

NETISKNOUT!
Titulní list

NETISKNOUT!
Zadání

NETISKNOUT!
Licenční smlouva - oboustranně

ABSTRAKT

Projekt vypracovaný v rámci magisterského studia oboru M-STM Strojírenská technologie a průmyslový management předkládá návrh technologie výroby součásti tvářením z oceli 12 040 za studena. Na základě konzultací, literární studie a výpočtů bylo navrženo tváření na víceoperačním postupovém tvářecím automatu TPZK 25 s jmenovitou tvářecí silou 5000 kN.

Klíčová slova

Ocel 12 040, tváření, pěchování, protlačování, postupový automat TPZK 25, náklady, cena.

ABSTRACT

A project developed during a magister's study of a program M-STM Mechanical engineering and industrial management brings in a proposal of a technology of cold forging part out of 12 040 steel. The forging on a multi-stage processual automatic machine TPZK 25 with nominal forming power 5000 kN was projected based on consultations, study of literary resources a calculations.

Key words

12 040 steel, forming, compresing, squirting, processual automatic machine TPZK 25, expenditure, price.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JEDOVNICKÝ, Jan. *Výroba součásti tvářením za studena*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 54 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jindřich Špaček, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Výroba součásti tvářením za studena“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

27.5.2011

Bc. Jan Jedovnický

Jméno a příjmení diplomanta

Poděkování

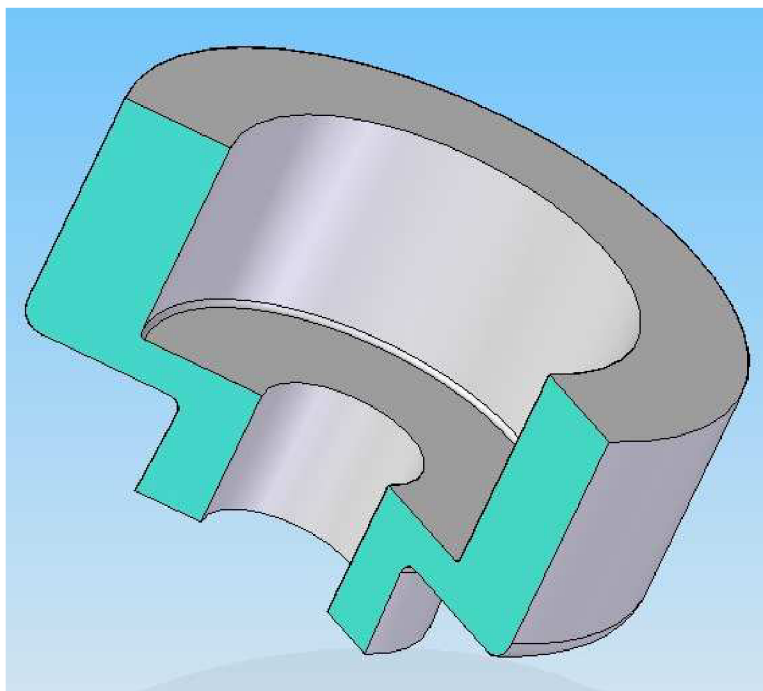
Děkuji tímto doc. ing. J. Špačkovi, CSc. a firmě J-VST s.r.o. za cenné připomínky, informace, rady a podporu při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
Úvod	8
1 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ	9
1.1 Fyzikálně metalurgické základy tváření	10
1.2 Základní zákony plastické deformace	11
1.3 Odpor při tváření	11
1.4 Deformace v tvářeném tělese.....	12
1.5 Vliv plastické deformace na strukturu a vlastnosti použitého materiálu	13
1.6 Zotavení, rekystalizace, zamezení a snížení deformačního stárnutí	13
2 PŘEHLED METOD DĚLENÍ MATERIÁLU.....	15
2.1 Stříhání	15
3 PROTALAČOVÁNÍ KOVŮ ZA STUDENA.....	17
3.1 Hlavní způsoby protlačování.....	17
3.2 Porovnání výroby součásti obráběním a tvářením:.....	20
3.3 Materiál a jeho úprava	21
3.4 Charakteristika tvářecích nástrojů.....	22
3.5 Stroje.....	26
4 ZHODNOCENÍ ZADANÉ SOUČÁSTI.....	28
5 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY.....	30
6 VOLBA A NÁVRCH VÝROBNÍCH ZARÍZENÍ.....	37
7 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY	38
8 PEVNOSTNÍ KONTROLA NÁSTROJŮ.....	45
9 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	47
Závěr	51
Seznam použitých zdrojů.....	51
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	52
Seznam příloh	54

ÚVOD

Vzhledem k tomu, že se již od mládí pohybuji v prostředí rodinné firmy zabývající se strojírenskou výrobou zaměřenou na technologie tváření, volil jsem i podobné téma diplomové práce. Rovněž i samotné zadání bylo získáno přímo z praxe. Cílem diplomové práce bylo navržení výrobního postupu pro danou součást (obr. 0.1) tvářením za studena, návrh potřebných nástrojů pro její zhotovení a zpracování technicko-ekonomického zhodnocení samotné výroby. Zvolené postupy a technologie byly voleny po konzultaci s odborníky v daném oboru. Jako materiál pro výrobu byla stanovena ocel 12 040. Navržené způsoby výroby byly posouzeny z hlediska nákladů na materiál, možných rizik a možností zadávající firmy. Zvolena byla ta nejvhodnější a nejekonomičtější varianta, která byla dále zpracována. Předpokládaná série činí 200.000 ks/rok. Součást byla zadána firmou J-VST s.r.o. Brno, která se specializuje na výrobu součástí tvářením za studena.



Obr. 0.1 Zadaná součást

1 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ

[1], [2], [4], [5], [8]

Technologie tváření kovů představuje výrobní proces, při němž dostávají polotovary po zpracování konkrétní požadovaný tvar za působení vnějších sil bez porušení materiálu. Tváření patří do oblasti beztržkových technologií. Tvářením se zhotovují polotovary určené k dalšímu zpracování tvářením, obráběním atd., ale i hotové výrobky rozmanitých tvarů a rozměrů. Tváření má v hutní a zejména pak ve strojírenské výrobě velký význam. Jedná se o ekonomicky efektivní technologii, která se převážně uplatňuje v sériové a hromadné výrobě. V současné době se více jak 90% výrobků zhotovuje některou z technologií tvářením. Základní dělení tváření je na tváření plošné a objemové. Plošné tváření, kde výchozím polotovarem je plech, zahrnuje operace stříhání, ohýbání, tažení a tvarování. Objemové tváření se uskutečňuje buď pod rekrytalizační teplotou (tzv. tváření za studena) a zahrnuje operace jako jsou například ražení, pěchování a protlačování, nebo tváření nad rekrytalizační teplotou (tzv. tváření za tepla) zahrnuje volné kování a zápusťkové kování.

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 u nás traduje už od dob zavedení vysokých pecí koncem 18. století. V technologii zpracování plechů, zvláště v hlubokém tažení, byl vykázán kvalitativní skok na základě požadavků armády na výrobu nábojnic. Protlačování ocelí za studena se uvádí až od roku 1933.

V současné době již není nepřekonatelným problémem tvářet prakticky jakýkoliv kov nebo slitinu. Tvářecí stroje i nástroje jsou schopny zpracovat i velmi pevné a málo tvárné kovy. Při tzv. hydrostatickém tváření, kdy je materiál obklopen kapalinou o tlaku 5000 MPa, lze plasticky tvářet i mramor nebo jemu vlastnostmi podobné kovy.

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

Pozornost je třeba věnovat aspektům jako je: ekonomické tváření malých sérií výrobků, kdy zatím poměrně vysoká cena tvářecího nástroje hrála negativní úlohu v celkové cenové kalkulaci \Rightarrow tváření s maximální možnou přesností, aby součást vyžadovala jen minimum dokončovacích (tržkových) operací, odstranění ruční práce z výrobního procesu nahrazením vhodnými mechanizačními prostředky při tváření případně prostředky pracujícími plně automaticky.

1.1 Fyzikálně metalurgické základy tváření

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 vnitřní síly brání změně tvaru. Tvarová změna vyvolaná působením vnějších sil se nazývá přetvoření nebo plastická deformace. Při nízkých hodnotách vnější síly je deformace pouze pružná a platí pro ni Hookův zákon. Po odlehčení tato deformace zanikne a těleso nabude původního tvaru. Trvalá deformace, která zůstane i po odlehčení se nazývá plastická.

Elastická a plastická deformace se pod zatížením vyskytují současně. Když přestanou 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 to buď skluzem nebo dvojčatěním.

Skluz se uskutečňuje posuvem dislokací ve skluzových rovinách krystalu, což jsou zpravidla krystalografické roviny s nejhustším uspořádáním atomů. Při dvojčatění dochází k náhlému přeskupení celé krystalové mřížky v některé části krystalu tak, že původní a přeskupená mřížka jsou zrcadlově symetrické vzhledem k tzv. rovině dvojčatění. Dvojčatění 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 vysoký stupeň za určitých podmínek a je základem „superplasticity“.

Metalurgie oceli

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

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

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

Síra: zhoršuje vlastnosti tvářených i litých ocelí. Morfologie a rozložení sulfidů má vliv na vrubovou houževnatost, mez únavy a tečení.

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

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 vsázkových surovin, případně během výrobního procesu a mají i v těchto malých množstvích nepříznivý vliv na mechanické a technologické vlastnosti ocelí.

1.2 Základní zákony plastické deformace

Při řešení problematiky tváření se vždy 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 přídavných napětí 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, fyzikálně – chemických vlastností, tvary a rozměry deformovaného materiálu atd.

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

1.3 Odpory při tváření

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

Přirozený přetvárný 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 (technologický): je souhrn všech napětí v deformovaném materiálu, které působí proti napětí vyvolanému vnějšími silami. Deformační odpor je roven součtu hodnot tzv. přirozeného přetvárného odporu a pasivních odporů.

Pasivní odpory: mimo tření zde patří i geometrie tvářeného dílce, vliv odlišnosti konkrétní poměrné rychlosti deformace a rychlosti užitné při stanovení přetvárného odporu, vliv nerovnoměrného rozložení, které je ve svém důsledku příčinou komplikovaného tvaru tvářeného dílce a nehomogenního teplotního pole. Dále je třeba respektovat i změnu napjatosti při reálném tvářecím procesu a experimentálním zjišťování přetvárného odporu.

Znalost hodnot deformačních odporů má význam v praxi při navrhování technologického postupu tváření. Křivky deformačních odporů se zjišťují pěchovací zkouškou, která probíhá při určité teplotě a v určitém rychlostním intervalu.

1.4 Deformace v tvářeném tělese

Rozměrové změny při tváření se v technické praxi nejčastěji vyjadřují pomocí absolutní deformace, poměrné deformace, redukce, skutečné logaritmické deformace s přihlédnutím k rychlosti deformace.

Absolutní deformace (Δl): je absolutní změna určitého rozměru:

$$\Delta l = l_0 - l_1 \quad [\text{mm}] \quad (1.1)$$

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

Poměrná deformace (ε): představuje poměr absolutní deformace a původního rozměru v případech pěchování a jednoosého tažení:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad [-] \quad (1.2)$$

Redukce (R): vyjadřuje poměrnou deformaci v procentech:

$$R = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.3)$$

Skutečná logaritmická deformace (φ):

$$\varphi = \ln \frac{\Delta l}{l_0} \quad [-] \quad (1.4)$$

Rychlost deformace (poměrná rychlost tváření) ($\dot{\varepsilon}$, $\dot{\varphi}$): je definována jako rychlost, s jakou se přibližují dva průřezy stlačeného polotovaru, které jsou od sebe vzdáleny o jednotku délky. Závisí na výšce tvářené součásti (h) a při stejné rychlosti nástroje (v) je tím větší, čím menší je výška tvářeného tělesa. Deformační rychlost není totožná s rychlostí nástroje (v):

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{v}{h} \quad [\text{s}^{-1}] \quad (1.5)$$

kde h ... výška tvářené součásti [mm]
 v ... rychlost nástroje [mm/s]

1.5 Vliv plastické deformace na strukturu a vlastnosti použitého materiálu

S rostoucím stupněm deformace se mění tvar zrn. Původně polyedrická zrna se prodlužují ve směru převažující deformace, až se z nich stanou protažená vlákna s poměrně malými příčnými rozměry. Důsledkem plastické deformace je také změna orientace krystalové mřížky. Původní náhodná orientace se během plastické deformace mění na usměrněnou.

Průvodním jevem deformace materiálu je také deformační zpevnění. Deformační zpevnění kovů a slitin je doprovázeno změnou jejich mechanických vlastností. Při snižování tažnosti, 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 (pokles zásoby plasticity) a dochází ke vzniku ostré horní meze kluzu. Mez kluzu se zvětšuje 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 neuklidněnou ocel.

1.6 Zotavení, rekrytalizace, zamezení a snížení deformačního stárnutí

Zotavení: je-li za studena deformovaný kov zahřátý na teplotu $T \leq 0,3T_{\text{tav}}$, dochází ve vnitřní stavbě ke změnám, které se projevují postupným zmenšováním zpevnění. Struktura deformovaná předchozím tvářením se nemění a celý proces probíhá v submikrostruktuře. Zotavovací proces je procesem nevratným.

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

Možnosti zamezení popř. snížení deformačního stárnutí: k dosažení vyšší odolnosti oceli proti deformačnímu stárnutí při běžné teplotě prostředí 20° C je možné použít v zásadě čtyři způsoby:

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

2 PŘEHLED METOD DĚLENÍ MATERIÁLU

[1], [2], [8]

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 důvodu velkého průřezu. Nevýhodou je poměrně malá produktivita, vysoké náklady a ztráty prořezem. K výhodám patří kolmý a poměrně hladký řez včetně dodržení přesnosti i hmotnosti řezaného materiálu.

Dělení upichováním: je málo produktivní při značné spotřebě materiálu.

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

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

Další metody dělení: lámáním, sekáním, laserem, vodním paprskem, ultrazvukem atd.

2.1 Stříhání

Rozbor střížného procesu

Podstata stříhání spočívá v oddělování materiálu protilehlými břity nožů. Oddělení nenastane přesně v žádané rovině. Je to proto, že materiál je elastický, tvárný a smykové napětí způsobuje tlak nožů na celé ploše. Proces stříhání se víceméně přibližuje čistému smyku. Stříhání probíhá ve třech fázích a střížná plocha se skládá ze čtyř pásem, viz obr. 2.1.

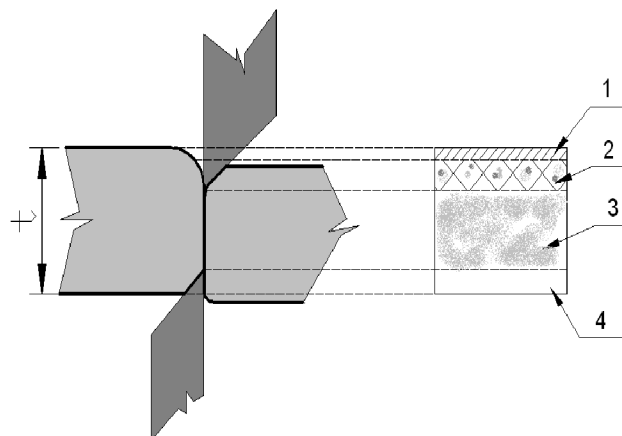
Výpočet střížné síly:

$$F_{s_{\max}} = (1,15 \text{ až } 1,30) \cdot S \cdot \tau_{ps} \quad [\text{N}] \quad (2.1)$$

kde S ... plocha původního průřezu ve střížné rovině $[\text{mm}^2]$

R_m ... mez pevnosti $[\text{MPa}]$

τ_{ps} ... pevnost ve stříhu $[\text{MPa}]$ $\tau_{ps} = 0,8 \cdot R_m$



Obr. 2.1 Pásma střižné plochy [1], 1. pásmo zaoblení, 2. pásmo vlastního stříhu, 3. pásmo utržení, 4. pásmo otláčení.

3 PROTALAČOVÁNÍ KOVŮ ZA STUDENA

[1], [2], [7], [8], [10], [11], [12]

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

Protlačováním lze zhotovit tvary, které je možné získat lisováním z plechu, ale při porovnání 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 $\pm 0,05$ a drsnosti $R_a=0,8$).

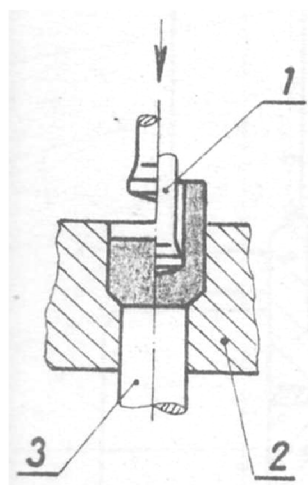
Na druhé straně má tato technologie určitá omezení ve výběru materiálu a nelze zaručit přesnou délku a výšku protlačků – je nutno upravit třískovým obráběním.

3.1 Hlavní způsoby protlačování

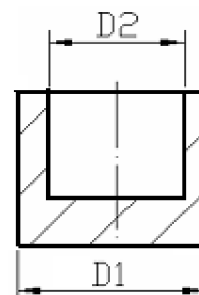
Podle směru tečení materiálu vzhledem k pohybu průtlačníku rozeznáváme tyto způsoby protlačování, které jsou uvedeny v následujícím textu. Velikost přetvoření se v praxi používá max. 80%.

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 viz obr. 3.1.

Použití: výrobky v elektrotechnickém průmyslu, strojírenství a spotřební průmysl.



Obr. 3.1 Zpětné protlačování [7],
1 - průtlačník, 2 – průtlačnice, 3 -
vyhazovač



Obr. 3.2 Zpětné protlačování –
hodnoty pro výpočet

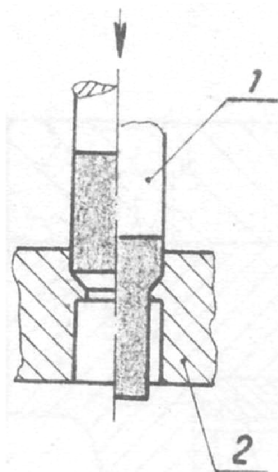
Výpočet přetvoření:

$$\varepsilon = \frac{D_2^2}{D_1^2} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.1)$$

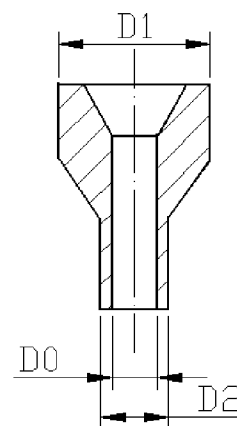
$$\varphi_h = \ln \frac{D_1^2}{(D_1^2 - D_2^2)} \quad [-] \quad (3.2)$$

Dopředné protlačování: materiál se přemísťuje ve směru souhlasném se směrem pohybu průtlačníku. Konečný tvar dává protlačku tvar průtlačnice, jak je vidět na obr. 3.3. Jako polotovar se používá plný materiál nebo dutý, získaný např. zpětným protlačováním.

Použití: výrobky čepového charakteru, šrouby, svorníky, nýty, pouzdra, trubky s přírubou apod.



Obr. 3.3 Dopředné protlačování [7],
1 – průtlačník, 2 – průtlačnice



Obr. 3.4 Dopředné protlačování

Výpočet přetvoření:

$$\varphi_h = \ln \frac{D_1^2}{D_2^2} \quad [-] \quad (3.3)$$

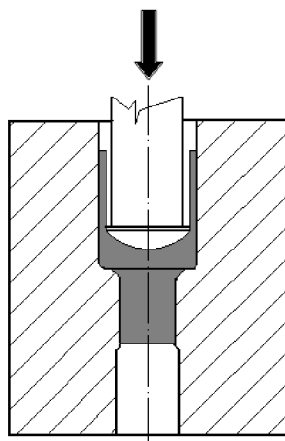
$$\varepsilon = \frac{(D_1^2 - D_2^2)}{D_1^2} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.4)$$

$$\varphi_h = \ln \frac{D_1^2 - D_0^2}{D_2^2 - D_0^2} \quad [-] \quad (3.5)$$

$$\varepsilon = \frac{D_1^2 - D_2^2}{D_1^2 - D_0^2} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.6)$$

Kombinované protlačování: vzniká kombinací zpětného a dopředného protlačování. Část materiálu se přemísťuje před čelem průtlačníku a vyplňuje dutinu průtlačnice a část materiálu vytváří stěny nádoby, viz obr. 3.5.

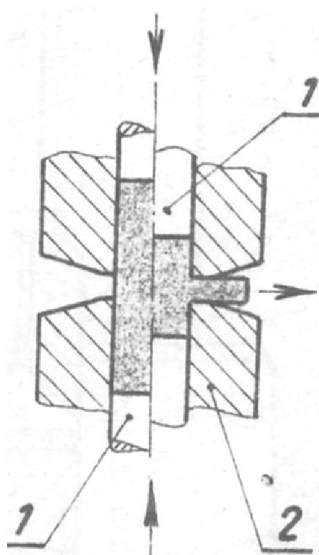
Použití: pro různě profilované součásti



Obr. 3.5 Kombinované protlačování [1]

Stranové protlačování: polotovár je vložen do dělené průtlačnice a uzavřen průtlačníky z obou stran tak, že tečení materiálu je umožněno pouze ve směru kolmém k podélné ose polotovaru viz obr. 3.6.

Použití: součástky s výstupky po obvodě



Obr. 3.6 Stranové protlačování [7],
1 – průtlačník, 2 – průtlačnice

Protlačovací síla

Na velikost protlačovací síly mají vliv tyto parametry:

- chemické složení a mechanické vlastnosti materiálu
- příprava před protlačáním (zejména mazání)
- geometrie nástroje
- velikost redukce (čím větší redukce, tím větší síla)
- velikost průtlačníku (čím větší plocha průtlačníků, tím větší síla)
- tloušťka stěny dutých součástek (čím je stěna tenčí, tím je síla větší)
- druh použitého stroje

$$F = p \cdot S \quad [N] \quad (3.7)$$

kde p ... měrný tvářecí tlak (deformační odpor σ_d) [MPa]
 S ... čelní plochy průtlačníků [mm²]

3.2 Porovnání výroby součásti obráběním a tvářením:

Obr. 3.7 Průběh vláken v obráběné a tvářené součásti [1]

Jak je vidět na obr. 3.7, 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 oblasti zvýšeného namáhání.

Na obr. 3.8 je znázorněn technologický postup šroubu tvářením. Jak je vidět nevzniká nám žádný odpad. Kdežto při obrábění by byly ztráty značné.



Obr. 3.8 Technologický postup výroby šroubu tvářením za studena [12]

3.3 Materiál a jeho úprava

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

Po dělení hutních polotovarů lze získat polotovar pro kování, protlačování, pěchování. Z přístřihu plechu se táhnou výlisky různého tvaru.

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 žihání některých slitin.

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

Ocel: nejdůležitější materiál pro protlačování. Se stoupajícím 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 nevhodnější oceli do obsahu 0,2% C popř. nízkolegované oceli. Při zvyšujícím se obsahu C a vyšším % legur, se zvyšuje měrný tvářecí tlak a k dosažení konečného tvaru součásti je třeba více operací a tím i mezioperačního žihání.

Z praxe platí, že nevhodný je ten materiál, při kterém je nutný tvářecí tlak vyšší než 2500 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 logaritickým přetvořením φ_h 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, moření, neutralizace, odmaštění...)
- fosfátování = vytvoření nosného povrchu pro mazivo. Fosfátová vrstva je pórovitá a dobře ulpí na povrchu polotovaru, nasaje do svých pórů mazivo a podrží po celou dobu protlačovacího procesu.
- mazání (strojní olej – používaný při chodu k mazání stroje a nástrojů, technický lůj, vápenná voda, mazlavým mýdlem, molikot MoS₂)

3.4 Charakteristika tvářecích nástrojů

Rozhodujícím činitelem pro konstrukci tvářecího nástroje je navržený technologický postup výroby a z něho vyplývající použitý stroj. Konstrukční řešení bude rozdílné při použití jednooperačního lisu, pěchovacího automatu, případně tří a víceoperačního tvářecího.

Vlastní nástroj pro objemové tváření za studena je možno rozdělit na části funkční (průtlačníky, průtlačnice, vyhazovače, pěchovníky, stěrače atd.) a části pomocné (upínací elementy, pouzdra, pružiny, základové desky atd.).

Tvářecí nástroje pro postupové tvářecí automaty

Výchozím polotovarem pro postupové tvářecí automaty je ve většině případů tažená ocel, dodávaná buď ve svitcích, nebo tyčích. Tomu je podřízeno konstrukční řešení bloku nástroje, kde je obvykle umístěno stříhací zařízení, dělicí materiál na špalíky o délce odpovídající potřebnému objemu.

Pro náročnější tvářecí operace, kde je potřeba zajistit dokonale povrchově upravená čela polotovarů, jsou vhodné tvářecí automaty, u nichž se používají jako výchozí polotovary kalibrované špalíky s fosfátovaným povrchem.

Tyto se postupně tváří v jednotlivých operacích, přičemž automatické přenášení polotovaru zajišťují kleštiny přenášečích zařízení. Výchozí špalík, přenesený ze skluzu zásobníku prvním párem kleštín do osy pěchovnice, se postupně, po každém zdvihu a vyhození z pěchovnice nebo průtlačnice, přenáší dalším párem kleštín do následující tvářecí operace. Po dokončení poslední operace a po vyhození z průtlačnice je výtvarok odsunut posledním párem kleštín z pracovního prostoru do skluzu.

Hlavní zásady pro konstrukci tvářecích nástrojů

Při objemovém tváření za studena jsou vystaveny největšímu zatížení funkční části nástroje. Pro zajištění požadované funkce těchto nástrojů, při jejich dostatečné životnosti, je třeba již při konstrukčních návrzích věnovat zvýšenou pozornost a dodržovat tyto hlavní zásady:

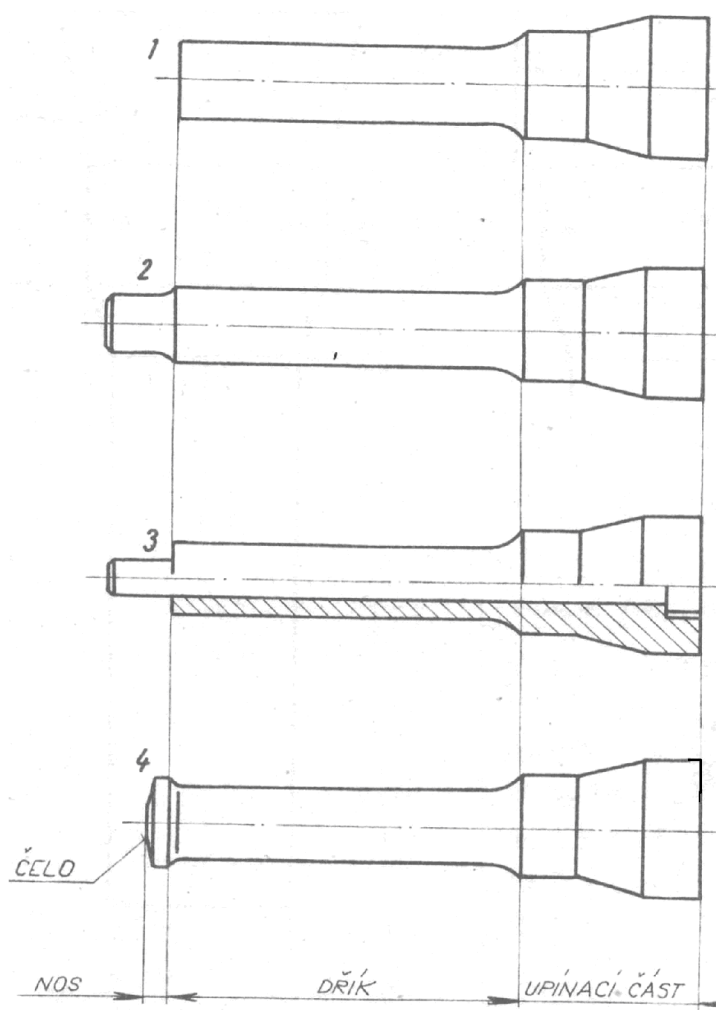
1. Volit optimální geometrii s ohledem na požadovaný tvar součásti a způsob tváření.
2. Nástroj konstruovat tuhý, co nejjednodušší a provozně spolehlivý, bez náhlých přechodů, aby se vyloučily koncentrace napětí.
3. V místech koncentrace napětí volit nástroj pokud možno dělený, případně skládaný ze segmentů.
4. Volit vhodný materiál a tepelné zpracování nástrojů.
5. Správně a s dostatečnou rezervou dimenzovat nástroje podle zatížení při tváření.
6. Zajistit optimální technologii výroby nástroje.
7. Nástroj konstruovat tak, aby byla zajištěna souosost mezi jednotlivými elementy a tím se vyloučila přídavná ohybová, tlaková a tahová napětí.
8. Pamatovat na odvodu vzduchu nástrojů.
9. Dbát na lehkou smontovatelnost a snadnou výměnu nástrojů.
10. Nástroj musí být pro obsluhu snadno přístupný, ale zároveň bezpečný v případě poruchy.
11. Nástroje konstruovat s ohledem na možnost automatizace procesu.

Doporučené tvary jednotlivých funkčních částí nástrojů

Geometrie funkčních částí tvářecích nástrojů velmi silně ovlivňuje velikost deformačního odporu a tím i životnost nástroje. Volbě optimálního tvaru je proto nutné věnovat náležitou pozornost.

1. Konstrukce průtlačníků:

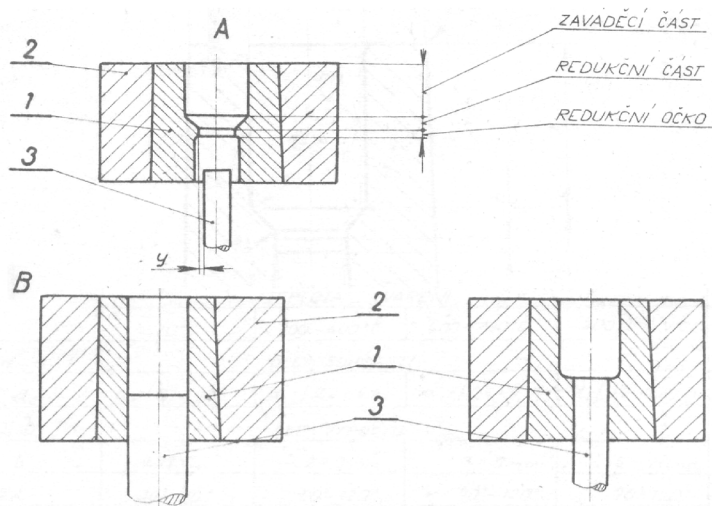
Průtlačníky pro dopředné i zpětné protlačování se navzájem velmi podobají a obvykle mají tvar dle obr. 3.9.



Obr. 3.9 Doporučené tvary průtlačníků [7],
1 – průtlačník pro dopředné protlačování plných součástí, 2, 3 – průtlačník pro dopředné protlačování dutých součástí, 4 – průtlačník pro zpětné protlačování

2. Konstrukce průtlačnic:

Průtlačnice jsou jednou z nejdůležitějších a nejvíce namáhaných částí nástroje. Proto je nutné věnovat velkou pozornost tvaru funkční dutin, ale i celkové konstrukci a uložení. Tvar dutiny je v hlavních rysech určen tvarem tvářené součásti a použitým způsobem objemového tváření (obr. 3.10).



Obr. 3.10 Typické příklady průtlačnic [7],
 A – průtlačnice pro dopředné protlačování,
 B – průtlačnice pro zpětné protlačování
 a pěchování, 1 – průtlačnice, 2 – zděř,
 3 – vyhazovač

3. Konstrukce vyhazovačů:

Hlavní funkcí v nástroji pro dopředné protlačování je odstraňování výlisku z průtlačnice a v nástroji pro zpětné protlačování mají mimo této funkce za úkol i částečné zachycení tvářecí síly.



Obr. 3.11 Příklady vyhazovačů

Materiály nástrojů:

Materiál průtlačnic	
19 436	56-62HRC
19 474	52-56HRC
19 614	58-60HRC
19 721	max. 52HRC

Tab. 3.1 Materiály průtlačnic [7]

Materiál průtlačníků	
19 423	62-63HRC
19 733	62-63HRC
19 824	62-63HRC
19 436	58-60HRC

Tab. 3.2 Materiály průtlačníků [7]

Bandáže	
14 160	Obě oceli zušlechtěny na 1200MPa
14 260	
19 740	52-54HRC

Tab. 3.3 Materiály pro bandáže [7]

Ostatní díly:
konstrukční nebo nástrojové oceli (11 600, 11 700, 19 423, a podobně)

3.5 Stroje

Na protlačování je potřeba velká a pokud možno stálá síla, která musí působit na poměrně dlouhé dráze.

Požadavky na stroj:

- dostatečný zdvih beranu a co největší počet zdvihů za minutu
- co největší poměr pracovního zdvihu beranu k celkovému zdvihu (pracovní dráha)
- dostatečná tuhost lisu
- dlouhé vedení beranu
- velká tuhost stolu
- samostatně ovladatelný a přestavitelný vyhazovač
- možnost tuhého upnutí nástroje
- možnost poloautomatického nebo automatického podávání
- možnost přestavitelnosti zdvihu beranu
- kvalitní chlazení a mazání

Používají se mechanické, hydraulické a speciální lisy.

Mechanických lisů (obr. 3.11) se využívá tam, kde je potřeba poměrně malý zdvih beranu lisu, tj. hlavně při zpětném protlačování, kdy výchozí polotovar má malou tloušťku. Používají se klikové, výstředníkové, kolenopákové a další lisy.



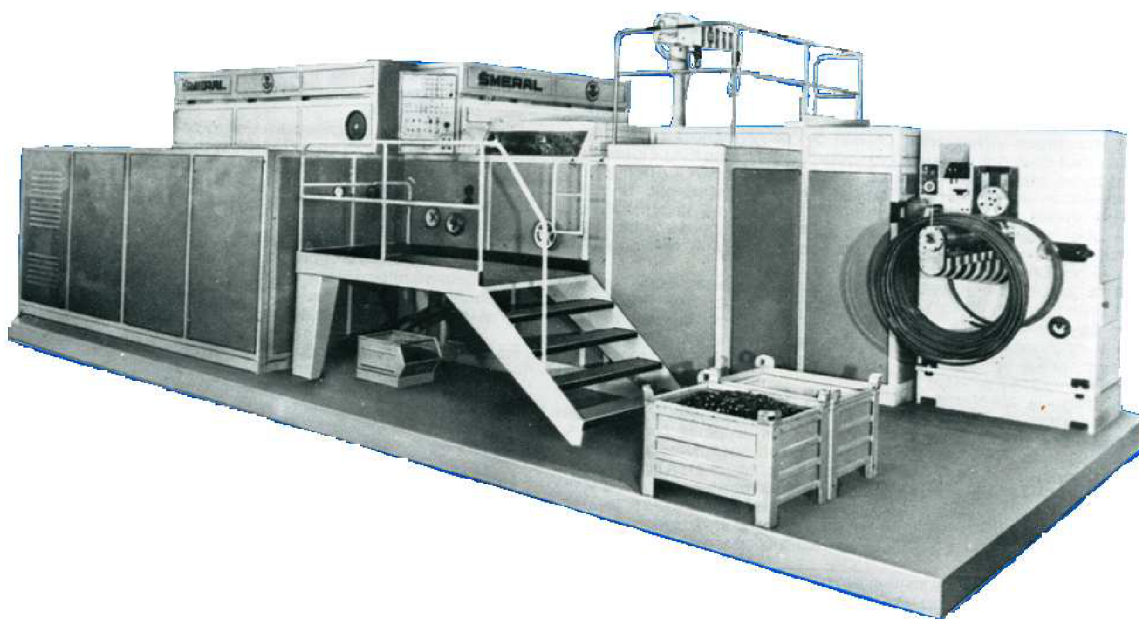
Obr. 3.11 Výstředníkový lis [9]



Obr. 3.12 Hydraulický lis [8]

Hydraulické lisy (obr. 3.12) jsou vhodné pro součásti o větší délce, neboť zajišťují konstantní sílu v kterékoliv poloze beranu. Nevýhodou je malý počet zdvihů za minutu.

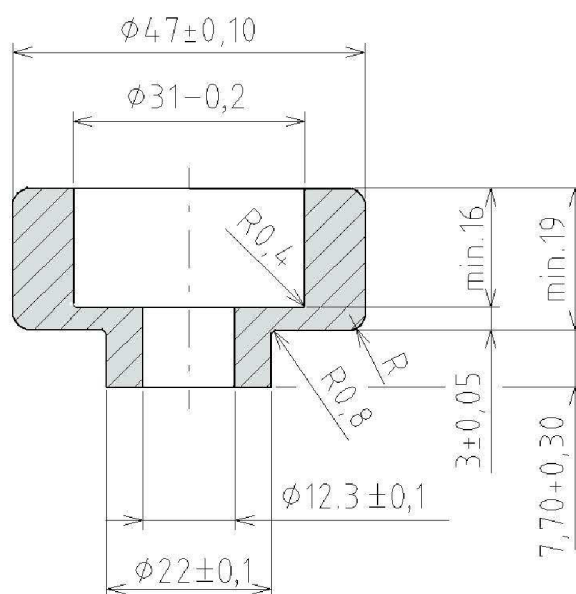
Speciální lisy (obr. 3.13) jsou různé postupové tvářecí automaty pro hromadnou výrobu. Většinou se jedná o mechanické lisy, kde je výrobek přenášen mezi jednotlivými operacemi kleštinami.



Obr. 3.13 TPZK 25 (Tvářecí postupový automat)

4 ZHODNOCENÍ ZADANÉ SOUČÁSTI

[3], [6], [9]

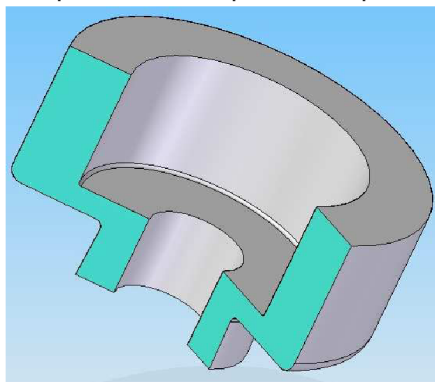


Obr. 4.1 Schéma zadané součásti

Zadaná součást	
Název	Kovový zálisek / Metal part
Materiál dle původní výkresové dokumentace	S355JR
	11SMnPb30 DIN EN 10087
	QSt 32-3
Konečný materiál	12 040
Série	200 000 ks / rok

Tab. 4.1 Základní informace o zadané součásti [3]

Jedná se o součást (obr. 4.1 a obr. 4.2), která je v provozu namontována na tlumiči osobních vozů Mercedes-Benz, která by měla zvládat axiální zatížení o síle 30 kN. Po konzultaci se zastoupením firmy, byla jako konečný materiál zvolena ocel 12 040. Materiál je pro danou součást dostatečně vhodný a rovněž se dá snadno dohledat v technické literatuře, která byla potřebná pro zpracování diplomové práce.



Obr. 4.2 Model zadané součásti

Označení dle ČSN	R_m [MPa]	$R_{e\ min}$ [MPa]	Tvrdość [HB]	Třída odpadu
12 040	440-1030	225-550	135-290	2

Tab. 4.2 Vlastnosti materiálu [3]

Ocel k zušlechťování s obsahem uhlíku $C=(0,32-0,40)$ %. Mez pevnosti dle Poradenské příručky je $R_m = 589$ MPa.

Konstrukční ocel nelegovaná, jakostní, k zušlechťování. Ocel je vhodná na hřídele stabilních spalovacích motorů a čerpadel, hřídele těžních strojů, předlohové a klikové hřídele, věnce těžních strojů, transmisní hřídele, sloupy a válce lisů, tvarová tělesa, čepy, kolíky, tlačítka, rozpěrná pouzdra, destičky, šoupátka, čelisti, šrouby, pístnice, ojnice, kované svorníky tlakových nádob, závěsy pružin, ruční a nožní páky, součásti řízení, táhla, jeřábové háky, rotory pro turbogenerátory, strojní součásti k zušlechťování, tažená ocel na zušlechťované šrouby, drát na lana, šrouby a matice pro vyšší teploty, apod. Svařitelnost obtížná.

Teploty pro tepelné zpracování oceli 12 040	
Normalizační žihání	840 – 870°C
Žihání na měkko	680 – 720°C
Kalení	840 – 880°C (voda, olej)
Popouštění	530 – 670°C

Tab. 4.3 Tepelné zpracování oceli 12 040 [3]

Výchozí materiál bude kruhová tažená tyč s úběrem 5% s přesností h9.

5 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

[8], [9]

Pro výrobu zadané součásti bylo zvaženo několik technologických postupů výroby a to obráběním z kulatiny, výkovek a jeho následné obrábění a poté dva způsoby tvářením za studena.

Vlastnosti součásti		
Objem	$2,243548 \cdot 10^{-5}$	m ³
Hmotnost m_{ζ}	0,176	kg
Hmotnost celé série m_{CS}	35 200	kg
Materiál	12 040	
Hustota	7 833	kg/m ³

Tab. 5.1 Specifické vlastnosti zadané součásti

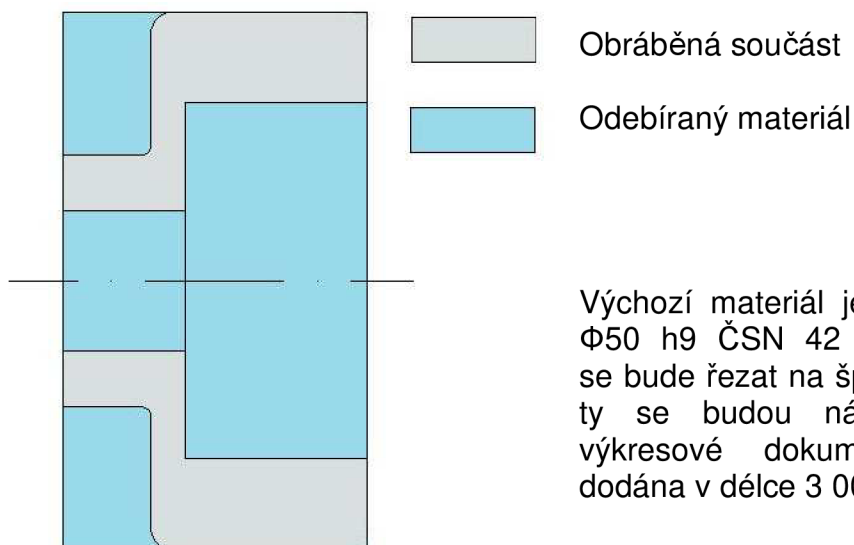
Cena, za kterou by bylo možno požadovaný materiál na výrobu součásti zakoupit, byla převzata z ceníku firmy Feromoravia a.s.

Specifikace materiálu	Váha [kg/m]	Cena [Kč/kg]
kulatina 26mm	4,168	22
kulatina 30mm	5,55	22
kulatina 35mm	7,553	22
kulatina 50mm	15,413	22,5

Tab. 5.2 Tyčový materiál [9]

Varianta výroby č. 1

Výroba obráběním z kulatiny



Výchozí materiál je kruhová tažená tyč $\Phi 50$ h9 ČSN 42 5510 – 12 040. Tyč se bude řezat na špalíky o délce 29 mm, ty se budou následně obrábět dle výkresové dokumentace. Tyč bude dodána v délce 3 000 mm.

Obr. 5.1 Varianta č. 1

Délka jednoho kusu polotovaru:

$$l_{p1} = l_s + p_d + p_o = 27 + 1 + 1 = 29 \text{ mm}$$

kde	l_p ... délka jednoho kusu polotovaru	[mm]
	l_s ... délka jedné součásti	[mm]
	p_d ... přídavek na dělení polotovaru	[mm]
	p_o ... přídavek na obrábění polotovaru	[mm]

Počet polotovarů z jedné tyče:

$$i_{pt1} = l_t / l_{p1} = 3000 / 29 = 103,45 \text{ ks}$$

$$i_{pt1} = 103 \text{ ks}$$

kde	i_{pt} ... počet polotovarů z jedné tyče	[ks]
	l_t ... délka jedné tyče	[mm]

Potřebný počet tyčí na celou sérii:

$$i_{t1} = \text{serie} / i_{pt1} = 200000 / 103 = 1941,75 \text{ ks}$$

$$i_{t1} = 1942 \text{ ks}$$

kde	i_t ... počet tyčí	[ks]
-----	----------------------	------

Celková hmotnost tyčí:

$$m_{t1} = i_{t1} \cdot l_t \cdot S_{t1} \cdot \rho = i_{t1} \cdot l_t \cdot \frac{\pi D_{t1}^2}{4} \cdot \rho = 1942 \cdot 3000 \cdot \frac{\pi \cdot 50^2}{4} \cdot 7,833 \cdot 10^{-6} = 89604,2 \text{ kg}$$

$$m_{t1} = 89605 \text{ kg}$$

kde	S_t ... čelní plocha tyče	[mm ²]
	ρ ... hustota oceli	[kg/m ³]
	D_t ... průměr tyče	[mm]
	$\pi = 3,14$	[-]

Hmotnost odpadu:

$$m_{odp1} = m_{t1} - m_{cs} = 89605 - 35200 = 54405 \text{ kg}$$

kde	m_{odp} ... hmotnost odpadu	[kg]
-----	-------------------------------	------

Cena materiálu na celou sérii:

$$P_{m1} = m_{t1} \cdot P_{p1} = 89605 \cdot 22,5 = 2016112,5 \text{ Kč}$$

kde	P_m ... náklady na materiál pro celou sérii	[Kč]
	P_p ... cena za 1kg materiálu	[Kč]

Zisk z vratného odpadu:

$$Z_{vo1} = m_{odp1} \cdot P_{vo1} = 54405 \cdot 4 = 217620 \text{Kč}$$

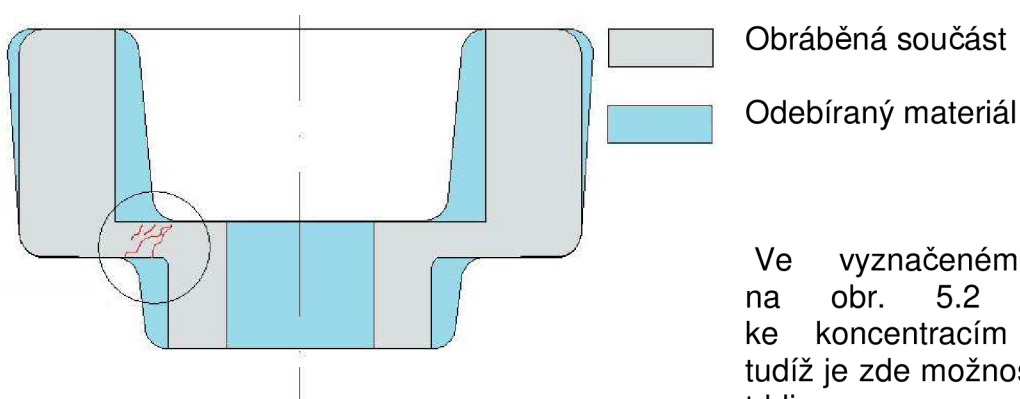
kde P_{vo} ... cena za 1kg vratného odpadu [Kč]

Náklady na jednu součást:

$$N_{m1} = \frac{P_{m1} - Z_{vo1}}{\text{série}} = \frac{2016112,5 - 217620}{200000} = 8,9 \text{Kč}$$

kde N_m ... materiálové náklady na jednu součást [Kč]

Náklady za materiál pro variantu č. 1 jsou 8,9Kč/ks.

Varianta výroby č. 2**Výroba obráběním výkovku**

Obr. 5.2 Varianta č. 2

Výchozí materiál je kruhová tažená tyč $\Phi 30$ h9 ČSN 42 5510 – 12 040. Tyč se bude řezat na špalíky o délce 40 mm, ty se budou následně kovát a obrábět. Tyč bude dodána v délce 3000 mm.

Délka jednoho kusu polotovaru:

$$l_{p1} = l_s + p_d = 39 + 1 = 40 \text{mm}$$

Počet polotovarů z jedné tyče:

$$i_{pt1} = l_t / l_{p1} = 3000 / 40 = 73,2 \text{ks}$$

$$i_{pt1} = 73 \text{ks}$$

Potřebný počet tyčí na celou sérii:

$$i_{t2} = \text{serie} / i_{pt2} = 200000 / 73 = 2739,73 \text{ ks}$$

$$i_{t2} = 2.740 \text{ ks}$$

Celková hmotnost tyčí:

$$m_{t2} = i_{t2} \cdot l_t \cdot S_{t2} \cdot \rho = i_{t2} \cdot l_t \cdot \frac{\pi D_{t2}^2}{4} \cdot \rho = 2740 \cdot 3000 \cdot \frac{\pi \cdot 30^2}{4} \cdot 7,833 \cdot 10^{-6} = 45512,7 \text{ kg}$$

$$m_{t2} = 45.513 \text{ kg}$$

Hmotnost odpadu:

$$m_{odp2} = m_{t2} - m_{\check{s}s} = 45513 - 35200 = 10313 \text{ kg}$$

Cena materiálu na celou sérii:

$$P_{m2} = m_{t2} \cdot P_{p2} = 45513 \cdot 22 = 1001286 \text{ Kč}$$

Zisk z vratného odpadu:

$$Z_{vo2} = m_{odp2} \cdot P_{vo2} = 10313 \cdot 4 = 41252 \text{ Kč}$$

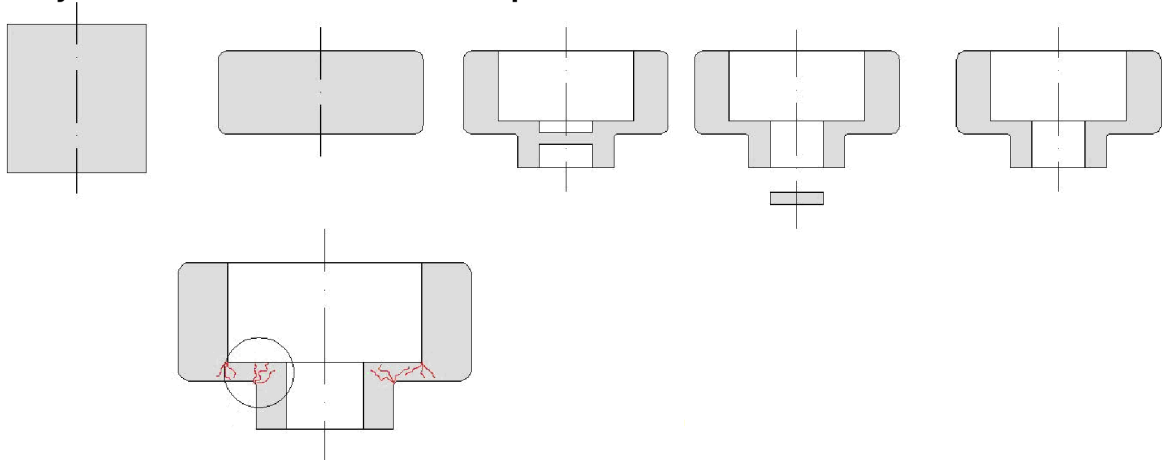
Náklady na jednu součást:

$$N_{m2} = \frac{P_{m2} - Z_{vo2}}{\text{serie}} = \frac{1001286 - 41252}{200000} = 4,8 \text{ Kč}$$

Náklady za materiál pro variantu č. 2 jsou 4,8Kč/ks.

Varianta výroby č. 3

Výroba tvářením za studena – způsob 1.



Obr. 5.3 Varianta č. 3

Ve vyznačeném místě na obr. 5.3 dochází ke koncentracím napětí, tudíž je zde možnost vzniku trhlin.

Výchozí materiál je kruhová tažená tyč s úběrem 5% $\Phi 26$ h9 ČSN 42 5510 – 12 040. Tyč se bude stříhat na špalíky o délce 43 mm a hmotnosti 179 g, ty projdou následně tepelnou (žihání) a povrchovou úpravou (fosfát + mýdlo). Poté se již bude tvářet dle výše uvedeného postupu. Tyč bude dodána v délce 3000 mm.

Délka jednoho kusu polotovaru:

$$l_{p3} = 43mm$$

Počet polotovarů z jedné tyče:

$$i_{pt3} = l_t / l_{p3} = 3000 / 43 = 69,77ks$$

$$i_{pt3} = 70ks$$

Potřebný počet tyčí na celou sérii:

$$i_{t3} = série / i_{pt3} = 200000 / 70 = 2857,14ks$$

$$i_{t3} = 2.858ks$$

Celková hmotnost tyčí:

$$m_{t3} = i_{t3} \cdot l_t \cdot S_{t3} \cdot \rho = i_{t3} \cdot l_t \cdot \frac{\pi D_{t3}^2}{4} \cdot \rho = 3226 \cdot 3000 \cdot \frac{\pi \cdot 26^2}{4} \cdot 7,833 \cdot 10^{-6} = 40248,6kg$$

$$m_{t3} = 40.249kg$$

Hmotnost odpadu:

$$m_{odp3} = m_{t3} - m_{\check{s}} = 40249 - 35200 = 5049kg$$

Cena materiálu na celou sérii:

$$P_{m3} = m_{t3} \cdot P_{p3} = 40249 \cdot 22 = 885478K\check{c}$$

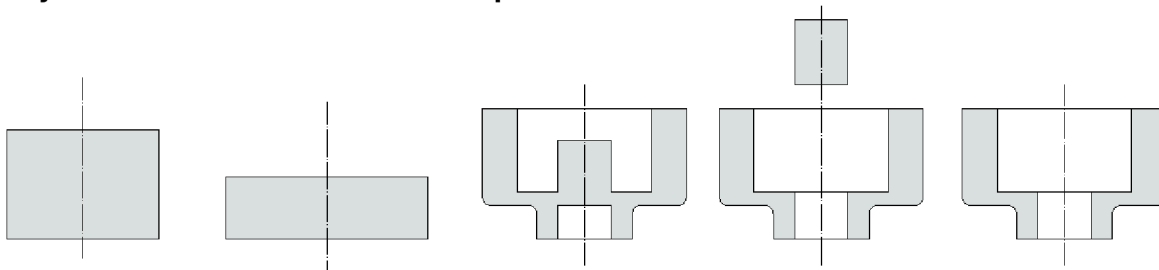
Zisk z vratného odpadu:

$$Z_{vo3} = m_{odp3} \cdot P_{vo3} = 5049 \cdot 4 = 20196K\check{c}$$

Náklady na jednu součást:

$$N_{m3} = \frac{P_{m3} - Z_{vo3}}{série} = \frac{885478 - 20196}{200000} = 4,4K\check{c}$$

Náklady za materiál pro variantu č. 3 jsou 4,4Kč/ks.

Varianta výroby č. 4**Výroba tvářením za studena – způsob 2.**

Obr. 5.4 Varianta č. 4

Výchozí materiál je kruhová tažená tyč s úběrem 5% $\Phi 35$ h9 ČSN 42 5510 – 12 040. Tyč se bude stříhat na špalíky o délce 25,16 mm a hmotnosti 190 g, ty projdou následně tepelnou (žihání) a povrchovou úpravou (fosfát + mýdlo). Poté se již bude tvářet dle výše uvedeného postupu. Tyč bude dodána v délce 3000 mm.

Délka jednoho kusu polotovaru:

$$l_{p4} = 25,16 \text{ mm}$$

Počet polotovarů z jedné tyče:

$$i_{pt4} = l_t / l_{p4} = 3000 / 25,16 = 119,23 \text{ ks}$$

$$i_{pt4} = 120 \text{ ks}$$

Potřebný počet tyčí na celou sérii:

$$i_{t4} = \text{série} / i_{pt4} = 200000 / 120 = 1666,6667 \text{ ks}$$

$$i_{t4} = 1.667 \text{ ks}$$

Celková hmotnost tyčí:

$$m_{t4} = i_{t4} \cdot l_t \cdot S_{t4} \cdot \rho = i_{t4} \cdot l_t \cdot \frac{\pi D_{t4}^2}{4} \cdot \rho = 1667 \cdot 3000 \cdot \frac{\pi \cdot 35^2}{4} \cdot 7,833 \cdot 10^{-6} = 37688,68 \text{ kg}$$

$$m_{t4} = 37.689 \text{ kg}$$

Hmotnost odpadu:

$$m_{odp4} = m_{t4} - m_{\check{s}} = 37689 - 35200 = 2489 \text{ kg}$$

Cena materiálu na celou sérii:

$$P_{m4} = m_{t4} \cdot P_{p4} = 37689 \cdot 22 = 829158 \text{ Kč}$$

Zisk z vratného odpadu:

$$Z_{vo4} = m_{odp4} \cdot P_{vo4} = 2489 \cdot 4 = 9956 \text{ Kč}$$

Náklady na jednu součást:

$$N_m = \frac{P_{m4} - Z_{vo4}}{série} = \frac{829158 - 9956}{200000} = 4,1Kč$$

Náklady za materiál pro variantu č. 4 jsou 4,1Kč/ks.

Porovnání a volba vhodné varianty pro výrobu

Porovnání variant		
Varianta	Náklady na materiál za ks	Pozn.:
1. Obrábění	8,9Kč	Velká série = nutnost kooperace
2. Kování + obrábění	4,8Kč	Riziko trhlin + dražší nástroje + nutnost obrábění
3. Tváření 1	4,4Kč	Riziko trhlin
4. Tváření 2	4,1Kč	

Tab. 5.3. Zhodnocení variant vzhledem k nákladům na materiál

Z tab. 5.3 je vidět, že finančně nejméně nákladnou variantou, co se týče materiálu, je varianta č. 4. Varianta č. 1 obrábění, byla zavržena hned v prvopočátku z důvodu vysokých nákladů na materiál a nutnosti kooperace při obrábění nebo nákupem požadovaného stroje. Varianta č. 3 vypadala nejjednodušeji, ale při testech prvních kusu docházelo k prasklinám výlisku. Varianta č. 4, je v podstatě upravený technologický postup varianty č. 3 tak, aby nedocházelo ke vzniku trhlin, jelikož materiál může snadněji téct. Proto také byla zvolena tato varianta pro výrobu.

Technologický postup výroby součásti

1. stříhat materiál na rozměr $\Phi 35 \text{ h}9 \times 25,16$ (hmotnost 190 g) na střižném nástroji pomocí mechanického lisu LEPP 100
2. špalíky žíhat na měkko
3. špalíky fosfátovat a napustit mýdlem
4. lisovat na postupovém tvářecím automatu TPZK 25
5. odmastit
6. kontrolovat
7. balit a expedovat

6 VOLBA A NÁVRH VÝROBNÍCH ZAŘÍZENÍ

[8]

Jak lze danou součást vyrábět různými postupy, tak je možno ji vyrábět na různých strojích. Polotovary lze nadělit z tyčového materiálu pomocí řezání, rozbrušování či stříhání. V daném případě bylo zvoleno stříhání. Důvodem pro tuto volbu byla rychlost procesu a v podstatě nulový odpad. Další výhodou bylo, že firma je vybavena mechanickým lisem LEPP 100 se střížným nástrojem, který je pro tento účel vhodný a zároveň nejsou nutné žádné další investice do strojního vybavení dílny.

Pro tepelné a povrchové úpravy polotovaru byla zvolena kooperace z důvodu její dostupnosti, jak logistické tak ekonomické.

Pro tváření za studena by zvolen postupový automat TPZK 25, který je rovněž ve vlastnictví firmy. Další jeho nespornou výhodou je rychlost provozu, možnost čtyř operací na jednom stroji a také menší prostorová nákladnost oproti čtyřem samostatným jednooperačním strojům.

Stroj pro stříhání

LEPP 100

Jedná se o mechanický výstředníkový lis o jmenovité síle 1 000 kN (100 t). Síla stroje je tudíž plně dostatečná k dělení výchozího tyčového materiálu $\Phi 35$ h9, kde je potřebná síla 590 kN (59 t).



Obr. 7.1 LEPP 100

Stroj pro tváření

TPZK 25

Jedná se o horizontální mechanický lis o jmenovité síle 5 000 kN (500 t) se čtyřmi lisovnicemi, přenášecím zařízením, které přenáší výlisek mezi nástroji, s podávacím a s rovnacím zařízením drátu.

Konkrétní stroj je dále vybaven skluzem pro zavádění již dělených polotovarů do pracovního prostoru stroje a zvedacím zařízením pro usnadnění manipulace s těžkými nástroji.

Stroj je určen pro víceoperační objemové tváření součástí typu svorník a matice buď z kusového polotovaru, nebo ze svitku drátu.

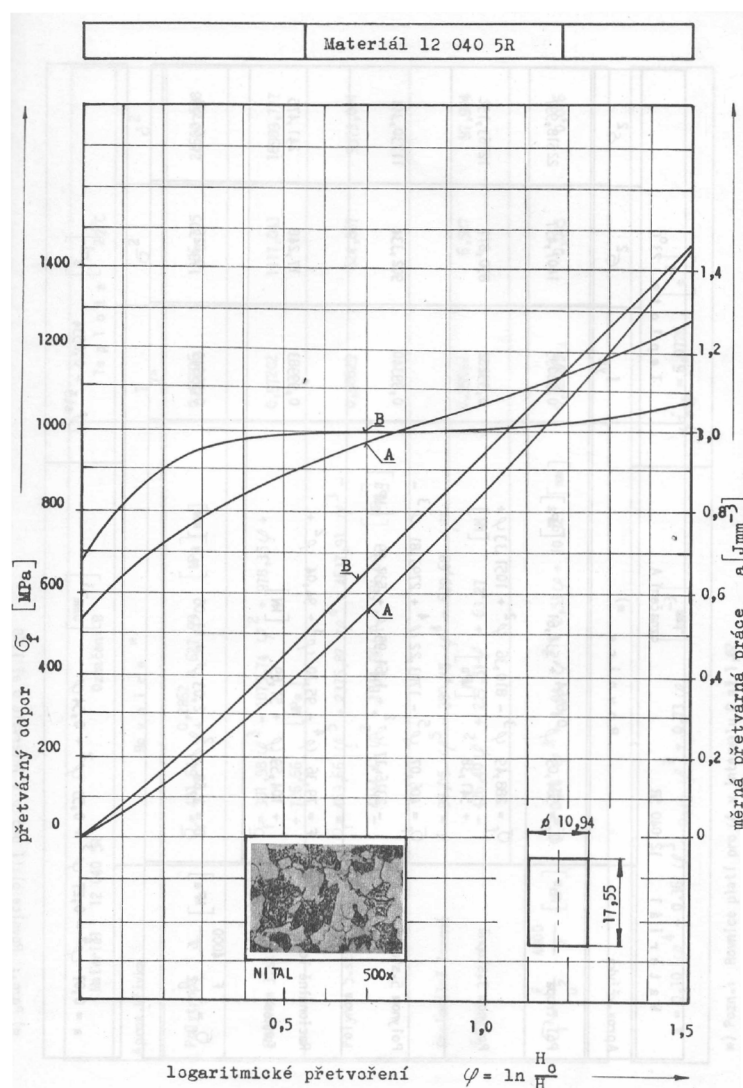


Obr. 7.2 TPZK 25

7 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

[1], [2], [3], [6], [7], [8]

Při výpočtech bylo vycházeno z technické literatury, vzorce pro výpočet střížné síly (2.1), logaritmického přetvoření (3.2), (3.3), (3.5) a tvářecí síly (3.7) byly uvedeny v kapitole 2.1 respektive 3.1. Přetvárný odpor byl vypočten z polynomu pátého stupně, který matematicky popisuje křivku přetvárného odporu (obr. 6.1). Deformační odpor byl stanoven z výpočtových vztahů podle Siebela.



Obr. 6.1 Křivky přetvárného odporu

0. Operace

Stříhání

V této operaci bude na mechanickém lisu LEPP100 ustřížen polotovár určený k dalšímu zpracování.

Střížná síla

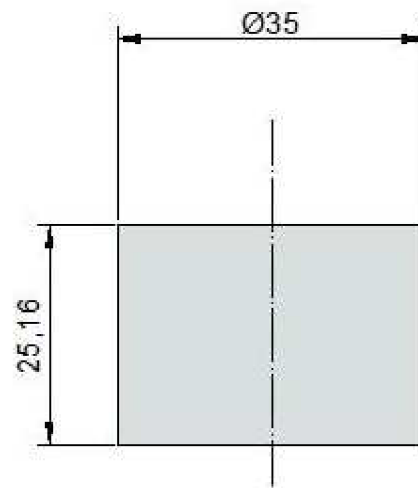
$$F = (1,15 \div 1,30) \cdot S \cdot \tau_{ps}$$

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

$$F = 1,3 \cdot \frac{\pi \cdot 35^2}{4} \cdot 0,8 \cdot 589$$

$$F = 589.351,7862 N$$

$$F \cong 590 kN$$



Obr. 6.2 Ustřížený polotovár

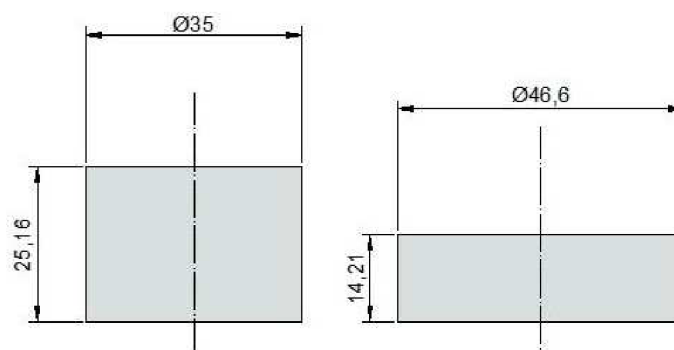
Potřebná síla k ustřížení polotovaru je cca 590 kN.

1. Operace

Pěchování

$\Phi 35h9 \rightarrow \Phi 46,6$

Zde je ustřížený polotovár pěchován z $\Phi 35$ h9 na $\Phi 46,6$.



Obr. 6.3 První operace na TPZK 25

Logaritmičké přetvoření

$$\varphi_1 = \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} = \ln \frac{46,6^2}{35^2} = 0,573$$

kde	φ ... logaritmičké přetvoření	[-]
	D_0 ... výchozí průměr	[mm]
	D_1 ... konečný průměr	[mm]

Přirozený přetvárný odpor

$$\sigma_{f1} = 469,66 \cdot \varphi_1^5 - 2375,82 \cdot \varphi_1^4 + 4637,91 \cdot \varphi_1^3 - 4244,41 \cdot \varphi_1^2 + 1834,95 \cdot \varphi_1 + 684,09$$

$$\sigma_{f1} = 469,66 \cdot 0,573^5 - 2375,82 \cdot 0,573^4 + 4637,91 \cdot 0,573^3 - 4244,41 \cdot 0,573^2 + 1834,95 \cdot 0,573 + 684,09$$

$$\sigma_{f1} = 987,4 \text{ MPa}$$

kde σ_f ... přirozený přetvárný odpor [MPa]

Deformační odpor

$$\sigma_{d1} = \sigma_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} f \frac{D_1}{H} \right) = 987,4 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,05 \cdot \frac{46,6}{16,7} \right) = 1033,3 \text{ MPa}$$

kde σ_d ... deformační odpor [MPa]

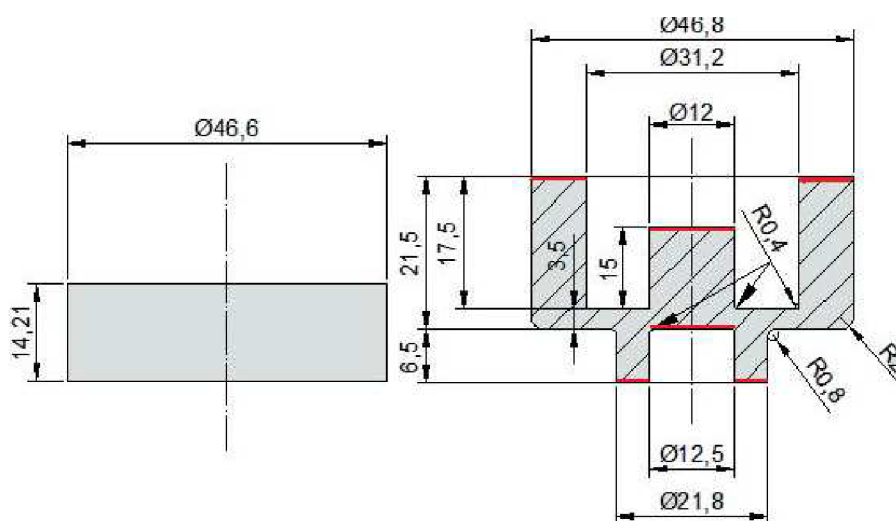
Tvářecí síla

$$F_1 = \sigma_{d1} \cdot S = 1446,61 \cdot \frac{\pi \cdot 46,6^2}{4} = 1762369,51 \text{ N} \cong 1762,4 \text{ kN}$$

kde S ... funkční plocha razníku [mm²]

2. Operace**Tvarování**

Zde je napěchovaný špalík dále tvarován dle obr. 6.4. Nejdříve je materiál pěchován na $\Phi 46,8$ po zaplnění hlavní dutiny lisovnice se začne zpětně protlačovat na rozměr $\Phi 46,8 / \Phi 31,2$. S rostoucím třením o stěnu nástroje se začne tvářet rozměr $\Phi 21,8 / \Phi 12,5$. Po uzavření hlavní dutiny lisovnice se materiál spěchuje na konečný rozměr $\Phi 21,8$ v dolní části lisovnice.



Obr. 6.4 Druhá operace na TPZK 25

Pěchování $\Phi 46,6 \rightarrow \Phi 46,8$ Logaritmické přetvoření

$$\varphi_{2,1} = \ln \frac{D_2^2}{D_1^2} = \ln \frac{46,8^2}{46,6^2} = 0,0086$$

$$\varphi_{2,1c} = \varphi_1 + \varphi_{2,1} = 0,573 + 0,0086 = 0,581$$

Přirozený přetvárný odpor

$$\sigma_{f_{2,1}} = 469,66 \cdot \varphi_{2,1}^5 - 2375,82 \cdot \varphi_{2,1}^4 + 4637,91 \cdot \varphi_{2,1}^3 - 4244,41 \cdot \varphi_{2,1}^2 + 1834,95 \cdot \varphi_{2,1} + 684,09$$

$$\sigma_{f_{2,1}} = 469,66 \cdot 0,581^5 - 2375,82 \cdot 0,581^4 + 4637,91 \cdot 0,581^3 - 4244,41 \cdot 0,581^2 + 1834,95 \cdot 0,581 + 684,09$$

$$\sigma_{f_{2,1}} = 987,4 \text{ MPa}$$

Deformační odpor

$$\sigma_{d_{2,1}} = \sigma_{f_{2,1}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} f \frac{D_2}{H}\right) = 987,4 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,05 \cdot \frac{46,8}{21,5}\right) = 1033,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d_{2,1}} = 1033,6 \text{ MPa}$$

Tvářecí síla

$$F_{2,1} = \sigma_{d_{2,1}} \cdot S = 1033,6 \cdot \frac{\pi \cdot (31,2^2 - 12^2)}{4} = 673329,0644 \text{ N} \cong 673,4 \text{ kN}$$

Zpětné protlačování $\Phi 46,8 \rightarrow \Phi 46,8 / \Phi 31,2$ Logaritmické přetvoření

$$\varphi_{2,2} = \ln \frac{D_2^2}{D_2^2 - (d_1^2 - d_3^2)} = \ln \frac{46,8^2}{46,8^2 - (31,2^2 - 12^2)} = 0,476$$

$$\varphi_{2,2c} = \varphi_1 + \varphi_{2,2} = 0,573 + 0,476 = 1,05$$

Přirozený přetvárný odpor

$$\sigma_{f_{2,2}} = 469,66 \cdot \varphi_{2,2}^5 - 2375,82 \cdot \varphi_{2,2}^4 + 4637,91 \cdot \varphi_{2,2}^3 - 4244,41 \cdot \varphi_{2,2}^2 + 1834,95 \cdot \varphi_{2,2} + 684,09$$

$$\sigma_{f_{2,2}} = 469,66 \cdot 1,05^5 - 2375,82 \cdot 1,05^4 + 4637,91 \cdot 1,05^3 - 4244,41 \cdot 1,05^2 + 1834,95 \cdot 1,05 + 684,09$$

$$\sigma_{f_{2,2}} = 1011,7 \text{ MPa}$$

Deformační odpor

$$\sigma_{d2,2} = 1,152 \cdot \sigma_{f2,2} \cdot \frac{D_2}{d_1 - d_3} \left(\log \frac{D_2}{D_2 - d_1 + d_3} + \frac{D_2}{D_2 - d_1 + d_3} \log \frac{D_2}{d_1 - d_3} + \log \frac{d_1 - d_3}{D_2 - d_1 + d_3} \right)$$

$$\sigma_{d2,2} = 1,152 \cdot 1077,7 \cdot \frac{46,8}{31,2 - 12} \left(\log \frac{46,8}{46,8 - 31,2 + 12} + \frac{46,8}{46,8 - 31,2 + 12} \log \frac{46,8}{31,2 - 12} + \log \frac{31,2 - 12}{46,8 - 31,2 + 12} \right)$$

$$\sigma_{d2,2} = 2666,7 \text{ MPa}$$

Tvářecí síla

$$F_{2,2} = \sigma_{d2,2} \cdot S = 2666,7 \cdot \frac{\pi \cdot (31,2^2 - 12^2)}{4} = 1737216,953 \text{ N} \cong 1738 \text{ kN}$$

Zpětné protlačování

Φ46,8 → Φ21,8/Φ12,5

Logaritmické přetvoření

$$\varphi_{2,3} = \ln \frac{d_1^2}{D_3^2 - d_2^2} = \ln \frac{31,2^2}{21,8^2 - 12,5^2} = 1,116$$

$$\varphi_{2,3c} = \varphi_1 + \varphi_{2,3} = 0,573 + 1,116 = 1,689$$

Přirozený přetvárný odpor

$$\sigma_{f2,3} = 469,66 \cdot \varphi_{2,2c}^5 - 2375,82 \cdot \varphi_{2,2c}^4 + 4637,91 \cdot \varphi_{2,2c}^3 - 4244,41 \cdot \varphi_{2,2c}^2 + 1834,95 \cdot \varphi_{2,2c} + 684,09$$

$$\sigma_{f2,3} = 469,66 \cdot 1,689^5 - 2375,82 \cdot 1,689^4 + 4637,91 \cdot 1,689^3 - 4244,41 \cdot 1,689^2 + 1834,95 \cdot 1,689 + 684,09$$

$$\sigma_{f2,3} = 1142,858 \text{ MPa}$$

Deformační odpor

$$\sigma_{d2,3} = 1,152 \cdot \sigma_{f2,3} \cdot \frac{D_3}{d_2} \cdot \left(\log \frac{D_3}{D_3 - d_2} + \frac{D_3}{D_3 - d_2} \log \frac{D_3}{d_2} + \log \frac{d_2}{D_3 - d_2} \right)$$

$$\sigma_{d2,3} = 1,152 \cdot 1142,858 \cdot \frac{21,8}{12,5} \cdot \left(\log \frac{21,8}{21,8 - 12,5} + \frac{21,8}{21,8 - 12,5} \log \frac{21,8}{12,5} + \log \frac{12,5}{21,8 - 12,5} \right)$$

$$\sigma_{d2,3} = 2444,6 \text{ MPa}$$

Tvářecí síla

$$F_{2,3} = \sigma_{d2,3} \cdot S = 2444,6 \cdot \frac{\pi \cdot 12,5^2}{4} = 299992,7545 \text{ N} \cong 300 \text{ kN}$$

3. Operace

Prostřížení otvoru

V této operaci dojde k prostřížení otvoru $\Phi 12,5$.

Střížná síla

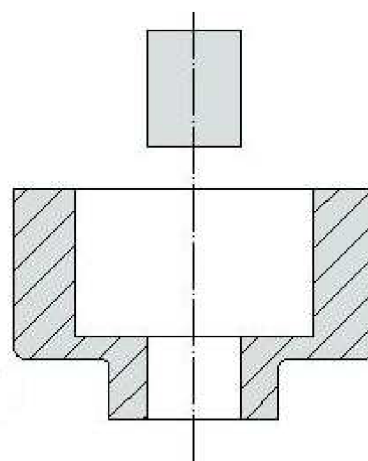
$$F = (1,15 \div 1,30) \cdot S \cdot \tau_{ps}$$

$$F = 1,3 \cdot \pi \cdot D \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F = 1,3 \cdot \pi \cdot 12,5 \cdot 3,5 \cdot 0,8 \cdot 589$$

$$F = 84193,11232 \text{ N}$$

$$F \cong 84,2 \text{ kN}$$



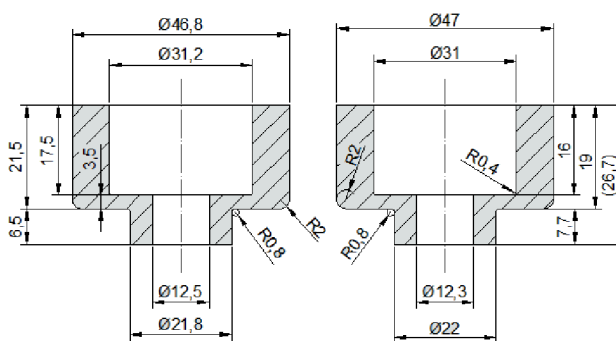
Obr. 6.5 Třetí operace na TPZK 25

Potřebná síla k prostřížení otvoru je cca 84,2 kN.

4. Operace

Kalibrace

V této operaci dochází ke spěchování materiálu na konečný rozměr, viz obr. 6.6. Vnitřní průměry jsou kalibrovány trnem.



Obr. 6.6 Čtvrtá operace na TPZK 25

Pěchování

$$\Phi 46,8 / \Phi 31,2 \rightarrow \Phi 47 / \Phi 31$$

Logaritmické přetvoření

$$\varphi_{4,1} = \ln \frac{D_4^2 - d_3^2}{D_2^2 - d_1^2} = \ln \frac{47^2 - 31^2}{46,8^2 - 31,2^2} = 0,026$$

$$\varphi_{4,1c} = \varphi_{4,1} + \varphi_{2,2} = 0,026 + 1,05 = 1,074$$

Přirozený přetvárný odpor

$$\sigma_{f,4,1} = 469,66 \cdot \varphi_{4,1c}^5 - 2375,82 \cdot \varphi_{4,1c}^4 + 4637,91 \cdot \varphi_{4,1c}^3 - 4244,41 \cdot \varphi_{4,1c}^2 + 1834,95 \cdot \varphi_{4,1c} + 684,09$$

$$\sigma_{f,4,1} = 469,66 \cdot 1,074^5 - 2375,82 \cdot 1,074^4 + 4637,91 \cdot 1,074^3 - 4244,41 \cdot 1,074^2 + 1834,95 \cdot 1,074 + 684,09$$

$$\sigma_{f,4,1} = 1014,7 \text{ MPa}$$

Deformační odpor

$$\sigma_{d4,1} = \sigma_{f4,1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} f \frac{D_4}{H}\right) = 1014,7 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,05 \cdot \frac{47}{19}\right) = 1056,5 \text{ MPa}$$

Tvářecí síla

$$F_{4,1} = \sigma_{d4,1} \cdot S = 1056,5 \cdot \frac{\pi \cdot (47^2 - 31^2)}{4} = 1035590,35 \text{ N} \cong 1035,6 \text{ kN}$$

Pěchování

$\Phi 21,8 / \Phi 12,5 \rightarrow \Phi 22 / \Phi 12,3$

Logaritmické přetvoření

$$\varphi_{4,2} = \ln \frac{D_5^2 - d_4^2}{D_3^2 - d_2^2} = \ln \frac{22^2 - 12,3^2}{21,8^2 - 12,5^2} = 0,042$$

$$\varphi_{4,2c} = \varphi_{4,2} + \varphi_{2,3} = 0,042 + 2,462 = 2,5$$

Přirozený přetvárný odpor

$$\sigma_{f4,2} = 469,66 \cdot \varphi_{4,2c}^5 - 2375,82 \cdot \varphi_{4,2c}^4 + 4637,91 \cdot \varphi_{4,2c}^3 - 4244,41 \cdot \varphi_{4,2c}^2 + 1834,95 \cdot \varphi_{4,2c} + 684,09$$

$$\sigma_{f4,2} = 469,66 \cdot 2,5^5 - 2375,82 \cdot 2,5^4 + 4637,91 \cdot 2,5^3 - 4244,41 \cdot 2,5^2 + 1834,95 \cdot 2,5 + 684,09$$

$$\sigma_{f4,2} = 4271 \text{ MPa}$$

Deformační odpor

$$\sigma_{d4,2} = \sigma_{f4,2} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} f \frac{D_5}{H}\right) = 4271 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,05 \cdot \frac{22}{7,7}\right) = 4474,4 \text{ MPa}$$

Tvářecí síla

$$F_{4,2} = \sigma_{d4,2} \cdot S = 4474,4 \cdot \frac{\pi \cdot (22^2 - 12,3^2)}{4} = 1169199,2 \text{ N} \cong 1169,2 \text{ kN}$$

Potřebná tvářecí síla

Jelikož se bude součást vyrábět na postupovém automatu, volí se největší z vypočtených sil v každé z jednotlivých operací. Volí se proto, že než stroj vyvine největší z vypočtených, již dávno vyvine síly nižší. Poté je potřebná celková tvářecí síla rovna součtu těchto největších sil.

$$F_c = \Sigma F_{i_{\max}} = 4753,6 \text{ kN}$$

Z tohoto důvodu byla zvolena jako mezní síla, síla $F_c = 4\,800 \text{ kN}$ (480 t).

8 PEVNOSTNÍ KONTROLA NÁSTROJŮ

[3], [7]

Kontrolní výpočty byly provedeny pro součásti typu pýchovník a průtlačnice. Nástroj typu pýchovník byl kontrolován pro první tvářecí operaci, kdy dochází k vyvození největší z tvářecí síly $F_1=1\,763$ kN a nástroj typu průtlačnice byl kontrolován pro druhou tvářecí operaci, kdy dochází k druhé největší z tvářecích sil $F_{2,2}=1\,738$ kN a zároveň je zde i nejkritičtější tloušťka stěny průtlačnice.

V tab. 8.1 jsou uvedeny mechanické vlastnosti použitých materiálů (pýchovník – 19 830, průtlačnice – 19 830).

Mechanické vlastnosti materiálu					
Materiál	HRC	E	Rm	Rp0,2	σ_{dov}
19 830	62	220000	1665	1480	1425

Tab.: 8.1 Mechanické vlastnosti použitých nástrojových materiálů [3]

Výpočet pýchovníku

Vzhledem ke způsobu upnutí a poměru volné délky k průměru je rozhodující pro kontrolu vzpěrná stabilita nástroje a tlak vznikající při tváření. Pracovním limitem průtlačníků je vzpěrná délka k průměru L/D . Při poměru $L/D \leq 3$ se provádí kontrola jen na tlak.

Hodnoty vstupující do výpočtu pýchovníku		
průměr pýchovníku	46,5	[mm]
materiál	19 830	
síla působící na pýchovník	1763	[N]

Tab.: 8.2 Hodnoty potřebné pro pevnostní výpočet pýchovníku

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{S} = \frac{F_1}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 1763000}{\pi \cdot 46,5^2} = 1034,2 \text{ MPa}$$

Z tab. 8.1 je vidět, že dovolené napětí $\sigma_{dov}=1\,425$ MPa < $\sigma_{\max}=1\,034,2$ MPa, tudíž nástroj v dané operaci z pevnostního hlediska vyhovuje a měl by požadovanou zátěž snést.

Výpočet průtlačnice

Průtlačnice jsou namáhány vnitřním tlakem p_0 , rovnoměrně po celé délce průtlačnice, přičemž velikost vnitřního tlaku je při uzavřeném pěchování přibližně rovna deformačnímu odporu σ_d . Vliv tvaru dutiny, koncentrace napětí atd. se zanedbává. Největších hodnot dosahuje napětí na vnitřním průměru průtlačnice.

Hodnoty vstupující do výpočtu průtlačnice		
D_1 - vnější průměr průtlačnice	95	[mm]
D_2 - vnitřní průměr průtlačnice	46,8	[mm]
σ_d	8295	[MPa]
σ_{dov}	1425	[MPa]
materiál	19 830	-

Tab.: 8.3 Hodnoty potřebné pro pevnostní výpočet průtlačnice

$$\sigma_{\max} = 2 \cdot p_0 \cdot \frac{\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}{\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 - 1} = 2 \cdot \sigma_d \cdot \frac{\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}{\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 - 1} \leq \sigma_{dov}$$

$$\sigma_{\max} = 2 \cdot 8295 \cdot \frac{\left(\frac{95}{46,8}\right)^2}{\left(\frac{95}{46,8}\right)^2 - 1} = 219,07 \text{ MPa}$$

Z tab. 8.1 je vidět, že dovolené napětí $\sigma_{dov}=1\,425 \text{ MPa} < \sigma_{\max}=220 \text{ MPa}$, tudíž nástroj v dané operaci z pevnostního hlediska vyhovuje a měl by požadovanou zátěž snést.

9 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

[8], [9]

Náklady na materiál:

$$N_m = P_{m4} - Z_{vo4} = 829158 - 9956 = 819202 \text{ Kč}$$

kde N_m ... celkové čisté náklady na materiál [Kč]
 P_m ... celková cena materiálu [Kč]
 Z_{vo} ... celkový zisk z vratného odpadu [Kč]

Stříhání:

Hodina práce stroje: 800Kč

Počet kusů za směnu (8 hodin): 4000ks (500ks/hod)

$$N_s = \frac{\textit{serie}}{\textit{ks/h}} \cdot \textit{mzda} = \frac{200000}{500} \cdot 800 = 320000 \text{ Kč}$$

kde N_s ... náklady na mzdu operátora u lisu se střížným nástrojem [Kč]

Náklady na nástroje

$$N_{ns} = 90.000 \text{ Kč}$$

Náklady na výkresovou dokumentaci

$$N_{vs} = 30.000 \text{ Kč}$$

Úprava polotovaru:

Náklady na žíhání

$$N_{\dot{z}} = 10 \text{ Kč/kg}$$

$$N_{\dot{z}c} = N_{\dot{z}} \cdot m_{t4} = 10 \cdot 37689 = 376890 \text{ Kč}$$

kde $N_{\dot{z}}$... cena za žíhání 1kg materiálu [Kč]
 $N_{\dot{z}c}$... náklady na vyžíhání celé série [Kč]
 m_t ... hmotnost polotovarů celé série [Kč]

Náklady na fosfátování a napuštění mýdlem

$$N_{fm} = 5 \text{ Kč/kg}$$

$$N_{fmc} = N_{fm} \cdot m_{t3} = 5 \cdot 37689 = 188445 \text{ Kč}$$

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

Lisování:

Hodina práce stroje: 1000Kč

Počet kusů za směnu (8 hodin): 15000ks (1875ks/hod)

$$N_l = \frac{\textit{serie}}{\textit{ks/h}} \cdot \textit{mzda} = \frac{200000}{1875} \cdot 1000 = 106668 \text{Kč}$$

kde N_l ... náklady na mzdu operátora u TPZK 25 [Kč]

Náklady na nástroje

$N_{ns} = 300.000 \text{Kč}$

Náklady na výkresovou dokumentaci

$N_{vs} = 60.000 \text{Kč}$

Kontrola:

Kontrolovat se bude každý tisící kus. Jelikož kontrolu provádí obsluha stroje, která má díky kontrole přehled o nutnosti seřízení stroje, není nutno tento úkon započítat do celkových nákladů. U takto výkonných strojů, jako je TPZK 25 se udává kontrola ne na kusy, nýbrž na čas. Kontrole každého tisícího kusu odpovídá kontrola každých 30 minut

Přeprava:

Žihání:

$$N_{pž} = 2 \cdot s \cdot P_p = 2 \cdot 15 \cdot 5 = 150 \text{Kč}$$

$$n_j = \frac{m_{t4}}{m_p} = \frac{37689}{1500} = 25,126 \cong 26$$

$$N_{pžc} = N_{pž} \cdot n_j = 150 \cdot 26 = 3900 \text{Kč}$$

kde s ... délka trasy [km]
 P_p ... cena za km [Kč]
 n_j ... počet jízd [-]
 m_p ... max. nosnost vozu [kg]

Povrchová úprava:

Vzhledem k tomu, že se provádí zhruba v místě provozu firmy, je tato částka již zanedbatelná, vzhledem k celkovým nákladům.

Doprava tyčového materiálu od dodavatele je započtena v ceně materiálu a dopravu hotových kusů k odběrateli hradí sám odběratel.

Celkové náklady:

$$\begin{aligned}
 N &= \sum N_i = \\
 &= 819202 + 320000 + 90000 + 30000 + 376890 + \\
 &+ 188445 + 106668 + 300000 + 60000 + 3900 = \\
 &= 2295100,68 \text{ Kč}
 \end{aligned}$$

kde N ... celkové náklady [Kč]
 $\sum N_i$... součet veškerých dílčích nákladů [Kč]

Náklady na jeden výrobek – cena výrobku:

$$C' = N / \text{série} = 2\,295\,100,68 / 200\,000 = 11,48 \text{ Kč}$$

kde C' ... předběžná cena [Kč]

Náklady na obnovu nástrojů:

V praxi se používá 10% z vlastní ceny výrobku. Tyto náklady by měly zahrnovat náklady na výrobu opotřebovaných či jinak znehodnocených nástrojů.

$$N_{\text{on}} = 0,1 \cdot C' = 0,1 \cdot 11,48 = 1,148 \text{ Kč}$$

Cena:

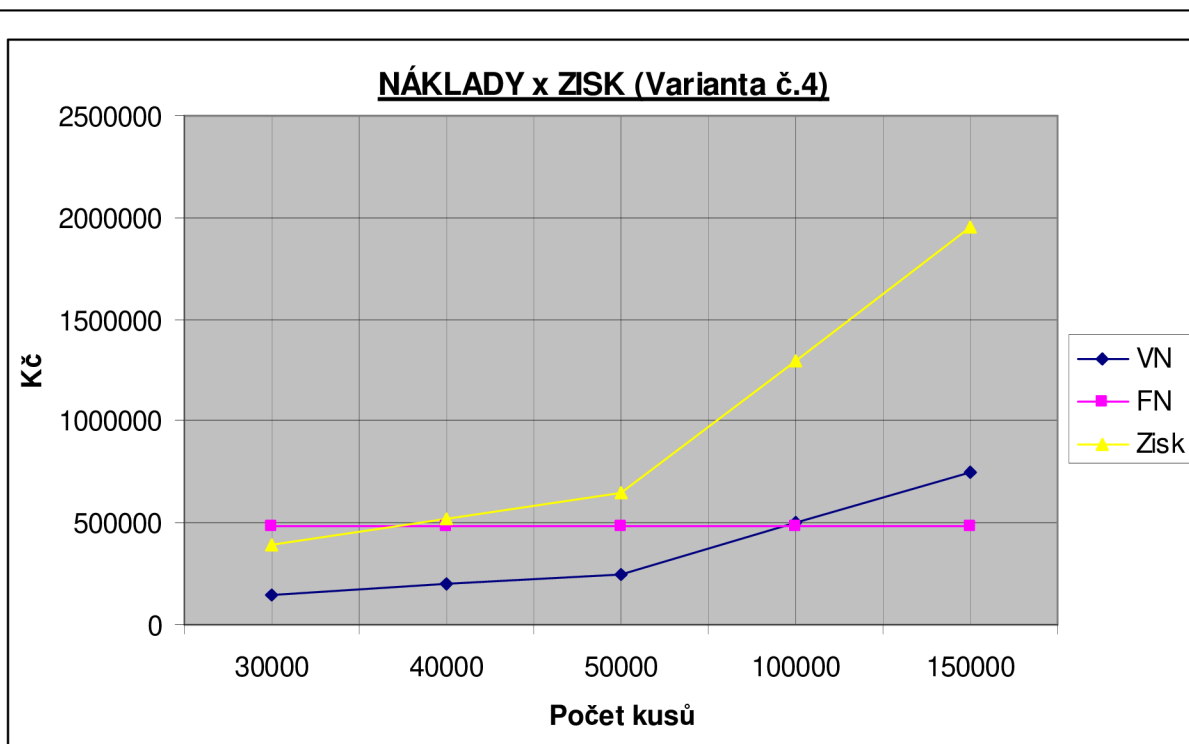
$$C = C' + N_{\text{on}} = 11,48 + 1,148 = 12,7 \text{ Kč}$$

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

Minimální cenu vlastního výrobku bych stanovil na 13Kč.

V praxi se k základní ceně ještě přičítá 30% jako zisk, tudíž by pak výsledná prodejní cena byla 16,50Kč bez DPH. Z toho lze vidět, že by se cena měla pohybovat v uvedeném rozmezí (13 až 16,50Kč). Horní hranice nemusí být omezena, nýbrž ta dolní by neměla být překročena, jinak pak hrozí ztráta.

Při stanovení minimální série, při které se začíná generovat zisk, bylo vycházeno z grafu obr. 9.1, kde jsou vyneseny náklady a zisk. V místě, kde křivka průběhu zisku vzroste nad křivky nákladů, se začíná generovat zisk. Při odečtení souřadnic na ose „X“ (ks), bylo stanoveno minimální rentabilní množství na 37 000 ks při ceně 13 Kč.



Obr. 9.1 Graf bodu zvratu, kde VN jsou variabilní náklady (závislé od počtu vyrobených kusů a FN jsou fixní náklady (nezávislé od počtu vyrobených kusů).

ZÁVĚR

Zadáním diplomové práce bylo navržení optimálního postupu výroby pro zadanou součást objemovým tvářením za studena. Vypracování kompletní technické, ekonomické a výkresové dokumentace (rozsah stanoven vedoucím diplomové práce).

Dále bylo provedeno zhodnocení zadané součásti a navrhnuty různé způsoby výroby. Ty byly posouzeny z hlediska nákladů na materiál a použité technologie. Vybrána byla jedna varianta a to č. 4 (tvářením), která byla dále zpracována.

Jako výrobní zařízení byl zvolen postupový tvářecí automat TPZK 25, který plně vyhovuje technologickým požadavkům (max. tvářecí síla atd.) a firma, kterou byla součást zadána, tento stroj vlastní. Výkresová dokumentace byla vytvořena právě pro tento stroj. Pro přípravu polotovaru byl zvolen mechanický lis LEPP 100, na kterém se pomocí střížného nástroje bude dělit tyčový materiál.

Při ekonomickém zhodnocení, byla stanovena minimální cena na 13Kč a zároveň minimální rentabilní počet kusů na 37 000 ks.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DVORÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169s. 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. 187s. 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. LEIMBERGER, Jan; PECHA, Jaroslav; KUFFEL, Ivo. *Směrnice pro konstrukci a výpočet funkčních částí nástrojů pro víceoperační tváření za studena a poloohřevu*. Brno : VUTS, 1976. 68 s.
8. JEDOVNICKÝ, Jan. *Výroba dutého čepu s přírubou tvářením*. Brno, 2009. 44 s. Bakalářská práce. VUT Brno FSI ÚST.
9. FERONA [online]. c2011 [cit. 2011-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.ferona.cz/cze/index.php/>>.
10. HŠV Polička [online]. 2011 [cit. 2011-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.hsvpolicka.cz/>>.
11. ŠMERAL [online]. [2011] [cit. 2011-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.smeral.cz/data.php?data=profil>>.
12. J-VST s.r.o [online]. 2005-2006 [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.j-vst.eu/>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
C	[Kč]	Cena výrobku
d	[mm]	Vnitřní/malý průměr
D	[mm]	Vnější/velký průměr
F_c	[N]	Celková tvářecí síla
$F_{i,j}$	[N]	Dílčí tvářecí síla
F_s	[N]	Střížná síla
h	[mm]	výška
l	[mm]	Délka
m	[kg]	Hmotnost
N	[Kč]	Náklady
p	[MPa]	Tlak
P	[Kč]	Cena
R_e	[MPa]	Mez pružnosti
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
S	[mm ²]	Plocha
T	[°C]	Teplota
T_{tav}	[°C]	Teplota tavení
v	[m/s]	Rychlost
V	[mm ³]	Objem
Z	[Kč]	Zisk
Δl	[-]	Absolutní deformace
ε	[%]	Poměrná deformace
ρ	[kg/m ³]	Hustota
σ_d	[MPa]	Deformační odpor
σ_{dov}	[MPa]	Max. dovolené napětí
σ_f	[MPa]	Přirozený přetvárný odpor
φ	[-]	Logaritmické přetvoření

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Základní technické údaje LEPP 100
Příloha 2	Základní technické údaje TPZK 25
Příloha 3	Technologický postup
Příloha 4	Výkres součásti
Příloha 5	Výkres sestavy nástrojů
Příloha 6	Výkres průtlačnice 2
Příloha 7	Výkres stíracího pouzdra
Příloha 8	Výkres horního průtlačníku
Příloha 9	Výkres dolního průtlačníku

