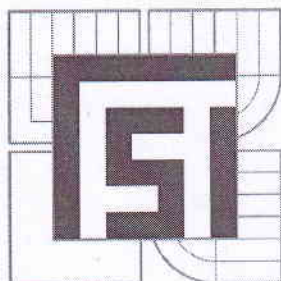


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA PASTORKU OBJEMOVÝM TVÁŘENÍM

PRODUCTION OF PINION BY SOLID FORMING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PAVEL FIC

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILOSLAV KOPŘIVA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Pavel Fic

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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

Výroba pastorku objemovým tvářením

v anglickém jazyce:

Production of pinion by solid forming

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Po vypracování literární studie ze zadané problematiky na jejím základě vypracovat návrh vhodné technologie výroby pro zadanou součást.

Cíle diplomové práce:

- 1) Literární řešení problému
- 2) Stávající možnosti výroby
- 3) Návrh technologie výroby zadané součásti
- 4) Stanovení veškerých technologických dat a vypracování výkresové dokumentace
- 5) Ekonomické zhodnocení
- 6) Závěr a návrh případných opatření

Seznam odborné literatury:

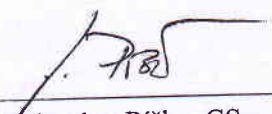
1. ELFMARK, J. et al. Tváření kovů. 1. vyd. Praha : SNTL Praha, 1992. 524 s. Technický průvodce; sv. 62. ISBN 80-03-00651-1.
2. NOVOTNÝ, K. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 str. Edit. VUT Brno. ISBN 80-214-0401-9
3. DRASTÍK, F. Výpočty z oboru kování a lisování. 2. vyd., Praha: SNTL Praha, 1991. 192 s. Edit. Makarius, M., L 13-E1-IV-41/22334/XI, DT 621.73
4. HAŠEK, V. Kování. 3. vyd. Praha : SNTL Praha, 1997. 732 str. ISBN 04-233-65.
5. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K. Technologie tváření : plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
6. FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno : CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miloslav Kopřiva

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

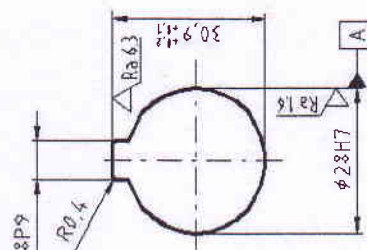
V Brně, dne 21.11.2011




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

RAZIT: m 2, z 68



Modul	m	2
Počet zubů	z	68
Normální základní profil	-	ČSN 114617
Typ stánoběžní třísky zuba	befz	1
Stupeň přesnosti II podle	o-D	ČSN 114482
Úhel stánoběžní třísky zuba	alfa	21°
Konstruované rozřez mraz čísly	dvojbokého odvalu za otáčky	F ¹¹ 1,132
	dvojbokého odvalu za rozřez	F ¹¹ 1,148
	sklopení zubu	Fb 1,188
	vzdálenost os	Fa ±1,14
Společné rozřez kolo	číslo výřezu	- DP 2102-11
	počet zubů	z 34
	vzdálenost os	a _W 115,4
	Průměr z šikmých kružnic	db 127,8
	Průměr rozřezné kružnice	d 136
Průměr p. třísky kružnice	df	131,5

CEMENTOVAT DO HLOUBKY 0.5 - 0.7
KALIT HRC 58±4
—— ——— CHRÁNIT PŘED CEMENTACÍ

[illegible]

ABSTRAKT

V předložené diplomové práci je provedena detailní studie znalostí z objemového tváření za tepla – kování. Dále je zpracován návrh technologií výroby pastorku d140 č.v.: DP2012 – 01 a stanovení optimálního technologického postupu s využitím počítačové simulace. Součást je z oceli 14220. Polotovár je tyč $\varnothing 80 \times 150$ ČSN 42 5510.21. K předpokládané sérii 160 tis. ks a požadovanému mechanickému zatížení součásti je volena technologie zápustkového kování na svislém kovacím lisu LMZ 2500, od firmy Šmeral Brno a.s. Ke zpracování technologického postupu byly provedeny nutné výpočty a navazující výkresová dokumentace.

Klíčová slova

objemové tváření, zápustkový výkovek, kovací stroj, kování, simulace

ABSTRACT

In a present diploma thesis is detail study from volume hot-forming knowledge – forging. In thesis is make proposal of technologies how to produce a pinion d140 drawing nr.: DP2012 -01 and the optimatization of technology procedure with help a computer simulation. Quality of part is steel 14220. Semi-product is a bar $\varnothing 80 \times 150$ ČSN 42 5510.21. For presumption series 160 thousand pieces and mechanical stressed working of piece is choose drop forging technology in the vertical forging press LMZ 2500, product of Šmeral Brno. From technical procedure were made necessary calculations and follow drawing documentation.

Key words

volume forming, drop forging piece, forging machine, simulation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FIC, Pavel. *Výroba pastorku objemovým tvářením*. Brno 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 69 s. 22 příloh. Vedoucí práce Ing. Miloslav Kopřiva

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Výroba pastorku objemovým tvářením** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

24.05.2012

Datum

Bc. Pavel Fic

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce Ing. Miloslavu Kopřivovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
Úvod.....	10
1 LITERÁRNÍ STUDIE ZNALOSTÍ Z OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ – ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ	11
1.1 Definice zápustkového kování.....	11
1.2 Určení přídavků a tolerancí u zápustkového výkovku	12
1.2.1 Přídávky na obrábění.....	12
1.2.2 Zaoblení hran a přechodů u zápustkových výkovků	13
1.2.3 Úkosy	14
1.2.4 Minimální tloušťka dna - blány a stěny zápustkových výkovků	14
1.2.5 Zásady pro určení dělicí roviny u zápustkových výkovků	15
1.3 Výronková drážka - žlab	16
1.4 Volba polotovaru.....	17
1.4.1 Volba polotovaru informativním výpočtem.....	17
1.4.2 Volba polotovaru na základě ideálního předkovku	17
1.5 Dělení polotovaru pro kovací operaci	17
1.5.1 Dělení řezáním	18
1.5.2 Dělení stříháním	18
1.5.3 Dělení lámání.....	18
1.6 Ohřev materiálu - kovů	19
1.7 Ohřívací zařízení používané při zápustkovém kování	20
1.7.1 Ohřev v pecích	20
1.7.2 Elektrický ohřev	22
1.7.3 Topná media používaná v ohřívacích zařízeních.....	23
1.8 Volba stroje pro zápustkové kování.....	23
1.8.1 Zápustkové kování na bucharech a výpočet velikosti bucharu.....	24
1.8.2 Zápustkové kování na lisech a výpočet velikosti lisu	25
1.8.3 Rozdíly při kování na lisech a bucharech	26
1.9 Vyhazování (vyrážení) výkovků	27
1.10 Dokončování zápustkových výkovků	28
1.10.1 Ostříhování zápustkových výkovků	28
1.10.2 Rovnání	29

1.10.3	Kalibrace	30
1.11	Nástroje pro zápustkové kování – zápustky	30
1.11.1	Konstrukční řešení zápustek	30
1.11.2	Materiál zápustek – požadavky (nároky)	31
1.11.3	Předeřev zápustek	32
1.11.4	Mazání zápustek.....	32
1.12	Simulace	33
2	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ.....	34
2.1	Kování na bucharech.....	34
2.2	Kování na klikových kovacích lisech	34
2.3	Kování na vřetenových lisech	35
2.4	Vyhodnocení současného stavu.....	35
3	NÁVRH POSTUPU VÝROBY POLOTOVARU PASTORKU TVÁŘENÍM ZA TEPLA – ZÁPUSTKOVÝM KOVÁNÍM	36
3.1	Volba přídavek a návrh výkresu výkovku	36
3.1.1	Přídavky na obrábění.....	36
3.1.2	Technologické přídavky	36
3.2.	Informativní výpočet tvářecí síly dle ČSN 22 8306.....	37
3.2.1	Průměr výkovku bez výronku - D_v	37
3.2.2	Průmět plochy výkovku bez výronku - S_v	37
3.2.3	Tvar a rozměry zvolené výronkové drážky dle ČSN 22 8306 (Obr. 3.1)	37
3.2.4	Výpočet hmotnosti neostříženého výkovku.....	38
3.2.5	Výpočet hmotnosti polotovaru	42
3.2.6	Návrh výchozího polotovaru	43
3.2.7	Kontrola volby výšky výronkového můstku	43
3.2.8	Tvářecí síla – informativní stanovení dle ČSN 22 8306	43
3.2.9	Tvářecí síla – výpočet dle Rebeljski - Brjuchanov.....	43
3.2.10	Tvářecí síla – výpočet dle Storoževa.....	44
3.2.11	Tvářecí síla – dle nomogramu Eumuco.....	45
3.3	Teoretický výpočet tvářecí síly dle ČSN 22 8306	45
3.3.1	Napětí v jednotlivých bodech průřezu výkovku	45
3.3.2	Síla vznikající od normálních napětí.....	47
3.3.3	Síla vznikající od tangenciálních napětí	51
3.3.4	Výsledná kovací síla.....	53
3.3.5	Volba varianty kování.....	53
3.4	Kontrola tvářecího procesu pomocí simulace	53

3.5 Srovnání výpočtových metod kovací síly	56
3.6 Návrh tvářecího stroje	56
3.7 Výpočet ostřihovací síly	56
3.8 Návrh ostřihovacího stroje	57
3.9 Kontrola rozměrů zápusťkového bloku	57
3.9.1 Předkovací zápusťka - ověření	57
3.9.2 Dokončovací zápusťka - ověření	57
3.10 Stupeň prokování	57
3.11 Rozvržení pracoviště, schématický postup kování a postupový list	58
3.11.1 Rozvržení pracoviště v dílně	58
3.11.2 Schématický postup kování a jednotlivé operace v zápusťkách	58
3.11.3 Pracovní postup	59
4 NÁVRH SESTAVY A VÝROBNÍCH VÝKRESŮ	60
5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	62
6 ZÁVĚR	65
Seznam použitých zdrojů	66
Seznam použitých zkratk	67
Seznam příloh	69

ÚVOD

Technologie objemového tváření – kování patří mezi nejstarší řemesla. Umožňuje zpracování vhodných součástí s optimální spotřebou vstupního materiálu. Využívá se v sériové a hromadné výrobě především u součástí z automobilového, lodářského a leteckého průmyslu, výroby zemědělské techniky, pracovního nářadí, ložisek atd. Kovárny a lisovny jsou jednou z nejdůležitějších částí strojírenského průmyslu a přispívají velkou měrou k celkovému rozvoji hospodářství.

V diplomové práci se zabývám návrhem technologie výroby pastorku pomocí zápustkového kování. V dalších kapitolách je zpracována literární rešerše současných znalostí z tváření a návrh výroby polotovaru pastorku. V kapitole tři jsou provedeny jednotlivé výpočtové metody tvářecích sil pro dvě varianty, které slouží pro následné stanovení tvářecího stroje. U vybrané varianty je provedena kontrola tvářecího procesu metodou konečných prvků za pomoci simulačního softwaru. Dále jsou navrženy nástroje pro tváření včetně výkresové dokumentace a technicko-ekonomické zhodnocení.

1 LITERÁRNÍ STUDIE ZNALOSTÍ Z OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ – ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ

1.1 Definice zápustkového kování

Zápustkové kování je tváření polotovaru ohřátého na určenou kovací teplotu, v dutině zápustky, která má stanovenou pracovní teplotu. Dochází zde k plastické deformaci kovu za tepla, který tak nabývá požadovaný tvar, výhodnou mikrostrukturu, příznivou makrostrukturu a vysoké mechanické vlastnosti. Tím jsou výkovky předurčeny k použití v nejnáročnějších provozních podmínkách, hlavně pak tam, kde se kromě vysokých hodnot mechanických vlastností vyžaduje též nízká hmotnost součástí. Zápustkové výkovky se využívají v širokém okruhu průmyslových odvětví, jako je automobilový, letecký nebo loďařský průmysl. V dnešní době se pohybuje hmotnost takto kovaných výkovků v rozmezí od několika gramů do stovek kilogramů.

Zápustkové výkovky viz. (Obr. 1.1) se zhotovují v tzv. zápustkách, které dají tvářenému kovu požadovaný tvar. Kování se provádí na velkém množství rozličných tvářecích strojů, převážně z válcovaného materiálu. Tlak či ráz tvářecího stroje působí vesměs současně na celý objem výkovku. Výhodou zápustkových výkovků jsou malé přídatky na obrábění, značná rozměrová přesnost a povrchová čistota, která vyžaduje minimální třískové obrábění. V mnoha případech se výkovky vůbec neobrábějí.



Obr. 1.1 – Příklady jednotlivých zápustkových výkovků [11]

Výkovky (volně kované i zápustkové) mají ve strojírenství velký význam. Nebylo tomu vždy, ještě na počátku minulého století hrála kovárenská výroba podřadnou úlohu. Důvodem byla nákladná kusová výroba výkovků se značnými přídávky na obrábění. Při jejich opracování na obráběcích strojích docházelo k velkým ztrátám ve formě odpadu (kovových třísek). Dále je potřeba vzít v úvahu, že technologie třískového obrábění dosáhla již v této době velmi vysoké úrovně. K obratu došlo při rozvoji velkosériové a hromadné výroby, což podpořilo prudký rozvoj kovárenské technologie. Důležité také bylo, že třísky lze na obráběcích strojích odebírat stále stoupající rychlostí, nelze však snížit jejich objem. A to bylo dosažitelné především zápustkovým kovááním, které umožňuje snížit materiálové přídávky a tím i pracnost následujícího mechanického opracování.

Dnes je v kovárenské technologii snaha o maximální využití materiálu, zvýšení produktivity práce a zlepšení pracovních podmínek v kovárnách. Proto se zavádí různé varianty výchozích materiálů, nové metody ohřevu, nové technologické postupy, speciální nástroje a jednoduché přípravky při. Technologická příprava výroby je v dnešní době snadnější a výrazně rychlejší s pomocí výpočetní techniky.

1.2 Určení přídavek a tolerancí u zápustkového výkovku

Hotové součásti nemusí být často svým tvarem vhodné ke kováání v zápustkách, a tak nestačí je vykovat pouze s přídávky na obrábění. Proto se ještě tvar součásti upravuje technologickými přídávky. Mezi technologické přídávky patří úkopy bočních ploch, zaoblení hran a zvětšení tloušťek stěn žeber a den tenkostěnných výkovků na minimální tloušťku, kterou je možno ekonomicky a kvalitně kovat. I v jiných případech upravujeme některé součásti technologickými přídávky. Bývají to některé příliš členité plochy součástí s úzkým a hlubokým vybráním, dále dutiny a vybrání ve směru kolmém k pohybu beranu tvářecího stroje, které není možné běžným kovááním vyrobít a musí být vyplněny technologickým přídávkem.

Při návrhu tvaru výkovku se vychází z výkresu součásti a je nutné stanovit:

- Přídávky na obrábění
- Technologické přídávky
- Úchyly a tolerance rozměrů a tvarů
- Polohu dělicí roviny

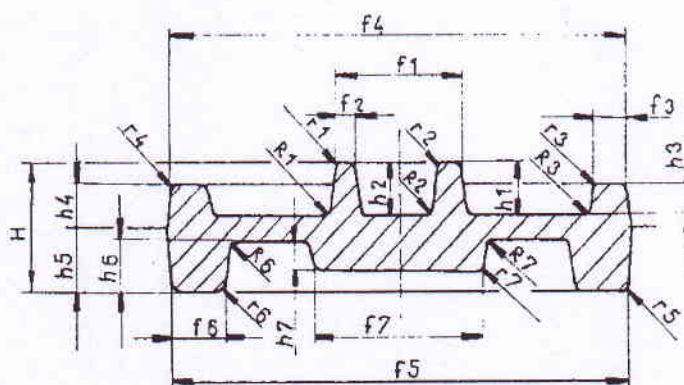
1.2.1 Přídávky na obrábění

Přídávky na obrábění se určují dle normy ČSN 42 9030. Dělí se na obvyklé, přesné a velmi přesné provedení. Tyto přídávky jsou totožné pro všechny rozměry výkovku a stanovují se podle námi zvolené přesnosti výroby, největšího rozměru hotového výrobku ve směru kolmo k rázu a podle největší výšky hotového výrobku. U nerotačních tvarů je největší rozměr výrobku kolmo ve směru kolmo k rázu definován střední hodnotou součtu největší šířky a délky výrobku. U výkovku s netvářenou částí se pro stanovení přídavek k největší výšce tvářené části výrobku připočítává ještě dvojnásobek rozměru sousední netvářené části výkovku. Přídávky na obrábění se vztahují na plochu. U průměrů nebo jiných tvarových částí obráběných po obvodu je nutné hodnoty zdvojnásobit. U výkovků

s netvářenou částí se volí přídavek na obrábění v netvářené části minimálně v hodnotě přídavku pro část tvářenou.

1.2.2 Zaoblení hran a přechodů u zápustkových výkovků

Zaoblené hrany a přechody u zápustek mají významný vliv při výrobě zápustky a na zvýšení životnosti. Zlepšují tečení materiálu, čímž se snadněji zaplní kovací dutiny. Lépe se vyjímá samotný výkovek z dutiny. Velikost zaoblení hran určuje ČSN 42 9030. Na (Obr.1.2) jsou hodnoty zaoblení hran uvedené v (Tab. 1.1), které platí pro neobráběné hrany výkovku. Pro obráběné hrany výkovku se limitní hodnota r stanoví z podmínky zachování přídavku na obrábění v oblasti hrany. Hodnoty zaoblení přechodů R uvedené v (Tab. 1.1) určují neobráběné přechody na výkovku a pro stanovení technologického přídavku pro obráběné přechody na výkovku.[14]



Obr. 1.2 – Zaoblené hrany a přechody zápustkového [14]

Tab. 1.1 – Tabulka pro stanovení zaoblení hran r a přechodů R výkovků [14]

Výška (hloubka) h		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		$\frac{h}{f}$ do 2		$\frac{h}{f}$ přes 2 do 4		$\frac{h}{f}$ přes 4	
přes	do	r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	16	40
160	250	12	30	16	45	25	65
250	400	20	50	25	75	40	100
400	630	30	80	40	120	65	150

1.2.3 Úkosity

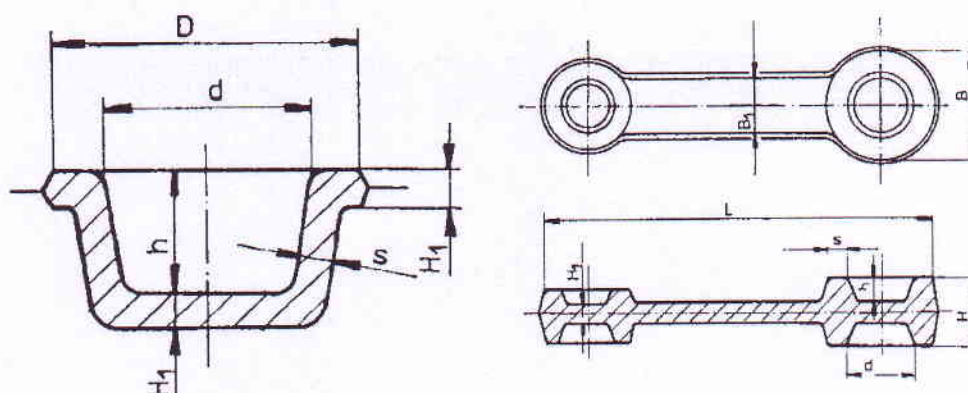
Boční úkosity a jejich hodnota se stanovuje podle tvaru výkovku a druhu tvářecího stroje. (Tab. 1.2) uvádí doporučené boční úkosity. Pro vnitřní plochy a plochy dutin se doporučují úkosity větší než pro plochy vnější. U horizontálních kovacíh strojů je možno úkosity podstatně zmenšit. U bočních úkosů dochází k navýšení přídavek. Minimální přídavek je tedy vždy na hranách a rozích výkovků, proto je zapotřebí dosáhnout dokonalého zatékání kovu do zápustky a dokonalé očištění materiálu od okují, aby nebyl v těchto místech přídavek zbytečně zmenšován. Velikost úkosů také ovlivňuje použití vyřazeče v nástroji. Pokud je vyřazeč použit, mohou se úkosity volit menší.

Tab.1.2 – Tabulka ke stanovení úkosů u zápustkových výkovků [14]

	vnější	vnitřní
Zápustkové výkovky se běžně vyrábějí s úkosity	3°	7°
Vzhledem k rozdílné úrovni technologického zařízení výrobců výkovků se dovolují úkosity	7°	10°
• Pro buchary a lisy bez vyhazovače		
• Lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
• Vodorovné kovací stroje	0° až 5°	0° až 5°

1.2.4 Minimální tloušťka dna - blány a stěny zápustkových výkovků

Nejmenší tloušťka dna a stěny se stanovuje pomocí ČSN 42 9030. Hodnoty nejmenší tloušťky dna nebo blány výkovku H1 uvedené v (Tab. 1.3) platí pro obráběné i neobráběné plochy viz. (Obr. 1.3). U tenkostěnných výkovků a žeber se nedoporučuje kovat příliš tenké stěny, z důvodu dotyku oceli se zápustkou rychle chladne, čímž se tváření ztěžuje a dochází k rychlému opotřebení zápustky.



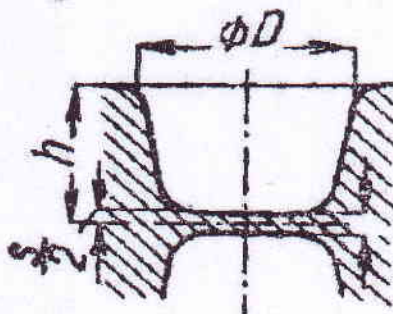
Obr. 1.3 – Příklady nejmenšího dna a nejmenší tloušťky stěny výkovku [14]

Tab.1.3 – Tabulka sloužící ke stanovení nejmenší tloušťky dna, disku H_1 a stěny s . [14]

Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (B, D)		Největší výška výkovku H							
		přes	10	25	40	63	100	160	250
		do 10	25	40	63	100	160	250	400
přes	do	Nejmenší tloušťka dna , disku H_1 a stěny s							
	40	4	5	6	7	9			
40	63	5	5	6	7	9	11		
63	100	5	6	7	9	11	13	15	
100	160	6	7	9	11	13	15	17	20
160	250	8	9	11	13	15	17	20	25
250	400	10	13	15	17	20	25	30	35
400	630			20	25	30	35	40	50
630	1000			25	30	35	40	50	60

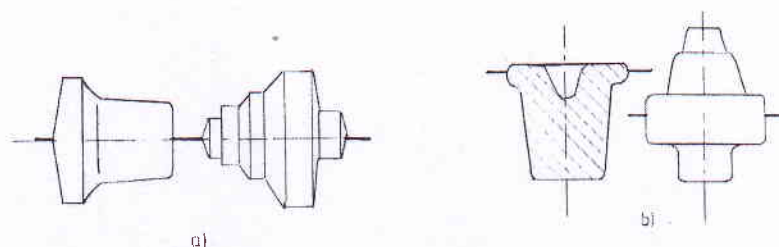
V nutných případech jsou možné odchylky od této normy, ale mohou se vyskytnout potíže při kování (rychlejší chladnutí stěny, zvýšení potřebné síly ke kování a vyšší nároky na kovací stroj. Tloušťka blány t (Obr. 1.4) se počítá dle vzorce:

$$t = 0,45\sqrt{D - 0,25h - 5} + 0,6\sqrt{h} \quad [\text{mm}] \quad (1.1)$$

**Obr. 1.4** – Tloušťka blány [2]

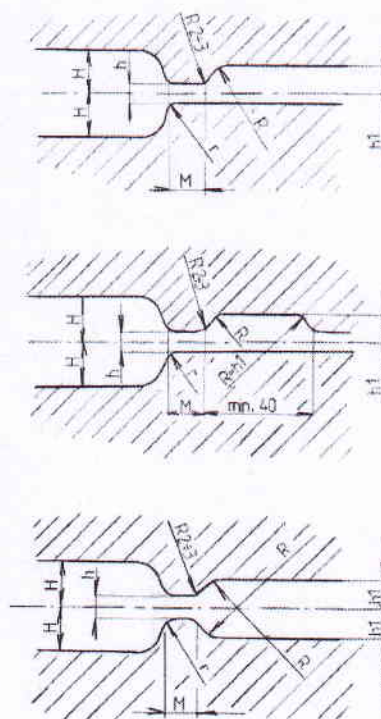
1.2.5 Zásady pro určení dělicí roviny u zápusťkových výkovků

Rozdělení výkovku má být symetrické (klesá spotřeba materiálu a zlepšuje se kvalita stříhu při ostříhování). Slouží k snadnému vyjímání výkovku ze zápusťky. Umisťuje se obvykle do roviny dvou největších vzájemně kolmých rozměrů výkovku, nebo do roviny souměrnosti výkovku (Obr. 2.5a). Tato zásada se nerespektuje, jestliže jiná volba dělicí roviny umožňuje zmenšení obvodu výronku za současného zjednodušení ostříhování výronku (Obr. 2.5b) [2].



1.3 Výronková drážka - žlab

Výronková drážka (Obr. 2.18) se vytváří kolem celé dokončovací dutiny zápustky v dělicí rovině. Drážka je tvořena zásobníkem a můstkem, který zvyšuje odpor proti vytečení materiálu do drážky a pomáhá zajistit dokonalé zaplnění dutiny zápustky. Je buď v jedné nebo v obou zápustkách. Šířku výronkového žlábků volíme podle hloubky a tvaru dutiny zápustky. Hloubku výronkového žlábků volíme podle velikosti a tvaru výkovku. Čím je výkovek větší, tím větší musí být i hloubka drážky. U výkovku s žebry nesmí být hloubka žlábků velká, protože materiál by špatně vyplňoval dutinu pro žebro. Hloubka drážky se volí 2 – 8 mm a nebývá vždy stejná po celém obvodu tvaru výkovku. Tvar a rozměry drážky pro lisy popisuje norma ČSN 22 8306.



Obr. 1.6 – Možnosti výronkových drážek [12]

1.4 Volba polotovaru

Polotovar volíme podle výkresu výkovku, který obsahuje všechny přídavky (přídavky na obrábění a technologické přídavky). Z výkresu výkovku určíme objem a hmotnost výkovku. Dále navrhujeme rozměry výchozího polotovaru početně podle informativních vzorců nebo početně z nákresu ideálního předkovku.

Rozměry výchozího polotovaru jsou dány technologickým postupem a požadavkem uživatele. Materiál je volen z provozních podmínek součásti a podle tvářecí vhodnosti. Výchozím materiálem bývá polotovar čtvercového, kruhového a obdélníkového průřezu. Z rozměrů, množství a způsobu dělení polotovarů se určí délka a počet tyčí. Je nutné provádět kontrolu velikosti výchozího polotovaru pomocí kovací zkoušky.

1.4.1 Volba polotovaru informativním výpočtem

$$d_{poloto\ var\ u} = \sqrt[3]{\frac{m_{poloto\ var\ u}}{\rho \cdot n}} \quad [\text{mm}] \quad (1.2)$$

- hmotnost polotovaru $m_{poloto\ var\ u} = m_{výk} \cdot \delta \quad [\text{kg}]$
- štíhlostní poměr $n' = (\text{ volí se od 1,5 do 2,5}) \quad [-]$
- opal $\delta = v \% \text{ z hmotnosti výkovku} \quad [-]$
(volí se od 1% do 6% dle typu ohřevu)
- hmotnost neostř. výkovku $m_{výk} \quad [\text{kg}]$

Na základě stanoveného polotovaru se určí nejbližší vyšší průměr podle hutního sortimentu daného druhu materiálu.

1.4.2 Volba polotovaru na základě ideálního předkovku

Výkovek se rozdělí příčnými řezy na tolik částí, kolik je na nich rozdílných průřezů. Pro každý příčný řez se vypočte plocha výkovku i s výronkem, která musí být stejná jako plocha příslušného řezu u ideálního předkovku. Vypočítané hodnoty se zaznačí do průřezového obrazce, pomocí kterého sestrojíme ideální předkovek.

1.5 Dělení polotovaru pro kovací operaci

Do kováren se výchozí polotovary dodávají vesměs v obchodních délkách (2 až 12 m). Výchozí polotovary se dále dělí na kratší vsázkové polotovary (špalky, špalíky, přířezy, nápichy), jejichž hmotnost odpovídá vypočtené hmotnosti výchozího polotovaru pro daný výkovek. Pro zápusťkové kování se uplatňují tyto základní způsoby dělení materiálu: řezání, stříhání a lámání [3].

1.5.1 Dělení řezáním

Na řezání polotovarů se používají pily rámové, pásové nebo kotoučové. Odlišující faktory těchto způsobů jsou v přesnosti, jakosti a rychlosti provedení, ovlivněním oblasti řezu a vhodnosti pro řezání různých tvarů, rozměrů a druhů materiálu. Nevýhodou je vznikající materiálový prořez v místě řezu, který je dán tloušťkou řezného nástroje. Další nevýhoda je nízká produktivita a vysoká spotřeba řezných nástrojů. Mezi výhody patří dosažení přesné a dobré kvality řezné plochy.

V současné době se rámové a kotoučové pily příliš nepoužívají. Mají nižší náklady, ale jsou oproti pásové pile nevykonné z hlediska času. Nejvíce používané pro řezání materiálu jsou pásové pily. Ty jsou vhodné pro velké série, a protože lze řezací proces snadno zautomatizovat – přísun tyčí a odsun přířezu včetně jeho rozměrové kontroly.

1.5.2 Dělení stříháním

Stříhání je postupné nebo současné oddělování části materiálu působením protilehlých břitů nožů a k ustřížení dojde na základě smykového napětí. Polotovary se mohou stříhat buď za tepla, nebo za studena. Při stříhání působí síly od nožů v určité vzdálenosti od sebe. Proto zde dochází k natáčení materiálu, které má vliv na zhoršení kvality plochy stříhu, popř. dochází i k vylamování břitů nožů. Natáčení stříhaného materiálu lze odstranit vhodně zvoleným tlakem přidržovače.

Stříhání se provádí na nůžkách, což jsou v podstatě výstředníkové lisy a klikové lisy.

1.5.3 Dělení lámáním

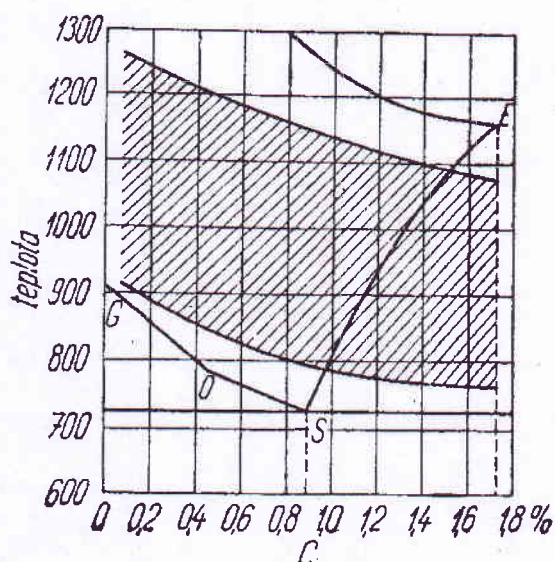
Lámání se provádí jen za studena na mechanických a hydraulických lisech. Dále se používá u materiálu s vyšší pevností ($R_m \geq 700 \text{ MPa}$). Před lámáním je nutno vytvořit v místě budoucího lomu vrub pilou nebo plamenem.

Předností lámání je velká produktivita, což ho předurčuje hlavně pro velkosériovou výrobu. Další výhodou je nižší energetická náročnost proti stříhání, vysoká výrobnost. Avšak lomová plocha není tak hladká jako u stříhání, a proto se lámání nepoužívá tam, kde má být prováděno pēchování materiálu.

1.6 Ohřev materiálu - kovů

Ohřev polotovaru při zápusťkovém kování je jeden z nejdůležitějších faktorů. Ohřevem se zvyšuje tvařitelnost a snižuje deformační odpor, což má příznivý vliv na energetickou náročnost tváření, životnost tvářecích nástrojů a produktivitu tváření [3].

Při kování je nutné dodržet určité teplotní rozmezí, přičemž koveme zpravidla při nejvyšších kovací teplotách, kdy se materiál nejlépe tváří. Horní kovací teploty leží asi 200° - 300°C pod solidem (Obr. 1.7.), jelikož při vyšších teplotách začíná natavování materiálu. Spodní kovací teploty jsou vymezeny přeměnou fáze γ v α a závisí na obsahu C v kovu. Kovací teploty pro zápusťkové kování se volí větší než pro volné kování.



Obr. 1.7 – Rozsah kovacích teplot v diagramu Fe-Fe₃C [2]

Setrvání na vysokých teplotách by nemělo být příliš dlouhé, protože hrozí zhrubnutí zrna. Proto je nutné, aby kovací teploty odpovídaly požadovanému stupni deformace. Je-li deformace kovu dostatečně velká, dojde ke zjemnění zrna, pokud je deformace nedostatečná, zůstane hrubší zrna a musí následovat tepelné zpracování, což často nastává u výkovků složitějších tvarů.

Při určení doby ohřevu je nutné dosáhnout předepsané tvářecí teploty, co nejmenšího pnutí, rovnoměrného prohřátí a nízké energetické náročnosti ohřevu. Doba ohřevu je závislá na tloušťce polotovaru.

Pro stanovení správné technologie ohřevu materiálu pro kování je důležité chemické složení materiálu, interval kovacích teplot, strukturální změny materiálu při ohřevu a ochlazování, předchozí mechanické zpracování, napjatost v materiálu, stupeň deformace, náchylnost k přehřátí a změna teploty během výrobního pochodu.

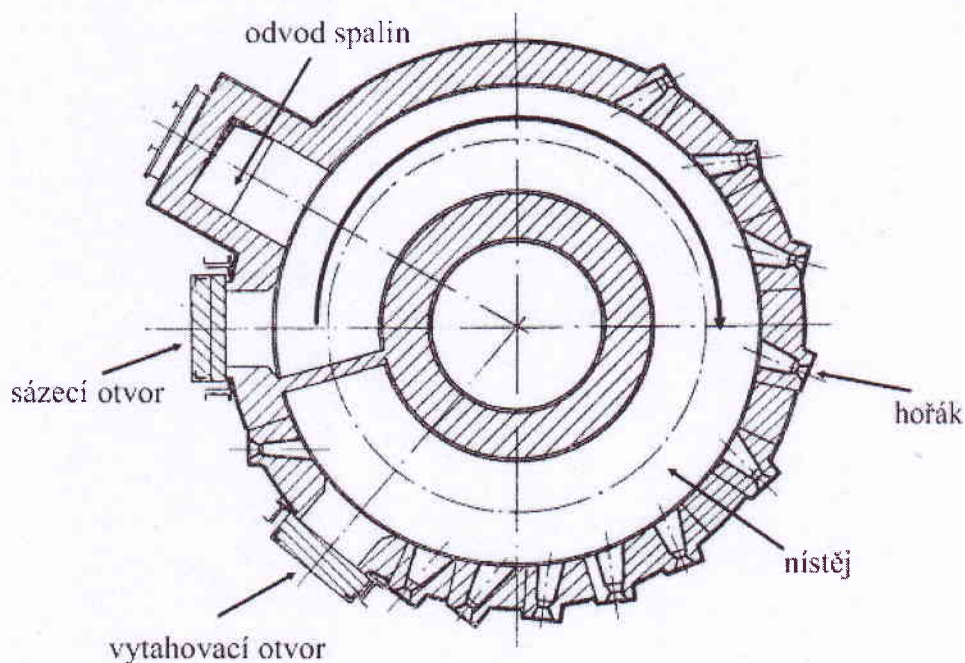
1.7 Ohřívací zařízení používané při zápustkovém kování

Ohřev materiálu v zápustkových kovárnách se dělí dle topného média. Jsou to pece elektrické a plynové. Dříve se používaly také pece na tuhá paliva. Tyto pece se dnes z ekologického hlediska nepoužívají. Dále můžeme pece dělit podle způsobu pohybu materiálu na strkací, otočné a krokové. Používají se pece karuselové, talířové, strkací, komorové, šterbinové a indukční nebo odporový ohřev. Výběr pece závisí na druhu paliva a charakteru výroby, na profilu a rozměrech zahřívajícího materiálu.

1.7.1 Ohřev v pecích

- *Karuselové pece*

Jedná se o průchozí pece (Obr. 1.8), které se používají pro ohřev širokého sortimentu materiálu. Otočná nístěj tvaru mezikruží je uložena na koulích v drážkách nebo řadě pevně uložených nosných kladkách. Otočná plocha se skládá z části předhřívací, ohřívací a vyrovnávací. Hořáky jsou v peci umístěny proti pohybu nístěje. Účinnost pecí je 30 – 40%, dosahovaný výkon 200 – 450 kg/m² hod.



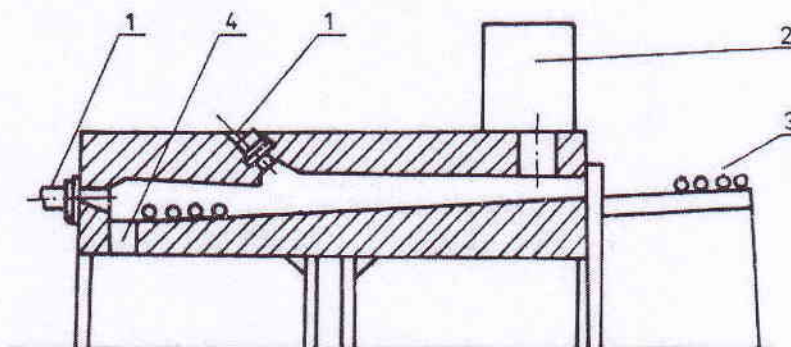
Obr. 1.8 – Karuselová pec [2]

- *Talířové pece*

Řadíme je mezi pece karuselové. Ohříváný polotovár se pohybuje v jednom pracovním prostoru. Výhodou je cyklický chod, rovnoměrné rozložení ohřívajícího materiálu a snadnější obsluha při zakládání a vyjímání. Nevýhodou je využití tepla odcházejících spalin, které by se dalo využít k předehřívání materiálu.

- *Strkací pece*

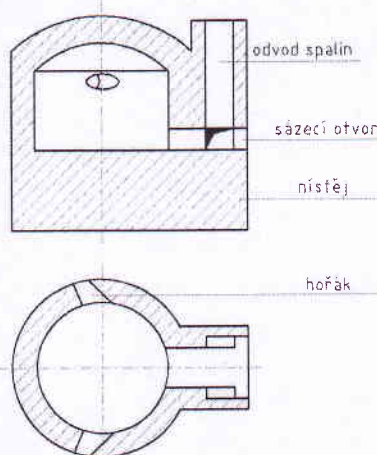
Pece strkací (Obr. 1.9) patří do skupiny průchozích pecí. Je to jedna z nejvhodnějších pecí pro ohřev materiálu k zápusťkovému kování ve větších sériích. Podle provedení nístěje a vkládání materiálu je můžeme rozčlenit na pece s rovnou nístějí a na pece s vodíciími drážkami. Pracovní prostor se skládá z pásma předehtřívacího a ohřívacího. Tím stoupne i účinnost na 24 - 35% a měrný výkon na 250 – 350 kg/m² hod. U pecí s větší délkou pracovního prostoru dosáhneme výkonu až 500 kg/m² hod [2].



Obr. 1.9 – Strkací pec – 1. Hořák
2. Odvod spalin
3. Sázeí otvor
4. Vytahovací otvor

- *Komorové pece*

Komorových pecí je mnoho typů, lišících se konstrukcí a provedením, tvarem pracovního prostoru, počtem pracovních dveří a jejich umístěním, skladbou vyzdívky, umístěním hořáků, jejich počtem a druhem, umístění odtahů apod. Volba vhodného typu pece závisí na jejím použití a umístění, na druhu sortimentu a kovacím procesu. Komorové pece jsou konstrukčně jednoduché a snadno se obsluhují. Užívají se v kusové a malosériové výrobě. Nové typy těchto pecí pracují s nepřetržitým zakládáním a vyjímáním materiálu, čímž je lze použít i v hromadné výrobě. Pohyb materiálu můžeme mechanizovat pomocí tlaček a samospádu. Komorové pece mají nízkou tepelnou účinnost. Pece komorové (Obr.1.10) pro zápusťkové kování se zásadně dělí na jednodveřové, dvoudveřové na čelní a zadní stěně, třídvěřové a vícedveřové.



Obr. 1.10 – Komorová pec

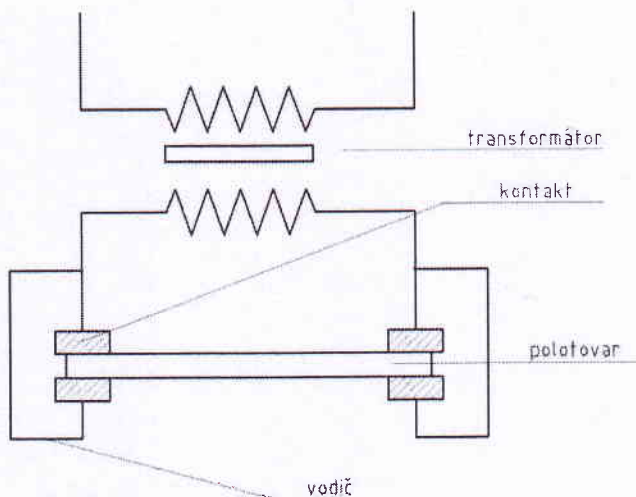
- Štěrbínové pece

Používají se pro ohřev konců tyčí, trubek nebo přířezů u vodorovných kovacíh lisů. Materiál se zakládá na stůl pece a jen svou okrajovou částí zasahuje do ohřívacího prostoru. Tyto pece se dělí na pece s uzavřenou štěrbínou a průchozí štěrbínové pece.

1.7.2 Elektrický ohřev

- Odporový ohřev

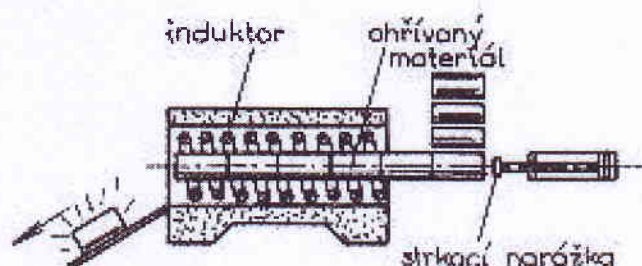
Odporový ohřev (Obr. 1.11) se rozděluje na ohřev přímý a nepřímý. Při elektrickém přímém odporovém ohřevu vzniká teplo procházením proudu v ohřívaném předmětu na základě ohmického odporu. Proto je teplota v celém průřezu součásti prakticky stejná i za velmi rychlého ohřevu. Doba ohřevu se zkracuje se zvětšující se intenzitou přiváděného proudu. I přes velkou účinnost a nižší investiční náklady se tohoto způsobu používá jen pro spojení se speciálními pēchovacími stroji, hlavně pro konstrukční problémy vznikající za provozu pecí. Nepřímého odporového ohřevu ocelových materiálů se pro kování používá zřídka, vzhledem k velkému růstu okují a velkým rozměrům pece pro velké výkony.



Obr. 1.11 – Odporový ohřev

- Indukční ohřev

Při tomto způsobu ohřevu vzniká teplo při umístění polotovaru do indukční cívky (Obr. 1.12), kterou protéká střídavý proud o určité vhodně zvolené frekvenci. Hloubka, do které má střídavý proud účinek, je závislá na frekvenci proudu a odporu materiálu. Výhodou tohoto způsobu ohřevu je dodržení kovací teploty, dokonalejší prohřátí materiálu, menší vznik okují apod. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady a zavedení chladicího systému v peci.



Obr. 1.12 – Indukční ohřev

1.7.3 Topná media používaná v ohřívacích zařízeních

K vytápění ohřívacích pecí se nejvíce používá zemní plyn, který má největší výhřevnost $32\,000 - 40\,000 \text{ kJ/m}^3$ a teplotou hoření $2\,000 - 2\,200^\circ\text{C}$. Avšak při použití plynu je teoretická spotřeba spalovacího vzduchu i teoretické množství vlhkých spalin 3 – 5x větší než u jiných plynných paliv (koksárenský plyn, vysokopecní plyn).

Další topná média, která se již pro ohřev nepoužívají z důvodu jejich ekologické zátěže na životní prostředí, jsou např. vysokopecní plyn, koksárenský plyn, svítiplyn nebo spalování topného oleje a uhlí.

Při elektrickém ohřevu je topným médiem elektrická energie.

1.8 Volba stroje pro zápustkové kování

Správný typ kovacího stroje se volí z technologického postupu, tvaru výkovku a velikosti série. Buchar používáme tam, kde je nutné podle tvaru výkovku provádět prodlužovací (předkovací) operace. Třecí lisy se uplatňují u malosériové výroby a při kování v otevřených i uzavřených zápustkách. Výhoda tvářecích lisů je (neplatí u klikových), že nedochází k jeho zaseknutí při velkém množství kovu v zápustce a zápustky opatřené horními a dolními vyhazovacími kolíky jsou oproti bucharům tišší. Styl kování na klikových lisech je rozdílný od kování pod buchary a vřetenovými lisy. Vřetenové lisy a buchary pracují rázem a výkovek se vyrábí vždy na několik úderů buď z předkovku nebo postupovým kovááním. Mechanický kovací lis pracuje klidným tlakem a jeho zdvih při zanedbání odpružení je stále stejný. Nevýhodou při lisování klidným tlakem je, že může dojít k zalisování okují do výkovku (okuje vznikají při ohřevu na kovací teplotu). Proto se musí okuje odstranit nebo volit bezokujový ohřev. Na klikových lisech nelze provádět takové operace, kde je zapotřebí prodlužování, a proto volíme ještě předkovací stroj. Kování na klikových lisech je vhodné pro velkosériovou výrobu hlavně v automobilovém průmyslu [4].

Velikost stroje je v případě lisů určena maximální silou a u bucharů hmotností padajících částí, nebo maximální prací (energií), kterou jsou schopny v jediném úderu

vykonat. Při stanovení velikosti stroje se v praxi používá převážně empirických vzorců, které bývají vyjádřeny také v tabulkách a nomogramech.

1.8.1 Zápustkové kování na bucharech a výpočet velikosti bucharu

Buchary se používají především pro kování velkých a těžkých výkovků nebo naopak pro kování drobnějších výkovků se žebry, výstupky a tenkostěnnými částmi. Stroj pracuje dynamickou rázovou silou, která se musí tlumit masivními základy. Zároveň tyto rázy působí kladně na odstraňování okují z výkovku, nezakovávají se a zároveň se méně opotřebovávají zápustky, které tolik netrpí na otěr. Máme několik typů bucharů.

- *Padací* - pracuje vlastní vahou beranu, který z výšky padá na šabotu
- *Hydraulické* - energii přenáší kapalina např. minerální oleje
- *Parovzdušné* - ke zvedání a urychlení pádu beranu se užívá páry
- *Protiběžné* - nemají šabotu, místo ní je spodní beran

Velikost bucharu se určuje z potřebné práce při posledním úderu (odpor tvářeného materiálu proti deformaci je maximální) a z velikosti plochy průřezu výkovku do dělicí roviny zápustky, včetně výronkového můstku, přičemž se bere v úvahu také tvarová složitost výkovku.

Práce pro kruhový výkovek A_k

$$A_k = 1,8 \cdot (1 - 0,0005D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,00001D_v^2) \cdot \sigma_p \quad [\text{J}] \quad (1.3)$$

Pro nekruhový výkovek se tento vzorec upravuje korekčním součinitelem tvaru a místo D se dosadí D_{red} , takže potřebná práce pro nekruhový výkovek A_n .

$$A_n = A_k \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L}{B_S}}\right) \quad [\text{J}], \quad (1.4)$$

$$D_{red} = 1,13 \sqrt{S} \quad [\text{cm}], \quad (1.5)$$

$$B_S = \frac{S}{L} \quad [\text{cm}], \quad (1.6)$$

kde: D_v – $\varnothing$ výkovku [mm],

σ_p – přirozený přetvárný odpor materiálu při kovací teplotě [MPa],

S – průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu [mm²],

L – délka výkovku [mm],

B_S – střední výška výkovku [mm].

Pro vypočtenou práci se určí hmotnost beranu v (Tab. 1.4). Velikost protiběžného bucharu se stanoví ze vztahu $A_{\text{výkovku}} = A_{\text{bucharu}}$. Přiložený přetvárný odpor σ_p materiálu při kovací teplotě se určí z (Tab. 1.5). Koeficient 18 až 28 se stanoví dle stavu stroje (opravy válců zvětšují plochu pístu).

Tab. 1.4 – Určení hmotnosti beranu m [kg] [2]

Výkovek	Buchar	
	jednočinný	dvojčinný
kruhový	$m = \frac{A_k}{11}$	$m = \frac{A_k}{18-28}$
nekruhový	$m = \frac{A_n}{11}$	$m = \frac{A_n}{18-28}$

Tab. 1.5 – Hodnoty přirozeného přetvárného odporu σ_p [2]

T [°C]	Pevnost Rm [MPa] při 20°C				Ložiskový materiál
	400	600	800	1000	
	Přirozený přetvárný odpor σ_p [MPa]				
1300	14	20	24	30	-
1200	18	22	36	50	-
1100	22	36	51	68	35
1000	30	54	75	109	60
900	45	75	115	159	90
800	66	111	155	230	140
700	95	150	250	330	-

1.8.2 Zápustkové kování na lisech a výpočet velikosti lisu

Kováním na svislých kovacíh lisech se polotovary tváří klidovou silou, která způsobuje snadnější tváření materiálu ve směru kolmém na tuto sílu. Proto se na lisech kovají výkovky spíše členité do šířky. Každá operace má jednu dutinu zápustky. Jako první operaci volíme většinou pýchování, aby došlo k odpadnutí okují. Výhodou je možnost použití vyhazovačů.

Pro přibližné určení velikosti lisu se používá celé řady empirických vzorců (výpočet dle Storoževa, dle ČSN 22 8306, nomogram Eumuco apod.). Pro určení velikosti tvářecí síly se používá např. i vztah dle Rebelského:

$$F_{k-reb} = 8(1 - 0,001D_v) \cdot \left(1 + \frac{20}{D_v}\right)^2 \cdot \sigma_{ps} \cdot S_v \quad [\text{N}], \quad (1.7)$$

kde: D_v – průměr výkovku [mm],

σ_{ps} – mez pevnosti materiálu pro dolní kovací teplotu [MPa],

S_v – plocha průřezu výkovku do dělicí roviny zápustky [mm²],

Typy lisů:

- *Klikové* – volit indukční ohřev, má malou tvorbu okují
- *Vřetenové* – energie je v setrvačnicku a celá se najednou spotřebuje
- *Hydraulické* - lze nastavit kovací sílu vyvolanou tlakem kapaliny
- *Výstředníkové* - v kovárenství se používají k ostříhování

1.8.3 Rozdíly při kování na lisech a bucharech

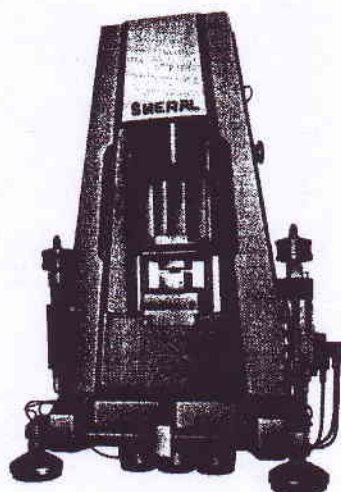
Typ tvářecího stroje se volí pro výrobu určitého rozsahu a objemu výkovku [2]. Pokud docílíme všech kritérií, tak samotná volba je jednoduchá. Problémy nastanou v případě, kdy není zaručen rozsah výkovků, požadovaný výkon stroje a jiný činitel (rozsah výrobních možností kovárny, dovednosti v určitém způsobu výroby a zdroj energie pro pohon kovacích zařízení). Dostupné stroje, které mohou zhotovovat symetrické nebo asymetrické výkovky kované za tepla v uzavřených zápustkách, je možné srovnat v následujícím přehledu[2],[10].

Pneumaticko - hydraulické buchary nahrazují deskové a řemenové buchary díky zvýšení kvality výkovků, provozní spolehlivosti a přesnosti při kovárenských pochodech. Pneumaticko – hydraulické buchary (Obr.1.13) spojují svým principem výhody protiběžných a šabotových bucharů. Možnost konstrukce bucharu i s vyhazovačem. Jmenovitá energie úderu beranu se pohybuje od 20 do 200 kJ.

Mechanické klikové lisy (Obr. 1.14) s klasickým výstředníkovým hřídelem a ojnici, poháněným pneumatickou vícelamelovou spojkou, mají pracovní pohyb převeden na horní pohyblivou zápustku proti nepohyblivé spodní zápustce ve stojanu stroje. Kovací síla lisů se pohybuje v rozmezí od 3 do 120 MN.

Vřetenové lisy mají svislý šroub s beranem a zápustkou poháněný v obou směrech točení mechanicky, hydraulicky nebo elektricky hnaným setrvačníkem. Vřetenové lisy dosahují maximální tvářecí rychlosti v okamžiku styku výkovku a zápustky. Výkovky lze tvářet postupnou deformací jako u bucharů, zatímco klikové lisy předávají deformační energii jedním rázem. Vřetenové lisy se stavějí ve velikostech od 0,63 do 63 MN.

Hydraulické kovací lisy používají uzavřené zápustky, mohou mít měnitelnou délku zdvihu, tvářecí rychlost a tvářecí sílu. Použitím dělené zápustky a pomocných horizontálních beranů je možné produkovat výkovky s děrovanými nákovky. Lisy se vyrábí v širokém rozmezí sil.



Obr. 1.13 – Pneumaticko – hydraulický buchar [10]



Obr. 1.14 – Svislý kovací lis [10]

Použití bucharu nebo lisu je závislé na typu a tvaru výkovku. Kruhové a prstencové výkovky běžných druhů ocelí jsou vhodné pro kování na klikových lisech. V případě, že rozměry výkovku a měrné tlaky přesahují možnosti lisu, je třeba použít bucharů. Asymetrické a tvarově složité výkovky jsou většinou vyráběny na bucharech. Dlouhé výkovky, páky, nápravy a součástky leteckého podvozku potřebují větší plochu držáku zápustek, než mají lisy odpovídající síly, a proto jsou kovány na bucharech. Velké kruhové výkovky ze žárupevné oceli jsou zhotovovány na bucharech z důvodu energetických požadavků. Výkovky lopatkového tvaru s přesnými tolerancemi tvaru téměř ze všech druhů oceli a slitin se vyrábějí na vřetenových lisech, zatímco velké lopatky s širšími tolerancemi jsou zhotovovány na bucharech. Výkovky ve tvaru tenkých desek s okrajovými žebry spolu s výkovky bez úkosu z hliníkových a hořčíkových slitin jsou zpravidla kovány na hydraulických lisech.

U závěrečného výběru bucharu nebo lisu je nutné vzít na vědomí podmínky životního prostředí, tvar a velikost produkce výkovků. Důležitým faktorem jsou také dosavadní znalosti. Množství výkovků ve výrobní dávce je dalším činitelem při volbě bucharu nebo lisu. Volba bucharu nebo lisu je závislá na množství výkovků ve výrobní dávce.

Pro buchary jsou větší náklady na zápustky než pro lisy odpovídající velikosti. U lisů je možné použít samostatných vložek pro předtvarovací a dokončovací dutiny. U bucharů se používá násobných dutin vyžadujících velký zápustkový blok s možností renovace. Lisy jsou častěji než buchary vybaveny automatickým mazáním zápustek, což má příznivý vliv na životnost. Životnost lisů prodlužuje také odstranění okují. Přesnost, kvalita a toleranční odchylky výkovku se liší u lisů a bucharů jen minimálně. Pouze přesazení výkovku bývá větší u bucharů než u lisů, což je způsobeno rázovými silami.

Na bucharech jsou zhotovovány nejrůznější výkovky, kde z technologického hlediska je vhodné využití vyšších tvářecích rychlostí. Kovací lisy nejsou typy rázových strojů. U rázového stroje má beran max. údernou sílu v okamžiku, kdy se dotkne výkovku a v době, kdy dosáhne spodní polohy je tato síla spotřebována. Kovací lis s klikovým mechanismem vyvine největší sílu ve skutečné dolní úvrati.

Závěrečným porovnáním bucharu a lisu lze říci, že můžeme vyrobit výkovek určitých parametrů, kvality, tolerancí a množství. Množství bucharů nebo lisů stanovuje kovárna. Vychází z typu výkovku, odvětví průmyslu, tvaru a druhu výroby (sériovosti).

1.9 Vyhazování (vyrážení) výkovků

Konstrukce třecích a klikových lisů dovoluje použít vyhazovače ve spodním popř. horním díle zápustky. Vyhazovač lisu usnadňuje vyjímání výkovků ze zápustky. Vhodnou konstrukcí vyhazovače lze také zvýšit životnost zápustky. Vhodný vyhazovač lze stanovit např. dle ČSN 22 8306.

1.10 Dokončování zápustkových výkovků

1.10.1 Ostříhování zápustkových výkovků

Při výrobě zápustkových výkovků v otevřených zápustkách na bucharech a lisech vzniká na výkovku výronek. Podle tvaru výkovku vzniká výronek na vnějším obvodu výkovku nebo uvnitř. K dosažení konečného tvaru výkovku je nutno výronek odstranit. Tuto operaci nazýváme ostříháním nebo děrováním. Výronek je možné ostříhovat za tepla a za studena.

Výkovky s větším obsahem C než 0,5% se ostříhují za tepla a výkovky s menším obsahem než 0,5% C lze ostříhovat za studena. Větší a složitější výkovky se ostříhují vždy za tepla, a to z důvodu menšího tlaku při ostříhování a možnosti využití teploty pro rovnání výkovku.

K ostříhování a děrování výkovků se používá mechanických a hydraulických lisů [2].

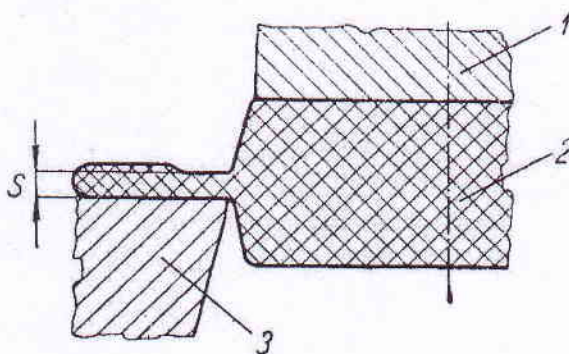
- **Určení velikosti stroje**

Podle velikosti stříhané plochy S a pevnosti materiálu ve stříhu σ_p určíme sílu F potřebnou pro ostřížení výkovku. Pevnost materiálu ve stříhu je 0,8 pevnosti v tahu (R_m). Jelikož jde o ostřížení výronků, kde zpravidla nedosedá razník na výkovek, ale tlačí na výkovek, je síla 1,7krát větší. Z důvodu bezpečnosti bereme tloušťku výronku s dvojnásobnou (Obr. 1.15) [2].

$$F_s = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot O \cdot 2h = 2,72 \cdot R_m \cdot O \cdot h \quad [\text{N}] \quad (2.7)$$

kde je: R_m je pevnost materiálu v tahu [MPa],
 O - vnější obvod výkovku v [mm],
 h - tloušťka výronkového můstku v [mm].

Ostříhovací lisy tvoří spolu s kovací bucharem nebo lisem a ohřívací pecí kovací agregát. Podle velikosti kovacího bucharu nebo lisu se stanoví velikost a typ ostříhovacího lisu (Tab. 1.6).



Obr. 1.15 – Schéma stříhání [3]

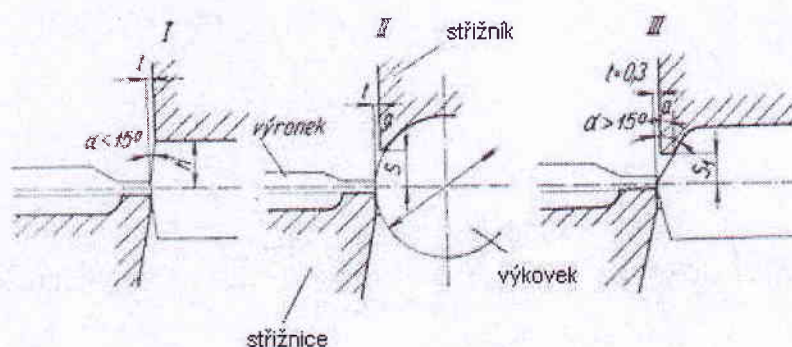
1 - střížník, 2 - výkovek, 3 - střížnice

Tab. 1.6 – Výběr ostříhovacího lisu podle energosilových veličin základního tvářecího stroje

Hmotnost beranu zápustkového bucharu [t]	Síla klikového kovacího lisu [MN]	Síla ostříhovacího lisu [MN]
0,5	6,3	1
0,75	10	1,25
1	-	1,6
1,5 až 2	16	2
2,5 až 3	25	3,15
4 až 5	40	4
6	63	4 až 5
8	-	5 až 6,3
10	-	6,3 až 8
12	-	8 až 12,6
15	-	12,6 až 16

• **Konstrukce ostříhovacích nástrojů**

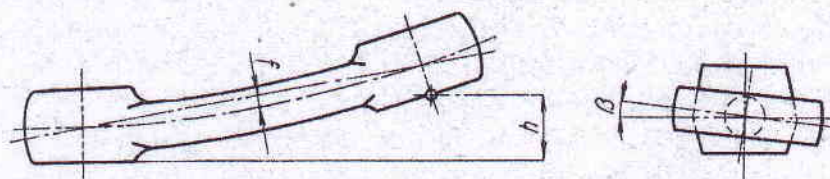
Střížnice se zhotovuje podle obrysu výkovku v dělicí rovině viz. (Obr. 1.16). Střížník se dolícovává podle skutečných rozměrů a tvaru výkovku. Plochy střížníku, které nestředí výkovek, se zhotovují s určitou vůlí. Vůle mezi střížníkem a střížnicí se zhotovuje vždy na úkor střížníku a má vliv na kvalitu ostřížení výkovku. Střížnice se zhotovují z jednoho kusu nebo dělené vzhledem k snadnější výrobě a ostření[2].



Obr. 1.16 – Možnosti zhotovení průstřížníku a průstřížnice podle obrysu výkovku [2]

1.10.2 Rovnání

U některých výkovků může dojít při ostříhování výronku ke zkřivení, které se rovná za tepla i za studena. Za studena se zpravidla rovnají po tepelném zpracování a čištění. Za tepla se rovnají většinou výkovky, které se zkříví během kování a ostříhování. Zkřivení výkovku se určuje podle křivosti os a podle úhlu zkřivení (Obr. 1.17). Za rovný výkovek se považuje takový, jehož zkřivení zůstává v rozmezí tolerancí rozměrů uvedených na výkrese výkovku.



Obr. 1.17 – Zkřivení výkovku [3]

h - křivost, 2 - průhyb,
 β - úhel zkroucení

Výkovky se rovnají:

1. Za tepla v dokončovací dutině zápustky, v níž byl výkovek vykován.
2. Na ostříhovacích lisech v rovnacích nástrojích (omezeno tlakem lisu).
3. Za studena v rovnacích zápustkách, což je nejvýkonnější způsob.

1.10.3 Kalibrace

Výkovky se kalibrují po vykování zápustkového výkovku. Je to nejlepší způsob, jak zajistit vysokou přesnost výkovků. Touto technologií je možno získat výkovek s přesnou váhou, hladkým a čistým povrchem a přesným rozměrem. Za tepla je možno kalibrovat prakticky na všech kovárenských strojích pro zápustkové kování (na klikových kovacích lisech, třecích lisech i parních bucharech pro zápustkové kování). Nejčastěji se kalibruje při jednom ohřevu zápustkového výkovku, tj. ihned po ostřížení výronku. Proto se stroj pro kalibrování výkovků (pokud se nekalibruje na stejném stroji, kde se kove zápustkový výkovek) umísťuje v těsné blízkosti ostříhovacího lisu. Přesnost kalibrovaných výkovků závisí především na přesnosti zápustkového kování před kalibrováním, na stálosti teploty, při které se kalibruje a na tuhosti tvářecího stroje. Kalibrování za studena (v některé literatuře je tato operace nazvána ražení) je přesnější než kalibrování za tepla. Dělá se zpravidla až po tepelném zpracování výkovků, které jsou vyrovnány a zbaveny okují.

Pro kalibrování za studena se používá zpravidla razících lisů. Na těchto lisech se v kalibrovacích zápustkách stlačují plochy, kterými se stýká vykováná součást s jinými díly výrobku. Materiál se při kalibrování za studena zpevňuje. Proto se musí výkovky z některých druhů ocelí, zejména při vysokém stupni deformace, tepelně zpracovat[2].

1.11 Nástroje pro zápustkové kování – zápustky

1.11.1 Konstrukční řešení zápustek

Při konstrukci zápustky se nejprve řeší dokončovací dutina, potom dutiny přípravné a jejich vzájemná poloha a nakonec se určí velikost zápustkového bloku. Upínání, středění, osové zajištění atd. se řeší se zřetelem na polohu kovací dutiny. Dokončovací dutina se používá k tváření výkovku na jeho konečný tvar. Tvar dokončovací dutiny je shodný s tvarem výkovku a rozměry se liší pouze rozdílem smrštění materiálu z kovací teploty na teplotu normální[9].

Aby bylo možné výkovek ze zápustky snadno vyjímat, je třeba plochy dutiny opatřit vhodnými úkosy. Volba úkosů se řídí podle tvaru dutiny i vlastností kovu, z něhož se výkovky zhotovují a podle použitého stoje (lis, buchar, kovací stroj). Má-li materiál velké smrštění, musíme dělat vnitřní úkosy větší (rovněž u předkovaných děr a vybrání). Volba úkosu má také vliv na správné zabíhání materiálu při vyplňování dutiny zápustky. Velikost úkosů je určena normou ČSN 42 9030.

Dutina zápustky nesmí mít ostré hrany, rohy a přechody, které by bránily tečení materiálu při vyplňování dutiny zápustky, a způsobovaly trhliny. Velikost zaoblení hran, přechodů a rohů se volí podle hloubky dutiny zápustky. Čím větší hloubka, tím větší se volí i poloměr zaoblení. Rovněž při kování materiálu s horší tvárností musíme poloměr zaoblení hran a přechodů přiměřeně zvětšit. Velikost poloměru zaoblení hran a přechodů je určena normou ČSN 42 9030.

U horních a spodních zápustek při kování musí být zajištěna dobrá vzájemná poloha, nemají – li být výkovky přesazené. Vedení beranu zajišťuje vzájemnou polohu zápustek pouze u nových stojů, které byly delší dobu v provozu a u nichž již došlo k opotřebení vedení beranu. Proto se vzájemná poloha zápustek zajišťuje vedením upraveným přímo v zápustkách nebo speciálním upínačem zápustek. Dalšími možnostmi je vedení prizmatické, křížové nebo válcové. Tyto druhy se uplatňují u zápustek pro těžší výkovky. Jsou trvanlivější než vedení kolíky.

Umístění dokončovací dutiny je nutné řešit tak, aby obtížné tvary jako žebra, čepy, úzké vysoké profily, kde předpokládáme nesnadné zatékání materiálu, byly umístěny ve vrchní zápustce. Kolem dutiny je vytvořena výronková drážka určená pro vytvoření výronku (popsáno v kapitole 1.3.).

U některých zápustek děláme tzv. můstky. Jsou – li úzké, usnadňují tečení materiálu, jsou – li širší, brzdí tečení do výronku a podporují vyplnění dutiny formy. Čím hlubší je dutina zápustky, tím širší je můstek.

Pokud jsou zápustky s hlubokou dutinou, tak je nutné vyvrtat v nejhlubším místě malé díry o průměru 3 – 5 mm. Jejich hloubka by měla být dostatečně velká, aby vzniklý otvor pojmul vzduch vytlačený výkovkem z dutiny formy a nezabraňoval vyplnění dutiny zápustky kovem. V případě neopatrění těmito dírami by mohl stlačený vzduch vyrazit ještě nedokovaný výkovek z dutiny. Pokud materiál formu dobře vyplňuje, tak tyto díry neaplikujeme, z důvodu zeslabení formy.

Ze zápustek s hlubokou dírou se špatně vyjmají výkovky. V takových případech musíme zápustku opatřit vyhazovači (popsáno v kapitole 1.9), které usnadní vyjímání. U větších zápustkových bloků je třeba pamatovat i na manipulační otvory.

1.11.2 Materiál zápustek – požadavky (nároky)

Zápustky jsou při kování vystaveny velkému namáhání rázy nebo tlakem, značnému opotřebení otěrem na stykových plochách mezi výkovkem a zápustkou a velkým a náhlým změnám teploty. Kolísání teploty rychlým střídáním ohřevu a ochlazování při styku zápustky s výkovkem a nutném chlazení mazáním způsobuje střídavé roztahování a smršťování v povrchové vrstvě, které vede k střídavému plastickému přetvoření. Tím je vyvoláno značné vnitřní pnutí, kterým po jisté době dochází ke vzniku povrchových trhlinek.

Mimo změn teploty je zápustka vystavena po celou dobu provozu dosti vysoké teplotě, což má vliv na původní pevnost zápustky. S rostoucí teplotou pevnost klesá. Tím dochází v místech vystavených vyšším teplotám k strukturním změnám provázených změnami objemu, což vede ke vzniku vnitřních pnutí. Pokud pnutí dosáhne vysokých hodnot, dojde ke vzniku trhlin. Také rozpad zbytkového austenitu vyvolává vnitřní pnutí (v tomto případě opět zvětšením objemu).

Z těchto důvodů musí mít materiál zvolený pro zápustku velkou houževnatost při poměrně vysoké tvrdosti, musí si zachovávat dosti vysokou pevnost i při vyšších teplotách, musí dobře vzdorovat opotřebení otěrem a nesmí být náchylný k tvoření trhlin při střídavém ohřevu a ochlazování, tj. musí mít dostatečnou odolnost proti tepelné únavě. Zápustky jsou obvykle velké, a proto musí mít ocel i velkou prokalitelnost[4].

Z toho vyplývá, že nás u materiálu pro zápustky zajímají jako hlavní vlastnosti kalitelnost, prokalitelnost, závislost tvrdosti na teplotě popouštění, odolnost proti tepelné únavě a jako vlastnosti méně důležité tepelná vodivost v rozsahu teplot tepelného zpracování, měrná hmotnost, měrné teplo, tepelná roztažnost a houževnatost při různých teplotách. Z technologických vlastností nás pak zajímají údaje potřebné pro kování a tepelné zpracování.

Popsané požadavky (nároky) jsou tak velké, že je zřejmé, že pro zápustky nemůžeme použít uhlíkové oceli (krátká životnost) a musíme volit ocel slitinovou, vhodně legovanou. Zápustky pracují za nejruznějších podmínek, nejsou stejně mechanicky a tepelně namáhány (zápustky na bucharu trpí více rázy, na lisu více teplem) a nemůžeme tedy vystačit s jedním druhem slitinové oceli s různými vlastnostmi.

Pro zvolení vhodné oceli musíme znát vlastnosti ocelí určených pro výrobu zápustek. Nutností je uvážit, zda je tvar dutiny zápustky jednoduchý nebo složitý, zda bude zápustka vystavena převážně namáhání mechanickému nebo tepelnému, zda bude vystavena rázům nebo klidnému tlaku. Dále musíme uvážit velikost zápustky, velikost výroby. Rovněž musíme přihlídnout k možnostem tepelného zpracování zápustky.

1.11.3 Předehřev zápustek

Zápustky je nutné předehřívát na teplotu 200 až 300°C, jinak by mohlo dojít k jejich praskání. Nutné je předehřívát před započetím práce, v přestávkách nebo při výměně směn. Předehřev snižuje pnutí mezi povrchem nástroje a jeho dutinou. Při styku výkovku se zápustkou dochází ke zmenšení přestupu tepla a tím se zpomaluje ochlazení výkovku. Předehřívá se pomocí indukčního ohřevu nebo věncovitých plynových hořáků.

1.11.4 Mazání zápustek

Zápustky mažeme z důvodu snížení tření v průběhu kování mezi zápustkou a tvářeným materiálem. Výkovky se lépe uvolňují z dutiny zápustky a životnost zápustky se zvyšuje díky nižšímu otěru. Mazivo se nesmí rozkládat vlivem provozních teplot a tlaků. Dnešní používaná maziva na zápustky jsou na principu grafitu smíchaného s vodou.

1.12 Simulace

Pomocí simulace lze studovat celý průběh technologické tvářecí operace. Podle základních vstupních geometrických, konstrukčních a technologických parametrů se vytvoří model, pro který se pak provádí výpočet pomocí MKP (metoda konečných prvků). Z výsledků simulace je pak možné usuzovat na celkový průběh tvářecího procesu, na způsob a směr tečení materiálu, rozložení tlaků v dutině nástroje a tím i zjištění velikosti namáhání nástroje, na rozložení teploty v součásti, na rychlost tečení materiálu v různých směrech aj.

Při simulaci je možné sledovat průběh z hlediska toku materiálu, optimální teploty, druhu materiálu, technologického maziva. Můžeme také předvídat vznik případných přeložek nebo trhlin. Je možné měnit vstupní parametry, lze provádět úpravy geometrie nástroje (poloměry, úkosy atd.), nebo technologických podmínek (např. druh maziva) podle potřeby. Tím lze výhodně nahradit praktické zkoušky, které dříve bylo nutno provádět a tím vzniká úspora finanční i časová.

Protože je možné počítačovou simulací ověřit průběh celé technologické operace, je možné celou technologii směřovat k tomu, aby celá technologická operace probíhala v takových podmínkách, aby bylo možné použít např. menších přídavků na opracování i menších technologických přídavků. Tím je možné ušetřit tvářený materiál i zajistit výrobu přesnějších součástí. Při optimálním tečení materiálu se zvyšuje životnost tvářecích nástrojů.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ

Zadanou součástí č.v.: DP2012 – 01 (Příloha č.1) je pastorek s přímými zuby do převodového ústrojí žacího stroje 324A. Modul pastorku je 2 a počet zubů 68. Jakost materiálu pastorku je dle výkresu 14220. Dále je na ozubení prováděna cementace do hloubky 0,5 – 0,7 mm a následné kalení ozubení na stupeň tvrdosti HRC 58 ± 4 .

Tuto součást lze vyrábět jednak třískovým obráběním z kovaného nebo válcovaného tyčového materiálu, zápustkovým kovááním, odléváním nebo i částečným svařováním. Nevýhodou obrábění je porušení struktury vláken, velké materiálové náklady a spotřeba času při výrobě. Výhodou zápustkového kováání je příznivý průběh vláken a tím i vliv na mechanické vlastnosti, vhodnost pro výrobu velkých sérií nebo hromadnou výrobu. Odlévání není pro daný počet kusů, velikost a tvar polotovaru vhodné. Nevýhodou svařování je nutnost předchozího obrábění ploch svaru u náboje, věnce a disku. Další nevýhodou je požadavek na odstranění pnutí, které vzniklo svařováním. Pro technicko – ekonomické zhodnocení bude porovnání mezi zápustkovým kovááním a výrobou z tyčového materiálu. Ostatní výše navrhnuté technologie nejsou pro tuto výrobu polotovaru ozubeného kola vhodné. Následující možné technologie tváření – kováání jsou:

2.1 Kování na bucharech

Buchary jsou vhodné především pro kováání drobných výkovků nebo naopak značně hmotných výkovků, pro kováání výkovků se značnými změnami průřezu, pro výkovky se žebry, výstupky a slabostěnnými částmi, které vyžadují značný tlak. Stoupavost materiálů je u bucharů lepší než u lisů. Přitom složitější a vyšší části výkovku dáváme do horní poloviny zápustky. Při kováání na bucharu se rovněž snadněji odstraňují okuje z polotovaru počátečním napěchováním.

Technologický postup kováání na bucharech se skládá z několika operací (předkování, kováání, ostřížení výronku (blány), kalibrovaní).

Kováání v jednodutinových zápustkách u bucharu se provádí pro jednoduché rotační výkovky, pro výkovky těžké nebo rozměrné, které není možné vyrábět postupově, pro malé série výkovků u nichž by byla postupová zápustka velmi drahá, pro výkovky přetvářené jiným způsobem (na kovacích válcích apod.).

2.2 Kování na klikových kovacích lisech

Technologie kováání na klikových lisech je odlišná od kováání na bucharech. U bucharů se obvykle provádí vykování součásti na několik zdvihů s následným přenesením do další dutiny. Klikové lisy jsou tudíž vhodné pro pěchovací a vytlačovací operace. Tváří se na jeden zdvih v každé operaci a dochází při tom k intenzivnímu radiálnímu tečení materiálu. Konstrukce lisů dovoluje použít vyhazovačů, takže výkovky mají menší úkosity.

Nevýhodou kováání na klikových lisech je zakováání okují do povrchu výkovku, případně do zápustkového bloku. Proto volíme první operaci pěchování, kde dojde k odstranění okují.

2.3 Kování na vřetenových lisech

Vřetenové lisy tvoří jakýsi přechod mezi buchary a klikovými lisy. Podle charakteru kování je zařazujeme do stejné skupiny strojů jako buchary. Při dopadu dosahují velkého tlaku rázem.

Vřetenové lisy jsou popsány maximální silou. Stejně důležitým údajem je velikost rázové práce. Tato práce je úměrná hmotnosti setrvačníku. To znamená, že rázovou práci můžeme snadno zvětšit, ale i zmenšit změnou počtu otáček. Zápustkové kování na vřetenových lisech vyžaduje značnou náročnost i opatrnost, aby nedošlo k přetížení lisu nebo jeho zničení.

2.4 Vyhodnocení současného stavu

Výrobu polotovaru uvažuji jako zápustkový výkovek na klikovém kovacím lise. Je brán ohled na tvar, rozměr, materiál součásti a požadované pevnostní hodnoty na konečný výrobek pastorku. Výhodnost zvolené technologie je ověřena v kapitole technicko – ekonomického zhodnocení.

3 NÁVRH POSTUPU VÝROBY POLOTOVARU PASTORKU TVÁŘENÍM ZA TEPLA – ZÁPUSTKOVÝM KOVÁNÍM

Při řešení výroby zápustky pro objemové tváření za tepla zvažujeme technologický postup kování. Do tohoto postupu patří stanovení přídavků a návrh výkresu výkovku, návrh výchozího polotovaru, způsob dělení a ohřevu materiálu, stanovení velikosti kovací síly, volba výrobního zařízení, konečné zpracování výkovku, sériovost (160tis. ks.).

Konstrukce zápustky je ovlivněna velikostí a tvarem zápustky, velikostí výkovku, materiálem výkovku, způsobem namáhání zápustky, požadovanou pevností zápustky, požadovaným počtem výkovků a dalšími parametry. Z hlediska konstrukce zápustky je nejdůležitější vlastní proces kování. Při návrhu technologického postupu a při konstrukci zápustky se vychází z výkresu výkovku.

3.1 Volba přídavků a návrh výkresu výkovku

Dle výkresu součásti PASTOREK d140, (č.v.: DP2012 – 01), (Příloha č.1) je zpracován výkres zápustkového výkovku bez předkování díry VÝKOVEK d150,5 .1, (č.v.: DP2012 – 02), (Příloha č.2) a výkres zápustkového výkovku s předkováním díry VÝKOVEK d150,5 .2, (č.v.: DP2012 – 09, (příloha č.9). Přídavky na obrábění a technologické přídavky (zaoblení hran a přechodů, úkosity, tloušťky stěn) jsou voleny dle normy ČSN 42 9030. Přesnost provedení výkovku ČSN 42 9030.1 – obvyklé provedení.

3.1.1 Přídavky na obrábění

Největší průměr pastorku je 140 mm – rozsah (100 - 160), největší výška kola je 48 mm – rozsah (40 - 63). Přídavek na obrábění dle normy ČSN 42 9030.1 je 2,5 mm.

3.1.2 Technologické přídavky

Náboj součásti má otvor s drážkou pro pero o průměru 28 mm. Otvor bude řešen bez předkování. Z důvodu porovnání kovací síly bude proveden i výpočet s předkováním díry. Dále je vnější část náboje jednostranně osazena pro uchycení při následném obrábění.

- Poloměry zaoblení r a poloměry přechodů R jsou dle ČSN 42 9030 a výkresu součásti pastorku, (č.v.: DP2012 – 01), (Příloha č.1) voleny takto:

poloměr zaoblení hrany $r = 5 \text{ mm}$

poloměr zaoblení přechodu $R = 6 \text{ mm}$

- Úkosity zápustkového výkovku jsou voleny jednak s přihlédnutím na výkres součásti PASTOREK d140, (č.v.: DP2012 – 01) a podle normy ČSN 42 9030.

vnější úkosity 7°

vnitřní úkosity 7° a 12°

- Výpočet nejmenší tloušťky blány

$$t = 0,45\sqrt{D - 0,25h - 5} + 0,6\sqrt{h} = 0,45\sqrt{24 - 0,25 \cdot 26,5 - 5} + 0,6\sqrt{26,5} = 4,67 \text{ mm}$$

Minimální tloušťku blány volím 5 mm.

3.2. Informativní výpočet tvářecí síly dle ČSN 22 8306

Pro stanovení velikosti tvářecího stroje je potřeba znát velikost tvářecí síly. Před výpočtem této síly je nutné stanovit rozměry můstku, které se volí s ohledem na rozměry, složitost výkovku a jeho hmotnost. V úvahu musíme brát i pružení a vůle použitého tvářecího stroje.

3.2.1 Průměr výkovku bez výronku - D_v

Průměr výkovku D_v bez výronku je dle výkresu VÝKOVEK d150,5 .1 a .2, (č.v.: DP2012 – 02), (Příloha č.2) a (č.v.:DP2012 – 09), (Příloha č.9) $D_v = 150,5 \text{ mm}$

3.2.2 Průmět plochy výkovku bez výronku - S_v

$$S_v = \frac{\pi \cdot D_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot 150,5^2}{4} = 17780,4 \text{ mm}^2 = \underline{177,804 \text{ cm}^2} \quad (3.1)$$

3.2.3 Tvar a rozměry zvolené výronkové drážky dle ČSN 22 8306 (Obr. 3.1)

- Stanovení výšky výronkového můstku – h

$$h = \alpha \cdot D_v \quad (3.2)$$

$$h = 0,015 \cdot D_v = 0,015 \cdot 150,5 = 2,26 \approx \underline{2,5 \text{ mm}}$$

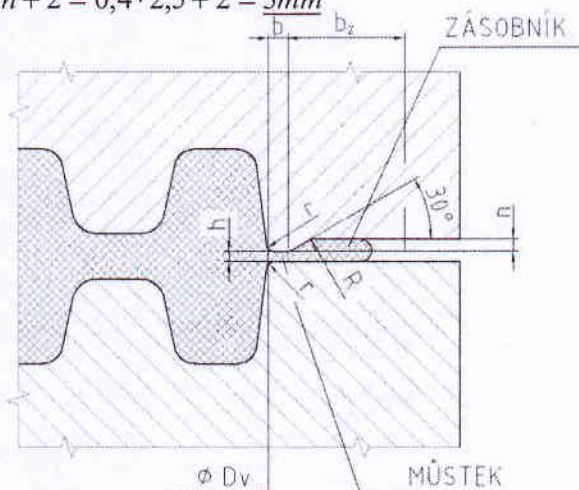
- Stanovení šířky výronkového můstku – b

poměr šířky můstku k jeho výšce volím $\frac{b}{h} = 2$

$$b = 2 \cdot h = 2 \cdot 2,5 = \underline{5 \text{ mm}} \quad (3.3)$$

- Stanovení hloubky zásobníku - n

$$n = 0,4 \cdot h + 2 = 0,4 \cdot 2,5 + 2 = \underline{3 \text{ mm}} \quad (3.4)$$



Obr. 3.1 – Tvar výronkové drážky

- Stanovení šířky zásobníku - b_z
šířku výronkového zásobníku b_z volím dle normy 32mm a uvažuji její zaplnění do 2/3
- Výkres neostříženého výkovku
Dle zpracovaných výkresů VÝKOVEK d150,5 .1, (č.v.: DP2012 – 02), (Příloha č.2), VÝKOVEK d150,5 .2, (č.v.: DP2012 – 09), (Příloha č.9) a stanovených rozměrů výronkové drážky, byly zpracovány výkresy NEOSTŘÍŽENÝ VÝKOVEK .1, (č.v.: DP2012 – 03), (Příloha č.3), NEOSTŘÍŽENÝ VÝKOVEK .2, (č.v.: DP2012 – 10), (Příloha č.10) pro kovací operaci s teplotou 1000°C. Smrštění výkovku stanoveno na 1% podle normy ČSN 22 8306.

3.2.4 Výpočet hmotnosti neostříženého výkovku

- Rozměry neostříženého výkovku dle (Obr. 3.2) a (Obr. 3.3):

$$H1 = 53,8 \text{ mm}$$

$$H2 = 5,1 \text{ mm}$$

$$H3 = 21,3 \text{ mm}$$

$$H4 = 11,2 \text{ mm}$$

$$H5 = 21,3 \text{ mm}$$

$$H6 = 2,5 \text{ mm}$$

$$H7 = 5,5 \text{ mm}$$

$$H8 = 25,65 \text{ mm}$$

$$H9 = 25,65 \text{ mm}$$

$$D1 = 18,7 \text{ mm}$$

$$D2 = 24,3 \text{ mm}$$

$$D3 = 47,5 \text{ mm}$$

$$D4 = 56,6 \text{ mm}$$

$$D5 = 98 \text{ mm}$$

$$D6 = 107,1 \text{ mm}$$

$$D7 = 145,5 \text{ mm}$$

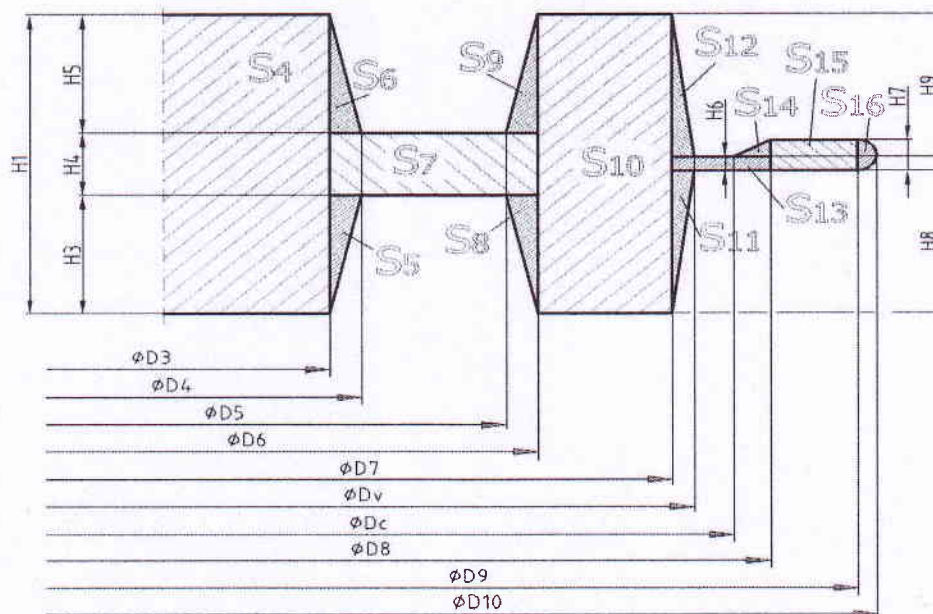
$$D8 = 173,5 \text{ mm}$$

$$D9 = 198,6 \text{ mm}$$

$$D10 = 204 \text{ mm}$$

$$D_v = 152,1 \text{ mm}$$

$$D_c = 162 \text{ mm}$$



Obr. 3.2 – Rozměry neostříženého výkovku bez předkování díry

- Výpočet dílčích ploch průřezu neostříženého výkovku bez předkování díry:

$$S_4 = \frac{D3}{2} \cdot H1 = \frac{47,5}{2} \cdot 53,8 = \underline{1277,8 \text{ mm}^2}$$

$$S_5 = \frac{(D4 - D3) \cdot H3}{4} = \frac{(56,6 - 47,5) \cdot 21,3}{4} = \underline{48,5 \text{ mm}^2}$$

$$S_6 = \frac{(D4 - D3) \cdot H5}{4} = \frac{(56,6 - 47,5) \cdot 21,3}{4} = \underline{48,5 \text{ mm}^2}$$

$$S_7 = \frac{(D6 - D3) \cdot H4}{2} = \frac{(107,1 - 47,5) \cdot 11,2}{2} = \underline{333,8 \text{ mm}^2}$$

$$S_8 = \frac{(D6 - D5) \cdot H3}{4} = \frac{(107,1 - 98) \cdot 21,3}{4} = \underline{48,5 \text{ mm}^2}$$

$$S_9 = \frac{(D6 - D5) \cdot H5}{4} = \frac{(107,1 - 98) \cdot 21,3}{4} = \underline{48,5 \text{ mm}^2}$$

$$S_{10} = \frac{(D7 - D6) \cdot H1}{2} = \frac{(145,5 - 107,1) \cdot 53,8}{2} = \underline{1033 \text{ mm}^2}$$

$$S_{11} = \frac{(Dv - D7) \cdot H8}{4} = \frac{(152,1 - 145,5) \cdot 25,65}{4} = \underline{42,3 \text{ mm}^2}$$

$$S_{12} = \frac{(Dv - D7) \cdot H9}{4} = \frac{(152,1 - 145,5) \cdot 25,65}{4} = \underline{42,3 \text{ mm}^2}$$

$$S_{13} = \frac{(D8 - D7) \cdot H6}{2} = \frac{(173,5 - 145,5) \cdot 2,5}{2} = \underline{35 \text{ mm}^2}$$

$$S_{14} = \frac{(D8 - Dc) \cdot (H7 - H6)}{4} = \frac{(173,5 - 162) \cdot (5,5 - 2,5)}{4} = \underline{8,6 \text{ mm}^2}$$

$$S_{15} = \frac{(D9 - D8) \cdot H7}{2} = \frac{(198,6 - 173,5,1) \cdot 5,5}{2} = \underline{69 \text{ mm}^2}$$

$$S_{16} = \frac{\pi \cdot H7^2}{8} = \frac{\pi \cdot 5,5^2}{8} = \underline{11,9 \text{ mm}^2}$$

$$S_{\max} = \sum_{i=1}^{n=13} S_i = \underline{3048 \text{ mm}^2}$$

- Výpočet vzdáleností těžišť dílčích ploch průřezu výkovku bez předkování díry od osy rotace:

$$T_4 = \frac{D3}{4} = \frac{47,5}{4} = \underline{11,9mm}$$

$$T_5 = \frac{D3}{2} + \frac{D4 - D3}{6} = \frac{47,5}{2} + \frac{56,6 - 47,5}{6} = \underline{25,3mm}$$

$$T_6 = T_5 = \underline{25,3mm}$$

$$T_7 = \frac{D3}{2} + \frac{D6 - D3}{4} = \frac{47,5}{2} + \frac{107,1 - 47,5}{4} = \underline{38,7mm}$$

$$T_8 = \frac{D6}{2} - \frac{D6 - D5}{6} = \frac{107,1}{2} - \frac{107,1 - 98}{6} = \underline{52,1mm}$$

$$T_9 = T_8 = \underline{52,1mm}$$

$$T_{10} = \frac{D6}{2} + \frac{D7 - D6}{4} = \frac{107,1}{2} + \frac{145,5 - 107,1}{4} = \underline{63,2mm}$$

$$T_{11} = \frac{D7}{2} + \frac{Dv - D7}{6} = \frac{145,5}{2} + \frac{152,1 - 145,5}{6} = \underline{73,9mm}$$

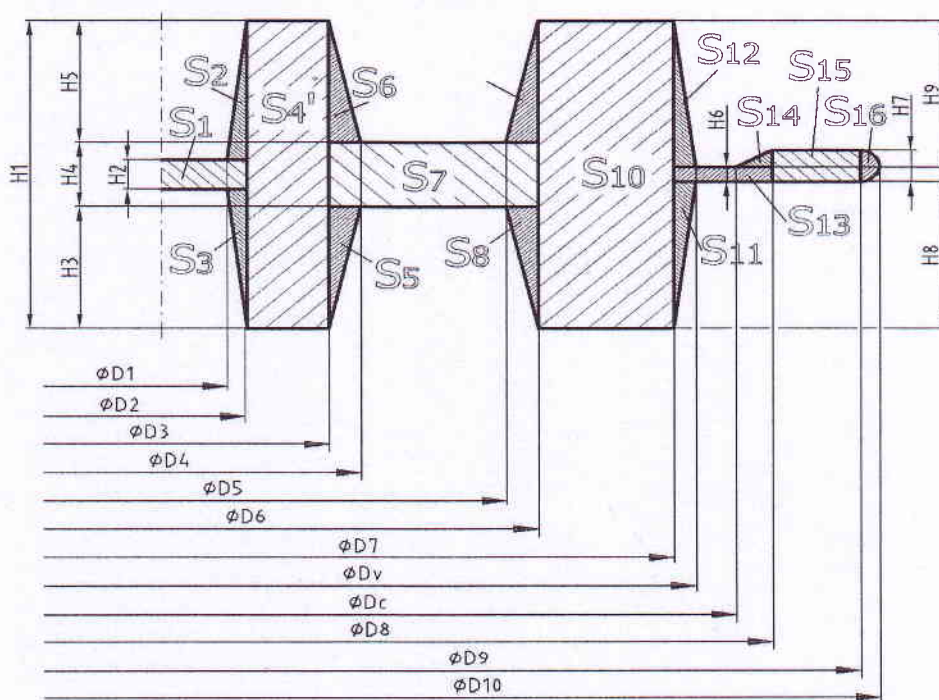
$$T_{12} = T_{11} = \underline{73,9mm}$$

$$T_{13} = \frac{D7}{2} + \frac{D8 - D7}{4} = \frac{145,5}{2} + \frac{173,5 - 145,5}{4} = \underline{79,8mm}$$

$$T_{14} = \frac{D8}{2} - \frac{D8 - Dc}{6} = \frac{173,5}{2} - \frac{173,5 - 162}{6} = \underline{84,8mm}$$

$$T_{15} = \frac{D9}{2} - \frac{D9 - D8}{4} = \frac{198,6}{2} - \frac{198,6 - 173,5}{4} = \underline{93mm}$$

$$T_{16} = \frac{D9}{2} + \frac{2 \cdot H7}{3 \cdot \pi} = \frac{198,6}{2} + \frac{2 \cdot 5,5}{3 \cdot \pi} = \underline{100,5mm}$$



Obr. 3.3 – Rozměry neostříženého výkovku s předkováním díry

- Výpočet dílčích ploch průřezu neostříženého výkovku s předkováním díry (S_5 až S_{16} jsou stejné) :

$$S_1 = \frac{D_2}{2} \cdot H_2 = \frac{24,3}{2} \cdot 5,1 = \underline{62 \text{ mm}^2}$$

$$S_2 = \frac{(D_2 - D_1) \cdot H_5}{4} = \frac{(24,3 - 18,7) \cdot 21,3}{4} = \underline{29,8 \text{ mm}^2}$$

$$S_3 = \frac{(D_2 - D_1) \cdot H_3}{4} = \frac{(24,3 - 18,7) \cdot 21,3}{4} = \underline{29,8 \text{ mm}^2}$$

$$S_4' = \frac{(D_3 - D_2) \cdot H_1}{4} = \frac{(47,5 - 24,3) \cdot 53,8}{4} = \underline{624,1 \text{ mm}^2}$$

$$S_{\max}' = \sum_{i=1}^{n=16} S_i = \underline{2516 \text{ mm}^2}$$

- Výpočet vzdáleností těžišť dílčích ploch průřezu výkovku bez předkování díry od osy rotace (T_5 až T_{16} jsou stejné) :

$$T_1 = \frac{D_2}{4} = \frac{24,3}{4} = \underline{6,1 \text{ mm}}$$

$$T_2 = \frac{D_2}{2} - \frac{D_2 - D_1}{6} = \frac{24,3}{2} + \frac{24,3 - 18,7}{6} = \underline{11,2 \text{ mm}}$$

$$T_3 = T_4 = \underline{11,2mm}$$

$$T_4' = \frac{D2}{2} + \frac{D3 - D2}{4} = \frac{24,5}{2} + \frac{47,5 - 24,3}{4} = \underline{18mm}$$

- Výpočet vzdálenosti těžiště plochy průřezu výkovku od osy rotace:

$$T_c \cdot S_{\max} = \sum_{i=1}^{n=13} T_i \cdot S_i \quad (3.5)$$

- bez předkování díry:

$$T_c = \frac{\sum_{i=1}^{n=13} T_i \cdot S_i}{S_{\max}} = \frac{118283,9}{3048} = \underline{38,81mm}$$

- s předkováním díry:

$$T_c' = \frac{\sum_{i=1}^{n=13} T_i \cdot S_i}{S_{\max}} = \frac{115348,1}{2516} = \underline{45,84mm}$$

- Hmotnost neostříženého výkovku:

- bez předkování díry

$$m_{\text{výk}} = \rho \cdot V = \rho \cdot 2 \cdot \pi \cdot T_c \cdot S_c = 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 38,81 \cdot 3048 = \underline{\underline{5,83kg}}$$

- s předkováním díry

$$m_{\text{výk}}' = \rho \cdot V = \rho \cdot 2 \cdot \pi \cdot T_c' \cdot S_c' = 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 45,84 \cdot 2516 = \underline{\underline{5,68kg}}$$

Ověření výpočtu hmotnosti bylo provedeno pomocí 3D-software Autodesk Inventor:

$$m_{\text{výk}} = \underline{\underline{5,85kg}}$$

$$m_{\text{výk}}' = \underline{\underline{5,73kg}}$$

3.2.5 Výpočet hmotnosti polotovaru

(uvažován ohřev v indukční ohřívače – opal 1%)

- bez předkování díry

$$m_{\text{poloto var u}} = m_{\text{výk}} \cdot 1,01 = 5,83 \cdot 1,01 = \underline{\underline{5,9kg}} \quad (3.6)$$

- s předkováním díry

$$m_{\text{poloto var u}}' = m_{\text{výk}}' \cdot 1,01 = 5,68 \cdot 1,01 = \underline{\underline{5,7kg}}$$

3.2.6 Návrh výchozího polotovaru

$$m_{\text{poloto var u}} = 5,9 \text{ kg}$$

$$m_{\text{poloto var u}}' = 5,7 \text{ kg}$$

$$n' = \text{volím } 1,5 \text{ (šťíhlostní poměr)}$$

$$d_{\text{poloto var u}} = \sqrt[3]{\frac{m_{\text{poloto var u}}}{\rho \cdot n}} = \sqrt[3]{\frac{5,9}{7,85 \cdot 1,5}} = 0,79 \text{ dm} = \underline{79 \text{ mm}} \quad (3.7)$$

$$d_{\text{poloto var u}}' = \sqrt[3]{\frac{m_{\text{poloto var u}}'}{\rho \cdot n}} = \sqrt[3]{\frac{5,7}{7,85 \cdot 1,5}} = 0,78 \text{ dm} = \underline{78 \text{ mm}}$$

Jako polotovar pro zápustkový výkovek bez předkování díry volím válcovanou tyč $\varnothing 80$ dle ČSN 42 5510.21 (s povrchem pro tváření – kování). Jakost materiálu 14 220.0; rozměry polotovaru pro 1 kus $\rightarrow \varnothing 80 \times 150 + 1$. Šťíhlostní poměr l/d polotovaru je 1,88. Délka 150mm bude dělena z dodaných tyčí na pásové pile s automatickým podáváním. Kontrola hmotnosti a jakosti průřezu bude po 20 kusech.

Polotovar pro výkovek s předkováním díry $\varnothing 80 \times 145 + 1$

3.2.7 Kontrola volby výšky výronkového můstku

Dle nomogramu volby výšky výronkového můstku (ČSN 22 8306) a již stanovených parametrů průměru ostříženého výkovku $D_v = 150,5 \text{ mm}$ a hmotnosti polotovaru $m_{\text{polotovaru}} = 5,9 \text{ kg}$ je výška můstku $h = 2,5 \text{ mm}$.

3.2.8 Tvářecí síla – informativní stanovení dle ČSN 22 8306

- Základní přetvárný odpor σ_p pro materiál 14 220 při teplotě 1100°C .
 $\sigma_p = 106 \text{ MPa}$

- Průmět plochy výkovku s můstkem S_c do dělicí roviny

$$D_c = 162 \text{ mm}$$

$$S_c = \frac{\pi \cdot D_c^2}{4} = \frac{\pi \cdot 162^2}{4} = \underline{20602 \text{ mm}^2} \quad (3.8)$$

- Stupeň tvarové složitosti výkovku
III – součást s vysokým stupněm členitosti

Dle nomogramu informativního stanovení tvářecí síly ČSN 22 8306 a parametrů σ_p , S_c a stupně tvarové složitosti výkovku III vychází tvářecí síla $F_k = 13,5 \text{ MN}$.

3.2.9 Tvářecí síla – výpočet dle Rebeljski - Brjuchanov

- Průmět plochy výkovku S_v do dělicí roviny

$$D_v = 152,1 \text{ mm}$$

$$S_v = \frac{\pi \cdot D_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot 152,1^2}{4} = 18161 \text{ mm}^2 \quad (3.9)$$

- Pevnost oceli 14220 při teplotě 1100°C dle diagramu závislosti pevnosti oceli na teplotě Rebeljski – Brjuchanov (Příloha č.16)
 $\sigma_{ps} = 65 \text{ MPa}$

$$F_{k-reb} = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v}\right)^2 \cdot \sigma_{ps} \cdot S_v \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} F_{k-reb} &= 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 152,1) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{152,1}\right)^2 \cdot 65 \cdot 18161 = \\ &= 9860967 \text{ N} = \underline{\underline{9,86 \text{ MN}}} \end{aligned}$$

3.2.10 Tvářecí síla – výpočet dle Storoževa

- Šířka můstku výronku
 $b = 5 \text{ mm}$
- Výška výronkového můstku
 $h = 2,5 \text{ mm}$
- Průmět plochy výkovku S_v do dělicí roviny + průměr výkovku D_v
 $D_v = 152,1 \text{ mm}$
 $S_v = 18161 \text{ mm}^2$

- Plocha výronku v šířce můstku S_m
 $D_c = 162 \text{ mm}$

$$S_m = \frac{\pi}{4} \cdot (D_c^2 - D_v^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (162^2 - 152,1^2) = 2441 \text{ mm}^2 \quad (3.11)$$

- Přirozený přetvárný odpor pro materiál 14220 při teplotě 1100°C
 $\sigma_p = 106 \text{ MPa}$

$$F_s = \sigma_p \cdot \left[\left(1,5 + \frac{1}{2} \cdot \frac{b}{h}\right) \cdot S_m + \left(1,5 + \frac{b}{h} + 0,08 \cdot \frac{D_v}{h}\right) \cdot S_v \right] \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} F_s &= 106 \cdot \left[\left(1,5 + \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{2,5}\right) \cdot 2441 + \left(1,5 + \frac{5}{2,5} + 0,08 \cdot \frac{152,1}{2,5}\right) \cdot 18161 \right] = \\ &= 16754277 \text{ N} = \underline{\underline{16,8 \text{ MN}}} \end{aligned}$$

3.2.11 Tvářecí síla – dle nomogramu Eumuco

Pro výpočet tvářecí síly uvažuje nomogram Eumuco (Příloha č.17) plochu průmětu do dělicí roviny s plochou můstku výronku. Nomogram počítá s měkčí i tvrdší uhlíkovou ocelí a s plochým tvarem výkovku nebo s tvarem s vysokými výstupky.

- Pevnost oceli 14220 za studena $R_m = \min. 785 \text{ MPa}$
- Tvar I – výkovek bez vysokých výstupků

dle nomogramu vychází tvářecí síla $F_e = 14 \text{ MN}$

3.3 Teoretický výpočet tvářecí síly dle ČSN 22 8306

Při objemovém tváření za tepla je dutina záпустky v poslední fázi zdvihu lisu zaplňována materiálem a nastává zvýšení odporu proti tečení v oblasti výronkové drážky, kterou vytéká přebytečný materiál. Růst normálních napětí na povrchu výkovku je způsoben snížením plasticity tvářeného materiálu v oblasti výronku, kde vlivem malé výšky výronku ve srovnání s výškou výkovku dochází k poklesu teploty.

3.3.1 Napětí v jednotlivých bodech průřezu výkovku (Obr. 3.4)

- pevnost materiálu dle ČSN 22 8306 za kovací teploty 1100°C je $\sigma_{ps} = 40 \text{ MPa}$
- součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teploty dle ČSN 22 8306 $C_0 = 4,2$
- rozměry průřezu výkovku potřebné k výpočtu napětí

$H1 = 53,8 \text{ mm}$	$D1 = 18,7 \text{ mm}$
$H2 = 5,1 \text{ mm}$	$D4 = 56,6 \text{ mm}$
$H4 = 11,2 \text{ mm}$	$D5 = 98 \text{ mm}$
$H6 = 2,5 \text{ mm}$	$D_v = 152,1 \text{ mm}$
	$D_c = 162 \text{ mm}$

Napětí σ_0 v bodě průřezu výkovku 0

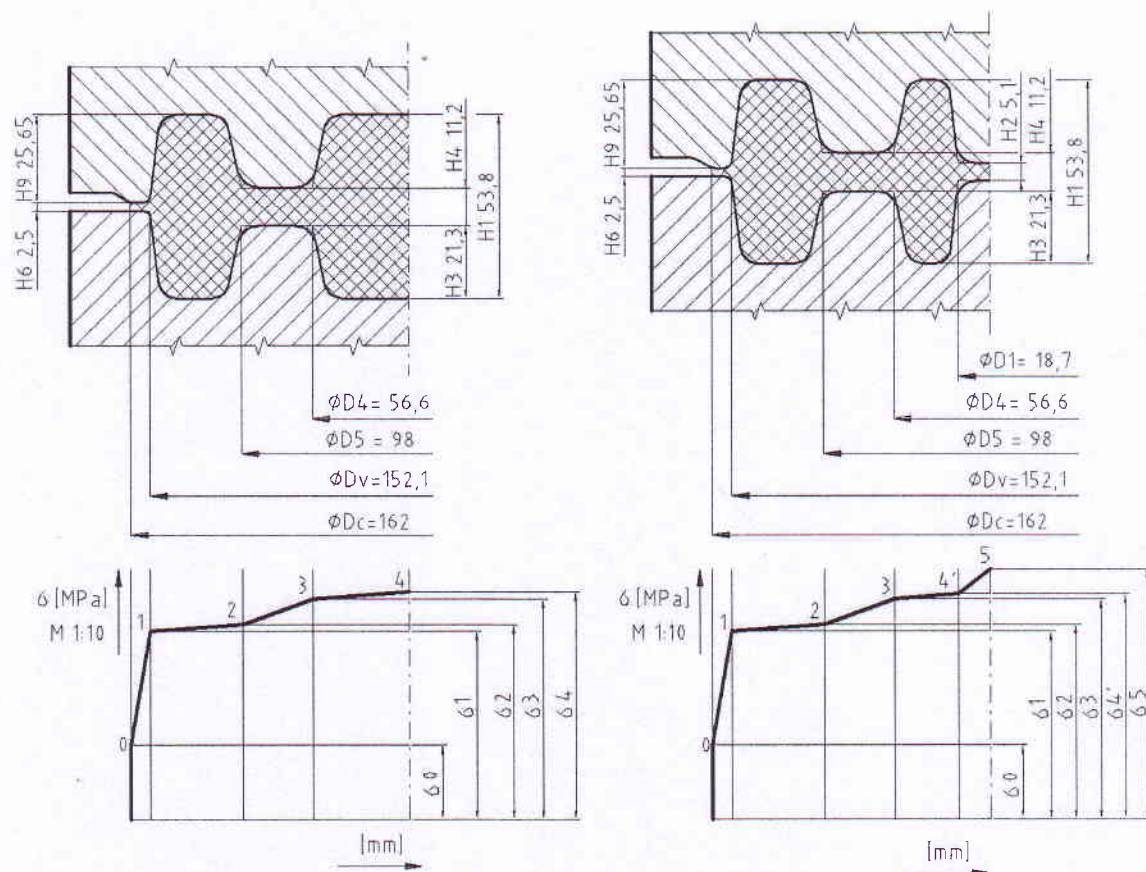
$$\sigma_0 = 1,285 \cdot \sigma_{ps} \cdot C_0 = 1,285 \cdot 40 \cdot 4,2 = 215,9 \text{ MPa}$$

Napětí σ_1 v bodě průřezu výkovku 1

$$\sigma_1 = \sigma_0 + \sigma_{ps} \cdot C_0 \cdot \frac{D_c - D_v}{H6} = 215,9 + 40 \cdot 4,2 \cdot \frac{162 - 152,1}{2,5} = 548,5 \text{ MPa}$$

Napětí σ_2 v bodě průřezu výkovku 2

$$\sigma_2 = \sigma_1 + \sigma_{ps} \cdot \frac{D_v - D_5}{H1} = 548,5 + 40 \cdot \frac{152,1 - 98}{53,8} = 568,6 \text{ MPa}$$



Obr. 3.4 – Průběh normálních napětí v bodech průřezu výkovku vlevo bez předkování a vpravo s předkováním díry

Napětí σ_3 v bodě průřezu výkovku 3

$$\sigma_3 = \sigma_2 + \sigma_{ps} \cdot \frac{D_5 - D_4}{H4} = 568,6 + 40 \cdot \frac{98 - 56,6}{11,2} = \underline{642,5 MPa}$$

Napětí σ_4 v bodě průřezu výkovku 4

$$\sigma_4 = \sigma_3 + \sigma_{ps} \cdot \frac{D_4}{H1} = 642,5 + 40 \cdot \frac{56,6}{53,8} = \underline{663,5 MPa}$$

Napětí $\sigma_{4'}$ v bodě průřezu výkovku 4'

$$\sigma_{4'} = \sigma_3 + \sigma_{ps} \cdot \frac{D_4 - D_1}{H1} = 642,5 + 40 \cdot \frac{56,6 - 18,7}{53,8} = \underline{656,6 MPa}$$

Napětí σ_5 v bodě průřezu výkovku 5

$$\sigma_5 = \sigma_4 + \sigma_{ps} \cdot \frac{D_1}{H2} = 656,6 + 40 \cdot \frac{18,7}{5,1} = \underline{730 \text{ MPa}}$$

3.3.2 Síla vznikající od normálních napětí

- Síla vznikající od normálních napětí je rovna objemu tělesa vzniklého rotací plochy ohraničené křivkou napětí a osou x kolem osy výkovku.

$$F_n = 2 \cdot \pi \cdot \int \sigma \cdot dS_c = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^{n=13} S_i \cdot x_i \quad (3.13)$$

- Výsledky jednotlivých napětí v průřezu výkovku:

Bez předkování díry:

napětí $\sigma_0 = 215,9 \text{ MPa}$

napětí $\sigma_1 = 548,5 \text{ MPa}$

napětí $\sigma_2 = 568,6 \text{ MPa}$

napětí $\sigma_3 = 642,5 \text{ MPa}$

napětí $\sigma_4 = 663,5 \text{ MPa}$

S předkováním díry:

napětí $\sigma_0 = 215,9 \text{ MPa}$

napětí $\sigma_1 = 548,5 \text{ MPa}$

napětí $\sigma_2 = 568,6 \text{ MPa}$

napětí $\sigma_3 = 642,5 \text{ MPa}$

napětí $\sigma_4' = 656,6 \text{ MPa}$

napětí $\sigma_5 = 730 \text{ MPa}$

- Výpočet dílčích ploch pod křivkou napětí a vzdáleností těžišť ploch od osy rotace u výkovku bez předkování díry (Obr. 3.5)

Plocha S_{n1} a vzdálenost x_1

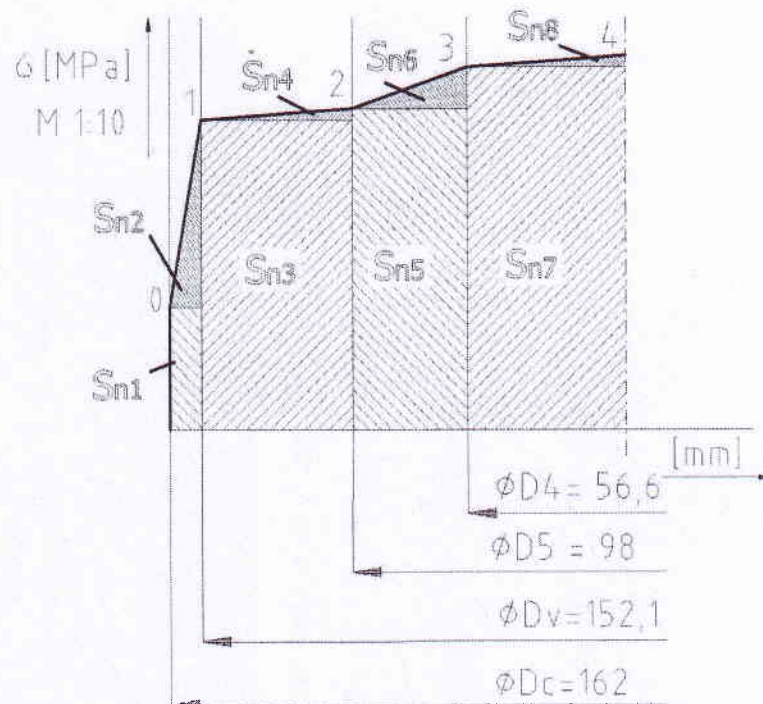
$$S_{n1} = \sigma_0 \cdot \frac{D_c - D_v}{2} = 215,9 \cdot \frac{162 - 152,1}{2} = \underline{1068,7 \text{ MPa} \cdot \text{mm}}$$

$$x_1 = \frac{D_c}{2} - \frac{D_c - D_v}{4} = \frac{162}{2} - \frac{162 - 152,1}{4} = \underline{78,5 \text{ mm}}$$

Plocha S_{n2} a vzdálenost x_2

$$S_{n2} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_0) \cdot (D_c - D_v)}{4} = \frac{(548,5 - 215,9) \cdot (162 - 152,1)}{4} = \underline{823,2 \text{ MPa} \cdot \text{mm}}$$

$$x_2 = \frac{D_v}{2} + \frac{D_c - D_v}{6} = \frac{152,1}{2} + \frac{162 - 152,1}{6} = \underline{77,7 \text{ mm}}$$



Obr. 3.5 – Rozdělení plochy vzniklé pod křivkou normálního napětí na dílčí plochy – bez díry

Plocha S_{n3} a vzdálenost x_3

$$S_{n3} = \sigma_1 \cdot \frac{D_v - D_5}{2} = 548,5 \cdot \frac{152,1 - 98}{2} = \underline{14836,9 \text{ MPa} \cdot \text{mm}}$$

$$x_3 = \frac{D_5}{2} + \frac{D_v - D_5}{4} = \frac{98}{2} + \frac{152,1 - 98}{4} = \underline{62,5 \text{ mm}}$$

Plocha S_{n4} a vzdálenost x_4

$$S_{n4} = \frac{(\sigma_2 - \sigma_1) \cdot (D_v - D_5)}{4} = \frac{(568,6 - 548,5) \cdot (152,1 - 98)}{4} = \underline{1087,4 \text{ MPa} \cdot \text{mm}}$$

$$x_4 = \frac{D_5}{2} + \frac{D_v - D_5}{6} = \frac{98}{2} + \frac{152,1 - 98}{6} = \underline{58 \text{ mm}}$$

Plocha S_{n5} a vzdálenost x_5

$$S_{n5} = \sigma_2 \cdot \frac{D_5 - D_4}{2} = 568,6 \cdot \frac{98 - 56,6}{2} = \underline{11770 \text{ MPa} \cdot \text{mm}}$$

$$x_5 = \frac{D_4}{2} + \frac{D_5 - D_4}{4} = \frac{56,6}{2} + \frac{98 - 56,6}{4} = \underline{38,7 \text{ mm}}$$

Plocha S_{n6} a vzdálenost x_6

$$S_{n6} = \frac{(\sigma_3 - \sigma_2) \cdot (D_5 - D_4)}{4} = \frac{(642,5 - 568,6) \cdot (98 - 56,6)}{4} \\ = 764,9 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$x_6 = \frac{D_4}{2} + \frac{D_5 - D_4}{6} = \frac{56,6}{2} + \frac{98 - 56,6}{6} = 35,2 \text{ mm}$$

Plocha S_{n7} a vzdálenost x_7

$$S_{n7} = \sigma_3 \cdot \frac{D_4}{2} = 642,5 \cdot \frac{56,6}{2} = 18182,8 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

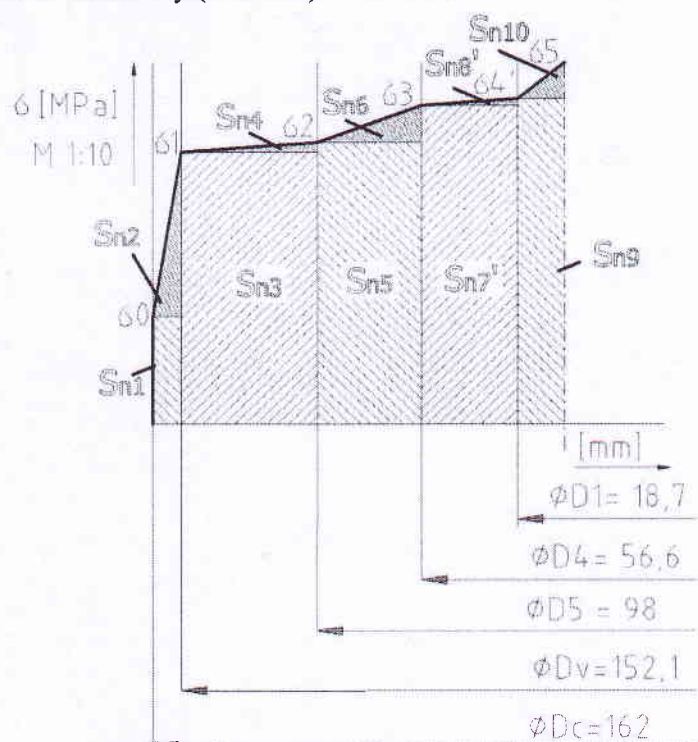
$$x_7 = \frac{D_4}{4} = \frac{56,6}{4} = 14,15 \text{ mm}$$

Plocha S_{n8} a vzdálenost x_8

$$S_{n8} = \frac{(\sigma_4 - \sigma_3) \cdot D_4}{4} = \frac{(663,5 - 642,5) \cdot 56,6}{4} = 297,2 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$x_8 = \frac{D_4}{6} = \frac{56,6}{6} = 9,4 \text{ mm}$$

- Výpočet dílčích ploch pod křivkou napětí a vzdáleností těžišť ploch od osy rotace (S_{n1} až x_6 jsou stejné) u výkovku s předkováním díry (Obr. 3.6)



Obr. 3.5 – Rozdělení plochy vzniklé pod křivkou normálního napětí na dílčí plochy – bez díry

Plocha S_{n7}' a vzdálenost x_7'

$$S_{n7}' = \sigma_3 \cdot \frac{D_4 - D_1}{2} = 642,5 \cdot \frac{56,6 - 18,7}{2} = \underline{12175,4 \text{ MPa} \cdot \text{mm}}$$

$$x_7' = \frac{D_1}{2} + \frac{D_4 - D_1}{4} = \frac{18,7}{2} + \frac{56,6 - 18,7}{4} = \underline{18,8 \text{ mm}}$$

Plocha S_{n8}' a vzdálenost x_8'

$$S_{n8}' = \frac{(\sigma_4' - \sigma_3) \cdot (D_4 - D_1)}{4} = \frac{(656,6 - 642,5) \cdot (56,6 - 18,7)}{4} \\ = \underline{133,6 \text{ MPa} \cdot \text{mm}}$$

$$x_8' = \frac{D_1}{2} + \frac{D_4 - D_1}{6} = \frac{18,7}{2} + \frac{56,6 - 18,7}{6} = \underline{15,67 \text{ mm}}$$

Plocha S_{n9} a vzdálenost x_9

$$S_{n9} = \sigma_4' \cdot \frac{D_1}{2} = 656,6 \cdot \frac{18,7}{2} = \underline{6139,2 \text{ MPa} \cdot \text{mm}}$$

$$x_9 = \frac{D_1}{4} = \frac{18,7}{4} = \underline{4,68 \text{ mm}}$$

Plocha S_{n10} a vzdálenost x_{10}

$$S_{n10} = \frac{(\sigma_5 - \sigma_4') \cdot D_1}{4} = \frac{(730 - 656,6) \cdot 18,7}{4} = \underline{343,2 \text{ MPa} \cdot \text{mm}}$$

$$x_{10} = \frac{D_1}{6} = \frac{18,7}{6} = \underline{3,12 \text{ mm}}$$

Tab. 3.1 – Součet ploch ohraničených křivkou napětí a osou x

Plocha	S_{ni} [MPa·mm]	x_i [mm]	$S_{ni} \cdot x_i$
S_{n1}	1068,7	78,5	83893
S_{n2}	823,2	77,7	63962,6
S_{n3}	14836,9	62,5	927306,3
S_{n4}	1087,4	58	63069,2
S_{n5}	11770	38,7	455499
S_{n6}	764,9	35,2	26924,5
S_{n7}	18182,8	14,15	257286,6
S_{n8}	297,2	9,4	2793,7
$S_{n7'}$	12175,4	18,8	228897,5
$S_{n8'}$	133,6	15,67	2093,5
S_{n9}	6139,2	4,68	28731,5
S_{n10}	343,2	3,12	1070,8
$\sum_{i=1}^{n=8} x_i \cdot S_{ni}$ $S_{n1} \times x_1$ až $S_{n8} \times x_8$			1880734,9
$\sum_{i=1}^{n=8} x_i \cdot S_{ni}$ $S_{ni} \times x_i$ nepočítá se $S_{n7,8}$ a $x_{7,8}$			1881447,9

- Síla vznikající od normálních napětí

- Bez předkování díry

$$F_n = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^{n=8} x_i \cdot S_{ni} = 2 \cdot \pi \cdot 1880734,9 = \underline{11811015N}$$

- S předkováním díry

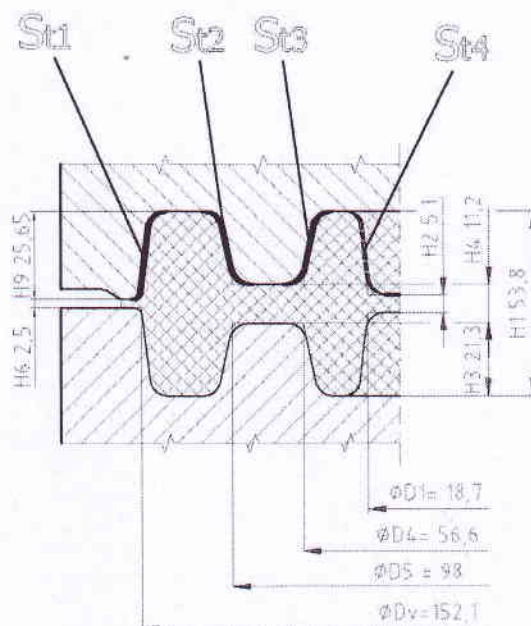
$$F_n' = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^{n=8} x_i \cdot S_{ni} = 2 \cdot \pi \cdot 1881447,9 = \underline{11815493N}$$

3.3.3 Síla vznikající od tangenciálních napětí

- Vedle normálních napětí vznikají na povrchu bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápustky napětí tangenciální.

Maximální hodnota tangenciálního napětí je rovna $\frac{\sigma_{ps}}{2}$ Síla vznikající od tangenciálního napětí se vyjádří:

$$F_t = \frac{\sigma_{ps}}{2} \cdot \sum_{i=1}^{n=3} \Delta S_{ti} = \frac{\sigma_{ps}}{2} \cdot S_t$$



Obr. 3.6 – Na silně vyznačené plochy v horním dílu zápusky působí tangenciální napětí (s dírou a bez díry)

$$\begin{aligned} H2 &= 5,1 \text{ mm} \\ H3 &= 21,3 \text{ mm} \\ H4 &= 11,2 \text{ mm} \\ H9 &= 25,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D1 &= 18,7 \text{ mm} \\ D4 &= 56,6 \text{ mm} \\ D5 &= 98 \text{ mm} \\ D_v &= 152,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Výpočet ploch na které působí tangenciální napětí (Obr. 3.6)

Plocha S_{t1}

$$S_{t1} = \pi \cdot D_v \cdot H9 = \pi \cdot 152,1 \cdot 25,65 = \underline{12250,3 \text{ mm}^2}$$

Plocha S_{t2}

$$S_{t2} = \pi \cdot D_5 \cdot H3 = \pi \cdot 98 \cdot 21,3 = \underline{6554,4 \text{ mm}^2}$$

Plocha S_{t3}

$$S_{t3} = \pi \cdot D_4 \cdot H3 = \pi \cdot 56,6 \cdot 21,3 = \underline{3785,5 \text{ mm}^2}$$

Plocha S_{t4}

$$S_{t4} = \pi \cdot D_1 \cdot \left(H3 + \frac{H4}{2} - \frac{H2}{2} \right) = \pi \cdot 18,7 \cdot \left(21,3 + \frac{11,2}{2} - \frac{5,1}{2} \right) = \underline{1429,8 \text{ mm}^2}$$

Bez předkování díry

$$\sum_{i=1}^{n=3} \Delta S_{ti} = \underline{22590,2 \text{ mm}^2}$$

S předkováním díry

$$\sum_{i=1}^{n=4} \Delta S_{ti} = \underline{24020 \text{ mm}^2}$$

- Síla vznikající od tangenciálních napětí

- Bez předkování díry

$$F_t = \frac{\sigma_{ps}}{2} \cdot \sum_{i=1}^{n=3} \Delta S_{ii} = \frac{40}{2} \cdot 22590,2 = \underline{451804N} \quad (3.14)$$

- S předkováním díry

$$F_t' = \frac{\sigma_{ps}}{2} \cdot \sum_{i=1}^{n=4} \Delta S_{ii} = \frac{40}{2} \cdot 24020 = \underline{480400N}$$

3.3.4 Výsledná kovací síla

- Bez předkování díry

-

$$F_k = F_n + F_t = 11811015 + 451804 = 12262819 = \underline{\underline{12,26MN}}$$

- S předkováním díry

$$F_k = F_n + F_t = 11815493 + 480400 = 12295893 = \underline{\underline{12,3MN}}$$

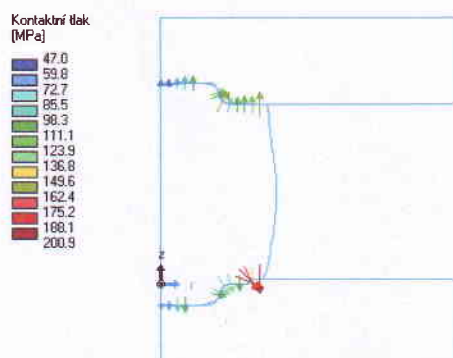
3.3.5 Volba varianty kování

Rozdíl kovacích sil u variant bez předkování díry a s předkováním díry je minimální. Dokonce při výpočtech tvářecích sil např. dle Storoževa a Rebeljskeho vychází kovací síly totožně. Důvodem je zadávání stejných hodnot (průmět plochy, průměr výkovku, celkový průměr, šířka můstku, výška výronkového můstku) do empirických vzorců. Výhodou předkování je úspora materiálu. Nevýhodou jsou větší náklady na nástroje (zápustky). Vlivem vysokých teplot a mechanickému namáhání by docházelo k velkému opotřebení předkovacího čepu a tím i snížení životnosti. Varianta s předkováním díry byla navržena s ohledem na větší úsporu materiálu. Byl proveden výpočet tloušťky blány, ale za rizika obtíží při kování. Také by bylo velice obtížné děrování a návrh děrovací matrice. Z těchto důvodů volím variantu bez předkování díry.

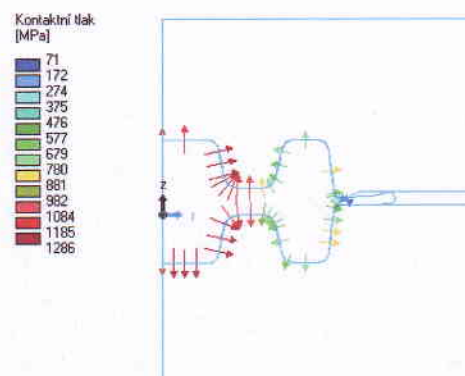
3.4 Kontrola tvářecího procesu pomocí simulace

Simulace byla prováděna na VUT Brno FSI, odbor tváření ÚST v softwaru FormFem. Podle základních vstupních konstrukčních parametrů předkovací (Příloha č.4), dokončovací (Příloha č.5), zápustky, rozměru přířezu a technologických parametrů (materiál výkovku, materiál nástroje, kovací teplota, teplota nástroje, mazivo, rychlost beranu, přestup tepla) se vytvoří model, pro který se provádí výpočet pomocí metody konečných prvků. Výsledek simulace v softwaru FormFem ukazuje celkový průběh tvářecího procesu. A sice intenzitu přetvoření a napětí vyjadřující účinek sledovaného přetvoření a napjatosti v bodě přetvářeného tělesa (Obr. 3.11, 3.12), průběh vrstevnic (Obr. 3.13), rozložení tlaků v předkovací (Obr. 3.7) a dokončovací (Obr. 3.8) dutině pomocí, kterého zjišťujeme namáhání nástroje, rozložení teploty ve výkovku (Obr. 3.9, 3.10), kde je patrné snížení teploty výkovku v místech styku s nástrojem a síly působící na nástroj (Obr. 3.14).

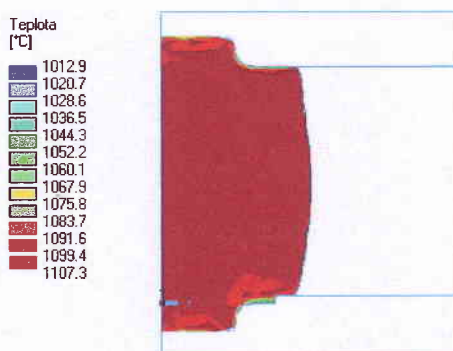
Výstupy ze softwaru FormFem:



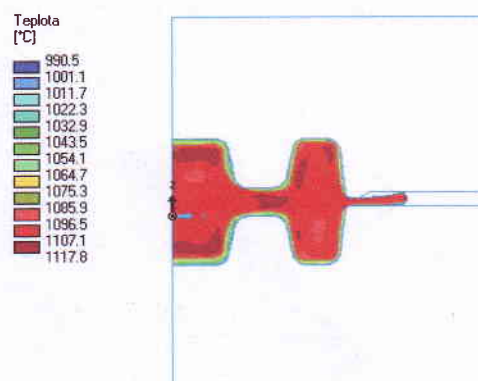
Obr. 3.7 – Kontaktní tlak působící na předkovací dutinu



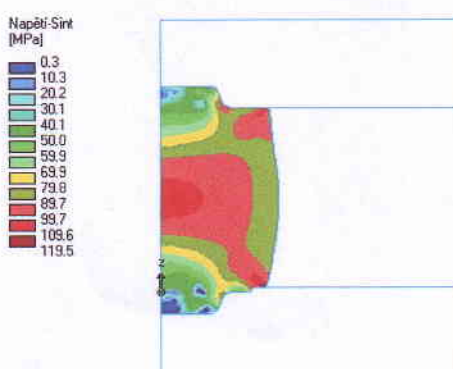
Obr. 3.8 – Kontaktní tlak působící na dokončovací dutinu



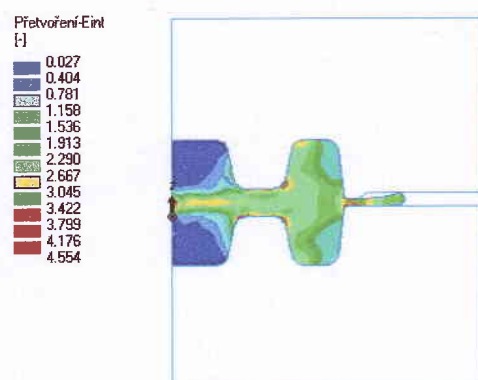
Obr. 3.9 – Rozložení teploty součásti při předkovací operaci



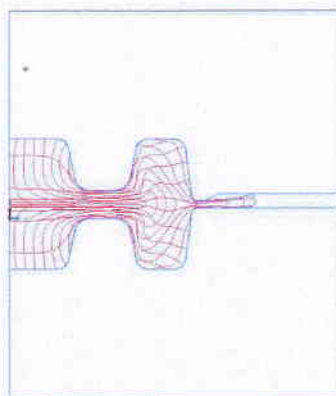
Obr. 3.10 – Rozložení teploty součásti při dokončovací operaci



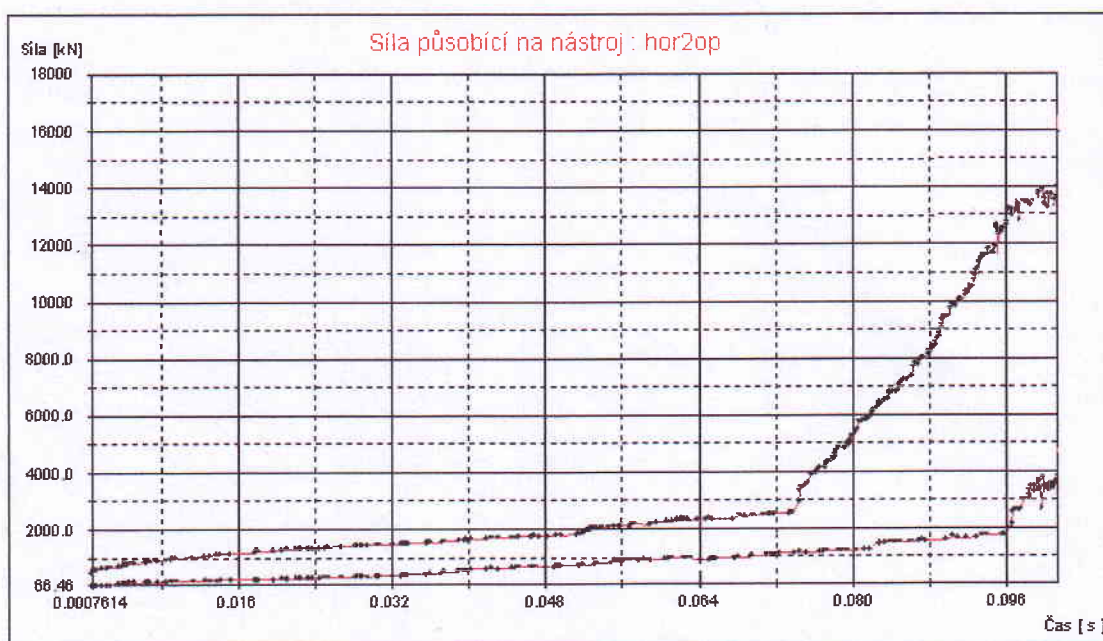
Obr. 3.11 – Intenzita napětí při předkovací operaci



Obr. 4.12 – Intenzita přetvoření při dokončovací operaci



Obr. 3.13 – Průběh vrstevnic dokončovací operaci



Obr. 3.14 – Síly působící na nástroj

- a) horní křivka – ve směru rázu
- b) dolní křivka – kolmo k rázu

Analýzou provedenou simulačním softwarem FormFem bylo zjištěno, že na kontaktní tlak bude u dokončovací dutiny nejvíce namáhána oblast náboje pastorku, kdy maximální tlak dosahuje hodnot 1286 MPa (Obr. 3.8). Potřebná tvářecí síla je dle výstupu programu FormFem 14MN (Obr. 3.14). Dále teplota v místech výronku výrazně nepoklesne, což je výhodné pro další operaci ostřížení výronku (Obr. 3.10).[2],[4]

3.5 Srovnání výpočtových metod kovací síly

Dle [1] jsem provedl srovnání použitých metod kovacích sil, kdy se za 100% se považuje výpočet pomocí Tomlenova (ČSN 22 8306), viz. (Obr. 3.15).

STOROŽEV	136%
EUMUCO	114%
software DEFORM	114%
ČSN 22 8306 - inf. výpočet	110%
ČSN 22 8306 - teor. výpočet	100%
REBELJSKI - BRJUCHANOV	81%

Obr. 3.15 – Srovnání výpočtových metod kovací síly

3.6 Návrh tvářecího stroje

Porovnáním výpočtů tvářecích sil volím pro kování polotovaru pastorku svislý kovací lis LMZ 2500 (výrobce Šmeral Brno a.s.), (Příloha č.18). Žádná z vypočtených sil dle kapitoly 3.5 nedosahuje jmenovité hodnoty tvářecí síly zvoleného lisu. Lis je volen s ohledem na budoucí řešení automatizace řízení lisu např. opatření elektronickým transferem. (K upnutí zápusťkových bloků bude použit univerzální upínač zápusťek QLMZ 2500/UC (Příloha č.19).

3.7 Výpočet ostříhovací síly

Po vykování zůstane na obvodě výkovku přebytečný materiál (výronek), který je nutné odstranit ostřížením. Výpočet střížné síly:

- Průměr výkovku $D_v = 152,1 \text{ mm}$
- Výška výronku $h = 2,5 \text{ mm}$
- Mez pevnosti(14220) $R_m = 800 \text{ MPa}$
- Koeficient vnějš. vlivů volím 1,7
(razník nedosedá na výrobek, ale tlačí na výkovek)
- Bezpečnost 2

$$F_{str} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot O \cdot 2h = 2,7 \cdot R_m \cdot O \cdot h = 2,72 \cdot 800 \cdot \pi \cdot 152,1 \cdot 2,5 = \underline{2,6 \text{ MN}}$$

3.8 Návrh ostříhovacího stroje

Dle výpočtu ostříhovací síly volím ostříhovací lis LDO 315 A/1 (výrobce Šmeral Brno a.s.), (Příloha č.20)

3.9 Kontrola rozměrů zápustkového bloku

3.9.1 Předkovací zápustka - ověření

Kontrola provedena dle normy ČSN 22 8306, rozměry dle výkresu č. DP2012 – 04, (Příloha č.4).

- Průměr dutiny $D = 81,5 \text{ mm}$
- Hloubka dutiny $H = 12 \text{ mm}$

$$D_{BLOKU_a} \geq D + 0,2 \cdot (D + H) + 5 = 81,5 + 0,2 \cdot (81,5 + 12) + 5 = \underline{105,2mm} \quad (3.15)$$

Minimální průměr zápustkového bloku je 105,2 mm, což vyhovuje konstrukčnímu řešení dle výkresu č. DP2012 – 04, (Příloha č.4).

3.9.2 Dokončovací zápustka - ověření

Kontrola provedena dle normy ČSN 22 8306, rozměry dle (Obr. 4.2)

- Průměr dutiny $D_v = 152,1 \text{ mm}$
- Hloubka dutiny $H8 = 25,65 \text{ mm}$

$$D_{BLOKU_b} \geq D_v + 0,4 \cdot (D_v + H8) + 10 = 152,1 + 0,4 \cdot (152,1 + 25,65) + 10 = \underline{233,2mm} \quad (3.16)$$

Minimální průměr zápustkového bloku je 233,2 mm, což vyhovuje konstrukčnímu řešení dle výkresu č. DP2012 – 05, (Příloha č.5).

3.10 Stupeň prokování

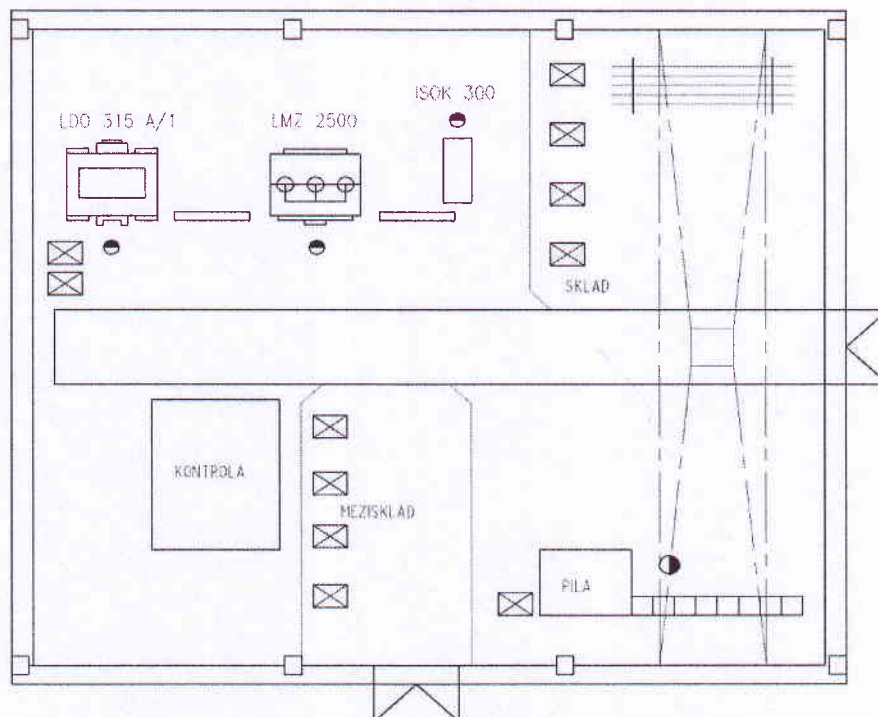
Stupeň prokování vyjadřuje změnu rozměru (průměru, délky, atd.) před provedením tvářecí operace a po ní. Tím dosahujeme zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností, které jsou od konstruktérů požadovány. Je známo, že velikost deformace není v celém průřezu výkovku stejná a musíme brát vypočtenou hodnotu jako průměrnou a tak posoudit do jaké míry je výkovek protvářen.

- Průměr polotovaru $d_{polotovaru} = 80 \text{ mm}$
- Průměr výkovku $D = 150,5 \text{ mm}$

$$K = \left(\frac{D}{d_{polotovaru}} \right)^2 = \left(\frac{150,5}{80} \right)^2 = \underline{1,9} \quad (3.17)$$

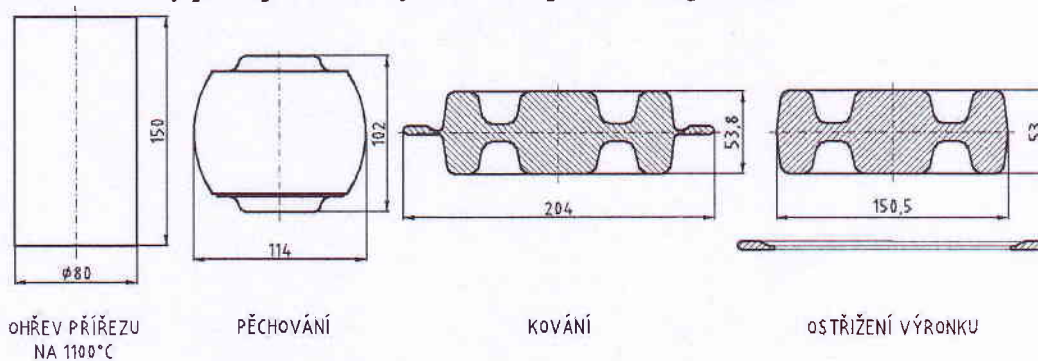
3.11 Rozvržení pracoviště, schématický postup kování a postupový list

3.11.1 Rozvržení pracoviště v dílně

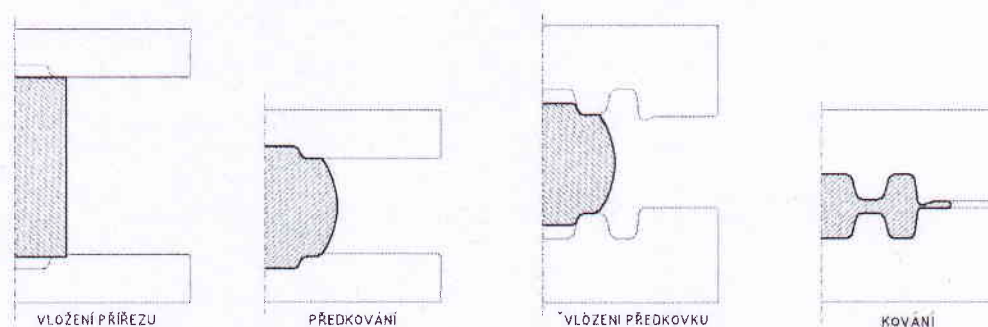


Obr. 3.16 – Rozvržení pracoviště kovací linky v dílně

3.11.2 Schématický postup kování a jednotlivé operace v zápustkách



Obr. 3.17 – Schématický postup kování



Obr. 3.18 – Schématický jednotlivých operací v zápustkách

3.11.3 Pracovní postup

Tab. 3.2 – Pracovní postup

PRACOVNÍ POSTUP			
Název výkovku: VÝKOVEK – d150,5 .1		Číslo výkresu výkovku: DP2012 - 01	Číslo výkresu součásti: DP2012 - 01
Č. operace	Název operace:		
1.	Dělení materiálu – řezání		
	Jakost materiálu: 14220,0	Profil polotovaru: Ø 80 mm	ČSN materiálu: 42 5510.21
	Stroj: pásová pila	Délka: 150 + 1 mm	Hmotnost přířezu: 5,9 kg
	Nástroje a pomůcky: pilový pás, posuvné měřítko		
2.	Kontrola přířezu		
	Způsob kontroly: kontrola hmotnosti a jakosti přířezu po 20 kusech		
	Nástroje a pomůcky: posuvné měřítko		
3.	Kování v kovací lince		
	A	Indukční ohřev	
		Stroj: ISOK 300	Teplota: 1100°C ± 20°C
		Nástroje a pomůcky: dotykový pyrometr, manipulační kleště	
	B	Kování	
		Stroj: LMZ 2500	Kovací teplota: 1100 °C ± 20 °C
		Kovací síla: 12,26 MN	
		1. operace: pěchovat	
		Nástroje a pomůcky: předkovací zápustky (300°C), mazivo + ofuk okují, kovářské kleště	
		2. operace: dokovat	
	Nástroje a pomůcky: dokončovací zápustky (300°C), mazivo + ofuk okují, kovářské kleště		
	C	Ostřih	
Stroj: LDO 315 A/1		Hmotnost výkovku: 4,9 kg	
Střížná síla: 2,6 MN			
Nástroje a pomůcky: ostřihovací nástroj, manipulační kleště			
4.	Tepelné zpracování		
	Druh: normalizační žihání na 530 – 735 MPa		Agregát: vozová pec
	Nástroje a pomůcky: manipulační kleště, manipulační koš		
5.	Kontrola tvrdosti		
	Požadovaná tvrdost: 152 – 211 HB		
	Nástroje a pomůcky: tvrdoměr, pracoviště pro přípravu měření tvrdosti		
6.	Tryskání		
	Stroj: Tryskací zařízení PTB3		
	Nástroje a pomůcky: tryskací kabina - ocelová drť		

4 NÁVRH SESTAVY A VÝROBNÍCH VÝKRESŮ

- Zadány byly:

výkres součásti

název: PASTOREK d140

číslo výkresu: DP2012 – 01

- Zkonstruovány byly:

výkres zápusťkového výkovku

název: VÝKOVEK d150,5 .1

číslo výkresu: DP2012 – 02

výkres neostříženého výkovku

název: NEOSTŘÍŽENÝ VÝKOVEK .1

číslo výkresu: DP2012 – 03

výkres předkovací zápusťky

název: PŘEDKOVACÍ ZÁPUSTKA .1

číslo výkresu: DP2012 – 04

výkres dokončovací zápusťky

název: DOKONČOVACÍ ZÁPUSTKA .1

číslo výkresu: DP2012 – 05

výkres sestavy

název: KOVACÍ ZÁPUSTKY .1

číslo výkresu: DP2012 – 06

výkres vyhazovacího kolíku

název: VYHAZOVARÍ KOLÍK d16

číslo výkresu: DP2012 – 07

upínač válcovitých zápusťek

název: UPÍNÁNÍ ZÁPUSTEK.1

číslo výkresu: DP2012 – 08

výkres zápusťkového výkovku

název: VÝKOVEK d150,5 .2

číslo výkresu: DP2012 – 09

výkres neostříženého výkovku

název: NEOSTŘÍŽENÝ VÝKOVEK .2

číslo výkresu: DP2012 – 10

výkres předkovací zápusťky

název: PŘEDKOVACÍ ZÁPUSTKA .2

číslo výkresu: DP2012 – 11

výkres dokončovací zápusťky

název: DOKONČOVACÍ ZÁPUSTKA .2

číslo výkresu: DP2012 – 12

výkres sestavy

název: KOVACÍ ZÁPUSTKY .2

číslo výkresu: DP2012 – 13

výkres vyhadzovacího kolíku

název: VYHAZOVACÍ KOLÍK d10

číslo výkresu: DP2012 – 14

upínač válcovitých zápuštěk

název: UPÍNÁNÍ ZÁPUSTEK.2

číslo výkresu: DP2012 – 15

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

5.1 Životnost kovacíh zápustek

Životnost kovacíh zápustek závisí především na druhu a složitosti tvaru výkovku, na materiálu zápustky a na počtu vykonaných pracovních zdvihů. V našem případě se budeme zabývat životností dokončovací zápustky (č.v.: DP2012 – 05), (Příloha č.5). Předkovací zápustku (č.v.: DP2012 – 04), (Příloha č.4) uvažují s životností na celou sérii 160 000 ks za rok s jednou opravou jejich čel.

V našem případě je série 160 000 ks za rok a na jedné dokončovací zápustce je možné vykovat 20 000 ks do její výměny (včetně oprav zápustky). Na ostřížení výronku uvažují jednu výměnu ostříhovacího nástroje.

5.2 Cena zápusťkového výkovku

- **celkový počet kusů výkovků**
 $a = 160000ks$
- **celková životnost dokončovací zápustky**
 $b = 20000ks$
- **počet kusů dokončovacích zápustek**
$$c = \frac{a}{b} = \frac{160000}{20000} = 8ks$$

hmotnost dokončovací zápustky $m_1 = 180kg$
- **počet kusů předkovcích zápustek**
 $d = 1ks$
hmotnost předkovací zápustky $m_2 = 145kg$
- **počet kusů ostříhovacích nástrojů**
 $e = 2ks$
hmotnost ostříhovacího nástroje $m_3 = 160kg$
- **Spotřebovaná hmotnost nástrojů na 160 000 ks výkovků**
$$m_{nc} = c \cdot m_1 + d \cdot m_2 + e \cdot m_3 = 8 \cdot 180 + 1 \cdot 145 + 2 \cdot 160 = 1905kg$$
- **cena 1kg tvářecích nástrojů**
 $f = 810Kč/kg$
(cena obsahuje materiál, obrobení a tepelné zpracování předkovacích a dokončovacích zápustek a ostříhovacího nástroje)
- **celková cena spotřebovaných tvářecích nástrojů**
$$g = m_{nc} \cdot f = 1905 \cdot 810 = 1543050Kč$$

- **podíl ceny tvářecích nástrojů na jeden kus výrobku**

$$h = \frac{g}{a} = \frac{1543050}{160000} = \underline{9,6Kč / ks}$$

- **cena výchozího materiálu na 1ks**

- materiál 14 220.0
- cena materiálu 20 Kč/kg
- tyče Ø80 x 4000dl. s povrchem pro tváření ČSN 42 5510.21 (uvažován prořez pásové pily 3mm a přídavek na konce tyčí 50mm)

$$m_{tyce} = 158kg$$

- rozměr přířezu Ø80 x 150dl.
- počet ks. přířezu z jedné tyče 26ks

$$i = \frac{m_{tyce} \cdot (cena_za_kg)}{(ks_priřezu_z_1_tyce)} = \frac{158 \cdot 20}{26} = \underline{121,5Kč / ks}$$

- **směnnost pracoviště kovací linky**
dvousměnný provoz

- **počet výkovků za směnu**
 $j = 1300ks$

- **počet směn na výrobu celé série**
 $k = \frac{a}{j} = \frac{160000}{1300} = 124 \text{ směn}$

- **počet pracovníků v jedné směně**
3 pracovníci

- **normohodin na jeden kus výkovku**
 $Nh = 0,02hod / ks$

- **cena normohodiny v kovárně**
140 Kč

- **mzda na jeden kus**
 $l = Nh \cdot 120 = 0,02 \cdot 140 = \underline{2,8Kč}$

- **celková režie**
1600%

- **cena vratného materiálu na 1ks**

cena šrotu 4Kč/kg

$$p = (m_{vyk} - m_{otrizeny}) \cdot 3 = (5,9 - 4,9) \cdot 4 = 4Kč$$

- **cena 1 kusu výkovku**

$$x = h + i + l + l \cdot 1600\% - p = 9,6 + 121,5 + 2,8 + 2,8 \cdot 16 - 4 = \underline{\underline{174,7 \text{ Kč}}}$$

Jako jeden z prostředků snížení pracnosti a doby na výrobu výkovku se jeví zavedení mechanizace pomocí robotů. V tomto případě by došlo ke snížení mezd, ale mohlo by dojít k nárůstu režie kovárny.

5.3 Cena součásti podobné zápustkovému výkovku vyráběná pomocí třískového obrábění

- **cena výchozího materiálu 14 220; Ø160 x 70 (20 Kč/kg)**

$$a' = m_{\text{kotouce}} \cdot \text{cena} = 7,6 \cdot 20 = \underline{\underline{152 \text{ Kč} / \text{ks}}}$$

- **normohodin na jeden kus obrobené součásti**

$$Nh' = 1,2 \text{ hod} / \text{ks}$$

- **cena normohodiny v obrobě**
120 Kč

- **mzda na jeden kus**

$$b' = Nh' \cdot 120 = 1,2 \cdot 120 = 144 \text{ Kč}$$

- **celková reжіe**
1300%

- **cena vratného materiálu na 1ks**

cena šrotu 4Kč/kg

$$p' = (m_{\text{kotouce}} - m_{\text{soucasti}}) \cdot 4 = (7,6 - 5,7) \cdot 4 = 7,6 \text{ Kč}$$

- **cena 1 kusu obrobku**

$$x' = a' + b' + b' \cdot 1300\% - p' = 152 + 144 + 144 \cdot 13 - 7,6 = \underline{\underline{2160,4 \text{ Kč}}}$$

5.4 Zhodnocení ekonomického propočtu

Cena zápustkového výkovku je **174,7 Kč**

Cena obrobené součásti podobné výkovku **2160,4 Kč**

Zápustkový výkovek je mnohem levnější jak cena stejného tvaru vyrobeného pomocí třískového obrábění. Další výhodou je kratší výrobní čas celé dávky, úspora materiálu a lepší průběh vláken výkovku oproti obrobené součásti, což příznivě ovlivňuje mechanické vlastnosti pastorku.

6 ZÁVĚR

V diplomové práci je uvedena studie současných znalostí z technologie objemového tváření za tepla, přesněji zápusťkového kování. V literární rešerši o kování jsem se zmínil o technologických přídavicích, přípravě polotovaru, kovací teplotě a zařízení sloužící pro ohřev na kovací teplotu, dělicí rovině, apod. Je zde i popis některých bodů, které se týkají konstrukce zápusťkového nástroje. V kapitole tři řeším současný stav výroby zadané součásti PASTOREK, č.v.: DP2012 - 01 a volím nejvhodnější možné technologické řešení. Detailně vybrané řešení rozebírám ve 3 kapitole. Určuji kovací sílu nejprve pomocí informativního a teoretického výpočtu podle normy ČSN 22 8306, dále dle diagramu EUMUCO a autorů Rebeljski-Brjuchanov a dle Storoževa. Spolu se schématickým postupem výroby uvádím i postupový list. Navrhnuťo bylo i schéma pracoviště kovací linky v dílně. Významnou úlohu v práci hraje i zhodnocení tvářecího procesu pomocí simulačního softwaru FormFem. V kapitole páté s technicko – ekonomickým zhodnocením jsem nejprve stanovil cenu jednoho kusu zápusťkového výkovku a pak cenu součásti, která má tvar zápusťkového výkovku a je vyráběná pomocí třískového obrábění. A obě ceny jsem porovnal.

Diplomová práce poukazuje na to, že zápusťkovým kováním šetříme jednak materiál a výrobní časy, což výrazně snižuje cenu samotného výkovku. Nespornou výhodou výkovku je lepší prokování a průběh vláken. Tím se samozřejmě zhodnocují mechanické vlastnosti obrobeného kusu. Než začne výroba zápusťkových výkovků polotovaru pastorku, je nutné provést kovací zkoušku

Kovárenství se dále může zlepšovat postupnou automatizací a zvýšením taktu např. kovacími linkami, použitím manipulačních robotů a robotů na mazání zápusťek, apod. Dále nesmíme zapomenout na vývoj nových maziv a materiálů na zápusťky s vyšší životností.

Seznam použitých zdrojů

- [1] FOREJT, M. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 168 s. ISBN 80-214-2764-7
- [2] HAŠEK, V. a KOL. , *Kování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1965. 732 s. 04-233-65
- [3] ELFMARK, J. *Tváření kovů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1992. 528 s. ISBN 80-03-00651-1
- [4] ĎÁSEK, J. *Zápustky a jejich tepelné zpracování*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1966. 120 s. 04-233-66
- [5] DRASTÍK, F. *Výpočty z oboru kování a lisování*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1972. 192 s. 04-227-72
- [6] KOTOUČ, J., ŠANOVEC, J., ČERMÁK, J. a MÁDLE, L. *Tvářecí stroje*. 1.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT. 1993. 349s. ISBN 80-01-01003-1
- [7] NOVOTNÝ, K. a KOPŘIVA, M. Počítačová simulace v zápustkovém kování. *Kovárenství – časopis SVAZU KOVÁREN ČESKÉ REPUBLIKY*. Červen 2003, č.22, s.3-6. ISSN 1213-9829
- [8] NOVOTNÝ, K. a KOPŘIVA, M. Zvýšení životnosti nástrojů při výrobě ventilů s aplikací odporového ohřevu. *Kovárenství – časopis SVAZU KOVÁREN ČESKÉ REPUBLIKY*. Duben 2006, č.27, s.22-24. ISSN 1213-9829
- [9] HÝSEK, R. *Tvářecí stroje*. 3. vyd. Praha: SNTL, 1980. 552 s. 04-211-80
- [10] SVAZ VÝROBCŮ A DODAVATELŮ STROJÍRENSKÉ TECHNIKY. *Katalog obráběcích a tvářecích strojů 2002-2004*. 1. vyd. Praha
- [11] ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE TVÁŘECÍCH STROJŮ, *Katalog pro konstruktéry, Žďárské strojírny a slévárny, národní podnik*. Žďár n. s. 1963
- [12] BŘEZINA, R. *Technologie slévání, tváření a svařování – návody do cvičení*. 3. vyd. Ostrava: Editační středisko VŠB. 1989. 171s.
- [13] Norma ČSN 22 8306
- [14] Norma ČSN 42 9030

Seznam použitých zkratk a symbolů

A_k	[J]	potřebná práce při posledním úderu bucharu (kruhový výkovek)
A_n	[J]	potřebná práce při posledním úderu bucharu (nekruhový výkovek)
b	[mm]	šířka můstku výronkové drážky
B_s	[mm]	střední výška výkovku
b_z	[mm]	šířka zásobníku výronkové drážky
c_0	[-]	součinitel snížení plasticity za kovací teploty v místech výronku
$D1-D10$	[mm]	jednotlivé průměry výkovku dle výkresu č. DP2012 - 03 a č. DP2012 - 10
D_{BLOKUa}	[mm]	minimální průměr zápusťkového bloku (předkovací operace)
D_{BLOKUb}	[mm]	minimální průměr zápusťkového bloku (dokončovací operace)
$D_{polotovaru}, D_{polotovaru}'$	[mm]	průměr polotovaru (přířezu)
D_c	[mm]	průměr neostřiženého výkovku
D_v	[mm]	průměr výkovku
F_e	[N]	tvářecí síla stanovená dle diagramu EUMUCO (Příloha č.17)
F_k	[N]	tvářecí síla dle ČSN 22 8306
F_{k-reb}	[N]	tvářecí síla dle Rebeljski - Brjuchanov
F_n, F_n'	[N]	síla vzniklá od normálních napětí působících na nástroj
F_s	[N]	tvářecí síla dle Storoževa
F_{str}	[N]	ostřihovací síla
F_t, F_t'	[N]	síla vzniklá od tečných napětí působících na nástroj
h	[mm]	výška můstku výronkové drážky
$H1-H9$	[mm]	jednotlivé výšky výkovku dle výkresu č. DP2012 - 03 a č. DP2012 - 10
L	[mm]	délka výkovku
$m_{polotovaru}, m_{polotovaru}'$	[kg]	hmotnost polotovaru
$m_{výk}, m_{výk}'$	[kg]	hmotnost výkovku
n'	[-]	štíhlostní poměr (volí se od 1,5 - 2,5)
n	[mm]	hloubka zásobníku výronkové drážky
O	[mm]	vnější obvod ostřiženého výkovku
R_m	[MPa]	mez pevnosti materiálu v tahu

$S_{n1}-S_{n10}, S_{n7}', S_{n10}'$	[MPa.mm]	dílčí plochy vzniklé pod křivkou normálních napětí působících na nástroj
S_1-S_{16}, S_4'	[mm ²]	dílčí plochy průřezu neostříženého výkovku
$S_{t1}-S_{t4}$	[mm ²]	plocha výkovku na které působí tangenciální napětí
S_{max}, S_{max}'	[mm ²]	celková plocha průřezu neostříženého výkovku
S_v	[mm ²]	plocha průmětu výkovku do dělicí roviny záпустky
T_1-T_{16}, T_4'	[mm]	vzdálenosti těžišť dílčích ploch průřezu neostříženého výkovku k ose rotace
T_c, T_c'	[mm]	vzdálenost těžiště plochy průřezu výkovku od osy rotace
x_1-x_8, x_7', x_8'	[mm]	vzdálenosti těžišť dílčích ploch vzniklých pod křivkou normálních napětí působících na nás.
α	[-]	opravný součinitel (volí se od 0,015 - 0,017)
δ	[%]	opal - volba dle způsobu ohřevu (od 1 - 6%)
ρ	[kg/m ³]	hustota
$\sigma_0-\sigma_5, \sigma_4'$	[MPa]	normální napětí v jednotlivých průřezích výkovku označených 0 - 4
σ_p	[MPa]	přirozený přetvárný odpor materiálu
σ_{ps}	[MPa]	mez pevnosti materiálu za kovací teploty

Seznam příloh

Příloha 1	výkres: PASTOREK	č.v.: DP2012-01
Příloha 2	výkres: VÝKOVEK - d150,5 .1	č.v.: DP2012-02
Příloha 3	výkres: NEOSTŘIŽENÝ VÝKOVEK .1	č.v.: DP2012-03
Příloha 4	výkres: PŘEDKOVACÍ ZÁPUSTKA .1	č.v.: DP2012-04
Příloha 5	výkres: DOKONČOVACÍ ZÁPUSTKA .1	č.v.: DP2012-05
Příloha 6	výkres: KOVACÍ ZÁPUSTKY .1	č.v.: DP2012-06
Příloha 7	výkres: VYHAZOVACÍ KOLÍK .1	č.v.: DP2012-07
Příloha 8	výkres: UPÍNÁNÍ ZÁPUSTEK .1	č.v.: DP2012-08
Příloha 9	výkres: VÝKOVEK - d150,5 .2	č.v.: DP2012-09
Příloha 10	výkres: NEOSTŘIŽENÝ VÝKOVEK .2	č.v.: DP2012-10
Příloha 11	výkres: PŘEDKOVACÍ ZÁPUSTKA .2	č.v.: DP2012-11
Příloha 12	výkres: DOKONČOVACÍ ZÁPUSTKA .2	č.v.: DP2012-12
Příloha 13	výkres: KOVACÍ ZÁPUSTKY .2	č.v.: DP2012-13
Příloha 14	výkres: VYHAZOVACÍ KOLÍK .2	č.v.: DP2012-14
Příloha 15	výkres: UPÍNÁNÍ ZÁPUSTEK .2	č.v.: DP2012-15
Příloha 16	diagram: Rebeljski - Brjuchanov	
Příloha 17	diagram: EUMUCO	
Příloha 18	prospekt: svislý kovací lis Šmeral LMZ 2500	
Příloha 19	prospekt: upínače zápustek – katalog TS	
Příloha 20	prospekt: ostříhovací lis Šmeral LDO 315 A/1	
Příloha 21	prospekt: mazivo LUBRODAL F 22 B	
Příloha 22	obrázky výkresů – Autodesk Inventor	