



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

VÝROBA POUZDRA PROTLAČOVÁNÍM ZA STUDENA.

METAL FORMING PRODUCTION OF BUSH BY COLD EXTRUSION.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ ŠIMEČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MILAN FOREJT, CSc.

BRNO 2009

ABSTRAKT

ŠIMEČEK Tomáš: Výroba pouzdra protlačováním za studena.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia předkládá návrh postupu výroby „pouzdra“ objemovým tvářením za studena. Polotovarem je kruhová tyč ČSN 42 6510 z oceli 12 050.3. Na základě literární studie problematiky objemového tváření a výpočtu byl navržen postup výroby v pěti operacích sestávajících se ze stříhání, pěchování a protlačování. Jako tvářecí stroj byl zvolen automat TPZK 25 tuzemského výrobce ŠMERAL Brno a.s. s jmenovitou tvářecí silou 5MN. Polotovar je do pracovního prostoru stroje založen manipulátorem, vyjmutí protlačku je zajištěno vyhazovačem integrovaným ve stroji. Nástroje jsou zhotoveny z nástrojové oceli, pro průtlačník byla zvolena ocel 19 550.4, pro průtlačnici 19 436.4 a objímka z oceli 19 733.4. Jako tepelné zpracování bylo tedy navrženo kalení a následné popouštění.

Klíčová slova: ocel 12 050, tváření, protlačování za studena, pouzdro

ABSTRACT

ŠIMEČEK Tomáš: Metal forming production of bush by cold extrusion.

The project elaborated in frame of bachelor study degree brings a proposal of step by step metal forming production of bush by cold extrusion. Workpiece is made of normalized circle-shaped bar using 12 050 steel. The step by step production is based on literary pursuit of volumetric forming and calculation and is designed into five steps containing cutting, pressing and extrusion. These operations will be done on multistage pressing automatic machine TPZK 25 manufactured by ŠMERAL Brno, plc. with nominal pressing force of 5MN. Semi-finished product is placed into tooling's workspace with manipulator. Final part extraction is solved with ejector integrated in automatic machine. Tools are made of tool steel, extrusion punch is designed of 19 550.4 steel, extrusion die is designed of 19 436.4 steel and extrusion die's band is designed of 19 733.4 steel. Tools are designed to be improved by hardening and drawing.

Keywords: 12 050 steel, metal forming, cold extrusion, bush

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠIMEČEK, T. *Výroba pouzdra protlačováním za studena..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 40 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Milan Forejt, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 29.5.2009

Tomáš Šimeček

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 29.5.2009

Tomáš Šimeček

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Prof. Ing. Milanu Forejtovi, Csc. za poskytnuté podklady, připomínky, informace a cenné rady k zadanému tématu bakalářské práce.

OBSAH

Titulní list

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy

Poděkování

Obsah

	Strana
1. ÚVOD	3
2. TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ	5
2.1. Definice a dělení tváření	5
2.2. Tváření za studena	6
2.2.1. Plastická deformace	6
2.2.2. Deformační zpevnění a odpevnění	7
2.2.3. Zotavení, polygonizace, rekrytalizace	8
2.3. Metody objemového tváření za studena	11
2.3.1. Pěchování	11
2.3.2. Protlačování	12
2.4. Technologičnost výroby při objemovém tváření	13
2.4.1. Technologičnost tvaru	13
2.4.2. Všeobecné zásady	14
2.4.3. Výpočet zpevnění a rozměrů	16
2.5. Základní výpočty a vztahy	18
2.5.1. Přetvárné odpory, druhy řešení	18
2.5.2. Tvářecí síla	19
2.5.3. Tvářecí práce a výkon	19
2.6. Materiály vhodné k protlačování	20
2.7. Požadavky na materiál nástrojů	21
2.8. Tvářecí stroje	21
2.8.1. Mechanické lisy	21
2.8.2. Hydraulické lisy	22
2.8.3. Tvářecí automaty	22
3. ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE	24
3.1. Technologičnost zadané součásti	24
4. NÁVRH VLASTNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI	25
4.1. Výpočet objemu součásti	25
4.2. Návrh variant řešení, technologické výpočty	26
4.3. Vyhodnocení variant řešení a závěr	29
5. NÁVRH SESTAVY NÁSTROJE	31
5.1. Návrh tvářecího stroje	31
5.2. Sestava nástroje a výkresová dokumentace	31
6. TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	34
7. ZÁVĚR	37

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

1. ÚVOD

Každý z nás se ráno po probuzení zabývá řadou úkonů, při kterých zcela běžně a bez jakéhokoliv dalšího hlubšího přemýšlení využívá řadu přípravků, nástrojů, pomůcek a jiných spotřebitelských výrobků. Člověk si bez nich dnešní svět nedokáže představit, ale jen hrstka lidí si je schopna uvědomit kolik lidského úsilí, snahy a práce se skrývá za výrobou těchto denních pomocníků. Tak například základní každodenní záležitostí je ranní hygiena, při hlubším zaměření na ní zjistíme, že bez kartáčku, zubní pasty a jiných kosmetických doplňků se tato činnost neobejde. Z čeho se ale tyto pomůcky skládají? Samozřejmě z obsahu, napadne běžného uživatele, pro nás technology je ovšem tím hlavním pojítkem obal, ve kterém až druhořadě vidíme obsah. Jak se tento obal vyrobil? Jakou technologii? Kolik kusů se asi vyrobí každý rok? Jaké jsou náklady na výrobu? Tohle vše jsou otázky, na které technolog hledá odpovědi a které nás přivádí k druhům výrobních technologií, jejich posuzování, zhodnocení kritérií každé z nich a výběru té nejproduktivnější z nich.

V dnešním moderním světě udává tón výroby především její rychlost, přesnost a samozřejmě cena. Tyto tři pilíře výroby se staly nosnými faktory a jejich optimalizací a vzájemnou souhrou, hledáním nových a zdokonalováním stávajících technologií lze dosahovat těch nejlepších výsledků. Těmto požadavkům dnes vyhovují především progresivní metody výroby v oblasti obrábění a tváření. Nasazením číslicově řízených strojů NC, CNC a dalších technologií jako je obrábění plazmovým paprskem, laserem či vodním paprskem, doznala technologie obrábění vysokých kvalit. Stále však, i přes vysokou přesnost výrobků, není schopna nahradit jiné technologie, především pak tváření.

Tváření je technologie, která má na poli výroby své neotřesitelné místo a která svou přesností výroby dosahuje vysokých kvalit, tím hlavním faktorem a doménou je ovšem její obrovská produktivita práce za jednotku času – v řádu stovek kusů za minutu. Další výhodou je její poměrně snadná automatizace a integrace do robotizovaných výrobních linek. Touto technologií lze ovšem vyrábět i jinak nevýrobitelné a nebo velice těžko výrobitelné součásti opravdu rozmanitých tvarů a velikostí a to především díky velkému rozsahu jednotlivých druhů metod jako je plošné tváření (především plechů, ohýbání trubek atd.), objemové tváření za tepla (zejména kovací operace) a objemové tváření za studena (čepy, pouzdra, nýty atd.). Tyto všechny aspekty společně s využitím moderních a velice odolných materiálů a nástrojů, strojů a v neposlední řadě širokým záběrem zpracování plastů a jiných nekovových materiálů, dělají z technologie tváření nezastupitelnou součást výrobních procesů i přesto, že její kořeny sahají hluboko do historie.

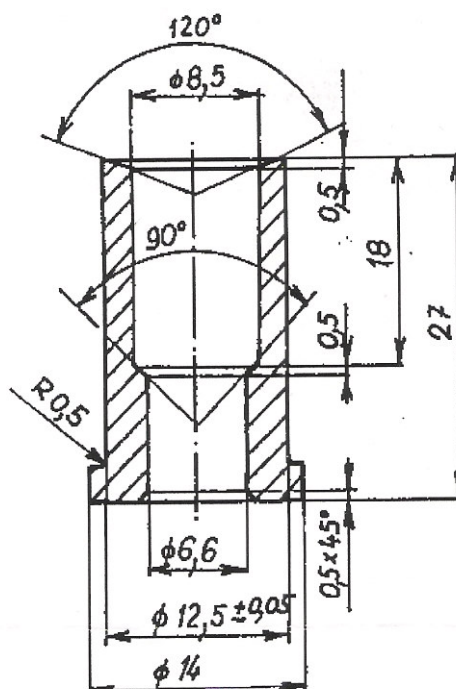
Tváření za studena, hlavní technologie zadané bakalářské práce, je velice rozšířenou metodou výroby, která v produktivitě výroby zaujímá jasné prvenství. Jde o moderní a hospodárnou metodu výroby strojních součástí, při které výrobek – protlaček, dosahuje vysoké jakosti. Při výrobě dochází ke zpevnění materiálu, vlákna jsou usměrněná a nepřerušena, čímž se zvyšuje únavová pevnost budoucího protlačku. Díky těmto vlastnostem úspěšně nahrazuje tato metoda výroby technologii obrábění.



Obr.1 Protlačování za studena – ukázka druhů protlačků [10]

Tématem této práce je výroba pouzdra protlačováním za studena. Touto technologií se výrobek – protlaček, vyrobí v několika postupných operacích – krocích, bez tepelného ohřevu materiálu. Výchozí polotovár je vyroben z oceli 12 050.3. Budoucí protlaček je níže vyobrazen na obr.2 . Plánovaná výroba je 800 000 kusů ročně.

M 2:1



Obr.2 Vyráběný protlaček

Zadaná součást je na první pohled dosti členitá a její rozměry jsou dosti malé na to, aby k její výrobě byla použita technologie obrábění. K obrábění by bylo nutné použít sadu několika nástrojů, což zvyšuje náklady na výrobu. S přihlédnutím na plánovanou roční kusovitost výroby je výhodné použít k výrobě právě protlačování za studena. Touto technologií se ušetří počet potřebných nástrojů, počet pracovních operací a tedy i čas potřebný k manipulaci a především výrobě samotné součásti. To vše má blahodárný dopad na ekonomické zatížení výroby při dodržení všech technologických a konstrukčních zásad a požadavků.

Snahou je tedy vyrobit spolehlivý a funkční výrobek při co nejnižším ekonomickém zatížení. Zvolená technologie má předpoklady k tomu, aby vytyčené cíle bylo možné bez problému dosáhnout a zároveň nabízí možnost integrace do výrobních linek pro případné budoucí vyšší vytížení. K tomuto účelu bude věnována pozornost i výběru vhodné dimenzovaného výrobního stroje.

2. TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ

2.1. Definice a dělení tváření

Tváření je způsob technologie výroby, při které se k požadované změně tvaru výrobku, popř. polotovaru, nebo jeho vlastností dochází důsledkem působení vnějších sil. Podstatou tváření je vyvození takových vnějších sil, při kterých dojde ke vzniku plastických deformací v materiálu, čili namáhání materiálu takovým napětím, které dosáhne meze kluzu.

Nejdůležitějším způsobem dělení této technologie je podle fyzikální podstaty dějů, to znamená podle vztahu teploty tvářeného materiálu k teplotě rekrystalizace, tato teplota je přibližně $0,35 \div 0,4$ násobkem teploty tavení daného materiálu.

a) TVÁŘENÍ ZA STUDENA

Tento výrobní proces probíhá za teplot výrazně menších než je teplota rekrystalizace, přibližně za teplot dosahujících 30% teploty tavení daného materiálu. Při těchto teplotách dochází ke zpevňování materiálu a zrna se deformují ve směru tváření, vzniká tzv. textura někdy též nazývaná deformační textura. Zpevnění ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu, převážně pak jeho pevnost a tažnost. Pevnost narůstá, což má za následek zvýšení meze kluzu a meze pevnosti, naopak tažnost klesá.

- Výhody:
- vysoká přesnost rozměrů
 - vysoká kvalita povrchu materiálu (nedochází k okujení)
 - lepší vlastnosti způsobené zpevněním

- Nevýhody:
- velké tvářecí síly
 - nerovnoměrné zpevnění materiálu
 - nižší (omezená) tvárnost materiálu

b) TVÁŘENÍ ZA ČÁSTEČNÉHO OHŘEVU

Proces probíhá za teplot nižších než je teplota rekrystalizace, čili i zde dochází k deformačnímu zpevnění materiálu. Jde o druh kompromisu mezi tvářením za studena a tvářením za tepla neboli jde o proces zotavení materiálu, ke kterému dochází již při nižších teplotách. Tohoto jevu je možné si všimnout především u nízkouhlíkatých ocelí.

c) TVÁŘENÍ ZA TEPLA

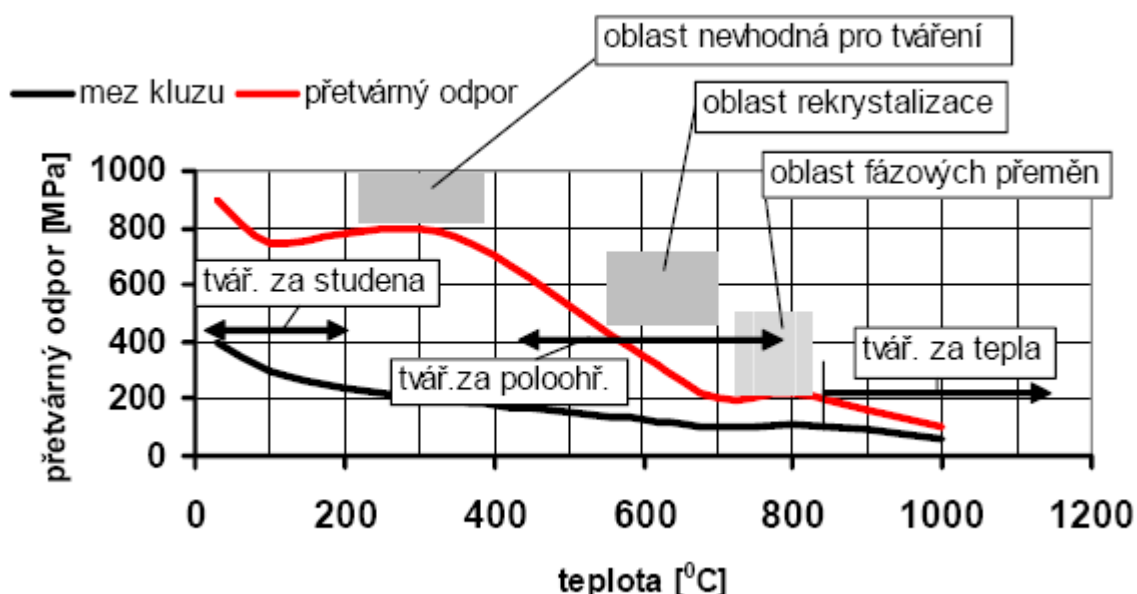
Proces, který probíhá nad teplotou rekrystalizace, při kterém dochází v materiálu k opakovanému obnovování tvaru zrna, což umožňuje vysoký stupeň deformace tzv. přetvoření. K přetvoření je navíc zapotřebí mnohem menších, až desetkrát menších, sil, neboť v materiálu nedochází k jeho zpevnění. Nevzniká tedy ani deformační textura. U materiálu vlivem ohřevu dochází k okujení, což má neblahý vliv na kvalitu povrchu.

- Výhody:
- malé přetvárné odpory při vyšších teplotách (nutnost menších sil)
 - zotavování struktury materiálu
 - menší síly a tím i menší namáhání nástroje

- Nevýhody:
- vyšší náklady spojené s ohřevem materiálu
 - tepelné namáhání nástroje

- menší přesnost rozměru a tvaru, nutnost přídavek
- horší kvalita povrchu vlivem okujení
- menší využití materiálu
- vláknitá struktura u výkovků (rozdílné mech.vlast. podél a příčně)

Obecná závislost mechanických vlastností ocelí na teplotě je znázorněna na obr.3 . Jde ovšem pouze o zjednodušené zobrazení, skutečný průběh ovlivňuje řada vlivů jako druh oceli, rychlost tváření a jeho velikost.



Obr.3 Obecná závislost mechanických vlastností na teplotě [13]

2.2. Tváření za studena

Cílem této práce je návrh výroby pouzdra protlačováním za studena, jedná se tedy o výrobu tvářením za studena, proto je nezbytné správně pochopit jisté náležitosti spojené s touto technologií. Již jsme si naznačili, kdy proces výroby tvářením probíhá, za jakých teplot a jaké vlastnosti má takto vyrobený protlaček, jeho výhody a nevýhody. Je nutné uvědomit si, že proces tváření za studena ovlivňuje nejen mechanické vlastnosti materiálu, ale také jeho fyzikální vlastnosti. Například elektrický odpor se značně zvyšuje, naopak permeabilita se snižuje. Nyní se tedy podíváme na problematiku zblízka.

2.2.1. Plastická deformace

Již dříve jsme zavedli několik pojmů, které se zde pokusíme blíže specifikovat. Prvním pojmem je plastická deformace. Jde o trvalou a nevratnou změnu tvaru tělesa, v našem případě výrobku, způsobenou vnitřní či vnější silou aniž by však došlo k narušení spojitosti materiálu. Před každou plastickou deformací vzniká deformace elastická, kterou známe z Hookova zákona. Plastická deformace za studena ovlivňuje strukturu materiálu, jeho zrna se tvářením v jednom směru deformují a protahují. Při intenzivním tváření dojde k usměrnění i jejich krystalografických os. Takovou deformaci nazýváme texturou. Textura je ve většině případů jevem nežádoucím (výjimkou jsou hlavně transformátorové plechy) a

není možné ji zcela odstranit ani novým tepelným zpracováním, které však napomáhá k jejímu potlačení.

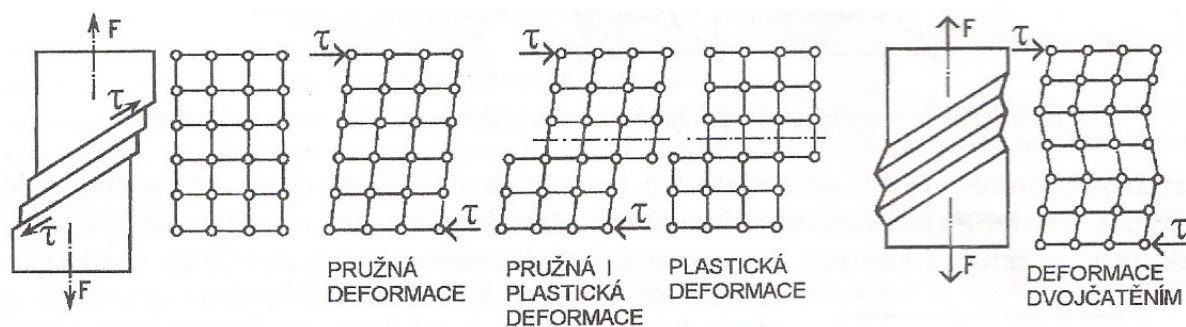
PŘETVOŘENÍ

Jde vlastně o plastickou deformaci, pojem byl však zaveden pro označení velkých hodnot plastických deformací a v dalším se s tímto pojmem často setkáme. Při takto velkých deformacích může dojít k porušení spojitosti materiálu vznikem trhlin, což je samozřejmě jevem nežádoucím. V extrémních případech může dojít až k celkovému zničení (destrukci) součásti.

MECHANIZMY PLASTICKÉ DEFORMACE

Z nauky o materiálech víme, že deformace mohou vznikat na hranicích zrn nebo uvnitř zrn. Bavíme-li se o kovech, máme na mysli krystalickou strukturu, pak je možné plastickou deformaci definovat jako nevratnost děje při zachování krystalické struktury. Pak můžeme skluz a dvojčatění označit za dva mechanismy plastické deformace. Převažujícím mechanismem plastické deformace je skluz, který je řízen těmito zákonitostmi:

- obvyklý výskyt skluzu je v rovinách s největší hustotou atomů
- směr skluzu je totožný se směrem nejvíce obsazeným atomy
- maximální skluzné napětí $\tau_{\max}$ řídí směr a výskyt skluzových rovin
- skluz nastává při kritické hodnotě $\tau_{\max}$



Obr.4 Schematické znázornění druhů deformací [3]

2.2.2. Deformační zpevnění a odpevnění

Již víme, že tvářitelnost určitého materiálu (kovu) závisí především na teplotě daného materiálu a na jeho stavu napjatosti. Na průběh plastických deformací mají tedy největší vliv teplota a rychlost deformace. Dalším důležitým vlivem na zvyšující se pevnost materiálu je jeho chemické složení, převážně pak obsah uhlíku. Všechny tyto aspekty mají za následek velkou různorodost v nárůstu pevnosti při tváření. V tab.1 je uvedeno jakého zpevnění se dosahuje u ocelí o různém chemickém složení při zachování stejných podmínek tváření. Z tabulky je patrné, že největšího zpevnění se dosahuje u austenitických ocelí.

Tab.1 Zpevnění ocelí s různým chemickým složením [5]

Složení oceli (%)					Tvrдость (HB)		Zpevnění (HB)
C	Si	Mn	Cr	Ni	před tvářením	po tvářením	
0,45	0,2	0,7			185	276	91
0,85	0,2	0,25			179	283	104
1,1	0,2	0,2			190	296	106
1,2	0,2	13			195	448	253
0,16			0,7	3,5	198	240	92
0,3			0,5	1,5	210	313	103
0,35			1,25	4,45	216	333	117
0,1			14		205	318	113
0,09			18	9	205	360	155
0,08		16	15		220	415	195

DEFORMAČNÍ ZPEVNĚNÍ

Narůstající odpor materiálu proti deformaci – přetvoření, definujeme jako deformační odpor. K tomuto procesu dochází při teplotách nižších než cca 30% teploty tavení tvářeného materiálu, tedy při tvářením za studena. Právě teplota společně s deformační rychlostí nejvíce ovlivňují kritické skluzové napětí $\tau_{\max}$. Z fyzikálního hlediska má na zpevnění největší podíl hustota dislokací.

DEFORMAČNÍ ODPEVNĚNÍ

Je definováno jako odstranění příčin zpevnění v závislosti na teplotě a času. Díky této závislosti může odpevnění probíhat částečně a nebo úplně. Je rovněž možný paralelní průběh odpevnění společně se zpevněním, v takovém případě se proces odpevnění odehrává s jistou časovou ztrátou – zpožděním. Často se však odpevnění provádí až následným ohřevem materiálu po tvářením, přičemž při teplotě přesahující cca 70% teploty tavení tvářeného materiálu je podíl odpevnění natolik veliký, že v materiálu v průběhu tvářením za tepla nedochází ke změnám jeho mechanických ani fyzikálních vlastností. Protože proces odpevnění značně ovlivňuje (eliminuje) proces zpevnění, je zapotřebí po tvářením za studena zvážit níže jmenované aspekty a případně této eliminační vlastnosti odpevnění využít. Jedná se především o tyto dva případy:

- 1) Je třeba materiálu navrátit část plasticity pro další tvářecí operace. K tomuto účelu se využívá tzv. mezioperační žíhání.
- 2) Je třeba materiálu navrátit jeho fyzikální vlastnosti např. elektrickou vodivost.

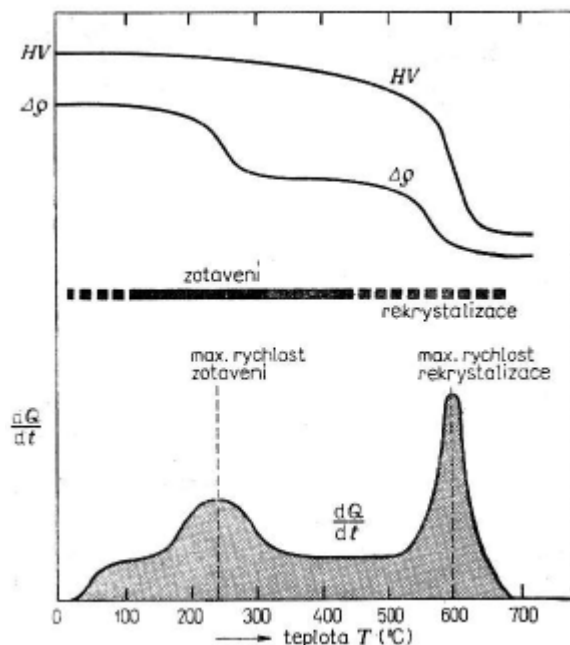
2.2.3. Zotavení, polygonizace, rekrytalizace

V materiálu resp. jeho krystalické mřížce dochází během tvářením za studena k hromadění velkého množství deformační energie, která způsobuje značnou termodynamickou nestabilitu materiálu. Podle zákonitostí o volné energii má tedy takto energií překypující krystalická mřížka snahu změnit svůj stav do stavu s nižší volnou energií.

Tento přechod (návrat do stavu před tvářením za studena) však není možný jinak než pomocí dějů, při kterých se aktivuje tepelná aktivita materiálu, je tedy zapotřebí ohřevu, což má vždy za následek změnu mechanických a fyzikálních vlastností materiálu. Proces odpevnění se v závislosti na množství a charakteru (změn vlastností materiálu) uvolněné deformační energie obvykle dělí na tyto skupiny pochodů:

- zotavení s polygonizací
- rekrytalizace (primární)

V některých publikacích se uvádí ještě třetí metoda odpevnění a tou je sekundární rekrytalizace. V přehledu níže ji ovšem z kapacitních důvodů uvádět nebudeme.



Obr.5 Rychlost odpevnění, změna tvrdosti HV a změna měrného elektrického odporu $\Delta\rho$ u deformačně zpevněného materiálu v závislosti na žíhací teplotě [12]

ZOTAVENÍ A POLYGONIZACE

Při ohřevu materiálu dochází vždy nejdříve k jeho zotavení. Pojmem zotavení materiálu rozumíme děje a jimi vyvolané změny vlastností materiálu, které probíhají při ohřevu (žíhání) deformačně zpevněného materiálu do vzniku nových zrn s velkoúhlovými hranicemi. Tento proces předchází rekrytalizaci a vyznačuje se poměrně minimální změnou mechanických vlastností materiálu při snižujícím se pnutí. Dochází však k velkému nárůstu elektrické vodivosti materiálu. Na zotavení a množství uvolněné deformační energie má velký vliv čistota materiálu, kovu. Již při teplotách cca 30% teploty tavení materiálu dochází k jeho zotavení a tato teplota dále klesá se zvyšující se čistotou materiálu. Podle charakteru změn, které nastanou při zotavení, je možné toto další dělení:

- | | |
|-----------------------------|---|
| a) Zotavení bodových poruch | - dochází k obnovení fyzikálních vlastností |
| b) Zotavení dislokací | - dochází k obnově mechanických vlastností |

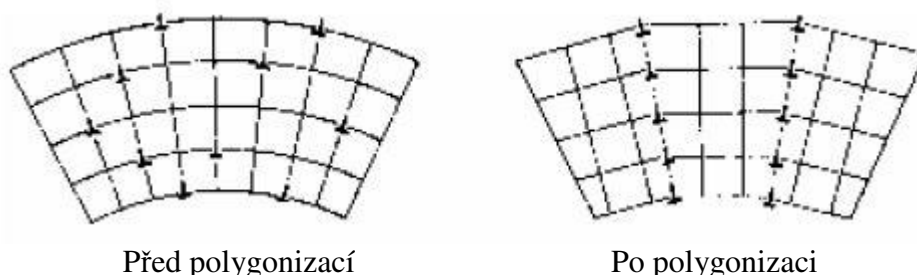
Ad a)

V této fázi dochází ke snížení uložené deformační energie pomocí difúze bodových poruch, převážně vakancí, za nízkých teplot. Snížení nadbytečné energie a tedy k přechodu do rovnovážného termodynamického stavu největší mírou přispívá anihilace vakancí. Při tomto procesu se materiálu obnovuje měrný elektrický odpor, mechanické vlastnosti se však nemění.

Ad b)

Tato fáze probíhá za dalšího navýšení ohřevu a je poslední fází před rekrytalizací. Tepelnou aktivací dochází k dalšímu pohybu dislokací, které zaujímají energeticky

výhodnější pozice. Pokračuje i anihilace dislokací. Mřížka, která byla vlivem deformace a náhodného rozložení dislokací ohnutá ve svých atomových rovinách, se začíná pomalu regenerovat díky seskupování dislokací do stěn, které představují energeticky nejvýhodnější polohu. Tyto stěny jsou kolmé ke skluzové rovině dislokací a představují malouhlové hranice, čili oddělují od sebe jednotlivé úseky mřížky s malou poruchovostí v řádech minut až několika jednotek stupňů. Tím dochází k odstranění zakřivení mřížky a mluvíme o vzniku subzrn vzniklých uvnitř původních deformačně zpevněných zrn – o tzv. polygonizaci. Polygonizace bude tím vyšší, čím vyšší bude ohřev materiálu (s přísunem tepla roste exponenciálně rychlost zotavení) a čím větší bude čistota materiálu (nečistoty brání v pohybu dislokací a vakancí). Proces doprovází rapidní úbytek vnitřního pnutí materiálu při zachování jeho mechanických vlastností (dochází k poklesu pevnosti a tvrdosti, naopak odolnost proti korozi narůstá a obnovují se schopnosti k dalším plastickým deformacím).



Obr.6 Uspořádání hranových dislokací při polygonizaci
⊥ hranová dislokace

REKRYSTALIZACE

Proces, při kterém je hlavním cílem odstranění deformačního zpevnění materiálu se nazývá rekrystalizace. Při tomto procesu se původní plasticky zdeformovaná struktura postupně nahrazuje strukturou novou, nedeformovanou, v téže fázi tzn. bez překrystalizace. K tomu dochází nukleací a růstem nových zrn, které postupně nahradí zrna stávající, tím dojde k eliminaci zpevnění a vzniku nové struktury s odlišnou orientací zrn, jejich velikosti i tvaru. Na průběh rekrystalizace mají největší podíl následující faktory.

- 1) TEPLOTA
- 2) PŮVODNÍ VELIKOST PŘETVOŘENÍ
- 3) CHEMICKÉ SLOŽENÍ MATERIÁLU

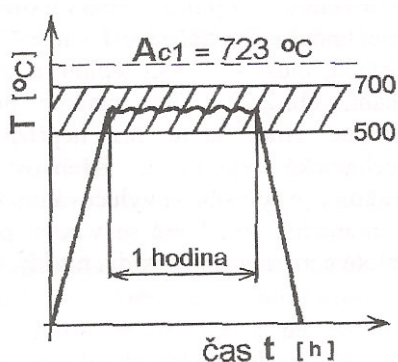
Ad 1)

Mezi hlavní faktory ovlivňující teplotu, při které dochází k rekrystalizaci, jsou velikost předchozí deformace, chemická čistota materiálu a hlavně velikost energie meziatomové vazby, která značným způsobem ovlivňuje teplotu tavení daného materiálu. Poslední jmenovaný faktor udává jak velké množství energie je zapotřebí k tomu, aby atom v uzlovém bodu mřížky opustil své místo. Čím silněji je tedy atom držen, tím větší energie je k tomuto procesu potřeba. Z těchto poznatků vyplývá, že teplota rekrystalizace není konstantní pro každý druh materiálu. S rostoucí teplotou však exponenciálně roste rychlost rekrystalizace a snižuje se čas potřebný k její realizaci. Ke stanovení teploty, při níž rekrystalizace probíhá slouží tento empirický vztah, který je možno použít u většiny kovů.

$$T_R = (0,35 \div 0,4) T_T \quad [K] \quad (2.1)$$

kde T_R ... teplota potřebná k rekrytalizaci
 T_T ... teplota tavení

Znalost teploty rekrytalizace slouží k rozdělení tvářecích procesů – na tváření za studena a na tváření za tepla. Pomyslnou hraniční přímkou je právě teplota potřebná k rekrytalizaci. Je-li materiál tvářen při teplotách nižších než je teplota potřebná k rekrytalizaci, mluvíme o tváření za studena. V takovém materiálu pak dochází k deformačnímu zpevnění. Probíhá-li tváření nad touto teplotou ke zpevnění nedochází.



Rekrytalizační teplota – teplota izotermického ohřevu, při kterém dojde k úplné rekrytalizaci materiálu za jednu hodinu.

Obr.7 Rekrytalizace nízkouhlíkové oceli [3]

Ad 2)

Velikost přetvoření má na průběh rekrytalizace zásadní vliv, neboť při ní se aktivují skluzové systémy, na nich závisí nukleace zárodků nových zrn, což je předpoklad k tomu, aby k rekrytalizaci vůbec došlo. To znamená, že při vyšším stupni přetvoření se v materiálu vytvoří lepší předpoklady k rekrytalizaci, vzrůstá termodynamická nestabilita materiálu, která má za následek snížení teploty potřebné k rekrytalizaci. Navíc tento velký počet nukleačních zárodků ovlivní velikost zrn, při jejich větším počtu nemohou vyrůst do velkých velikostí – dojde ke zjemnění zrna neboli vzniká jemnozrnná struktura. V určitých případech lze tedy rekrytalizace využít k zjemňování struktury.

Ad 3)

Chemické složení materiálu resp. jeho čistota je důležitým aspektem pro rekrytalizaci. Vměstky a nečistoty v materiálu obsaženém jsou příčinou zpomalení pohybu dislokací a tedy i zpomalením průběhu rekrytalizace. Je tedy zřejmé, že čím vyšší čistota materiálu bude, tím větší rychlost a menší teplota bude k rekrytalizaci zapotřebí.

2.3. Metody objemového tváření za studena

Protlačování je společně s pěchováním významným zástupcem tváření, především za studena. Při těchto metodách tváření se na rozdíl od zbývajících metod tváření (tažení, ohýbání atd.) dosahuje změny tvaru polotovaru působením prostorové napjatosti.

2.3.1. Pěchování

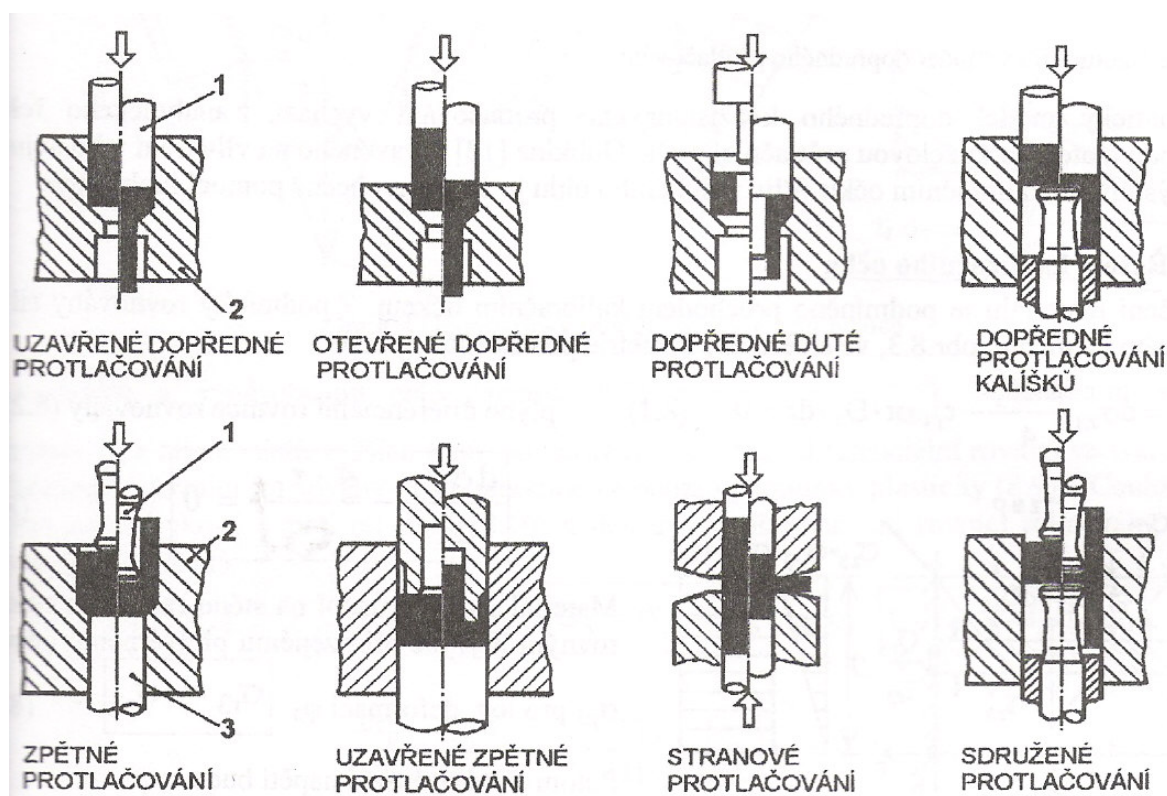
Je základní tvářecí operací objemového tváření, při které se zvětšuje příčný průřez polotovaru na úkor jeho výšky. Prakticky každý tvářecí proces začíná touto operací, kdy se polotovar napěchuje do požadovaných rozměrů. Je tedy neodmyslitelnou součástí při víceoperačních postupech výroby stejně jako při výrobě normalizovaných spojovacích součástí. S ukázkou této operace se setkáme dále v kapitole 4.

2.3.2. Protlačování

Pojmem protlačování označujeme výrobní proces, při kterém je výchozí materiál tvářen průtlačníkem v průtlačnici. Dochází k tečení materiálu mezi nástroji působením vnějšího napjetí při rapidní změně jeho tvaru. Svou vysokou produktivitou výrazně snižuje výrobní náklady a je tedy obzvláště výhodné zařadit tento výrobní proces do hromadné či velkosériové výroby. Podle směru tečení materiálu a jeho způsobu lze protlačování rozdělit do těchto kategorií (viz obr.8).

- a) protlačování dopředné – tvářený materiál postupuje dopředu před průtlačníkem
- b) protlačování zpětné – pohyb tvářeného materiálu je proti pohybu průtlačníku
- c) protlačování sdružené – materiál je tlačěn částečně v jednom i druhém směru
- d) protlačování stranové (radiální) – pohyb mat. je ve směru kolmém k ose nástroje

Podle ČSN 22 6001 se mezi protlačování zahrnuje i usměrněné vtlačování využívané při výrobě dutin. Při řešení problematiky protlačování za studena lze postupovat s využitím přibližně statických podmínek izotermických dějů, neboť protlaček dosahuje zpravidla malé hmotnosti a lze tak zanedbat vliv rychlostí deformace a setrvačných sil. V dalším se zaměříme na protlačování zpětné.

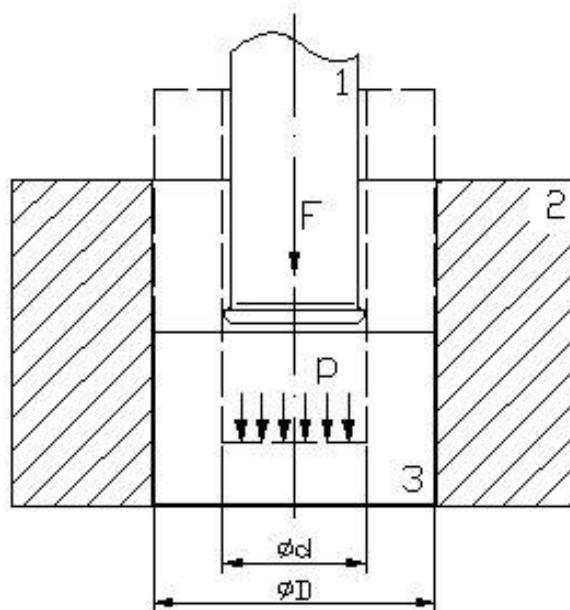


Obr.8 Hlavní způsoby protlačování [3]
1-průtlačník , 2-průtlačnice , 3-vyhazovač

ZPĚTNÉ PROTLAČOVÁNÍ

V některých literaturách též značeno jako usměrněné vtlačování, je jednou z nejvíce rozšířených výrobní technologií. Přitom se řadí k nejstarším známým výrobním operacím a její vznik je datován kolem roku 1880. Jak již bylo řečeno výše, jde o proces, při kterém se

tvářený materiál pohybuje v opačném směru než nástroj – průtlačník. Schematický proces zpětného protlačování je uveden na obr.9.



Obr.9 Proces zpětného protlačování

1-průtlačník , 2-průtlačnice , 3-výchozí materiál,

F-tvářecí síla , p-působící tlak , d-vnitřní průměr protlačku , D-vnější průměr protlačku

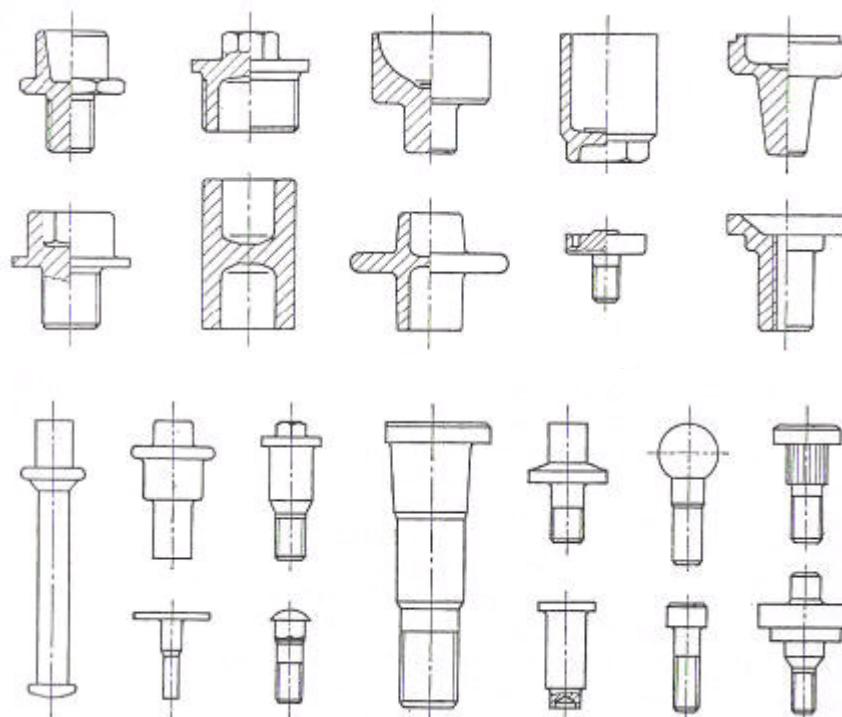
U zpětného protlačování nejsou směry hlavních deformací totožné se směry hlavních souřadnicových os, stav přetvoření je tak nerovnoměrný. Tuto nehomogenní plastickou deformaci lze řešit celou řadou postupů, mezi které patří například metoda řešení dle Dippera, Sachse, Thomsona, Siebela a dalších. Některé tyto metody si přiblížíme v další kapitole věnované výpočtovým vztahům.

2.4. Technologičnost výroby při objemovém tváření

2.4.1. Technologičnost tvaru

Při objemovém tváření za studena je možné tvářet součástí různých rozmanitých tvarů, ať už symetrické, nesymetrické, jednoduchých tvarů nebo tvarů složitých. V praxi se pak využívá obměn základních způsobů výroby různě tvarovaných součástí, mezi které patří zejména následující skupiny tvarů.

- a) součásti kalíškového tvaru
- b) součásti čepového tvaru
- c) nízké rotační součásti s průchozím otvorem
- d) součásti nepravidelného tvaru



Obr.10 Ukázka postupu výroby tvarově podobných součástí [4]
součásti kalíškového tvaru , součásti čepového tvaru

2.4.2. Všeobecné zásady

Při objemovém tváření se stejně jako u každé výrobní technologie uplatňují jisté zásady, které pramení hlavně z experimentálních a praktických zkoušek. Tyto zásady ovlivňují především samotnou proveditelnost dané operace a životnost nástroje, proto je třeba věnovat této problematice patřičnou pozornost. U objemového tváření za studena se jedná především o následující zásady.

- nutnost vyvarovat se náhlým přechodům popř. změn příčného průřezu
- nutnost vyvarovat se ostrých hran a rohů
- vyvarovat se vnější i vnitřní kuželovitosti u protlačků

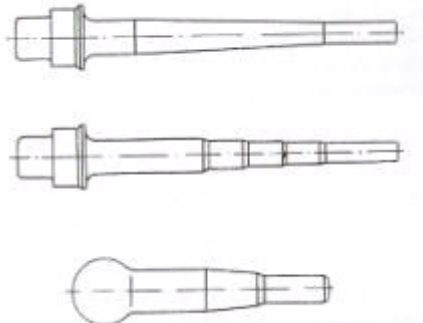
Ostré hrany způsobují zábrany ve směru toku materiálu, což má za následek zvýšení potřebné tvářecí síly k protlačení materiálu. U některých součástí však není možné se těmito hranami a rohy vyhnout, proto je potřeba přechod zmírnit náběhovým kuzelem s velikostí úhlu minimálně 27° a nebo vhodným zaoblením rohu, k tomu je ovšem zapotřebí další operace a je tedy na posouzení technologa, zda se k takovému kroku uchýlit.

U součástí kalíškového tvaru je třeba posoudit vhodnost výskytu ostrých hran ze závislosti tloušťky dna vzhledem k tloušťce stěny. Je-li tloušťka dna větší než tloušťka stěny, nejsou tyto hrany závadou, je-li ovšem stejná nebo menší, dochází k porušení materiálu právě v rozích.

Při vtláčování otvoru do polotovaru je rovněž zapotřebí hodnotit, zda nedojde k ohybu nebo napěchování nástroje. Této kontroly se dosahuje porovnáním poměru hloubky vtláčovaného otvoru k průměru tohoto otvoru, tento poměr nesmí být větší než 2.

Jako jednu ze zásad jsme uvedli snahu vyvarovat se kuželovitosti vnějších či vnitřních ploch součástí. Při dopředném nebo zpětném protlačování se totiž zhotovují protlačky se

stěnou rovnoběžnou s pohybem průtlačníku. Kuželová plocha zvyšuje tření nástroje o stěny součásti tak velkou mírou, že je pro tváření nežádoucí. Zhotovení kuželových ploch je tedy značně obtížné a je tedy vhodné jej provádět spíše výjimečně a nebo, pokud nám to konstrukční podmínky dovolí, nahradit tyto plochy odstupňováním průměrů součásti jak je naznačeno na obr.11.



Obr.11 Součásti s kuželovými plochami [4]

PĚCHOVÁNÍ

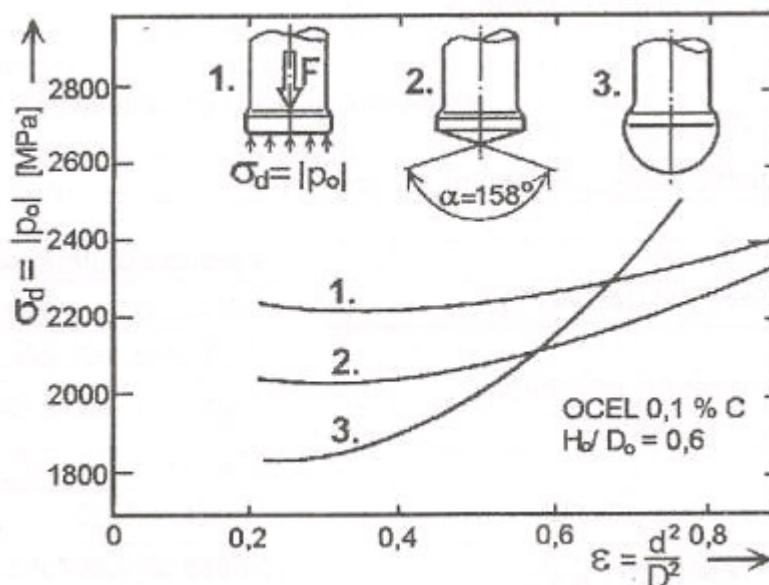
Jak bylo dříve řečeno, pěchování zpravidla předchází zbývajícím tvářecím operacím. Pro stanovení do kolika operací je třeba pěchování rozložit slouží tzv. pěchovací poměr. Jde o podíl celkové skutečně pěchované výšky H_0 k průměru pěchovacího materiálu D_0 .

$$s = \frac{H_0}{D_0} \quad (2.2)$$

Je-li pěchovací poměr $s \leq 2,3$ je možno pěchovat v jediné operaci. Pokud je hodnota v rozmezí $2,3 < s \leq 4,5$ je nutné pěchovat ve dvou operacích s tím, že v první operaci se provede tzv. předpěchování (zpravidla do hruškovitého tvaru) a v druhé se dopěchuje na konečný požadovaný tvar a rozměr.

ZPĚTNÉ PROTlačOVÁNÍ

Při zpětném protlačování je omezena funkční délka průtlačníku z důvodu velkých deformačních odporů, které při této metodě tváření vznikají. Délka se určuje poměrově k průměru čela průtlačníku a maximální přípustná hodnota je 3:1. Velikost deformačního odporu tedy ovlivní i tvar čela průtlačníku a proto je možné při jeho konstrukci využít celou škálu tvarů. Nejobvyklejším tvarem je zakončení čela průtlačníku kuželovou plochou s úhlem v rozsahu 4° až 10° (úhel k rovině kolmé na osu nástroje), takto navrhnutý tvar navíc dobře zavádí mazací vrstvu v dutině.



Obr.12 Vliv tvaru čela na velikosti deformačního odporu [3]

DOPŘEDNÉ PROTlačOVÁNÍ

Při dopředném protlačování není délka protlačené části závislá na délce průtlačníku a proto je možné dosahovat poměru délky protlačku k jeho průměru až 24:1. Vzhledem k tomu dochází k uvíznutí protlačku v průtlačnici a je tedy nutné jej vyjmout a to buď vyhazovačem a nebo dalším následujícím kusem. Dále je také možné využít jak uzavřených, tak i otevřených průtlačnic. Vyhazovací a tvářecí síly ovlivňuje tzv. redukční úhel, jehož velikost se volí v rozsahu $\beta = 15^\circ$ až 126° a jeho velikost je závislá na stupni deformace, jakosti materiálu, jeho povrchové úpravě a na konečném tvaru protlačku. Při vhodných podmínkách lze při dopředném protlačování dosáhnout přesnosti h9 až h11.

2.4.3. Výpočet zpevnění a rozměrů

Má-li být výroba součástí tvářením za studena hospodárná a přesná, aby bylo možné dostat všem konstrukčním, technologickým a funkčním požadavkům, je třeba při návrhu postupu výroby dbát na spoustu aspektů, které jsou s touto problematikou spojeny a mezi které patří zejména vhodná volba polotovaru, jeho co nejvyšší využití, odstranění dodatečných (povrchových) úprav po tváření, snížení pracnosti, dostat jakosti povrchu a v neposlední řadě dosažení co největší životnosti nástrojů.

VZTAHY PRO VÝPOČET PŘETVOŘENÍ

Pro níže uvedené příklady je jejich geometrický model znázorněn na obr.13.

1) Pěchování plného tělesa:

$$\varphi = \ln \frac{L}{H} = \ln \frac{S_2}{S_1} = \ln \frac{D_2^2}{D_1^2} \quad (2.3)$$

$$\varepsilon = \left[1 - \frac{D_1^2}{D_2^2} \right] \quad (2.4)$$

2) Dopředné protlačování plného tělesa:

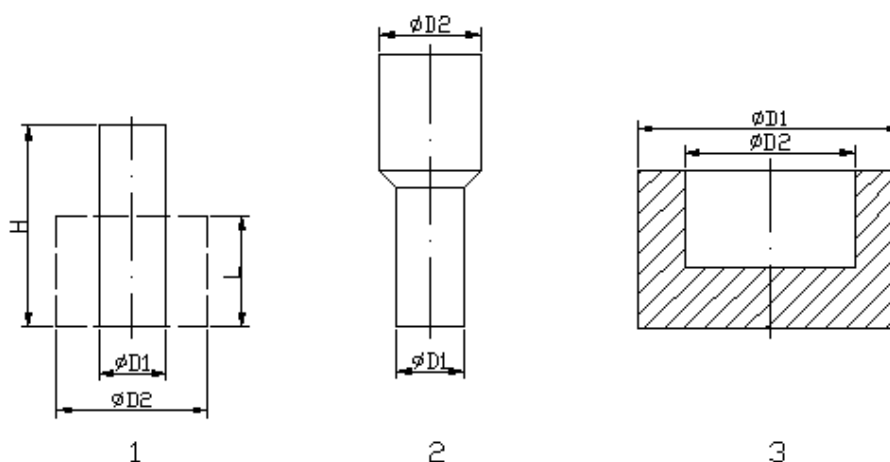
$$\varphi = \ln \frac{S_1}{S_2} = \ln \frac{D_1^2}{D_2^2} \quad (2.5)$$

$$\varepsilon = \left[1 - \frac{D_2^2}{D_1^2} \right] \quad (2.6)$$

3) Zpětné protlačování dutého tělesa:

$$\varphi = \ln \frac{S_1}{S_2} = \ln \frac{D_1^2}{D_1^2 - D_2^2} \quad (2.7)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S_0} = \frac{D_1^2 - (D_1^2 - D_2^2)}{D_1^2} \quad (2.8)$$



Obr.13 Geometrický model tvářecí operace
1-pěchování , 2-dopředné protlačování , 3-zpětné protlačování

VÝPOČET OBJEMU

Při objemovém tváření se po celou dobu nemění objem polotovaru, to znamená, že objem vstupního polotovaru je roven objemu konečného protlačku. Na základě této rovnosti je tedy možné vypočítat objem polotovaru z konečného protlačku rozdělením jeho tvaru na elementární tělesa, pro které jsou definované vztahy pro výpočet objemu. Konečný objem je pak soumou dílčích objemů těchto elementárních těles.

URČENÍ TVARU A ROZMĚRU VÝCHOZÍHO POLOTOVARU

K objemovému tváření se dodává celá řada polotovarů, které lze připravit jak tvářeními tak i obráběním. Je-li to možné, volí se polotovar tvářený, který má vhodnější strukturu a je zhotoven zpravidla stříháním z tyčí nebo taženého drátu. Své uplatnění mají i svařené nebo nesvařené prstence z drátů a tyčí dodávané v různých tvarových provedeních, nejčastěji kruhové, oválné či obdélníkové. Nejběžnější tvary polotovarů jsou následující.

- | | |
|----------------------------------|---|
| - plné špalíky kruhového průřezu | výška je zpravidla větší než polovina průměru |
| - kaloty kruhové, mezikruží atd. | výška je mnohem menší než vnější rozměr |
| - špalíky s průchozím otvorem | obdobu plných špalíků, mají však průchozí otvor |
| - prstence mnoha průřezů | svařované, nesvařované, ohýbané atd. |

URČENÍ TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU

Obdobně jako u pēchovací operace je i u protlačování nutné posoudit v kolika krocích se daná součást bude tvářet, k tomu je zapotřebí znát celkovou deformaci. Na základě ní a schopnosti materiálu pojmout další deformační zatížení bez poruchy celistvosti, se určí, zda je nutné zařadit další operaci či nikoliv. Je tedy zřejmé, že součást jednoduchého tvaru bude možné vyrobit v jedné operaci, naopak tvarově složitá součást se bude tvářet v několika operacích. V Tab.2 jsou zaneseny hodnoty přípustných deformací pro jednotlivé způsoby tvářecích operací, dolní mezní hodnoty platí pro oceli s velkým obsahem uhlíku, horní meze pak pro oceli s malým obsahem uhlíku.

Tab.2 Přípustné deformace pro různé způsoby tváření [4]

Způsob tváření		Pro změnu průřezu ΔS		Pro změnu výšky	
		ε	φ	ε	φ
Zpětné protlačování		0,40-0,75	0,51-1,4	---	---
Dopředné protlačování	Uzavřené	0,30-0,95	0,37-3,0	---	---
	Volné	0,05-0,30	0,05-0,37	---	---
Pēchování		---	---	0,40-0,80	0,51-1,61

2.5. Základní výpočty a vztahy [3], [4]

2.5.1. Přetvárné odpory, druhy řešení

PŘIROZENÝ PŘETVÁRNÝ ODPOR

Značíme jej σ_p a definujeme jej jako vnitřní odpor materiálu proti působení vnějších sil za podmínek jednoosého stavu napjatosti, při kterém nastane počátek plastické deformace za určených termomechanických podmínek.

- chemické složení, struktura a její stav (R_e , R_m)
- stav přetvoření φ
- teplota tváření T
- rychlost přetvoření $\dot{\varphi}$

Pomocí křivek přetvárných odporů se vyjadřuje závislost přirozeného přetvárného odporu σ_p na logaritmickém přetvoření φ za podmínek konstantní teploty a rychlosti přetvoření. Tyto křivky se získávají jednak experimentálně nebo s využitím moderní techniky matematickou aproximací pro předem dané smluvní převládající podmínky.

DEFORMAČNÍ ODPOR

Značíme jej σ_d a v některých zdrojích je nazýván jako technologický přetvárný odpor, jedná se o přirozený přetvárný odpor σ_p navýšený o vliv pasivních technologických odporů tváření, jmenovitě jde o tyto vlivy.

- teplota při deformaci
- stav napjatosti
- stupeň deformace
- rychlost deformace

- chemické složení
- fyzikální stav kovu
- vliv tření

Kromě těchto vlivů sem ještě patří vliv tvaru pásma deformace, stupeň zaplnění tvářecího nástroje a jiné. Vyjádření deformačního odporu je tedy dosti komplikované a proto se udává ve vztahu:

$$\sigma_d = M \cdot \sigma_p \quad [\text{MPa}] \quad (2.9)$$

kde M ... součinitel zahrnující pasivní technologické odpory tváření.

V praxi se velikost deformačního odporu stanovuje dle různých autorů pokaždé jinak a nutno dodat, že některé výsledky se značně rozcházejí. Číselné vyjádření definičního odporu je tedy do jisté míry značně zkreslující a záleží tedy na podmínkách deformace a hlavně stavu kovu. Pro přechování lze použít například tyto vztahy.

Přechování válce dle Unksova:

$$\sigma_d = \sigma_p \left[1 + \frac{2}{3} f (1 - f) \frac{D}{H} \right] \quad [\text{MPa}] \quad (2.10)$$

kde: D je průměr
 H je výška napěchovaného válce
 f je součinitel tření

Přechování válce dle Siebela:

$$\sigma_d = -\sigma_p \left[1 + \frac{1}{3} f \frac{D}{H} \right] \quad [\text{MPa}] \quad (2.11)$$

kde: D je průměr
 H je výška napěchovaného válce
 f je součinitel tření

2.5.2. Tvářecí síla

Z deformačního odporu se vyjadřuje síla, která je zapotřebí k uskutečnění požadované tvářecí operaci – tvářecí síla. Tato síla je limitována jmenovitou tvářecí silou zvoleného lisu.

$$F = S \cdot \sigma_d \quad [\text{N}] \quad (2.12)$$

kde: σ_d je deformační odpor
 S je styčná plocha průtláčnicku s materiálem

2.5.3. Tvářecí práce, výkon

Ke správné volbě tvářecího stroje je zapotřebí nadimenzovat jeho parametry tak, aby nedošlo k jeho přetížení nebo dokonce destrukci. Jako ukazatelé zatíženosti pohonu stroje se užívá velikosti tvářecí práce a výkonu.

TVÁŘECÍ PRÁCE

Je dána součtem tvářecí práce A a práce pružení stroje A_p vztahem:

$$A_C = A + A_p \quad [J] \quad (2.13)$$

kde: A_p je práce pružení stroje (lisu)
 A je tvářecí práce dána vztahem

$$A = \sigma_{d \max} \cdot \varphi_{\max} \cdot \lambda \cdot V \quad [J] \quad (2.14)$$

kde: $\sigma_{d \max}$ je maximální deformační odpor
 $\varphi_{\max}$ je maximální skutečná logaritmická deformace
 λ je součinitel plnosti ($\lambda \leq 1$)
 V je objem tvářeného materiálu

TVÁŘECÍ VÝKON

Jeho velikost společně s výkonem pomocných mechanismů a výkonem potřebným pro běh stroje naprázdno pak udává celkový potřebný výkon stroje.

$$P = \frac{n \cdot A_C}{t \cdot 102 \cdot 1000} \quad [kW] \quad (2.15)$$

kde: n je počet zdvihů stroje za minutu
 t je doba jednoho zdvihu stroje v sekundách
 A_C je celková přetvárná práce

2.6. Materiály vhodné k protlačování

K protlačování za studena je zapotřebí, aby byl materiál dobře tvárný, tedy aby v něm vznikala dosti velká plastická deformace – přetvoření, za co nejmenšího počtu potřebných ohřevů k obnovení tvárnosti, které nepříznivě prodražují výrobu. Ocel určená k protlačování bývá obvykle vyžíhaná normalizačně s dalším žháním na měkko. Je-li potřebné mezioperační žhání, jde o žhání rekrystalizační. Materiály lze v zásadě rozdělit do následujících skupin:

- a) hliník a jeho tvárné slitiny
- b) olovo, cín, zinek a některé jejich slitiny
- c) měď a jeho tvárné slitiny (mosaz, bronz)
- d) oceli s malým až středním obsahem uhlíku (do 0,4%)

Oceli je dále možno rozdělit právě podle jejich obsahu uhlíku a také dle obsahu legur na:

- 1) oceli velké tvařitelnost: - obsah uhlíku cca 0,1%
 - pro největší stupně přetvoření
 - zástupci dle ČSN: 11340, 11370, 12010, 12013
- 2) oceli střední tvařitelnosti: - obsah uhlíku cca 0,2%
 - zvětšena pevnost způsobená legury Cr a Mn
 - zástupci dle ČSN: 11420, 11424, 12020, 14220
- 3) oceli tvrdé: - obsah uhlíku 0,3÷0,5%
 - velká pevnost a přetvárný odpor
 - zástupci dle ČSN: 11500, 11600, 12040, 12050

2.7. Požadavky na materiál nástrojů

Při objemovém tváření za studena je třeba brát v potaz v jakých extrémně nepříznivých podmínkách musí nástroj pracovat a věnovat tedy volbě materiálu důkladnou péči. Namáhání nástroje, který pracuje za vysokých tlaků, je natolik veliké, že výběr vhodného materiálu, ze kterého bude vyroben ovlivňuje hlavně mechanické vlastnosti jako jsou tvrdost, pevnost, jakost a odolnost vůči opotřebení. Je rovněž důležité uvědomit si, že nástroj bude pracovat na automatizovaném pracovišti či postupovém tvářecím stroji, čili v případě jeho častých výměn by docházelo k prostoji celé linky a tedy k značným ekonomickým ztrátám. Trvanlivost nástroje je tedy klíčovým faktorem a proto je vhodné řídit se experimentálně zjištěnými hodnotami, které uvádí například tab.3 a to včetně tepelného zpracování materiálů.

Tab.3 Materiály k výrobě nástrojů pro protlačování [6]

Součást protlačovadla			Materiál
Průtlačník			19 314, 19 315, 19 426, 19 550, 19 569, 19 572, 19 820, 19 830
Průtlačnice			19 436, 19 550, 19 569, 19 572, 19 655, 19 735, 19 820, 19 830
Zděř	jednoduchá		19 550, 19 740 tepelně zpracováno na 45 až 48 HRC
	dvojitá	vnitřní zděřový kroužek	19 550 tepelně zpracováno na 52 až 55 HRC 19 655 tepelně zpracováno na 50 HRC
		vnější zděřový kroužek	15 261 tepelně zpracováno na 40 až 45 HRC; pro zděře větších rozměrů při požadavku větší houževnatosti 19 426 teplně zpracováno na 40 až 45 HRC
Vyhazovač			19 314, 19 569, 19 820, 19 830
Kolík vyhazovače			19 314, 19 426, 19 550
Opěrná deska a podložka, vodicí vložka			19 314, 19 356, 19 550; pro nejvyšší tlaková namáhání 19 436
Těleso protlačovadla, matice			11 600, 11 700, 12 060, 13 180, 14 260 tepelně zpracováno na 40 až 45 HRC

Poznámky

1. Ocel 19 655 lze doporučit jen pro rozměrnější průtlačnice s hlubokými dutinami.
2. Oceli 19 820 a 19 830 se doporučují pro nástroje maximálně namáhané nebo při výrobě větších sérií. Nástroje z těchto materiálů se doporučuje upravovat buď iontovou nitridací nebo fyzikálním iontoplazmovým povlakováním nitridem titanu TiN.

S postupem času a s příchodem nových technologií a materiálů se i tyto promítají do výrobních procesů tváření, jedná se zejména o materiály ze slinutých karbidů, které lze při tváření úspěšně použít místo konvenční nástrojové oceli. Tyto materiály vykazují vysokou trvanlivost a tvrdost, tvářená plocha pak vyniká svou jakostí. Cena těchto materiálů je ovšem značně vysoká a tak i přes všechna pozitiva je na technologovi, zda se k použití těchto materiálů uchýlí.

2.8. Tvářecí stroje

2.8.1. Mechanické lisy

Mechanické lisy nachází uplatnění hlavně při tváření rozměrově velkých polotovarů nebo při tváření, kdy je zapotřebí značné síly. Toto zaměření se tedy bude vyjímat spíše u malokusové výroby, pro postupové tváření s menším počtem tvářecích operací a také tam,

kde je nutné zařadit mezioperační žíhání. Lisy bývají zpravidla vybaveny dalšími pomocnými mechanismy, především na podávání, přesunování a třídění polotovarů. Pro svou značnou sílu jsou tyto lisy dostatečně tuhé a proto je i kvalita zpracovaných součástí co do jakosti a přesnosti tvarů a rozměrů dosti vysoká, stejně jako je vysoká životnost nástrojů. Dle velikosti zdvihu můžeme rozčlenit mechanické lisy na:

KLIKOVÉ LISY:

- vyznačují se poměrně velkým zdvihem
- vhodné pro protlačování
- nutnost vykazovat tuhost a dosti velkou pracovní dráhu

KOLENOVÉ LISY:

- vyznačují se poměrně malým zdvihem
- vhodné pro tváření při krátkých pracovních drahách
- vykazují značnou tuhost
- vykazují tzv. špičku tvářecí síly na konci zdvihu

2.8.2. Hydraulické lisy

Pro svojí plynulost a schopnost vyvodit značnou tvářecí sílu jsou vhodné zejména pro protlačování rozměrných a hlavně dlouhých protlačků. Jsou tedy schopné pracovat na dlouhých pracovních drahách. Jsou však ale značně pomalé a tedy i produktivita není tak velká jako na ostatních strojích. Na rozdíl od mechanických lisů nemají hydraulické lisy klikové ústrojí a je tedy potřeba nastavit seřiditelný doraz pro omezení zdvihu.

2.8.3. Tvářecí automaty

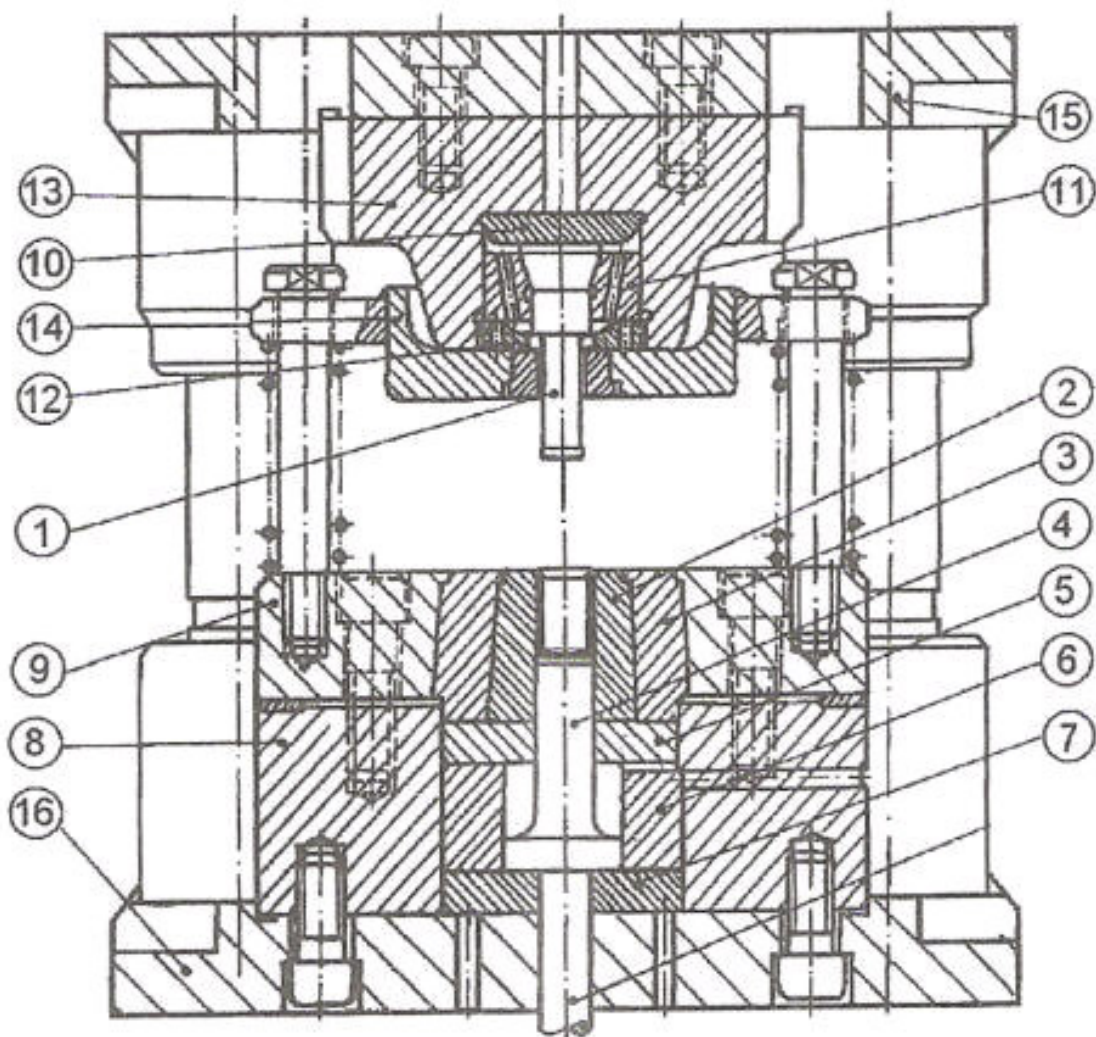
Víceoperační tváření pomocí sady několika nástrojů probíhá na automatických postupových lisech, které zhotovují protlaček postupně na základě zpevnění materiálu z předchozí operace, což umožňuje mnohem rovnoměrnější zpevnění celého protlačku. Toto víceoperační tváření zastupují zpravidla přechovací a protlačovací operace. Provádí-li se na automatech pouze jeden druh výrobní technologie, můžeme je členit na:

- a) přechovací automaty
- b) protlačovací automaty
- c) postupové automaty

Vzhledem k vysoké pořizovací ceně automatů je třeba, aby hodnota součinitele využitelnosti byla co nejvyšší a pořizovací náklady se tak co nejdříve navrátily. Důležitá je samozřejmě i účelná konstrukce s návazností na další výrobní stroje, což je zárukou vyšší produktivity a má za následek snížení výrobních nákladů. Součinitel využitelnosti se určí následovně.

$$\eta_a = \frac{Q_s}{Q_t} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.16)$$

kde: Q_s je skutečný dosažený počet vyrobených součástí
 Q_t je teoreticky dosažitelný počet vyrobených součástí



Obr.14 Jednóúčelový nástroj pro zpětné protlačování ve vodícím stojánu [9]

- 1-průtlačník , 2-průtlačnice , 3-objímka , 4-vyhazovač
5-podložka , 6-vložka , 7-podložka , 8-upínací těleso-dolní část
9-upínací těleso-horní část , 10-opěrná deska , 11-kuželová středící vložka
12-upínací matice , 13-horní upínací těleso , 14-těleso stěrače
15-horní upínací deska , 16-dolní upínací deska

3. Zhodnocení stávající technologie

Cílem této bakalářské práce je návrh výrobního postupu rotačního ocelového „pouzdra“ protlačováním za studena. Za předpokladu, že se toto „pouzdro“ doposud vyrábělo obráběním se s přihlédnutím na roční kusovitost výroby nabízí změna výrobní technologie právě na objemové tváření, které splňuje předpoklady k tomu, aby daný počet kusů za rok bylo možné zhotovit v požadované přesnosti a funkčnosti. Objemové tváření má oproti obrábění především tyto zásadní výhody.

- a) úspora materiálu: s vysokým procentuálním využitím materiálu se tváření staví do popředí a proti obrábění má tak jasně výhodu
- b) příznivé mechanické vlastnosti: oproti obrábění dochází při tváření za studena k jeho zpevnění, což má za následek vyšší pevnost, tvrdost a lze tak tvářet materiál s nižšími mechanickými vlastnostmi, což sníží náklady na výrobu.
- c) vyšší životnost nástrojů: I přes obrovské tlaky, které jsou na nástroj vyvíjeny, dosahují tvářecí nástroje vyšší životnosti než řezné elementy obráběcích nástrojů.
- d) vyšší produktivita práce: Na jednotku času dosahuje tváření několikanásobně vyšších hodnot než je tomu u obrábění.

Pro objektivní srovnávání je třeba uvést, že největší nevýhodou tváření je nutnost zhotovení tvarově složitějších součástí na více operací, přičemž u velkých přetvoření vzniká nutnost začlenit mezi tyto operace i tepelný ohřev materiálu, což samozřejmě neblaze dopadá na ekonomické zatížení výroby.

3.1. Technologičnost zadané součásti

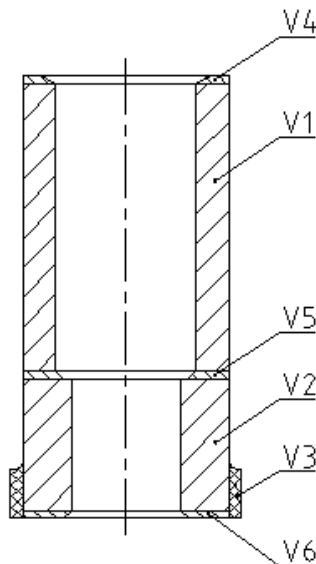
Zadaná součást bude s ohledem na její roční výrobu, která činí 800 000 kusů, vyrobena pomocí tvářecích nástrojů v několika krocích, jde tedy o postupovou výrobu protlačku s využitím jeho tvárných schopností, na tvářecím lisu. Materiál, ze kterého se bude protlaček vyrábět, byla zadána ocel 12 050.3. Polotovár tedy bude tepelně zpracován tak, aby jeho tvárnost byla co možná nejvyšší.

Svým tvarem zapadá součást do kategorie kalíškových tvarů, pro které se s výhodou využívá zpětné protlačování kombinované s pýchovací operací. Pro návrh postupu výroby tedy tyto dvě tvářecí operace budeme upřednostňovat. Vzhledem k průchozímu otvoru v dané součásti budou varianty řešení zaměřeny na možnost využití polotovaru s již předem zhotovenou průchozí dírou srovnané s využitím polotovaru ve tvaru plného špalíčku, u kterého mohou nakonec být pýchovací operace dvě.

4. NÁVRH VLASTNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

4.1. Výpočet objemu součásti

Součást si rozdělíme na elementární tělesa, u kterých dokážeme vypočítat objem.



Obr.15 Rozdělení zadané součásti na elementární tělesa

Objem tělesa 1:

$$V_1 = \frac{\pi h}{4} (D^2 - d^2) = \frac{17,5\pi}{4} (12,5^2 - 8,5^2) = \underline{1154,54 \text{ mm}^3} \quad (4.1)$$

Objem tělesa 2:

$$V_2 = \frac{\pi h}{4} (D^2 - d^2) = \frac{8\pi}{4} (12,5^2 - 6,6^2) = \underline{708,05 \text{ mm}^3}$$

Objem tělesa 3:

$$V_3 = \frac{\pi h}{4} (D^2 - d^2) = \frac{3\pi}{4} (14^2 - 12,5^2) = \underline{93,66 \text{ mm}^3}$$

Objem tělesa 4:

Jedná se o rotační těleso s průchozím otvorem, jehož vnitřní zkosení je pod úhlem 120°. K výpočtu se použilo integrálního počtu, protože se však jedná o malý objem nebudeme uvádět celý postup řešení, ale pouze výsledný objem. Stejně tak učiníme i u objemu tělesa 5 a 6.

$$V_4 = \frac{7\pi}{8} \text{ mm}^3$$

Objem tělesa 5:

$$V_5 = \frac{61\pi}{24} \text{ mm}^3$$

Objem tělesa 6:

$$V_6 = \pi \text{ mm}^3$$

Objem protlačku:

$$V_V = \sum_{i=1}^6 V_i = 1154,54 + 708,05 + 93,66 + \frac{7\pi}{8} + \frac{61\pi}{24} + \pi = \underline{1970,125 \text{ mm}^3}$$

Přídavek na zarovnání okrajů:

$$V_P = 0,03V_V = 0,03 \cdot 1970,125 \quad (4.2)$$

$$V_P = \underline{59,104 \text{ mm}^3}$$

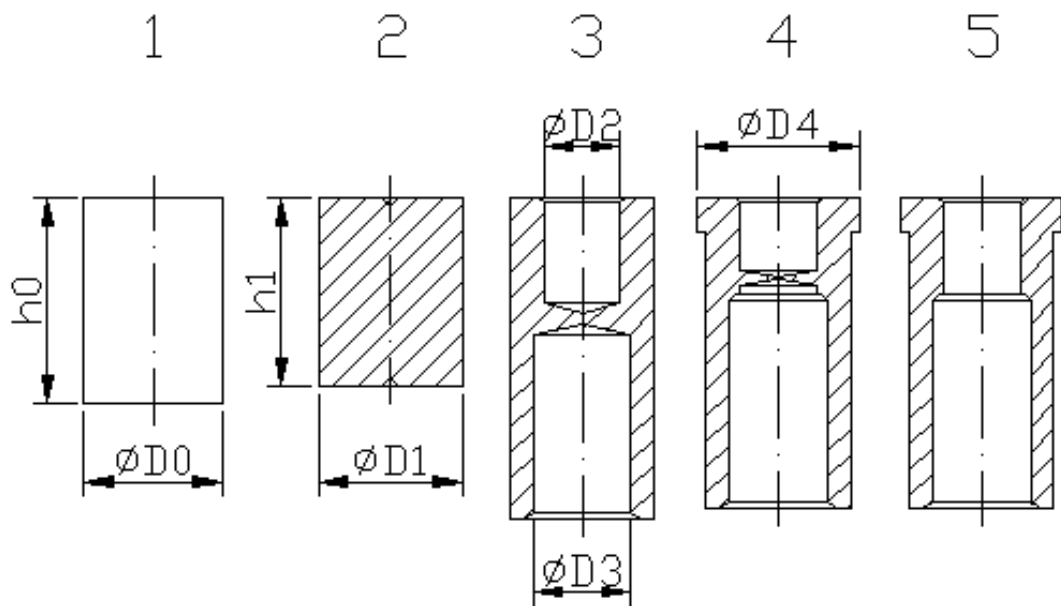
Objem výchozího polotovaru:

$$V_O = V_V + V_P = 1970,125 + 59,104 \quad (4.3)$$

$$\underline{V_O = 2029,229 \text{ mm}^3}$$

4.2. Návrh variant řešení, technologické výpočty

Pro výrobu součásti byly navrženy dvě varianty řešení. Grafické znázornění postupu výroby pro první z nich je na obr.16.



Obr.16 Grafické znázornění postupu výroby součásti pro variantu I
 $D_0=12\text{mm}$, $D_1=12,5\text{mm}$, $D_2=6,6\text{mm}$, $D_3=8,5\text{mm}$, $D_4=14\text{mm}$
 $h_0=18\text{mm}$, $h_1=16,5\text{mm}$

POPIS JEDNOTLIVÝCH OPERACÍ

- Operace 1: Ustřížení polotovaru z tyče kruhového průřezu o průměru D_0
- Operace 2: Zarovnání čel ústřížku a předpěchování na průměr D_1
 Naznačení středícího zahloubení na čelech polotovaru
- Operace 3: Zpětné protlačování otvoru o průměru D_2
 Předprotlačení otvoru o průměru D_3
- Operace 4: Dopředné protlačení otvoru o průměru D_3
 Pěchování hlavy o průměru D_4
 Kalibrace tolerovaných rozměrů
- Operace 5: Ustřížení blány o průměru D_2

VELIKOST LOGARITMICKÝCH PŘETVOŘENÍ

Operace 2:

$$\varphi_1 = \ln \frac{D_1^2}{D_0^2} = \frac{12,5^2}{12^2} = 0,08 \quad (4.4)$$

Operace 3:

$$\varphi_2 = \ln \frac{D_1^2 - D_2^2}{D_1^2} = \frac{12,5^2 - 6,6^2}{12,5^2} = -0,33 \quad (4.5)$$

$$\varphi_3 = \ln \frac{D_1^2 - D_3^2}{D_1^2} = \frac{12,5^2 - 8,5^2}{12,5^2} = -0,62 \quad (4.6)$$

Operace 4:

$$\varphi_4 = \ln \frac{D_4^2 - D_2^2}{D_1^2 - D_2^2} = \frac{14^2 - 6,6^2}{12,5^2 - 6,6^2} = 0,30 \quad (4.7)$$

$$\varphi_5 = \ln \frac{D_1^2 - D_2^2}{D_1^2} = \frac{12,5^2 - 6,6^2}{12,5^2} = -0,33$$

Celkové přetvoření hlavy:

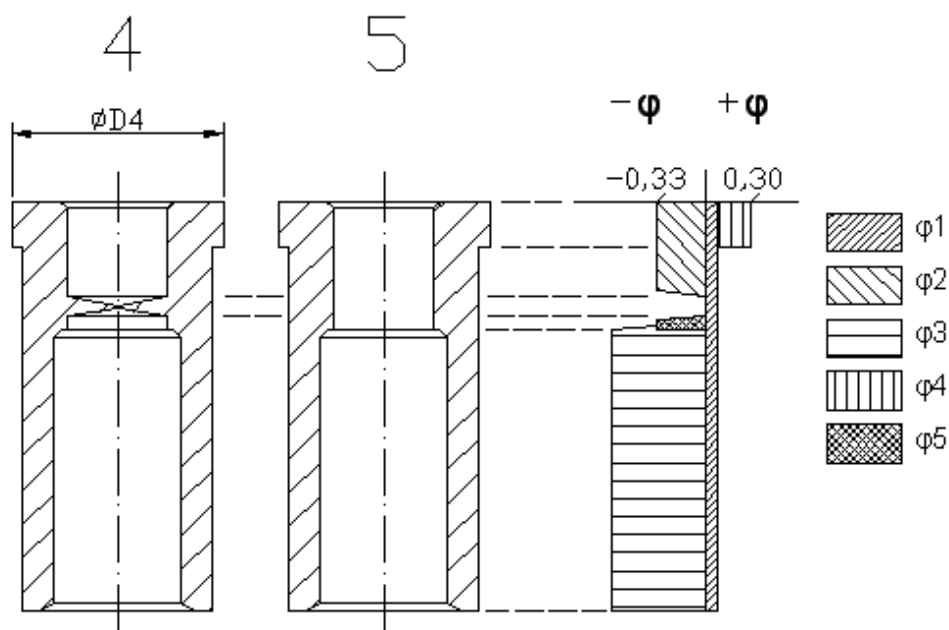
$$\varphi_{HL} = |\varphi_1| + |\varphi_2| + |\varphi_4| = 0,08 + 0,33 + 0,30 = 0,71 \quad (4.8)$$

Celkové přetvoření dřívku:

$$\varphi_{DR} = |\varphi_1| + |\varphi_3| + |\varphi_5| = 0,08 + 0,62 + 0,33 = 1,03 \quad (4.9)$$

Jak bylo uvedeno dříve, celkové přetvoření je omezeno plasticitou materiálu. V tab.2 jsou uvedeny limitní hodnoty velikostí přetvoření, po srovnání vypočtených hodnot zjistíme, že tyto hodnoty vyhovují a není tedy třeba mezioperačního ohřevu materiálu.

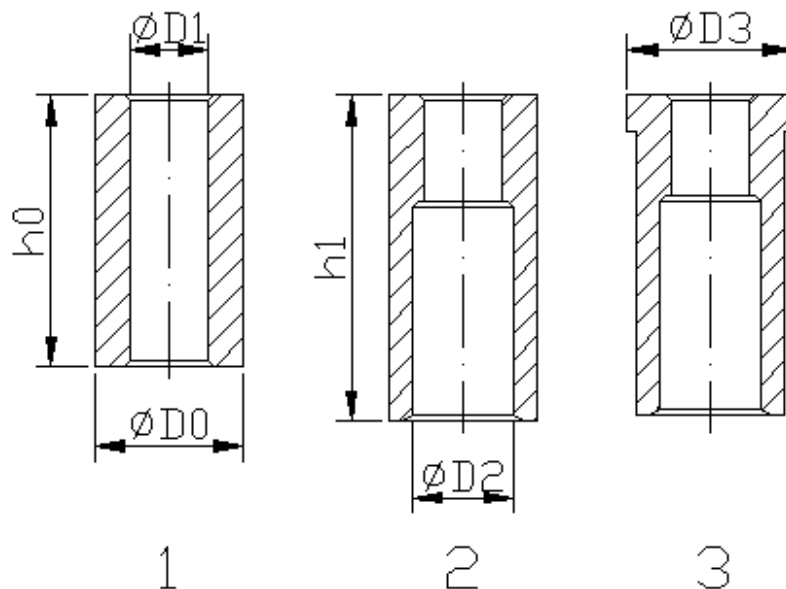
Na obr.17 je graficky znázorněn závěrečný postup výroby součásti včetně jeho logaritmických přetvoření pro danou variantu výroby.



Obr.17 Logaritmická přetvoření u varianty I

VARIANTA II

Jako polotovar byl zvolen špalík o vnějším průměru $D_0=12,5\text{mm}$ s průchozím otvorem $D_1=6,6\text{mm}$. K výrobě součásti budou stačit tři operace. Viz obr.18.



Obr.18 Grafické znázornění postupu výroby součásti pro variantu II
 $D_0=12,5\text{mm}$, $D_1=6,6\text{mm}$, $D_2=8,5\text{mm}$, $D_3=14\text{mm}$
 $h_0=22,9\text{mm}$, $h_1=27,5\text{mm}$

POPIS JEDNOTLIVÝCH OPERACÍ

- Operace 1: Uříznutí polotovaru z tyče kruhového průřezu o průměru D_0 o délce h_0
 Operace 2: Zpětné protlačování otvoru o průměru D_2
 Operace 3: Pěchování hlavy o průměru D_3
 Kalibrace funkčních rozměrů

VELIKOST LOGARITMICKÝCH PŘETVOŘENÍ

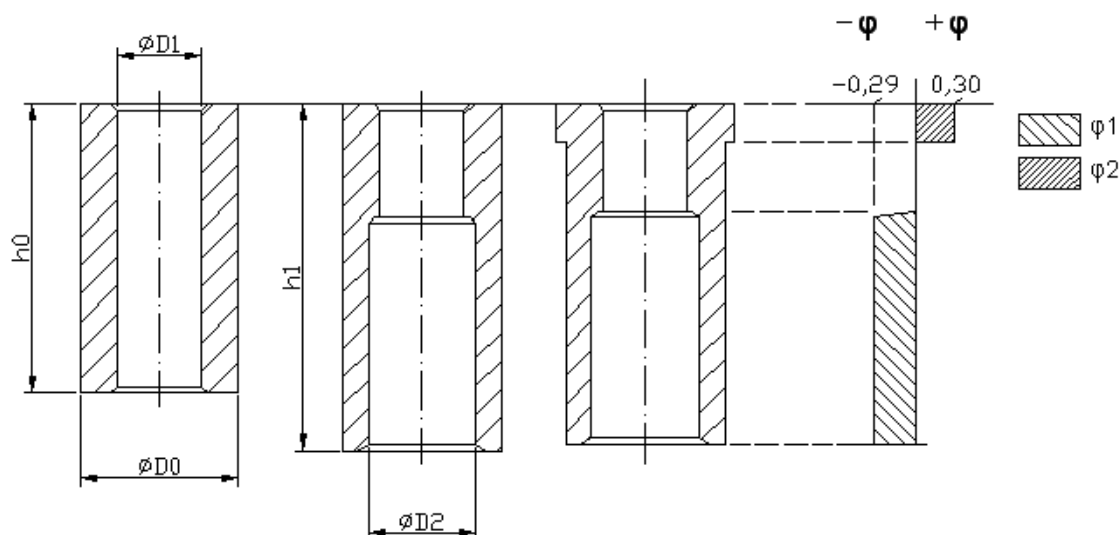
Operace 2:

$$\varphi_1 = \ln \frac{D_0^2 - D_2^2}{D_0^2 - D_1^2} = \frac{12,5^2 - 8,5^2}{12,5^2 - 6,6^2} = -0,29 \quad (4.10)$$

Operace 3:

$$\varphi_2 = \ln \frac{D_3^2 - D_1^2}{D_0^2 - D_1^2} = \frac{14^2 - 6,6^2}{12,5^2 - 6,6^2} = 0,30 \quad (4.11)$$

Na obr.19 je graficky znázorněn postup výroby součásti včetně jeho logaritmických přetvoření pro danou variantu výroby.



Obr.19 Logaritmická přetvoření u varianty II

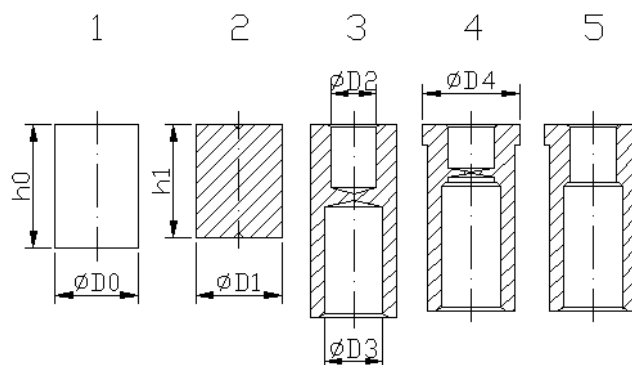
4.3. Vyhodnocení variant řešení a závěr

Při pohledu na logaritmická přetvoření se jako vhodnější varianta jeví varianta I, u které dochází k rovnoměrnějšímu přetvoření součásti po celé její délce. Tato varianta bude vhodnější i při větším počtu operací nezbytných k výrobě, neboť jsou to všechno tvářecí operace a není potřeba přizpůsobovat výchozí polotovary, kterým je kruhová tyč o průměru 12mm běžně dodávána v toleranci $h11$ dle ČSN 42 6510.

Oproti tomu při variantě II je nutno polotovary předpřipravit na požadovaný průměr $D_0=12,5\text{mm}$ a to včetně průchozího otvoru o průměru $D_1=6,6\text{mm}$. Tato příprava prodraží výrobu nejen tím, že k výrobě polotovaru bude zapotřebí více nástrojů, strojů a pracovníků, ale i mezioperační čas se zvýší, z ekonomického hlediska je tedy varianta II i přes menší počet tvářecích operací nevhodná.

ZÁVĚR

Jako postup výroby pro zadanou součást byla vybrána varianta I. Tato varianta se jeví jako vhodnější především pro využití normalizovaného polotovaru, vyžaduje méně nástrojů a obslužného personálu a u součásti se dosahuje rovnoměrnějšího přetvoření materiálu, což příznivě ovlivní mechanicko-fyzikální vlastnosti výrobku, který bude schopen snášet vyšší hodnoty dynamického zatížení.



Obr.20 Grafické znázornění postupu výroby součásti

Pro návrh vhodného tvářecího stroje (automatu) je nutné znát silové podmínky při výrobě zadané součásti. Provedeme tedy základní nutné výpočty k dosažení hodnoty tvářecí síly, kterou použijeme k návrhu stroje.

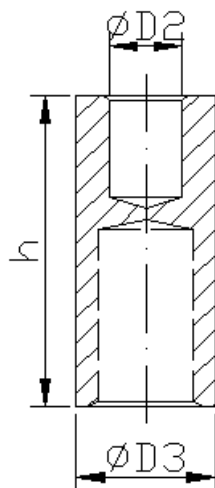
VÝPOČET TVÁŘECÍ SÍLY PŘI ZPĚTNÉM PROTlačOVÁNÍ

Jde o dílčí výrobní část při operaci 3. Nejprve je nutné určit velikost deformačního odporu a poté dle (2.12) tvářecí sílu. Znamé hodnoty jsou: $D_2=6,6\text{mm}$, $D_3=12,5\text{mm}$, $\varphi_2=0,33$. Z křivky přirozeného přetvárného odporu oceli 12050.3 (příloha 1) se pro hodnotu přetvoření $\varphi_2=0,33$ odečte velikost $\sigma_p=850\text{MPa}$, pak je:

$$\sigma_d = 1,152 \cdot \sigma_p \frac{D_3^2}{D_2^2} \left(\log \frac{D_3^2}{D_3^2 - D_2^2} + \frac{D_3^2}{D_3^2 - D_2^2} \log \frac{D_3^2}{D_2^2} + \log \frac{D_2^2}{D_3^2 - D_2^2} \right) \quad (4.12)$$

$$\sigma_d = 1,152 \cdot 850 \frac{12,5^2}{6,6^2} \left(\log \frac{12,5^2}{12,5^2 - 6,6^2} + \frac{12,5^2}{12,5^2 - 6,6^2} \log \frac{12,5^2}{6,6^2} + \log \frac{6,6^2}{12,5^2 - 6,6^2} \right)$$

$$\sigma_d = 1750\text{MPa}$$



Při výpočtu byl zanedbán vliv tření. Jedná se tedy pouze o orientační návrh tvářecí síly, abychom zjistili v jakých řádech lze tuto skutečnou sílu předpokládat.

Tvářecí síla (2.12):

$$F = S \cdot \sigma_d$$

$$F = \frac{6,6^2 \pi}{4} \cdot 1750 = 59871\text{N} \cong 60\text{ kN}$$

kde: σ_d je deformační odpor

S je styčná plocha průtláčnicku s materiálem

Obr.21 Schéma zpětného protlačování ve výrobní operaci 3

Výpočtový návrh ukazuje, že při zanedbání vlivu tření bude zapotřebí pro danou část výrobní operace síla cca 60kN. Styčná plocha je v tomto případě konstantou a na velikosti tvářecí síly se tedy bude podílet deformační odpor materiálu. Je patrné, že se tedy jedná o přímou úměru a tvářecí síla se bude pohybovat v řádech desítek kN. Můžeme tedy navrhnout stroj, jehož jmenovitá tvářecí síla bude v řádu stovek kN.

5. NÁVRH SESTAVY NÁSTROJE

5.1. Návrh tvářecího stroje

Pro postupové tváření se s výhodou užívá postupových automatů. Tuzemský výrobce a dodavatel tvářecí techniky a strojů ŠMERAL BRNO a.s. nabízí ve svém sortimentu tvářecí automat s nejmenší jmenovitou silou 5000kN a označením TPZK 25. Pro postup výroby naší součásti tedy tento stroj plně vyhovuje všem požadavkům a bude tedy použit. V dalším již nebudeme řešit silové podmínky při jednotlivých výrobních operacích, neboť je zřejmé, že i přes součet všech potřebných sil, bude jmenovitá síla stroje dostačující se značnou rezervou.

TECHNOLOGICKÉ URČENÍ STROJE [7]

TPZK 25 je určen pro víceoperační objemové tváření strojních součástí, po úpravě je možné na nich tvářet i z jednotlivých ústřížků. Pracovní postup se skládá z pýchování, protlačování a ostříhování. Uplatní se především v automobilovém a spotřebním průmyslu, ale též i v jiných odvětvích hromadné strojírenské výroby.

KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ [7]

- pětistupňový, se čtyřmi vodorovnými lisovnicemi uspořádaných vedle sebe
- opatřen kladkovou rovnačkou drátu, dvěma páry podávacích kladek s pneumatickým přitlačováním, přestavitelnou nárazkou s indikací krátkého ústřížku a stříhacím ústrojím
- mezioperační přenášecí zařízení má časově regulovatelné otevírání a zavírání kleštín
- přesné vedení beranu na tuhém stojanu je zajištěno valivými elementy
- lisovnice jsou upevněny v tělese na stojanu a jsou opatřeny vyražeči
- lisovnice jsou upnuty ve stavitelných držácích na beranu a jsou rovněž opatřeny vyražeči
- elektrická výzbroj je v samostatné skříni mimo stroj

ZÁKLADNÍ TECHNICKÁ SPECIFIKACE [7]

Jmenovitý průměr zpracovávaného materiálu	mm	25
Maximální pevnost materiálu	MPa	600
Jmenovitá síla	kN	5000
Výkon elektromotoru	kW	74
Maximální délka výlisku	mm	130
Zdvih beranu	mm	220

Kompletní technické údaje jsou přiloženy v příloze 3. Schéma tvářecího automatu TPZK 25 je znázorněn v příloze 2.

5.2. Sestava nástroje a výkresová dokumentace

Při návrhu sestavy nástroje byl použit prázdný zástavbový výkres pracovní části tvářecího automatu TPZK 25 (viz. Příloha 4).

Samotný výkres sestavy nástroje (viz. Příloha 6) obsahuje čtyři vedle sebe uspořádané lisovnice, které tvoří dolní polovinu nástroje. V horní polovině nástroje jsou pak vedle sebe uspořádány čtyři stavitelné upínací hlavy pro pýchovnice a průtláčnický. Pátá operace ustřížení polotovaru není v sestavě prokreslena, protože je nevýznamná z hlediska náplně této bakalářské práce.

V kusovníku sestavy jsou uvedeny pouze názvy a rozměry součástí z důvodu jeho zjednodušení.

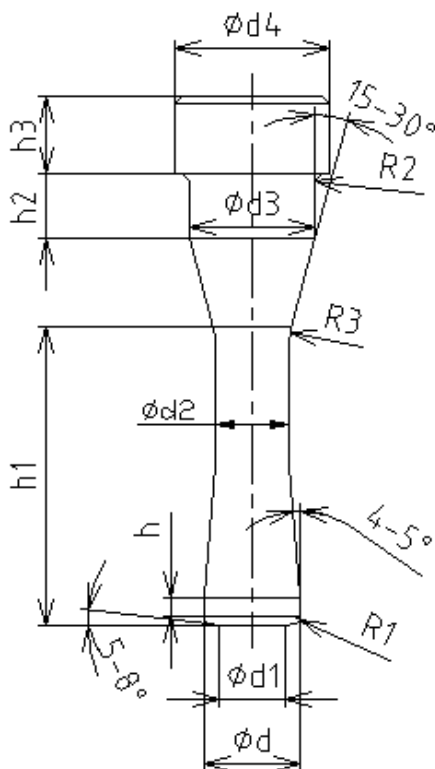
DÍLENSKÉ VÝKRESY

Rozsah výkresové dokumentace byl vedoucím této práce stanoven následovně.

- výrobní výkres průtlačníku pro operaci 3 – zpětné protlačení otvoru $D_2=6,6\text{mm}$
- výrobní výkres průtlačnice pro operaci 3 – zpětné protlačení otvoru $D_2=6,6\text{mm}$

PRŮTLAČNÍK

Návrh průtlačníku vychází z ČSN 22 7005 (viz. obr.22) a jako materiál byla zvolena ocel 19 550. Průtlačník bude kalen a popuštěn na konečnou tvrdost $\text{HRC } 62_{-2}^0$.



Rozměrový propočet:

$$\begin{aligned}
 d &= 6,6h7 = 6,6_{-0,015}^0 \text{ mm} \\
 d_1 &\approx 0,7d = 0,7 \cdot 6,6 = 4,6 \text{ mm} \\
 d_2 &= d - (0,1 \div 0,2) = 6,6 - 0,1 = 6,5 \text{ mm} \\
 d_3 &\approx 1,3d = 1,3 \cdot 6,6 = 8,6 \text{ mm} \\
 d_4 &= 1,6d = 1,6 \cdot 6,6 = 10,6 \text{ mm} \\
 R_1 &= (0,05 \div 0,1)d = 0,5 \text{ mm} \\
 R_2 &= 0,3(d_4 - d_3) = 0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ mm} \\
 R_3 &= \min d \Rightarrow \text{volím } R_3 = 20 \text{ mm} \\
 h &= 0,5\sqrt{d} = 0,5\sqrt{6,6} = 1,3 \text{ mm} \\
 h_1 &\leq 3d = 3 \cdot 6,6 = 19,8 \text{ mm} \\
 h_2 &= \frac{d_3}{2} = \frac{8,6}{2} = 4,3 \text{ mm} \\
 h_3 &\geq \frac{d_4}{2} = \frac{10,6}{2} = 5,3 \Rightarrow \text{volím } 8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Obr.22 Určení rozměrů průtlačníku pro zpětné protlačování dle ČSN 22 7005 [6]

Pro upnutí průtlačníku do upínacího pouzdra je potřeba, aby upínací část byla dlouhá alespoň 20mm, proto tento rozměr $h_2=4,3\text{mm}$ zvětšuji na $h_2=22\text{mm}$.

PRŮTLAČNICE

Pro návrh průtlačnice jsou její rozměry do značné míry dány rozměry protlačku. Podle ČSN 22 7005 se určí zbývající technologické rozměry. V dnešní době je ovšem výhodné užít některý z výpočetních systému typu „Optim97“ a optimalizovat tak rozměry průtlačnice a objímky v závislosti na materiálu, geometrických a teplotních parametrech. Tento postup výpočtu usnadňuje, upřesňuje a urychluje návrh tvářecích nástrojů. V tab.4 jsou uvedeny návrhy na materiál pro výrobu průtlačnice a objímky. Výstupní hodnoty viz. Příloha 5.

Tab.4 Materiály průtlačnice a objímky [5] [6] [8] [9]

Průtlačnice – ocel ČSN 19 436									
T _{KAL}	T _{POP}	HRC	E	μ	R _m	R _d	R _{p0,2}	σ _d	α
1060	520	60	208000	0,30	1860	3680	---	1620	0,0000128
Objímka – ocel ČSN 19 733									
T _{KAL}	T _{POP}	HRC	E	μ	R _m	R _d	R _{p0,2}	σ _d	α
920	570	49	206000	0,30	1790	---	1670	1525	0,0000136

Zvolené materiály vychází z letité zkušenosti z provozu. K jejich získání bylo třeba mnoho zkušeností, propočtů, odhadů a pokusů a proto i tento návrh je položen na jejich základě.

6. TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Cílem této bakalářské práce je navrhnout technologický postup výroby zadané součásti a její ekonomické zhodnocení. Ekonomická zátěž výroby je jedním z hlavních ukazatelů zda je nové technologické řešení výroby hospodárné či nikoliv a zda je tedy tento technologický postup přínosem.

Technické hodnocení je založeno na předpokladu, že doposud byla zadaná součást zhotovena třískovým obráběním. Hodnocení tedy provedeme porovnáním těchto technologií.

TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ

Řešení výroby součásti technologií objemového tváření je bezesporu plnohodnotným přínosem kvůli jeho vysoké produktivitě práce. Pokud bychom chtěli dosáhnout takto vysoké produktivity práce na obráběcích strojích, museli bychom navýšit jejich počet, což s sebou samozřejmě nese i zvýšenou finanční zátěž celého výrobního procesu. Použitím tvářecího automatu se oproti klasickým tvářecím lisům navíc produktivita práce dále navýšila a je tedy možno takto vyrábět součásti v řádech stovek kusu za jednotku času! Je tedy zřejmé, že tato fakta předurčují technologii objemového tváření do hromadné či velkosériové výroby. Roční výrobní série součásti činí 800000 kusů, je tedy vhodné zvolit tuto technologii výroby.

Dalším přínosem bude rovněž vysoká přesnost a jakost produktu ať už se jedná o vnitřní strukturu materiálu nebo jakost povrchu protlačku, dosáhne se výrazně lepších hodnot než při třískovém obrábění. Objemovým tvářením za studena navíc materiál získává i na jeho mechanických vlastnostech, což je samozřejmě dalším pozitivem.

V neposlední řadě je nutno dodat, že objemovým tvářením se využívá mnohem větší podíl vstupního materiálu polotovaru než při třískovém obrábění a je tak s materiálem zacházeno mnohem šetrněji a hospodárněji. Koeficient využití materiálu se blíží 1 a odpadá tak nutnost skladování, manipulování a zpracovávání kovového odpadu – třísek.

EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Z předchozích úvah je zřejmé, že ekonomičnost výroby nejvíce ovlivní druh výrobní technologie a kusovitost dané výroby. Předpokládáme-li stejnou kusovitost, bude hlavním faktorem ovlivňující ekonomičnost právě druh výrobní technologie. Z nabytých zkušeností o technologii objemového tváření a technologii třískového obrábění lze vyvodit závěr, že výše vstupních výrobních nákladů je u objemového tváření vyšší, avšak s rostoucí sériovostí se dosahuje menších nákladů vztažených na jeden vyrobený kus součásti. Oproti tomu třískové obrábění vyžaduje menší vstupní výrobní náklady, ale podíl těchto nákladů na ceně jednoho kusu výrobku je mnohem větší a není tedy možné snížit konečnou cenu výrobku ani při větší sériovosti výroby natolik jako u objemového tváření. To znamená, že obrábění je vhodnější pro malé výrobní série, kdežto objemové tváření dostává na důrazu hlavně při hromadné a velkosériové výrobě. K porovnání, zda je ekonomicky výhodnější jedna nebo druhá výrobní technologie, se užívá tzv. rovnovážného bodu, který znázorňuje okamžik, kdy se náklady na výrobu rovnají výnosům. Jednoduchý propočet níže nás k tomuto bodu dovede a na obr.23 je pak graficky vyobrazen.

Přímé náklady na materiál:

$$PN_{MAT} = S_M \cdot C_M \cdot n \quad [\text{Kč}] \quad (6.1)$$

$$PN_{MAT} = 0,016 \cdot 55 \cdot 800000$$

$$PN_{MAT} = 703120 \text{ Kč}$$

kde: S_M je spotřeba materiálu [kg/ks]
 C_M je cena materiálu [Kč/kg]
 n je počet vyráběných kusů

Přímé náklady na mzdy:

$$PN_{MZD} = t \cdot M_t \cdot n \quad [\text{Kč}] \quad (6.2)$$

$$PN_{MZD} = 0,333 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 800000$$

$$PN_{MZD} = 133340 \text{ Kč}$$

kde: M_t je hodinová mzda [Kč/hod]
 t je celkový čas výroby jednoho kusu [Nh]

$$t = \frac{t_{A1}}{60} + \frac{t_{B1}}{60d_v} = \frac{0,02}{60} + \frac{0,002}{60 \cdot 2000} = 0,333 \cdot 10^{-3} \text{ Nh}$$

t_{A1} je výrobní čas jednoho kusu [Nmin]

t_{B1} je přípravný čas jednoho kusu [Nmin]

d_v je počet kusů ve výrobní dávce

Přímé náklady na energii:

$$PN_{EN} = P \cdot \eta \cdot t_{A1} \cdot C_E \cdot n \quad [\text{Kč}] \quad (6.3)$$

$$PN_{EN} = 90 \cdot 0,7 \cdot 0,02 \cdot 2 \cdot 800000$$

$$PN_{EN} = 2016000 \text{ Kč}$$

kde: P je příkon elektromotoru [kW]
 η je využití stroje
 C_E je cena energie [Kč/kWh]

Celkové přímé náklady:

$$PN_C = PN_{MAT} + PN_{MZD} + PN_{EN} \quad [\text{Kč}] \quad (6.4)$$

$$PN_C = 703120 + 133340 + 2016000$$

$$PN_C = 2852460 \text{ Kč}$$

Z nedostatku potřebných vstupních dat není možné dopočítat další přímé náklady a režie, proto se spokojíme s tím, že zahrneme odhadované náklady do vypočtených, pak bude:

$$PN_C = 3200000 \text{ Kč}$$

Přímé náklady na protlaček:

$$PN_{KS} = \frac{PN_C}{n} \quad [\text{Kč}] \quad (6.5)$$

$$PN_{KS} = \frac{3200000}{800000} = 4 \text{ Kč}$$

Fixní náklady:

Sem patří například náklady na pořízení nástrojů.

$$N_f = 110000 \text{ Kč}$$

Zisk 20% na výrobě součásti za jeden rok:

$$Z = \frac{(PN_C + N_f) \cdot 20}{100} \quad [\text{Kč}] \quad (6.6)$$

$$Z = \frac{(3200000 + 110000) \cdot 20}{100} = 662000 \text{ Kč}$$

Cena jednoho kusu při zisku 20%:

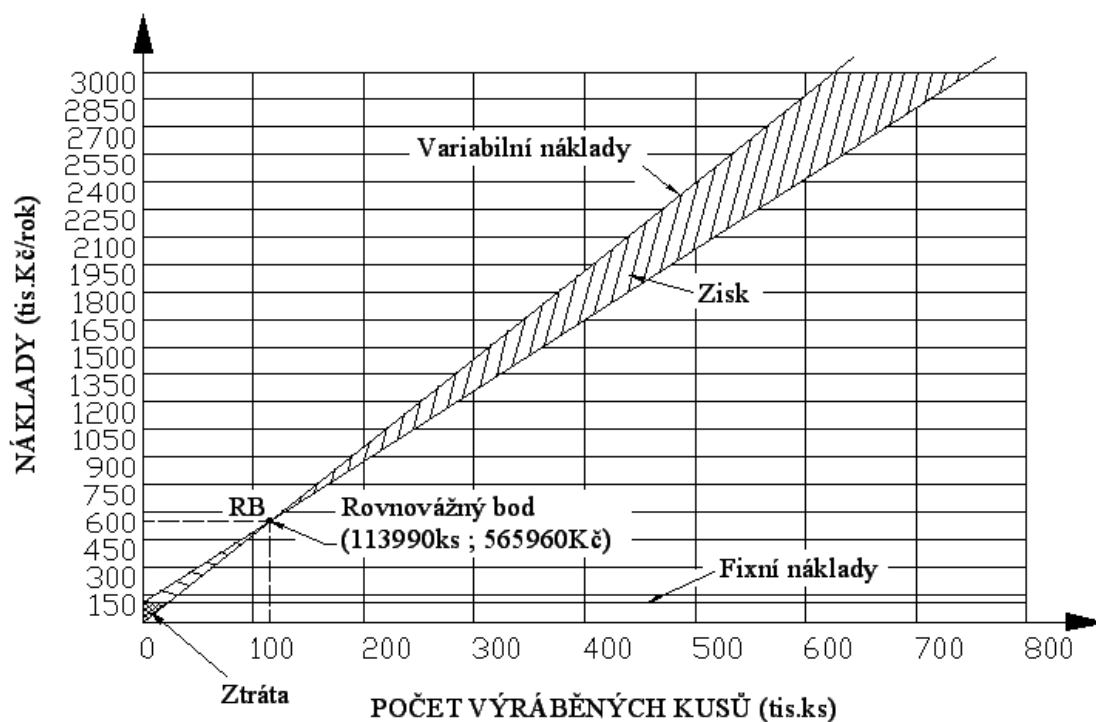
$$C_{KS} = \frac{PN_C + N_f + Z}{n} \quad [\text{Kč}] \quad (6.7)$$

$$C_{KS} = \frac{3200000 + 110000 + 662000}{800000} = 4,965 \text{ Kč}$$

Rovnovážný bod:

$$RB = \frac{N_f}{C_{KS} - PN_{KS}} \quad [\text{ks}] \quad (6.8)$$

$$RB = \frac{110000}{4,965 - 4} = 113990 \text{ ks}$$



Obr.23 Plánovaná skladba nákladů pro tváření zadané součásti

7. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout technologický postup pro výrobu zadané součásti objemovým tvářením za studena. Předpokladem bylo, že se doposud k její výrobě užívala technologie třískového obrábění. Návrh technologického postupu výroby objemovým tvářením se zaměřil především na vysoké využití vstupního materiálu polotovaru a celkové navýšení mechanických vlastností zhotovené součásti.

V technologické části byly představeny dvě různé varianty postupu výroby součásti a následovalo jejich vzájemné porovnání. Hlavním kritériem se stala velikost logaritmického přetvoření a její rovnoměrnost rozložení po celé délce součásti. K výběru rovněž přispěla snaha použít normalizovaného polotovaru a eliminace potřebných úprav polotovaru před samotnou tvářecí operací, hlavně pak jeho příprava na jiných pracovištích. Varianty se rovněž lišily v počtu potřebných tvářecích operací k výrobě dané součásti. Zvolená varianta postupu výroby součásti předpokládá celkem pět následujících tvářecích operací:

- Operace 1: Ustřížení tyče kruh. průřezu o průměru $D_0=12\text{mm}$ o délce $h_0=18\text{mm}$
- Operace 2: Zarovnání čel ústřížku a předpěchování na průměr $D_1=12,5\text{mm}$
Naznačení středícího zahloubení na čelech polotovaru
- Operace 3: Zpětné protlačování otvoru o průměru $D_2=6,6\text{mm}$
Předprotlačení otvoru o průměru $D_3=8,5\text{mm}$
- Operace 4: Dopředné protlačení otvoru o průměru $D_3=8,5\text{mm}$
Pěchování hlavy o průměru $D_4=14\text{mm}$
Kalibrace tolerovaných rozměrů
- Operace 5: Ustřížení blány o průměru $D_2=6,6\text{mm}$

Tato varianta byla vybrána pro rovnoměrnější rozložení logaritmického přetvoření a také pro svou snadnou realizaci na jediném tvářecím stroji. Ten byl vybrán z výrobního programu tuzemského výrobce ŠMERAL Brno a.s., jedná se o tvářecí automat s označením TPZK 25 o jmenovité tvářecí síle 5MN. Tento automat plně vyhovuje navržené variantě výroby a dovoluje budoucí navýšení nebo změnu výroby pro svou značnou tvářecí rezervu.

Tvářecí nástroje jsou navrženy v souladu ČSN 22 7005 a jejich tvary a rozměry jsou přizpůsobeny k navrženému tvářecímu automatu TPZK 25. Průtlačník bude zhotoven z oceli 19 550.4, průtlačnice z oceli 19 436.4 a objímka z oceli 19 733.4. Jako tepelné zpracování je tedy navrženo kalení a následné popouštění na příslušnou hodnotu HRC. Jde o praxí ověřené materiály a tepelné zpracování.

V ekonomickém zhodnocení navržené varianty výroby bylo použito orientačního propočtu, neboť některé nezbytné údaje nebyly dostupné. Omezili jsme se tedy pouze na přímé náklady spojené s materiálem, mzdami a energií. I tyto informace stačily k sestrojení jednoduchého ukazatele ekonomické náročnosti daného postupu výroby a ke zjištění hranice, kdy jsou si náklady a výnosy rovny – k nalezení tzv. rovnovážného bodu. Ten se pohybuje v hodnotách 113990 kusů při ceně 565960 Kč. Vzhledem k předpokládané roční kusovitosti výroby 800000 kusů protlačků je tato varianta výrazně výnosná a hospodárná, neboť už při cca sedminové sériovosti dochází k návratu potřebných vstupních nákladů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LANGE, Kurt, et al. *Handbook of metal forming*. 1st edition. New york : Mcgraw-hill book company, 1985. 1156 s. ISBN 0-07-036285-8.
- [2] MIELNIK, Edward m. *Metalworking science and engineering*. 1st edition. New york : Mcgraw-hill, Inc., 1991. 976 s. ISBN 0-07-041904-3.
- [3] FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Milan Forejt; Ildikó Putzová. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [4] BABOR, Karel, CVILINEK, Augustin, FIALA, Jan. *Objemové tváření ocelí*. Josef Novák. Praha : SNTL, 1967. 332 s. ISBN 04-239-67.
- [5] ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka*. 13. upr. vyd. Praha : SNTL, 1977. 2 sv. (1294, 1274 s.).
- [6] LEINVEBER, Jan, ŘASA, Jaroslav, VAVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 3. dopl. vyd. Praha : Scientia, 2000. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [7] BENEŠ, Milan, et al. *Poradenská příručka č.33 : křivky přetvárných odporů oceli*. 1. vyd. Praha 4 : TEVÚH, 1982. 362 s.
- [8] FOREJT, Milan. *Teorie tváření : návody do cvičení - sylabus*. Brno : [s.n.], 2004. 84 s.
- [9] FOREJT, Milan. *Závěrečný projekt : sylabus*. Brno : [s.n.], 2002. 51 s.
- [10] KŘIVÁK, L. *Výrobní program*. Šmeralovy závody Brno, 1991. 107 s.
- [11] *Rekrystalizační (odpevňovací) pochody* [online]. [2006] [cit. 2009-04-02]. Dostupný z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Vyuka/WSI/05-Moudro%20-%20rekrystalizace.pdf>>.
- [12] *Rekrystalizace deformačně zpevněného kovu* [online]. [2008] [cit. 2009-04-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.ateam.ic.cz/rekrystalizace.pdf>>.
- [13] BEROUN, Stanislav. *KATEDRA VOZIDEL A MOTORŮ* [online]. 2002-2004 [cit. 2009-03-30]. Dostupný z WWW: <www.ksd.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/UdS-5pr.pdf>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ZNAČKA:	JEDNOTKA:	LEGENDA:
$\tau_{\max}$	MPa	maximální skluzové (smykové) napětí
$\alpha_{\min}$	°	velikost maloúhlové hranice
T_R	K	teplota potřebná k rekrytalizaci
T_T	K	teplota tavení daného materiálu
H_0	mm	výška pýchovaného válce
D_0	mm	průměr pýchovaného válce
s	---	pýchovací poměr
φ	---	logaritmické přetvoření
ε	---	poměrné lineární přetvoření
σ_P	MPa	přirozený přetvárný odpor
σ_d	MPa	deformační odpor
M	---	součinitel pasivních tvářecích odporů
F	N	tvářecí síla
S	mm ²	styčná plocha
A_C	J	celková tvářecí práce
P	kW	tvářecí výkon
η_a	---	součinitel využitelnosti automatu
V_i	mm ³	objem dílčích elementárních těles
h	mm	výška dílčího elementárního tělesa
D, d	mm	průměr dílčího elementárního tělesa
V_V	mm ³	objem protlačku
V_P	mm ³	přídavek na zarovnání okrajů
V_O	mm ³	objem výchozího polotovaru
d_1, d_2, d_3, d_4	mm	průměry na tvářecím nástroji
R_1, R_2, R_3	mm	poloměry zaoblení na tvářecím nástroji
h, h_1, h_2, h_3	mm	délkové rozměry tvářecího nástroje
T_{KAL}	°C	teplota kalení
T_{POP}	°C	teplota popouštění
HRC	---	tvrdost dle Rockwella
E	MPa	modul pružnosti v tahu
μ	---	Poissonovo číslo
R_m	MPa	smluvní mez pevnosti v tahu
R_d	MPa	smluvní mez pevnosti v tlaku
$R_{P0,2}$	MPa	smluvní mez kluzu
α	K ⁻¹	koefficient tepelné roztažnosti kovů

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 – Křivka přirozeného přetvárného odporu oceli 12050.3
- Příloha 2 – Schéma tvářecího automatu TPZK 25
- Příloha 3 – Technická specifikace tvářecího automatu TPZK 25
- Příloha 4 – Zástavbový výkres pracovní části tvářecího automatu TPZK 25
- Příloha 5 – Protokol výstupních hodnot průtlačnice a objímky z programu „Optim97“
- Příloha 6 – Výkres sestavy nástroje
- Příloha 7 – Výrobní výkres průtlačníku
- Příloha 8 – Výrobní výkres průtlačnice