



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ PASTORKU

DROP FORGING OF PINION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADOMÍR GRÁF

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MAREK ŠTRONER, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Radomír Gráf

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

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

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

Zápustkové kování pastorku

v anglickém jazyce:

Drop forging of pinion

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě literární rešerše aplikovat vhodnou technologii pro výrobu zápustkového výkovku pastorku. S ohledem na cyklicky namáhaný ozubený pastorek a potřebu zvýšení jeho mechanických vlastností a životnosti, která je funkcí vyšší primární únavové pevnosti uplatnit pochody objemových technologií tváření s větším přetvořením za tepla - zápustkovým kovááním v zápustce.

Cíle bakalářské práce:

Zpracování technologického postupu pro zvolenou technologii a daný případ.

Vypracování výkresové dokumentace spolu s technologickými výpočty.

Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam odborné literatury:

1. DVOŘÁK, Milan., GAJDOŠ, František., NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření : plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
2. FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Brno : VUT, 2001. 187s. ISBN 80-214-0294-6.
3. HAŠEK, Vladimír. Kování. 1. vyd. Praha : SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.
4. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno : VUT, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
5. PRIMUS, František. Teorie objemového tváření. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1990. s. 250. ISBN nemá.

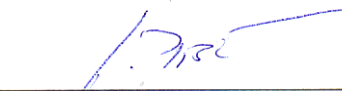
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Štroner, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

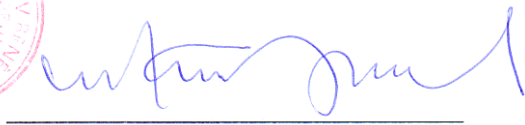
V Brně, dne 27.10.2010

L.S.





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

GRÁF Radomír: Zápustkové kování pastorku.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru Strojírenská technologie (2303R002) předkládá návrh technologie výroby výkovku – ozubeného pastorku – zhotoveného zápustkovým kovááním z materiálu 14 220.0 (16MnCr5). Na základě literární studie problematiky zápustkového kováání a výpočtů, bylo navrženo kováání na dvě operace. Vzhledem k předpokládané sérii 120 000 kusů za rok, bude součást vyrobena na svislém kovacím lisu LMZ 1000 A/(S), se jmenovitou tvářecí silou 10 MN. Zápustky jsou vyrobeny ze slitinové nástrojové oceli 19 552.8, tepelně zpracované podle výkresové dokumentace. Závěrem daného projektu je provedeno technicko – ekonomické zhodnocení dané technologie výroby součásti.

Klíčová slova: ocel 14 220, ozubený pastorek, objemové tváření, zápustkové kováání.

ABSTRACT

GRÁF Radomír: Drop forging of pinion.

The project elaborated in a frame of Bachelor's studies branch Manufacturing technology (2303R002) presents a technology design of a forged piece – pinion gear – made by drop forging from 14 220.0 (16MnCr5) material. Drop forging in two operations was suggested on the basis of specialized studies on the subject of drop forging and calculations. Assumed series of 120 000 pieces a year, will be produced on the drawing inclinable press LMZ 1000 A/(S) with nominal tensile force 10 MN. Swages are made of alloyed instrumental steel 19 552.8, heat-worked according to drawing documentation. At the end of the project is implemented technical economic evaluation of the technology design.

Key words: 14 220 steel, pinion gear, volumetric forming, drop forging.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GRÁF, R. *Zápustkové kování pastorku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Štroner, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Marku Štronerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1	ÚVOD	10
2	LITERÁRNÍ REŠERŠE	11
2.1	Objemové tváření za tepla	11
2.2	Technologie objemového tváření za tepla	12
2.2.1	Volné kování	12
2.2.2	Zápustkové kování	13
2.3	Návrh zápustkového výkovku	14
2.3.1	Rozdělení zápustkových výkovků podle tvarové složitosti	14
2.3.2	Přídavky	16
2.3.3	Tolerance rozměrů a mezní úchylky u výkovků	19
2.3.4	Dělicí rovina výkovku	21
2.4	Zápustkové kování na bucharech	22
2.4.1	Předkovací dutiny	22
2.4.2	Tvary a rozměry výronkových drážek	24
2.4.3	Vedení zápustek na bucharu	26
2.4.4	Upínání zápustek na bucharu	29
2.4.5	Typy bucharů	29
2.4.6	Výpočet velikosti bucharu	30
2.5	Zápustkové kování na svislých kovacíh lisech	31
2.5.1	Předkovací dutiny	31
2.5.2	Tvary a rozměry výronkových drážek	32
2.5.3	Vedení zápustek na lisu	34
2.5.4	Upínání zápustek na lisu	34
2.5.5	Vyhazování výkovků a typy vyhazovačů	34
2.5.6	Výpočet kovací síly	36
2.6	Příprava polotovarů pro kování	38
2.7	Předehtívání zápustek	38
2.8	Ohřev materiálu a ohřívací zařízení pro kování	39
2.9	Mazání zápustek a druhy maziv	40
2.10	Ostřihování a děrování výkovků	40
2.11	Oceli na zápustky	41
2.12	Tepelné zpracování	41
3	SOUČASNÉ MOŽNOSTI VÝROBY SOUČÁSTI	42
4	TECHNOLOGIE VÝROBY PASTORKU	44
4.1	Materiál výkovku	44
4.2	Zařazení výkovku dle složitosti tvaru	44

4.3	Návrh výkovku	44
4.3.1	Přidavky na obrábění	45
4.3.2	Technologické přidavky	45
4.3.3	Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku	45
4.3.4	Poloha dělicí roviny	46
4.3.5	Tvar a rozměry výronkové drážky	46
4.4	Návrh polotovaru	47
4.4.1	Výpočet celkového objemu výkovku	47
4.4.2	Rozměry a hmotnost polotovaru	48
4.4.3	Ohřev polotovaru	48
4.5	Konstrukce zápusťek	48
4.6	Výpočet kovací síly	49
4.6.1	Výpočet kovací síly podle Brjuchanov – Rebelského	49
4.6.2	Výpočet kovací síly podle Storoževa	49
4.6.3	Výpočet kovací síly podle Tomlenova	49
4.6.4	Porovnání sil vypočtených podle různých metod	52
4.7	Volba stroje pro tváření	53
4.8	Výpočet ostřihovací síly pro oddělení výronku	53
4.8.1	Volba ostřihovacího stroje	53
4.9	Technologický postup kování	55
5	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	56
5.1	Náklady na výrobu obráběním	56
5.2	Náklady na výrobu zápusťkovým kovááním a následným obráběním	57
5.3	Zhodnocení technicko - ekonomických výpočtů	59
6	ZÁVĚR	60
	Seznam použitých zdrojů	61
	Seznam použitých symbolů a zkratk	63
	Seznam příloh	65

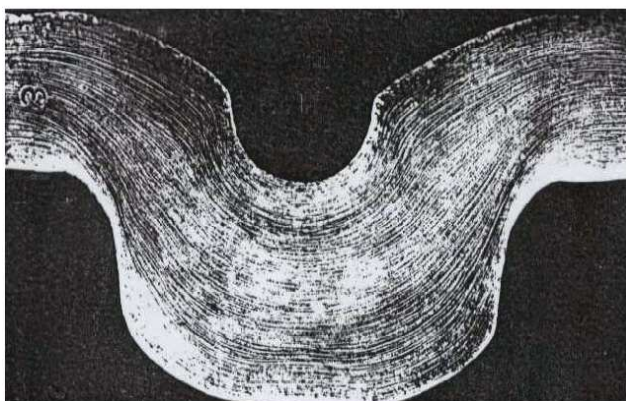
1 ÚVOD

Kování se řadí mezi nejstarší výrobní řemesla. Jedná se o technologii objemového tváření za tepla, kdy dochází nejprve k ohřátí polotovaru a následně se mění jeho tvar bez porušení soudržnosti kovu. Hlavní předností je produktivita a hospodárné nakládání s materiálem při velkosériové a hromadné výrobě.

U tváření obecně je přesnost dána převážně přesností výroby tvářecích nástrojů. Tvářecí stroj složí více méně k vyvození dostatečné síly, nutné ke změně tvaru výchozího polotovaru. Naproti tomu obrábění závisí převážně na samotném stroji, který je hlavním nositelem přesnosti.

Zápustkové kování se děje ve speciálním nástroji – zápustce, která je negativem vyráběné součásti a je tvořena dvě částmi – horním a spodním dílem. Mezi oba díly se vloží polotovary ohřátý na vhodnou kovací teplotu a vysokým tlakem dochází k zaplnění formy. Zápustkové výkovky mohou být různých tvarů, velikostí a vyznačují se optimálním průběhem vláken, které kopírují tvarovou složitost součásti, což je hlavní předností této metody. Zápustkově kované součásti se také vyznačují vhodnými mechanickými vlastnostmi díky důkladnému prokování. Nejvíce se kované díly uplatňují v různých odvětvích průmyslu – v automobilovém, leteckém nebo zemědělském k výrobě zemědělské techniky. Tato oblast je charakteristická vysokými nároky na provozní zatížení. Jedná se zejména o cyklicky namáhané součásti, jako jsou klikové hřídele, ozubená kola, ojnice apod.

Téma bakalářské práce je zaměřeno na návrh zápustkového výkovku pastorku vzhledem k jeho cyklickému provoznímu zatížení a zvýšení jeho mechanických vlastností použitím metody zápustkového kování.



Vláknitost vzniklá při kování



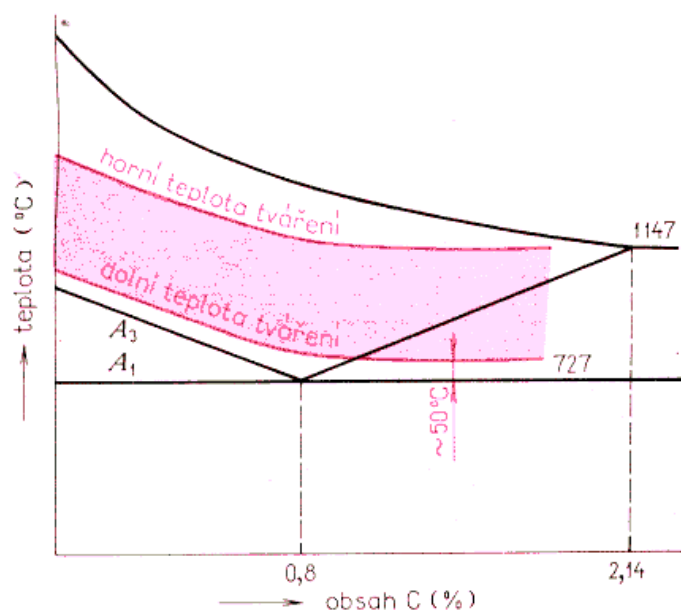
Obr. 1 Znázornění průběhu vláken ve výkovku a příklady zápustkových výkovků [18] [27]

2 LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1 Objemové tváření za tepla [8] [22] [26]

Objemovým tvářením za tepla se zhotovují výrobky a polotovary s malým množstvím odpadu cca 5-10%. Proces tváření probíhá tak, že na materiál působíme vnějšími silami a následně měníme jeho tvar bez porušení celistvosti. Procesy tváření za tepla je možno dostatečně mechanizovat a automatizovat – tato metoda se používá převážně ve velkosériové a hromadné výrobě. Pro tváření za tepla je klíčové, aby zvolena vhodná teplota, která je rozhodující pro ideální vlastnosti tvářené oceli. Zvláště důležitá je konečná teplota, při které tváření skončilo. Jedná se o teplotu, která leží přibližně 50°C nad A_3 nebo A_1 . Ohřevem materiálu na určitou teplotu se sníží vnitřní pnutí a vyrovnají se deformace krystalové mřížky, přičemž se nemění tvar zrn. Tomu se říká tzv. zotavení. Tento děj probíhá v materiálu ještě před rekrytalizací. Dochází ke snížení deformační energie, což je zapříčiněno uvolněním dislokací a jejich vhodnějšímu uspořádání. Dále dochází ke snížení vnitřního pnutí a mění se některé fyzikálně-mechanické vlastnosti. Při tomto stavu se materiál blíží vlastnostem před deformací.

Při dalším postupném zvyšování teploty nastává tzv. rekrytalizace. Jedná se o změnu struktury kovu bez změny modifikace. Děj probíhá po ohřátí materiálu na rekrytalizační teplotu. V místech nejvyšší volné energie – převážně na hranicích zrn dochází k tvorbě zárodků nových zrn, čímž se vytváří nová struktura. Vytvořená struktura má vlastnosti, které jsou blízké těm před deformací.



Obr. 2 Oblast teplot pro tváření za tepla [22]

2.2 Technologie objemového tváření za tepla

2.2.1 Volné kování [2] [5] [26]

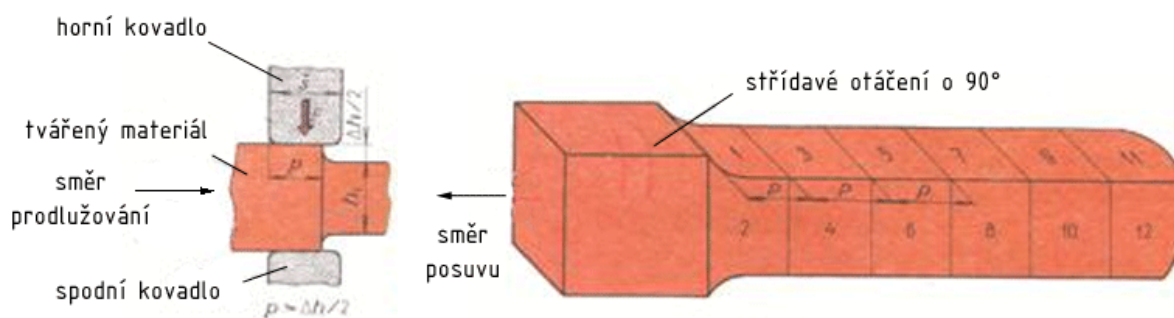
Volné kování se dělí do dvou skupin a to na ruční a strojní kování. Ruční kování se provádí zpravidla na kováččině pomocí ručních kovářských nástrojů. V dnešní době se tento způsob kování již málo používá. Nejčastěji se vyskytuje při menších opravách apod. Pro strojní kování se používají buchary s váhou beranu až 5 t. Pokud je pro kování nutná větší síla, používá se hydraulických lisů, které se vyznačují zejména klidnějším chodem. Nejčastějším polotovarem pro volné kování je válcovaný materiál nebo ingot.

Použití volného kování je převážně u výroby velkých dílů s vysokými požadavky na mechanické vlastnosti a homogenitu materiálu.

Základní operace volného kování:

Prodlužování

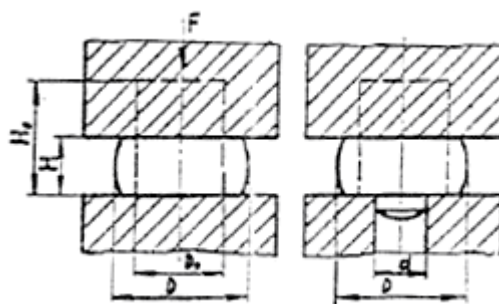
Je to operace, která při volném kování probíhá nejrychleji a zároveň je nejčastěji používaná. Hlavním cílem je prodlužovat výkovek při současném zmenšování jeho průřezu. Materiál je nutné obracet (u plochých kovadel) nebo otáčet (u výřezných kovadel), aby bylo dostatečně zamezeno rozšiřování materiálu. Poměr rozšiřování a zdelšování je dán šířkou vlastního kovadla. Prodlužovací operace se provádí pomocí plochých, oválných nebo úhlových kovadel.



Obr. 3 Prodlužování [26]

Pěchování

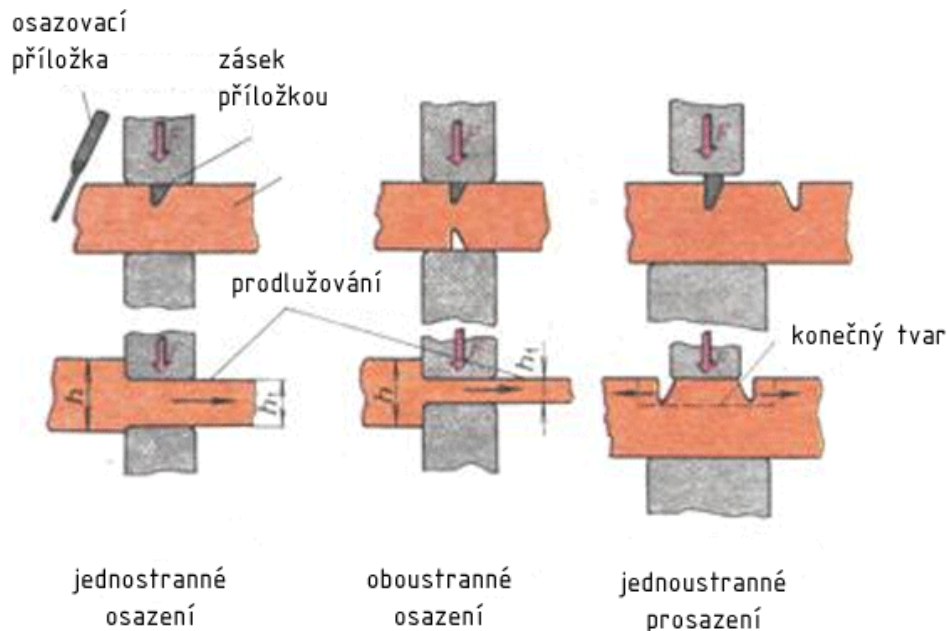
Při pěchování dochází ke stlačování materiálu ve směru osy. Důležité je prohřát materiál rovnoměrně a zajistit, aby čelní plochy byly rovnoběžné. Dále je nutné omezit štíhlost polotovaru (poměr délky ku šířce) a dodržení kolmosti k ose stroje. Polotovaz se také otáčí a posouvá, aby se zamezilo rozšíření o 90°.



Obr. 4 Pěchování [2]

Osazování, prosazování, přesazování

Těchto operací se využívá k redukování průřezu např. u osazovaných hřídelů, prokování jednostranného vybrání, přemístění průřezu při zachování paralelnosti os. Místo, kde je třeba redukovat průřez se označí a následně se udělá zárez. Je nutné, aby záseky byly v délce (šířce) kovádla. Zaseknutí nebo osazení bývá jednostranné nebo oboustranné.



Obr. 5 Osazování a prosazování [26]

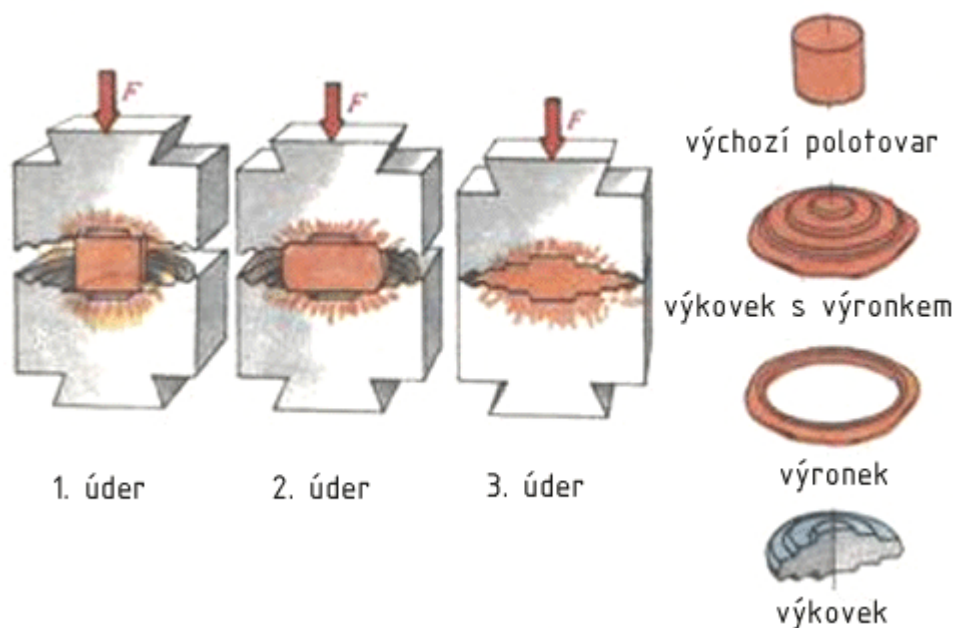
2.2.2 Zápustkové kování [2] [5] [26]

Zápustkové kování se používá při výrobě tvarově stejných součástí. Mezi hlavní přednosti zápustkového kování patří velká výkonnost, snadná obsluha a hospodaření s materiálem.

Materiál se tváří v zápustce pomocí dutin, které mají tvar jako výkovek. Zápustka je rozdělena na dva díly – horní a spodní. Proti předchozímu způsobu kování – volnému kování tato metoda dosahuje vyšší přesnosti z hlediska dodržení tvaru a rozměrů. Zápustkovým kovááním se dosahuje optimálního průběhu vláken, sledující tvarovou složitost součástí. Zápustkovou dutinu je možné vyplnit vtlačováním nebo pomocí přechování, při čemž druhý postup je více vhodný. Postup při kování je takový, že se výchozí materiál ohřeje na vhodnou kovací teplotu, vloží do spodní dutiny zápustky a začne se na něj působit pomalým tlakem nebo úderem tvářecího stroje, ve kterém je upnut horní díl zápustky. Přebytečný materiál je vytlačen mezi zápustky do mezery, která se nazývá výronková drážka. Tento přebytečný materiál je odstřižen protlačením výkovku tvarovou střižnicí.

Kovat můžeme na lisu nebo bucharu. Při kování na lisech je výkovek zhotoven pomocí jednoho nebo několika zdvihů (v případě postupové zápustky). Při kování na bucharech je zápustka vyplňována několika údery.

Kování na bucharech je charakteristické tím, že rázy způsobují větší rychlost tečení a snadnější zaplňování hlubší dutiny zápustky ve směru rázu. Naopak u lisu je působení síly klidné a způsobuje lepší tečení materiálu ve směru kolmém k působící síle. U bucharu se lépe zaplňuje horní část zápustky vlivem setrvačných sil a větším ochlazením materiálu polotovaru ve spodním dílu zápustky.



Obr. 6 Postup kování v jednodutinové zápustce na bucharu [26]

2.3 Návrh zápustkového výkovku

2.3.1 Rozdělení zápustkových výkovků podle tvarové složitosti [3] [15]

Přesné rozdělení zápustkových výkovků se řídí podle normy ČSN 42 9002. Tato norma platí pro třídění zápustkových výkovků z ocelí a neželezných kovů podle tvarové složitosti. Složitost se vyjadřuje číselně. Výsledné označení se skládá z pěti číslic, jejichž význam je:

Číslo: XXXX – X

1. číslo – tvarový druh
2. číslo – tvarová třída
3. číslo – tvarová skupina
4. číslo – tvarová podskupina
5. číslo – technologické hledisko

Tvarový druh: XXXX – X

- 4...výkovky kruhového průřezu plné
- 5...výkovky kruhového průřezu duté
- 6...výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
- 7...výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
- 8...výkovky s ohnutou osou
- 9...výkovky složitých tvarů s přímou dělicí plochou
- 0...výkovky s lomenou dělicí plochou

Tvarová třída: XXXX – X

Výkovky tvarového druhu 4,5,6,7 a 8

- 1...konstantní průřez
- 2...kuželovité (jehlanovité, klínovité)
- 3...jednostranně osazené
- 4...oboustranně osazené
- 5...osazené s kuželem (jehlanem, klínem)
- 6...prosazené
- 7...kombinované

- 8...kombinované s kuželem (jehlanem, klínem)
- 9...členité (u tvarového druhu 8 – výkovky háků)
- 0...neobsazeno

Výkovky tvarového druhu 9 a 0 se rozdělují do tvarových tříd:

- 1...převážně kruhový průřez
- 2...převážně plochý průřez
- 3...s hlavou a jedním ramenem
- 4...s hlavou a více rameny
- 5...jednostranně rozvidlené
- 6...oboustranně rozvidlené
- 7...zalomené
- 8...šroubovitě stoupání (stoupání <1) – pouze u tvarového druhu 0
- 9...šroubovitě stoupání (stoupání >1) – pouze u tvarového druhu 0

Tvarová skupina: XXXX – X

„U výkovků zařazených do jednotlivých tvarových tříd jsou čísla 1 až 8 dále tříděny výkovky podle štiřlostních a jiných dále uvedených poměrů. Výkovky druhu 4, 6 a 7 s dělicí plochou ve směru hlavní osy (technologické hledisko 1, 2) jsou zásadně děleny na výkovky bez otvoru (označené čísla 1 až 4) a na výkovky s otvorem (označené 5 až 8). Výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu (technologické hledisko 3, 4, 5) a výkovky zhotovené na vodorovných kovacíř lisech (technologické hledisko 6, 7, 8) jsou zásadně děleny na výkovky plné (označené čísla 1 až 4) a na výkovky duté (označené čísla 5 až 8).

Jinak se výkovky rozdělují na výkovky nízké a vysoké nebo na výkovky krátké a dlouhé. Dále se třídí výkovky podle vzájemných poměrů výšek, poměrů šířek, velikosti úhlů ohybu nebo počtem ohybů, velikostí rozvidlení, počtu zalomení, úhlu polohy jednotlivých ramen zalomených hřidelů a velikosti úhlu natočení listů lopatek.“

Tvarová podskupina: XXXX – X

„Zápustkové výkovky, které přesahují stanovený maximální poměrrovou na sobě závislých veličin, se označují podle jednotlivých vzájemných poměrů čísla 1 až 9. Zápustkové výkovky, které nepřesahují stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých veličin, se označují číslem 0.“

- 1...přesah v poměru $L : B(D)$ nebo $H : B(D)$
- 2...přesah v poměru $H : H_1 (D : D_1)$
- 3...přesah v poměru $B : B_1$
- 4...přesah v poměru $F : F_1$
- 5...přesah v hloubce dutiny $h : d$ nebo úhlu listů lopatek β
- 6...přesah v tloušťce dna nebo blány H_1
- 7...přesah v tloušťce stěny s nebo velikosti rozvidlení $l : b$
- 8...přesah v zaoblení přechodů a hran R, r
- 9...kombinace několika přesahů
- 0...bez přesahu

Technologické hledisko: XXXX – X

- 1...výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy – souměrné
- 2...výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy – nesouměrné
- 3...výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu – souměrné

- 4...výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu – nesouměrné
- 5...výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu – s ozubením
- 6...výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech – souměrné
- 7...výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech – nesouměrné
- 8...výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech – s ozubením
- 9...výkovky s více dělicími plochami
- 0...neobsazeno

2.3.2 Přídavky [2] [5] [16]

Přídavky se zařazují hlavně z těchto důvodů: zajištění kvalitního povrchu a přesnost rozměrů, předepsaných na výkrese. Rozměry hotové součásti je nutné navýšit o tyto přídavky. Přídavky se dělí na dva typy: přídavky technologické a přídavky na obrábění.

Přídavky na obrábění

Výkovky, které vyžadují rozměrovou přesnost a jakost povrchu je nutné po kování obrábět. Při kování dochází k znehodnocení povrchu a díky přídavkům je možné odstranit tento nekvalitní povrch. Výsledná drsnost výkovku závisí převážně na způsobu ohřevu, způsobu čištění okují a na kvalitě povrchu zápustky. Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím velikost přídavku jsou povrchové vady výkovků, což jsou např. šupiny, trhliny apod. Velikost přídavků závisí hlavně na způsobu kování, hmotnosti, rozměrech a složitosti tvaru. Požadované přídavky se určí dle normy dle ČSN 42 9030 viz. tab. 1:

Tab. 1 Přídavky na obrábění ploch pro obvyklé provedení, hodnoty v mm [16]

Největší průměr, střední hodnota šířky a délky ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes	do	Přídavky na obrábění ploch							
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0			
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5		
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5		
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
400	630	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
630	1000	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

Technologické přídavky

Součásti zvětšené o přídavek na obrábění, které se mají zápustkově kovat, nejsou svým tvarem dostatečně vhodné. Jejich tvar je nutné upravit pomocí technologických přídavků. Technologickými přídavky se myslí zaoblení hran a přechodů, technologické úkopy, minimální tloušťka dna a stěny výkovku, poloha dělicí roviny.

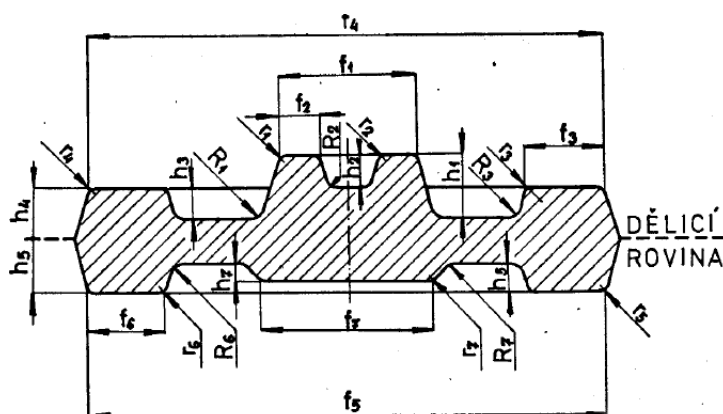
Poloměr zaoblení hran a přechodů

Zaoblení hran a přechodů se provádí z důvodu správného zatékání kovu a snížení opotřebení zápustky. Je nutné zvolit optimální zaoblení. Musí však být tak velké, aby byl

zachován v oblasti hrany dostatečný přídavek. Příliš velký poloměr zaoblení není také žádoucí z důvodu větší spotřeby materiálu.

Tab. 2 Zaoblení hran r a přechodů R výkovků, hodnoty v mm [16]

Výška (hloubka) h		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		h/f do 2		h/f přes 2 do 4		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



Obr. 7 Hodnoty zaoblení hran a přechodů [16]

Technologické úkosy

Velikost bočních úkosů se určuje podle tvaru výkovku a druhu stroje, kterým se tváří. Úkosy vytváříme na svislých plochách z důvodu snadnějšího vyjmutí výkovku ze zápustky. Vnitřní stěny mají úkosy větší, vnější stěny úkosy naopak menší. Během chlazení dochází k uvolňování vnějších ploch výkovku od zápustky. Naopak je tomu u vnitřních stěn, které mají tendenci výkovek svírat. Velikost technologických úkosů bývá v rozmezí od 3° do 10° .

Tab. 3 Technologické úkosy [16]

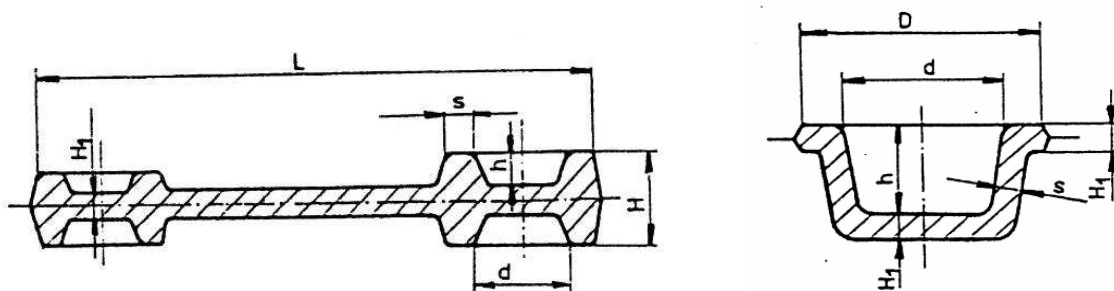
	vnější	vnitřní
Zápustkové výkovky se běžně vyrábějí s úkosy	3°	7°
Vzhledem k rozdílné úrovni technologického zařízení výrobců výkovků se dovolují úkosy - pro buchary a lisy bez vyhazovače	7°	10°
lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
vodorovné kovací stroje	0° až 5°	0° až 5°

Minimální tloušťka dna a stěny výkovku

Hodnoty minimální tloušťky dna H_1 nebo blány výkovku, stěny výkovku s , tloušťku příruby H_1 je nutno určit z hlediska optimálního namáhání zápustky. Hodnoty nejmenší tloušťky dna nebo blány výkovku H_1 uvedené v tab. 4, platí pro obráběné a neobráběné plochy výkovku viz. obr. 8

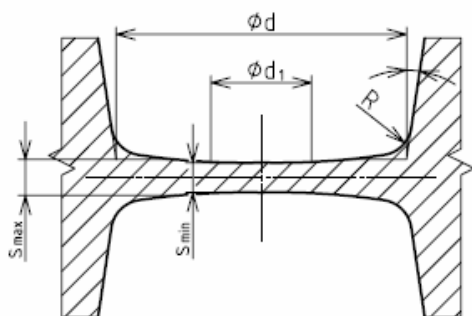
Tab. 4 Nejmenší tloušťka dna, blány, disku H_1 a stěny s výkovku, hodnoty v mm [16]

Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (B, D)		Největší výška výkovku H							
		přes do 10	10	25	40	63	100	160	250
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

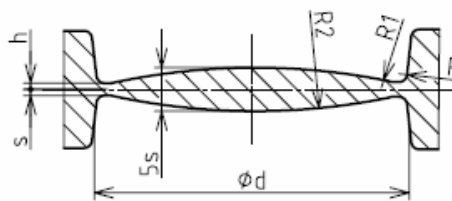


Obr. 8 Nejmenší tloušťka dna, blány, disku H_1 a stěny s výkovku [16]

Je-li $d - 1,25 \cdot R > 26$, doporučují se blány s úkosem do středu (obr. 9). Tloušťka blány $s_{\min} = 0,65 \cdot H_1$, $s_{\max} = 1,35 \cdot H_1$ se počítá jako pro obyčejnou blánu



Obr. 9 Blána s úkosem do středu [5]



Obr. 10 Blána s vydutím do středu [5]

V případě kování nízkých kruhových výkovků a výkovků z předkovaných kruhů se doporučuje tvar podle obr. 10. Potom tloušťka $s = 0,4 \cdot \sqrt{d}$, poloměr $R_1 = 5 \cdot h$. Poloměr R_2 je nutno vyhledat graficky. Funkce této blány se výrazně blíží funkci výronku.

2.3.3 Tolerance rozměrů a mezní úchytky u výkovků [5] [16]

Určování velikosti úchylek rozměrů a tvarů se řídí normou ČSN 42 9030. Rozměry výkovku se myslí jeho délka, výška, šířka, tloušťka a průměr. Úchytky od tvarů jsou zejména změny zaoblení hran a rohů, vznik jehel na střížných plochách, nesouosost hlubokých otvorů, deformace netvářené části, ustřižených konců apod. Mezní úchytky a tolerance se stanoví podle stupně přesnosti výkovku z největších rozměrů výkovku ve směru kolmo k rázu a ve směru rázu (tab. 5). Následně z tab. 6,7 a 8 určíme mezní úchytky a tolerance.

Přesnost zápustkového kování ovlivňují:

- Nepřesnost výroby zápustek

Přesnost výroby zápustek je dána zejména tvarovou složitostí výkovku

- Smrštění výkovku po kování

Rozměry v zápustkách je nutné volit s ohledem na roztažnost materiálu. Působením ohřevu dochází ke zvětšování rozměrů výkovku, ty je možné určit z následujícího vztahu:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha(t_1 - t_0), \text{ kde: } \Delta l - \text{zvětšení délky výkovku [mm]}$$

l_0 – délka výkovku při + 20 °C [mm]
 α – koeficient tepelné roztažnosti
 t_1 – teplota dokování [°C]
 t_0 – venkovní teplota 20 °C

Pokud je teplota dokování asi 900 °C, dojde po zchladnutí ke zmenšení rozměrů výkovků. Hodnota zmenšení je asi o 1% u středně uhlíkových a nízkouhlíkových ocelí, u ocelí austenitických o 1,6%. O tuto procentuální hodnotu je nutné zvětšit rozměry zápustky.

- Změny tvaru dutiny zápustky opotřebením nebo její deformací

Jedná se o vlivy vznikající během tvářecího procesu, které jsou největší příčinou nepřesností rozměrů u zápustkových výkovků. V místech přemísťování kovu vzniká největší opotřebení zápustkové dutiny. Nejvíce bývají opotřebený přechody z dutiny do výronku a také hrany v místech přechodu žeber do výstupků. Obecně lze říci, že čím je tvar výkovku složitější, tím se opotřebení zvětšuje. Tento negativní vliv můžeme snížit mazáním.

- Ostatní vlivy

Mezi tyto vlivy můžeme zařadit, rozměry výchozího polotovaru, druh a přesnost tvářecího stroje. U lisů a bucharů se jedná hlavně o špatné vedení beranu, které působí na přesazení výkovku. Do těchto vlivů také patří špatná tuhost soustavy, zejména u kovacích lisů.

Tab. 5 Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení, hodnoty v mm [16]

Tvarový druh	Tvarová třída	Tvarová skupina	Tvar. podsk.	Tech. hedisko	Stupeň přesnosti pro provedení					
					1		2		3	
					obvyklé		přesné		velmi přesné	
					I	II	I	II	I	II
4; 6; 7	*	1; 5	*	1 až 2	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 6; 7			5	6	4	5	3	4
		4; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5 9	1; 5	*	3; 4; 5	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 4			5	6	4	5	3	4
		6; 7; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	*	*	6; 7; 8; 9	6	7	5	6	4	5
	6 až 8				7	7	6	6	5	5
8	1 až 8	1; 2; 3; 4	*	*	6	7	5	6	4	5
		5; 6			7	7	6	6	5	5
8	9	1; 2	*	*	6	7	5	6	4	5
		3; 4; 5; 6; 7			7	7	6	6	5	5
9; 0	*	1; 2; 3; 4	*	*	6	6	5	5	4	4
		5; 6; 7; 8			7	7	6	6	5	5

Tab. 6 Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro IT 5, hodnoty v mm [16]

Největší průměr výkovku D nebo 0,5*(L+B) ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
do 25	Mezní úchytky	+0,6 -0,3	+0,6 -0,4	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+1,0 -0,4			
	Tolerance	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4			
přes 25 do 40	Mezní úchytky	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6		
	Tolerance	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8		
přes 40 do 63	Mezní úchytky	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,4 -0,6		
	Tolerance	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0		
přes 63 do 100	Mezní úchytky	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,4 -0,6	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,5	
přes 100 do 160	Mezní úchytky	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,6	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,9	
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,7	

Tab. 7 Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro IT 6, hodnoty v mm [16]

Největší průměr výkovku D nebo $0,5*(L+B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
do 25	Mezní úchytky	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,1 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7			
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1			
přes 25 do 40	Mezní úchytky	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7	+1,6 -0,7	+1,8 -0,8		
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6		
přes 40 do 63	Mezní úchytky	+1,4 -0,6	+1,4 -0,7	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -1,0		
	Tolerance	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	2,9		
přes 63 do 100	Mezní úchytky	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -0,9	+2,0 -1,0	+2,2 -1,1	+2,5 -1,2	
	Tolerance	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,3	3,7	
přes 100 do 160	Mezní úchytky	+1,9 -0,9	+1,9 -1,0	+2,0 -1,0	+2,1 -1,1	+2,3 -1,1	+2,5 -1,2	+2,7 -1,4	
	Tolerance	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,7	4,1	

Tab. 8 Mezní úchytky zaoblení přechodů R a hran r [16]

Poloměr zaoblení		Mezní úchytky			
přes	do				
	10	+0,50 -0,25	· R	+0,25 -0,50	· r
10	32	+0,40 -0,20		+0,20 -0,40	
32	100	+0,30 -0,15		+0,15 -0,30	
100		+0,25 -0,10		+0,10 -0,25	

2.3.4 Dělicí rovina výkovku [2] [4]

Při volbě dělicí roviny je nutné se řídit určitými pravidly a zejména předchozími zkušenostmi. Dělicí rovina, jak už název napovídá, dělí zápustku na dvě poloviny – horní a spodní. Nejčastěji bývá umístěna do roviny souměrnosti popř. do roviny dvou vzájemně

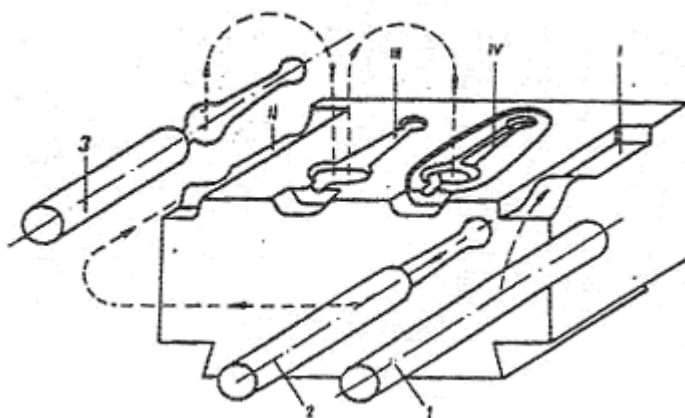
největších kolmých rozměrů. Nejvhodnější jsou dělicí roviny s rovnou plochou a to z hlediska konstruování zápustek a jejich následné výroby. Někdy se používá i lomená dělicí rovina, zejména v případech, kdy je evidentní, že je výhodnější než rovná rovina. Příkladem může být kování slabostěnných výkovků s U profilem. Při použití lomené dělicí roviny jsou nevýhodou vznikající boční síly, které mohou být příčinou posunutí zápustek. K eliminování těchto sil se používají tzv. zámky nebo musí dojít ke změně polohy součástí. Snahou při volbě dělicí roviny je, aby budoucí obráběné plochy ležely kolmo ke směru tváření – výkovek by neměl mít boční úkosy. Nicméně tyto pravidla nelze vždy dodržet a je nutné se správně rozhodnout, kterému pravidlu dát vyšší prioritu. Těmito pravidly se nelze řídit v případě jednoduchých výkovků.

2.4 Zápustkové kování na bucharech [2] [5] [6] [9] [14]

Buchary se používají pro kování drobných výkovků nebo naopak značně hmotných výkovků, pro výkovky s výraznými změnami v průřezu, výkovky s žebry, výstupky a tenkostěnnými částmi, pro které vyžadujeme velkou kovací sílu. Stroj se vyznačuje dynamickým chodem se značnými rázy, které je nutné dostatečně tlumit v základech stroje. Tyto rázy však příznivě přispívají k odstraňování okují z výkovku, zároveň však dochází k menšímu opotřebení dutin zápustek. Charakter kování na bucharu se vyznačuje lepším tečením materiálu ve směru tvářecí síly. Při kování na bucharu dochází k zaplňování dutiny postupně během několika úderů beranu. Technologický postup kování na bucharech se skládá z těchto operací: předkování, kování v dokončovací dutině, ostřížení výronku a blány a dále následuje rovnání a kalibrování.

2.4.1 Předkovací dutiny [5] [9]

Hlavním významem těchto dutin je snížení opotřebení dokončovacích zápustek. Při kování výkovků složitých tvarů usnadňuje předkovací zápustka tváření materiálu zejména v oblastech úzkých žebířů, tvarově složitých přechodů a ostrých hran. Předkování se provádí volným kováním nebo v přípravných dutinách. Počet přípravných dutin závisí na tvarové složitosti finálního výkovku. Předkování pomocí přípravných dutin se děje v postupových zápustkách, kde se polotovar přesunuje z jedné zápustkové dutiny do druhé viz obr. 11 níže.

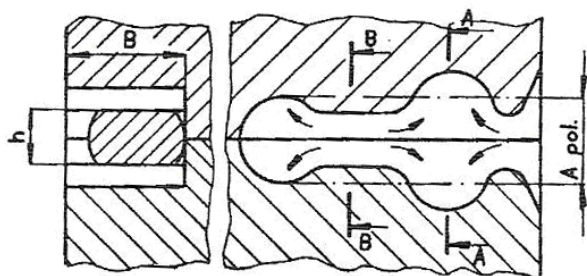


Obr. 11 Postupová zápustka [9]

Jednotlivé typy předkovacích dutin:

- Zužovací dutina

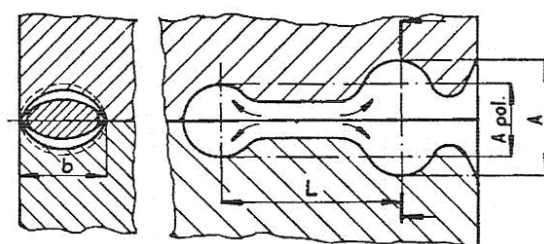
Tato dutina slouží k redukování průřezu (materiál se zužuje) a zároveň se zvětšuje jeho délka. V některých místech se průřez může pěchovat. Kove se na jeden úder bez pootáčení polotovaru.



Obr. 12 Zužovací dutina [9]

- Dutina pro otáčivé kování

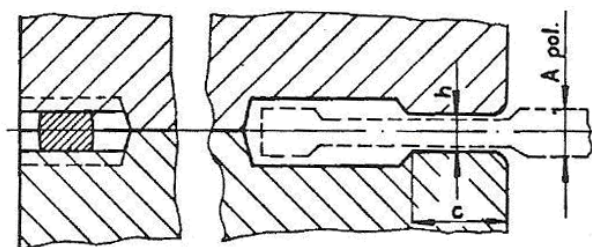
V této dutině dochází k předkování osově symetrických výkovků s kruhovým průřezem. Nejprve dochází k prodlužování a následně se výkovek otočí o 90°.



Obr. 13 Dutina pro otáčivé kování [9]

- Prodlužovací dutina

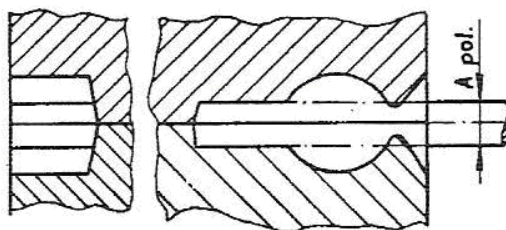
Výkovek se prodlužuje ve směru osy za současného redukování průřezu. Tato dutina může být otevřená nebo uzavřená



Obr. 14 Prodlužovací dutina [9]

- Tvarovací dutina

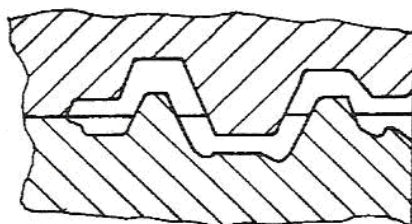
Používá se k tvarování předkovku, který má tvar hotového výkovku. Kove se jedním nebo několika údery bez otáčení.



Obr. 15 Tvarovací dutina [9]

- Ohýbací dutina

Slouží k ohýbání polotovaru nebo ohnutí již hotového výkovku.



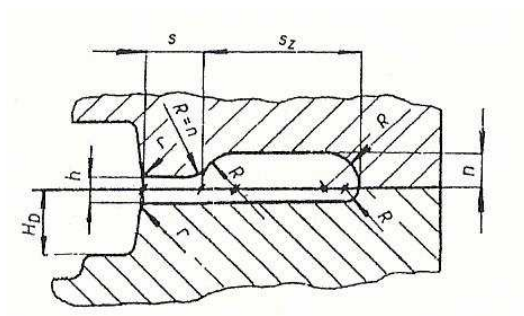
Obr. 16 Ohýbací dutina [9]

- Oddělovací dutina

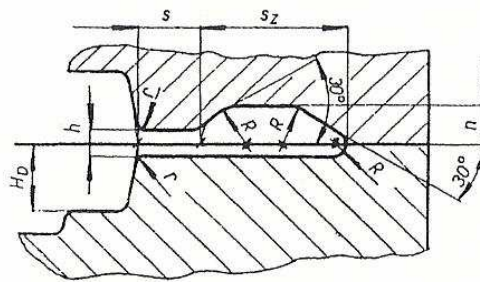
Touto dutinou oddělujeme výkovky od tyče nebo výkovek z dvojkusů kovaných s otáčením. Na zápustce se umísťuje šikmo.

2.4.2 Tvary a rozměry výronkových drážek [5] [9] [14]

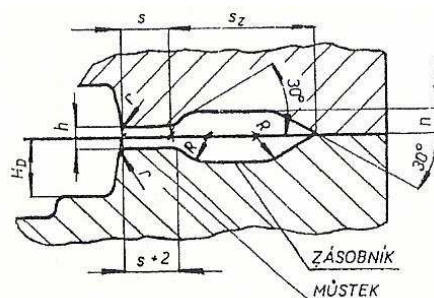
Výronková drážka slouží k regulaci tlaku v dutině zápustky a pro zachycení přebytečného materiálu. Celá drážka je tvořena můstkem s a zásobníkem s_z . Při kování na bucharech se používají uzavřené výronkové drážky. Výronkové drážky jsou tří typů. Typy I a II jsou obvyklého provedení, typ III se používá pro složité výkovky, u kterých se předpokládá větší přebytek materiálu. U výronkových drážek typů I a II se zásobník umísťuje v horní části zápustky. Typ III se vyznačuje umístěním zásobníku v horním i spodním díle zápustky. Hlavním regulátorem tlaku v dutině zápustky je můstek. Čím jsou výkovky tvarově složitější, tím vyžadují vyšší měrné tlaky tzn. nižší výšku můstku h a větší šířku můstku s . Jednotlivé typy výronkových drážek jsou umístěny na obr. 17, 18, 19.



Obr. 17 Výronková drážka - Typ I [14]



Obr. 18 Výronková drážka – Typ II [14]



Obr. 19 Výronková drážka – Typ III [14]

Výpočet výronkové drážky dle ČSN 22 8308 [14]

Pro správné stanovení rozměrů výronkové drážky je nutné nejdříve spočítat výšku můstku $\underline{h}$ dle následujícího vztahu:

$$h = (0,015 \div 0,012) \cdot \sqrt{F_D} \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

kde: h – výška můstku [mm]
 F_D – průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu [cm²]

Hodnota 0,012 se volí v případě velkých výkovků, hodnota 0,015 pro výkovky menší. Ostatní rozměry výronkové drážky jako jsou hloubka zásobníku $\underline{n}$, šířka můstku $\underline{s}$, šířka zásobníku $\underline{s_z}$ a plocha průřezu výronku $\underline{F_{výr}}$ se určí dle tab. 9 z vypočítané výšky můstku $\underline{h}$.

Tab. 9 Hodnoty pro výronkovou drážku Typ I, II, III [14]

Číslo	h	n	Pěchování			Protlačování					
						jednoduché			složené		
			s	s _z	F _{výr}	s	s _z	F _{výr}	s	s _z	F _{výr}
1	0,6	3	6	18	0,52	6	20	0,61	8	22	0,74
2	0,8	3	6	20	0,69	7	22	0,77	9	25	0,88
3	1,0	3	7	22	0,80	8	25	0,91	10	28	1,04
4	1,6	4	8	22	1,02	9	25	1,13	11	30	1,55
5	2,0	4	9	25	1,36	10	28	1,53	12	32	1,77
6	3,0	5	10	28	2,01	12	32	2,33	14	38	2,78
7	4,0	6	11	30	2,68	14	38	3,44	16	42	3,85
8	5,0	7	12	32	3,43	15	40	4,34	18	46	5,06
9	6,0	8	13	35	4,35	16	42	5,30	20	50	6,42
10	8,0	10	14	38	6,01	18	46	7,45	22	55	9,03
11	10,0	12	15	40	7,68	20	50	9,88	25	60	12,08

$F_{výr}$ platí pouze pro výronkovou drážku typ I. a II.

Hodnoty h , n , s , s_z jsou v mm, $F_{výr}$ v cm²

Poloměr zaoblení r přechodu tvaru do dělicí roviny:

$$r = \frac{\sqrt{F_D}}{200} + 0,04 \cdot H_D \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

kde: F_D – průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu [cm²]
 H_D – výška dutiny spodní zápustky [mm]

Poloměr nesmí být větší než hodnota maximálního zaoblení, která je závislá na typu a velikosti použitého bucharu viz. tab. 10

Tab. 10 Maximální zaoblení vzhledem k typu a velikosti stroje [14]

Dvojčinné buchary, hmotnost beranu v kg	Protiběžné buchary, práce v MJ	$r_{\max}$
do 2 000	do 98	3
2 000 až 5 000	98 až 196	4
nad 5 000	196 až 343	5
	nad 343	6

Zaplnění výronkové drážky

Pro určení velikosti výchozího polotovaru se musí vypočítat i objem materiálu, který vyplní výronkovou drážku. Zaplnění se určí tak, že se objem výronkové drážky vynásobí součinitelem zaplnění výronku dle tab. 11.

Tab. 11 Koeficienty zaplnění výronkové drážky [14]

Skupina výkovků	Hmotnost [kg]	Součinitel zaplnění výronkové drážky		
		pěchování	rozšiřování	protlačování
Výkovky podélného tvaru kované kolmo na úkor výšky a šířky, podél délky neteče	do 1	0,4	0,5	0,6
	1 až 5	0,5	0,6	0,7
	nad 5	0,6	0,7	0,8
Výkovky čtvercového průřezu, kované na stojato, dochází k osazování pěchování, vytlačování a probíjení	do 1	0,3	0,4	0,5
	1 až 5	0,4	0,5	0,6
	nad 5	0,5	0,6	0,7

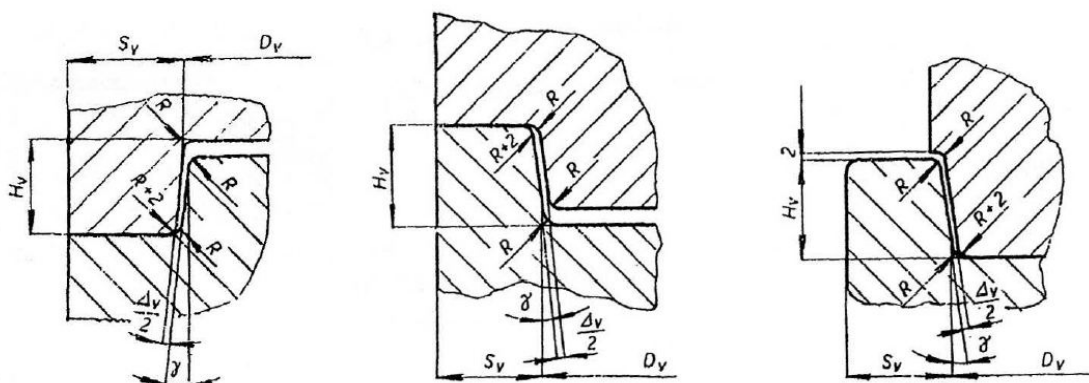
2.4.3 Vedení zápustek na bucharu [5] [14] [6]

Vedení se využívá pro zabránění vzájemnému posunutí zápustek při kování, což je nejčastější u protiběžných bucharů, kde bychom bez tohoto vedení nemohli zhotovit výkovky s požadovanou přesností. Vedení se používá převážně u jednodutinových zápustek. U postupových zápustek se nevyužívá z důvodu vodících kolíků, které by znemožňovali rovnoměrné rozložení dutin zápustek a charakter vedení beranu u bucharů to nevyžaduje. Pro zajištění přesnosti se používá několik typů vedení:

- Kruhové

Tohoto vedení se využívá převážně u čtvercových či kruhových zápustek nebo u výkovků souměrných podle vodorovných os. V některých případech se opatřuje na přední nebo zadní

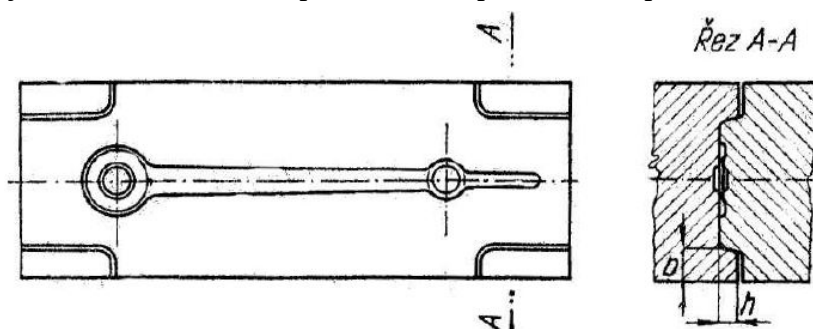
straně vybráním pro snadnější uvolňování výkovků. Hodnota H_v je výška vedení, která závisí na tvaru výkovku a na velikosti bucharu.



Obr. 20 Kruhové vedení [14]

- Podélné, příčné a křížové

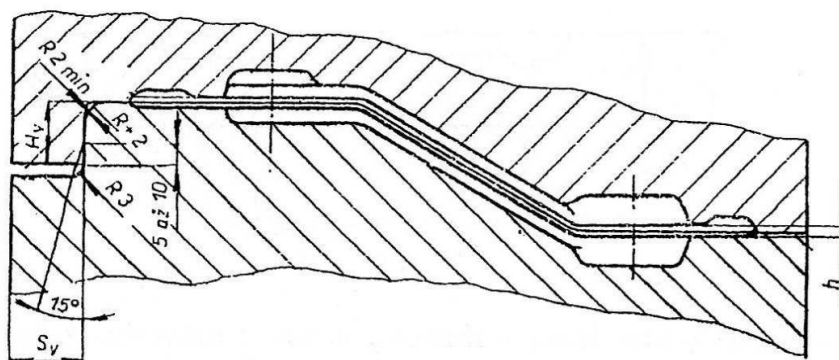
Podélné vedení se používá k zamezení příčného přesazení. Naopak je tomu u příčného vedení, které se používá pro eliminaci podélného přesazení. Křížové vedení se používá v případě, kdy je nutné zamezit obou přesazením – podélnému i příčnému.



Obr. 21 Křížové vedení [5]

- Zámky

Slouží pro zachycení posouvajících sil, nejčastěji u výkovků s lomenou dělicí rovinou, kdy dochází při úderech k vzájemnému přesazení zápustek. Šikmé plochy je možné lícovat s vůlí 0,5 mm. Výška vedení H_v se stanovuje 20 až 60 mm (obr. 22).



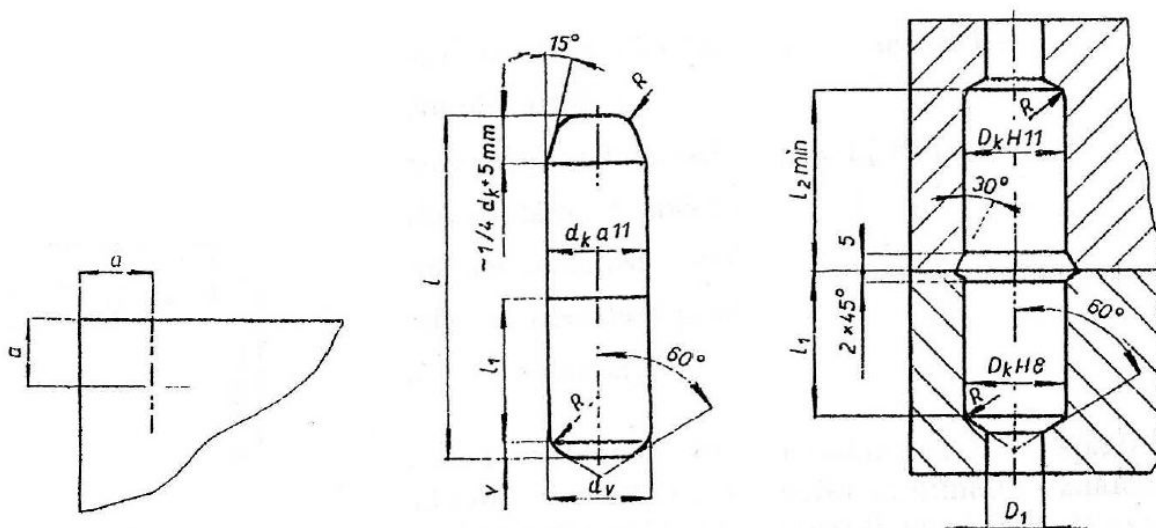
Obr. 22 Vedení zápustky z lomenou dělicí rovinou [14]

- Vodící kolíky

Pomocí vodících kolíků se zamezuje přesazení a zachycují se tlaky, které by nadměrně namáhaly vedení stroje. Kolíky bývají nejčastěji 2 až 4 a umísťují se do rohů spodní zápustky. Při použití kolíků se musí stanovit minimální vzdálenost kolíků od okraje zápustky, viz následující vztah. Tvar kolíku je na obr. 23 a další rozměry se volí dle tab. 12.

$$a = \frac{5}{6} \cdot d_k + 10 \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

kde: d_k – průměr vodícího kolíku v mm.



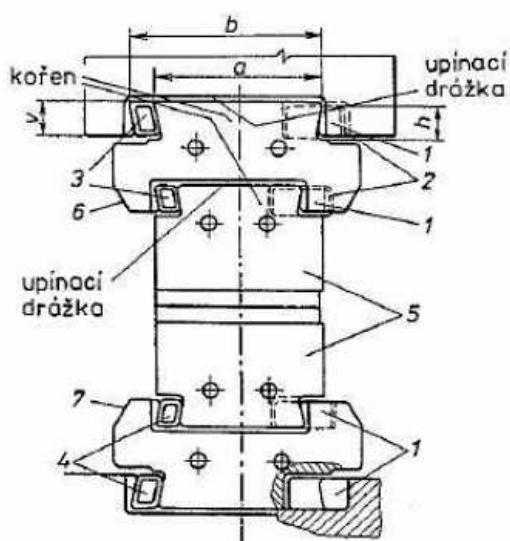
Obr. 23 Vzdálenost kolíků od okraje, tvar kolíku a díry [14]

Tab. 12 Rozměry vodících kolíků a otvory pro vodící kolíky, hodnoty v mm [14]

Kolík (otvor)						Otvor			v	R
d _k (D _k)				Přesah kolíku	l	l ₁	l ₂	D ₁		
I	II	III	IV							
12	14	16	18	0,02 až 0,04	70	30	45	8	2,5	3
16	18	20	22		85	40	50	10		
20	22	25	28		90	34	55	12		
25	28	30	34	0,03 až 0,05	100	45	65	16	4	5
30	32	36	38		110	50	70	20		
36	38	40	42	0,04 až 0,06	130	60	80	25		
40	42	45	48	0,04 až 0,06	140	70	80	25		
50	52	56	58	0,05 až 0,07	165	80	95	32		
60	63	65	68	0,06 až 0,08	185	90	110	40		
70	72	75	78	0,08 až 0,10	205	10	120	50		
80	82	85	88	0,10 až 0,12	225	110	130	63		
90	92	95	98	0,10 až 0,12	225	110	130	63		
100	105	110	115	0,12 až 0,14	245	120	140	70		
120	125	130	135	0,14 až 0,16	265	130	150	80		

2.4.4 Upínání zápustek na bucharu [5] [6] [10]

Plochy pro upínání zápustek se konstruují ve tvaru rybiny, které se vkládají do rybinovité drážky. Tato drážka je umístěna v nástavci šaboty u beranu bucharu. Rozměry rybin v držáku zápustky musí odpovídat rozměrům rybin v bucharu, popř. lze zápustku upnout s jiným rozměrem rybiny pomocí přechodového držáku. Zápustky se na buchar upínají v příčném směru pomocí klínu, který svírá určitý úhel. V podélném směru se upínají pomocí pera, které je umístěno v boční drážce. Klín se umísťuje na protilehlou stranu vzhledem k peru, výjimečně se používají klíny na obou stranách rybinovité drážky zápustky. Na obr. 24 je znázorněno běžné upnutí pro buchary.



1 – pero

2 – příložka

3 – horní klín

4 – spodní klín

5 – zápustka tvořená horní a spodním dílem

6 – horní držák

7 – spodní držák

Obr. 24 Běžné upnutí zápustek u bucharů [10]

2.4.5 Typy bucharů [2] [5]

Padací buchary

Jedná se o nejjednodušší provedení. Pracují na principu využití vlastní váhy. Beran je zvednut do určité výšky a po uvolnění padá vlastní vahou na šabotu.

Parovzdušné

Využívají páry, která zvedá beran do horní polohy. Při uvolnění beranu tato pára zároveň slouží jako urychlovač jeho pohybu, což má za následek větší sílu rázu. Počet úderů je vyšší než u padacích bucharů.

Protiběžné

Tyto buchary se vyznačují tím, že nemají šabotu. Místo ní je ve stroji umístěn spodní beran, který se pohybuje současně s horním beranem při pracovním zdvihu. Protiběžné buchary se používají pro větší výkovky, které vyžadují velkou energii k přetvoření. Výraznou výhodou těchto bucharů je to, že netrpí rázovými ztrátami v šabotě s čímž jsou také spojeny menší otřesy v okolí.

Hydraulické

U těchto bucharů je nositelem energie kapalina. Dělí se na jednočinné a dvojčinné. U jednočinného způsobu padá beran vlastní váhou. U dvojčinných beran padá vlastní váhou a zároveň je urychlován tlakovou kapalinou. Použitím těchto bucharů se kombinují výhody protiběžných a šabotových bucharů v jednom stroji. Přenos otřesů do okolí je minimální.

2.4.6 Výpočet velikosti bucharu [5] [14]

Velikost bucharu se určí podle rázové práce resp. úderové práce, která je zapotřebí pro vykonání nejsilnějšího úderu – většinou se jedná o poslední úder, kdy má tvářený materiál největší odpor.

- Výpočet práce

Pro kruhové výkovky:

$$A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D \cdot 1,1 \cdot \left(1,1 \cdot \frac{2}{D_D}\right)^2) \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_D^2) \cdot D_D \cdot \sigma_s \text{ [J]} \quad (2.4)$$

kde: D_D – průměr výkovku [mm]
 σ_s – mez pevnosti materiálu za kovací teploty [MPa]

Pro nekruhové výkovky

Používá se stejného vzorce, ale za D_D (průměr výkovku) dosadíme redukovaný průměr (D_{red})

$$D_{red} = 1,13 \cdot \sqrt{F_D} \text{ [cm]} \quad (2.5)$$

$$A_n = A \cdot (1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_D}{B_{Dstř}}}) \text{ [J]} \quad (2.6)$$

$$B_{Dstř} = \frac{F_D}{L_D} \text{ [cm]} \quad (2.7)$$

kde: F_D – průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu [cm²]
 L_D – délka výkovku [cm]
 $B_{Dstř}$ – šířka nekruhového výkovku [cm]
 A_n – práce posledního úderu pro nekruhový výkovek [J]

- Výpočet hmotnosti beranu:

Pro kruhové výkovky – jednočinné buchary

$$m = \frac{A}{1,1} \text{ [kg]} \quad (2.8)$$

Pro kruhové výkovky – dvojčinné buchary

$$m = \frac{A}{1,8 \div 2,8} \text{ [kg]} \quad (2.9)$$

Pro nekruhové výkovky – jednočinné buchary

$$m = \frac{A_n}{1,1} \text{ [kg]} \quad (2.10)$$

Pro nekruhové výkovky – dvojčinné buchary

$$m = \frac{A_n}{1,8 \div 2,8} \text{ [kg]} \quad (2.11)$$

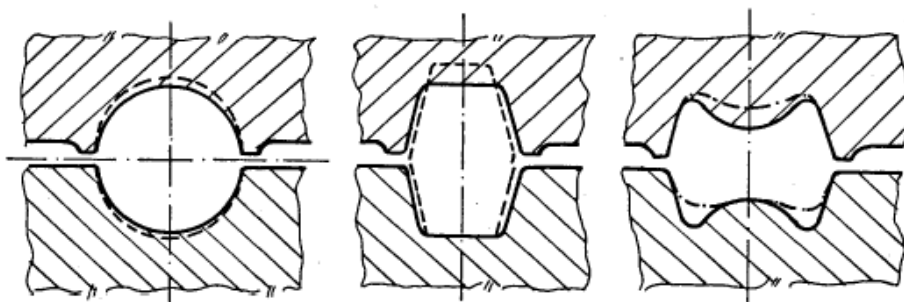
Koeficient (1,8 až 2,8) se určí dle pasportu a stavu stroje.

2.5 Zápustkové kování na svislých kovacíh lisech [2] [5]

Kovací lisy pracují klidným tlakem, a pokud se zanedbá odpružení lze říci, že zdvih je při kování na lisu stále stejný. Kování na lisech se vyznačuje prokováním v celém výkovku, protože se uskutečňuje v několika dutinách. Kovací síla každého zdvihu není rázová, ale plynule roste od prvního dotyku zápustky s materiálem až do spodní úvrati beranu. Lze kovat i mimostředné výkovky. Klíčové pro práci na lisech je provedení operace na jeden zdvih v jedné zápustkové dutině. Pro každou operaci na lisu je jiná zápustka (přípravná, předkovací, dokončovací), což má za následek menší opotřebení zápustek, protože žhavý kov je ve styku se zápustkou pouze po dobu jednoho stlačení. Počet zdvihů lisu se musí rovnat počtu dutin v zápustce pro zhotovení konečného tvaru výkovku. Vedení beranu při kování na lisech je přesnější a zaručuje správnou vzájemnou polohu obou dutin zápustek. Jednotlivé zápustky na sebe nesmí dosedat, protože konstrukce je odlišná než u bucharů a mohlo by dojít k poškození zápustek. Konstrukce lisu dovoluje použít vyhazovače s čímž je spojena menší volba úkosů výkovku. Díky tomu jsme schopni uspořit určitou část materiálu. Nevýhoda kování klidným tlakem spočívá v tom, že se vzniklé okuje ohřevem na kovací teplotu zalisují do výkovku – je nutné volit takovou teplotu ohřevu, při které dojde k minimální tvorbě okujů. Vhodné je použít indukční ohřev. Předkování je možné jen u jednoduchých operací, které se vyznačují pěchováním. Je-li délka větší než trojnásobek průměru dochází k tvorbě přeložek. Výška hotového výkovku je dána dolní úvratí beranu a je konstantní. Z toho důvodu se prodlužovací operace na klikových lisech neprovádí, to se realizuje pomocí kovacích válců. Kovací lisy se vyznačují velkou produktivitou a dají se snadnou automatizovat – výkon bývá zpravidla vyšší než při použití bucharů s čímž je také spojena menší fyzická práce.

2.5.1 Předkovací dutiny [5] [9]

Těchto dutin se používá k největšímu přiblížení tvaru pro dokončovací dutinu. Tvar z předkovacích dutin by měl být takový, aby při umístění výkovku do dokončovací dutiny bylo zakládání správné. Je nutné výkovek tvořit užší, ale vyšší než budoucí výkovek. V předkovací dutině je přebytek kovu 3 až 4% pro zajištění zaplnění dutiny dokončovací, výronek bývá o 30 až 60% větší než v dokončovací dutině s čímž je spojena také šířka výronku. U běžných výkovků se pro předkovací dutinu ve většině případů výronky nepoužívají. Předkovací dutina by měla mít tvar co možná nejpřesnější vzhledem k tvaru výkovku v dokončovací dutině a to z důvodu zvětšení její životnosti. Předkovací dutiny mohou být vybaveny dle potřeby vyhazovači.

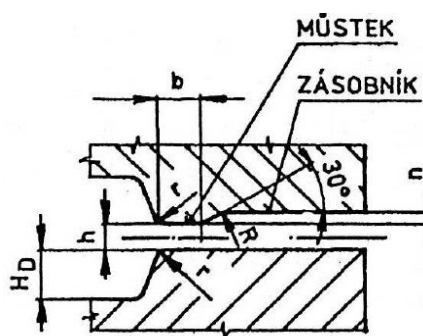


Obr. 25 Předkovací dutiny pro lisy [9]

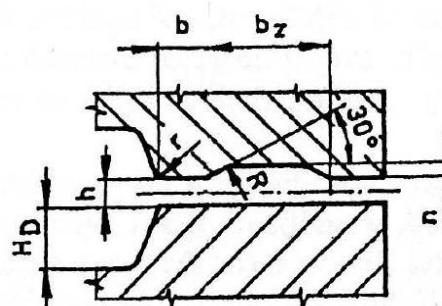
2.5.2 Tvary a rozměry výronkových drážek [5] [6] [13]

Výronkové drážky podobně jako na bucharech slouží k regulaci tlaku a zachycení přebytečného materiálu. Mají velký význam pro dosažení správných rozměrů v dokončovací dutině zápustky. Konstrukce těchto drážek se vyznačuje tím, že je otevřená a zásadní je, aby na sebe horní a spodní díl zápustky nedosedl. Vzdálenost mezi horní a spodní zápustkou při dolní úvratí beranu je výška můstku $\underline{h}$. Zásobník $\underline{n}$ je tvořen vybráním k hornímu okraji zápustky. Celá drážka je tedy tvořena výškou můstku $\underline{h}$ a hloubkou zásobníku $\underline{n}$.

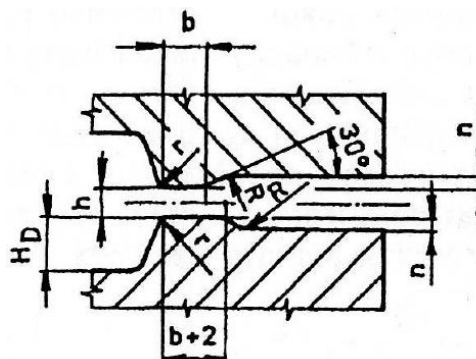
Výronkové drážky jsou tři typů. Typ I je nejčastěji používaný. Typ II se používá v případě, že je dutina hodně vzdálena od okraje zápustky. Poslední typ III se používá tehdy, je-li v předkovku značný přebytek materiálu.



Obr. 26 Výronková drážka typ I [13]



Obr. 27 Výronková drážka typ II [13]



Obr. 28 Výronková drážka typ III [13]

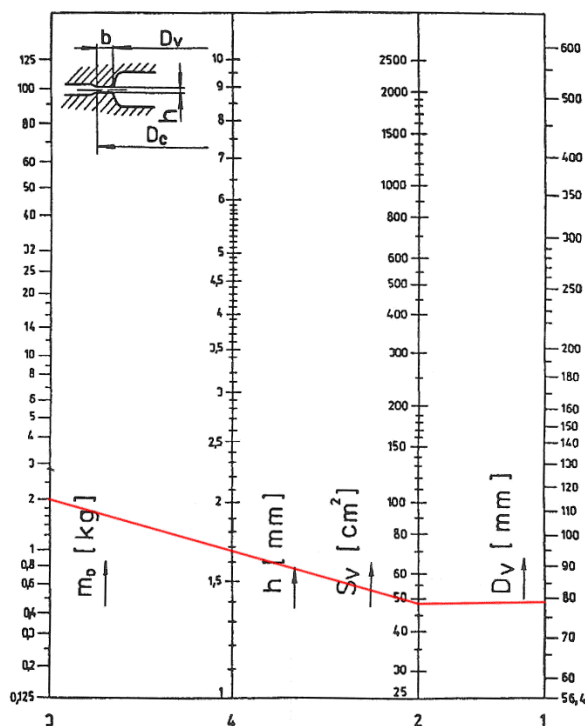
Výpočet výronkové drážky dle ČSN 22 8306

Pokud známe velikost tvářecí síly, můžeme určit rozměry výronkové drážky dle tab. 13

Tab. 13 Rozměry výronkových drážek, hodnoty v mm [13]

síla lisu (kN)	$\underline{h}$	$\underline{b}$	$\underline{b_z}$	$\underline{r}$
2 500	1 až 1,5	3 až 5	25	1 až 1,5
6 300	1 až 2	3 až 7	25	
10 000	1,5 až 2,5	4 až 7,5	30	
16 000	2 až 3	5 až 8	32	1,5 až 2,5
25 000	2,5 až 4	6 až 10	38	
31 500	2,5 až 4,5	6 až 11	40	2 až 3
40 000	3,5 až 5,5	7 až 12	42	
63 000	4,5 až 8	9 až 15	50	2 až 5

Pokud není známa velikost tvářecí síly, výška můstku h se určí z nomogramu dle obr. 29 a poté se spočítají ostatní hodnoty jako je šířka můstku b , hloubka zásobníku n apod., viz dále.



Obr. 29 Nomogram pro stanovení výšky můstku h [13]

Šířka můstku

$$b = 3 \cdot h \text{ [mm]}, \quad \text{kde: } h - \text{výška můstku [mm]} \quad (2.12)$$

Hloubka zásobníku

$$n = 0,4 \cdot h + 2 \text{ [mm]} \quad (2.13)$$

Poloměr zaoblení r přechodu do dělicí roviny:

$$r = \frac{\sqrt{S_V}}{200} + 0,04 \cdot H_D \text{ [mm]} \quad (2.14)$$

kde: S_V – průměr plochy výkovku bez výronku do dělicí roviny [cm^2]
 H_D – výška spodní dutiny zápustky [mm]

Objem výronku

$$V_{VYR} = O \cdot \left[b \cdot h + \left(n + \frac{h}{2} \right) \cdot B \right] \text{ [mm}^3\text{]} \quad (2.15)$$

kde: O – obvod výkovku v dělicí rovině [mm]
 b – šířka můstku [mm]
 h – výška můstku [mm]
 n – výška zásobníku výronku [mm]
 B – šířka otřepu v zásobníku [mm]

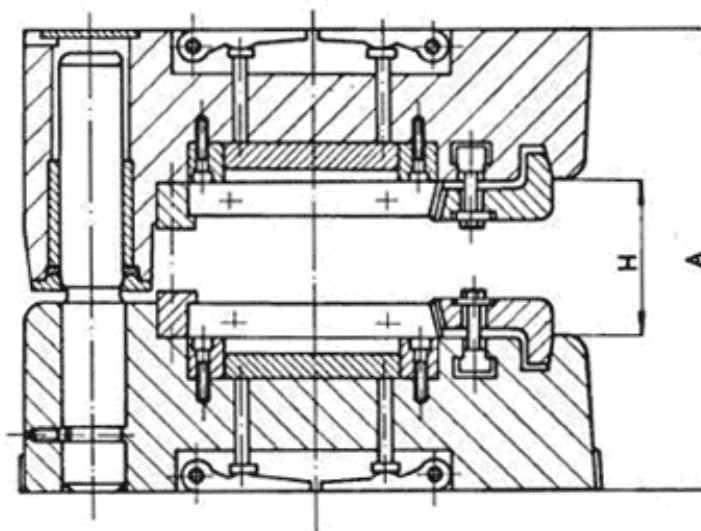
Pro výkovky o hmotnosti do 0,5 kg se šířka otřepu v zásobníku B volí 10 mm, do 2 kg se volí 15 mm a nad 2 kg se volí 20 mm.

2.5.3 Vedení zápustek na lisu [13]

U lisů je vedení zápustek zajištěno přesným vedením smýkadla lisu a vodícími sloupky. Nastane-li případ, kdy je vedení vzhledem k nutné přesnosti nedostatečné, používá se kruhové vedení nebo tzv. zámky. Kruhové vedení (jeho vnější část) se zhotovuje v horní zápustce s tolerancí H8/t7 popř. u7. Vedení je možné opatřit vybráním, které zajistí snadnější manipulaci s výkovkem. Zámky se používají u výkovků s lomenou dělicí rovinou pro zachycení posouvajících sil.

2.5.4 Upínání zápustek na lisu [5] [9] [11]

Zápustky se upínají do upínacích držáků. Držák upevněný na stole lisu se nazývá spodní držák, horní je upnut v beranu lisu. Tvar zápustek bývá kruhový nebo obdélníkový. Rozměry zápustek závisí na použitém držáku, jehož výška je určena sevřenou výškou držáku (rozměr H) a sevřenou výškou lisu A. Uložení zápustek je na kalené desce, ve které jsou vytvořena vybrání pro vyhazovače. Na zadní straně se zápustka opírá o osazenou lištu, upínka se opírá o přední stranu, kde je úkos. Pomocí boční lišty se provádí boční ustavení na jedné straně. Úkosovou lištou a šrouby provádíme ustavení na druhé straně.



Obr. 30 Upínání zápustek na svislých lisech [9]

2.5.5 Vyhazování výkovků a typy vyhazovačů [6] [13]

Pomocí vyhazovačů se řeší problém, kdy dochází k ulpívání výkovku v zápustce. Ulpívání ovlivňuje zejména hloubka dutiny, tření, členitost výkovku, úkosy, špatné mazání a odstraňování okují. Při konstruování zápustek je nutné zvážit, který způsob vyhazování bude nejvhodnější vzhledem k použitému konkrétnímu stroji. Pokud se zvolí vhodný způsob vyhazování, může dojít k výraznému zvýšení životnosti zápustek. Podle tvaru činné části, která je v přímém styku s výkovkem se rozlišují tyto typy vyhazovačů:

Prstencové vyhazovače

Používají se pro výkovky se zahlučením ve středu výkovku. Dle normy ČSN 22 8306 určíme přesné rozměry těchto vyhazovačů. Vyhazovač je znázorněn na obr. 31.

Předkovací trn:

$$\frac{d_{pt}^2}{D_{pt}^2} \leq 0,85 \quad (2.16)$$

kde: d_{pt} – průměr otvoru pro předkovací trn [mm]
 D_{pt} – průměr dosedací části předkovacího trnu [mm]

Průměr prstence D_p musí vyhovovat podmínkám:

$$D_p \geq d_p + 5 \text{ [mm]} \quad (2.17)$$

$$D_p \geq D_t + d_v + 5 \text{ [mm]} \quad (2.18)$$

kde: D_p – průměr dosedací části prstencového vyhazovače [mm]
 d_p – průměr otvoru pro prstencový vyhazovač [mm]
 D_t – roztečný průměr otvorů pro vyrážecí kolík upínače zápustek [mm]
 d_v – průměr otvoru pro vyrážecí kolík [mm]

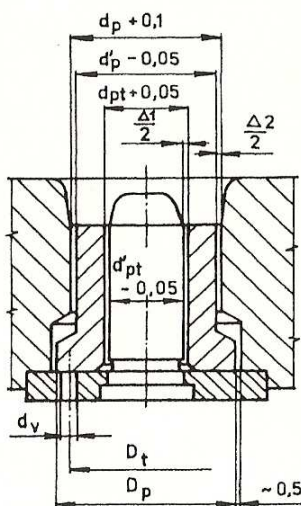
Kolíkové vyhazovače

Nejčastěji bývají v těchto provedeních: středové, mimostředové, umístěné v ploše výronku – působí na blánu, tvar nebo výronek. Tvar a rozměry vyhazovače jsou zobrazeny na obr. 32. Jejich rozměry se určí podle normy ČSN 22 8306.

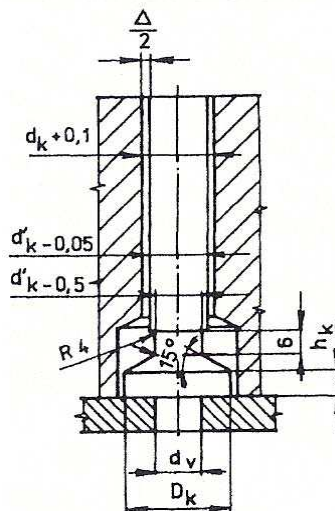
Průměr hlavy (paty) kolíkového vyhazovače:

$$D_k = \sqrt{2 \cdot d_k^2 + d_v^2} \text{ [mm]} \quad (2.19)$$

kde: d_k – průměr otvoru pro vyhazovací kolík [mm]
 d_v – průměr otvoru pro vyrážecí kolík [mm]



Obr. 31 Prstencový vyhazovač [13]



Obr. 32 Kolíkový vyhazovač [13]

Vložkové vyhazovače

Jako vyhazovač je použita vložka – předkovací trn. Jsou vhodné pro výkovky s blánou posunutou do spodní části výkovku. Používají se ve výjimečných případech, pokud vyhazovací kolík příliš zeslabuje vložku.

2.5.6 Výpočet kovací síly [1] [12] [13]

Určení kovací síly je důležité, pro správné stanovení velikosti stroje. Velikost této síly závisí především na velikosti výkovku, jeho tvaru, rozměrech a tvaru výronkové drážky. Dále také na přetvárném odporu – s tím souvisí vhodná volba kovací teploty a také dostatečné mazání zápustek. K výpočtu kovací síly slouží několik metod, z nichž nejpoužívanější jsou tyto: dle Storoževa, dle Brjuchanova – Rebelského, dle Tomlenova. Poslední zmíněná metoda je nejpracnější, nicméně poskytuje nepřesnější výsledky.

Kovací síla podle Storoževa:

$$F_K = \sigma_p \cdot \left[\left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h} \right) \cdot S_{výr} + \left(1,5 + \frac{b}{h} + 0,1 \cdot \frac{D_v}{h} \right) \cdot S_v \right] \text{ [N]} \quad (2.20)$$

kde: D_v – průměr výkovku bez výronku [mm]
 s – šířka můstku [mm]
 h – výška můstku [mm]
 $S_{výr}$ – plocha průmětu výkovku včetně výkovku [mm²]
 S_v – plocha průmětu výkovku bez výronku [mm²]
 σ_p – přirozený přetvárný odpor [MPa]

Výpočet kovací síly dle Brjuchanov – Rebelského

$$F_K = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v} \right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_v \text{ [N]} \quad (2.21)$$

Kovací síla dle Tomlenova (viz. ČSN 22 8306)

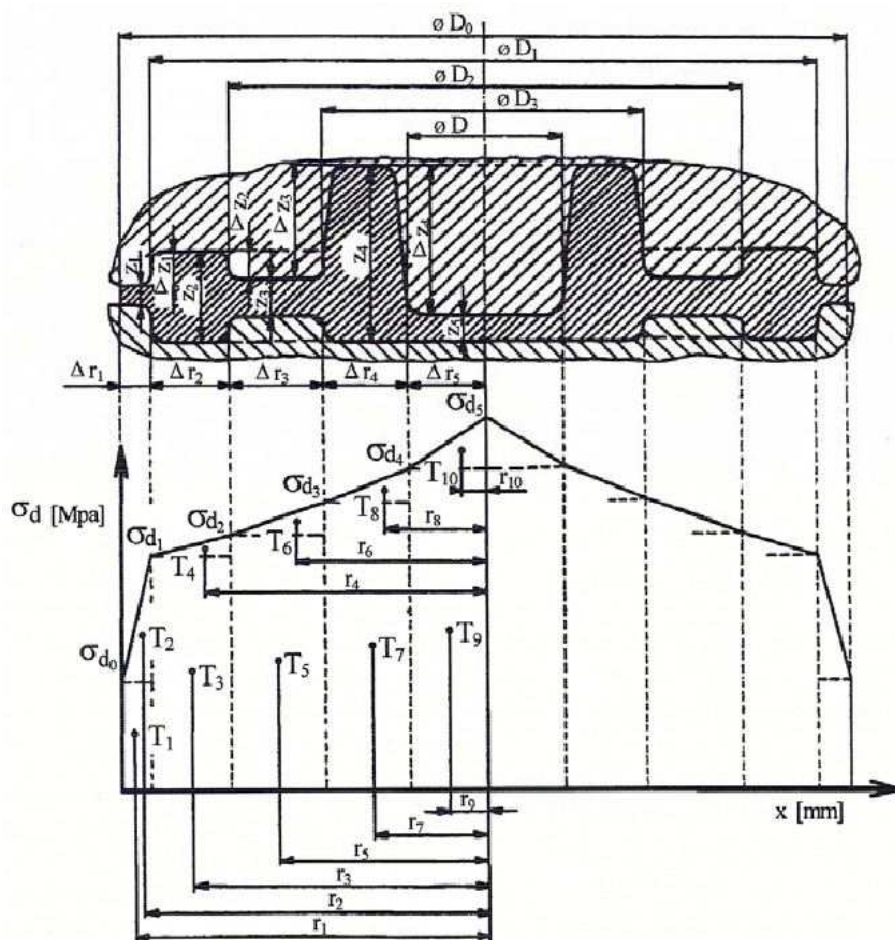
Napětí v jednotlivých bodech průřezu:

$$\sigma_{d0} = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 \text{ [MPa]} \quad (2.22)$$

$$\sigma_{d1} = \sigma_{d0} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_1}{z_1} \text{ [MPa]} \quad (2.23)$$

$$\sigma_{dn} = \sigma_{dn-1} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_n}{z_n} \text{ [MPa]} \quad (2.24)$$

kde: C_0 – součinitel snížení plasticity materiálu u výronku vlivem poklesu teploty
 R_{mT} – pevnost materiálu za kovací teploty [MPa]



Obr. 33 Průběhy přetvárných odporů výkovku [12]

Výpočet dílčích ploch pod čarami přetvárných odporů:

$$S_j = \sigma_{dn} \cdot \Delta r_n \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.25)$$

$$S_{j+1} = (\sigma_{dn+1} - \sigma_{dn}) \cdot \frac{\Delta r_n}{2} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.26)$$

Síla vznikající od normálových složek napětí:

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n r_j \cdot S_j \text{ [N]} \quad (2.27)$$

Síla vznikající od tangenciálních složek napětí:

$$F_T = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n \Delta S_j' \text{ [N]} \quad (2.28)$$

kde: S_j' – boční plocha výkovku v pohybujícím se dílu zápustky [mm²]

Výsledná kovací síla

$$F_K = F_N + F_T \text{ [N]} \quad (2.29)$$

2.6 Příprava polotovarů pro kování [5]

Přípravou se rozumí zejména dělení převážně tyčového materiálu na přířezy. Může být bezodpadové např. stříhání a lámání nebo s odpadem, kam můžeme zařadit např. upichování, řezání pilami, řezání kyslíkem, rozbrušování. Nejpoužívanější metody jsou dále podrobněji popsány.

Stříhání

Stříhání je metoda postupného nebo současného oddělování části materiálu působením břitů nožů proti sobě. Na začátku stříhu působí síla na horní nůž a zároveň na spodním noži vznikne stejně velká reakce a oba nože se začnou vtlačovat do materiálu. Pokud dojde k zatlačení do určité hloubky, dosáhne smykové napětí takovou velikost, že se začne porušovat soudržnost kovu. Na kvalitu střížné plochy má velký vliv geometrie střížných nožů a také vůle mezi nimi. Jako nejdokonalejší druh stříhání je způsob uzavřeného stříhu, díky kterému se dosahuje nejlepší kvality stříhu a malých deformací přířezu. Při tomto způsobu stříhání jsou nože vytvořeny jako podélně dělené čelisti, které objímají po celém obvodu tyč i přířez.

Lámání

Metoda, při které je možno materiál za studena lámat pomocí mechanických nebo hydraulických lamačů. Lámaný materiál by měl mít vyšší pevnost, aby mohlo dojít k lomu. V případě materiálu o menší pevnosti by došlo k ohnutí polotovaru. Před samotným lámáním se musí vytvořit vrub v místě uvažovaného lomu, popř. naseknutí či naříznutí pilou. Velkou výhodou této metody je velká produktivita. Při lámání není plocha po oddělení tak hladká jako v případě stříhání.

Řezání pilami

Řezání pilami se provádí hlavně z důvodu dobré kvality řezné plochy a přesnosti, nicméně tyto přednosti jsou zastíněny menší produktivitou, vyšší cenou a menší trvanlivostí řezných nástrojů a vznikem odpadu. Můžeme řezat materiál s velkými průřezy, profilové tyče nebo trubky.

Řezání kyslíkem

Princip je takový, že se místo řezu nahřeje acetyléno-kyslíkovým plamenem tak, aby materiál v místě zahřívání dosáhl bílé barvy. Na takto rozžhavený kov začne proudit kyslík. V proudu kyslíku se začne spalovat železo a vzniklý oxid je odfukován z místa řezu. Lze řezat ocel o tloušťce až 1000 mm. Nelze však řezat neželezné kovy. Je-li řezání provedeno správně, lze se vzhledem řezné lochy přiblížit ploše, která vznikne obráběním.

2.7 Předehřívání zápustek [5]

Nástrojové oceli pro výrobu zápustek mají po tepelném zpracování nízkou houževnatost. Z toho důvodu je nutné zápustky před samotným kovááním předehřát na 200 až 300 °C. Platí pravidlo, že čím je zápustka členitější, popř. čím více má dutin, tím předehřev nabývá více na významu. Nedodržení těchto hledisek vede k praskání zápustek. Předehřev také zabraňuje rychlému poklesu teploty výkovku a tím také nárůstu tlaků v zápustkové dutině, čímž dojde ke snížení opotřebování plastickou deformací a otěrem.

Zápustky se předehřívají několika způsoby, z nichž nejpoužívanější, ale málo vhodný je předehřev pomocí ohřátého ocelového bloku nebo desky. Dochází k ohřívání zápustky přímo na kovacím stroji. Mnohem více ideální je předehřev na pískovém roštu, který vyhřívají

plynové hořáky. Příliš velká teplota předehřevu (nad 300 °C) není žádoucí, neboť má za následek pokles houževnatosti.

2.8 Ohřev materiálu a ohřívací zařízení pro kování [2] [5]

Pro zápusťkové kování je nutné vhodně ohřát materiál polotovaru, aby se docílilo schopnosti dobře zaplňovat formu zápusťky. Snahou je, aby kování probíhalo za nejvyšších možných kovacích teplot, neboť se při nich materiál nejlépe tváří. Čím je teplota vyšší tím se sníží deformační odpor, což má za následek menší opotřebení dutin zápusťek – je možné vyrobit větší počet výkovků z jedné zápusťky. Prodleva na vysokých teplotách by však neměla být příliš velká, neboť hrozí zhrubnutí zrna. Je nutné, aby kovací teploty odpovídali požadovanému stupni deformace. Je-li deformace kovu dostatečně velká, dojde k zjemnění zrna, pokud je deformace nedostatečná, zůstane hrubší zrno a musí následovat další tepelné zpracování, což často nastává u výkovků složitější tvarů. Kovací teploty by neměly být příliš velké, protože by mohlo dojít ke spálení materiálu. Důležitým faktorem je také doba ohřevu. Pokud dojde k ohřátí velmi rychle, nezajistí se dostatečné a rovnoměrné prohřátí celého základního materiálu. Naopak pomalý ohřev podporuje vznik okují. V této kapitole jsou dále popsány nejpoužívanější způsoby ohřevu materiálu.

Karuselové pece

Jedná se o průchozí pece, které se používají pro ohřev velkého sortimentu materiálu. Vyznačují se kruhový průřezem s otočnou pracovní plochou. Otočná plocha se skládá z části předehřívací, ohřívací a vyrovnávací. Nevýhodou těchto pecí jsou jejich velké rozměry, které zabírají velkou půdorysnou plochu.

Pece talířové

Svým zařazením patří mezi pece karuselové. Ohřívání polotovaru se pohybuje v jednom pracovním prostoru. Výhodou těchto pecí je cyklický chod, rovnoměrné rozložení ohřívání materiálu a vyznačují se také snadnější obsluhou při zakládání a vyjímání materiálu. Mezi nevýhody patří nevyužití tepla odcházejících spalin, které by se daly využít k přímému předehřívání materiálu.

Pece strkací

Patří do skupin průchozích pecí. Je to jedna z nejvhodnější pecí pro ohřev materiálu pro zápusťkové kování ve velkých sériích. Pracovní prostor pece se skládá z části předehřívací a ohřívací. Výhodou těchto pecí je pravidelná dodávka ohřívání materiálu a také jednodušší provedení s čímž je spojena jejich nižší cena a lepší využití místa.

Pece komorové

Tyto pece jsou druhově rozmanité. Liší se konstrukcí, provedením, tvarem pracovního prostoru apod. Nevýhodou těchto pecí je nerovnoměrný ohřev a takové průchod materiálu pecí.

Pece šterbinové

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

Indukční ohřev

Při tomto způsobu ohřevu vzniká teplo při umístění polotovaru do indukční cívky, 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.

2.9 Mazání zápustek a druhy maziv [5]

Mazání při zápustkovém kování slouží ke snížení tření mezi zápustkou a tvářeným materiálem. Dále je důležité z důvodu lepšího vyjímání výkovků ze zápustky a také snižuje otěr samotné zápustky. Snižováním tření mezi zápustkou a materiálem se snižuje deformační odpor, síla a práce. Mazivo musí mít tu základní vlastnost, že jeho mazací účinky musí být stále i při vlivu provozních teplot a tlaků.

Druhy maziv:

- Tuhá maziva

V technické praxi je nejrozšířenější grafit, jehož dobré mazací vlastnosti jsou dány díky jeho krystalické struktuře. Grafit se také vyznačuje dobrou přilnavostí a termickou stabilitou. Tuhá maziva bývají rozptýlena ve vodě nebo v oleji a pomocí rozprašování jsou nanášena na zápustky.

- Kapalná maziva

Jedná se o oleje, které se vypařují kolem 200°C. Jde o různé minerální a organické oleje, syntetické látky

- Mazací tuky a mýdla

Tento způsob mazání není příliš vhodný, protože se musí provádět ručně. Po vypaření zanechávají tyto maziva tuhé zbytky, které se musí dále odstranit.

- Piliny

Používají se převážně u hlubokých zápustek k uvolnění výkovků. Uvolňují výkovek díky vodní páře a plynům, které vzniknou při spalení pilin.

- Sklo

Na materiál se nanese ve formě vaty popř. folie. Nosič se při ohřevu vypaří, roztaví se sklo a vytvoří ochrannou vrstvu. Nevýhodou je nutnost odstranit ztuhlé zbytky z dutiny zápustky.

2.10 Ostříhování a děrování výkovků [2] [5]

Při zápustkovém kování na lisech či bucharech vznikne po kování v otevřených zápustkách na výkovku určitý přebytek materiálu, který nazýváme výronek nebo v případě předkování otvorů tzv. blána. Pro dosažení konečných rozměrů a tvaru je nutné tento přebytek materiálu odstranit. To se děje pomocí ostříhování a děrování a je ho možné provádět za tepla nebo za studena. Za tepla se ostříhují výkovky s obsahem C větším než 0,5%, za studena výkovky s obsahem do 0,5% C. V případě velkých výkovků se ostříhování a děrování provádí skoro vždy za tepla a to z důvodu menších tlaků při ostříhování a možnosti výkovek vyrovnat.

Ostříhovací síla

$$F_{SO} = 1,6 \cdot h \cdot o \cdot 0,8 \cdot R_m \text{ [N]} \quad (2.30)$$

kde: h – výška můstku [mm]
 o – obvod výkovku v dělicí rovině [mm]
 R_m – mez pevnosti materiálu v tahu [MPa]

Děrovací síla

$$F_{SD} = 1,6 \cdot h \cdot o \cdot 0,8 \cdot R_m \text{ [N]} \quad (2.31)$$

kde: h – výška blány [mm]
 o – obvod blány [mm]
 R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

2.11 Oceli na zápustky [5] [9]

Materiál na zápustky musí splňovat náročné požadavky a to především:

- Vysokou tvrdost, houževnatost, dobrou tvarovou stálost
- Vysokou pevnost za tepla a odolnost proti teplotě do cca 650 °C
- Vysokou odolnost proti otěru
- Dobrou obrobiteľnosť

Pro výrobu zápustek se nejčastěji používají chromniklové oceli 19 650, 19 662, 19 663 pro střední a velké zápustky. Mají velkou houževnatost a malou náchylnost k praskání, nevýhodou těchto ocelí je, že se nehodí pro složitější zápustky z důvodu nižší popouštěcí teploty (450 ÷ 500 °C)

Další skupinou jsou chromové oceli 19 552, 19 553, které jsou vhodné pro středně velké zápustky. Jejich popouštěcí teplota je o něco vyšší než v případě chromniklových ocelí.

Složitě zápustky se vyrábějí z wolframových ocelí 19 721 a 19 723, které slouží také k vložkování zápustek. Jejich nevýhodou je citlivost na tepelné šoky, což vede k praskání.

Oddělenou skupinu tvoří ocel 19 541, která se užívá hlavně pro nástroje chlazené vodou, pro lisování a tlakové lití

Pro volbu vhodného zápustkového materiálu je nutné brát v úvahu různé vlivy a požadavky. Pokud se kove nelegovaná ocel, může být materiál zápustky měkkší. Další faktor ovlivňující volbu materiálu je způsob kování – zda jde o lis či buchar. U bucharu bývá zápustka namáhána mechanicky (rázy), kdežto u lisu převážně teplotně.

Množství vyráběných kusů má také výrazný vliv na volbu materiálu. Při větším počtu kusů je výhodnější zvolit materiál s vyšší životností.

Jako poslední vliv je zde tvar zápustkové dutiny. Pro hluboké výkovky je lepší zvolit materiál houževnatější a zušlechťený v celém průřezu. Naopak pro méně složité zápustky je lepší volbou materiál křehčí, ale zase s vyšší tvrdostí.

2.12 Tepelné zpracování [5]

Normalizační žíhání

Používá se k zjemnění struktury a odstranění vnitřního pnutí, které vzniká ohřevem na kovací teplotu a následném ochlazení. Skládá se z ohřevu na teplotu o 30 až 50 °C vyšší než je teplota rekrytalizace. Následuje výdrž na této teplotě k dosažení stejnorodé struktury, poté se materiál ochlazuje v peci nebo na vzduchu.

Žíhání na měkko

Tohoto způsobu tepelného zpracování se užívá proto, aby po kování nebo odlití šly zápustkové bloky dobře obrábět. U ocelí na zápustky se žíhání na měkko uskutečňuje výdrží na teplotě cca 670-730°C po dobu asi 3-4 hodin (zejména u vysoko legovaných ocelí) s následným ochlazením v peci. Zápustky tepelně zpracované tímto způsobem se dobře obrábějí, tváří a dobře kalí.

3 SOUČASNÉ MOŽNOSTI VÝROBY SOUČÁSTI

Bakalářská práce se zabývá návrhem technologie výroby pro danou součást – ozubený pastorek. Pro správnou volbu technologie výroby je nutné přesně zvážit všechny klady a zápory, aby docházelo ke správnému hospodaření s materiálem, energií a součást splnila předepsané mechanické vlastnosti. Součást lze vyrábět různými metodami např. obráběním, odléváním nebo objemovým tvářením za tepla – kováním.

Technologie obrábění se používá převážně v kusové malosériové výrobě. Pomocí této technologie je možné dosáhnout velké přesnosti a jakosti povrchu. V případě součásti řešené v bakalářské práci, není nutné použít speciální obráběcí stroje. Obrábění se u jiných technologií často používá jako dokončovací metoda k dosažení konečných tvarů a rozměrů výrobků. Nevýhodou této technologie jsou přerušená vlákna a velké procento odpadu ve formě třísek, pokud by součást byla vyráběna pouze z hutního polotovaru. Dále je nutné řešit opotřebení, ostření popř. výměnu nástrojů.

Další technologií, která se nabízí je výroba součásti pomocí odlévání. Jedná se o metodu, která se s výhodou uplatňuje převážně v hromadné výrobě. Odlévání se vyznačuje dobrou produktivitou a lepším hospodařením s materiálem než v případě obrábění. Nicméně ve srovnání s kováním nedosahujeme takových mechanických vlastností. Mezi nevýhody tohoto způsobu výroby patří zejména velké energetické náklady na ohřev materiálu a také náklady na výrobu formy pro odlévání.

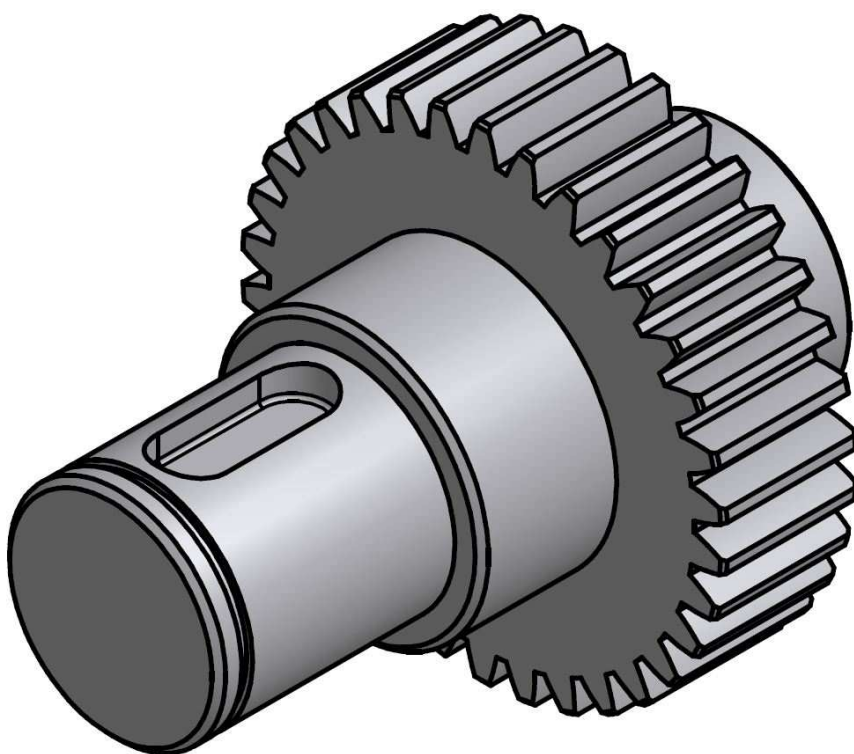
Poslední již zmíněnou technologií je kováání, resp. kováání v zápustce. Použití této technologie je velmi výhodné v případě velkých sérií tvarově shodných součástí. Hlavní předností je velká produktivita a hospodaření s materiálem. Součásti vyráběné zápustkovým kovááním se vyznačují lepšími mechanickými vlastnostmi než v případě předešlých dvou technologií a ideálním průběhem vláken, které kopírují tvar součásti. Díky tomu je možné dosáhnout vyšší životnosti, což je zvláště důležité u cyklicky namáhaných součástí, na které jsou kladeny vysoké provozní požadavky. Vzhledem k tomu, že součást řešená v bakalářské práci – pastorek je takto provozně namáhána a počet vyráběných kusů je $120\,000\text{ ks}\cdot\text{rok}^{-1}$, ukazuje se zápustkové kováání jako nejvýhodnější technologie pro výrobu.

Je nutné podotknout, že předešlé dvě metody – odlévání a kováání slouží více méně k výrobě ideálnějšího polotovaru pro následné konečné obrábění. Dochází k lepšímu využití materiálu, než je tomu v případě použití běžného hutního polotovaru.

S volbou technologie výroby pomocí zápustkového kováání je však nutné vyřešit správnou volbu stroje pro tvářením. Součást je možné tvářet pomocí rázového účinku na bucharu nebo klidnou silou v případě použití lisu. Při použití bucharu dochází ke snadnějšímu zatékání kovu a tím i zaplňování celé zápustkové dutiny ve směru rázu. Rázové účinky bucharu také příznivě přispívají k odstraňování okujů z výkovku. U bucharů je nutné řešit tlumení rázů v základech stroje a také přesnost výroby bývá zpravidla menší než při použití lisů.

U mechanických lisů kovací síla není rázová, ale působí plynule - pracuje se klidným tlakem. Lisy se vyznačují lepším zatékáním kovu v kolmém směru vzhledem k působící síle. Při kováání na lisech je pro každou operaci samostatná zápustka s čímž je spojeno menší opotřebení každé dutiny, protože žhavý kov je ve styku se zápustkou jen po dobu jeho stlačení. Mechanické lisy se také vyznačují přesnějším vedením beranu a tím zajišťují lepší vzájemné vymezení polohy obou zápustek – celková přesnost je vyšší. Konstrukce lisu dovoluje použít vyhazovače. Díky tomu je možné volit menší úkopy, což má za následek uspoření určité části materiálu. Mechanické lisy jsou dražší než buchary, nicméně při použití v hromadné výrobě a možností automatizace se v konečném výsledku jeví jako výhodnější varianta.

Při zhodnocení všech kritérií a jednotlivých technologií bude nejvýhodnější součást vyrábět zápustkovým kovááním na svislém kovacím lisu.



Obr. 34 3D model součásti

4 TECHNOLOGIE VÝROBY PASTORKU

4.1 Materiál výkovku [7] [17]

Pastorek se bude vyrábět z oceli 14 220.0 (16MnCr5). Označení dle ČSN je 41 4220. Jedná se o ocel, která je vhodná k cementování a objemovému tváření. Je dobře tvárná za tepla a po žíhání i za studena. Hlavní oblast použití je pro menší hřídele, ozubená kola, šneky, vačkové hřídele, včetně obráběcích strojů, pístní čepy, pera, zubové spojky apod.

Mechanické vlastnosti:

Mez pevnosti v tahu R_m :	min. 785 MPa
Mez kluzu R_e :	min. 590 MPa
Tvrdost:	239 HB

Chemické složení:

Uhlík:	0,14 ÷ 0,19 %
Mangan:	1,1 ÷ 1,4 %
Křemík:	0,17 ÷ 0,37 %
Chrom:	0,8 ÷ 1,1 %
Fosfor:	max. 0,035 %
Síra:	max. 0,035 %

Tepelné zpracování:

Normalizační žíhání:	880 ÷ 920 °C
Žíhání na měkko:	680 ÷ 720 °C
Cementování:	840 ÷ 870 °C
Kalení:	850 ÷ 880 °C
Popouštění:	160 °C /1h

4.2 Zařazení výkovku dle složitosti tvaru

Zařazení výkovku podle normy 42 9002:

Tvarový druh:	4 – výkovky kruhového průřezu plné
Tvarová třída:	4 – oboustranně osazené
Tvarová skupina:	3 – výkovky plné
Tvarová podskupina:	0 – bez přesahu
Technologické hledisko:	4 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu nesouměrné

Výsledné číselné označení výkovku: **4 4 3 0 – 4**

4.3 Návrh výkovku

Podle výkresu hotové obrobenej součásti (PASTOREK č.v. 3 - BP – 2011/001) se navrhl výkovek (PASTOREK - VÝKOVEK č.v. 3 - BP – 2011/002). Bylo nutné zohlednit tvarovou složitost a rozměry součásti. Na základě těchto parametrů se stanovily přídavky na obrábění, technologické přídavky, mezní úchytky a tolerance rozměrů dle normy ČSN 42 9030.

4.3.1 Přídavky na obrábění

Jsou určeny podle tab. 1. Největší průměr výrobku ve směru kolmo k rázu je 72 mm. Největší výška hotového výrobku je 93 mm. Potom dle tab. 1 jsou přídavky na obrábění 2,5 mm.

4.3.2 Technologické přídavky

Zaoblení hran r a přechodů R určíme dle tab. 2:

Limitní hodnota zaoblení pro obráběné hrany r se stanoví z podmínky zachování přídavku v oblasti hrany – zvoleny hodnoty R 3 a R 6

Na součásti se vyskytují dva přechody s výškou (hloubkou) 18 a 55 mm.

Pro výšku (hloubku) 18 mm byla zvolena hodnota poloměru zaoblení přechodu R 6

Pro výšku (hloubku) 55 mm byla zvolena hodnota poloměru zaoblení přechodu R 10

Úkosity výkovku – zvoleny dle tab. 3

Pro lisy s vyhazovačem dle tab. 3 činí rozsah $2 \div 3^\circ$ (vnější úkosity). Na součásti není třeba řešit žádný vnitřní úkos. Výsledná volba úkosu je 3° .

4.3.3 Mezní úchylky a tolerance rozměrů výkovku

Tato část se řídí normou ČSN 42 9030. Podle složitosti tvaru výkovku se z tab. 5 určil stupeň přesnosti. Přesné hodnoty úchylek a tolerancí rozměrů se dále určily dle tab. 6, 7 a 8.

Rozměry ve směru kolmo k rázu (IT 5)

Mezní úchylky:	Horní úchylka: +1,2 mm
	Dolní úchylka: -0,6 mm
Tolerance:	1,8 mm

Rozměry ve směru rázu (IT 6)

Mezní úchylky:	Horní úchylka: +1,9 mm
	Dolní úchylka: -0,9 mm
Tolerance:	2,8 mm

Mezní úchylky pro zaoblení hran r

Přesné úchylky dostaneme po vynásobení poloměru zaoblení hrany hodnotou +0,25 pro horní úchylku a hodnotou -0,5 pro dolní úchylku.

Mezní úchylky pro zaoblení přechodů R

Po vynásobení poloměru přechodu hodnotou +0,5 dostaneme horní mezní úchylku, pro dolní úchylku musíme poloměr zaoblení přechodu vynásobit hodnotou -0,25

Dále je nutné stanovit hodnotu dovoleného přesazení p, otřepu a sestřížení g, ta je rovna minusové mezní úchylce, která je stanovena pro daný výkovek a daný rozměr z úchylek kolmo k rázu dle ČSN 42 9030. Hodnoty p a g jsou tedy + 0,6 mm.

4.3.4 Poloha dělicí roviny

Dělicí rovina byla umístěna vzhledem k tvaru a uspořádání součásti do poloviny délky největšího průměru. V tomto místě dochází k zajištění nejlepšího zaplnění zápustky.

4.3.5 Tvar a rozměry výronkové drážky

Tvar výronkové drážky byl zvolen obyklý typ I viz obr. 26 výše.

Výška můstku

Výška můstku h je stanovena dle nomogramu na obr. 29 v závislosti na $D_v = 78,3$ mm, $S_v = 48,15$ cm², $m_0 = 2$ kg

kde: D_v – průměr výkovku bez výronku [mm]
 S_v – průměr plochy výkovku bez výronku [cm²]
 m_0 – hmotnost přířezu [kg]

Výpočet průmětu plochy do dělicí roviny:

$$S_v = \frac{\pi \cdot D_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot 78,3^2}{4} = 4815 \text{ mm}^2 = 48,15 \text{ cm}^2$$

Z nomogramu (obr. 29) se stanovila výška můstku $h = 1,68$ mm.
Zvolena výška můstku $h = 1,8$ mm.

Šířka můstku

$$b = 3 \cdot h = 3 \cdot 1,8 = 5,4 \text{ mm} \quad (4.1)$$

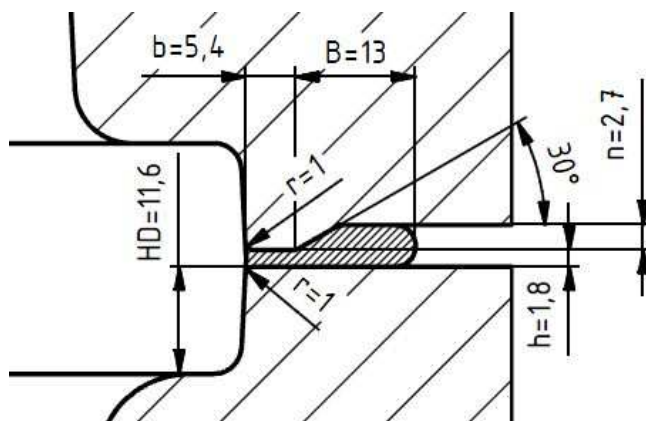
Hloubka zásobníku

$$n = 0,4 \cdot h + 2 = 0,4 \cdot 1,8 + 2 = 2,72 \text{ mm} \quad (4.2)$$

Poloměr zaoblení přechodu tvaru do dělicí roviny:

$$r = \frac{\sqrt{S_v}}{200} + 0,04 \cdot H_D = \frac{\sqrt{4815}}{200} + 0,04 \cdot 11,6 = 0,81 \text{ mm} \quad (4.3)$$

Zvolen poloměr zaoblení přechodu 1 mm.



Obr. 35 Tvar a rozměry výronku

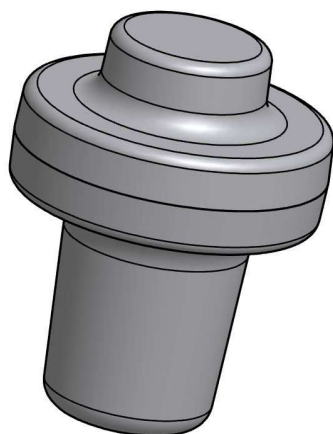
4.4 Návrh polotovaru [3]

4.4.1 Výpočet celkového objemu výkovku

Objem výkovku

Objem výkovku se určil pomocí 3D modelu, zhotoveného v softwaru Autodesk Inventor 2010.

$$V_v = 228813 \text{ mm}^3$$



Obr. 36 Model výkovku

Objem výronku

Výronek se nejprve vymodeloval ze vstupních hodnot h , b , B , n a poté pomocí softwaru Autodesk Inventor 2010 se určil jeho objem.

$$V_{výr} = 18873 \text{ mm}^3$$



Obr. 37 Model výronku

Objem přídavku na propal

$$V_{op} = (V_v + V_{výr}) \cdot 0,03 = (228813 + 18873) \cdot 0,03 = 7431 \text{ mm}^3 \quad (4.4)$$

Celkový objem výkovku

$$V_c = V_v + V_{výr} + V_{op} = 228813 + 18873 + 7431 = 255117 \text{ mm}^3 \quad (4.5)$$

4.4.2 Rozměry a hmotnost polotovaru [3]

Pro stanovení velikosti musíme nejprve ověřit tzv. štíhlostní poměr λ . Ten udává poměr délky vzhledem k průměru a jeho dodržení je klíčové proto, aby nedošlo k vybočení polotovaru do stran a tvorbě přeložky.

$$\lambda = \frac{L_{pol}}{D_{pol}} = 1,5 \div 2,8$$

Průměr polotovaru

$$D_{pol} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_C}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{255117}{2,8}} = 48,6 \Rightarrow 49 \text{ mm} \quad (4.6)$$

Zvolen průměr polotovaru 49 mm.

Délka polotovaru

$$V_{pol} = \frac{\pi \cdot D_{pol}^2}{4} \cdot L_{pol} \Rightarrow L_{pol} = \frac{V_{pol}}{\frac{\pi \cdot D_{pol}^2}{4}} = \frac{255117}{\frac{\pi \cdot 49^2}{4}} = 135,29 \Rightarrow 136 \text{ mm} \quad (4.7)$$

Zvolena délka polotovaru 136 mm.

Kontrola štíhlostního poměru: $\lambda = \frac{136}{49} = 2,77 \Rightarrow 2,8$ vyhovuje

Hmotnost výchozího polotovaru:

$$m_p = \rho \cdot V_p = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot L_{pol} = 7850 \cdot \frac{\pi \cdot 49^2}{4} \cdot 136 \cdot 10^{-9} = 2,013 \text{ kg} \quad (4.8)$$

Jako polotovar bude přířez z tyče oceli 14 220.0 o rozměrech $\varnothing 49 - 136 \pm 0,2$ mm.

4.4.3 Ohřev polotovaru [12] [19]

Pro ohřev materiálu byla zvolena elektrická indukční pec SOP 250/6-A30 firmy ROBOTERM Chotěboř. Ohřev materiálu 14 220.0 bude prováděn na teplotu 1150 ± 20 °C.

4.5 Konstrukce zápustek [13]

Minimální průměr předkovací zápustky

$$D_{pře} \geq D_D + 0,2 \cdot (D_D + H_D) + 5 \quad (4.9)$$

$$D_{pře} \geq 79,1 + 0,2 \cdot (79,1 + 11,6) + 5 = 102,24 \text{ mm}$$

kde: D_D – Průměr dutiny [mm]
 H_D – výška dutiny [mm]

Zvolen průměr: $D_{před} = 135$ mm

Minimální průměr dokončovací zápustky

$$D_{dok} \geq D_D + 0,4 \cdot (D_D + H_D) + 10 \quad (4.10)$$

$$D_{dok} \geq 79,1 + 0,4 \cdot (79,1 + 11,6) + 10 = 124,4 \text{ mm}$$

Zvolen průměr: $D_{dok} = 155$ mm

Volba vyhazovače

Vzhledem k tomu, že by mohlo docházet k ulpívání výkovku na stěnách, byly v zápustkách použity kolíkové vyhazovače ve středovém provedení. Těmito vyhazovači je vybavena předkovací i dokončovací zápustka, resp. oba její díly. Rozměry vyhazovačů se řídí dle normy ČSN 22 8306. Průměr kolíkového vyhazovače dle této normy byl zvolen $d_k = 16$ mm.

4.6 Výpočet kovací síly

4.6.1 Výpočet kovací síly podle Brjuchanov – Rebelského

Hodnota σ_p se určí dle Rebelského diagramu z ČSN 22 8306.

$$F_K = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v}\right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_v \quad (4.11)$$

$$F_K = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 78,3) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{78,3}\right)^2 \cdot 106 \cdot 4815 = 6914082,15 = 6,91 \text{ MN}$$

4.6.2 Výpočet kovací síly podle Storoževa

$$F_K = \sigma_p \cdot \left[\left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h}\right) \cdot S_{vyř} + \left(1,5 + \frac{b}{h} + 0,1 \cdot \frac{D_v}{h}\right) \cdot S_v \right] \quad (4.12)$$

$$S_v = \frac{\pi \cdot D_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot 78,3^2}{4} = 4815 \text{ mm}^2 \quad (4.13)$$

$$S_{vyř} = \frac{\pi \cdot (D_{v+vyř}^2 - D_v^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (115^2 - 78,3^2)}{4} = 5571,7 \text{ mm}^2 \quad (4.14)$$

$$F_K = 106 \cdot \left[\left(1,5 + \frac{5,4}{2 \cdot 1,8}\right) \cdot 5571,7 + \left(1,5 + \frac{5,4}{1,8} + 0,1 \cdot \frac{78,3}{1,8}\right) \cdot 4815 \right] = 6288752,1 = 6,29 \text{ MN}$$

4.6.3 Výpočet kovací síly podle Tomlenova

$$C_0 = 4,5$$

$$R_{mT} = 40$$

Rozměry výkovku:

$$z_1 = 1,8 \text{ mm}$$

$$\Delta z_1 = 11,6 \text{ mm}$$

$$\varnothing D_0 = 89 \text{ mm}$$

$$z_2 = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta z_2 = 18 \text{ mm}$$

$$\varnothing D_1 = 78,3 \text{ mm}$$

$$z_3 = 55 \text{ mm}$$

$$\varnothing D_2 = 46,1 \text{ mm}$$

$$z_4 = 98 \text{ mm}$$

$$\varnothing D_3 = 41,3 \text{ mm}$$

$$\Delta r_1 = 5,4 \text{ mm}$$

$$\Delta r_2 = 16,1 \text{ mm}$$

$$\Delta r_3 = 2,4 \text{ mm}$$

$$\Delta r_4 = 20,65 \text{ mm}$$

Výpočet jednotlivých přetvárných odporů

$$\sigma_{d0} = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 = 1,285 \cdot 40 \cdot 4,5 = 231,1 \text{ MPa} \quad (4.15)$$

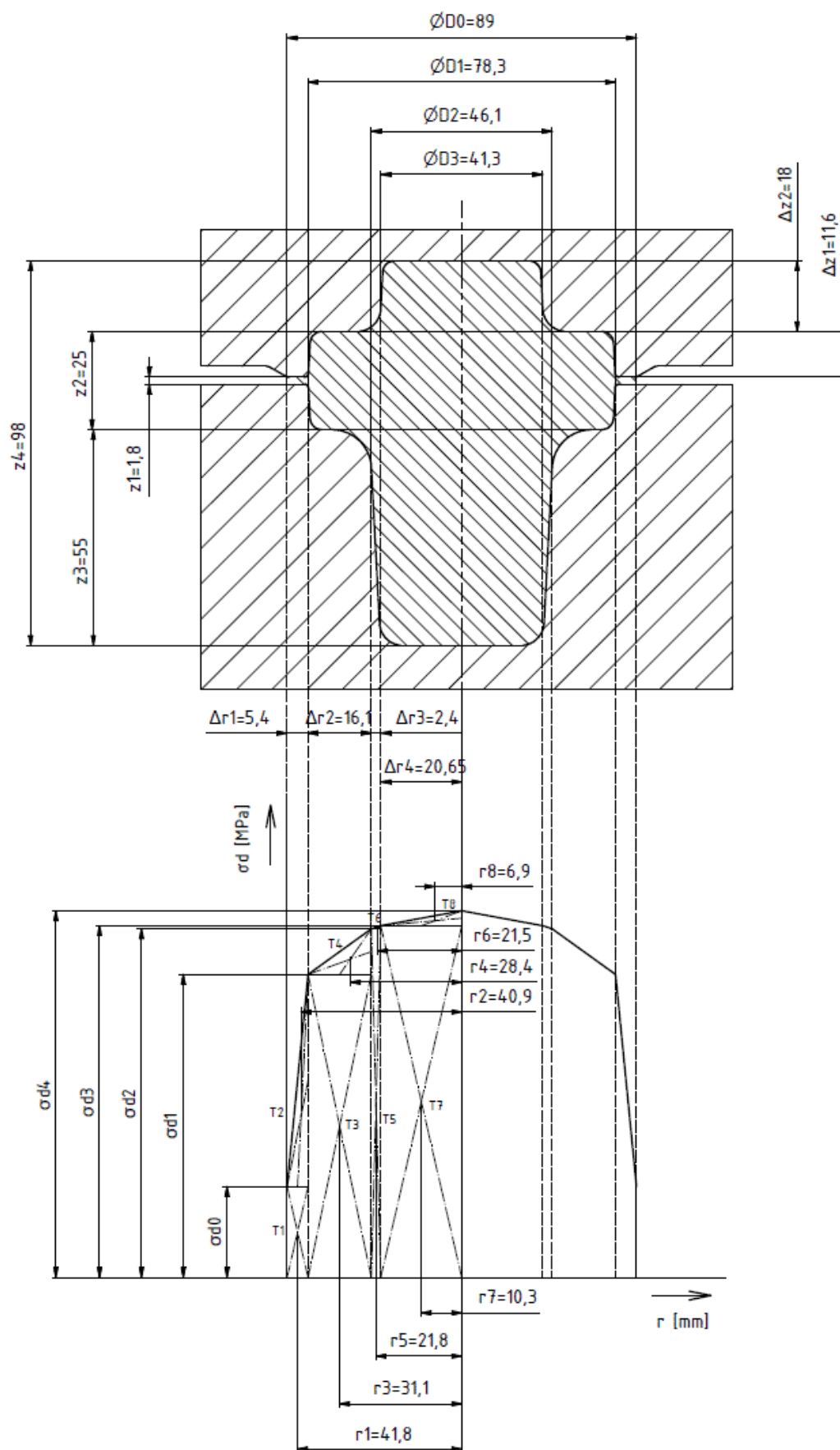
$$\sigma_{d1} = \sigma_{d0} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_1}{z_1} = 231,3 + 40 \cdot 4,5 \frac{5,4}{1,8} = 771,3 \text{ MPa} \quad (4.16)$$

$$\sigma_{d2} = \sigma_{d1} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_2}{z_2} = 771,3 + 40 \cdot 4,5 \frac{16,1}{25} = 887,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d3} = \sigma_{d2} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_3}{z_3} = 887,22 + 40 \cdot 4,5 \frac{2,4}{55} = 895,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d4} = \sigma_{d3} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_4}{z_4} = 895,1 + 40 \cdot 4,5 \frac{20,65}{98} = 933 \text{ MPa}$$

Průběhy přetvárných odporů a jejich hodnoty jsou zobrazeny na obr. 38 v měřítku 1:20.



Obr. 38 Diagram průběhu nárůstu normálových napětí

Výpočet jednotlivých ploch pod čarami přetvárných odporů

Vzorec pro výpočet obdelníkové plochy: $S_j = \sigma_{dn} \cdot \Delta r_n$ (4.17)

Vzorec pro výpočet trojúhelníkové plochy: $S_{j+1} = (\sigma_{dn+1} - \sigma_{dn}) \cdot \frac{\Delta r_n}{2}$ (4.18)

Tab. 14 Výpočty jednotlivých ploch pod křivkou napětí

Plocha	S_j [N·mm ⁻¹]	r_j [mm]	$S_j \cdot r_j$ [N]
I	$S1 = 231,3 \cdot 5,4 = 1249$	41,8	52 208,2
II	$S2 = (771,3 - 231,3) \cdot 5,4/2$	40,9	59 632,2
III	$S3 = 771,3 \cdot 16,1 = 12417,93$	31,1	386 197,63
IV	$S4 = (887,22 - 771,3) \cdot 16,1/2 = 933,16$	28,4	26 501,74
V	$S5 = 887,22 \cdot 2,4 = 2129,34$	21,8	46 419,62
VI	$S6 = (895,1 - 887,22) \cdot 2,4/2 = 9,46$	21,5	203,39
VII	$S7 = 895,1 \cdot 20,65 = 18 483,82$	10,3	190 383,35
VIII	$S8 = (933 - 895,1) \cdot 20,65/2 = 391,32$	6,9	2700,11
$\sum_{j=1}^n r_j \cdot S_j$			764 246,14

Síla od normálových složek napětí

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n r_j \cdot S_j = 2 \cdot \pi \cdot 764246,14 = 4801900,12 = 4,8 \text{ MN} \quad (4.19)$$

Síla od tangenciálních složek napětí:

$$F_T = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n \Delta S_j' \text{ [N]} \quad (4.20)$$

$$\sum_{j=1}^n \Delta S_j' = \Delta S_1' + \Delta S_2' = \pi \cdot (D_1 \cdot \Delta z_1 + D_2 \cdot \Delta z_2) \quad (4.21)$$

$$\sum_{j=1}^n \Delta S_j' = \pi \cdot (78,3 \cdot 11,6 + 41,3 \cdot 18) = 5188,9 \text{ mm}^2$$

$$F_T = \frac{40}{2} \cdot \pi \cdot 5188,9 \text{ N} = 0,326 \text{ MN}$$

Výsledná kovací síla:

$$F_K = F_N + F_T = 4801900,12 + 326028,2 = 5127928,32 \text{ N} = 5,13 \text{ MN} \quad (4.22)$$

4.6.4 Porovnání sil vypočtených podle různých metod

Tab. 15 Porovnání kovacích sil vypočtených dle různých metod

Výpočtová metoda podle	Výsledná kovací síla
Brjuchanov - Rebelského	6,91 MN
Storoževa	6,29 MN
Tomlenova	5,13 MN

4.7 Volba stroje pro tváření

Jako vhodný stroj byl zvolen svislý kovací lis LMZ 1000 A/(S) od firmy Šmeral Brno a.s., který svou maximální jmenovitou silou dostatečně vyhovuje předchozím výpočtům.



Reprezentant výrobní řady LMZ

Tab. 16 Tech. parametry lisu LMZ 1000 A/(S) [24]

Pracovní rozsah	
Tvářecí síla	10 MN
Sevření	660 mm
Průchod	1120 mm
Stůl	
Upínací plocha stolu	1080 x 950 mm
Beran	
Upínací plocha beranu	1010 x 850 mm
Přestavení beranu	10 mm
Zdvih	220 mm
Počet zdvihů	115 min-1
Stroj	
Celkový instalovaný výkon	65 kW

Obr. 39 Lis LMZ 1000 A/(S) [24] [25]

4.8 Výpočet ostříhovací síly pro oddělení výronku

$$F_{SO} = 1,6 \cdot h \cdot o \cdot 0,8 \cdot R_m \quad (4.23)$$

$$F_{SO} = 1,6 \cdot h \cdot \pi \cdot D_v \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{SO} = 1,6 \cdot 1,8 \cdot \pi \cdot 78,3 \cdot 0,8 \cdot 785 = 444901,4 \text{ N} = 444,9 \text{ kN}$$

kde: h – výška můstku [mm]
 o – obvod výkovku v dělicí rovině [mm]
 R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

Vzhledem k tomu, že časem dochází k opotřebování zápustek, je nutné sílu na ostřížení navýšit o cca 25% viz následující výpočet:

$$\begin{aligned} F &= 1,25 \cdot 444,9 \\ F &= 1,25 \cdot F_{SO} = 556,3 \text{ kN} = 0,556 \text{ MN} \end{aligned} \quad (4.24)$$

4.8.1 Volba ostříhovacího stroje

Byl zvolen ostříhovací lis LDO 315 A/S firmy Šmeral Brno a.s., který disponuje dostatečnou silou pro ostřížení výronku.



Obr. 40 Ostřih. lis LDO 315 [23]

Tab. 17 Technické parametry lisu LDO 315A/S [23]

Pracovní rozsah	
Tvářecí síla	3150 kN
Sevření	600 mm
Průchod	1400 mm
Stůl	
Upínací plocha stolu	1380 x 950 mm
Beran	
Upínací plocha beranu	1380 x 950 mm
Přestavení beranu	140 mm
Zdvih	200 mm
Počet zdvihů	100 min ⁻¹
Stroj	
Celkový instalovaný výkon	65 kW

4.9 Technologický postup kování

Tab. 18 Postupový list kování

POSTUPOVÝ LIST			
Název výkovku: PASTOREK (VÝKOVEK)		Číslo výkresu výkovku: 3 - BP – 2011/002	Číslo výkresu součásti: 3 - BP – 2011/001
Číslo operace:	Název operace:		
1.	Dělení materiálu - řezání		
	Jakost materiálu: 14 220.0	Profil materiálu: Ø 49 mm	ČSN materiálu: 42 5510
	Stroj: Pásová pila Bomar 290.250 ANC	Délka: 136 ± 0,2 mm	Hmotnost přířezu: 2,013 kg
2.	Kontrola přířezu		
	Kontrola hmotnosti a jakosti přířezu s četností 10%		
3.	Kování v kovací lince:		
	A	Indukční ohřev:	
		Stroj: Indukční pec SOP 250/6-A30	Teplota: 1170 ± 20 °C
	B	Kování:	
		Stroj: LMZ 1000 A/(S)	Kovací teplota: 1150 ± 20 °C
		Kovací síla: 5,13 MN	
		1. operace: předkování	
		2. operace: dokování	
	C	Ostříh	
		Stroj: LDO 315 A/S	Hm. výkovku: 2.0 kg
4.	Tepelné zpracování:		
	Druh: Normalizační žihání na 530 ÷ 735 MPa		Agregát: TI - 4
5.	Kontrola tvrdosti:		
	Požadovaná tvrdost: 58 ÷ 60 HRC		
6.	Otryskání:		
	Stroj: Tryskací zařízení TTB 2		

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tato část bakalářské práce se zabývá náklady na výrobu součásti pomocí dvou metod – obráběním a zápuštkovým kování. Hodnocení vychází z kalkulačních vztahů, kterými zjišťujeme jednotlivé náklady, ty je možné rozdělit na:

1. Opakované (závislé)

Jedná se o náklady, které je třeba vynaložit na výrobu každého kusu, což v jednoduchém případě hodnocení výrobní operace znamená stanovit náklady na přímé mzdy, přímý materiál, pracovní a režijní náklady.

2. Jednorázové (nezávislé)

Jde o náklady, které je nutné vytvořit ještě před zahájením výroby součásti a patří mezi ně např. náklady na speciální nářadí, přípravky, na vypracování výrobní dokumentace

Pro určení kalkulace je třeba zohlednit následující položky:

- a) základní materiál
- b) vratný materiál
- c) mzdy výrobník dělníků
- d) dílenská režie
- e) podniková režie
- f) ztráty zmetků
- g) zvláštní náklady (např. speciální měřidla, přípravky apod.)
- h) nevýrobní náklady (na dopravu, obaly apod.)

Výpočet pro vybrané výrobní technologie [20] [21]:

Počet vyráběných kusů:	$n = 120\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$
Hmotnost hotového výrobku:	$m_c = 1,5 \text{ kg}$
Cena 1 kg oceli 14 220.0	$C_m = 31,61 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$
Výkupní cena ocelového odpadu:	$C_{oo} = 5 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$
Výkupní cena třískového odpadu:	$C_{to} = 3 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$

5.1 Náklady na výrobu obráběním

a) Náklady na materiál:

Rozměr polotovaru:	$\varnothing 75 - 95 \text{ mm}$
Hmotnost polotovaru:	$m_{po} = 3,295 \text{ kg}$
Náklady na 1 ks:	$N_{m1} = C_m \cdot m_{po} = 36,61 \cdot 3,295 = 120,63 \text{ Kč}$
Celková náklady na materiál:	$N_m = N_{m1} \cdot n = 120,63 \cdot 120\,000 = 14\,475\,600 \text{ Kč}$

b) Mzdy výrobních dělníků:

Výrobní čas jedné součásti:	$t_k = 17 \text{ min}$
Hodinová mzda dělníka:	$m_v = 80 \text{ Kč}$
Mzdy na 1 ks:	$M_{v1} = \frac{t_k}{60} \cdot m_v = \frac{17}{60} \cdot 80 = 22,66 \text{ Kč}$
Celkové mzdy:	$M_v = M_{v1} \cdot n = 22,66 \cdot 120\,000 = 2\,719\,200 \text{ Kč}$

c) Vratný odpad:

Určíme z rozdílu hmotností výchozího a konečného polotovaru výrobku:

$$\begin{aligned}\text{Odpad z 1 ks polotovaru:} & m_1 = m_{po} - m_c = 3,295 - 1,500 = 1,795 \text{ kg} \\ \text{Hmotnost celkového odpadu:} & m_{co} = m_1 \cdot n = 1,795 \cdot 120\,000 = 215\,400 \text{ kg} \\ \text{Cena vratného odpadu:} & N_o = m_{co} \cdot C_{to} = 215\,400 \cdot 3 = 646\,200 \text{ Kč}\end{aligned}$$

d) Dílenské režie:

Třískové obrábění činí 650% mezd výrobních dělníků:

$$m_d = \frac{650}{100} \cdot M_v = 6,5 \cdot 2\,719\,200 = 17\,674\,800 \text{ Kč}$$

e) Podnikové režie:

Činí 200% mezd výrobních dělníků:

$$m_p = \frac{200}{100} \cdot M_v = 2 \cdot 2\,719\,200 = 5\,438\,400 \text{ Kč}$$

f) Zvláštní náklady:

Cena nástrojů: 45 000 Kč

5.2 Náklady na výrobu zápusťkovým kování a následným obráběním

a) Náklady na materiál:

Určíme ze vsázkové hmotnosti polotovaru i s opalem:

$$\begin{aligned}\text{Rozměr polotovaru:} & \varnothing 49 - 136 \text{ mm} \\ \text{Hmotnost polotovaru:} & m_{pk} = 2,013 \text{ kg} \\ \text{Náklady na 1 ks:} & N_{m1} = C_m \cdot m_{pk} = 31,61 \cdot 2,013 = 63,63 \text{ Kč} \\ \text{Celkové náklady na materiál:} & N_m = N_{m1} \cdot n = 63,63 \cdot 120\,000 = 7\,635\,600 \text{ Kč}\end{aligned}$$

b) Mzdy výrobních dělníků:

$$\begin{aligned}\text{Výrobní čas jedné součásti:} & t_k = 4,5 \text{ min} \\ \text{Hodinová mzda výrobního dělníka:} & m_v = 80 \text{ Kč} \\ \text{Mzdy na 1 ks:} & M_{v1} = \frac{t_k}{60} \cdot m_v = \frac{4,5}{60} \cdot 80 = 6 \text{ Kč} \\ \text{Celkové mzdy:} & M_v = M_{v1} \cdot n = 6 \cdot 120\,000 = 720\,000 \text{ Kč}\end{aligned}$$

c) Vratný odpad:

Určíme opět z rozdílu hmotností výchozího a konečného polotovaru výrobku:

$$\begin{aligned}\text{Odpad z 1 ks polotovaru:} & m_1 = m_{pk} - m_c = 2,013 - 1,8 = 0,213 \text{ kg} \\ \text{Hmotnost celkového odpadu:} & m_{co} = m_1 \cdot n = 0,213 \cdot 120\,000 = 25\,560 \text{ kg} \\ \text{Cena vratného odpadu:} & N_o = m_{co} \cdot C_{oo} = 25\,560 \cdot 5 = 127\,800 \text{ Kč}\end{aligned}$$

d) Dílenská režie:

Pro zápusťkové kování činí 1000% mezd výrobních dělníků:

$$m_d = \frac{1000}{100} \cdot M_v = 10 \cdot 720\,000 = 7\,200\,000 \text{ Kč}$$

e) Podniková režie:

Činí 200% mezd výrobník dělníků:

$$m_p = \frac{200}{100} \cdot M_v = 2 \cdot 720\,000 = 1\,440\,000 \text{ Kč}$$

d) Zvláštní náklady:

Náklady na zápustky:

1. operace = 23 300 Kč

2. operace = 34 760 Kč

Náklady na ostříhovací nástroj: 115 000 Kč

Celkové náklady vzhledem k životnosti zápustek, které vydrží na cca 10 000 ks, potom celkové náklady na 12 sad zápustek a ostříhovací nástroj jsou 811 720 Kč

Náklady na následné obrábění po kování:

a) Mzdy výrobních dělníků

Výrobní čas jedné součásti:

$$t_k = 9 \text{ min}$$

Hodinová mzda výrobního dělníka:

$$m_v = 80 \text{ Kč}$$

Mzdy na 1 ks:

$$M_{v1} = \frac{t_k}{60} \cdot m_v = \frac{9}{60} \cdot 80 = 12 \text{ Kč}$$

Celkové mzdy:

$$M_v = M_{v1} \cdot n = 12 \cdot 120\,000 = 1\,440\,000 \text{ Kč}$$

b) Vratný odpad:

Určíme z hmotnosti výchozího a konečného polotovaru výrobku:

Odpad z 1 ks polotovaru:

$$m_1 = m_{pk} - m_c = 1,8 - 1,5 = 0,3 \text{ kg}$$

Hmotnost celkového odpadu:

$$m_{co} = m_1 \cdot n = 0,3 \cdot 120\,000 = 36\,000 \text{ kg}$$

Cena vratného odpadu:

$$No = m_{co} \cdot C_{oo} = 36\,000 \cdot 5 = 180\,000 \text{ Kč}$$

c) Dílenské režie:

Třískové obrábění činí 650% mezd výrobních dělníků:

$$m_d = \frac{650}{100} \cdot M_v = 6,5 \cdot 1\,440\,000 = 9\,360\,000 \text{ Kč}$$

e) Podnikové režie:

Činí 200% mezd výrobních dělníků:

$$m_p = \frac{200}{100} \cdot M_v = 2 \cdot 1\,440\,000 = 2\,880\,000 \text{ Kč}$$

f) Zvláštní náklady:

Cena nástrojů: 28 600 Kč

Tab. 19 Porovnání technicko – ekonomických ukazatelů:

Technologie	Obrábění	Zápustkové kování
Počet kusů [ks]	120 000	120 000
Spotřeba materiálu [$\text{kg} \cdot \text{ks}^{-1}$]	3,295	2,013
Hmotnost odpadu [$\text{kg} \cdot \text{ks}^{-1}$]	1,795	0,513
Pracnost [$\text{min} \cdot \text{ks}^{-1}$]	17	13,5

Tab. 20 Porovnání nákladů v Kč:

Položka	Technologie		Úspory záp. kování vůči obrábění [Kč]
	Obrábění	Zápustkové kování	
Materiál	14 475 600	7 635 600	6 840 000
Mzdy výrobních dělníků	2 719 200	2 160 000	559 200
Dílenská režie	17 674 800	16 560 000	1 114 800
Podniková režie	5 438 400	4 320 000	1 118 400
Zvláštní náklady	45 000	840 320	- 795 320
Vratný odpad	- 646 200	-307 800	- 338 400
Celkové náklady	39 661 845	31 208 120	8 498 680
Náklady na 1 ks	330,52	260,07	70,82

5.3 Zhodnocení technicko - ekonomických výpočtů

Z výše uvedených tabulek je zřejmé, že náklady na výrobu jednoho kusu součásti obráběním odpovídá ceně 330 Kč a zápustkovým kováním 260 Kč.

Použitím technologie zápustkového kování se dosáhlo u jednoho kusu úspory 70 Kč, kratšího času a menší spotřebu materiálu proti obrábění.

6 ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce bylo jednak vypracování literární studie s ohledem na stávající možnosti technologie výroby ozubeného pastorku, přičemž bylo v dané rešerši prioritně zpracováno téma zápustkového kování, poněvadž z daného rozboru bylo zjištěno, že právě tato technologie zvyšuje mechanické vlastnosti a tím samozřejmě i životnost cyklicky pracujícího ozubeného pastorku. V návaznosti na to byl řešen konkrétní zadaný úkol. V úvodu se bakalářská práce zabývá oblastí tváření za tepla a dále volným a zápustkovým kováním. Následující část je zaměřena na zařazení výkovku podle jeho tvarové složitosti, návrh přídavek na obrábění, technologických přídavek apod. Provedlo se však také okrajové porovnání s různými metodami výroby pastorku a to s obráběním a sléváním. Největší část bakalářské práce byla věnována zápustkovému kování a s ním spojenou veškerou problematikou. Práce se zaměřila převážně na dva způsoby kování a to na bucharech a lisech. S volbou technologie výroby pomocí zápustkového kování bylo nutné také provést právě volbu vhodného tvářecího stroje. Pomocí literární studie se dospělo k tomu, že lis se vyznačuje lepším tečením materiálu ve směru kolmém k působící síle, vyšší přesností z důvodů lepšího vedení beranu a možností použití vyhazovačů, proto jako vhodný stroj byl zvolen svislý kovací lis. Čtvrtá kapitola bakalářské práce se zabývá vlastním návrhem technologie výroby. Nejprve byla provedena volba materiálu vzhledem k namáhání součásti. Jako vhodný materiál se zvolila ocel 14 220.0. Podle výkresu hotového výrobku se provedl návrh výkovku a jeho zařazení podle složitosti tvaru. Dále se stanovily přídávky na obrábění, technologické přídávky. Dalšími důležitými částmi technologie výroby byl návrh výronkové drážky a její ideální rozměry vzhledem k rozměrům výkovku, volba dělicí roviny, stanovení rozměrů a hmotnosti polotovaru a jeho ohřev. Aby bylo možné pastorek vyrobit, musela se vytvořit kompletní výrobní dokumentace tvářecích zápustek. Jako vhodný materiál zápustek byla zvolena chromová ocel 19 552. Vzhledem k tomu, že by během kování mohlo docházet k ulpívání materiálu na stěnách zápustek, bylo nutné použít kolíkové vyhazovače. Postup kování byl zvolen na dvě operace v předkovací a dokončovací zápustce. Pro zápustky bylo nutné zvolit vhodný tvářecí stroj. Volba stroje závisí na velikosti kovací síly, která se určila pomocí tří metod. Dle vypočítané síly se provedla volba kovacího lisu od firmy Šmeral Brno a.s. Od stejné firmy se zvolil ostříhovací lis, potřebný pro oddělení výronku od výkovku a to na základě vypočítané ostříhovací síly. Poslední kapitola je věnována technicko – ekonomickému zhodnocení, kde bylo provedeno porovnání dvou metod výroby ozubeného pastorku – a to pomocí obrábění a zápustkového kování. Výhodněji z těchto dvou metod vyšlo zápustkové kování díky menším nákladům jak na jeden kus tak i nákladům celkovým. Dosáhlo se také větší úspory materiálu než v případě samotného obrábění z tyčového hutního polotovaru.

Po zohlednění již zmíněných ideálních vlastností pro cyklicky namáhané součásti, zlepšení jejich mechanických vlastností a výsledným ekonomickým propočtem je zřejmé, že zápustkové kování patří mezi velmi důležitou oblast v průmyslové výrobě. Pokud k této technologii použijeme vyššího stupeň automatizace, můžeme konstatovat, že zápustkové kování patří mezi moderní výrobní technologie.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DRASTÍK, František. *Výpočty z oboru kování a lisování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1972. 192 s. ISBN 04-227-72
2. DVOŘÁK, Milan, et al. *Technologie II*. Brno: CERM, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
3. DVOŘÁK, Milan, František, GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření – návody do cvičení*. 1. vyd. Brno: CERM, 2000. 103 s. ISBN 80-214-1723-4.
4. FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
5. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.
6. KOTOUČ, Jiří, et al. *Tvářecí nástroje*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
7. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. 868 s. ISBN 80-86490-74-2.
8. NOVOTNÝ, Karel. *Speciální technologie výroby: Část tváření*. Brno: VUT, 2002. 89s.
9. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno, Rektorát VUT v Brně. 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
10. ČSN 21 1413. *Upínání zápuštěk pro padací a parovzdušné buchary*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 17.2. 1970. 10 s.
11. ČSN 21 1420. *Upínání zápuštěk na svislých klikových kovacíh lisech*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 26.2.1970. 17s.
12. ČSN 22 8306. *Zápustky pro svislé kovací lisy: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 26.11. 1990.
13. ČSN 22 8306. *Zápustky pro svislé kovací lisy: Technické požadavky na konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 26.11. 1990. 39 s.
14. ČSN 22 8308. *Zápustky pro buchary: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 7.5. 1970. 18 s.
15. ČSN 42 9002. *Rozdělení zápuštěkových výkovek podle složitosti tvaru*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 15.7. 1968. 36 s.
16. ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápuštěkové: Přídatky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 13.10. 1986. 24 s.
17. *Ocel 14 220* [online]. Brno: VUT, [cit. 2011-02-28]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/database_modelu_soubory/ocel_14220.pdf>.

18. *První brněnská kovárna s.r.o.* [online]. [cit. 2011-03-27]. Výroba zápusťkových výkovků. Dostupné z WWW: <<http://www.pbk.cz/index.php?idmenu=27>>.
19. *Roboterm spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2011-03-20]. Středofrekvenční ohřívač SOP 250/6-A30. Dostupné z WWW: <http://www.robterm.cz/ohrivace_i/reference/SOP250_6-A30_PLT_i.htm>.
20. *Sběrné suroviny ALBA* [online]. [cit. 2011-03-29]. Ceník železa. Dostupné z WWW: <<http://www.kovosrot-alba.cz/sberne-suroviny-cenik/zeleza.htm>>.
21. *Sortimentní katalog Ferona* [online]. [cit. 2011-03-29]. Tyč ocelová kruhová. Dostupné z WWW: <<http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=27357>>.
22. *Strojnílyceum* [online]. [cit. 2011-02-14]. Tváření za tepla. Dostupné z WWW: <<http://www.strojnylyceum.wz.cz/maturita/tep/tep12.pdf>>.
23. *Svaz strojírenské technologie* [online]. [cit. 2011-03-20]. Ostříhovací lisy. Dostupné z WWW: <<http://www.sst.cz/katalog/product/id/367>>.
24. *Svaz strojírenské technologie* [online]. [cit. 2011-03-27]. Svislé kovací lisy. Dostupné z WWW: <<http://www.sst.cz/katalog/product/id/147>>.
25. *Šmeral Brno a.s.* [online]. [cit. 2011-03-20]. Svislé kovací lisy. Dostupné z WWW: <<http://www.smeral.cz/CZTvarKov.html>>.
26. *Technická univerzita Liberec* [online]. [cit. 2011-02-14]. Katedra tváření kovů a plastů - Skripta. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm>.
27. *Technická univerzita Liberec* [online]. [cit. 2011-02-14]. Katedra tváření kovů a plastů - Skripta. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a	Minimální vzdálenost kolíků od okraje zápustky	[mm]
A	Práce bucharu pro kruhové výkovky	[J]
A _n	Práce posledního úderu bucharu pro nekruhový výkovek	[J]
b	Šířka můstku u výronkové drážky pro lis	[mm]
B	Šířka otřepu v zásobníku	[mm]
B _{Dstř}	Šířka nekruhového výkovku	[cm]
C ₀	Součinitel snížení plasticity v oblasti výronku poklesem teploty	[-]
C _m	Cena materiálu (oceli 14 220.0]	[Kč·kg ⁻¹]
C _{oo}	Výkupní cena ocelového odpadu	[Kč·kg ⁻¹]
C _{to}	Výkupní cena třískového odpadu	[Kč·kg ⁻¹]
D _D	Průměr výkovku	[mm]
D _{dok}	Průměr dokončovací zápustky	[mm]
d _k	Průměr vodícího kolíku	[mm]
d _p	Průměr otvoru pro prstencový vyhadzovač	[mm]
D _p	Průměr dosedací části prstencového vyhadzovače	[mm]
D _{pol}	Průměr polotovaru	[mm]
D _{před}	Průměr předkovací zápustky	[mm]
d _{pt}	Průměr otvoru pro předkovací trn	[mm]
D _{pt}	Průměr dosedací části předkovacího trnu	[mm]
D _{red}	Redukovaný průměr	[mm]
D _t	Roztečný průměr otvorů pro vyrážecí kolík upínače zápustek	[mm]
d _v	Průměr otvoru pro vyrážecí kolík	[mm]
D _v	Průměr výkovku bez výronku	[mm]
D _{v+výr}	Průměr výkovku s výronkem	[mm]
F _D	Průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu	[cm ²]
F _K	Kovací síla	[N]
F _N	Síla vznikající od normálových složek napětí	[N]
F _{SD}	Děrovací síla	[N]
F _{SO}	Ostřihovací síla	[N]
F _T	Síla vznikající od tangenciálních složek napětí	[N]
F _{výr}	Plocha průřezu výronku	[cm ²]
g	Dovolené sestřížení a otřep	[mm]
h	Výška můstku	[mm]
H ₁	Minimální tloušťka dna	[mm]
H _D	Výška dutiny spodní zápustky	[mm]
L	Největší délka výkovku ve směru kolmo k rázu	[mm]
l ₀	Délka výkovku při + 20°	[mm]
L _D	Délka výkovku	[cm]
L _{pol}	Délka polotovaru	[mm]
m	Hmotnost beranu bucharu	[kg]
m ₀	Hmotnost přířezu	[kg]
m ₁	Odpad z 1 kusu polotovaru	[kg]
m _c	Hmotnost hotového výrobku	[kg]
m _{co}	Hmotnost celkového odpadu	[kg]
m _d	Dílenské režie	[Kč]
m _p	Hmotnost výchozího polotovaru	[mm]
m _p	Podnikové režie	[Kč]
m _{pk}	Hmotnost polotovaru pro kování	[kg]
m _{po}	Hmotnost polotovaru pro obrábění	[kg]

m_v	Hodinová mzda dělníka	[Kč]
M_v	Celkové mzdy	[Kč]
M_{v1}	Mzdy na 1 ks	[Kč]
n	Hloubka zásobníku	[mm]
N_m	Celkové náklady na materiál	[Kč]
N_{m1}	Náklady na 1 ks	[Kč]
N_o	Cena vratného odpadu	[Kč]
O	Obvod výkovku v dělicí rovině	[mm]
p	Dovolené přesazení	[mm]
r	Poloměr zaoblení hrany	[mm]
R	Poloměr zaoblení přechodu	[mm]
R_e	Mez kluzu materiálu	[MPa]
r_j	Poloha těžišť	[mm]
R_m	Mez pevnosti materiálu v tahu	[MPa]
R_{mT}	Pevnost materiálu za kovací teploty	[MPa]
s	Šířka můstku výronkové drážky pro buchar	[mm]
S_j	Dílčí plocha pod čarami přetvárných odporů	[mm ²]
S_v	Průmět plochy výkovku bez výronku do dělicí roviny	[cm ²]
$S_{výr}$	Plocha průmětu výkovku včetně výronku	[mm ²]
s_z	šířka zásobníku	[mm]
t_0	Venkovní teplota 20 °C	[°C]
t_1	Dokovací teplota	[°C]
t_k	Výrobní čas jedné součásti	[min]
V_c	Celkový objem výkovku	[mm ³]
V_{op}	Objem přídavku na propal	[mm ³]
V_p	Objem polotovaru	[mm ³]
V_v	Objem výkovku	[mm ³]
$V_{výr}$	Objem výronku	[mm ³]
α	Koeficient tepelné roztažnosti	[-]
Δl	Zvětšení tloušťky výkovku	[mm]
λ	Štíhlostní poměr	[-]
ρ	Hustota materiálu	[kg·m ⁻³]
σ_{d0-4}	Napětí v jednotlivých bodech průřezu	[MPa]
σ_P	Přirozený přetvárný odpor	[MPa]
σ_S	Mez pevnosti materiálu za kovací teploty	[MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 - Výkres pastorku

Název výkresu: PASTOREK
Číslo výkresu: 3-BP-2011/001

Příloha č. 2 - Výkres výkovku

Název výkresu: PASTOREK (VÝKOVEK)
Číslo výkresu: 3-BP-2011/002

Příloha č. 3 - Výkres teplého výkovku

Název výkresu: PASTOREK (TEPLÝ VÝKOVEK)
Číslo výkresu: 3-BP-2011/003

Příloha č. 4 - Výkres předkovací zápustky

Název výkresu: PŘEDKOVACÍ ZÁPUSTKA
Číslo výkresu: 2-BP-2011/004

Příloha č. 5 - Výkres dokončovací zápustky

Název výkresu: DOKONČOVACÍ ZÁPUSTKA
Číslo výkresu: 2-BP-2011/005

Příloha č. 6 - Výkres sestavy zápustek

Název výkresu: KOVACÍ ZÁPUSTKY
Číslo výkresu: 1-BP-2011/006