



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA UZAVRENÉ MATICE OBJEMOVÝM TVÁŘENÍM

BULK FORMING TECHNOLOGY OF SHUTTING NUT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JITKA VOTAVOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

PROF. ING. MILAN FOREJT, CSC.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jitka Votavová

který/která studuje v bakalářském studijním programu

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

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

Výroba uzavřené matice objemovým tvářením

v anglickém jazyce:

Bulk forming technology of shutting nut

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh technologie velkosériové výroby uzavřené matice z konstrukční oceli 11 320 objemovým tvářením za studena s využitím protlačování a přechování.

Cíle bakalářské práce:

1. Vypracovat literární studii se zaměřením na technologii objemového tváření za studena.
2. Zhodnotit současný stav výroby součásti obdobného tvaru.
3. Navrhnout vlastní technologii výroby.
4. Vypracovat výkresovou dokumentaci postupového nástroje a doložit ji potřebnými výpočty
5. Zpracovat technické a ekonomické hodnocení navržené technologie.
6. Formulovat závěry a doporučení pro technickou praxi.

Seznam odborné literatury:

- [1] LANGE, Kurt, et al. Handbook of metal forming. Kurt Lange. 1st edition. New York : McGraw-Hill Book Company, 1985. 1156 s. ISBN 0-07-036285-8.
- [2] FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Milan Forejt; Design obálky: Ildikó Putzová. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [3] BABOR, Karel, CVILINEK, Augustin, FIALA, Jan. Objemové tváření ocelí. Vladimír Hašek; Eva Tamelová. 1. vyd. Praha : SNTL, 1967. 332 s. Strojírenská literatura; sv. 6006.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Milan Forejt, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

VOTAVOVÁ Jitka: Výroba uzavřené matice objemovým tvářením.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia předkládá návrh technologie výroby uzavřené matice objemovým tvářením z konstrukční oceli 11 320 5R ČSN EN 10 204. Na základě literární studie objemového tvářením za studena zejména se zaměřením na protlačování a pýchování byl navržen postup výroby a provedeny technologické výpočty. Za stroj byl zvolen postupový automat TPM12 (výrobce ŠMERAL Brno), o jmenovité síle 2000 kN. Průtlačník bude vyroben z nástrojové oceli 19 436, objímka z nástrojové oceli 19 733 a průtlačnice ze slinutého karbidu SK65. Tepelné zpracování průtlačníku a objímky dle výkresové dokumentace.

Klíčová slova: Ocel 19 436, tvářením, protlačování za studena

ABSTRACT

VOTAVOVÁ Jitka: Bulk forming technology of shutting nut.

The project elaborate in frame bachelor studies submit design technology of production shutting nut by means of bulk forming from steel 11 320 5R CSN EN 10 204. Production sequence was proposed upon linear analyse of bulk forming especially to extrusion and upsetting. Technological calculations was made. Maschine was select automatic transfer press TPM12, nominal power 2000 kN (producer SMERAL Brno). Extruder will make from tool steel 19 436, clamp ring from tool steels 19 733 and extrusion die from sintered carbide SK65. Heat-treatment extruder and clamp ring according to drawing.

Keywords: 19 436 steel, forming, cold extrusion

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VOTAVOVÁ, Jitka. *Výroba uzavřené matice objemovým tvářením*. Brno, 2010. 70 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z WWW: <ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace>.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Opatově dne 23.5.2010

.....
Votavová Jitka

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu prof. Ing. Milanu Forejtovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
1. ÚVOD	10
2. TECHNOLOGIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ ZA STUDENA.....	12
2.1 ZPŮSOBY TVÁŘENÍ ZA STUDENA.....	12
2.1.1 Protlačování.....	12
2.1.2 Pěchování.....	14
2.1.3 Kombinované tváření.....	15
2.2 MATERIÁLY PRO OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ.....	15
2.2.1 Materiál pro výrobu uzavřené matice.....	16
2.3 ZÁKLADNÍ VÝPOČTOVÉ VZTAHY.....	16
2.3.1 Určení polotovaru.....	16
2.3.2 Logaritmické přetvoření φ	17
2.3.3 Přirozený přetvárný odpor σ_p	17
2.3.4 Deformační odpor σ_d	18
2.3.5 Tvářecí síla a práce.....	20
2.4 STROJE PRO OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ.....	21
2.5 KONSTRUKCE PROTlačOVACÍHO NÁSTROJE.....	22
2.5.1 Konstrukční řešení celku.....	22
2.5.2 Materiály nástrojů.....	24
2.5.3 Průtlačník a průtlačnice pro zpětné protlačování.....	25
3. ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU.....	29
3.1 UKAZATEL POTENCIÁLNÍCH ÚSPOR.....	29
3.2 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTI.....	29
4. NÁVRH VLASTNÍ TECHNOLOGIE.....	30
4.1 VARIANTY ŘEŠENÍ.....	30
4.2 OBJEM MATERIÁLU A VELIKOST POLOTOVARU.....	31
4.3 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY.....	31
4.3.1 Výpočet log. přetvoření φ a přirozeného přetvárného odporu σ_p	31
4.3.2 Výpočet deformačního odporu σ_d	35
4.3.3 Výpočet tvářecí síly.....	37
4.3.4 Výpočet tvářecí práce.....	38
5. VOLBA STROJE.....	39

6. NÁVRH SESTAVY NÁSTROJE	40
7. TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	42
7.1. Technické zhodnocení	42
7.2. Ekonomické zhodnocení	42
8. ZÁVĚRY	45
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratek	
Seznam příloh	

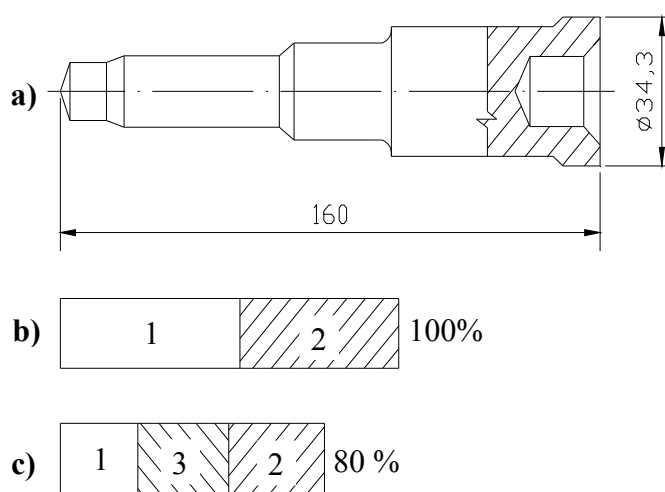
1. ÚVOD [1-17]

Objemové tváření je jedním ze základních technologických procesů, které se používají při výrobě součástí v nejrůznějších oblastech průmyslu. Uplatňuje se především v hromadné a sériové výrobě. Z hlediska vysoké hospodárnosti a produktivity výroby je snaha nahradit obrábění tvářením. Aplikace objemového tváření přináší výrazné úspory materiálu, času a energie. Tvářené součásti maximálně využívají materiál, ale zároveň si zachovávají potřebné technologické a funkční vlastnosti.



Obr.1.1 Příklady součástí vyrobené objemovým tvářením [5]

Objemové tváření nachází hlavní uplatnění zejména při výrobě symetrických součástí (obr.1.1). Ve srovnání s jinými technologiemi (obr.1.2) např. obráběním, kde bychom při výrobě obdobné součásti zbytečně spotřebovali spoustu materiálu ve formě třísek, má tváření řadu výhod jako je **výrazná úspora výrobního materiálu, snížení výrobních časů a nákladů, zvýšení produktivity a zlepšení kvality výrobků.**



Obr.1.2 Porovnání nákladů na výrobu dílce obráběním a tvářením [4]

a) tvar dílce, b) náklady při výrobě obráběním, c) náklady při výrobě tvářením
1 – materiál, 2 – třískové opracování, 3 – tváření

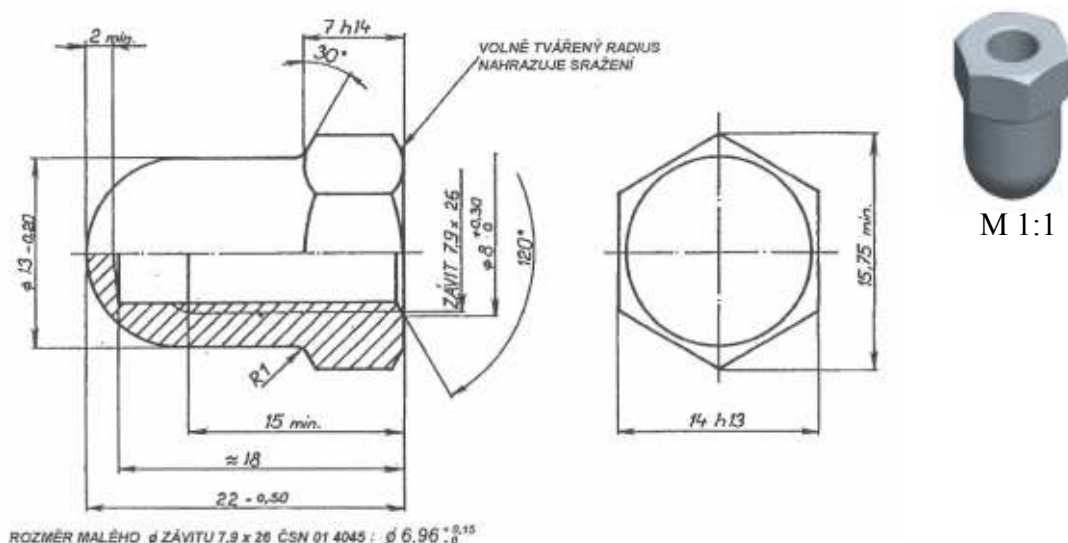
Objemové tváření probíhá pod rekrytalizační teplotou za působení prostorové napjatosti, která vytváří podmínky pro velké trvalé deformace bez porušení soudržnosti materiálu. Tímto je využito maximum vloženého materiálu a zvyšují se jeho mechanické vlastnosti. Má vyšší mez kluzu a mez pevnosti, proto je možné použít materiál o nižší výchozí pevnosti. Velký význam mají **metalurgické vlastnosti výrobků, např. nepřerušný průběh vláken a zvýšení meze únavy výlisku**, které je způsobeno zpevněním při objemovém tváření za studena. Vzniká i příznivý systém vnitřního pnutí (přerušená vlákna jsou koncentrátorem napětí => vrubový účinek). Při využití speciálních tvářecích automatů se podstatně zkrátily výrobní časy a zkvalitnila výroba. Dosahované přesnosti tvářecích technologií (obr.1.3).

Stupně přesnosti dle ISO	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Zápustkové kování												
Kování v uzavřené zápustce												
Protlačování za polohřevu												
Přesné kování												
Protlačování za studena												
Kombinované tváření												

Přesnost:  mimořádná  standardní

Obr.1.3 Rozsah dosahovaných přesností pro různé technologie tváření [6]

Cílem bakalářské práce je navrhnout technologii velkosériové výroby 460 000 ks/rok zadané součásti (obr.1.4) z oceli 11 320 5R objemovým tvářením za studena s využitím protlačování a petchování. Dále vypracovat výkresovou dokumentaci postupového nástroje a provést technicko-ekonomické hodnocení.

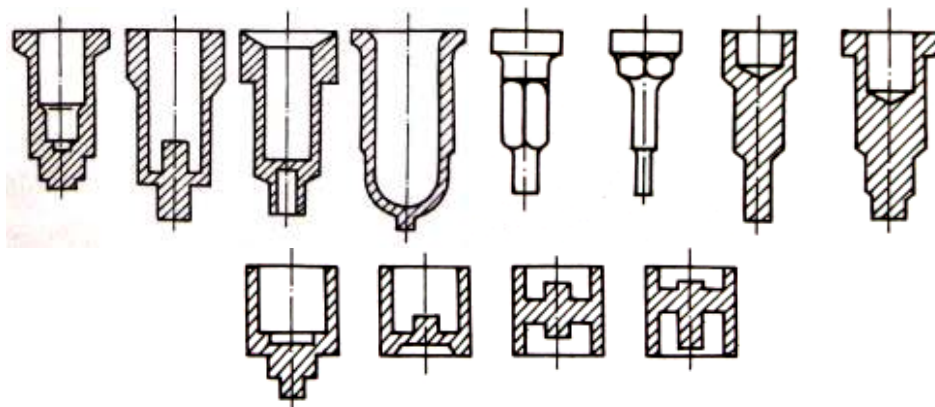


Obr.1.4 Náčrt zadané součásti

2. TECHNOLOGIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ ZA STUDENA

2.1 Způsoby tváření za studena [4], [3], [8]

Při výrobě strojních součástí např. šroubů, matic, nýtů, čepů atd. jsou tyto metody vysoce produktivní, hospodárné a velmi úspěšně konkurují obrábění. Tyto součásti jsou kvalitní, mají zpevněný povrch a usměrněná vlákna čímž se zvyšuje únavová pevnost. Kvalita povrchu je závislá na stavu povrchu nástrojů a je v rozmezí $R_a = 0,4 \div 12,5 \mu\text{m}$.

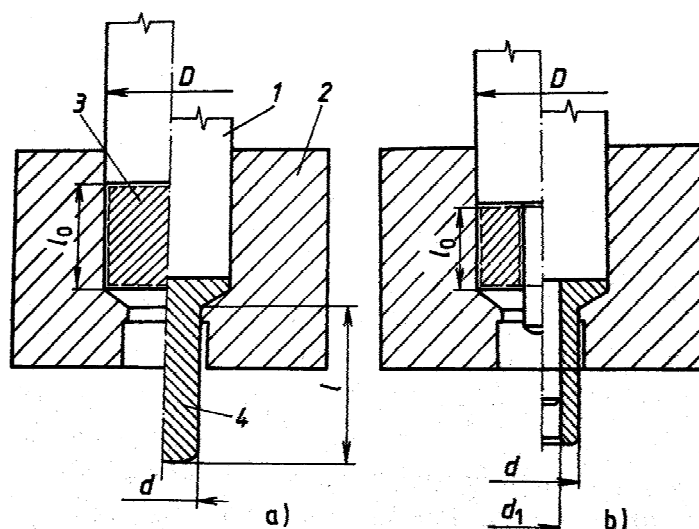


Obr.2.1 Další příklady tvaru součástí vhodných pro tváření [4]

2.1.1 Protlačování

Je proces při kterém dochází k tečení materiálu vlivem velkého tlaku. Podle směru tečení kovu v nástroji se protlačování dělí na několik způsobů a to na:

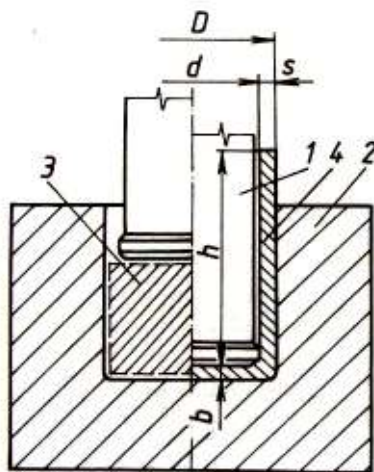
- a) Dopředné protlačování** (obr.2.2) – Materiál teče ve směru pohybu průtlačníku otvorem průtlačnice. Polotovarem může být plný špalík, kalíšek, kroužek z trubky nebo drátu a to svařený i nesvařený. Vyrobené součásti (průtčlaky) jsou plné, duté, s přírubou, bez příruby a jejich tvar je závislý na tvaru výchozího polotovaru.



Obr.2.2 a) protlačování plného tělesa, b) protlačování dutého tělesa [4]

1 – průtlačník, 2 – průtlačnice, 3 – polotovar, 4 – průtlaček

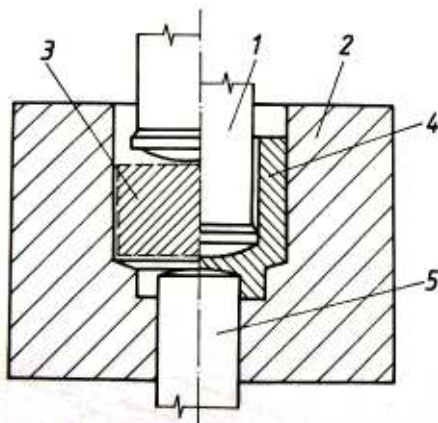
- b) Zpětné protlačování** (obr.2.3) – Materiál teče proti směru pohybu průtlačníku. Výchozí polotovar je špalík (kalota) kruhového nebo jiného průřezu, jehož výška je většinou větší než polovina průměru. Průtlaček má zpravidla tvar kalíšku a má finální podobu nebo putuje k dalšímu zpracování ať už tvářením nebo obráběním.



Obr.2.3 Schéma zpětného protlačování [4]

1 – průtlačník, 2 – průtlačnice, 3 – polotovar, 4 – průtlaček

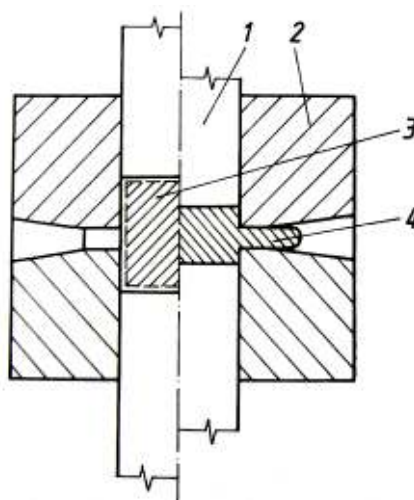
- c) Sdružené protlačování** (obr.2.4) – U tohoto způsobu jde o kombinaci obou předešlých způsobů, což znamená, že se materiál přemísťuje současně v obou směrech. Kvalita průtlačku je podmíněna volbou menšího stupně přetvoření ve směru pohybu průtlačníku.



Obr.2.4 Schéma sdruženého protlačování [4]

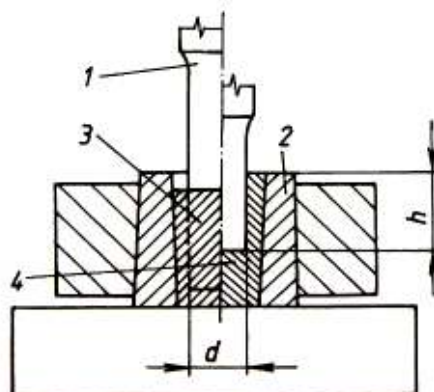
1 – průtlačník, 2 – průtlačnice, 3 – polotovar, 4 – průtlaček, 5 – trn

- d) Stranové protlačování** (obr.2.5) – V tomto případě se liší směr pohybu materiálu, který se přemísťuje kolmo ke směru pohybu průtlačníku. Dochází tak k vytváření výstupků na obvodu určité části válísku.

**Obr.2.5** Schéma stranového protlačování [4]

1 – průtlačník, 2 – dělená průtlačnice, 3 – polotovar, 4 – průtlaček

e) **Vtlačování** (obr.2.6) – Používá se při výrobě funkčních dutin nástrojů tvářením.

**Obr.2.6** Schéma technologie vtlačování [4]

1 – vtlačovací trn, 2 – zděř, 3 – polotovar, 4 – výrobek

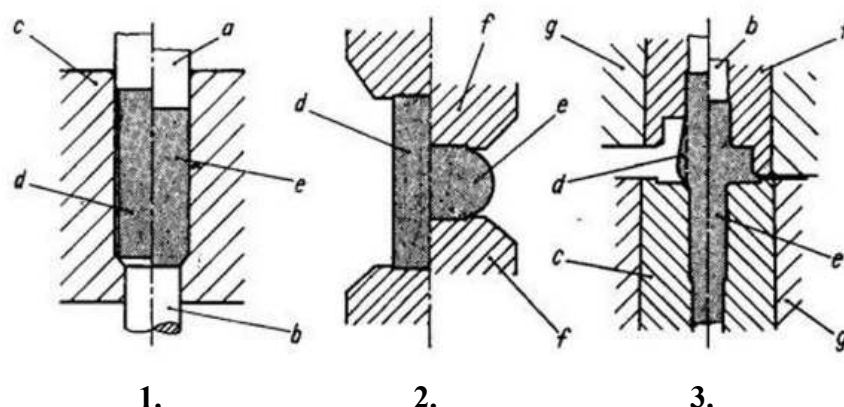
2.1.2 Pěchování

Je operace při které dochází ke stlačování výchozího polotovaru, kterému se zmenšuje výška a současně se zvětšuje velikost příčného průřezu. Díky tření je deformace v celém objemu nerovnoměrná, proto vzniká soudečkový tvar. K zabránění vzniku trhlin, je nutné v oblasti největšího průměru polotovaru mazat a funkční plochy nástrojů musí být leštěny. Tento způsob se využívá při výrobě hlav šroubů, nýtů, čepů, matic, kuliček, tvarovaných osazení, apod.

Využití pěchování: **1. Kalibrace** (obr.2.7-1.): Kalibrace výchozího materiálu po předchozí operaci (stříhání), kde došlo k deformaci a je třeba zarovnat čela.

2. Přípravná operace (obr.2.7-2.): Přízpůsobení tvaru a rozměru pro další tvářecí operace.

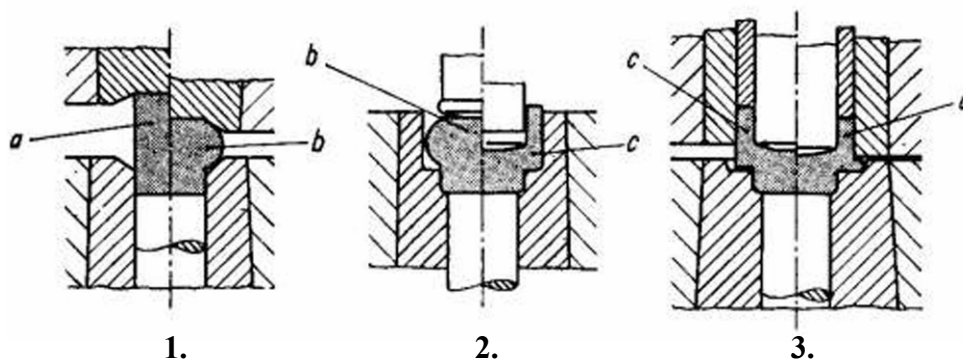
3. (obr.2.7-3.): Setkáváme se s ním u víceoperačního tváření jako samostatná nebo kombinovaná tvářecí operace.

**Obr.2.7** Pěchování [3]

a – průtlačník, b – vyhazovač, c – průtlačnice, d – polotovar,
e – výlisek, f – lisovnik, g – objímka

2.1.3 Kombinované tváření

Předchozí způsoby tváření se málokdy používají samostatně, většinou se tyto metody kombinují. Díky tomuto způsobu lze vyrábět tvarově složitější součásti s velkou přesností, při využití takové deformace, která dává optimální tedy nejmenší tlaky.

**Obr.2.8** Kombinované tváření [3]

1. – operace, 2. – druhá operace, 3. – třetí operace
a – polotovar, b – polotovar z 1. operace,
c – polotovar z 2. operace, d – výlisek

2.2 Materiály pro objemové tváření [3], [9]

Oceli vhodné pro objemové tváření by měli mít nízkou mez kluzu, malý sklon ke zpevnění a dostatečnou tažnost. Tu lze určit pomocí pěchovacích zkoušek. Při pěchování je kladen větší nárok na materiál, protože se zvětšuje jeho průřez a tím se případné vady rozšíří nebo se vytvoří praskliny. Pro výrobu valné většiny součástí se používá nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelí. U tvarově jednodušších výlisků lze použít i oceli se středním obsahem uhlíku a legovaných.

2.2.1 Materiál pro výrobu uzavřené matice [3], [10], [14]

Požadovaný materiál ze kterého se má uzavřená matice vyrábět je **ocel 11 320 5R** dle **ČSN EN 10 204**. Jedná se o konstrukční nelegovanou ocel obvyklé jakosti, žíhané na měkko s předepsanými hodnotami mechanických vlastností (tab: 2.2) a obsahem prvků C, P, S popř. dalších viz příloha 5.1 až 5.5. Je vhodná pro objemové tváření, mírnému nebo hlubokému tažení a má zaručenou svařitelnost.

Označení pro zahraniční ekvivalenty

Tab: 2.1 Zahraniční ekvivalenty [14]

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

Tab: 2.2 Mechanické vlastnosti [14]

Mechanické vlastnosti	11 320 5R
Mez pevnosti R_m [MPa]	314
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	-
Tažnost A_5 [%]	-
Kontrakce Z [%]	78,4

2.3 Základní výpočtové vztahy

2.3.1 Určení polotovaru



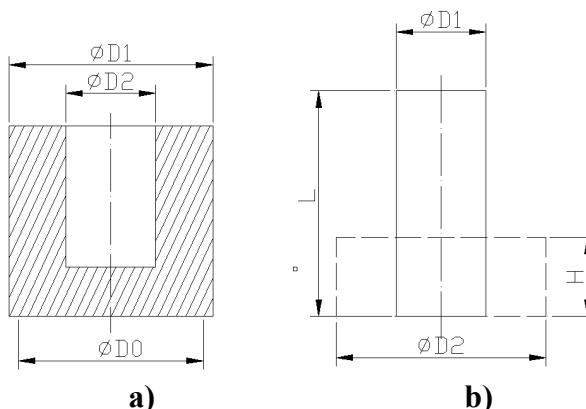
Obr.2.11 3D pohled součásti

Objem materiálu potřebný pro zhotovení uzavřené matice objemovým tvářením za studena, se bude provádět pomocí počítačového modelu v programu **Pro ENGINEER**. Nebo je možné tento výpočet provést ručně přes jednotlivé dílčí objemy.

$$\text{Výpočet délky ústřížku: } L_0 = \frac{V}{\frac{\pi}{4} \cdot D_0^2} \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

2.3.2 Logaritmické přetvoření φ [3], [9]

Při návrhu technologického postupu objemového tváření za studena je třeba u každé součásti vycházet z celkové logaritmické deformace. Jedná se o jeden z ukazatelů vhodnosti zvoleného technologického postupu. Celkovou logaritmickou deformaci u víceoperačního tváření určíme sečtením logaritmických deformací jednotlivých dílčích operací. Poté z křivek zpevnění pro daný materiál určíme celkové zpevnění vylisku.



Obr.2.12 Parametry skutečné deformace při základních operacích objemového tváření

a) Zpětné protlačování dutého tělesa; **b)** Pěchování plného tělesa

a) Zpětné protlačování dutého tělesa [3]

$$\text{Logaritmické přetvoření: } \varphi = \ln \frac{S_1}{S_2} = \ln \frac{D_0^2}{D_1^2 - D_2^2} [-] \quad (2.2)$$

b) Pěchování plného tělesa [3]

$$\text{Logaritmické přetvoření: } \varphi = \ln \frac{S_2}{S_1} = \ln \frac{D_2^2}{D_1^2} [-] \quad (2.3)$$

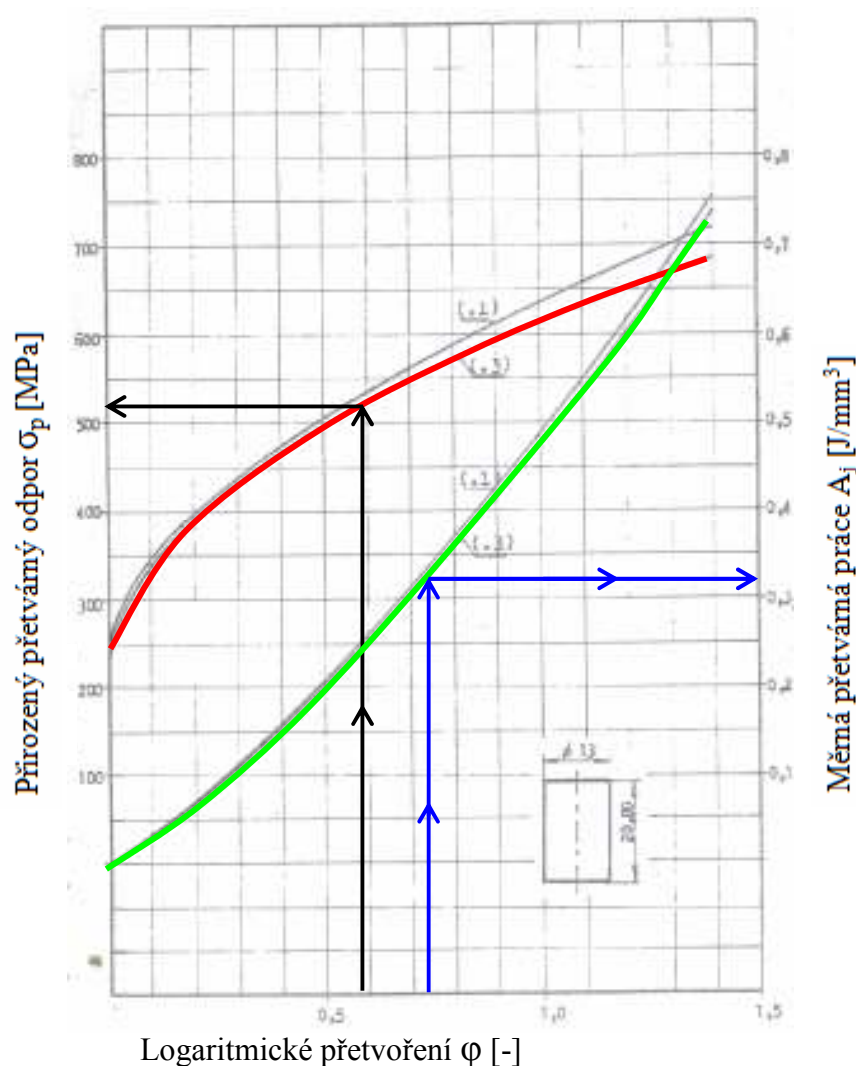
Celkové logaritmické přetvoření materiálu jednotlivých oblastí součásti vypočítáme, když sečteme log. přetvoření v dané oblasti pro jednotlivé operace.

$$\varphi_c = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n [-] [3] \quad (2.4)$$

Toto celkové log. přetvoření musí být v intervalu $\varphi_c \in \langle 0 \div 1,33 \rangle$ [9]

2.3.3 Přirozený přetvárný odpor σ_p [2], [3], [9]

Je vnitřní odpor (vyjádřený v napětí) materiálu proti působení vnějších sil za podmínek jednoosého stavu napjatosti, při kterém nastane počátek plastické deformace-přetvoření za daných termomechanických podmínek (chemického složení, výchozího stavu (R_e , R_m , ε , φ), teploty (T), rychlosti přetvoření ($\dot{\varphi}$, $\dot{\varepsilon}$) [2].



Obr.2.13 Způsob odečtu přirozeného přetvárného odporu a měrné přetvárné práce [9]

Hodnotu přirozeného přetvárného odporu σ_p [MPa] můžeme zjistit několika způsoby. Jednou z možností jak zjistit velikost σ_p je z křivky přirozeného přetvárného odporu viz (obr.2.13). Další možností je výpočet přirozeného přetvárného odporu podle vzorce (2.5). Jedná se o polynom 3. stupně, který platí pro $\varphi \in (0 \div 1,33)$ [9].

$$\sigma_p = 352,41 \cdot \varphi^3 - 875,94 \cdot \varphi^2 + 893,14 \cdot \varphi + 235,87 \text{ [MPa]} \quad [9] \quad (2.5)$$

2.3.4 Deformační odpor σ_d [2], [3]

Deformační odpor tj. odpor kovů proti plastickým deformacím, je důležitou mechanickou vlastností. Aby došlo k požadované změně tvaru kovu při tváření je zapotřebí tento odpor proti plastické deformaci překonat. Lze ho vyjádřit velikostí napětí vyvolaných vnějšími silami, které jsou potřeba k tomu, aby v kovu vznikly nevratné, neboli plastické deformace. Proto je rozměrová velikost stejná jako napětí (MPa).

Hlavní činitele ovlivňující deformační odpor:

- a) teplota deformace

- b) rychlost deformace (Se zvětšující se rychlostí deformace $\dot{\varphi}$ roste deformační odpor σ_d při zachování logaritmického přetvoření φ viz. obr.2.10)
- c) stav napjatosti
- d) chemické složení
- e) stupeň deformace
- f) vliv vnějšího tření

Aby nedošlo k porušení pevnosti nástrojů nesmí deformační odpor překročit dovolené namáhání v tlaku $\sigma_{d \max} = 1\,800 \div 2\,200 \text{ MPa}$ [3].

Pro výpočet deformačního odporu je celá řada možností.

Výpočet deformačního odporu při pěchování

a) Podle Siebela [3]

$$\sigma_d = \sigma_p \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{D}{H} \right) [\text{MPa}] \quad (2.6)$$

σ_p – přetvárný odpor

D – průměr spěchovaného válce

H – výška spěchovaného válce

μ - součinitel tření – 0,3 pro hrubší povrch s horším mazáním

– 0,15 pro broušený povrch s dobrým mazáním

– 0,1 pro fosfátovaný a dobře mazaný povrch

b) Podle Navrockého [3]

Tento výpočtový vztah koriguje předchozí vztah podle Siebela a v praxi se osvědčil. Pro tvarově jednoduchou součást lze použít předchozího vztahu podle Siebela. Ale v případě pěchování složitějšího tvaru je lepší užít tento vztah, protože je přesnější a zohledňuje další vlivy, které proces ovlivňují.

$$\sigma_d = \sigma_p \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{D}{H} \right) \cdot k_1 \cdot k_2 [\text{MPa}] \quad (2.7)$$

k_1 - součinitel charakteru deformace ($k_1 = 1$ pro volné pěchování plochým lisovníkem a

1,25 ÷ 1,75 pro pěchování v uzavřeném nástroji)

k_2 - součinitel nerovnosti napětí ($k_2 = 1,1$ pro válcové a půlkulové hlavy svorníků,

1,2 pro složitější symetrické výlisky a

1,3 pro nesymetrické složitě výlisky)

Výpočet deformačního odporu při zpětném protlačování

a) Zpětné protlačování složitějšího tvaru podle Hrazdila uvádí Babor a kol. [3]

$$\sigma_d = \left(K_4 + \frac{(35 - q_2)^2}{K_5} \right) \cdot 10 \cdot c_1 [\text{MPa}] \quad (2.8)$$

K_1 až K_5 – konstanty podle tab: 2.3

c_1 – pro složitější tvary se doporučuje vypočtenou hodnotu zvětšit o 5-10%

q_2 – příčné zúžení [%]

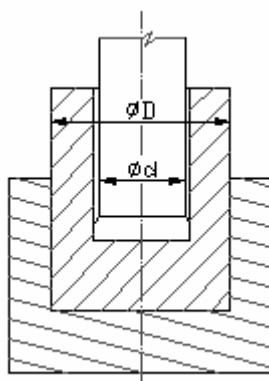
Tab: 2.3 Konstanty pro výpočet σ_d [3]

Způsob tváření	Obsah uhlíku v oceli [%]	Konstanta				
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
Dopředné protlačování dutého průřezu	0,15	306	1 040	90	-	-
Zpětné protlačování $q_2 < 35\%$	0,15	-	-	-	187	17,4
Zpětné protlačování $q_2 > 35\%$	0,15				190	17

b) Zpětné protlačování podle Siebela [2]

Tento vztah je osvědčený a používá se při zpětném protlačování ocelových nebo mosazných kalíšků, které mají tloušťku stěny větší než je desetina průměru průtlačníku.

$$\sigma_d = 1,152 \cdot \sigma_p \cdot \frac{D^2}{d^2} \left(\log \frac{D^2}{D^2 - d^2} + \frac{D^2}{D^2 - d^2} \cdot \log \frac{D^2}{d^2} + \log \frac{d^2}{D^2 - d^2} \right) [\text{MPa}] \quad (2.9)$$

**Obr.2.14** Zpětné protlačování**2.3.5 Tvářecí síla a práce [2], [3], [9]**

Tvářecí síla: Je zapotřebí k dimenzování nástrojů, kontrole dovoleného zatížení lisu a uskutečnění tvářecí operace. Její velikost nesmí překročit jmenovitou tvářecí sílu použitého lisu.

$$F = \sigma_d \cdot S [\text{kN}] [3] \quad (2.10)$$

σ_d – deformační odpor [MPa]

S – konečný průmět plochy výlisku, na který působí tvářecí síla [mm²]

Celkovou tvářecí sílu vypočítáme součtem sil jednotlivých operací.

$$F_c = \sum F = F_2 + \dots + F_n [\text{kN}] [3] \quad (2.11)$$

Tvářecí práce: Slouží k ověření možného zatížení pohonu lisu (setrvačníku a hnacího elektromotoru).

Měrná přetvárná práce: 1) zjistíme jí výpočtem $A_j = 0,28 \cdot \varphi^{1,4824} + 0,2 \cdot \varphi$ [J·mm⁻³] (2.12)

φ – logaritmické přetvoření, rovnice platí pro $\varphi \in \langle 0 \div 1,33 \rangle$ [9]

2) podle obr.2.13

Celková měrná přetvárná práce: $A_{jC} = \sum A_j = A_{j2} + \dots + A_{jn}$ [J·mm⁻³] [3] (2.13)

Přetvárná práce: 1) $A = A_{jC} \cdot V$ [J] [2] (2.14)

A_{jC} – hodnotu vypočítáme podle vzorce (2.13)

2) $A = \sigma_{d \max} \cdot V \cdot \lambda \cdot \varphi_{\max}$ [J] (2.15)

$\sigma_{d \max}$ – maximální deformační odpor

V – objem tvářeného materiálu

λ – součinitel plnosti $= \frac{\text{obrázky}}{\text{obrázky}} = \frac{\sigma_d}{\sigma_{d \text{ střední}}}$

$\varphi_{\max}$ – maximální logaritmické přetvoření

2.4 Stroje pro objemové tváření [3]

Volbu vhodného tvářecího stroje provedeme podle požadavku na vyráběné množství a vypočítané tvářecí síly a přetvárné práce. Jmenovitá tvářecí síla stroje, by měla být s rezervou asi 30 – 50% oproti potřebné vypočtené síle.

Pro objemové tváření za studena je možné použít několik výrobních zařízení, které se dají rozdělit do několika skupin. Některé stroje jsou vhodné spíše pro kusovou a malosériovou a jiné pro sériovou a hromadnou výrobu. Jsou to mechanické lisy, hydraulické lisy a speciální tvářecí automaty.

1. Mechanické lisy

Používají se v kusové nebo malosériové výrobě, kde se tváří na jednu maximálně dvě operace. Dále pro objemové tváření především velkých výlisků, kde je zapotřebí vyvinout velkou tvářecí sílu. A pro výlisky, které potřebují mezi jednotlivými operacemi tepelné zpracování. K přednostem patří tuhost zařízení, která má přímý vliv na účinnost tváření, přesnost výlisků, životnost nástrojů i samotného stroje.

2. Hydraulické lisy

Jsou vhodné pro protlačování rozměrných a především dlouhých výlisků. Jsou schopné vyvinout velkou tvářecí sílu na dlouhé dráze a to téměř po celý zdvih. Lze dosáhnout velké přibližovací a zpětné rychlosti, což nám zkrátí neproduktivní čas a jednak malé dosedací rychlosti nástroje na materiál (zvýší se životnost nástrojů). Nevýhodou je malý počet zdvihů a nízká pracovní rychlost stroje (malá produktivita).

3. Tvářecí automaty

Využívají se pro víceoperační objemové tváření, velké série a hromadnou výrobu. Při aplikaci těchto speciálních strojů došlo k podstatnému zkrácení výrobních časů a materiálovým úsporám. Výlisek je tvářen postupně v několika tvářecích nástrojích, přičemž se polotovary přenášejí mezi jednotlivými operacemi speciálním přenášecím zařízením. Výchozím materiálem je většinou svitek drátu, který je odvíjen, automaticky stříhán na požadovanou délku a následně podán do první tvářecí operace. Lze použít i tyče, nebo předem připravené špalíky. Důležitá je jakost a povrchová úprava materiálu.

2.5 Konstrukce protlačovacího nástroje [2], [3], [4]

2.5.1 Konstrukční řešení celku

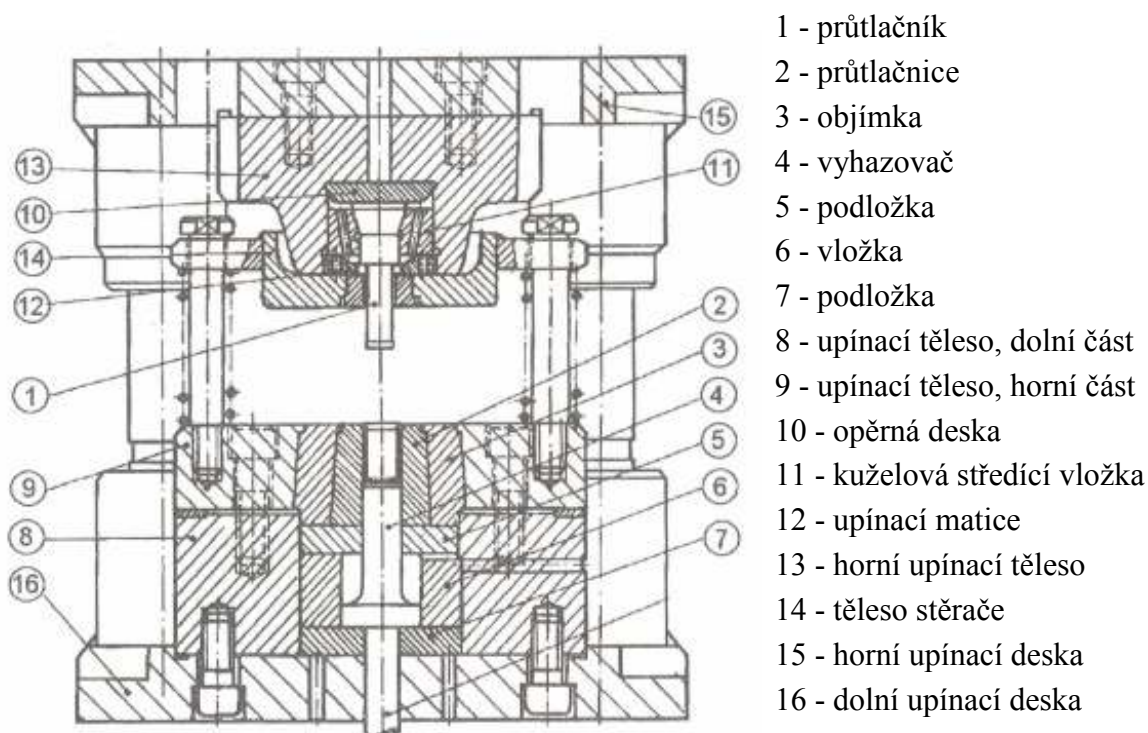
Důležitými faktory při využití technologie objemového tváření je **bezporuchovost, jednoduchost a náklady na pořízení a údržbu nástroje**. Ty jsou ovlivněny materiálem zvoleným pro tváření a jeho povrchovou úpravou, výběrem vhodného mazání, velikostí deformace, volbou tvářecího postupu jednotlivých operací, tvarem a konstrukcí nástroje, materiálem funkčních částí a jejich tepelným zpracováním. Neopomenutelná je také požadovaná přesnost rozměrů průtlačku.

Zásady řešení konstrukce nástrojů:

- 1) Zajištění dostatečné tuhosti nástroje – Zamezit pružení funkčních částí, které ovlivňuje přesnost výlisku a snižuje životnost funkčních částí nástroje. Proto se volí masivní upínací tělesa a dosedací plochy funkčních částí (průtlačníku, průtlačnice a vyhazovače se opatřují kalenými opěrnými vložkami, aby se nebortila opěrná plocha). Části tvář. nástroje, které se rychle opotřebovávají je nutno konstruovat co nejmenší a snadno vyměnitelné.
- 2) K docílení souososti musí být průtlačník dostatečně soustředně veden ve vodícím pouzdře nebo přímo v přední části průtlačnice.
- 3) Zajistit spolehlivé vyhazování a stírání výlisků z průtlačnice a přechovníku, aby nedocházelo ke kolizi díky neodstraněnému průtlačku z funkčního prostoru a tím k poruše funkčních částí nástroje.
- 4) Počítat se snadnou montáží a rychlou výměnou funkčních částí nástroje, aby nedocházelo ke zbytečným prostojeům a prodražování údržby nástroje.
- 5) Zamyslet se nad vhodným chlazením a mazáním funkčních částí nástroje, které je nezbytné pro ochlazování a vyplavování otřepů z dutin nástroje. Při tváření se materiál rychle ohřívá a přenáší teplo na funkční části nástroje.

Rozdělení nástrojů:

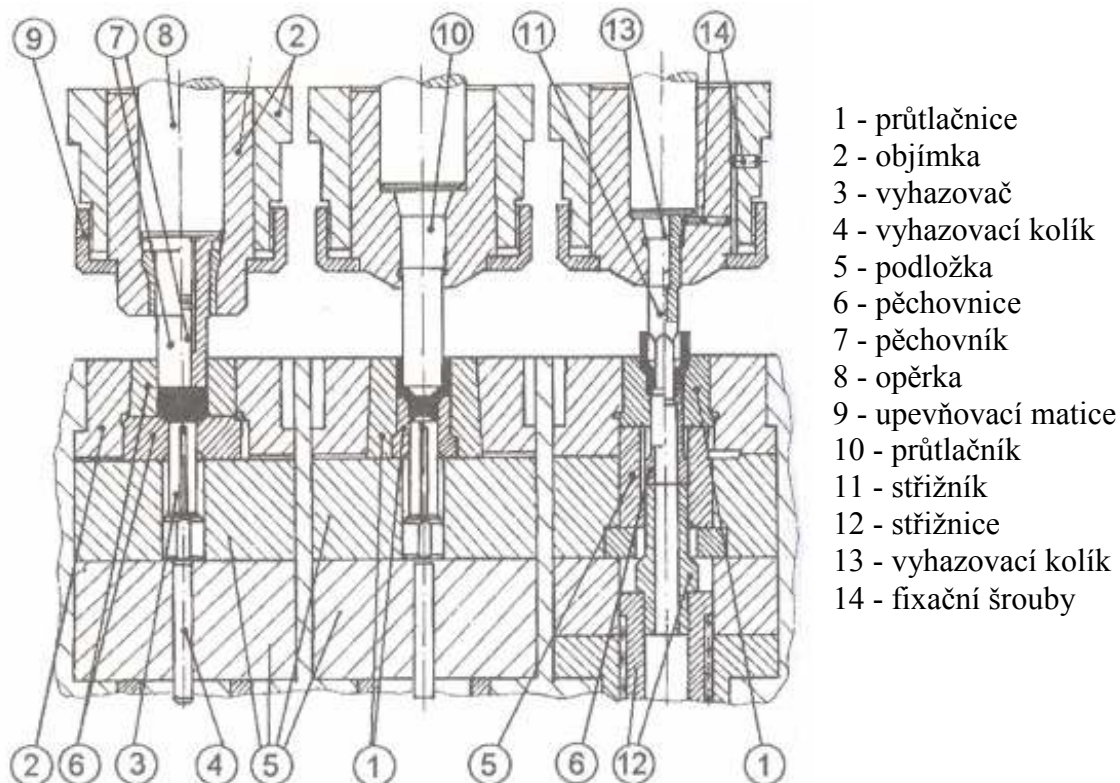
- 1) Jednooperační nástroje (obr.2.15), které jsou určeny pouze pro jednu operaci (zpětné protlačování kalíšků, přechování,...)



Obr.2.15 Jednooperační nástroj se sloupkovým stojánkem [2]

2) Víceoperační nástroje (obr.2.16): a) určené pro více operací v jednom pracovním cyklu na mechanickém lisu běžné výroby.

b) určené pro více operací v jednom pracovním cyklu na speciálních tvářecích automatech.



Obr.2.16 Víceoperační nástroj [2]

2.5.2 Materiály nástrojů [3], [10], [16], [17]

Volba materiálu pro tvářecí nástroje je poměrně obtížná a je třeba brát zřetel na složité pracovní podmínky. Velký význam má především trvanlivost, která ovlivňuje efektivnost, výkonnost a přesnost výroby. Proto je třeba věnovat výběru materiálu a jeho následnému zpracování náležitou péči. Nejvíce namáhané jsou funkční části nástrojů, průtlačník, průtlačnice, pěchovací lisovník nebo hlavičkář a vyhazovač. Nástroje nemají být vystaveny větším tlakům než 2 500 MPa, ve vyjímečných případech až 3 000 MPa. Základní druhy materiálů používaných pro tvářecí nástroje jsou uvedeny v tab. 2.4 a některé další v příloze 2.

Hlavní zásadou pro nástrojové oceli je vysoká jakost. Musí být důkladně dezoxidovaná a obsahovat malé % síry a fosforu. Základní strukturou je martenzit. Legující prvky (Cr, Ni, Mo, W, V) se slučují s částí uhlíku a tvoří karbidy. Pro správné uspořádání karbidů v základní martenzitické struktuře je nutné správné tepelné zpracování. Ocel má být dobře vykovaná, aby se dosáhlo struktury s drobnými, rovnoměrně rozdělenými karbidy. Za předpokladu, že se dodrží podmínky při výrobě nástrojů a jejich používání, dá se předpokládat, že životnost jednotlivých funkčních částí bude v rozsahu uvedeném v tab. 2.5.

Tab. 2.4 Materiály k výrobě protlačovadel [10]

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.			

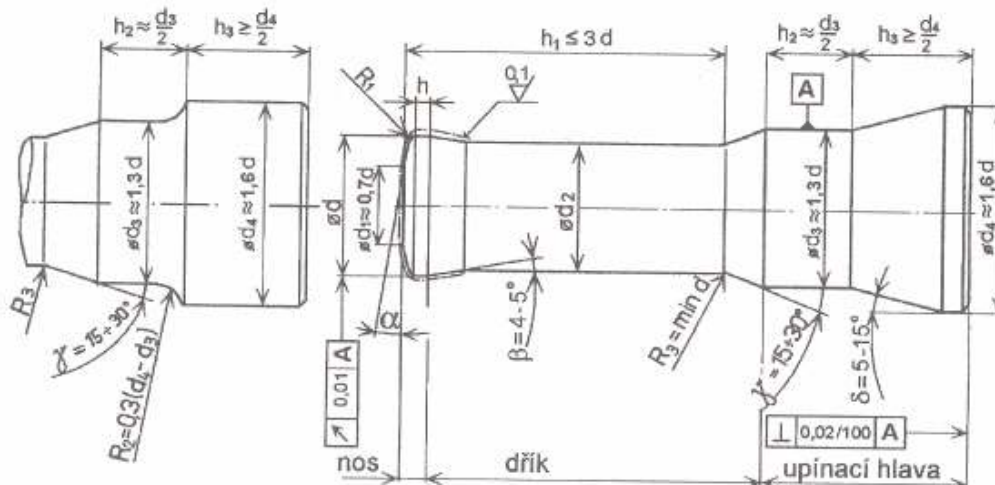
Tab: 2.5 Průměrná životnost nástrojů [3]

Části nástroje	Materiál CSN	Poznámka	Tvrdost HRC	Průměrná životnost [ks]
Průtlačnice	19 191	Kaleno prů- střikem Doporuč. výkovek	60–62	8 000— 12 000
	19 474		52–56	8 000— 15 000
	19 436		56–62	10 000— 35 000
	19 614		56–58	10 000— 35 000
	G5 G6			500 000—1 000 000 250 000— 500 000
Průtlačníky	19 423	Doporuč. výkovek	56–58	10 000— 40 000
	19 436		58–60	10 000— 40 000
	19 733		56–58	10 000— 40 000
Vyhazovače	19 436		58–60	20 000— 200 000
	19 452		56–58	20 000— 200 000
Hlavičkáře	19 191	Jen v objímce	54–56	10 000— 60 000
	19 436		54–56	10 000— 60 000
	19 733	Jen v objímce	52–56	10 000— 60 000
	G6			150 000— 400 000
Objímky (zděře)	13 240	Výkovek	48–54	
	19 721	Výkovek	50–52	
	19 740	Výkovek	50–52	

2.5.3 Průtlačník a průtlačnice pro zpětné protlačování [1], [2], [3]

Průtlačník

U průtlačníku pro zpětné protlačování je rozhodující tvar čela. Ten ovlivňuje velikost a průběh tvářecí síly. V praxi se nejlépe osvědčil tvar průtlačníku podle obr.2.16. Čelo průtlačníku je mírně kuželovité s úhlem α který se volí podle tvaru průtlačku a tvářecí teploty (viz. tab: 2.6).

**Obr.2.17** Doporučený tvar s rozměry průtlačníku pro zpětné protlačování [2]

Tab: 2.6 Geometrické parametry průtlačníků [2]

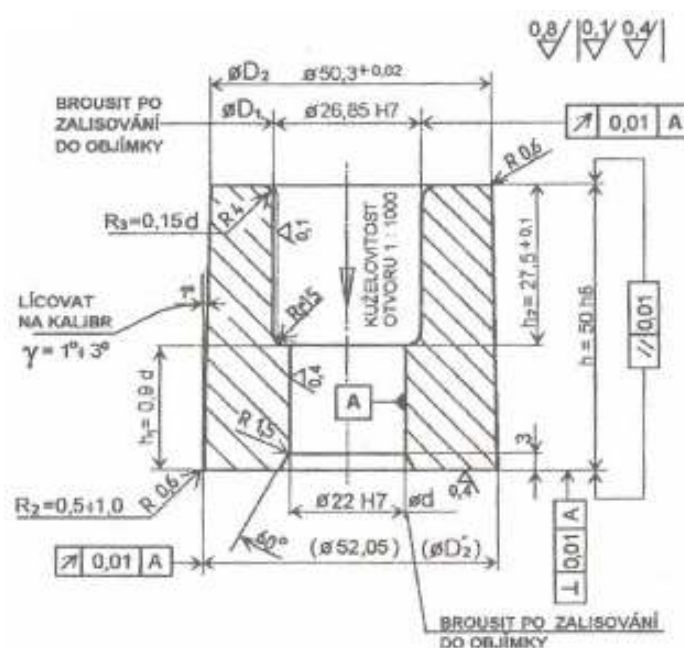
	Teplota zpětného protlačování			
	20°C	200 až 400°C	400 až 700°C	700°C a víc
ød	d-(0,1 až 0,2)	d-(0,2 až 0,5)	d-(0,3 až 0,6)	d-(0,4 až 1,0)
h	$0,5\sqrt{d}$	2 až 3 mm	3 až 5 mm	5 až 20 mm
α	5 až 8°	5 až 15°	5 až 15°	20°
R₁	(0,05 až 0,1)d	1 až 3 mm	1 až 4 mm	2 až 10 mm
d₁	$d - (2R_1 + 0,2d) \approx 0,7d$			

Průtlačnice [2]

Dutina průtlačnic (obr.2.18) pro zpětné protlačování je dána tvarem protlačované součásti a její povrch je broušený a lapovaný. Ústí dutiny je opatřeno zaoblením nebo kuželovým náběhem, pro snadnější zavádění polotovaru. Mírná kuželovitost dutiny usnadňuje vyhazování průtlačku. Rádus R₁ snižuje koncentraci radiálních napětí. Teplota ovlivňuje uložení vyhazovače v průtlačnici (tab: 2.7).

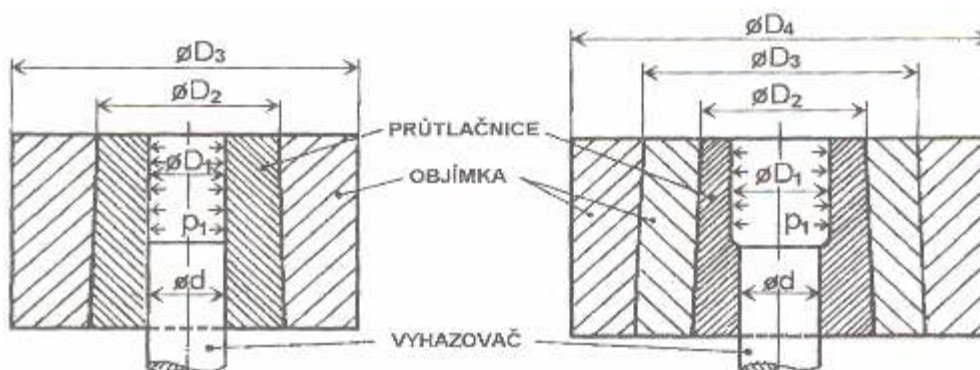
Tab: 2.7 Vliv teploty na uložení vyhazovače [2]

Teplota tváření °C	Uložení ød vyhazovače
20	H7/f7
200 až 400	H8/f8
400 až 700	H8/e9
700 a víc	H8/e9

**Obr.2.18** Průtlačnice pro zpětné protlačování [2]

Únosnost průtlačnice se zvyšuje radiálním předpětím pomocí jedné nebo více objímek (obr.2.19). Průtlačnice může být i bez objímky pokud je radiální tlak do 1000 MPa, tloušťka stěny je dána poměrem $D_2/D_1=2$. Geometrické parametry a rozsah zatížení pro složené průtlačnice jsou v tab: 2.8. Pro návrh optimálních rozměrů objímky a průtlačnice lze využít například program Optim 97.

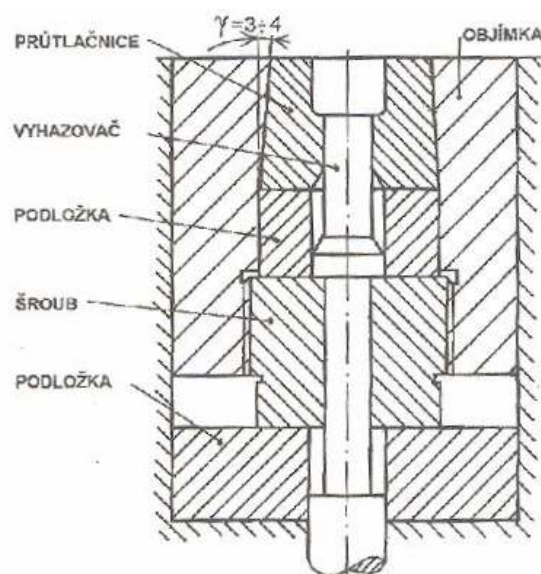
Účinek osového zatížení průtlačnice hlavně od třecích sil snížíme osovým předepnutím obr.2.20.



Obr.2.19 Typické tvary průtlačnic a jejich pouzdření objímkami [2]

Tab: 2.8 Geometrické parametry průtlačnic [2]

	PRŮTLAČNICE	
	s jednou objímkou	se dvěma objímkami
Radiální tlak [MPa]	1000 až 1600	1600 až 2000
Poměrné průměry	$D_2/D_1 = 2$ až $2,2$	$D_2/D_1 = 1,6$ až $1,8$
	$D_3/D_2 = 2$ až $2,3$	$D_3/D_1 = 2,2$ až $3,2$
	$D_3/D_1 = 4$ až $5,5$	$D_4/D_1 = 4$ až 6
Stykový průměr	$D_2 = \sqrt{D_3 D_1}$	-
Přesah [mm] D_2	$(0,0055 \text{ až } 0,0075) D_2$	$(0,004 \text{ až } 0,005) D_2$
[mm] D_3		$(0,003 \text{ až } 0,004) D_3$



Obr.2.20 Osové předeptnutí průtlačnice [2]

3. ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU

Cílem bakalářské práce je navrhnout technologii pro výrobu uzavřené matice objemovým tvářením za studena včetně provedení volby stroje, výkresové dokumentace postupového nástroje, technicko-ekonomického hodnocení a formulování závěru s doporučením pro technickou praxi. Předpokladem je, že se tato součást doposud vyráběla obráběním, vzhledem k předpokládanému počtu vyráběných kusů za rok, by bylo vhodné zvážit změnu výrobní technologie. Hlavními argumenty pro změnu jsou, výrazná úspora materiálu, zlepšení mechanických vlastností použitého materiálu a výrazné zvýšení produktivity práce. Ale rozhodnutí zda bude tato součást z ekonomického hlediska vhodná k objemovému tváření, provedeme na základě výpočtu **ukazatele potenciálních úspor**.

Nevýhodou objemového tváření je nutnost zhotovení složitějšího postupového nástroje, který je poměrně drahý a v případě velkého přetvoření zařízení mezioperace tepelného zpracování což nám nepříznivě ovlivní produktivitu a ekonomickou stránku výroby.

3.1 Ukazatel potenciálních úspor

Výpočet ukazatele potenciálních úspor

$$p_u = n \cdot m_g \cdot c_M \cdot \frac{p_o}{100} \leq 1\,800 \text{ [3]} \quad (3.1)$$

=> náklady na vývoj nástroje nebudou s velkou pravděpodobností uhrazeny

$n = 460\,000$ ks/rok – počet vyráběných kusů

$m_g = 0,035$ kg – hmotnost odpadu na jednu součást

$c_M = 12,36$ Kč/kg – cena materiálu [13]

$p_o = 32,7\%$ – procento třísek z původního polotovaru na jednu součást

$$p_u = 460\,000 \cdot 0,035 \cdot 12,36 \cdot \frac{32,7}{100} = 65\,072$$

Z výpočtu ukazatele potenciálních úspor vyplývá, že změna výrobní technologie z obrábění na objemové tváření, by byla přínosná.

3.2 Technologičnost součástí

Uzavřená matice se dá zařadit do kategorie krátkých strojních součástí, která bude vyráběna v několika operacích, převážně pěstováním a zpětným protlačováním za použití tvářecího automatu a vhodného postupového nástroje z konstrukční oceli 11 320 5R ČSN EN 10 204 o roční produkci 460 000 kusů.

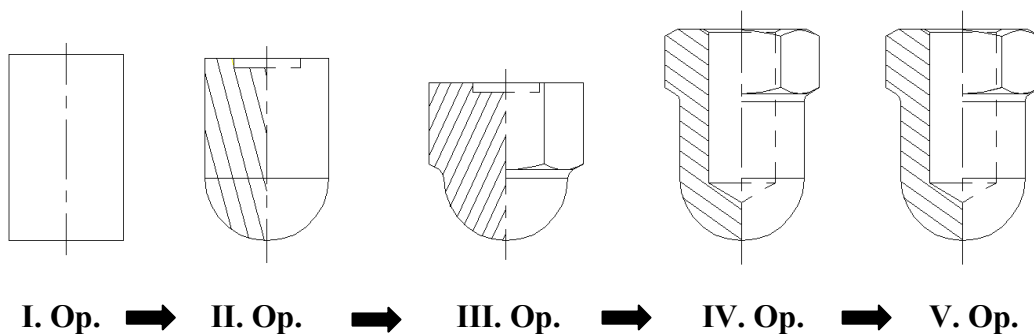
4. NÁVRH VLASTNÍ TECHNOLOGIE

4.1 Varianty řešení

Variant A

Tab: 4.1

Operace	Popis
I.	Ustřížení polotovaru
II.	Kalibrace ústřížku + pēchování zaoblení
III.	Pēchování šestihranu
IV.	Zpētné protlaēení otvoru a dokonēení tvaru matice
V.	Kalibrace protlaēku

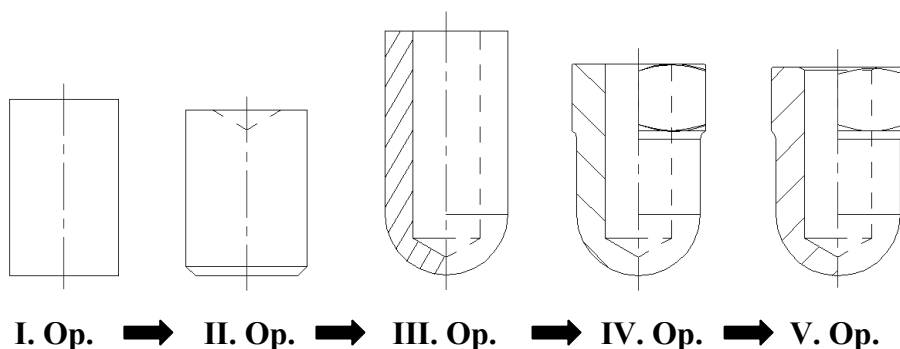


Obr.4.1 Postup tvārecích operací Varianta A

Variant B

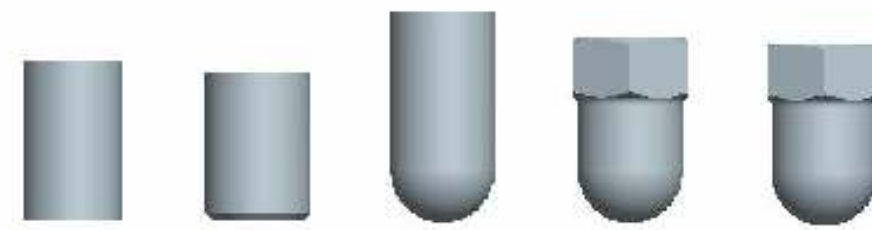
Tab: 4.2

Operace	Popis
I.	Stříhání polotovaru
II.	Kalibrace ústřížku a srovnání čel
III.	Zpētné protlaēení dutiny a pēchování zaoblení
IV.	Pēchování šestihranu
V.	Kalibrace protlaēku



Obr.4.2 Postup tvārecích operací Varianta B

Zhodnocení: U **Varianty A** by došlo při zpětném protlačování vnitřního otvoru k deformaci již předpěchovaného šestihranu vlivem přemísťování materiálu. Nástroj by měl dvě průtlachnice o šestihranném tvaru což je výrobně náročnější a dražší. Naproti tomu je **Varianta B** vhodnější, protože se šestihran pěchuje v jedné operaci a nástroj je proto jednodušší a levnější.



I. Op. ➡ II. Op. ➡ III. Op. ➡ IV. Op. ➡ V. Op.

Obr.4.3 Grafické znázornění postupu výroby pro Varianta B

4.2 Objem materiálu a velikost polotovaru

Určení objemu materiálu potřebného pro zhotovení uzavřené matice objemovým tvářením za studena, bylo provedeno podle vytvořeného modelu v programu **Pro ENGINEER** viz **Příloha 3**.

Objem materiálu potřebného pro zhotovení uzavřené matice je $V = 2\,165,44 \text{ mm}^3$.

Polotovarem je drát ve svitku z oceli 11 320 5R, který má průměr $D_0 = 12,3 \text{ mm}$, je fosfátovaný a žíhaný na měkko.

Určení délky ústřížku:

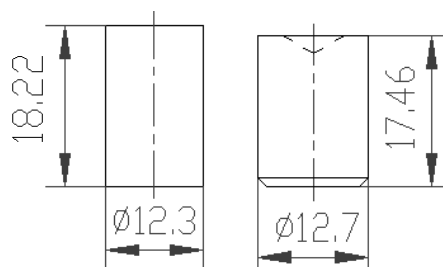
$$L_0 = \frac{V}{\frac{\pi}{4} \cdot D_0^2} = \frac{2165,44}{\frac{\pi}{4} \cdot 12,3^2} = 18,22 \text{ mm} \quad (4.1)$$

4.3 Technologické výpočty

Návrh technologie výroby uzavřené matice bude zpracován pro zvolenou **variantu B**.

4.3.1 Výpočet log. přetvoření ϕ a přirozeného přetvárného odporu σ_p [3], [9]

II. operace (pěchování)

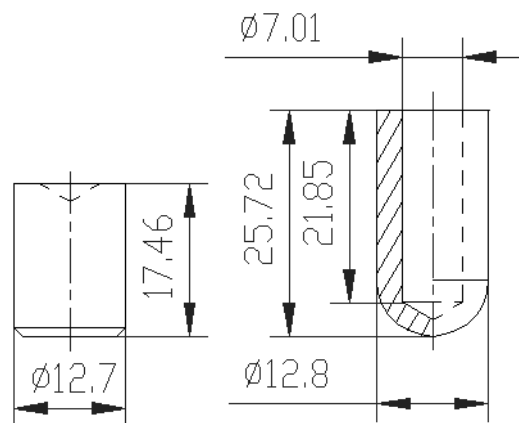


Obr.4.4 Operace II – Kalibrace ústřížku a srovnání čel

$$\varphi_2 = \ln \frac{S_2}{S_1} = \ln \frac{D_2^2}{D_1^2} = \ln \frac{12,7^2}{12,3^2} = \underline{0,064} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{p2} &= 352,41 \cdot \varphi_2^3 - 875,94 \cdot \varphi_2^2 + 893,14 \cdot \varphi_2 + 235,87 \\ &= 352,41 \cdot 0,064^3 - 875,94 \cdot 0,064^2 + 893,14 \cdot 0,064 + 235,87 = \underline{290 \text{ MPa}} \end{aligned} \quad (4.3)$$

III. operace (zpětné protlačování)

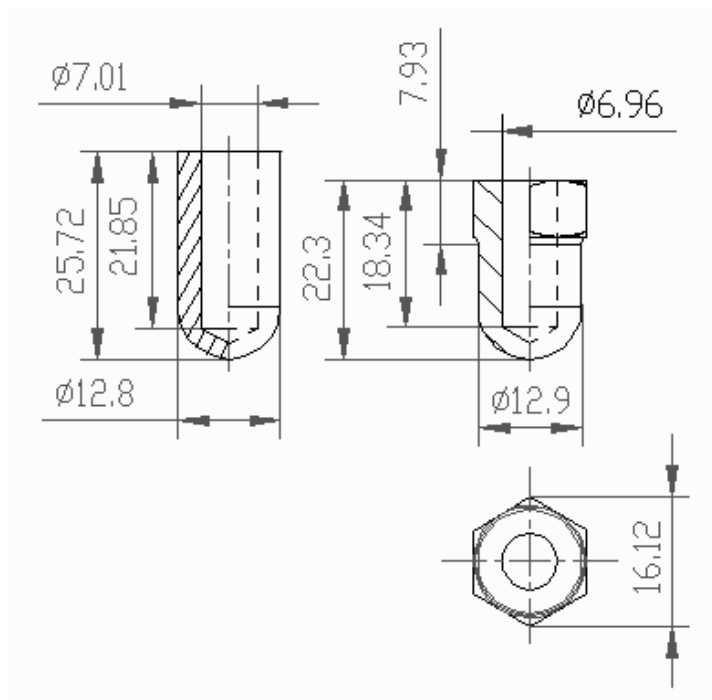


Obr.4.5 Operace III – Zpětné protlačení dutiny a přechování zaoblení

$$\varphi_3 = \ln \frac{S_1}{S_2} = \ln \frac{D_0^2}{D_1^2 - D_2^2} = \ln \frac{12,7^2}{12,8^2 - 7,01^2} = \underline{0,34} \quad (4.4)$$

$$\varphi_{C3} = \varphi_2 + \varphi_3 = 0,064 + 0,34 = \underline{0,4} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{p3} &= 352,41 \cdot \varphi_{C3}^3 - 875,94 \cdot \varphi_{C3}^2 + 893,14 \cdot \varphi_{C3} + 235,87 \\ &= 352,41 \cdot 0,4^3 - 875,94 \cdot 0,4^2 + 893,14 \cdot 0,4 + 235,87 = \underline{477 \text{ MPa}} \end{aligned} \quad (4.6)$$

IV. operace (pěchování)**Obr.4.6** Operace IV – Pěchování šestihranu

$$\varphi_{4hlavy} = \ln \frac{S_2}{S_1} = \ln \frac{16,12^2 - 6,96^2}{12,8^2 - 7,01^2} = \underline{0,61} \quad (4.7)$$

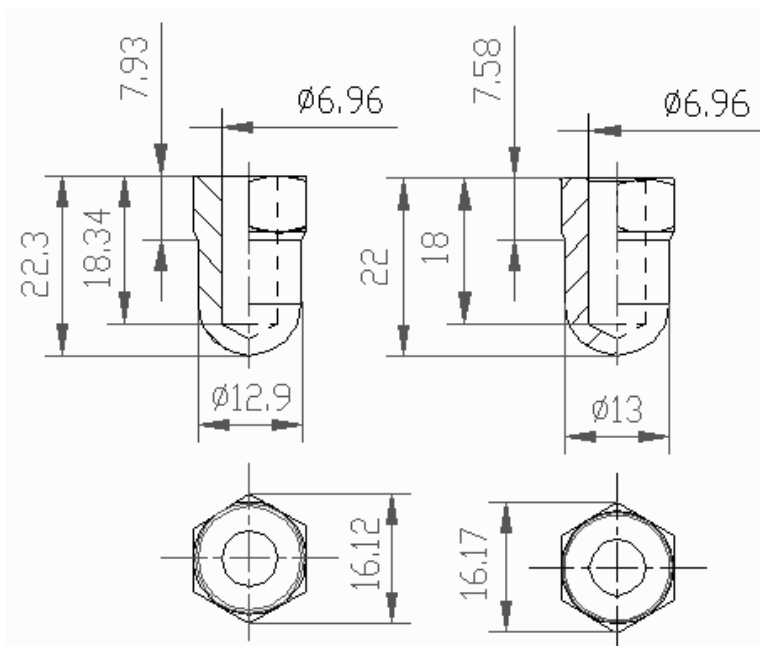
$$\varphi_{4dřiku} = \ln \frac{S_2}{S_1} = \ln \frac{12,9^2 - 6,96^2}{12,8^2 - 7,01^2} = \underline{0,028} \quad (4.8)$$

$$\varphi_{C4hlavy} = \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_{4hlavy} = 0,064 + 0,34 + 0,61 = \underline{1,01} \quad (4.9)$$

$$\varphi_{C4dřiku} = \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_{4dřiku} = 0,064 + 0,34 + 0,028 = \underline{0,43} \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{p4hlavy} &= 352,41 \cdot \varphi_{C4hlavy}^3 - 875,94 \cdot \varphi_{C4hlavy}^2 + 893,14 \cdot \varphi_{C4hlavy} + 235,87 \\ &= 352,41 \cdot 1,01^3 - 875,94 \cdot 1,01^2 + 893,14 \cdot 1,01 + 235,87 = \underline{607 \text{ MPa}} \end{aligned} \quad (4.11)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{p4dřiku} &= 352,41 \cdot \varphi_{C4dřiku}^3 - 875,94 \cdot \varphi_{C4dřiku}^2 + 893,14 \cdot \varphi_{C4dřiku} + 235,87 \\ &= 352,41 \cdot 0,43^3 - 875,94 \cdot 0,43^2 + 893,14 \cdot 0,43 + 235,87 = \underline{486 \text{ MPa}} \end{aligned} \quad (4.12)$$

V. operace (kalibrace)**Obr.4.7 Operace V – Kalibrace**

$$\varphi_{5hlavy} = \ln \frac{S_2}{S_1} = \ln \frac{16,17^2 - 6,96^2}{16,12^2 - 6,96^2} = \underline{0,01} \quad (4.13)$$

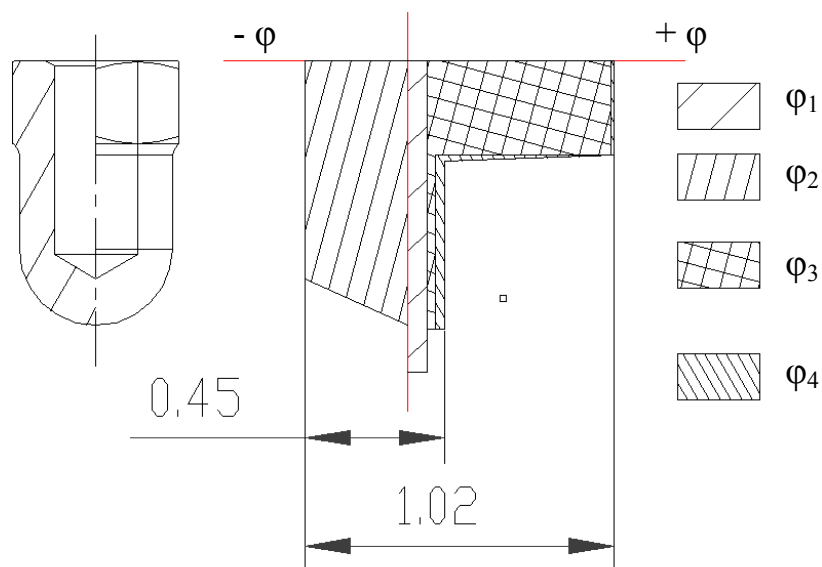
$$\varphi_{5dříku} = \ln \frac{S_2}{S_1} = \ln \frac{13^2 - 6,96^2}{12,9^2 - 6,96^2} = \underline{0,02} \quad (4.14)$$

$$\varphi_{C5hlavy} = \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_{4hlavy} + \varphi_{5hlavy} = 0,064 + 0,34 + 0,61 + 0,01 = \underline{1,02} \quad (4.15)$$

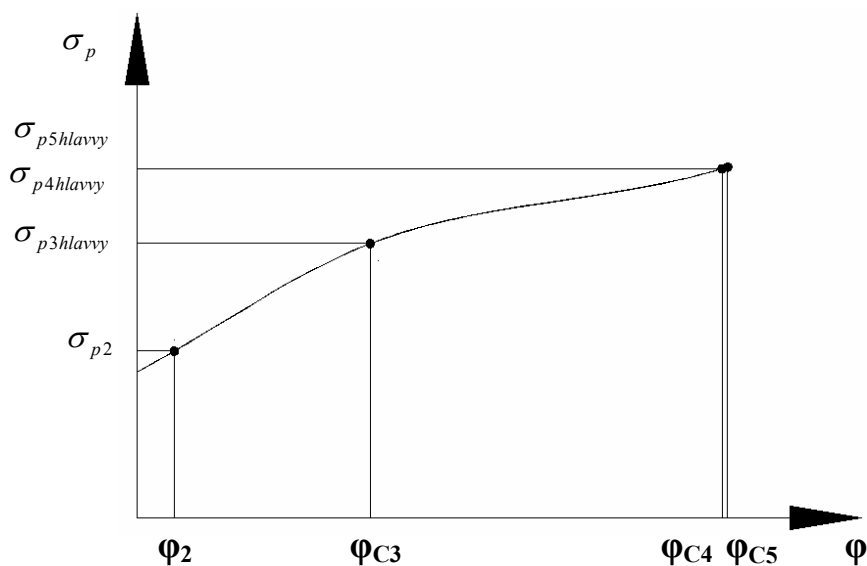
$$\varphi_{C5dříku} = \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_{4dříku} + \varphi_{5dříku} = 0,064 + 0,34 + 0,028 + 0,02 = \underline{0,45} \quad (4.16)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{p5hlavy} &= 352,41 \cdot \varphi_{C5hlavy}^3 - 875,94 \cdot \varphi_{C5hlavy}^2 + 893,14 \cdot \varphi_{C5hlavy} + 235,87 \\ &= 352,41 \cdot 1,02^3 - 875,94 \cdot 1,02^2 + 893,14 \cdot 1,02 + 235,87 = \underline{610 \text{ MPa}} \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{p5dříku} &= 352,41 \cdot \varphi_{C5dříku}^3 - 875,94 \cdot \varphi_{C5dříku}^2 + 893,14 \cdot \varphi_{C5dříku} + 235,87 \\ &= 352,41 \cdot 0,45^3 - 875,94 \cdot 0,45^2 + 893,14 \cdot 0,45 + 235,87 = \underline{493 \text{ MPa}} \end{aligned} \quad (4.18)$$



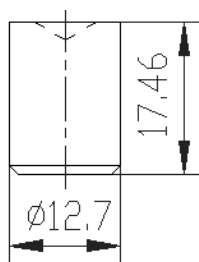
Obr.4.8 Logaritmické přetvoření v jednotlivých průřezích, varianta B



Obr.4.9 Závislost přirozeného přetvárného odporu na logaritmickém přetvoření

4.3.2 Výpočet deformačního odporu σ_d [2], [3]

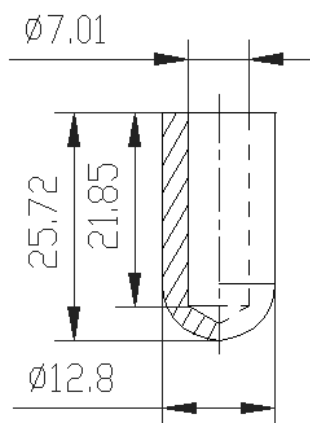
II. operace



Obr.4.10 Operace II

$$\sigma_{d2} = \sigma_{p2} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{D}{H}\right) \cdot k_1 \cdot k_2 = 290 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,1 \cdot \frac{12,7}{18,06}\right) \cdot 1,4 \cdot 1,1 = \underline{\underline{457 \text{ MPa}}} \quad (4.19)$$

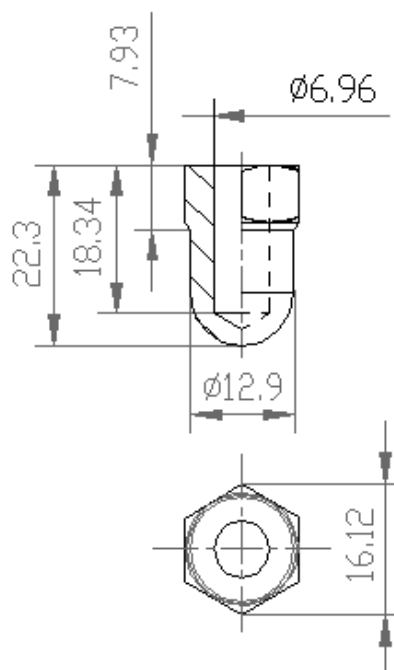
III. operace



Obr.4.11 Operace III

$$\begin{aligned} \sigma_{d3} &= 1,152 \cdot \sigma_{p3} \cdot \frac{D^2}{d^2} \left(\log \frac{D^2}{D^2 - d^2} + \frac{D^2}{D^2 - d^2} \cdot \log \frac{D^2}{d^2} + \log \frac{d^2}{D^2 - d^2} \right) \\ &= 1,152 \cdot 477 \cdot \frac{12,8^2}{7,01^2} \left(\log \frac{12,8^2}{12,8^2 - 7,01^2} + \frac{12,8^2}{12,8^2 - 7,01^2} \cdot \log \frac{12,8^2}{7,01^2} + \log \frac{7,01^2}{12,8^2 - 7,01^2} \right) \\ &= 1721 \cdot (\log 1,43 + 1,43 \cdot \log 3,3 + \log 0,43) = \underline{\underline{972 \text{ MPa}}} \end{aligned} \quad (4.20)$$

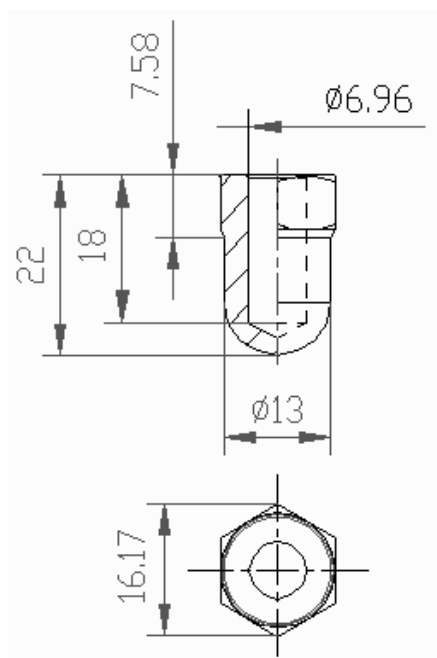
IV. operace



Obr.4.12 Operace IV

$$\sigma_{d4} = \sigma_{p4hlavy} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{D}{H}\right) \cdot k_1 \cdot k_2 = 607 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,1 \cdot \frac{16,12}{7,93}\right) \cdot 1,4 \cdot 1,1 = \underline{998 \text{ MPa}} \quad (4.21)$$

V. operace



Obr.4.13 Operace V

$$\sigma_{d5} = \sigma_{p5hlavy} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{D}{H}\right) \cdot k_1 \cdot k_2 = 610 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,1 \cdot \frac{16,17}{7,58}\right) \cdot 1,4 \cdot 1,1 = \underline{1\,006 \text{ MPa}} \quad (4.22)$$

4.3.3 Výpočet tvářecí síly [3]

II. operace

$$F_2 = \sigma_{d2} \cdot S_2 = 457 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 12,7^2 = 57891 \text{ N} = \underline{58 \text{ kN}} \quad (4.23)$$

III. operace

$$F_3 = \sigma_{d3} \cdot S_3 = 972 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 7,01^2 = 37513 \text{ N} = \underline{38 \text{ kN}} \quad (4.24)$$

IV. operace

$$F_4 = \sigma_{d4} \cdot S_4 = 998 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (16,12^2 - 6,96^2) = 165711 \text{ N} = \underline{166 \text{ kN}} \quad (4.25)$$

V. operace

$$F_5 = \sigma_{d5} \cdot S_5 = 1006 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (16,17^2 - 6,96^2) = 168315 \text{ N} = \underline{168 \text{ kN}} \quad (4.26)$$

Celková tvářecí síla

$$F_c = \sum F = F_2 + \dots + F_n = 58 + 38 + 166 + 168 = \underline{\underline{430 \text{ kN}}} \quad (4.27)$$

4.3.4 Výpočet tvářecí práce [2], [3], [9]**II. operace**

$$A_{j2} = 0,28 \cdot \varphi_2^{1,4824} + 0,2 \cdot \varphi_2 = 0,28 \cdot 0,064^{1,4824} + 0,2 \cdot 0,064 = \underline{\underline{0,018 \text{ J} \cdot \text{mm}^{-3}}} \quad (4.28)$$

III. operace

$$A_{j3} = 0,28 \cdot \varphi_{C3}^{1,4824} + 0,2 \cdot \varphi_{C3} = 0,28 \cdot 0,4^{1,4824} + 0,2 \cdot 0,4 = \underline{\underline{0,15 \text{ J} \cdot \text{mm}^{-3}}} \quad (4.29)$$

IV. operace

$$A_{j4} = 0,28 \cdot \varphi_{C4hlavy}^{1,4824} + 0,2 \cdot \varphi_{C4hlavy} = 0,28 \cdot 1,01^{1,4824} + 0,2 \cdot 1,01 = \underline{\underline{0,49 \text{ J} \cdot \text{mm}^{-3}}} \quad (4.30)$$

V. operace

$$A_{j5} = 0,28 \cdot \varphi_{C5hlavy}^{1,4824} + 0,2 \cdot \varphi_{C5hlavy} = 0,28 \cdot 1,02^{1,4824} + 0,2 \cdot 1,02 = \underline{\underline{0,49 \text{ J} \cdot \text{mm}^{-3}}} \quad (4.31)$$

Celková měrná přetvárná práce

$$A_{jc} = \sum A_j = A_{j2} + \dots + A_{jn} = 0,018 + 0,15 + 0,49 + 0,49 = \underline{\underline{1,15 \text{ J} \cdot \text{mm}^{-3}}} \quad (4.32)$$

Přetvárná práce

$$A = A_{jc} \cdot V = 1,15 \cdot 2\,241,5 = 2\,578 \text{ J} = \underline{\underline{2,5 \text{ kJ}}} \quad (4.33)$$

5. VOLBA STROJE [12]

Pro výrobu uzavřené matice byl zvolen pětistupňový automat na matice **TPM 12**, o jmenovité síle $F_j = 2\,000\text{ kN}$. Výrobce jsou Šmeralovy závody Brno. Stroj plně vyhovuje požadavkům pro výrobu zadané součásti, vzhledem k potřebné velikosti vypočítané tvářecí síly.

Technologické určení

Postupový automat **TPM 12** je vhodný pro lisování polotovarů přesných šestihranných matic z kruhového drátu za studena. Též jsou vhodné pro výrobu polotovarů matic čtyřhranných, kruhových a jiných podobných součástí.

Konstrukční provedení

Jedná se o automat pětistupňový, se čtyřmi vodorovnými lisovnicemi, vedle sebe, bez otáčení polotovarů mezi jednotlivými operacemi. Je opatřen jedním párem podávacích kladek s pružinovým přitlačováním, přestavitelnou narážkou a stříhacím ústrojím s otevřeným nožem a pružinovým přidržovačem. Mezioperační přenášecí zařízení s odpruženými kleštinami přenáší výlisky po oblouku, rovnoběžně s čelem lisovnice. Lisovnice jsou uloženy v nástrojovém bloku na stojanu a jsou opatřeny vyrážecí. Lisovníky jsou upnuty ve stavitelných držácích na beranu a jsou bez vyrážecí.

Technické údaje TPM 12

Tab: 5.1 [12]

Jmenovitá síla	2 000	kN
Výchozí $\varnothing$ materiálu	12 – 16	mm
Délka ústřížku	10 – 42	mm
Počet výlisků	80	min ⁻¹
Zdvih beranu	125	mm

V případě potřeby jsou další technické údaje v příloze 4.1 a 4.2.

6. NÁVRH SESTAVY NÁSTROJE

K návrhu sestavy postupového nástroje pro výrobu uzavřené matice na postupovém automatu TPM12, byl použit starší výkres postupového nástroje s označením 1 541 41 542 pro určení zástavbových rozměrů.

Sestava postupového nástroje se skládá z pevné části, která obsahuje čtyři vodorovně umístěné lisovnice s objímkami a pohyblivé části se čtyřmi upínacími hlavami pro tři pěchovníky a jeden průtlačník. Transfery a I. operace stříhání nejsou v sestavě uvedeny, tyto věci jsou dány strojem a proto je není třeba řešit.

Požadavky na výkresovou dokumentaci byly stanoveny vedoucím bakalářské práce. Jedná se o výkresy: Výkres uzavřené matice

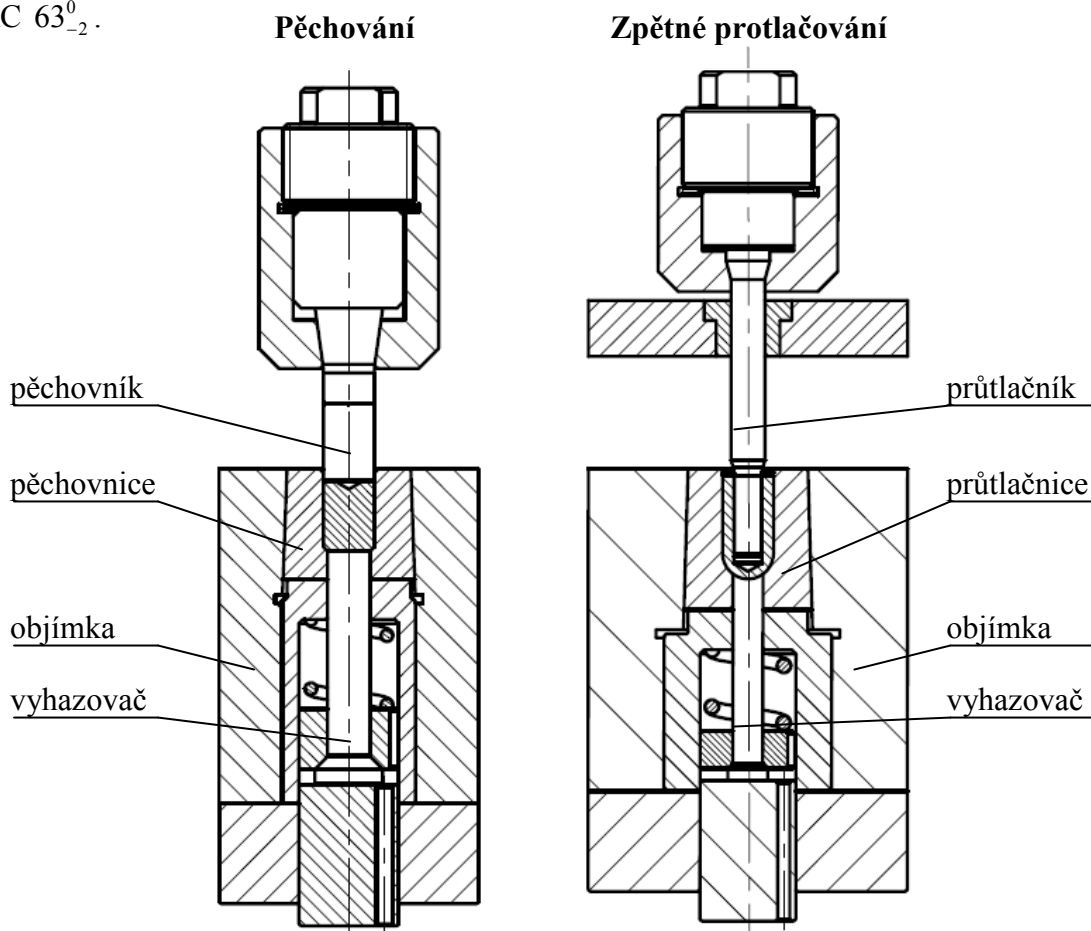
Sestava postupového nástroje

Výkres průtlačníku pro III. operaci

Výkres průtlačnice pro III. operaci

Konstrukce průtlačníku pro III. operaci

Pro určení rozměrů průtlačníku použijeme obr.2.17 a tab: 2.6. Některé rozměry bylo nutno upravit s ohledem na velikost a tvar protlačku. Materiál ze kterého se bude průtlačník vyrábět vybereme z tab:2.5, jedná se o nástrojovou ocel 19 436 (informace k materiálu viz. příloha 7). Průtlačník musí být tepelně zpracován, kalením a popuštěním na tvrdost HRC 63₋₂⁰.



Obr.6.1 Nástroj pro pěchování a zpětné protlačování

Konstrukce průtlačnice a objímka

Materiál pro výrobu objímky a průtlačnice vybereme z podkladů v příloze 2. Objímka bude vyráběna z nástrojové oceli 19 733 (informace k materiálu viz. příloha 8) a průtlačnice ze slinutého karbidu SK65. Rozměry průtlačnice jsou navrženy podle obr.2.18 a upraveny podle tvaru protlačku. Optimální rozměry objímky a průtlačnice byly navrženy v programu **optim 97**. Bližší informace k tomuto návrhu jsou k dispozici v příloze 6.

7. TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Pro navrhovanou změnu technologického postupu zpracujeme technicko – ekonomické hodnocení. Na základě tohoto hodnocení provedeme závěry zda je tento způsob výroby přínosný a to hlavně po ekonomické stránce.

7.1 Technické hodnocení

Předpokladem je, že se v současné době uzavřená matice vyrábí obráběním. Změnou stávající výrobní technologie na objemové tváření dosáhneme hlavně vysoké produktivity. Použitý postupový automat TPM12 vyrobí cca 80 výlisků/min, za předpokladu, že bychom chtěli dosáhnout stejné produktivity obráběním, bylo by nutné pořídit několik dalších obráběcích strojů včetně kvalifikované obsluhy, což je finančně výrazně náročnější, než náklady na pořízení postupového nástroje. Proto obrábění takovéto součásti není vhodné pro větší série, ale pouze pro kusovou výrobu.

Dalším pozitivem je zvýšení přesnosti, zlepšení mechanických vlastností, jakosti povrchu a lepší uspořádání vnitřní struktury materiálu. Protože dojde k mechanickému zpevnění vlivem přetvoření může se pro matici použít výchozí materiál s nižší pevností než pro obráběnou součást. Při tváření je většina rozměrů výlisku daná tvarem nástroje, proto odpadá možnost rozměrových odchylek vlivem špatného seřízení nebo nastavení obráběcího nástroje. Toto vylučuje velké množství výrobních chyb a snižuje náklady na kvalitu. Zároveň odpadá nutnost mezioperační kontroly. Proces výroby je celkově stabilnější a nemění se v čase tolik jako při obrábění, obsluha má výrazně menší možnost zásahu do procesu. Při obrábění součásti jde 32,7% materiálu do odpadu ve formě třísky, proto změnou technologie dojde k nezanedbatelné úsporě zpracovávaného materiálu, který je využit beze zbytku a odpadá problém s odvozem a následnou recyklací třísek.

7.2 Ekonomické hodnocení

Ekonomickou stránku výroby ovlivní zejména použitá technologie a sériovost neboli počet vyráběných kusů. Za předpokladu, že výrobní série se nezmění tak hlavním ovlivňujícím faktorem bude použitá technologie. V případě objemového tváření u kterého jsou počáteční náklady vyšší, ve vztahu k ceně jednoho kusu, ale postupně se snižují s rostoucím množstvím, na rozdíl od obrábění kde jsou náklady nižší, ale vyrobené množství cenu nijak neovlivní.

Přímé náklady na obrábění

Přímé náklady na materiál [6]

$$PN_{mat} = S \cdot C_M \cdot n = 0,032 \cdot 12,36 \cdot 460000 = \underline{181\,939,- \text{ Kč}} \quad (7.1)$$

S - spotřeba materiálu v kg/kus

C_M - cena materiálu Kč/kg

n - počet vyráběných kusů ks/rok

Přímé náklady na mzdy [6]

$$PN_{mzd} = t \cdot M_t \cdot n = 8,3 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 460000 = \underline{763\,600,- \text{ Kč}} \quad (7.2)$$

M_t - hodinová mzda [Kč/h]

n - počet vyráběných kusů ks/rok

t - výrobní čas [Nh]

$$t = \frac{t_{A1}}{60} + \frac{t_{B1}}{60 \cdot d_v} = \frac{0,5}{60} + \frac{0,015}{60 \cdot 180} = 8,3 \cdot 10^{-3} Nh$$

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

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

d_v - počet kusů ve výrobní dávce

Přímé náklady na energii [6]

$$PN_{EN} = P \cdot \eta \cdot t_{A1} \cdot C_E \cdot n = 6 \cdot 0,8 \cdot 0,0083 \cdot 5,5 \cdot 460000 = \underline{\underline{100\,795,-\text{ Kč}}} \quad (7.3)$$

P - příkon [kWh]

C_E - cena energie [Kč/kWh]

η - využití stroje [%/100]

Celkové přímé náklady na obrábění

$$PN_{CO} = PN_{nat} + PN_{nzd} + PN_{EN} = 181939 + 763600 + 100759 = \underline{\underline{1\,046\,298,-\text{ Kč}}} \quad (7.4)$$

Přímé náklady na tváření

Přímé náklady na materiál [6]

$$PN_{mat} = S \cdot C_M \cdot n = 0,0169 \cdot 12,36 \cdot 460000 = \underline{\underline{96\,087,-\text{ Kč}}} \quad (7.5)$$

S - spotřeba materiálu v kg/kus

C_M - cena materiálu Kč/kg

n - počet vyráběných kusů ks/rok

Přímé náklady na mzdy [6]

$$PN_{mzd} = t \cdot M_t \cdot n = 0,21 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 460000 = \underline{\underline{19\,320,-\text{ Kč}}} \quad (7.6)$$

M_t - hodinová mzda [Kč/h]

n - počet vyráběných kusů ks/rok

t - výrobní čas [Nh]

$$t = \frac{t_{A1}}{60} + \frac{t_{B1}}{60 \cdot d_v} = \frac{0,0125}{60} + \frac{0,015}{60 \cdot 2000} = 0,21 \cdot 10^{-3} Nh$$

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

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

d_v - počet kusů ve výrobní dávce

Přímé náklady na energii [6]

$$PN_{EN} = P \cdot \eta \cdot t_{A1} \cdot C_E \cdot n = 22 \cdot 0,8 \cdot 0,00021 \cdot 5,5 \cdot 460000 = \underline{\underline{9\,351,-\text{ Kč}}} \quad (7.7)$$

P - příkon [kWh]

C_E - cena energie [Kč/kWh]

η - využití stroje [%/100]

Celkové přímé náklady

$$PN_{CT} = PN_{nat} + PN_{nzd} + PN_{EN} = 96087 + 19320 + 9351 = \underline{\underline{124\,758,-\text{ Kč}}} \quad (7.8)$$

Rozdíl celkových nákladu

$$PN_{Crozdl} = PN_{CO} - PN_{CT} = 1046298 - 124758 = \underline{\underline{921\,540,-\text{ Kč}}} \quad (7.9)$$

V případě objemového tváření je úspora celkových přímých nákladu **921 540 Kč** na rok, oproti obrábění.

Další náklady není možno spočítat, protože nejsou známá vstupní data. Výrobní správní a odbytová režie je zcela neznámá. Lze předpokládat vyšší odpisy na tvářecí stroj, který má vyšší pořizovací cenu a vyšší náklady na nástroj. Při variantě obrábění budou odpisy na stroj nižší, ale bude potřeba víc strojů, náklady na nářadí budou nižší.

8. ZÁVĚRY

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout technologii výroby uzavřené matice objemovým tvářením za studena s využitím protlačování a pěchování. Matice bude vyráběna z konstrukční oceli 11 320 5R ČSN EN 10 204, o roční produkci 460 000 ks/rok. Předpokladem bylo, že se tato součást doposud vyráběla obráběním.

V první řadě jsem provedla studii se zaměřením na technologii objemového tváření za studena na základě které jsem provedla vlastní návrh technologie. Uvažovala jsem nad dvěmi možnými variantami (viz. obr.4.1 a obr.4.2). Došla jsem k závěru, že varianta B je vhodnější, protože šestihran matice je pěchován v jedné operaci a proto odpadá potřeba další šestihranné pěchovnice, která je výrobně náročnější a dražší, kromě jiného nedochází k deformaci již přepěchovaného šestihranu vlivem přemísťování materiálu při zpětném protlačování vnitřní díry, jako je tomu v případě varianty A. Následně byly provedeny technologické výpočty logaritmického přetvoření ϕ , přirozeného přetvárného odporu σ_p atd.

Stroj byl zvolen s ohledem na velikost vypočítané tvářecí síly, jedná se o postupový tvářecí automat TPM 12, jehož jmenovitá síla je 2 000 kN, který vyrobily Šmeralovy závody Brno.

Postupový nástroj je navržen pro výše uvedený stroj, podle staršího výkresu ze kterého jsou zjištěny zástavbové rozměry. Obsahuje čtyři pozice, první je pro kalibraci ústřížku, druhá pro zpětné protlačení vnitřní díry a napěchování zaoblení, třetí pro pěchování šestihranu a čtvrtá pro kalibraci uzavřené matice. Brala jsem zřetel na vyjímání a stírání polotovarů z jednotlivých operací, aby nedocházelo ke kolizím a tím k poškození nástroje.

Pro takto velkou sérii bude z ekonomického hlediska výhodnější vyrábět uzavřenou matici objemovým tvářením, nežli obráběním.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LANGE, Kurt, et al. *Handbook of metal forming*. Kurt Lange. 1st edition. New York : McGraw-Hill Book Company, 1985. 1156 s. ISBN 0-07-036285-8.
- [2] FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Milan Forejt; Design obálky: Ildikó Putzová. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [3] BABOR, Karel, CVILINEK, Augustin, FIALA, Jan. *Objemové tváření ocelí*. Vladimír Hašek; Eva Tamelová. 1. vyd. Praha : SNTL, 1967. 332 s. Strojírenská literatura; sv. 6006.
- [4] KŘÍŽ, Rudolf, VÁVRA, Pavel. *STROJÍRENSKÁ PŘÍRUČKA : 8. SVAZEK*. Odpovědný redaktor Ing. Pavel Vávra; Technická redaktorka Eva Kovaříková. 1. vyd. Praha : SCIENTIA, spol. s.r.o, 1998. 255 s.
- [5] *Šroubárna Kyjov, spol. s r.o.* [online]. 2006-2009 [cit. 2009-02-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.sroubk.cz>>.
- [6] FOREJT, Milan. *Oborový projekt 2*. [s.l.] : [s.n.], 2003. 94 s. Dostupný z WWW: <<http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory.htm>>.
- [7] FOREJT, Milan. *Závěrečný projekt : sylabus* [online]. Brno : S.n., září 2002 [cit. 2010-04-17]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/zaverecny_projekt__forejt.pdf>.
- [8] DVOŘÁK, Milan, MAREČKOVÁ, M. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ*. [s.l.] : [s.n.], září 2006. 65 s. Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm>.
- [9] BENEŠ, Milan, et al. *Poradenská příručka /33 : Křivky přetvárných odporů ocelí*. 1. vyd. Praha : TEVUH+TOMOS PRAHA, 1982. 362 s. Typ. č.: 7352123207.
- [10] LEINVEBER, J.; ŘASA, J.; VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 2. vyd. Praha : Scientia, spol. s.r.o., 1998. 911 s. ISBN 80-7183-123-9.
- [11] *JKZ Bučovice, a.s.* [online]. c2005 [cit. 2009-12-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.jkz.cz/index.php?articl=59&lang=cz>>.
- [12] HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje 1972*. 1. vydání. Brno : SNTL, 1972. 600 s. T.č: L13-E1-IV-41/22333.
- [13] *Ferona : Velkoobchod hutním materiálem* [online]. 2004-2009 [cit. 2009-11-17]. Sortimentní katalog. Dostupné z WWW: <<http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php>>.
- [14] *Odbor technologie tváření kovů a plastů : Řešené granty* [online]. 1999-2004 [cit. 2009-12-21]. Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_113205r.pdf>.

- [15] *Knife.cz : vše o nožích* [online]. Milan Pokorný , c2006 [cit. 2009-11-03]. Dostupný z WWW: <www.Knife_cz - vše o nožích - Legující prvky ocelí.htm>.
- [16] *JKZ Bučovice, a.s.* [online]. c2005 [cit. 2010-04-17]. Nástrojová ocel ČSN 19 733. Dostupné z WWW: <<http://www.jkz.cz/ocel.php?ocel=19733&lang=cz>>.
- [17] *JKZ Bučovice, a.s.* [online]. c2005 [cit. 2010-04-17]. Nástrojová ocel W. Nr. 1.2080. Dostupné z WWW: <<http://www.jkz.cz/ocel.php?ocel=12080&lang=cz>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Jednotka	Legenda
A	[kJ]	Tvářecí práce
A _c	[J]	Celková tvářecí práce
A _j	[J]	Měrná přetvárná práce
A _{je}	[J]	Celková měrná přetvárná práce
A ₅	[%]	Tažnost
C	[-]	Uhlík
Cr	[-]	Chrom
Cu	[-]	Měď
D, D ₀ , ...	[mm]	Průměry
DIN	[-]	Německá norma
F, F ₁ , ...	[kN]	Tvářecí síla
F _c	[kN]	Celková tvářecí síla
FeS	[-]	Sírník železitý
H	[mm]	Výška spěchovaného válce
HRC		Tvrdost podle Rockwela
K...	[-]	Konstanty podle Tab: 2.3
L ₀	[mm]	Délka polotovaru (ústřižku)
Mn	[-]	Mangan
MnS	[-]	Sírník manganatý
Mo	[-]	Molibden
Ni	[-]	Nikl
P	[-]	Fosfor
R...	[mm]	Zaoblení (poloměr)
R _a	[μm]	Drsnost povrchu
R _e	[MPa]	Mez kluzu
R _m	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
R _{p0,2}	[MPa]	Smluvní mez kluzu
S	[-]	Síra
S	[mm ²]	Konečný průmět plochy výlisku, na který působí tvářecí síla
Si	[-]	Křemík
S ₁	[mm ²]	Výchozí průmět protlačované plochy
S ₂	[mm ²]	Konečný průmět protlačované plochy
T	[°C]	Teplota
V	[-]	Vanad
V	[mm ³]	Objem materiálu
W	[-]	Wolfram
Z	[%]	Kontrakce
c ₁	[-]	Konstanta 5-10%
d, ...	[mm]	Průměry
h, ...	[mm]	Výšky
k ₁	[-]	Součinitel charakteru deformace
k ₂	[-]	Součinitel nerovnosti napětí
p _u	[-]	Ukazatel potenciálních úspor
q ₂	[%]	Příčné zúžení

ε	[-]	Poměrná deformace
$\dot{\varepsilon}$	[s ⁻¹]	Rychlost přetvoření
$\varphi, \varphi_1, \dots \varphi_n$	[-]	Skutečné (logaritmické) přetvoření (deformace)
$\varphi_c, \dots$	[-]	Celkové logaritmické přetvoření materiálu
$\dot{\varphi}$	[s ⁻¹]	Rychlost deformace
μ	[-]	Součinitel tření
π	[-]	Ludolfovo číslo
$\sigma_{d, \dots}$	[MPa]	Deformační odpor
σ_{dmax}	[MPa]	Maximální hodnota deformačního odporu
$\sigma_{p, \dots}$	[MPa]	Přirozený přetvárný odpor

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1.1 až 1.4 – Materiálová charakteristika a křivka přirozeného přetvárného odporu pro ocel 11 320

Příloha 2 – Materiály pro průtláčnice a objímky

Příloha 3 – Výpočet rozměrových charakteristik uzavřené matice z programu Pro ENGINEER

Příloha 4.1 a 4.2 – Postupový automat na matice

Příloha 5.1 až 5.5 – Ocel 11 320 5R

Příloha 6.1 až 6.3 – Protokol výpočtu optimalizace lisovnice s jednou objímkou z programu OPTIM 97

Příloha 7.1 a 7.2 – Ocel 19 436

Příloha 8.1 a 8.2 – Ocel 19 733

Seznam výkresů

UZAVŘENÁ MATICE – BP-3K1-00

SESTAVA – BP-3K1-01

PRŮTLAČNICE – BP-3K1-01/2

PRŮTLAČNÍK – BP-3K1-01/6

Příloha 1.1 [9]

- 23 -

Křivky přetvárného odporu oceli 11 320

Chemické složení v %							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,040	0,32	st.	-	-	-	0,008	0,024

Mechanické vlastnosti	měkce žeháno	normalizačně žeháno
Pevnost v tahu R_m [MPa]	284,27	310,04
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	229,10	269,51
Tažnost A_5 [%]	53,28	48,19
Kontrakce Z [%]	79,70	79,37
Tvrdość HB 2,5/62,5	76	88

měkce žeháno



NITAL

500x

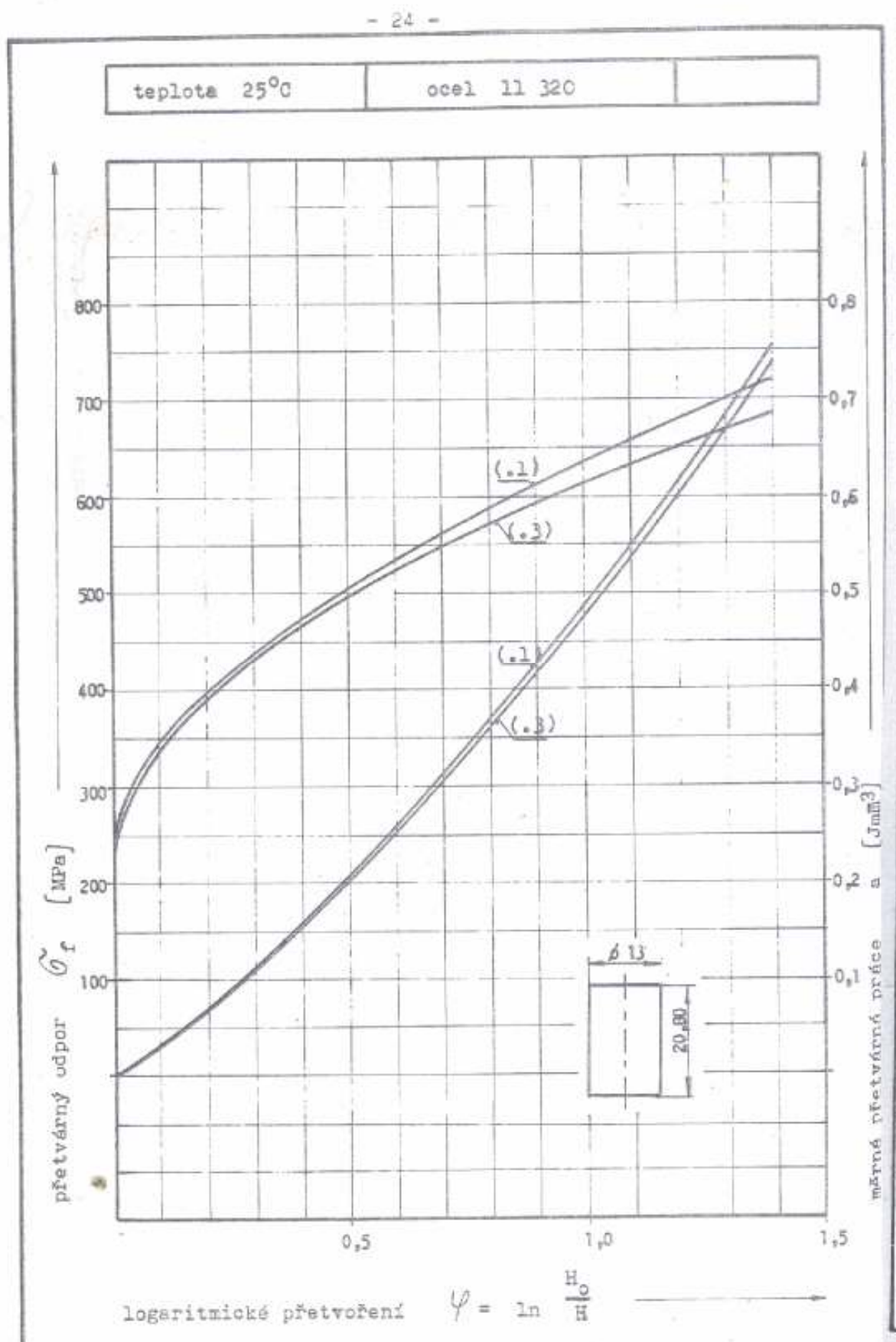
normalizačně žeháno



NITAL

500x

Příloha 1.2 [9]



Příloha 1.3 [9]

Ocel 113203 mákce žíháno		tepłota 25°C		
Aprox. křivka	Rovnice n)	I_{yx}	σ^2	σ^2
Polytropa	$\sigma_f = 409,59 \varphi + 0,4824 + 204,39 \quad [\text{MPa}]$	0,99181	107,406	3007,364
Polynom 3. stupně	$\sigma_f = 352,41 \varphi^3 - 875,94 \varphi^2 + 893,14 \varphi + 235,87 \quad [\text{MPa}]$	0,99278	198,153	5350,135
Polynom 5. stupně	$\sigma_f = 640,82 \varphi^5 - 2771,34 \varphi^4 + 4551,75 \varphi^3 - 3536,99 \varphi^2 + 1529,29 \varphi + 201,16 \quad [\text{MPa}]$	0,99830	50,519	1262,970
Racionálně lomená funkce $\sigma_f = \frac{F}{\varphi^2} \quad [\text{MPa}]$	$F = 103,54 \varphi^3 - 105,40 \varphi^2 + 172,31 \varphi + 28,37 \quad [\text{MN}]$	0,99945	6,299	170,070
	$D = 2,60 \varphi^2 + 4,95 \varphi + 12,84 \quad [\text{mm}]$	0,99925	0,015	0,425

$a = 0,28 \varphi^{1,4824} + 0,20 \varphi \quad [\text{Jmm}^{-3}]$	$\dot{\varphi}_{\text{stř.}} = 0,071 \quad [\text{s}^{-1}]$
--	---

n) Pozn.: Rovnice platí pro φ v intervalu 0 až 1,33

Příloha 1.4 [9]

Ocel 11 320 normalizačně ztlááno		teplota 25°C		
Aprox. křivka	Rovnice n)	I_{yx}	σ^2	δ^2
Polytropa	$\tilde{\sigma}_f = 396,11 \varphi^{0,5754} + 239,30$ [MPa]	0,99467	49,945	1398,453
Polynom 3. stupně	$\tilde{\sigma}_f = 235,71 \varphi^3 - 619,18 \varphi^2 + 751,13 \varphi + 261,52$ [MPa]	0,99639	106,221	2867,950
Polynom 5. stupně	$\tilde{\sigma}_f = 783,20 \varphi^5 - 3054,42 \varphi^4 + 4500,49 \varphi^3 - 3149,81 \varphi^2 + 1322,12 \varphi + 234,88$ [MPa]	0,99928	22,810	570,260
Racionálně lomená funkce $\tilde{\sigma}_f = \frac{F}{D^2} \frac{4000}{\varphi}$ [MPa]	$F = -45,11 \varphi^4 + 207,74 \varphi^3 - 164,53 \varphi^2 + 179,83 \varphi + 31,34$ [MN]	0,99992	1,105	28,724
	$D = 2,79 \varphi^2 + 4,75 \varphi + 12,97$ [mm]	0,99977	0,005	0,140
$a = 0,25 \varphi^{1,5754} + 0,24 \varphi$ [mm ⁻³]		$\varphi_{str.} = 0,080$ [s ⁻¹]		

Příloha 2

VÝBĚR NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ PRO PRŮTLAČNICE A OBJÍMKY

	Materiál	T _{KAL}	T _{POP}	HRC	E	μ	R _m	R _d	R _{p0,2}	σ _D	α	R
L	SK 64	-	-	84	490000	0,26	1000	3400	0	750	0,0000065	
I	SK 65	-	-	82,5	460000	0,26	1130	3140	0	850	0,000007	
S	Ocel	1140	620	62	220000	0,33	1665	3670	1480	1425	0,0000124	34
O	19830											
V												
N												
I	Ocel	1060	520	59	208000	0,30	1860	3680	-	1620	0,0000128	
C	19436			60								
E				61								
O	Ocel	920	570	47	206000	0,30	1790	-	1670	1525	0,0000136	
	19733		600	49								
B	Ocel	1025	500	47	207000	0,30	1570	-	1320	1300	0,0000126	
J	19740		600	46			1480		1390	1360		
í			620	45			1410		1370	1340		
M												
K	Ocel	850	370	50	206000	0,30	1745	3040	1560	1500	0,0000130	
A	19452		400	47			1645	3090	1500	1450		

Forejt 98

Forejt1998

Příloha 3**Výpočet rozměrových charakteristik uzavřené matice z programu Pro ENGINEER.**

VOLUME = 2.1654386e+03 MM³
 SURFACE AREA = 1.5175011e+03 MM²
 DENSITY = 7.8270820e-09 TONNE / MM³
 MASS = 1.6949066e-05 TONNE

CENTER OF GRAVITY with respect to _MATICE_KONEC coordinate frame:

X Y Z 0.0000000e+00 1.2541249e+01 0.0000000e+00 MM

INERTIA with respect to _MATICE_KONEC coordinate frame:
 (TONNE * MM²)

INERTIA TENSOR:

Ixx	Ixy	Ixz	3.5208981e-03	0.0000000e+00	0.0000000e+00
Iyx	Iyy	Iyz	0.0000000e+00	4.7641609e-04	0.0000000e+00
Izx	Izy	Izz	0.0000000e+00	0.0000000e+00	3.5208978e-03

INERTIA at CENTER OF GRAVITY with respect to _MATICE_KONEC coordinate frame: (TONNE * MM²)

INERTIA TENSOR:

Ixx	Ixy	Ixz	8.5509930e-04	0.0000000e+00	0.0000000e+00
Iyx	Iyy	Iyz	0.0000000e+00	4.7641609e-04	0.0000000e+00
Izx	Izy	Izz	0.0000000e+00	0.0000000e+00	8.5509895e-04

PRINCIPAL MOMENTS OF INERTIA: (TONNE * MM²)

I1 I2 I3 4.7641609e-04 8.5509858e-04 8.5509967e-04

ROTATION MATRIX from _MATICE_KONEC orientation to PRINCIPAL AXES:

0.00000	0.00000	1.00000
1.00000	0.00000	0.00000
0.00000	1.00000	0.00000

ROTATION ANGLES from _MATICE_KONEC orientation to PRINCIPAL AXES (degrees):

angles about x y z 0.000 90.000 90.000

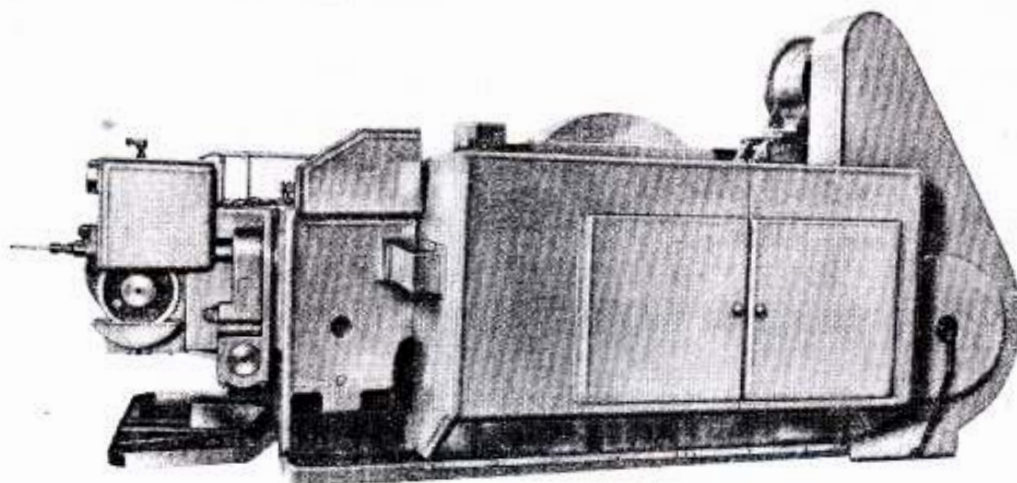
RADII OF GYRATION with respect to PRINCIPAL AXES:

R1 R2 R3 5.3017632e+00 7.1028919e+00 7.1028965e+00 MM

Příloha 4.1 [12]

Postupový automat
na matice

TPM 12, TPM 16



TPM 16

Technologické určení: pro lisování polotovaru přesných šestihraných matic z kruhového drátu za studena. Jsou vhodné též pro výrobu polotovarů matic čtyřhranných, korunových a jiných podobných součástí.

Konstrukční provedení: pětistupňový, se čtyřmi vodorovnými lisovnicemi vedle sebe, bez otáčení polotovarů mezi jednotlivými operacemi. Automat je opatřen jedním párem podávacích kladek s pružinovým přitlačováním, přestavitelnou narážkou a stíhacím ústrojem s otevřeným nožem a pružinovým přidržovačem. Mezioperační přenášecí zařízení s odpruženými kleštinami přenáší vylisky po oblouku, rovnoběžně s čelem lisovnic. Lisovnice jsou uloženy v nástrojovém bloku na stojanu a jsou opatřeny vyražecí. Lisovníky jsou upnuty ve stavitelných držácích na beranu a jsou bez vyražecí. Elektrická výzbroj je v samostatné skříni mimo stroj.

Uspořádání pohonu: u *TPM 12* — elektromotor, ozubený převod, klikový mechanismus — beran. Setrvačnick se brzdí spalíkovou brzdou ovládanou nožní pákou. U *TPM 16* je do pohonu vřazena předloha s elektropneumatickou lamelovou spojkou a s pásovou brzdou. Pohon ostatních mechanismů je odvozen od vaček a výstředníků na klikovém a vačkovém hřídeli.

Spouštění a ovládání: elektrické — tlačítka na ovládacím panelu přímo na stroji.

Mazání: oběhové, olejem — zubovým čerpadlem s tlakovým spi-

Příloha 4.2 [12]

načem, který zastaví stroj při poklesu tlaku maziva pod stanovenou hodnotu.

Pojistná zařízení: lámací pojistky v mechanismu stříhacího a vyhazovacího ústrojí, u *TPM 16* navíc tlakový spínač v rozvodu vzduchu.

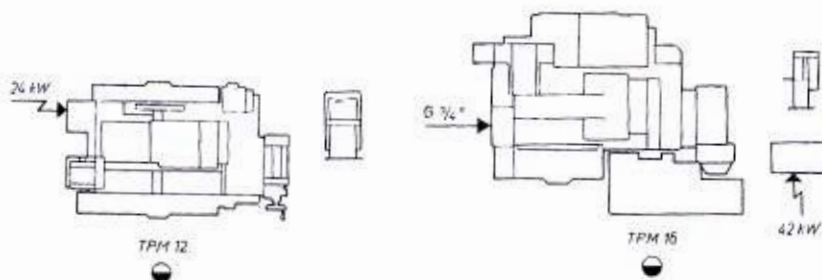
Příslušenství dodávané se strojem: sada nástrojů pro výrobu matic nominální velikosti.

Příslušenství na objednávku: svěrací ústrojí pro přenášecí kleštiny čtvrté operace (pro *TPM 12*), sada nástrojů pro výrobu matic podle požadavku zákazníka.

Technické údaje

		TPM 12	TPM 16
Číselný znak	513 524	-4200 25	-1500 25
Velikost matic		M10—M12	M14—M18
Výchozí materiál: průměr (h9-ISA)	mm	12—16	14—22
pevnost v tahu max.	kp mm ⁻²	50	55
Délka ústřížku	mm	10—42	15—32
Jmenovitá síla	Mp	200	315
Počet zdvihů beranu — počet výlisků	za min	80	70
Zdvih beranu	mm	125	170
Zdvih vyrážedů	mm	56	42
Výkon elektromotoru: hlavního	kW	22	40
chladičného čerpadla	kW	0,125	0,295
mazacího čerpadla	kW	—	0,8
Spotřeba nasátého vzduchu pro 1 zapnutí spojky	dm ³	—	15
Rozměry automatu: délka bez odvíjecího zařízení	mm	3 140	3 440
délka s odvíjecím zařízením	mm	6 560	7 520
šířka	mm	2 540	3 970
výška	mm	1 844	2 500
Hmotnost	kg	18 800	42 000
Hmotnost stroje se zámožským obalem	kg	19 800	
Objem/počet obalů	m ³ /kusů	14/8	

Poznámka: Ve vývoji je automat TPM 12-A.



Příloha 5.1 [14]

Ocel 11 320 5R

Materiál : Ocel obvyklých jakostí vhodná ke tváření za studena

Označení : ČSN 41 1320 dle chemického složení odpovídá oceli ČSN EN 10204 s úpravami dle podnikové normy PN 42 04 92 pro ocelové dráty kruhového průřezu od ϕ 1 do 20 mm, tažené za studena, (dále jen ocel 11 320 5R).

Význam dalších označení: 5- mořený, tažený, žíhaný naměkko, mořený a tažený s úběrem 5%
R- tažený v mýdlovém prášku

Zahraniční ekvivalenty -označení:

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

Chemické složení v %:

	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Al %	Cr %	Cu %
Atest dle ²⁾ ČSN EN 10 204	0,05	0,30	0,05	0,011	0,011	-	-	-
ČSN 41 1320 ¹⁾	Max 0,11	-	-	max. 0,045	max. 0,045	-	-	-
Spektrometr ³⁾ LECO GDS 750 *	0,05	0,33	0,06	0,017	0,012	0,027	0,16	0,06

Poznámky: ¹⁾ Lexikon technických materiálů

²⁾ Inspekční certifikát Železáren a drátoven Bohumín - ŽDB

³⁾ Certifikace ČSN/ISO 9003/ EN 29003 VUT FSI ŮMI v Brně

Polotovary: Tažený ocelový drát pro výrobu spojovacích součástí ϕ 15,5 mm
Mechanické vlastnosti dle ČSN EN 10204, certifikátu ŽDB Bohumín č.762/97 ²⁾

			11 320 5R
Mez kluzu	R_{p0,2}	MPa	-
Mez pevnosti	R_m	MPa	314
Tažnost	A₅	%	-
Kontrakce	Z	%	78,4

Aktuální stav: tažený drát ϕ 15,5 mm, ocel 11 320 5R

Mechanické vlastnosti: (zkušební tyč dle ČSN 42 03 16) ³⁾

			11 320 5R
Mez kluzu	R_{p0,2}	MPa	589
Mez pevnosti	R_m	MPa	614
Tažnost	A₅	%	15,2
Tvrdost		HV ₁₀	170
Kontrakce	Z	%	70,6
Modul pružnosti v tahu	E	GPa	201

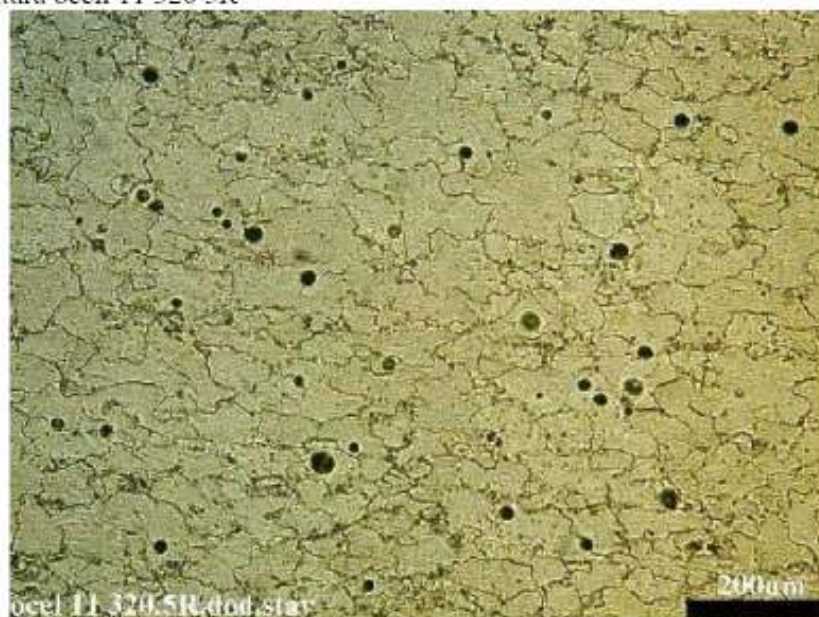
Příloha 5.2 [14]

Hollomonova aproximace tahové zkoušky

$$\sigma = k \cdot (\varphi)^n$$

$k = 643,3 \text{ MPa}$
 $n = 0,008$

Výchozí struktura oceli 11 320 5R



~100 x



~ 500 x

Ocel 11 320 5R má feritickou strukturu a obsahuje globulární vměstky kyslíčnicku železa, křemíku a hliníku. Oxidy hliníku jsou často spojené se siričkem manganu. Struktura je rovnoměrná a má střední velikost zrna okolo 70 μm (minimální okolo 20 μm a

Příloha 5.3 [14]

maximální okolo 200 μm). Cementit, terciální, se vyskytuje na hranicích zrn především v okolí trojných bodů. Střední tvrdost oceli je okolo $\text{HV}_{10}=170$.



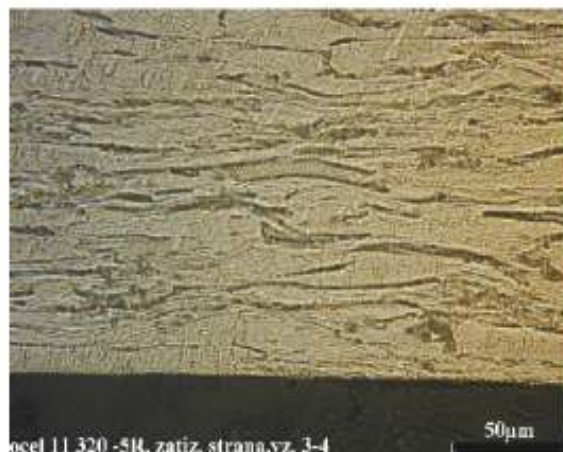
Deformační dvojčata v okolí čela
vzorku 3-5 při rychlosti dopadu 63,6 m/s



Mikrostruktura nezatíženého konce vzorku 3-5



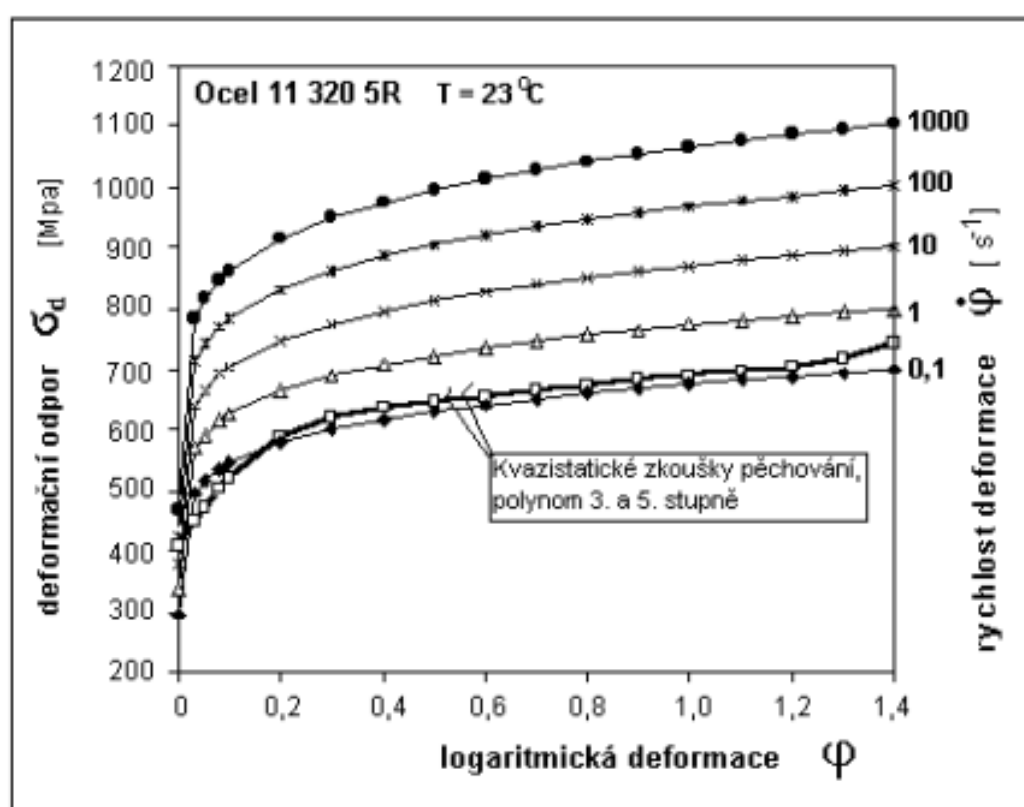
Ohyb deformačních dvojčat v okolí čela
vzorku 3-6 při rychlosti dopadu 110,2 m/s.



Plastická deformace se smykovými pásy
povrchové vrstvy při rychlosti dopadu
231,8 m/s.

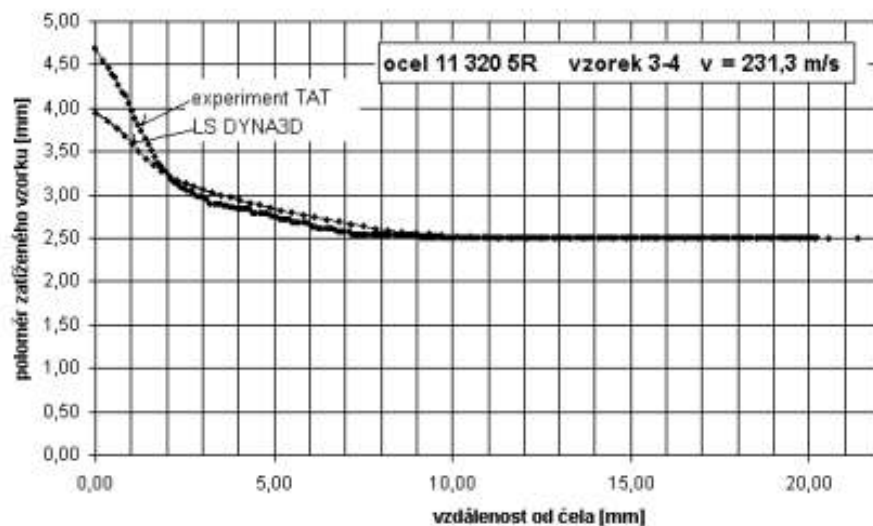
Příloha 5.4 [14]

Parametry konstitutivní Johnson-Cook rovnice pro kompresní test	
σ_0	450
B	350
C	0,055
n	0,18
m	0,7



Křivky deformačních odporů (deformačních napětí) oceli 11 320 5R

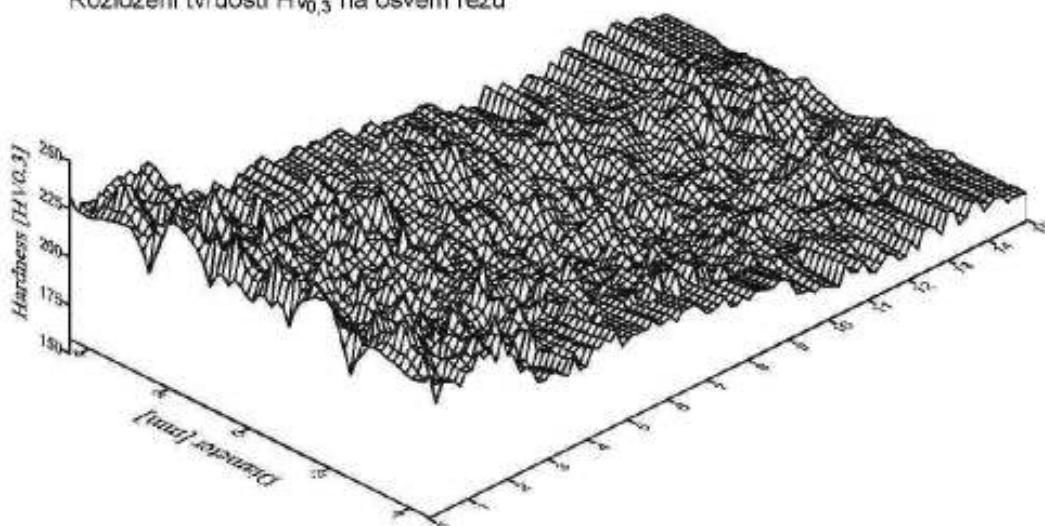
Příloha 5.5 [14]



Porovnání skutečného a simulovaného tvaru vzorku 3-4 po Taylorově kompresním testu

Ocel 11320 5R, vzorek 3-4, $v_0 = 231,3 \text{ m/s}$

Rozložení tvrdosti $HV_{0,3}$ na osovém řezu



Rozložení tvrdosti $HV_{0,3}$ na osovém řezu vzorku 3-4

Příloha 6.1

O P T I M A L I Z A C E L I S O V N I C E S J E D N O U O B J I M K O U

0017492.exe

VSTUPNI DATA - MATERIAL:

		LISOVNICE	OBJIMKA
Modul pružnosti v tahu - E [MPa]	:	460000	206000
Mez pevnosti v tahu - Rm [MPa]	:	1130	1790
Mez pevnosti v tlaku - Rd [MPa]	:	3140	0
Mez kluzu - Rp(0,2) [Mpa]	:	0	1670
Poissonovo číslo - ν	:	0.26	0.30
Dovolene napeti - σ_D [MPa]	:	850	1625

VSTUPNI DATA - GEOMETRIE:

Vnitřní polomer lisovnice	- r1 [mm]	:	6.40
Vnější polomer objimky	- r3 [mm]	:	40.00

VSTUPNI DATA - TEPLOTA, TEPEL. ROZTAZNOST:

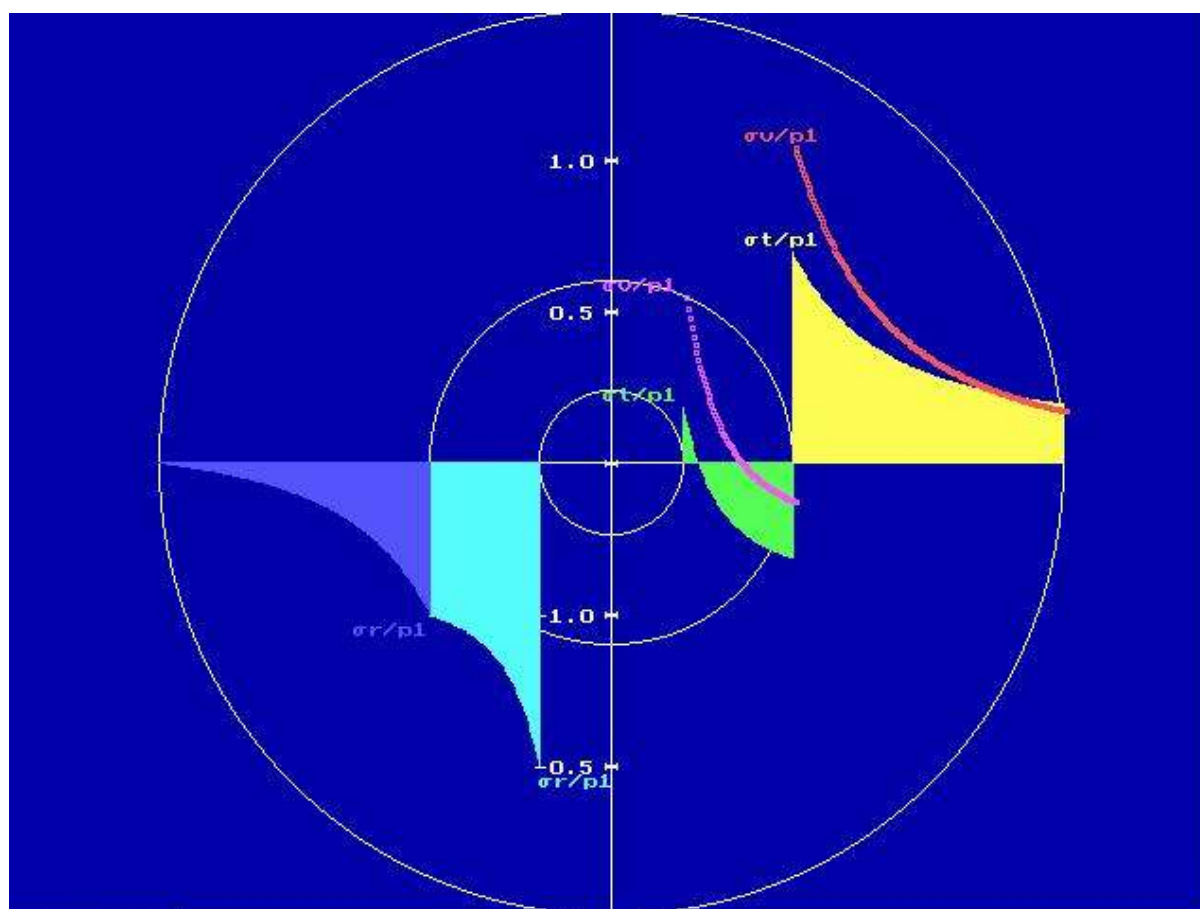
Teplota okolí	- To [°C]	:	23
Teplota popouštění	- Tp [°C]	:	570
Str.hodnota koef.tepel.roztaznosti lisovnice	- α_1 [1/°K]	:	0.0000070
Str.hodnota koef.tepel.roztaznosti objimky	- α_2 [1/°K]	:	0.0000136

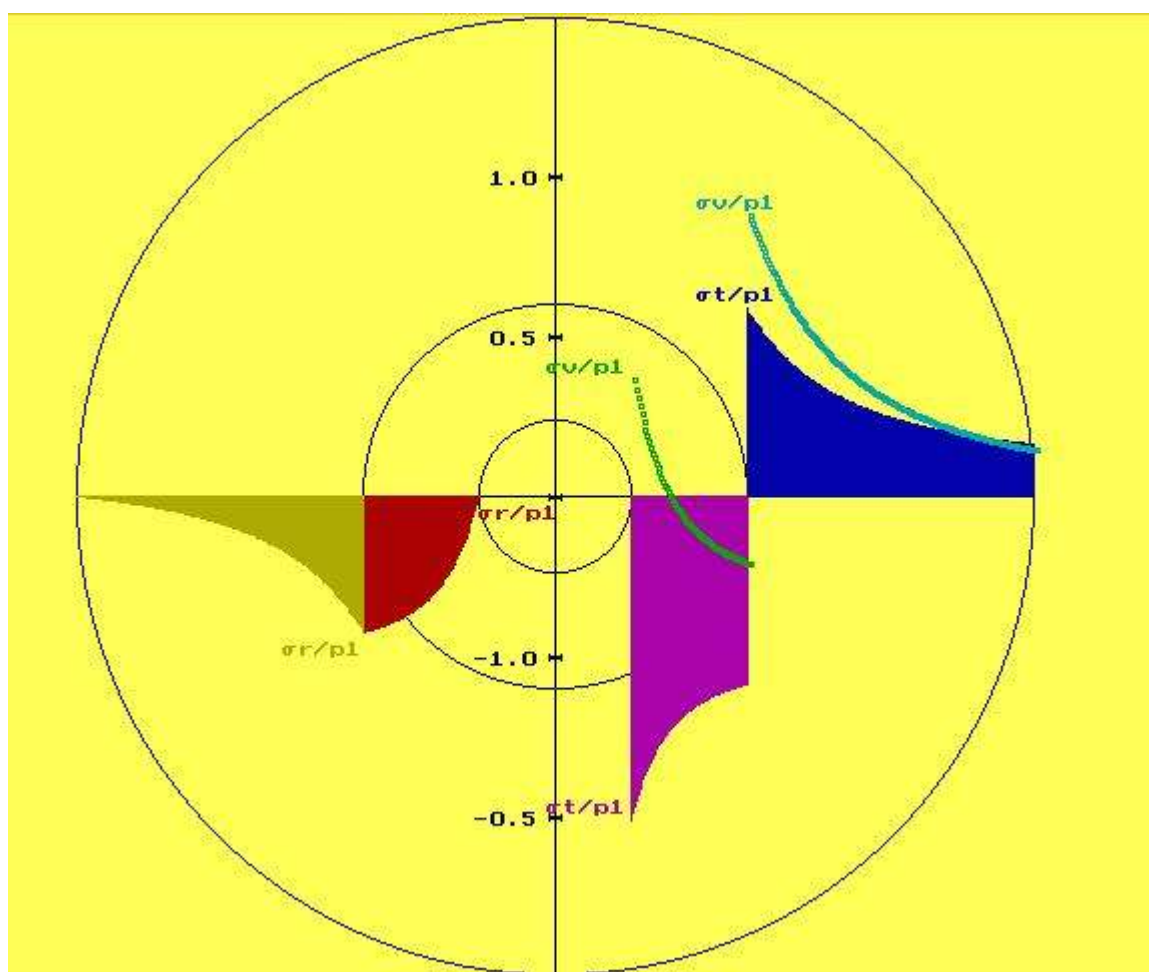
VSTUPNI DATA - PODMINKY UNOSNOSTI A PODMINKY POUZDŘENÍ:

LISOVNICE - Mohrova podmínka křehké pevnosti pro slinutý karbid
 OBJIMKA - Podmínka energetická HMH pro ocel
 Pouzdřeno za studena

V Y P O C T E N E H O D N O T Y

Poměrný delici polomer	- r2/r1 [mm]	=	2.50296
Maximální radialní tlak	- p1 [MPa]	=	1566.14000
Kontaktní tlak	- p2 [MPa]	=	787.72800
Delici polomer	- r2 [mm]	=	16.01891
Vypočtený přesah	- $2\bar{e}_r$ [mm]	=	0.22607
Kontaktní předpetí	- $\bar{p}_2$ [MPa]	=	665.70872
Stážení vnějšího $\bar{r}_1$ lisovnice	- $2\bar{e}_{r2}$ [mm]	=	0.05192
Roztážení vnitřního $\bar{r}_1$ objimky	- $2\bar{e}_{r22}$ [mm]	=	0.17415
Zvětšení kontaktního tlaku od p1	- p_2^* [MPa]	=	122.01928
Konstrukční přesah	- $2\bar{e}_{rs}$ [mm]	=	0.22607
Stážení funkčního $\bar{r}_1$ lisovnice	- $2\bar{e}$		

Příloha 6.2
Průběh napětí

Příloha 6.3
Průběh předpětí

Příloha 7.1 [17]
Ocel – 19 436

Charakteristika

Vysoce legovaná chromová ocel s velkou prokalitelností ke kalení v oleji a na vzduchu, zvláště vysoká odolnost proti opotřebení jak kovovými tak minerálními látkami, dobrá řezivost, velmi vysoká pevnost v tlaku, značně nízká houževnatost zejména v příčném směru, výrazná karbidická řádkovitost. Tato ocel vykazuje dobrou stálost rozměrů při tepelném zpracování, avšak změna rozměrů je větší než u oceli 1.2842. Ocel je citlivá na rychlý a nestejnoměrný ohřev, vhodná ke kalení na sekundární tvrdost (možnost nitrídování). Dále se ocel velmi obtížně brousí, obtížně tváří za tepla a má poněkud ztíženou obrobitelnost v žíhaném stavu.

Vhodnost použití

Nástroje pro stříhání za studena tj. všechny druhy nástrojů s velkou životností pro stříhání na lisech a děrování materiálů menších tloušťek a materiálů vysoké pevnosti (zejména tvarově složitě nástroje pro stříhání např. transformátorových plechů a plechů z nerezavějících ocelí), nože pro tabulové nůžky na plech a pásovou ocel do tl. stříhaného materiálu cca 4 mm, nože na stříhání drátu apod. Nástroje pro tváření jako jsou např. menší průvlatky a nástroje pro tažení, všechny druhy jednoduchých nástrojů na přetváření a ražení materiálů menších tloušťek, u kterých nedochází k přídavnému namáhání ohybem nebo na roztržení. Dále je ocel vhodná na jednoduché a symetrické nástroje na protlačování a tlačení, nástroje na válcování závitů, hladké a profilové válce, kovádla i pro práce za tepla. Nástroje řezné jako jsou protahovací a protlačovací trny, profilové nože a tvarově složitě frézy pro menší řezné rychlosti a pro obrábění nekovových abrazivních materiálů. Dále ocel nachází uplatnění při výrobě malých forem s velkou životností pro tváření plastických a práškových hmot, skla, porcelánu a keramických materiálů. U nástrojů na drcení a mletí se používá na kladiva drtičů a čelisti pro jemné mletí a drcení.

Chemické složení oceli W.Nr. 1.2080

Značka oceli	Chemické složení v %											Tvrdost ve stavu	
												Žih. na měkko	Zušlechťeném
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max	Co	P max.	S max.	HB max.	HRC min.
DIN X210Cr12	1,90 až 2,20	0,15 až 0,45	0,10 až 0,40	11,00 až 12,00						0,030	0,030	248	60
ČSN 19436	1,80 až 2,05	0,20 až 0,45	0,20 až 0,45	11,00 až 12,50				0,50		0,030	0,035	250	61

Příloha 7.2 [17]

Tepelné zpracování oceli W.Nr. 1.2080

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Kování	1050 až 850	Pomalu ochlazovat na klidném vzduchu nebo lépe např. v suchém popelu nebo jiném tepelně izolačním materiálu
Žihání na měkko	800 až 840	Několik hodin prohřát (podle velikosti předmětu), většinou stačí 4 hodiny a pomalu ochlazovat v peci
Žihání ke snížení pnutí	600 až 650	1 až 2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení v oleji	930 až 960	Tvarově složité nástroje ochlazovat v oleji o teplotě asi 80 st.C Nebo termálně v lázni o teplotě asi 400 až 450 st.C nebo na vzduchu
Kalení na vzduchu	950 až 980	Tvarově složité nástroje ochlazovat v oleji o teplotě asi 80 st.C Nebo termálně v lázni o teplotě asi 400 až 450 st.C nebo na vzduchu
Popouštění	180 až 250	Ochlazovat na vzduchu , stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu

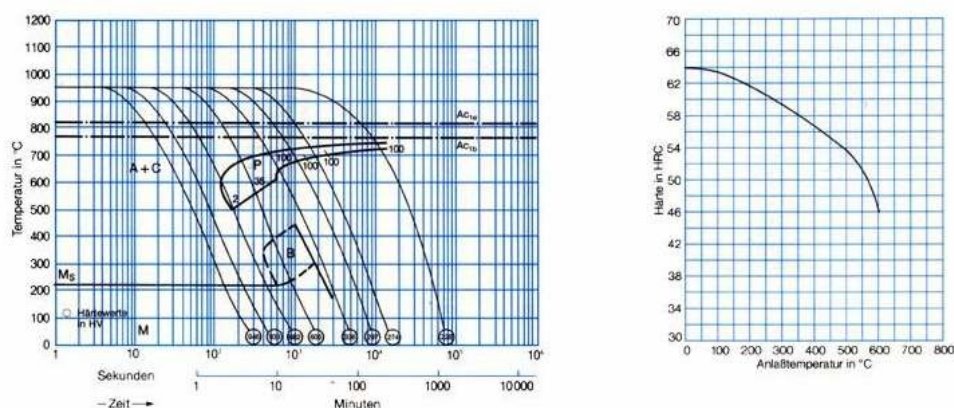
Poznámka

- Silnější průřezy prohřát na kalící teplotě nejméně 20 minut. Při kalení na sekundární tvrdost (nitridované nástroje apod.) se použije kalící teploty asi 1080 °C a popouštěcí teploty asi 500 °C.

Tabulka popouštěcích hodnot v závislosti na tvrdosti

°C	100	200	300	400	500	600
HRC	63	62	59	57	54	46

Graf



Příloha 8.1 [16]
Ocel – 19 733

Nástrojová ocel ČSN 19 733

Charakteristika

Chrom - wolfram - křemíková ocel s velkou prokalitelností ke kalení v oleji, velmi dobrá houževnatost při poměrně vysoké tvrdosti, velmi dobrá odolnost proti dynamickému střídavému namáhání, velká řezivost (při stříhání) a odolnost proti opotřebení, nárazům a úderům, zvýšená stálost proti popouštění a zvýšená pevnost za tepla, dobrá tvárnost za tepla a dobrá obrobitelnost v žíhaném stavu.

Vhodnost použití

Nástroje pro stříhání za studena tj. přestřihovací, prostřihovací, ostřihovací a děrovací nástroje, nože nůžek pro stříhání materiálů větších tloušťek a vyšší pevnosti. Nástroje řezné na obrábění dřeva např. frézy, loupací a sekací nože na dřevo aj. Ruční nástroje tj. sekáče do pneumatických kladiv na ocel vyšší pevnosti a na čištění odlitků. Pro tváření za studena jako jsou malé nástroje pro ražení a protlačování, značkovací razidla na materiály vyšší pevnosti, vlačovací trny.

Chemické složení oceli ČSN 19 733

Značka oceli	Chemické složení v %											Tvrdost ve stavu	
												Žih. na měkko	Zušlechtném
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max	Co	P max.	S max.	HB max.	HRC min.
DIN 60WCrV7	0,55 až 0,65	0,15 až 0,45	0,50 až 0,70	0,90 až 1,20	1,80 až 2,10		0,10 až 0,20			0,030	0,030	229	57
ČSN 19 733	0,52 až 0,62	0,15 až 0,40	0,80 až 1,20	0,90 až 1,20	1,70 až 2,20			0,35		0,030	0,035	230	56

Příloha 8.2[16]

Tepelné zpracování oceli ČSN 19 733

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Kování	1050 až 850	Pomalu ochlazovat na klidném vzduchu nebo lépe např. v suchém popelu nebo v jiném tepelně izolačním materiálu
Žihání na měkko	720 až 750	Několik hodin prohřát (podle velikosti předmětu), většinou stačí 4 hodiny a pomalu ochlazovat v peci
Žihání ke snížení pnutí	600 až 650	1 až 2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení	870 až 920	Olej nebo teplá lázeň 180 až 220 °C
Popouštění	100 až 400	Ochlazovat na vzduchu, stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu

Poznámka

• Teploty přeměn

- Ac1 asi 770 °C
- Ac3 asi 800 °C
- Ms asi 310 °C

Tabulka popouštěcích hodnot v závislosti na tvrdosti

°C	100	200	300	400	500	600
HRC	61	59	57	53	48	42