i_{t3} \cdot l_t \cdot S_{t3} \cdot \rho = i_{t3} \cdot l_t \cdot \frac{\pi \cdot D_{t3}^2}{4} \cdot \rho = 2.689 \cdot 3.000 \cdot \frac{\pi \cdot 28^2}{4} \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 38.993kg$$

$$m_{t3} = 38.993kg$$

Hmotnostodpadu:

$$m_{odp3} = m_{t3} - m_{ěs} = 38.993 - 35.500 = 3.493kg$$

Cenamateriálunacelousérii:

$$P_{m3} = m_{t3} \cdot P_{p3} = 38.993 \cdot 28,61 = 1.115.589,7Kě$$

Ziskzvratnéhoodpadu:

$$Z_{vo3} = m_{odp3} \cdot P_{vo3} = 3.493 \cdot 1,5 = 5.239,5Kě$$

Nákladynajednosou ěást:

$$N_{m3} = \frac{P_{m3} - Z_{vo3}}{série} = \frac{1.115.589,7 - 5.239,5}{250.000} = 4,44Kě$$

Nákladyzamateriálprovariantu ě.3jsou4,50K ě/ks.

Tab.6.2Porovnánínáklad ůnamateriálujednotlivýchvariant

Varianta	Ě.1	Ě.2	Ě.3
Nákladynamateriál1ks	16K ě	31K ě	4,5K ě

Volbavhodnévarianty

Ztab.6.2jevid ět,řenejekonomi ětřivyjdevarianta ě.3,tedyvráb ětdanou souěást tvá řením za studena. Sou ěást díky tvá ření získá i lepší mechanické vlastnosti,protobylatakětatovarianta ě.3zvolena.

Technologickýpostupvýrobysou ěásti

1. st řihatmateriálnarozm ěr $\Phi 28h9x32,1$ (hmotnost:155g)naLEPP100
2. řpalíkyřihatnam ěkko
3. řpalíkyfosfátovatanapustitmýdlem
4. lisovatnatvá řecíautomatuTPZK25
5. kontrolovat
6. balitaexpedovat

7 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

[1],[2],[3],[6]

0. Operace

Stříhání

Na mechanickém lisu LEPP 100 bude ustřížen polotovár pro výrobu na tvářecím automatu TPZK25.

Střížná síla

Kvůli čtubylazvolenahodnota 1,3.

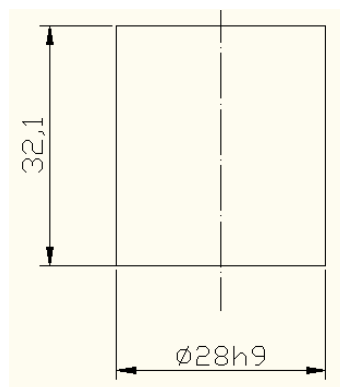
$$F = (1,15 \div 1,30) \cdot S \cdot \tau_{ps}$$

$$F = 1,3 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F = 1,3 \cdot \frac{\pi \cdot 28^2}{4} \cdot 0,8 \cdot 589$$

$$F = 377.185,2 N$$

$$F \cong 380 kN$$



Obr.7.1 Ustřížený polotovár na LEPP100

Potřebná síla strojem by měla být cca 400 kN (40t).

1. Operace

Pěchování

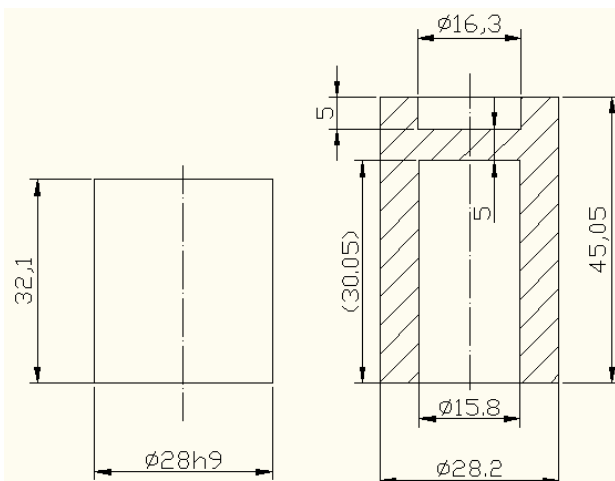
$\Phi 28 \rightarrow \Phi 28,2$

Zde je ustřížený polotovár pěchován do dutiny prutůtláčnice.

Logaritmické řetvoření

$$\varphi_{1,1} = \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} = \ln \frac{28,2^2}{28^2} = 0,014$$

kde D_0 ... výchozí průměr [mm]
 D_1 ... konečný průměr [mm]



Obr.7.2 První operace na TPZK25

Přirozený řetvární odpor

$$\sigma_{f,1,1} = 469,66 \cdot \varphi_{1,1}^5 - 2.375,82 \cdot \varphi_{1,1}^4 + 4.637,91 \cdot \varphi_{1,1}^3 - 4.244,41 \cdot \varphi_{1,1}^2 + 1.834,95 \cdot \varphi_{1,1} + 684,09$$

$$\sigma_{f,1,1} = 469,66 \cdot 0,014^5 - 2.375,82 \cdot 0,014^4 + 4.637,91 \cdot 0,014^3 - 4.244,41 \cdot 0,014^2 + 1.834,95 \cdot 0,014 + 684,09$$

$$\sigma_{f,1,1} = 708,96 MPa$$

Deformačníodpor

$$\sigma_{d1,1} = \sigma_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot f \cdot \frac{D_1}{H}\right) = 708,96 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,05 \cdot \frac{28,2}{16,7}\right) = 728,92 MPa$$

Tvářecísíla

$$F_{1,1} = \sigma_{d1,1} \cdot S = 728,92 \cdot \frac{\pi \cdot 16,3^2}{4} = 152.101,4N \cong 153kN$$

kde S...funk čníplochapr ůtlačníku[mm²]

Zpětnéprotlačování

Φ28,2 → Φ28,2/Φ16,3

Zdedocházíkobtékáníhorníhopr ůtlačníkuavznikározm ěr Φ28,2/ Φ16,3.

Logaritmickép řetvoření

$$\varphi_{1,2} = \ln \frac{D_1^2}{D_1^2 - d_1^2} = \ln \frac{28,2^2}{28,2^2 - 16,3^2} = 0,407$$

kde d...vnit řnípr ůměř[mm]

Přirozenýp řetvárnýodpor

$$\varphi_{1,2C} = \varphi_{1,1} + \varphi_{1,2} = 0,014 + 0,407 = 0,421$$

$$\sigma_{f1,2} = 469,66 \cdot \varphi_{1,2C}^5 - 2.375,82 \cdot \varphi_{1,2C}^4 + 4.637,91 \cdot \varphi_{1,2C}^3 - 4.244,41 \cdot \varphi_{1,2C}^2 + 1.834,95 \cdot \varphi_{1,2C} + 684,09$$

$$\sigma_{f1,2} = 469,66 \cdot 0,421^5 - 2.375,82 \cdot 0,421^4 + 4.637,91 \cdot 0,421^3 - 4.244,41 \cdot 0,421^2 + 1.834,95 \cdot 0,421 + 684,09$$

$$\sigma_{f1,2} = 982 MPa$$

Deformačníodpor

$$\sigma_{d1,2} = 1,152 \cdot \sigma_{f1,2} \cdot \frac{D_1}{d_1} \cdot \left(\log \frac{D_1}{D_1 - d_1} + \frac{D_1}{D_1 - d_1} \log \frac{D_1}{d_1} + \log \frac{d_1}{D_1 - d_1} \right)$$

$$\sigma_{d1,2} = 1,152 \cdot 982 \cdot \frac{28,2}{16,3} \cdot \left(\log \frac{28,2}{28,2 - 16,3} + \frac{28,2}{28,2 - 16,3} \log \frac{28,2}{16,3} + \log \frac{16,3}{28,2 - 16,3} \right)$$

$$\sigma_{d1,2} = 2.104,84 MPa$$

Tvářecísíla

$$F_{1,2} = \sigma_{d1,2} \cdot S = 2.104,84 \cdot \frac{\pi \cdot 16,3^2}{4} = 439.221,3N \cong 440kN$$

Zpětnéprotla čování

$\Phi 28,2 \rightarrow \Phi 28,2 / \Phi 15,8$

Zdedocházíkobtékánídolníhopr ůtlačníkuavznikározm ěr $\Phi 28,2 / \Phi 15,8$.

Logaritmickép řetvoření

$$\varphi_{1,3} = \ln \frac{D_1^2}{D_1^2 - d_2^2} = \ln \frac{28,2^2}{28,2^2 - 15,8^2} = 0,377$$

Přirozenýp řetvárnýodpor

$$\varphi_{1,3C} = \varphi_{1,1} + \varphi_{1,3} = 0,014 + 0,377 = 0,391$$

$$\sigma_{f1,3} = 469,66 \cdot \varphi_{1,3C}^5 - 2.375,82 \cdot \varphi_{1,3C}^4 + 4.637,91 \cdot \varphi_{1,3C}^3 - 4.244,41 \cdot \varphi_{1,3C}^2 + 1.834,95 \cdot \varphi_{1,3C} + 684,09$$

$$\sigma_{f1,3} = 469,66 \cdot 0,391^5 - 2.375,82 \cdot 0,391^4 + 4.637,91 \cdot 0,391^3 - 4.244,41 \cdot 0,391^2 + 1.834,95 \cdot 0,391 + 684,09$$

$$\sigma_{f1,3} = 979 \text{ MPa}$$

Deformačníodpor

$$\sigma_{d1,3} = 1,152 \cdot \sigma_{f1,3} \cdot \frac{D_1}{d_2} \cdot \left(\log \frac{D_1}{D_1 - d_2} + \frac{D_1}{D_1 - d_2} \log \frac{D_1}{d_2} + \log \frac{d_2}{D_1 - d_2} \right)$$

$$\sigma_{d1,3} = 1,152 \cdot 979 \cdot \frac{28,2}{15,8} \cdot \left(\log \frac{28,2}{28,2 - 15,8} + \frac{28,2}{28,2 - 15,8} \log \frac{28,2}{15,8} + \log \frac{15,8}{28,2 - 15,8} \right)$$

$$\sigma_{d1,3} = 2.081,1 \text{ MPa}$$

Tvářecísíla

$$F_{1,3} = \sigma_{d1,3} \cdot S = 2081,1 \cdot \frac{\pi \cdot 15,8^2}{4} = 408.035 \text{ N} \cong 408 \text{ kN}$$

Celkovátvá řecísíla:

Jedánanejv ětšíztvá řecíchsíl $F_{1,1}(153 \text{ kN}), F_{1,2}(440 \text{ kN}), \text{ a } F_{1,3}(408 \text{ kN}).$

$$F_{C1} = F_{1,2} = 440 \text{ kN}$$

2. Operace

Prostřizeníblány

Střiznásíla:

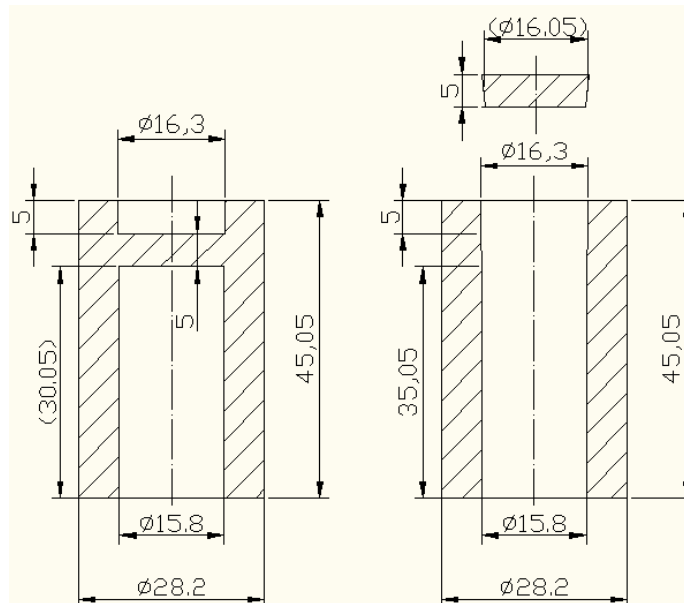
Bylazvolenahodnota 1,3.

$$F_2 = (1,15 \div 1,30) \cdot S \cdot \tau_{ps} =$$

$$= 1,3 \cdot \pi \cdot d \cdot t \cdot 0,8 \cdot Rm =$$

$$= 1,3 \cdot \pi \cdot 16 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 982 =$$

$$= 257.477,8 \text{ N} \cong 258 \text{ kN}$$



Obr.7.3DruháoperacenaTPZK25

3. Operace

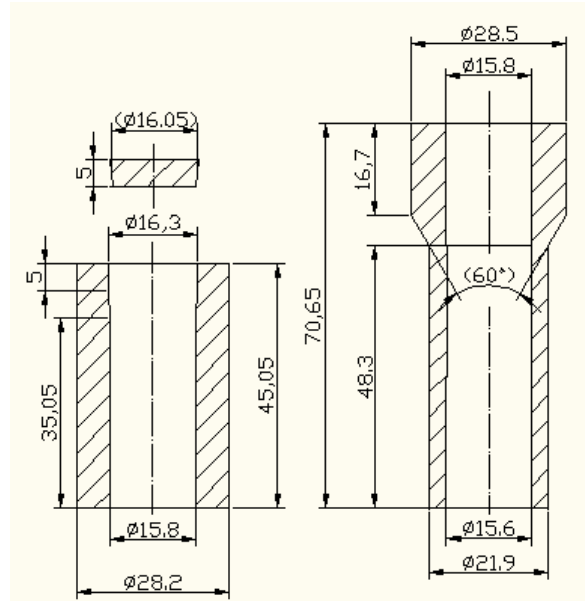
Pěchování

$\Phi 28,2 / \Phi 16,3 \rightarrow \Phi 28,5 / \Phi 15,8$

Zde dochází nejprve k napěchování „hlavy“ na rozměr $\Phi 28,5 / \Phi 15,8$. Vnitřní průměr je kalibrován trnem.

Logaritmické řetvoření

$$\varphi_{3,1} = \ln \frac{D_2^2 - d_2^2}{D_1^2 - d_1^2} = \ln \frac{28,5^2 - 15,8^2}{28,2^2 - 16,3^2} = 0,061$$



Obr. 7.4T řetíoperace na TPZK25

Přirozený řetvárný odpor

$$\varphi_{3,1c} = \varphi_{1,2c} + \varphi_{3,1} = 0,421 + 0,061 = 0,482$$

$$\sigma_{f3,1} = 469,66 \cdot \varphi_{3,1c}^5 - 2.375,82 \cdot \varphi_{3,1c}^4 + 4.637,91 \cdot \varphi_{3,1c}^3 - 4.244,41 \cdot \varphi_{3,1c}^2 + 1.834,95 \cdot \varphi_{3,1c} + 684,09$$

$$\sigma_{f3,1} = 469,66 \cdot 0,482^5 - 2.375,82 \cdot 0,482^4 + 4.637,91 \cdot 0,482^3 - 4.244,41 \cdot 0,482^2 + 1.834,95 \cdot 0,482 + 684,09$$

$$\sigma_{f3,1} = 985,8 \text{ MPa}$$

Deformační odpor

$$\sigma_{d3,1} = \sigma_{f3,1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot f \cdot \frac{D_2}{H} \right) = 985,8 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,05 \cdot \frac{28,5}{16,7} \right) = 1.013,9 \text{ MPa}$$

Tvářecí síla

$$F_{3,1} = \sigma_{d3,1} \cdot S = 1.013,9 \cdot \frac{\pi \cdot (28,5^2 - 15,8^2)}{4} = 448.015 \text{ N} \cong 449 \text{ kN}$$

Dopředné protlačování

$\Phi 28,5 / \Phi 15,8 \rightarrow \Phi 21,9 / \Phi 15,6$

Zde dochází k dopřednému protlačování „díku“ o rozměru $\Phi 21,9 / \Phi 15,6$. Vnitřní průměr je kalibrován trnem.

Logaritmické řetvoření

$$\varphi_{3,2} = \ln \frac{D_3^2 - d_3^2}{D_1^2 - d_1^2} = \ln \frac{21,9^2 - 15,6^2}{28,5^2 - 15,8^2} = -0,868$$

Přirozený řetvárný odpor

$$\varphi_{3,2c} = \varphi_{1,3c} + \varphi_{3,2} = 0,391 + 0,868 = 1,259$$

$$\sigma_{f2,2} = 469,66 \cdot \varphi_{2,2c}^5 - 2.375,82 \cdot \varphi_{2,2c}^4 + 4.637,91 \cdot \varphi_{2,2c}^3 - 4.244,41 \cdot \varphi_{2,2c}^2 + 1.834,95 \cdot \varphi_{2,2c} + 684,09$$

$$\sigma_{f2,2} = 469,66 \cdot 1,259^5 - 2.375,82 \cdot 1,259^4 + 4.637,91 \cdot 1,259^3 - 4.244,41 \cdot 1,259^2 + 1.834,95 \cdot 1,259 + 684,09$$

$$\sigma_{f2,2} = 1.038MPa$$

Deformačníodpor

$$\sigma_{d3,2} = \sigma_{f2,2} \cdot \left[\ln \frac{D_3^2 - d_3^2}{D_1^2 - d_2^2} \cdot \left(1 + \frac{\mu_R}{\alpha} \right) + \frac{2}{3} \cdot \alpha + \frac{4 \cdot D_3 \cdot \mu_R \cdot l_R}{D_2^2} + \frac{4 \cdot \mu_z \cdot h_a}{D_2} \cdot \frac{Rm}{\sigma_{f3,2}} \right]$$

$$\sigma_{d3,2} = 1.038 \cdot \left[\ln \frac{21,9^2 - 15,6^2}{28,5^2 - 15,8^2} \cdot \left(1 + \frac{0,05}{\pi} \right) + \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi}{5} + \frac{4 \cdot 21,9 \cdot 0,05 \cdot 3}{28,5^2} + \frac{4 \cdot 0,1 \cdot 45,05}{28,5} \cdot \frac{589}{1.038} \right]$$

$$\sigma_{d3,2} = 2.545MPa$$

Tvářecísila

$$F_{3,2} = \sigma_{d3,2} \cdot S = 2.545 \cdot \frac{\pi \cdot (28,5^2 - 15,8^2)}{4} = 1.124.567N \cong 1.125kN$$

Celkovátvářecísila

$$F_{C3} = F_{3,2} = 1.125kN$$

4. Operace

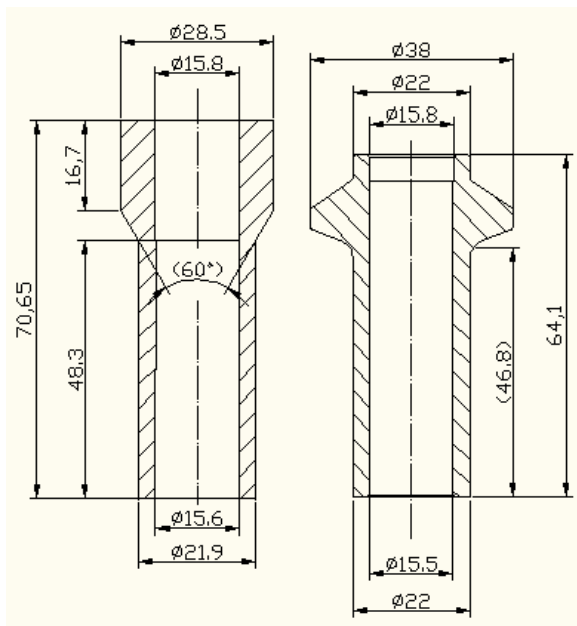
Pěchování

$\Phi 28,5 / \Phi 15,8 \rightarrow \Phi 38 / \Phi 15,5$

Dochází knap ěchování „hlavy“ pouzdranarozm ěr $\Phi 38 / \Phi 15,5$.

Logaritmickep řetvoření

$$\varphi_{4,1} = \ln \frac{D_4^2 - d_4^2}{D_3^2 - d_2^2} = \ln \frac{38^2 - 15,5^2}{28,5^2 - 15,8^2} = 0,761$$



Obr.7.5 ĀtvrtáoperacenaTPZK25

Přirozenýp řetvárnýodpor

$$\varphi_{4,1C} = \varphi_{3,1c} + \varphi_{4,1} = 0,482 + 0,761 = 1,243$$

$$\sigma_{f4,1} = 469,66 \cdot \varphi_{4,1c}^5 - 2.375,82 \cdot \varphi_{4,1c}^4 + 4.637,91 \cdot \varphi_{4,1c}^3 - 4.244,41 \cdot \varphi_{4,1c}^2 + 1.834,95 \cdot \varphi_{4,1c} + 684,09$$

$$\sigma_{f4,1} = 469,66 \cdot 1,243^5 - 2.375,82 \cdot 1,243^4 + 4.637,91 \cdot 1,243^3 - 4.244,41 \cdot 1,243^2 + 1.834,95 \cdot 1,243 + 684,09$$

$$\sigma_{f4,1} = 1.036,3MPa$$

Deformačníodpor

$$\sigma_{d4,1} = \sigma_{f4,1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot f \cdot \frac{D_4}{H} \right) = 1.036,3 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,05 \cdot \frac{38}{16,7} \right) = 1.076MPa$$

Tvářecísíla

$$F_{4,1} = \sigma_{d4,1} \cdot S = 1.076 \cdot \frac{\pi \cdot (38^2 - 15,5^2)}{4} = 1.017.275,2N \cong 1.018kN$$

Pěchování

Φ21,9/Φ15,6 → Φ22/Φ15,5

Docházíkekone čnémunap ěchování,„d řřku“pouzdranarozm ěr Φ22/ Φ15,5

Logaritmickép řetvoření

$$\varphi_{4,2} = \ln \frac{D_5^2 - d_4^2}{D_3^2 - d_3^2} = \ln \frac{22^2 - 15,5^2}{21,9^2 - 15,6^2} = 0,031$$

Přirozenýp řetvárnýodpor

$$\varphi_{4,2c} = \varphi_{3,2c} + \varphi_{4,2} = 1,228 + 0,031 = 1,259$$

$$\sigma_{f4,2} = 469,66 \cdot \varphi_{4,2c}^5 - 2.375,82 \cdot \varphi_{4,2c}^4 + 4.637,91 \cdot \varphi_{4,2c}^3 - 4.244,41 \cdot \varphi_{4,2c}^2 + 1.834,95 \cdot \varphi_{4,2c} + 684,09$$

$$\sigma_{f4,2} = 469,66 \cdot 1,259^5 - 2.375,82 \cdot 1,259^4 + 4.637,91 \cdot 1,259^3 - 4.244,41 \cdot 1,259^2 + 1.834,95 \cdot 1,259 + 684,09$$

$$\sigma_{f4,2} = 1.038,5MPa$$

Deformačníodpor

$$\sigma_{d4,2} = \sigma_{f4,2} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot f \cdot \frac{D_5}{H}\right) = 1.038,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,05 \cdot \frac{22}{16,7}\right) = 1.061,3MPa$$

Tvářecísíla

$$F_{4,2} = \sigma_{d4,2} \cdot S = 1.061,3 \cdot \frac{\pi \cdot (22^2 - 15,5^2)}{4} = 203.176N \cong 204kN$$

Dopřednéprotla čování

Φ28,5/Φ15,8 → Φ22/Φ15,8

Zdedocházíkdop řednémuprotla čeníosazenřna,„hlav ě“pouzdraorozm ěru Φ22/ Φ15,8.Vnit řnřpr ůměřjekalibrovánřnem.

Logaritmickép řetvoření

$$\varphi_{4,3} = \ln \frac{D_5^2 - d_4^2}{D_1^2 - d_2^2} = \ln \frac{22^2 - 15,8^2}{28,5^2 - 15,8^2} = -0,875$$

Přirozenýp řetvárnýodpor

$$\varphi_{4,3c} = \varphi_{1,3c} + \varphi_{4,3} = 0,391 + 0,875 = 1,266$$

$$\sigma_{f4,3} = 469,66 \cdot \varphi_{4,3c}^5 - 2.375,82 \cdot \varphi_{4,3c}^4 + 4.637,91 \cdot \varphi_{4,3c}^3 - 4.244,41 \cdot \varphi_{4,3c}^2 + 1.834,95 \cdot \varphi_{4,3c} + 684,09$$

$$\sigma_{f4,3} = 469,66 \cdot 1,266^5 - 2.375,82 \cdot 1,266^4 + 4.637,91 \cdot 1,266^3 - 4.244,41 \cdot 1,266^2 + 1.834,95 \cdot 1,266 + 684,09$$

$$\sigma_{f4,3} = 1.039,5MPa$$

Deformačníodpor

$$\sigma_{d4,3} = \sigma_{f4,3} \cdot \left[\ln \frac{D_5^2 - d_4^2}{D_1^2 - d_2^2} \cdot \left(1 + \frac{\mu_R}{\alpha} \right) + \frac{2}{3} \cdot \alpha + \frac{4 \cdot D_5 \cdot \mu_R \cdot l_R}{D_2^2} + \frac{4 \cdot \mu_z \cdot h_a}{D_2} \cdot \frac{Rm}{\sigma_{f3,2}} \right]$$

$$\sigma_{d4,3} = 1.039,5 \cdot \left[\ln \frac{22^2 - 15,8^2}{28,5^2 - 15,8^2} \cdot \left(1 + \frac{0,05}{\frac{\pi}{5}} \right) + \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi}{5} + \frac{4 \cdot 22 \cdot 0,05 \cdot 3}{28,5^2} + \frac{4 \cdot 0,1 \cdot 16,7}{28,5} \cdot \frac{589}{1.039,5} \right]$$

$$\sigma_{d4,3} = 374,3MPa$$

Tvářecísíla

$$F_{4,3} = \sigma_{d4,3} \cdot S = 374,3 \cdot \frac{\pi \cdot (22^2 - 15,8^2)}{4} = 68.896N \cong 69kN$$

Celkovátvá řecísíla

$$F_{c4} = F_{4,1} = 1.018 = 1.018kN$$

Potřebnácelkovátvá řecísílatvá řecíhoautomatu:

Síla potřebná k tváření součástí je $F_c = F_{c3} = 1.125kN$. Jde o největší sílu, kterou je zapotřebí vyvinout. Volí se největší z vyšetřených sil, jelikož než stroj dosáhne max. potřebné síly, už dávno vyvine potřebně nižší tvářecí síly.

Pro výrobu bude zvolen stroj o minimální jmenovité síle 1.130 kN (113 t) nebo jednotlivé stroje odpovídající požadavkům na tvářecí sílu v jednotlivých operacích.

8 NÁVRH STROJE

Danousou část lze tvářet jak na různých mechanických a hydraulických lisech, tak i na speciálních postupových tvářecích strojích.

Tab.8.1 Porovnání tvářecích strojů

Stroj	Výhody	Nevýhody
Mechanický lis	Vyšší rychlost procesu	Max. síla jen v malém rozsahu zdvihu, při špatném seřízení možnost řetězení následného poškození stroje
Hydraulický lis	Konstantní síla v průběhu celého zdvihu, možnost nastavit délku zdvihu	Nižší rychlost procesu
Postupový tvářecí automat	Vyšší rychlost procesu, víceoperacní na jednom stroji-úspora místa	Pořizovací náklady, větší nároky na seřízení

Jelikož se součástí bude vyrábět několik operací, tak prosamotně tváření bylo zvoleno postupový tvářecí automat TPZK25 a pro přípravu polotovaru (stříhání) mechanický lis LEPP100.

Stříhání – LEPP100

Jedná se o mechanický lis s jmenovitou silou 1.000 kN (100t). Jeho jmenovitá tvářecí síla je dostatečná k ustávení výchozího polotovaru $\Phi 28 \times 9$. Zvoleno bylo i proto, že firma, od které zpracováváme zadání, je tímto lisem vybavena.

Parametry stroje jsou uvedeny v příloze č.1.

Tváření – TPZK25

Tohle za řízení bylo zvoleno, jelikož ušetří prostory oproti potřebným čtyřem lisům dané firmě a rovněž zveřejní vlastnictví.

Jedná se o horizontální mechanický lis se čtyřmi lisovnicemi, pro řezání šecím zařízením, které pro řezání výlisek mezi stroji, spadávací masořezací řízením drátu. Konkrétní stroj je dále vybaven skluzem pro zavádění již dříve uvedených polotovarů do pracovního prostoru stroje a zvedacím zařízením pro usnadnění manipulace s těžkými stroji.

Stroj je určen pro víceoperační objemové tváření součástí typu svorníky amatice buď zkusového polotovaru nebo zesvitku drátu.

Parametry stroje jsou uvedeny v příloze č.2.

9 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Náklad na materiál:

$$N_m = P_{m3} - Z_{v03} = 974.825 - 5.239,5 = 1.110.350 \text{ Kč}$$

kde P_{m3} ... celková cena materiálu [Kč]
 Z_{v03} ... celkový zisk z vratného odpadu [Kč]

Střihání:

Hodina provozu stroje: 500Kč

Počet kusů za směnu (8 hodin): 4.000ks (500ks/hod)

$$N_s = \frac{\text{serie}}{\text{ks/h}} \cdot \text{mzda} = \frac{250.000}{500} \cdot 500 = 250.000 \text{ Kč}$$

Náklad na nástroje

$N_{ns} = 80.000 \text{ Kč}$

Náklad na výkresovou dokumentaci

$N_{vs} = 20.000 \text{ Kč}$

Jelikož má firma k dispozici různé nástroje v menším množství, je zdemožnost
tenton nástroj použít, čímž by se náklady ještě snížili.

Náklad na řízení výroby výkresovou dokumentaci:

$N_{nv} = 10.000 \text{ Kč}$

Úprava polotovaru:

Náklad na žíhání

$N_z = 10 \text{ Kč/kg}$

$N_{zc} = N_z \cdot m_{t3} = 10 \cdot 38.993 = 389.930 \text{ Kč}$

kde N_z ... cena za žíhání 1kg materiálu [Kč/kg]
 N_{zc} ... náklad na vyžehání celé série [Kč]
 m_{t3} ... hmotnost tyčí (hmotnost polotovaru účelové série) [kg]

Náklad na fosfátování a napuštění dílem

$N_{fm} = 9 \text{ Kč/kg}$

$N_{fmc} = N_{fm} \cdot m_{t3} = 9 \cdot 38.993 = 350.937 \text{ Kč}$

kde N_{fm} ... cena za fosfátování 1kg materiálu [Kč/kg]
 N_{fmc} ... náklad na fosfátování celé série [Kč]

Lisování:

Hodinová provozní úprava: 1.000K č

Počet kusů za směnu (8 hodin): 15.000ks (1875ks/hod)

$$N_l = \frac{\textit{serie}}{\textit{ks/h}} \cdot \textit{mzda} = \frac{250.000}{1.875} \cdot 1.000 = 133.500 \text{Kč}$$

Náklady na nástroje

$N_{ns} = 260.000 \text{K č}$

Náklady na výkresovou dokumentaci

$N_{vs} = 40.000 \text{K č}$

Kontrola:

Hodinová mzda za směnu: 500K č

Kontrolovat každý 1.000.ks.

Doba kontroly: 5 minut

$$N_k = \frac{\frac{\textit{serie}}{\textit{kusy}} \cdot \textit{doba kontroly}}{60} \cdot \textit{mzda} = \frac{250.000 \cdot 5}{60} \cdot 500 = 10.417 \text{Kč}$$

Jelikož kontrolu provádí operátor kontroly a neobsahuje nástroje, jen toto úkon také započítat do celkových nákladů. U takto výkonných strojů, jako je TPZK 25 se udává kontrola na kusy, nikoli na čas. Kontrola každého tisícového kusu odpovídá kontrole každých 30 minut.

Celkové náklady:

$$\begin{aligned} N &= \sum N_i = 1.110.350 + 250.000 + 80.000 + 20.000 \\ &+ 389.930 + 350.937 + 133.500 + 260.000 + 40.000 + 10.417 \\ &= 2.645.134 \text{Kč} \end{aligned}$$

kde $\sum N_i \dots$ součet všech dílů nákladů [Kč]

Náklad na jeden výrobek – cena výrobku:

$$C' = \frac{N}{\textit{serie}} = \frac{2.645.134}{250.000} = 10,59 \text{K č}$$

kde $C' \dots$ průměrná cena [Kč]

Náklad na obnovu nástrojů:

V praxi se používá 10 % zvláštní ceny výrobku. Tyto náklady by měly zahrnovat náklady na výrobu spotřebovaných činných nástrojů.

$$N_{on} = 0,1 \cdot C' = 0,1 \cdot 10,59 = 1,059 \approx 1,1 \text{ K } \text{č}$$

Cena:

$$C = C' + N_{on} = 10,59 + 1,1 = 11,67 \text{ K } \text{č}$$

kde C... cena jednoho výrobku stanovená pro zadanou velikost série [K č]

Minimální cenu vlastního výrobku bych stanovil na 12 K č.

Pokud by bylo využito při řízení stříhání stříhacího nástroje ve vlastnictví firmy a kontrolu by prováděla přímo obsluha TPZK 25, byla by výsledná cena 11 K č. Rozdíl byl ponechán jako rezerva při konečném stanovování ceny s odběratelem.

10 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navržení a porovnání několika způsobů výroby zadané součásti, návrh zpracování zvoleného technologického postupu výroby, zhotovení výkresové dokumentace (dle pokynů vedoucího), technicko-ekonomické zhodnocení a doporučení pro výrobu.

Úvodem byla zpracována teoretická část, níž byly zahrnuty základní pojmy z oblasti tváření. Dále byla zpracována kapitola dělení materiálu a protlačování kovů zastudena, které byly potřebné z hlediska dalšího řešení.

Posléze bylo provedeno zhodnocení a popsání zadané součásti. Pro výrobu byly navrženy tři způsoby výroby, dva technologií obrábění a jedna technologií tváření. Byly porovnány dle nákladů na materiál, který byl potřebný pro jejich výrobu viz tab. 6.2. Nejlépe vyšel postup výroby tvářením. Ten byl také zvolen pro další řešení výroby. Dále u něj byly provedeny technologické a technicko-ekonomické výpočty.

Postanovení celkových nákladů a ceny se jeví zvolená varianta č. 3 (tváření) stále jako nejlepší pro danou velikost série. V porovnání s variantami č. 1 (obrábění zplného materiálu) a č. 2 (obrábění tlustostěnné trubky) jsou celkové náklady varianty č. 3 nižší než samotné náklady na materiál u prvních dvou. Minimální cena jedné součásti pro zvolenou variantu výroby dle standardů firmy J-VST s.r.o. byla stanovena na 12 Kč (v případě drobných korekcí je možnost klesnout na cca 11 Kč).

Pro vlastní výrobu (tváření) byl zvolen tvářecí stroj TPZK 25, který dle provedených technologických výpočtů plně dostatečně provede výrobu dané součásti, což je zejména síla (5.000 kN) a zároveň vychází vstřícná rychlost procesu a velikost obsazené plochy dílny. Pro přípravu polotovaru (stříhání) byl zvolen lis LEPP 100 (jmenovitá síla 1.000 kN) se středním nástrojem.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [2] FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
- [3] LIENVEBER, Jan, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. [s.l.]: [s.n.], 2003. 868 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [4] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I*. 2. rozš. vyd. [s.l.]: [s.n.], 2003. 516 s. ISBN 80-7204-283-1.
- [5] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [6] BENEŠ, Milan, MAROŠ, Bohumil. *Poradenská příručka/33: Křivky přetvárných odporů ocelí díl 4*. Praha: TEVÚH, 1986. 228 s.
- [7] FERONA [online]. c2009 [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.ferona.cz/cze/index.php/>>.
- [8] HŠV Polička [online]. 2009 [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.hsvpolicka.cz/>>.
- [9] ŠMERAL [online]. [2009] [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.smeral.cz/data.php?data=profil>>.
- [10] J-VST s.r.o. [online]. 2005-2006 [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.j-vst.eu/>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATK A SYMBOLOV

Označení	Legenda	Jednotka
C	Cena výrobku	[Kč]
d	Průměr	[mm]
D	Průměr	[mm]
F_c	Celková tíhová síla	[N]
$F_{i,i}$	Dílčí tíhová síla	[N]
F_s	Střizná síla	[N]
h	Výška	[mm]
l	Délka	[mm]
m	Hmotnost	[kg]
N	Náklady	[Kč]
p	Tlak	[MPa]
P	Cena	[Kč]
R_e	Mezpružnosti	[MPa]
R_m	Mezpevnosti	[MPa]
S	Plocha	[mm ²]
T	Teplota	[°C]
T_{tav}	Teplota tavení	[°C]
v	Rychlost	[mm·s ⁻¹]
V	Objem	[mm ³]
Z	Zisk	[Kč]
Δl	Absolutní deformace	[mm]
ε	Poměrná deformace	[-]
$\dot{\varepsilon}$	Rychlost deformace	[s ⁻¹]
ρ	Hustota	[kg·m ⁻³]
σ_d	Deformační odpor	[MPa]
σ_f	Přirozený řetvární odpor	[MPa]
φ	Logaritmická deformace/přetvoření	[-]
$\dot{\varphi}$	Poměrná rychlost přetvoření	[Kč]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha1	Základní technické údaje LEPP100
Příloha2	Základní technické údaje TPZK25
Příloha3	Technologický postup
Příloha4	Výkres součástí
Příloha5	Výkres sestavy nástrojů
Příloha6	Výkres průtlačnice
Příloha7	Výkres objímky
Příloha8	Výkres průtlačníku
Příloha9	Výkres trnu