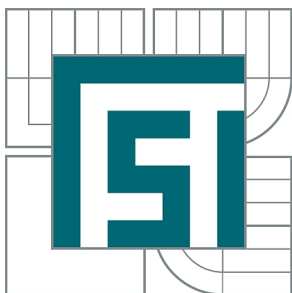


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

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

JAN CVRČEK

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MAREK ŠTRONER, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Cvrček

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 2012/2013.

V Brně, dne 20.12.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

CVRČEK Jan: Zápustkové kování pastorku

Závěrečný projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia v oboru Strojírenská technologie posuzuje návrh výroby pastorku metodou zápustkového kování. Pastorek je vyráběn z legované konstrukční oceli 14 220 (1.7131). Velikost výroby je stanovena 100 000 ks za rok. Pastorek je vykován na svislém kovacím lisu LMZ 1000 A o tvářecí síle 10 MN. Výkovek je tvářen ve dvou operacích. Tvářecí nástroj je vyroben ze slitinové nástrojové oceli 19 552 (1.2343). V poslední kapitole práce je uvedeno cenové srovnání a náklady na výrobu zápustkovým kovááním a obráběním.

Klíčová slova: Zápustkové kování, svislý kovací lis, výkovek, pastorek, zápustka

CVRČEK Jan: Drop forging of pinion

The final project has been elaborated in a frame of Bachelor's studies branch Manufacturing technology assesses design of production pinion by method of die forging. The pinion is manufactured from alloyed structural steel 14 220 (1.7131). Size of production is set on 100 000 pieces per year. The pinion will be forged on the vertical forging press LMZ 1000 A with forming force 10 MN. The forging is formed in two operations. Forming tool is manufactured from alloyed instrumental steel 19 552 (1.2343). In the last chapter of the project is described the price comparison and costs for manufacture of die forging and machining.

Key words: Drop forging, vertical forging press, forging, pinion, forging die

Bibliografická citace

CVRČEK Jan: *Zápustkové kování pastorku*. Brno, 2013. 57 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Marek Štroner, Ph.D. Dostupný z WWW: <ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace>.

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 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

Úvod	11
1. Rešerše	12
1.1 Objemové tváření	12
1.2 Volné kování	13
1.3 Zápustkové kování	15
1.4 Zatřídění zápustkových výkovků podle složitosti tvaru	15
1.5 Přidavky	19
1.6 Dělicí rovina.....	21
1.7 Mezní úchytky a tolerance	22
1.8 Konstrukce výronkové drážky pro svislý kovací lis	26
1.9 Předkovací dutina.....	28
1.10 Vedení zápustek pro lis	28
1.11 Upevňování zápustek pro lis	29
1.12 Vyhazování výkovku	29
1.13 Výpočet kovací síly pro lis.....	30
1.14 Příprava polotovarů pro kování.....	31
1.15 Předehřev zápustek	32
1.16 Zařízení pro ohřev polotovarů.....	32
1.17 Materiál pro zápustky.....	34
1.18 Tepelné zpracování zápustek	34
1.19 Maziva v zápustkovém kování.....	35
1.20 Výpočet ostříhovací a děrovací síly	36
2. Současné možnosti výroby	37
3. Technologie výroby pastorku	39
3.1 Materiál pastorku	39
3.2 Zatřídění výkovku dle složitosti tvaru	39
3.3 Poloha dělicí roviny	40

3.4 Přídavky na obrábění a přídavky technologické	40
3.5 Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků	41
3.6 Návrh výronkové drážky	42
3.7 Výpočet objemů výkovku	42
3.8 Výpočet výchozích rozměrů a hmotnosti polotovaru	43
3.9 Výpočet rozměru předkovací a dokončovací zápustky	43
3.10 Volba ohřevu	44
3.11 Výpočet velikosti kovací síly dle Storoževa	44
3.12 Výpočet velikosti kovací síly dle Brjuchanov-Rebelského	44
3.13 Výpočet velikosti kovací síly dle Tomlenova	45
3.14 Volba tvářecího stroje	49
3.15 Výpočet ostříhovací síly	49
3.16 Volba ostříhovacího lisu	50
4. Technologický postup	51
5. Technicko-ekonomické zhodnocení	52
5.1 Náklady na výrobu metodu obrábění	52
5.2 Náklady na výrobu metodou zápustkového kování a následným obráběním	54
6. Závěr	57
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých zkratk a symbolů	
Seznam příloh	

Úvod

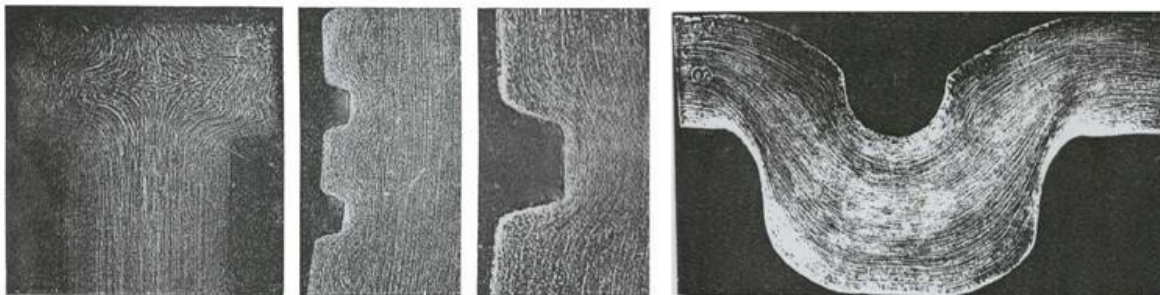
Technologie kování patří mezi nejstarší technologie výroby, v historii se řadila mezi nejdůležitější lidské činnosti, byla znakem vyspělosti tehdejších civilizací. Jedná se o technologický proces tváření za tepla, kde tváření probíhá nad rekrystalizační teplotou, teplota tváření se pohybuje nad 70% teploty tavení. Změna tvaru probíhá za působení kovací síly v zápustce, kde ohřátý polotovár se deformuje podle tvaru zápustky. Mezi hlavní výhody kování patří velkosériová výroba, malé nároky na odpad a vznik optimálního průběhu vláken (obr. 2) a to i u tvarově složitějších součástí a tím zvýšení jejich mechanických a fyzikálních vlastností.

V jednotlivých kapitolách lze nalézt informace o technologii kování, postupu návrhu výroby výkovku, o volbě materiálu zápustky, tepelném zpracování zápustek, jejich mazáním. Dále je zohledněna příprava polotovarů a jejich ohřev. Příklad výkovku háku je na obr. 1.

Před samotným praktickým řešením návrhu výkovku pastorku je porovnána vyrobiteľnosť jinými technologiemi ozubeného kola. Návrh výkovku v praktické části obsahuje volbu materiálu, tvarové zatřídění, přídavky technologické a na obrábění, mezní úchytky. Dále byl proveden návrh výronkové drážky se všemi výpočty, výpočet tvářecí a ostřihovací síly s volbou strojů. Na závěr byl vypracován technologický postup s náležitou výkresovou dokumentací a technicko-ekonomickým zhodnocením.



Obr. 1 Příklad výkovku zhotoveného zápustkovým kováním [4]



Obr. 2 Vlákenná struktura u výkovku [1]

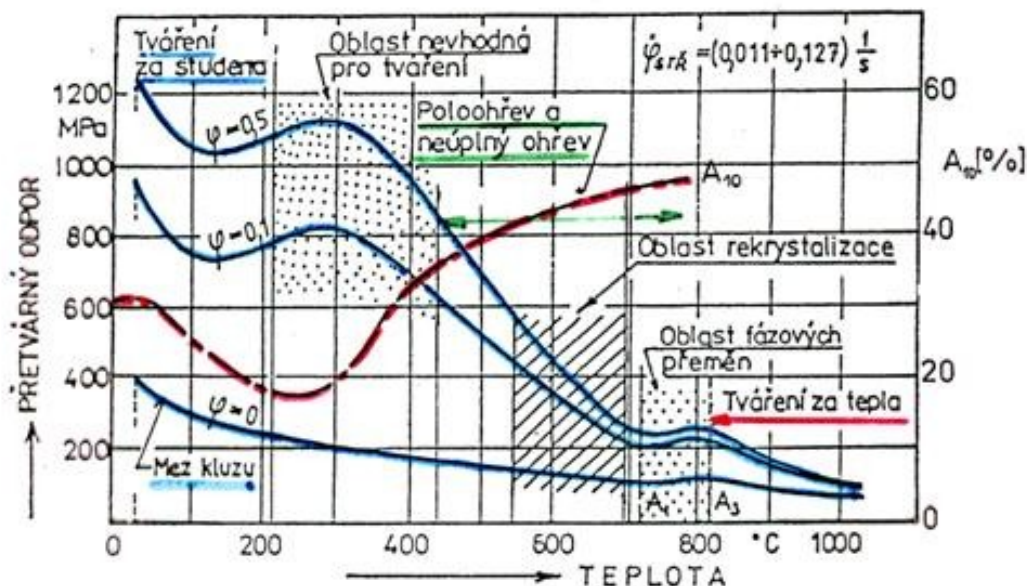
1. Rešerše

1.1 Objemové tváření [2] [3]

Tvářecí procesy můžeme rozdělit (obr. 3) podle toho, zda probíhají nad rekrytalizační teplotou tvářeného materiálu nebo pod rekrytalizační teplotou tvářeného materiálu, tyto procesy pak nazýváme objemové tváření za tepla a objemové tváření za studena. Rekrytalizační teplota je teplota, při které jsou nahrazována deformací zpevněná zrna za nová zrna nedeformovaná, když jsou všechna deformací zpevněná zrna nahrazeny novými proces rekrytalizace je ukončen. Výsledkem rekrytalizace je struktura materiálu bez deformačního zpevnění, materiál má podobné vlastnosti jako před procesem tváření.

Tvářením pod rekrytalizační teplotou dochází ke zpevňování materiálu. Zároveň však klesá houževnatost a tažnost, která určuje plastické přetvoření kovu a při jejímž vyčerpání dochází při dalším tváření k porušení materiálu. Dále se pak mění fyzikální vlastnosti kovu, např. značně vzrůstá elektrický odpor. Při tváření za studena získáme vysokou přesnost rozměrů tvářeného výrobku, kvalitní povrch a zlepšení mechanických vlastností vlivem zpevněním. Nevýhodou jsou velké nároky na stroj zejména vysoké tvářecí síly, nerovnoměrné zpevnění a omezená tvárnost materiálu.

Tvářením za tepla se u tvářeného materiálu probíhá rekrytalizace, která v závislosti na teplotě a rychlosti deformace má za následek částečné nebo úplné vymizení deformačního zpevnění. Mezi nevýhody tváření za tepla patří špatná kvalita povrchu vlivem okujení, při vyšších kovacíh teplotách dochází k hrubnutí zrna a je nutné další tepelné zpracování. Výhodou této technologie jsou nižší nároky na přetvárnou sílu a vznik vláknité struktury, která má za následek zlepšení mechanických vlastností.



Obr. 3 Rozdělení tvářecích procesů v závislosti teploty na přetvárném odporu [2]

1.2 Volné kování [2] [6] [4]

Touto metodou (obr. 4) jsou vyráběny polotovary pro všechna odvětví strojírenství s přídatky na další opracování. Polotovary jsou tvářeny úderem kladivem u ručního kování, strojního kování úderem beranu u bucharu nebo klidným tlakem u lisu. Materiál je ohříván ve výhních nebo ohřívacích pecích. Polotovarem je nejčastěji válcovaný materiál nebo ingot. Tato technologie vyžaduje vždy co nejjednodušší tvar výkovku, než jaký má mít skutečná součást, zjednodušením tvarově složitější součásti se nechá docílit správnou volbou technologických přídatků. Dále je nutné zvolit správné přídatky na obrábění se zvoleným tolerančním polem, aby byly zajištěny požadované rozměry vyráběné součásti a její kvalita povrchu.

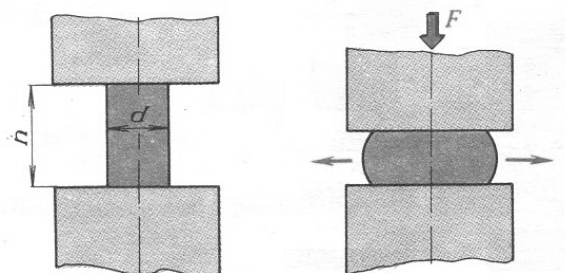
Problémem u kování je vliv tření mezi stykem materiálu a tvářecím nástrojem, to má za následek vznik soudečkovitosti, vyboulení u dlouhých polotovarů. Aby došlo k zamezení rozdílných stupňů prokování v jednotlivých oblastech výkovků je nutné s výkovkem natáčet z více úhlů. Volné kování můžeme rozdělit na několik technologií jako je pěchování, prodlužování, osazování, prosazování, přesazování a děrování.



Obr. 4 Volné kování [4]

Pěchování:

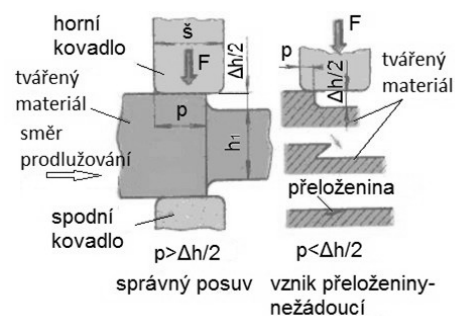
U této technologie dochází ke stlačování materiálu ve směru své osy a dochází tak k snížení jeho výška a rozšíření jeho průměru. Použití je zejména při výrobě rotačních předmětů, jako jsou kotouče, které mají malou výšku. Rozměrné ingoty je nutno okovat, před samotnou operací pěchování (obr. 5), dojde tak k zamezení vzniku povrchových trhlin od tahových napětí při pěchování. Důležitým kritériem výroby je nutnost omezit štíhlost polotovaru na 2,5 násobek průměru polotovaru, aby nedošlo k ohybu. Dále je nutno zajistit stejnoměrné prohřátí materiálu v celém objemu polotovaru, zajistit rovnoběžnost čelních ploch polotovaru a též jejich kolmost k ose stroje a pěchovacím deskám.



Obr. 5 Pěchování [2]

Prodlužování:

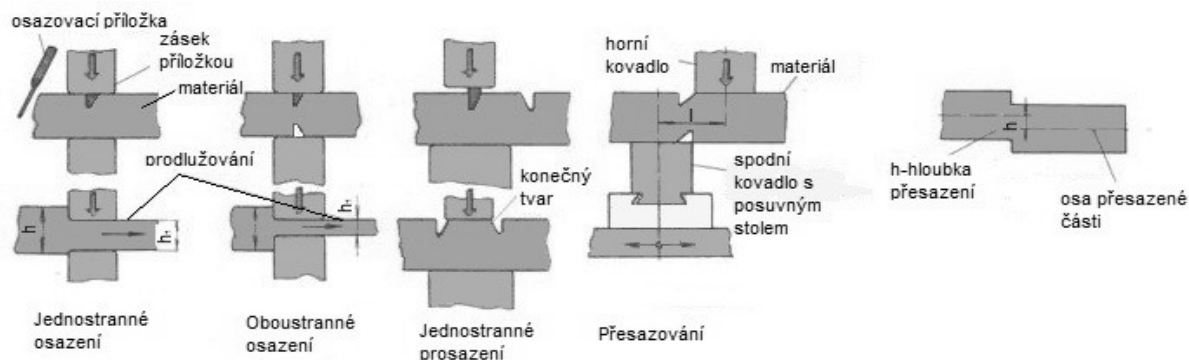
Prodlužování (obr. 6) patří mezi nejčastější operace kování, dochází k prodlužování délky polotovaru při zmenšení počátečního průřezu polotovaru. Aby nedocházelo rozšíření materiálu při kování v jednom směru průřezu je důležité s materiálem obracet u plochých kovádel nebo otáčet u výřezných kovádel. Poměr rozšíření a prodloužení polotovaru je závislé na šířce kovádra (šířka vtisku do kovaného materiálu), stupněm stlačování původní výšky polotovaru a tvarem kovádra (plochá, úhlová, oválná).



Obr. 6 Prodlužování [2]

Přesazování, prosazování, osazování:

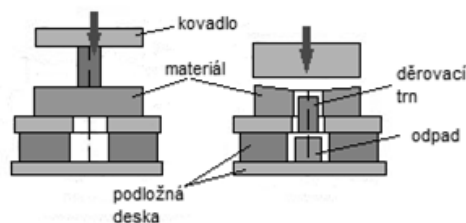
Tímto způsobem kování lze dosáhnout zmenšení průřezů u osazených hřídelů, prokování jednostranného vybrání, přemístění průřezu při zachování paralelnosti os (obr. 7). V místě změny průřezu, dojde k označení a následně k zárezu. Zaseknutí dosahuje hloubky osazení. Délka záseku musí být minimálně rovna délce šířky kovádra, jinak je vyžadováno použití podložek. Přesazováním se rozumí přemístění průřezu, tak aby osa původní části a osa přesazené části zůstaly rovnoběžné. Přesazování se využívá při výrobě zalomených hřídelů.



Obr. 7 Přesazování, prosazování, osazování [2]

Děrování:

Této operace je využíváno pro vytvoření díry do polotovaru (obr. 8). Malé tloušťky polotvarů a malé díry mohou být děrovány přímo na podložné desce s otvorem, u větších otvorů (až 400 mm) a větších polotvarů je využíváno plných děrovacích trnů. Děrovací trn má kuželový tvar a je vtlačován pomocí nastavných přílohek do dvou třetin tloušťky děrovaného polotovaru, průměr trnu by neměl přesahovat jednu třetinu průměru děrovaného materiálu. Vtlačováním trnu do materiálu se porušuje jeho struktura, zbytek materiálu vně otvoru, asi jedna třetina výšky polotovaru tzv. „blána“ se prorazí na druhý krok obrácením materiálu o 180°.

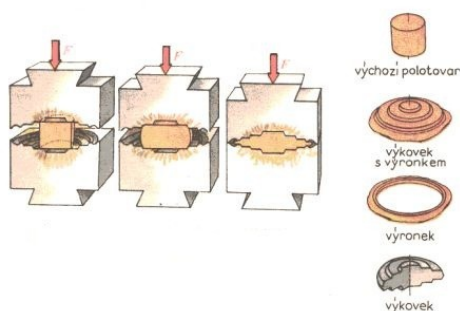


Obr. 8 Děrování [2]

1.3 Zápustkové kování [2] [6]

Kvalita povrchu a přesnosti rozměrů požadovaných na hotové součásti nelze zápustkovým kovááním dosáhnout, lze se jím však přiblížit. Aby bylo dosaženo těchto kvalit a přesností je třeba při návrhu výroby a výkovku dané součásti vybírat hodnoty, které jsou označeny pro přesné nebo velmi přesné kování. Avšak ani u tohoto způsobu výroby se nelze vyhnout třískovému obrábění nebo broušení minimálně na některých funkčních plochách součásti. Zápustkovým kovááním (obr. 9) je dosaženo lepší hospodárnosti s odpadem než u součástí vyráběných z polotovarů třískovým obráběním. Proto se tato technologie používá pro výrobu ve velkých sériích. Také další výhodou je, že u zápustkového kování lze dosáhnout vláknité struktury, která kopíruje obrys součásti, a zlepši se tak mechanické vlastnosti součásti.

Tvářecí nástroj je rozdělen na dvě části, horní díl zápustky je připevněn k beranu bucharu nebo lisu, spodní díl zápustky je ukotven k šabotě bucharu nebo stolu lisu. Do spodního dílu zápustky je vložen polotovar ohřátý na kovací teplotu, který je přetvářen horním dílem zápustky a postupně vyplňuje tvarovou dutinu obou zápustek. Přebytečný materiál je odveden do výronkové drážky. Výronek je po vyjmutí z dutiny zápustky odstřižen. Tvarová dutina zápustky má tvar výkovku a její rozměr je navýšen o procento smrštění druhu tvářeného materiálu. Výkovky obsahují na stěnách kolmo k dělicí rovině technologické úkosy, ke snadnějšímu vyjímání ze zápustky. Dále se pak volí zaoblení na hrany a rohy výkovku, a přídavky na obrábění.



Obr. 9 Schéma zápustkového kování na bucharu [2]

1.4 Zatřídění zápustkových výkovků podle složitosti tvaru [5] [7]

Zápustkové výkovky lze rozdělit dle tvarové složitosti do několika kategorií, jednotlivé kategorie jsou označeny číslem, výsledkem je pěti místné číslo ve tvaru

A B C D - E

kde:

A - první číslice označuje v číselném značení tvarový druh (tab. 1)

B - druhá číslice označuje v číselném značení tvarovou třídu (tab. 2, tab. 3)

C - třetí číslice označuje v číselném značení tvarovou skupinu (tab. 4, tab. 5)

- výkovky jsou v této skupině tříděny na nízké a vysoké, nebo krátké a dlouhé
- dále mohou být tříděny podle poměrů výšek, průměrů, šířek, velikosti úhlu ohybu nebo počtem ohybu, velikost rozvidlení, počtu zalomení, atd.

D - čtvrtá číslice označuje v číselném značení tvarovou podskupinu (tab. 6)

- výkovky přesahující stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých veličin se označují 1 až 9, výkovky bez přesahu maximálního poměru dvou na sobě závislých veličin mají číselné označení 0

E - pátá číslice označuje v číselném značení technologické hledisko (tab. 7)

Tab. 1 Tvarový druh. [7]

Tvarový druh	
Číselné značení	Význam číselného značení
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

Tab. 2 Tvarová třída pro tvarové druhy 4, 5, 6, 7 a 8. [7]

Tvarová třída pro číselné označení 4, 5, 6, 7 a 8 tvarových druhů	
Číselné značení	Význam číselného značení
1	Konstantní průřez
2	Kuželovité, jehlanovité nebo klínovité
3	Jednostranně osazené
4	Oboustranně osazené
5	Osazené kuzelem, jehlanem nebo klínem
6	Prosazené
7	Kombinované
8	Kombinované s kuzelem, jehlanem nebo klínem
9	Členité (u tvarového druhu 8-výkovky háků)
0	Neobsazeno

Tab. 3 Tvarová třída pro tvarové druhy 9 a 0. [7]

Tvarová třída pro číselné označení 9 a 0 tvarových druhů	
Číselné značení	Význam číselného značení
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<1) – pouze u tvarového druhu 0
9	Šroubovitě (stoupání<1) – pouze u tvarového druhu 0

Tab. 4 Tvarová skupina pro výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy. [7]

Tvarová skupina: výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy (technologické hledisko 1, 2)	
Číselné značení	Význam číselného značení
1	Výkovky bez otvoru $L \leq 3B$ a $H \leq 2H_1$
2	Výkovky bez otvoru $L \leq 3B$ a $H > 2H_1$
3	Výkovky bez otvoru $L > 3B$ a $H \leq 2H_1$
4	Výkovky bez otvoru $L > 3B$ a $H > 2H_1$
5	Výkovky s otvorem $L \leq 3B$ a $H \leq 2H_1$
6	Výkovky s otvorem $L \leq 3B$ a $H > 2H_1$
7	Výkovky s otvorem $L > 3B$ a $H \leq 2H_1$
8	Výkovky s otvorem $L > 3B$ a $H > 2H_1$

kde: L [mm] – největší délka výkovku ve směru kolmo k rázu
 B [mm] – největší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu
 H [mm] – největší výška výkovku ve směru rázu
 H₁ [mm] – nejmenší výška výkovku ve směru rázu, nejmenší tloušťka blány nebo dna výkovku

Tab. 5 Tvarová skupina pro výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu a výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech. [7]

Tvarová skupina: výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu (technologické hledisko 3, 4, 5) a výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech (technologické hledisko 6, 7, 8)	
Číselné značení	Význam číselného značení
1	Výkovky plné $H \leq B$ a $H \leq 2H_1$
2	Výkovky plné $H \leq B$ a $H > 2H_1$
3	Výkovky plné $H > B$ a $B \leq 2B_1$
4	Výkovky plné $H > B$ a $B > 2B_1$
5	Výkovky duté $H \leq B$ a $H \leq 2H_1$
6	Výkovky duté $H \leq B$ a $H > 2H_1$
7	Výkovky duté $H > B$ a $B \leq 2B_1$
8	Výkovky duté $H > B$ a $B > 2B_1$

kde: H [mm] – největší výška výkovku ve směru rázu
 B [mm] – největší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu
 H₁ [mm] – nejmenší výška výkovku ve směru rázu, nejmenší tloušťka blány nebo dna výkovku
 B₁ [mm] – nejmenší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu

Tab. 6 Tvarová podskupina. [7]

Tvarová podskupina	
Číselné značení	Význam číselného značení
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 velikostí rozvidlení l:b
8	Přesah v zaoblení přechodů a hran R, r
9	Kombinace několika přesahů
0	Bez přesahů

kde: L [mm] – největší délka výkovku ve směru kolmo k rázu
 B [mm] – největší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu
 B₁ [mm] – nejmenší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu
 H [mm] – největší výška výkovku ve směru rázu
 H₁ [mm] – nejmenší výška výkovku ve směru rázu, nejmenší tloušťka blány nebo dna výkovku
 F [mm²] – největší plocha průřezu výkovku (BxH)
 F₁ [mm²] – nejmenší plocha průřezu výkovku (B₁xH₁)
 h [mm] – největší hloubka dutiny výkovku
 d [mm] – největší průměr dutiny výkovku
 l [mm] – největší délka rozvidlení
 b [mm] – největší šířka rozvidlení
 R [mm] – poloměr zaoblení přechodů
 r [mm] – poloměr zaoblení hran

Tab. 7 Technologické hledisko. [7]

Technologické hledisko	
Číselné značení	Význam číselného značení
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 kolmou 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

1.5 Přídavky [5] [6] [8] [9] [10]

U zápusťkových výkovků jsou rozlišovány přídavky na obrábění a technologické. Tyto přídavky slouží k zajištění požadované kvality povrchu a přesnosti rozměrů vyráběné součásti, proto rozměry součásti jsou navyšovány o přídavky.

Přidavky na obrábění:

Nebylo by ekonomické obrábět všechny plochy výkovku, proto se obrábí pouze plochy kde je požadována vysoká jakost povrchu, vysoká přesnost výkovku. Dále plochy určené k nitrinování, cementování, povrchovému kalení apod. Výkovek po vyjmutí ze zápusťky je pokryt okujemi a jeho povrch je zdrsňen, tyto parametry výkovku mohou být ovlivněny kvalitou povrchu zápusťky, způsobem ohřevu polotovaru a způsobem čištění okujů. Přídavek je dále ovlivněn povrchovými vadami, jako jsou šupiny, trhliny, přeložky, které vznikly při válcování nebo kování, a hloubkou oduhličení polotovaru kterou je také nutno odstranit. Hloubku oduhličení ovlivňuje chemické složení zvoleného materiálu polotovaru a rychlost ohřevu. Velikost přídavku volíme podle rozměrů výkovku, podle největšího průměru, střední hodnoty šířky a délky výkovku ve směru kolmo k rázu a největší výšky hotového výkovku. Přidavky na obrábění se určí dle normy ČSN 42 9030 (tab. 8).

Tab. 8 Přidavky na obrábění pro obvyklé provedení. [8]

Největší průměr, střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu [mm]		Největší výška hotového výrobku [mm]							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes	do	Přidavky na obrábění ploch [mm]							
	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
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:

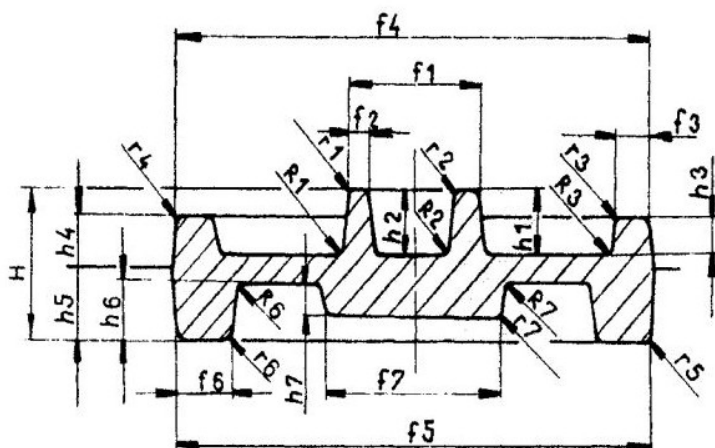
Vyráběná součást často svým tvarem nevyhovuje technologii výroby, proto je nutno součást tvarově upravit, aby bylo možno tuto součást vyrobit jak technologicky tak i ekonomicky. Technologickými přídávky je myšleno zaplnění otvorů menších rozměrů a detailů, úkosy bočních stěn výkovku, minimální tloušťka dna a stěny, poloměr zaoblení hran a přechodů.

Poloměr zaoblení hran a přechodů:

Volbou poloměru zaoblení se zvyšuje mechanické namáhání, které redukuje velikost úrovně napětí v oblasti přechodů. Poloměr zaoblení (obr. 7) dále pak ovlivňuje tok materiálu a zaplnění zápustky, malý poloměr zaoblení má za následek vznik přeložek. Správnou volbou zaoblení musíme zajistit dostatečný přídavek na obrábění, ale příliš velký rádius zaoblení je nežádoucí z důvodu velké spotřeby materiálu. Volba zaoblení se řídí poměrem výšky výkovku nebo hloubky vybrání k šířce výkovku nebo vybrání (tab. 9).

Tab. 9 Tabulka hodnot poloměrů zaoblení hran a přechodů pro obvyklé provedení. [8]

Výška (hloubka) [mm]		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru [mm]					
		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 Zaoblení hran a přechodů. [5]

Boční úkosy zápustkových výkovků:

Boční úkosy se konstruuji z důvodu snadnějšího vyjímání výkovku ze zápustky, volba úhlu úkosu se řídí normou ČSN 42 9030 (tab. 10), úkosy volíme podle tvarového výkovku a druhu kovacího stroje.

Tab. 10 Technologické úkosity. [8]

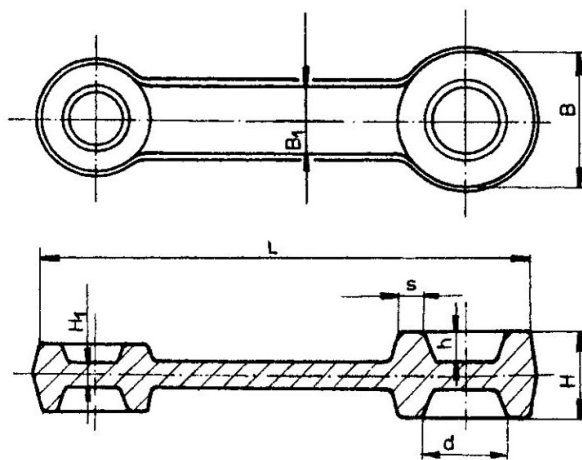
	Vnější	vnitřní
Zápustkové výkovky se běžně vyrábějí s úkosity	3°	7°
Vzhledem k rozdílné úrovni technologického zařízení výrobců výkovků se dovolují úkosity:	7°	10°
-pro buchary a lisy bez vyhazovače		
-lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
-vodorovné kovací stroje	0° až 5°	0° až 5°

Minimální tloušťka dna a stěny:

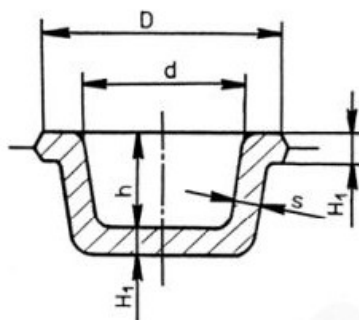
Minimální tloušťka dna a stěny (obr. 8 a 9) je závislá na druhu zvoleného materiálu výkovku a jeho možnostech zatékání dle tvarové složitosti výkovku a zvolené přesnosti kování. Hodnoty minimální tloušťky dna a stěny se vztahují na obráběné i neobráběné plochy.

Tab. 11 Nejmenší tloušťka dna a stěny. [8]

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



Obr. 8 Nejmenší tloušťka blány a stěny pro výkovek nerotačního tvaru [5]



Obr. 9 Nejmenší tloušťka stěny pro výkovek rotačního tvaru [5]

1.6 Dělicí rovina [5] [10]

Jedná se o rovinu, ve které je tvářecí nástroj rozdělen na dva díly tak aby umožňoval co nejjednodušší vyjmutí výkovku ze zápustky. Dalšími parametry ovlivňující polohu dělicí roviny jsou, aby co největší množství rozměrů bylo kolmých na dělicí rovinu nebo, aby rovina souměrnosti součásti byla totožná s dělicí rovinou. Do horního dílu zápustky umístíme vyšší část výkovku. Nejjednodušší rovinou je rovná dělicí rovina, u tvarově složitější výkovky vyžadují dělicí rovinu lomenou nebo zakřivenou v jednom nebo více směrech.

1.7 Mezní úchytky a tolerance [8] [11] [12]

Hodnotu mezních úchylek a tolerancí udává norma ČSN 40 9030. Pro určení hodnot tolerancí a mezních úchylek je nutné výkovek tvarově zatřídit, podle tvarového označení zvolíme stupeň přesnosti výkovku. Podle stupně přesnosti se určí tabulka s hodnotami pro daný stupeň přesnosti, dále v tabulce vyhledáme dle rozměru ve směru kolmém a rozměru rovnoběžného s rázem a určíme hodnoty mezních úchylek a tolerancí. Hodnota úchylek udávaná v normě platí pro vnější rozměry, pro vnitřní rozměry platí též hodnoty s opačnými znaménky. Pro určení mezních úchylek rozměrů hran a přechodů se určí mezní úchytky dle tab. 15, kde se následně hodnoty mezních úchylek vynásobí poloměrem zaoblení hrany nebo přechodu.

Přesnost zápustkového kování je ovlivněna nepřesností výroby tvářecího nástroje, smrštění výkovků při kování a dalšími vlivy. Přesnost výroby zápustky je ovlivněna tvarovou složitostí kované součásti. Při konstruování zápustky je nutné brát zřetel na tepelnou roztažnost kovaného materiálu. Proto je nutné rozměry zápustky zvětšit o hodnotu roztažnosti kovaného materiálu. Pro běžné oceli 1 až 3%, ložiskové oceli 1,5%, austenitické oceli až 2 %, mosaz 1 až 1,7 %, slitiny Cu 1,4 % a slitiny Al 0,6 až 1%. Během procesu kování dochází ke změně tvaru dutiny zápustky a tím se i zvyšuje nepřesnost jednotlivých rozměrů výkovku. K největšímu opotřebení zápustky dochází v místech s největším přemísťováním kovu např. v oblasti přechodu z dutiny do výronkové drážky, hrany v místech přechodu do žeber a tvarových výstupků. Opotřebení zápustky je možno správnou volbou tvaru výchozího materiálu a snížit tak přemísťování materiálu v zápustce a vhodným mazáním zápustky. Mezi další vlivy nepřesnosti kování lze zařadit nepřesnost tvářecího stroje (špatné vedení beranu, tuhost stojanu) nebo nepřesnost výchozího polotovaru.

Tab. 12 Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení [8]

Tvarový druh	Tvaro- vá třída	Tvarová skupina	Tvarová podsku- pina	Technologic- ké hledisko	Stupeň přesnosti pro pro- vedení [mm]					
					1		2		3	
					obvyklé		přesné		velmi přesné	
					⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥
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	1, 5	*	3, 4, 5	5	5	4	4	3	3
	9	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. 13 Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 5 [8]

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L+B)$ ve směru kolmo k rázu [mm]		Rozměr výkovku ve směru rázu (H) [mm]							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes 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	
přes 160 do 250	Mezní úchytky	+1,4 -0,6	+1,4 -0,7	+1,5 -0,7	+1,5 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,9	+2,0 -1,0	+2,3 -1,2
	Tolerance	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,5
přes 250 do 400	Mezní úchytky	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,8	+1,8 -0,9	+1,9 -1,0	+2,1 -1,0	+2,3 -1,1	+2,6 -1,3
	Tolerance	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,9
přes 400 do 630	Mezní úchytky	+1,9 -1,0	+2,0 -1,0	+2,1 -1,0	+2,1 -1,1	+2,3 -1,1	+2,4 -1,2	+2,6 -1,3	+3,0 -1,4
	Tolerance	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,6	3,9	4,4
přes 630 do 1000	Mezní úchytky	+2,5 -1,3	+2,6 -1,3	+2,7 -1,3	+2,7 -1,4	+2,9 -1,4	+3,0 -1,5	+3,2 -1,6	+3,5 -1,8
	Tolerance	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,5	4,8	5,3

Tab. 14 Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 6 [8]

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L+B)$ ve směru kolmo k rázu [mm]		Rozměr výkovku ve směru rázu (H) [mm]							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes 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 -0,8	+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	
přes 160 do 250	Mezní úchytky	+2,1 -1,1	+2,2 -1,1	+2,3 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,3	+2,7 -1,4	+3,0 -1,5	+3,4 -1,7
	Tolerance	3,2	3,3	3,4	3,6	3,8	4,1	4,5	5,1
přes 250 do 400	Mezní úchytky	+2,5 -1,3	+2,6 -1,3	+2,7 -1,3	+2,8 -1,4	+2,9 -1,5	+3,1 -1,6	+3,4 -1,7	+3,8 -1,9
	Tolerance	3,8	3,9	4,0	4,2	4,4	4,7	5,1	5,7
přes 400 do 630	Mezní úchytky	+3,1 -1,5	+3,1 -1,6	+3,2 -1,6	+3,3 -1,7	+3,5 -1,7	+3,7 -1,8	+3,9 -2,0	+4,3 -2,2
	Tolerance	4,6	4,7	4,8	5,0	5,2	5,5	5,9	6,5
přes 630 do 1000	Mezní úchytky	+4,1 -2,1	+4,2 -2,1	+4,2 -2,2	+4,4 -2,2	+4,5 -2,3	+4,7 -2,4	+5,0 -2,5	+5,4 -2,7
	Tolerance	6,2	6,3	6,4	6,6	6,8	7,1	7,5	8,1

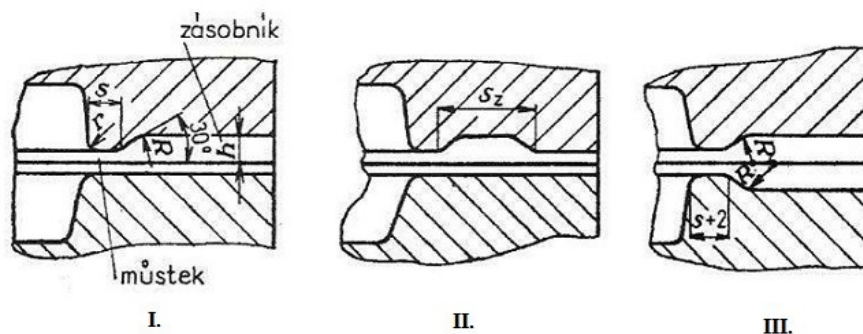
Tab. 15 Mezní úchytky zaoblení přechodů R a hran r [8]

Poloměr zaoblení [mm]		Mezní úchytky [mm]			
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	

1.8 Konstrukce výronkové drážky pro svislý kovací lis [11] [12] [13] [14]

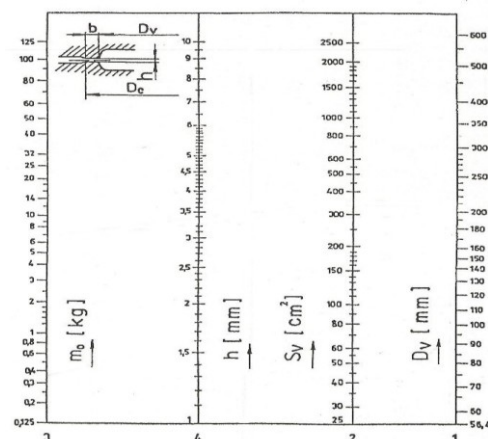
Návrhem výronkové drážky je ovlivněné zaplnění zápustky kovem a slouží jako regulátor tlaku v zápustce pro přebytečný kov. Výronková drážka se skládá z můstku a zásobníku, o volbě tvaru drážky rozhoduje tvarová složitost výkovku, množství přebytečného materiálu a vzdálenost dutiny od okraje zápustky. U členitých výkovků je volena menší šířka můstku a větší délka můstku, kterou zajistíme větší tlak kovu.

Varianta číslo I. výronkové drážky (obr. 10) se s otevřeným zásobníkem, varianta číslo II. s uzavřeným zásobníkem za účelem snížení pracnosti obráběných horních dílů zápustek, kde můstek je více vzdálen od okraje zápustky. Varianta č. III se používá pro výkovky se značným přebytkem materiálu.



Obr. 10 Typy výronkových drážek pro zápustkové kování na lisu. [14]

Výška můstku se určí pomocí nomogramu (obr. 11), kde pro správné určení je nutné znát průměr výkovku bez výronku D_v [mm], průmět plochy výkovku bez výronku S_v [cm²], hmotnost polotovaru m_0 [kg]. Následně určíme další rozměry výronkové drážky, šířku výronkového můstku, hloubku zásobníku.



Obr. 11 Nomogram k určení velikosti můstku. [13]

Šířka výronkové drážky:

$$b = 2 \cdot h \text{ [mm]} \quad (1.1)$$

kde: b [mm] – šířka výronkové drážky
 h [mm] – výška můstku

Hloubka zásobníku:

$$n = 0,4 \cdot h + 2 \text{ [mm]} \quad (1.2)$$

kde: n [mm] – hloubka zásobníku
 h [mm] – výška můstku

Poloměr přechodu tvaru do dělicí roviny:

$$r = \frac{\sqrt{S_V}}{200} + 0,04 \cdot H_D \text{ [mm]} \quad (1.3)$$

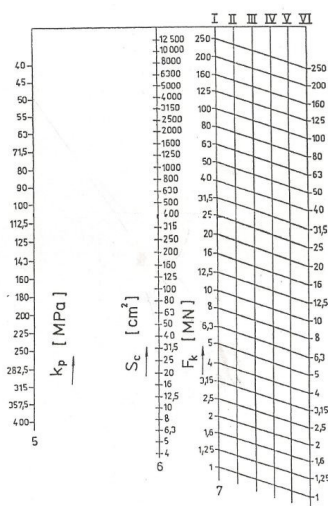
kde: S_V [mm] – průmět plochy výkovku bez výronku
 H_D [mm] – hloubka dutiny spodního dílu zápustky

Objem výronkové drážky:

$$V_{výr} = O \cdot \left[b \cdot h + \left(n + \frac{h}{2} \right) \cdot B \right] \text{ [mm}^3\text{]} \quad (1.4)$$

kde: O [mm] – obvod výkovku
 b [mm] – šířka výronkové drážky
 h [mm] – šířka výronkové drážky
 n [mm] – hloubka zásobníku
 B [mm] – šířka otřepu

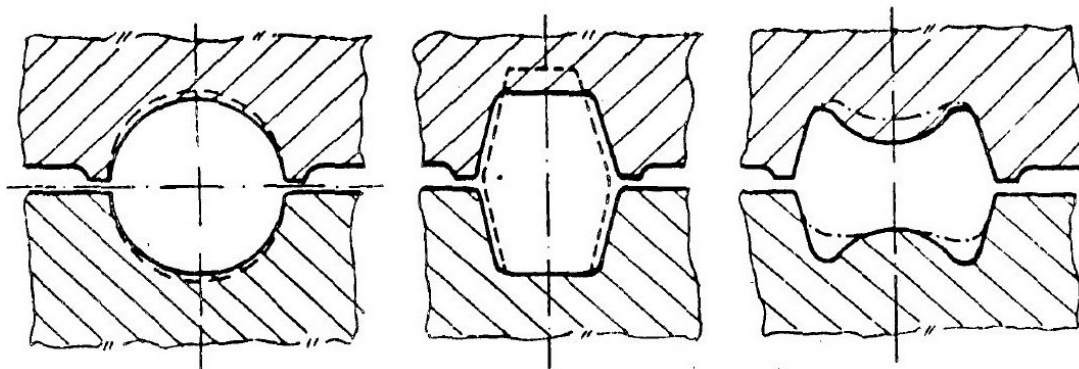
Následně stanovíme kovací sílu pomocí nomogramu (obr. 12). Pro určení kovací síly musíme znát velikost průmětu plochy výkovku s můstkem a hodnotu přetvárného odporu pro kovovaný materiál.



Obr. 12 Nomogram pro stanovení kovací síly. [13]

1.9 Předkovací dutina [9]

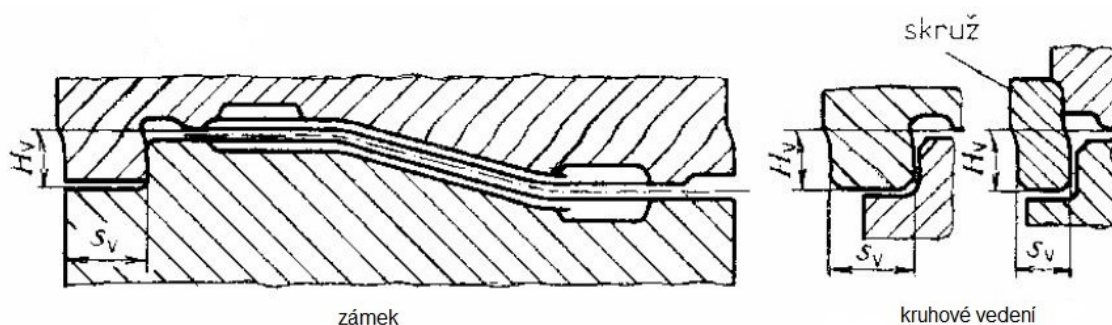
Účelem této operace je, aby předkovek dostal přibližný tvar dokončovací dutiny a v ní byl dokován konečný tvar pěchováním. Předkovek se zhotovuje užší a vyšší, než bude vykován v dokončovací dutině. Tímto je dosaženo snadného zakládání předkovku do dokončovací dutiny. Objem předkovku se navýší o 3 až 4 %, aby bylo zajištěno dokonalé vyplnění dokončovací dutiny. Konstrukce výronkové drážky u předkovací dutiny zahrnuje navýšení 30-60% tloušťky výronku a šířku výronku o 60-80% oproti dutině dokončovací. U většiny případů se však výronek nepoužívá. Zajištěním správného tvaru předkovací dutiny vůči tvaru výkovku se zvýší životnost dokončovací zápustky.



Obr. 13 Schéma předkovacích dutin [9]

1.10 Vedení zápustek pro lis [11] [14]

Jednotlivé díly zápustek jsou vedeny přesným vedením beranu listu, které je doplněno o vodící sloupky vně zápustek. V případě nedostatečného vedení je možno použít metodu kruhového vedení zápustky nebo zámků zachycující posuvné síly. Kruhové vedení (obr. 14) se zhotoví do horního dílu zápustky nebo se využívá nalisování bandáže na vnější stranu zápustky. Zámek k zachycení posuvných sil se konstruuje u zápustek s lomenou dělicí rovinou, kde je důležité zamezit posunutí dílů zápustky z důvodů rozkladu kovací síly na tangenciální složky kovací síly vznikající na lomené dělicí rovině. Pro běžné výkovky je dostačující vedení pomocí dvou až tří vodících sloupků, které jsou robustního tvaru.



Obr. 14 Vedení zápustek [14]

1.11 Upevňování zápustek pro lis [11]

Jednotlivé díly zápustky se upínají do držáku zápustky, který je pak následně upnut pomocí šroubů na stůl lisu a beran lisu. Používány jsou zápustky kruhových nebo obdélníkových tvarů. Zápustka je uložena na kalené desce, ve které jsou konstruovány otvory pro vyhazovače. Na zadní části dílu zápustky je konstruována drážka, do které vsadíme osazenou lištu a upneme tak zápustku. Na přední straně zápustky je vyroben úkos, o který se opírá upínka s tvarováním do tvaru „L“. Upínka je zajištěna pomocí šroubů a T drážky. Každý díl zápustky se upíná samostatně. Boční ustavení zápustek se provede doražením k jedné straně a následným dotlačením pomocí lišty s úkosem a šroubů.

1.12 Vyhazování výkovku [11] [13]

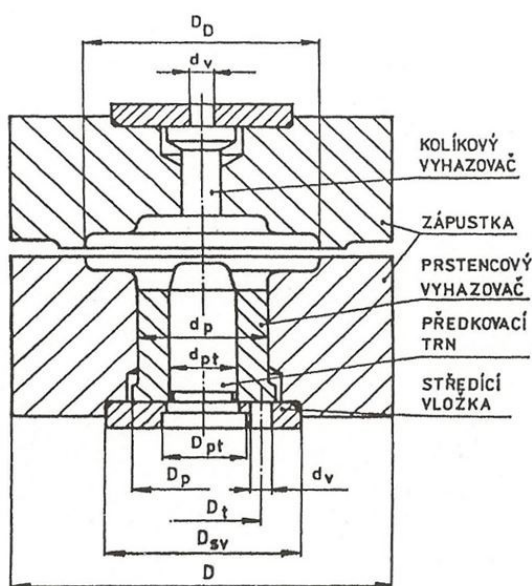
Aby bylo možno po kování vyjmout výkovek z dutiny zápustky a nedocházelo k jeho ulpívání v dutině, konstruuje se do zápustky vyhazovač. Volbu vyhazovače ovlivňuje hloubka dutiny, tření, členitost výkovku, úkoso, mazání zápustky, odstraňování okují a konstrukce kovacího lisu. Správná volba vyhazovače ovlivní životnost zápustky. Dle ČSN 22 8306 a je dána konstrukce tvaru pracovní části vyhazovače rozlišujeme prstencové a kolíkové vyhazovače.

Prstencové vyhazovače:

Konstruuje se pro zápustky, které mají ve středu výkovku zahlužení. Průměr předávacího trnu (obr. 15) se volí tak, aby byly zajištěny dovolené tlaky v dosedacích plochách. Tento vztah platí pro předkovací trn:

$$\frac{d_{pt}^2}{D_{pt}^2} \leq 0,85 \quad (1.5)$$

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



Obr. 15 Prstencový vyhazovač [11]

Kolíkový vyhazovač:

Tento typ vyhazovače bývá typu středového, mimo středového nebo umístěním v oblasti výronkové drážky. Rozměry vyhazovacích kolíků (obr. 16), jsou v tabulce 16. Průměr hlavy vyhazovače se spočítá dle vztahu:

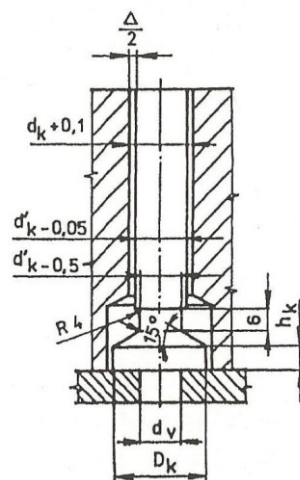
$$D_k = \sqrt{2 \cdot d_k^2 + d_v^2} \quad (1.6)$$

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

Na vyhazovače ve stole lisu nebo beranu lisu je připojen vyhazovač v držáku zápustek, který dále ovládá vyhazovač v zápustce.

Tab. 16 Doporučené hodnoty rozměrů kolíkových vyhazovačů [11]

Jmenovitý průměr d_k [mm]	Vůle ve vedení Δ [mm]	Výška hlavy vyhazovacího kolíku h_k [mm]
12	0,2	10
16	0,2	10
25	0,3	15
32	0,3	15
40	0,3	15
50	0,4	20
63	0,4	20
80	0,4	20



Obr. 16 Kolíkový vyhazovač [11]

1.13 Výpočet kovací síly pro lis [12] [13] [15] [16]

Pro správnou volbu velikosti tvářecího stroje je důležité znát kovací sílu. K výpočtu jsou lze použít několik metod, které se ve výsledku mohou v některých případech lišit. Nejpřesnější výsledky výpočtů umožňuje dosáhnout metoda dle Tomlenova, dle Storoževa, dle Brjuchanova-Rebelského.

Výpočet síly dle Brjuchanova-Rebelského metody:

$$F_K = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v}\right) \cdot \sigma_P \cdot S_v \text{ [N]} \quad (1.7)$$

Výpočet síly dle Storoževa:

$$F_K = \sigma_P \cdot \left[\left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h}\right) \cdot S_{v\gamma r} + \left(1,5 + \frac{b}{h} + 0,10 \cdot \frac{D_v}{h}\right) \cdot S_v \right] \text{ [N]} \quad (1.8)$$

kde: σ_P [MPa] – přirozený přetvárný odpor
 b [mm] – šířka můstku
 h [mm] – tloušťka výronku (můstku)
 $S_{v\gamma r}$ [mm²] – plocha průřezu výkovku včetně výronku
 S_v [mm²] – plocha průřezu výkovku bez výronku
 D_v [mm] – průměr výkovku

Výpočet síly dle Tomlenova:

- výpočet přetvárných odporů

$$\sigma_{d0} = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot c_o \text{ [MPa]} \quad (1.9)$$

$$\sigma_{d1} = \sigma_{d0} + R_{mT} \cdot c_o \cdot \frac{\Delta r_1}{z_1} \text{ [MPa]} \quad (1.10)$$

$$\sigma_{dn} = \sigma_{d(n-1)} + R_{mT} \cdot c_o \cdot \frac{\Delta r_n}{z_n} \text{ [MPa]} \quad (1.11)$$

kde: R_{mT} [MPa] – pevnost materiálu za kovací teploty

C_o [-] – koeficient, který udává závislost hmotnosti výkovku kolikrát je přirozený přetvárný odpor ve výronku větší než vně výkovku.

- síla vznikající od normálových napětí

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot A_i \text{ [N]} \quad (1.12)$$

kde: x_i [mm] – vzdálenost těžiště plochy od osy výkovku

A_i [MPa.mm] – dílčí plocha pod křivkou napětí

- síla vznikající od tangenciálních napětí

$$F_T = \frac{R_{mT}}{2} \cdot S' \quad (1.13)$$

kde: R_{mT} [MPa] – pevnost materiálu za kovací teploty

S' [mm²] – celkový povrch bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápusťky

- výsledná kovací síla

$$F_K = F_T + F_N \text{ [N]} \quad (1.14)$$

kde: F_T [N] – kovací síla od tangenciálních napětí

F_N [N] – kovací síla od normálových napětí

1.14 Příprava polotovarů pro kování [2] [6]

Pro přípravu polotovarů na kování je nutné provést dělení materiálů z hutních polotovarů, např. dělení tyčí na špalíky. Dělení polotovarů rozdělujeme na dva způsoby, dělení s beztržkovým nebo tržkovým odpadem. Mezi dělení s bez odpadu se řadí stříhání nebo lámání, dělení s odpadem rozlišuje upichování, řezání rámovými a kotoučovými pilami, rozbrušování a řezání plamenem.

Stříhání:

Princip stříhání je založen na působení dvou protilehlých břitů, kterými dochází k dělení materiálu. Na počátku procesu je působením síly horní nůž vtlačován do materiálu, na spodním noži vzniká stejná reakce a nůž je též zatlačován do materiálu. Po dosažení určité hloubky dochází vlivem smykových napětí k dělení materiálu. Kvalitu stříhu ovlivňuje faktory jako velikost střížné mezery, vlastnosti materiálu zvoleného polotovaru, tvar a kvalita střížného nástroje, způsob zvoleného stříhání a teplota stříhaného materiálu.

Lámání:

Proces lámání probíhá za studena, umožňuje dělit materiály s pevností v tahu vyšší než 600 MPa, materiály s menší pevností není vhodné dělit, neboť může docházet pouze k ohybu. V místě lomu je vhodné vytvořit vrub pomocí nařiznutí, naseknutí nebo plamenem. Mezi výhody patří vysoká produktivita, možnost lámání krátkých délek polotovarů ($l = 0,8d$). U plochy lomu nelze dosáhnout hladkosti, např. jako u stříhání.

Řezání rámovými a kotoučovými pilami:

Tento způsob dělení je volen u požadavků na polotovary s vysokou kvalitou řezné plochy a její přesností. Nevýhodou metody je nízká produktivita, menší trvanlivostí řezných nástrojů a vznik odpadu a tím neúplné využití materiálu. Tímto způsobem se dělí polotovary typu profilových tyčí, trubky a tyče velkým průměrů. U rámových pil je řezným nástrojem pilový list osazený zuby v rozteči podle tloušťky řezaného materiálu a velikosti list. List je vyroben z nástrojové nebo rychlořezné oceli. Rámové pily jsou používány pro dělení malých a středních průměrů, nebo pro malosériovou výrobu. Nevýhodou technologie je malá produktivita a vznik podřezávání, během procesu dochází k zešikmení roviny řezu a tím snížení kvality čelní plochy. Kotoučová pila se vyznačuje lepší kvalitou řezné plochy oproti rámové pile. Menší nástroje do průměru 300 mm bývají z jednoho kusu, větší kotoučové pily mají vsazené zuby jednotlivě nebo v segmentech. Zajištění kolmosti řezné plochy k ose polotovaru, nedostatkem je nízká produktivita, vzniklé větší množství odpadu, spotřeba nástrojů.

Řezání plamenem:

V místě řezu se materiál ohřeje acetyleno-kyslíkovým plamenem do bílého zbarvení. Železo vlivem proudu kyslíku spaluje a vzniklým proudem jsou zplodiny vyfoukány z místa řezu. Při řezání vzniká velké množství tepla. Nastavením plamene, tlaku kyslíku, rychlosti a rovnoměrnosti řezání, vzdálenosti hořáku od řezaného kovu lze dosáhnout kvalitního řezu. Správně provedený řez má podobnost vzhledu řezné plochy u obráběného materiálu. Při využití více automatizovaných hořáků je dosaženo vysoké produkce. Nevýhodou je ovlivnění struktury materiálu v oblasti řezu.

1.15 Předehřev zápustek [6]

U zápustek z vysoko legované oceli např. wolframové má materiál po tepelném zpracování nízkou houževnatost. Aby nedocházelo k praskání zápustek, musí zápustky rovnoměrně předehřívát na teplotu 200 až 300 °C, důležitost předehřevu je vázána členitostí dutiny zápustky. Předehřívání zápustek je nutné před začátkem práce, přestávkách a výměně směn, není-li zápustka dostatečně předehřívána nebo nepředá výkovku dostatečné množství tepla je nutno předehřívát i za provozu. Význam předehřevu je aby se zamezilo vzrůstu pevnosti kovaného materiálu a tím i nárůstu měrných tlaků v dutině zápustky. Můžeme tím zvýšit životnost zápustky. Způsob ohřevu může být použit pomocí ohřátého ocelového bloku nebo desky, zápustky je ohřívána na kovací stroji. Touto metodou dochází k nerovnoměrnému ohřátí zápustky, které není vhodné z hlediska vyhřátí zápustky a tím poklesu pevnosti v dělicí rovině. Další způsob předehřevu je možno použít plynovým hořákem, kde dochází k prudkému místnímu ohřevu, to zvyšuje riziko prasknutí zápustky. Za lepší metodu lze považovat předehřev na pískovém roštu za pomoci plynových hořáků, kde je však nevýhodou, že zápustka je vyjmuta z tvářecího stroje a je nutno ji seřizovat v ohřátém stavu. Dále je možno použít indukčních ohřevů s nízkou frekvencí. Není vhodné ohřívát zápustky více než 300 °C, při této teplotě nedochází v růstu houževnatosti materiálu zápustky, ba naopak dochází k poklesu této vlastnosti.

1.16 Zařízení pro ohřev polotovarů [6] [17]

Ohřev materiálu se provádí z důvodu snížení deformačního odporu materiálů a tím zajištění lepšího tečení v dutině zápustky a jejího dobrého zaplnění. Kováním při nejvyšších přípustných teplotách je materiál nejsnadněji tvářen a opotřebení zápustky je nejmenší. Při příliš vysokých kovacích teplotách dochází k vzniku okují a oduhličení povrchové vrstvy, čímž je materiál degradován a dochází ke ztrátě hmotnosti. Dále je nutno zamezit dlouhým prodlevám

mezi operacemi, aby nedocházelo k hrubnutí zrna. Optimálním stupněm deformace lze dosáhnout toho, že zhrublé zrno zjemní během operace tváření a není nutné tak dalšího tepelné operace.

Karuselové pece:

Jedná se o pece, které lze použít pro ohřev materiálu s širokou škálou rozměrů a tvarů. Stavbou se jedná o pece průchozí, pracovní prostor pece se skládá z částí předehřívací, ohřívací a vyrovnávací. Kde hořáky jsou umístěny tak, aby spaliny byly odváděny proti směru průchodu materiálu a došlo tak k předehřevu materiálu pomocí spalin. Tento typ pecí je prostorově náročný.

Talířové pece:

Tyto pece můžeme řadit k druhu pecí karuselových, mývají pouze jeden otvor, kudy je vsázka vkládána a vyjímána z otočné nístěje. Nístěj je tvarem otočné plné desky, je uložena na ocelových kuličkách a kladkách. Vyznačují se rovnoměrnou teplotou v celém prostoru pece, která odpovídá teplotě kováci. A však nelze použít spaliny k předehřevu materiálu, jako u pecí karuselových.

Strkací pece:

Zařadit je lze mezi pece průchozí, vhodné pro velkosériové ohřevy u zápusťového kování. Stavbou mají pevnou nístěj s mechanizovaným průchodem materiálu. Zakládací zařízení pro materiál leží mimo pec. Pracovní prostor je rozdělen na část předehřívací a ohřívací. Umístění hořáků je v bočních stěnách, odvod spalin je veden do předehřívací části, která je konstrukčně snížena klenba. Výhodou je pravidelnost dodávky ohřívajícího materiálu, menší prostorová náročnost a jednodušší provedení oproti karuselovým pecím. Velikost zakládaného materiálu je omezena konstrukcí pece.

Komorové pece:

Tento druh pece má mnoho typů konstrukcí, tvarem pracovního prostoru, počtem otvorů pro manipulaci s materiálem, umístěním hořáků a odtahových kanálů. Nevýhodou je, že ohřev materiálu při průchodu pecí není rovnoměrný a nízká tepelná účinnost pece.

Štěrbínové pece:

Materiál je zakládán na stůl pece a pouze koncem zasahuje do prostoru pece. Využívá se pro ohřev konců tyče, trubek nebo tyčoviny. Stavbou je rozlišujeme na pece s uzavřenou štěrbinou a pece průchozí.

Indukční ohřev:

Materiál je umístěn v cívice, která je připojena na zdroj střídavého proudu, jež má za následek vznik indukovaných vířivých proudů a tím i ohřev materiálu. Prohřátí hluboko vně materiálu polotovaru je ovlivněno odporem ohřívajícího materiálu a správnou volbou frekvence střídavého proudu. Používá se pro rychlý ohřev kruhových a profilových přířezů v kratších délkách. Využití má hlavně ve velkosériové výrobě. Výhodou tohoto ohřevu je lepší kvalita povrchu ohřátého materiálu, menší vznik okují a lepší prohřátí.

1.17 Materiál pro zápustky [11]

Materiál zápustek musí splňovat následující požadavky:

- a) vysoká tvrdost, houževnatost, mez kluzu, tažnost a tvarová stálost
- b) vysoká pevnost za tepla (až 650 °C)
- c) necitlivost proti kolísání teploty
- d) dobrá obrobiteľnosť
- e) dobré tepelné zpracování

Volbu materiálu ovlivňují faktory jako způsob kování, velikost výrobní dávky a tvaru dutiny. Dle typu stroje je zápustka namáhána mechanicky u bucharů nebo tepelně u lisu. Čím vyšší výrobní dávka, tím kvalitnější materiál na zápustku a vyšší životnost. Dle tvaru dutiny pro malé hloubky dutiny stačí použít křehčí materiály, pro hluboké dutiny používáme materiál houževnatý.

Pro zápustky velikostí velké a střední se nejčastěji používají chromniklové oceli značené dle ČSN 19650, 19662 a 19663. Vyznačují se dobrou houževnatostí a nejsou náchylné k praskání, a však mají nízkou popouštěcí teplotu a nehodí se pro tvarové složité zápustky.

Skupina chromových ocelí s příměsí molybdenu, wolframu a vanadu s označením 19552 a 19553, mají o něco vyšší popouštěcí teplotu než oceli chromniklové, jsou vhodné pro středně velké zápustky bucharů a lisů.

Nástroje pro malé a tvarově složité nástroje se používá wolframová ocel 19721, 19723. Mají dobrou odolnost vůči opotřebení, nevýhodou je náchylnost na teplotní rázy a snadno praskají.

Oceli LN mají obsah 3% molybdenu, jedná se o oceli určené k nástrojům chlazených vodou, pro lisování, protlačování a tlakové lití kovů.

1.18 Tepelné zpracování zápustek [6]

Normalizační žíhání:

Aplikuje se u materiálů, kde došlo k vytvoření nestejněměrné struktury, dosáhneme jím zjemnění struktury v materiálu. Materiál je ohřán nad teplotu rekrytalizace A_{C3} a následně ochlazen na vzduchu. Normalizačně se žíhají uhlíkové oceli, nežíhají se legované oceli, které jsou kalitelné na vzduchu.

Žíhání na měkko:

Provádí se u zápustkových bloků, které budou dále obráběny, žíháním na měkko zlepšíme jejich obrobiteľnosť. Žíhání na měkko se provádí 4 až 6 hodin při teplotě těsně pod křivkou A_{C1} , legované oceli a oceli s vysokým obsahem uhlíku jsou žíhány nad teplotou A_{C1} nebo střídáním teplot kolem A_{C1} , s následným pomalým ochlazením. Takto tepelně zpracované oceli mají dobrou obrobiteľnosť, jsou vhodné pro další zpracování tvářením a dobře se kalí.

Žíhání na odstranění pnutí:

Po procesu obrábění dochází v povrchových vrstvách k plastickým deformacím a k přerušení vláknité struktury. To má za následek vznik pnutí, která způsobují tvarovou deformaci po ohřevu na vyšší teplotu. Tepelné zpracování probíhá pozvolným ohřevem 1 až 2 hodiny na teplotu pod křivkou A_{C1} a je ukončeno pozvolným chladnutím ve vypnuté peci. Nedodržením žíháním na odstranění pnutí po hrubovací operaci může mít za následek, vznik velkých tvarových deformací, které se odstraňují velmi obtížně nebo se nedají odstranit vůbec.

Kalení:

Špatný způsob ohřevu může mít za následek vznik trhlin nebo prasknutí zápustky. Faktory, které toto ovlivňují, jsou rozměry kalené zápustky, tepelná vodivost oceli a prostředí ohřevu. Vyšší kalicí teploty mají vliv na materiál, který má za vyšších provozních teplot nástroje lepší odolnost proti popouštění. Při nižších kalicích teplotách má zpracovávaný materiál málo odolný vůči poklesu pevnosti za vyšších provozních teplot, a je tak negativně ovlivněna životnost zápustky. Správnou volbou kalicí teploty a doby kalení je možno dosáhnout správné austenitizace a částečného rozpuštění karbidů. Při krátké době kalení je rozpustnost karbidů nedostatečná a při příliš dlouhé době způsobuje růst zrna, což značně ovlivňuje životnost zápustky. Dobu ohřevu ovlivňuje tvar a velikost zápustky, a to že zakalení proběhne dříve na povrchu než ve středu zápustky. Proto je nutné počítat pro uhlíkové a nízko legované oceli s dobou 5 minut výdrže na kalicí teplotě pro 10 mm hloubky zápustky, pro oceli vysoko legované je nutné počítat s dobou 10 minut pro 10 mm hloubky. Zápustky z uhlíkových a nízko legovaných ocelí se ochlazují ve vodě nebo oleji přímo z kalicí teploty. Materiály středně a vysoko legované je vhodné ochlazovat na vzduchu, sníží se tak riziko prasknutí zápustky nebo její deformace. Pro bezpečné kalení je vhodné do teplot 750 až 800 °C ochlazovat a při dmýchaném vzduchu a potom dokončit kalení v olejové lázni na teplotu 100 až 150 °C s následným popouštěním.

Popouštění:

Popouštěním snížíme vnitřní pnutí, které se projevuje vysokou tvrdostí a křehkostí. Popouštěnou zápustku je vhodné vložit do mírně vyhřáté pece o teplotě 300-400 °C a pozvolna ji ohřát na teplotu o 30 až 50 °C vyšší než je průměrná pracovní teplota zápustky. Doba popouštění je ovlivněna velikostí zápustky, druhem materiálu a teplotou popouštění. Doba popouštění bývá přibližně 1 hodina na 25 mm tloušťky zápustky. Ochlazovat je vhodné na vzduchu nebo oleji, je nutné vyvarovat se prudkého ochlazení, aby nevznikli zvýšená pnutí při provozu zápustky. Je výhodné popouštět několikrát za sebou, neboť všechna pnutí nejsou odstraněna po první operaci. Teplota druhé popouštění se volí o 20 až 50 °C nižší než teplota předchozího popouštění, doba popouštění bývá o něco delší než u první operace. Při provozu zápustky a tepelného namáhání vznikají pnutí, které mají za následek vznik trhlin a následné prasknutí zápustky. Doplnujícím popouštěním lze tento jev oddálit, popouští se zápustky sejmутá z tvářecího stroje nebo nástroj po delším používání. Zápustka je popouštěna při teplotě 20 až 50 °C nižší než byla teplota prvního popouštění. Důrazně se doporučuje dodržet postup popouštění, jeho nedodržení může vést k velkému omezení životnosti zápustky.

1.19 Maziva v zápustkovém kování [6]

Mazání dutiny zápustky se provádí za účelem snížení tření mezi kovaným materiálem a povrchem dutiny zápustky. Vhodným mazáním se sníží deformační odpor, síla, práce a výkovek lze po dokončení operace snáze vyjmout. Volbu maziva ovlivňují faktory, udržitelnosti si malé a stálé viskozity během provozu, a životnost během provozní teploty a tlaků.

Tuhá maziva:

Nejrozšířenějším prvkem v této skupině je grafit, který svými dobrými mazacími vlastnostmi a dobrou přilnavostí je nejpoužívanější v praxi. Mazací schopnost je zaručena jeho krystalickou strukturou. Dále mezi tuhá maziva patří sirník molybdeničitý, sirník wolframitický, titaničitý a zinečnatý. Maziva jsou rozpuštěna v oleji nebo vodě. Rozprašením této směsi na povrch zápustky, se po jejím odpaření utvoří mazací film.

Kapalinná maziva:

Radí se sem oleje na bázi minerální, syntetické. Oleje se vypařují kolem teploty 200 °C, která je i teplotou vzplanutí oleje a dochází tak k zplyňování se značnou tvorbou dýmu. Správnou volbou koncentrace lze dosáhnout kompromisu mez tvorbou dýmu a chladicími účinky oleje.

Konzistentní maziva:

Mazání tuky a mýdly dutiny zápustky je nevhodné, jelikož je nutno ho provádět ručně. Pod skápnutí u těchto maziv se pohybuje okolo teploty 200 °C, po jeho vypaření a spálení v dutině zápustky jsou ponechány pevné zbytky. Tyto zbytky je nutno před další operací odstranit.

Piliny:

Používají se u zápustek s hlubokou dutinou. Výkovek je uvolněn plyny a vodní párou vzniklých při spálení pilin vně dutiny zápustky.

Soli:

Využívá se pro vytvoření izolační vrstvy, aby nedocházelo k přilnutí okují. Vytvoří se rozprašením solného roztoku v dutině zápustky, a následným odpařením vody. Mezi nevýhody patří znečištění stroje, korozivní účinky. Používají se roztoky kuchyňské soli, sody a ledku.

Sklo:

Sklo je nanášeno na materiál ve formě vaty, fólie nebo suspenzí. Během ohřevu dojde k odpaření nosiče, sklo vytvoří na povrchu materiálu vrstvu, jež zabraňuje vzniku okují. Po kování je sklo odstraněno oklepáním nebo pískováním. Nutností je odstranit ztuhnuté zbytky skla z dutiny zápustky.

1.20 Výpočet ostříhovací a děrovací síly [6] [17]

V dokončovací dutině bucharu a lisu zápustky během kování na výkovku výronek a u předkovávaných otvorů blána. Výronek a blána jsou na budoucím výrobku nežádoucí a proto je nutné je odstranit, toho je možné dosáhnout na mechanickém nebo hydraulickém ostříhovacím lisu. Ostříhovat je možno za tepla nebo za studena. Výkovky z materiálu s menším obsahem uhlíku než 0,5% lze ostříhovat za studena. Výkovky s vyšším obsahem uhlíku, větších rozměrů nebo složitější se ostříhují za tepla.

Výpočet ostříhovací síly výronku:

$$F_S = 1,6 \cdot L \cdot s \cdot R_m \cdot 10^{-6} [MN] \quad (1.15)$$

kde: L [mm] – obvod ostřížku v dělicí rovině
 s [mm] – stříhaná tloušťka výronku
 R_m [MPa] – mez pevnosti materiálu v tahu

Výpočet ostříhovací síly blány:

$$F_{S1} = 1,6 \cdot L_1 \cdot s_1 \cdot R_m \cdot 10^{-6} [MN] \quad (1.16)$$

kde: L₁ [mm] – obvod ostřížku blány
 s₁ [mm] – stříhaná tloušťka blány
 R_m [MPa] – mez pevnosti materiálu v tahu

2 Současné možnosti výroby [5] [14] [17]

Zvolenou součást (obr. 17) lze vyrábět několika technologiemi výroby. Mezi tyto technologie patří obrábění, odlévání a kování. Volba výrobní technologie může ovlivnit faktory, jako velikost výrobní dávky, požadované mechanické vlastnosti výrobku, velikost odpadu vzniklého výrobou zvolené technologie.

Obrábění je vhodné použít pro výrobu menších sérií, u velkých sérií je obrábění vhodné pouze pro získání požadovaných finálních rozměrů a jakosti povrchu. Touto výrobou dochází ke vzniku velkého množství odpadu a přerušení vláken a tím snížení mechanických vlastností výrobku. Obráběním bude řešeno získání finálních rozměrů zadané součásti po operaci kování.

Technologií lití je dobré volit u výrobků s velkou sériovou výrobou. Výhodou je vyšší produktivita a vznik menších odpadů než u obrábění. Nevýhodou jsou nižší mechanické vlastnosti výrobku.

Technologií kování je vhodnou volbou pro vysoce cyklicky namáhané součásti, to je případ zvolené součásti. Lepší mechanické vlastnosti, mají svůj původ při přetváření v dutině zápustky, kdy přetvářený materiál má průběh vláken shodný s tvarem dutiny zápustky. Správnou volbou tvářecího stroje lze dosáhnout požadovaných vlastností výrobku.

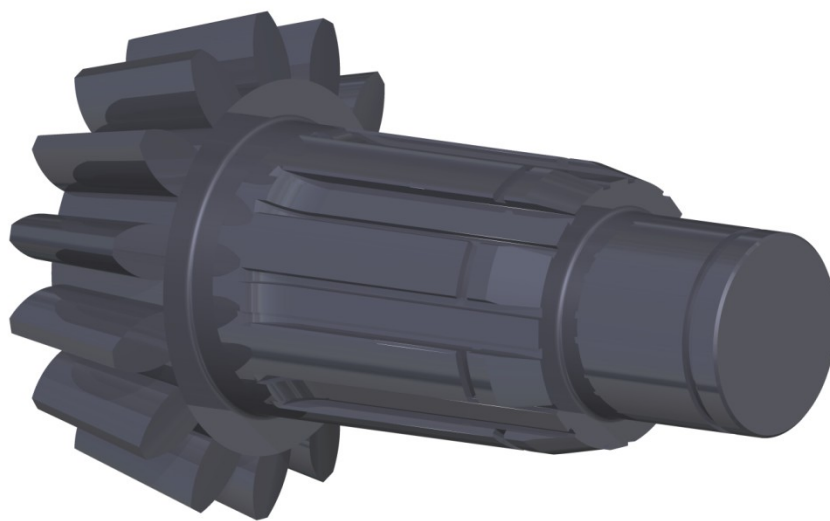
Buchar:

- horší kvalita prokování materiálu
- vhodná volba pro tvarově složitější výkovky v ose kování
- lepší kvalita povrchu dochází k odlétávání okují
- horší produktivita
- nelze použít vyhazovače, uzavřená výronková drážka
- během 1 operace může být použito i několik úderů, vznik rázů
- nižší přesnost výroby vlivem rázů a horší vedení zápustek
- nižší pořizovací náklady
- vyšší fyzické a kvalifikační nároky na obsluhu stroje

Lis:

- materiál je prokovan v celém průřezu
- pro tvarově složité výkovky kolmo k ose kování
- horší kvalita povrchu, dochází k zakování okují
- během 1 operace dochází k působení 1 klidného působení beranu, nedochází ke vzniku rázů
- možnost použití vyhazovačů a tím zmenšení technologických úkosů a snížení spotřeby materiálu
- lepší přesnost výkovku, bez rázů a lepší vedení zápustek
- nižší fyzické a kvalifikační nároky na obsluhu stroje

Z důvodu tvarové složitosti a velikosti série je zvoleno zápustkové kování na svislém kovací lisu jako metoda výroby pro pastorek v sérii 100 000 ks.rok⁻¹.



Obr. 17 3D model vyráběného pastorku

3 Technologie výroby pastorku

3.1 Materiál pastorku [18] [19]

Pastorek bude vykován z hutního polotovaru oceli dle ČSN 14220.0. Jedná se o materiál dobře tvářitelný za tepla. Dále je ocel vhodná k cementování, dobře obrobitelná a dobrou svařitelností. Použitelná např. pro menší hřídele, ozubená kola, šneky vačkové hřídele. Značení oceli dle ČSN EN je ve tvaru 16MnCr5, dle EN pak 1.7131.

Tab. 17 Mechanické vlastnosti oceli. [19]

Mechanické vlastnosti	
Mez pevnosti v tahu R_m	min 785 MPa
Mez kluzu R_e	min 590 MPa

Tab. 18 Chemické složení oceli. [19]

Chemické složení	
Uhlík – C	0,14-0,19 %
Mangan – Mn	1,10-1,40 %
Křemík – Si	0,17-0,37 %
Chrom - Cr	0,80-1,10 %
Fosfor – P	max 0,035 %
Síra - S	max 0,035 %

3.2 Zatřídění výkovku dle složitosti tvaru [7]

Zařazení výkovku dle normy ČSN 42 9002 viz tab. 19.

Tab. 19 Tvarové zatřídění pastorku. [7]

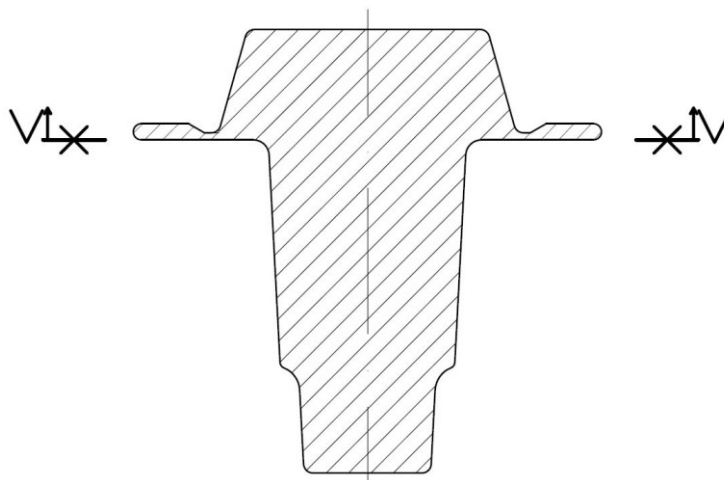
	Číselné označení	Význam číselného značení
Tvarový druh	4	Výkovek kruhového průřezu plný
Tvarová třída	5	Osazené s kuželem
Tvarová skupina	2	Výkovek plný
Tvarová podskupina	0	Bez přesahu
Technologické hledisko	4	Výkovek s dělicí plochou kolmou na hlavní osu nesouměrný

Výsledné číslo zatřídění:

4 5 2 0 - 4

3.3 Poloha dělicí roviny [5] [14]

Poloha dělicí roviny byla zvolena v místě největšího průřezu na hraně změny kuželové plochy v osazení (obr. 18).



Obr. 18 Zvolená dělicí rovina

3.4 Přídavky na obrábění a přídavky technologické [8]

Přídavek na obrábění byl zvolen dle tab. 8, kde největší výška činní 139,8 mm a největší průměr 95,2. Přídavek na obrábění činní 2,5 mm.

Velikost zaoblení hrany určuje tabulka č. 9. Na výkovku byly určeny hrany $r = 3$ mm a přechod $R = 8$ mm. Dále bylo nutno upravit přechod na poloměr $R = 5$ mm, dojde tak ke snížení potřeby materiálu v oblasti přechodu, dále došlo k změně velikosti poloměru hrany $r = 2$ mm, z důvodu zachování materiálu v oblasti hrany.

Hodnota technologických úkosů byla zvolena dle tab. 10. Pro vnější plochy a výkovek kovaný na lise v zápustce s vyhazovačem je zvolená hodnota 3° .

3.5 Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků [8]

Mezní úchytky a tolerance rozměrů byly zvoleny dle tab. 13 a určením stupňů přesnosti byly dohledány úchytky a tolerance podle tab. 13 a 14. Přehled zvolených mezních úchylek a tolerancí je uveden v tabulce 18.

Tab. 18 Zvolené mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku. [8]

Rozměr ve směru kolmo k rázu (IT5) [mm]		Rozměr ve směru rázu (IT6) [mm]	
Horní mezní úchylka	+1,4	Horní mezní úchylka	+2,0
Dolní mezní úchylka	-0,6	Dolní mezní úchylka	-1,0
Tolerance	2,0	Tolerance	3,0

Velikost mezních úchylek zaoblení hran a přechodů určuje tabulka č. 15. Mezní úchytky hran jsou určeny vynásobením příslušné velikosti zaoblení s horní mezní úchytkou $+0,25$ mm a dolní mezní úchylky $-0,50$ mm. Velikost úchylek přechodů je určena podrobně, a však s tím že hodnoty úchylek jsou převráceny, tedy pro horní mezní úchytku $+0,50$ mm a pro dolní mezní úchytku $-0,25$ mm.

3.6 Návrh výronkové drážky [11] [13]

Byl zvolen typ výronkové drážky obvyklý, obr. 10 – I.

Určení výšky můstku:

Z nomogramu (obr. 11) je určena výška h pomocí závislých veličin D_v , S_v , m_v .

kde: $D_v = 95,2 \text{ mm}$ – průměr výkovku bez výronku

$S_v = 71,18 \text{ cm}^2$ – průmět plochy výkovku bez výronku

$m_v = 3,48 \text{ kg}$ – hmotnost výkovku

Dle nomogramu je výška můstku $h = 2,03 \text{ mm}$, zvolena výška $h = 2,2 \text{ mm}$.

Šířka výronkové drážky:

$$b = 2 \cdot h = 2 \cdot 2,2 = 4,4 \text{ mm} \quad (3.1)$$

Hloubka zásobníku:

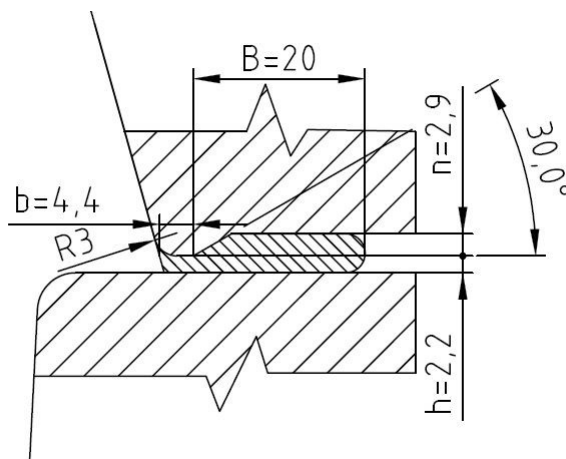
$$n = 0,4 \cdot h + 2 = 0,4 \cdot 2,2 + 2 = 2,88 \text{ mm} \quad (3.2)$$

Zvoleno $n = 2,9 \text{ mm}$.

Poloměr přechodu tvaru do dělicí roviny:

$$r = \frac{\sqrt{S_v}}{200} + 0,04 \cdot H_D = \frac{\sqrt{71,18}}{200} + 0,04 \cdot 71,9 = 2,9 \text{ mm} \quad (3.3)$$

Zvolen poloměr zaoblení 3 mm .



Obr. 19 Rozměry výronkové drážky

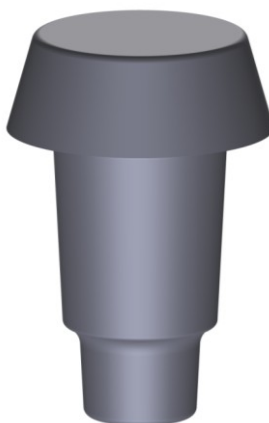
3.7 Výpočet objemů výkovku [9] [20]

Objem výronkové drážky:

$$\begin{aligned} V_{výr} &= O \cdot \left[b \cdot h + \left(n + \frac{h}{2} \right) \cdot B \right] = \\ &= 299,1 \cdot \left[4,4 \cdot 2,2 + \left(2,9 + \frac{2,2}{2} \right) \cdot 20 \right] = 26\,824 \text{ mm}^3 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Objem výkovku:

Objem výkovku byl určen z modelu vytvořeného v softwaru Autodesk Inventor 2013. Objem výkovku má hodnotu $V_{VÝK} = 442\,924 \text{ mm}^3$



Obr. 20 Model výkovku

Objem přídavku na opal:

$$V_{OP} = (V_{VÝK} + V_{VÝR}) \cdot 0,03 = (442\,924 + 26\,824) \cdot 0,03 = 14\,093 \text{ mm}^3 \quad (3.5)$$

Celkový objem výkovku:

$$V_{CEL} = V_{VÝK} + V_{VÝR} + V_{OP} = 442\,924 + 26\,824 + 14\,093 = 483\,841 \text{ mm}^3 \quad (3.6)$$

3.8 Výpočet výchozích rozměrů a hmotnosti polotovaru [20]

Pro splnění pravidla přechování je nutné, aby štíhlostní poměr, který je vyjádřen poměrem délky polotovaru k jeho průměru, byl v intervalech $<1,5 \div 2,8>$. Dodržením toho pravidla nehrozí ztráta stability, a tak nekontrolovatelného vybočení do strany při přechování.

Předběžný štíhlostní poměr:

$$\lambda = \frac{L_O}{D_O} = < 1,5 \div 2,8 > \quad (3.7)$$

kde: L_O [mm] – délka polotovaru
 D_O [mm] – průměr polotovaru

Předběžný štíhlostní poměr byl zvolen $\lambda = 2,7$

Průměr polotovaru:

$$D_o = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{CEL}}{\lambda}} [mm] \quad (3.8)$$

kde: $V_{CEL} [mm^3]$ – celkový objem výkovku

$$D_o = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{483841}{2,7}} = 60,89 \text{ mm} \Rightarrow \text{volím } 63 \text{ mm}$$

Délka polotovaru:

$$L_o = \frac{4 \cdot V_{CEL}}{\pi \cdot D_o^2} [mm] \quad (3.9)$$

kde: $V_{CEL} [mm^3]$ – celkový objem výkovku
 $D_o [mm]$ – průměr polotovaru

$$L_o = \frac{4 \cdot 483841}{\pi \cdot 63^2} = 155,21 \text{ mm} \Rightarrow \text{volím } 156 \text{ mm}$$

Kontrola štíhlosti:

$$\lambda = \frac{L_o}{D_o} = \frac{156}{63} = 2,48 \Rightarrow \text{vyhovuje} \quad (3.10)$$

Hodnota se nachází v intervalu $<1,5 \div 2,8>$.

Hmotnost výchozího polotovaru:

Hmotnost výchozího polotovaru byla určena z modelu vytvořeného v programu Autodesk Inventor 2013. Hmotnost polotovaru činní $m_o = 3,81 \text{ kg}$.

Volba polotovaru:

Volím polotovar $\varnothing 63-156$ ČSN EN 10060.

3.9 Výpočet rozměru předkovací a dokončovací zápustky [13]

Rozměr bloku předkovací zápustky:

$$D_{př} \geq D_D + 0,2 \cdot (D_D + H_{D1}) + 5 [mm] \quad (3.11)$$

kde: $D_D [mm]$ – největší průměr dutiny zápustky
 $H_{D1} [mm]$ – největší hloubka dutiny zápustky

$$D_{př} \geq 84,1 + 0,2 \cdot (84,1 + 64,5) + 5 = 118,82 \text{ mm} \Rightarrow \text{volím } 160 \text{ mm}$$

Rozměr bloku dokončovací zápustky:

$$D_{dok} \geq D_D + 0,4 \cdot (D_D + H_{D1}) + 10 \text{ [mm]} \quad (3.12)$$

$$D_{dok} \geq 93,7 + 0,4 \cdot (93,7 + 105) + 10 = 183,18 \text{ mm} \Rightarrow \text{volím } 200 \text{ mm}$$

3.10 Volba ohřevu [21]

Pro ohřev kruhových přířezů bude použita elektrická indukční pec od firmy Roboterm Chotěboř řady SOP 400/3-A30 P/L/T (obr. 21) o výkonu 400 kW. Kovací teplota materiálu 14 220.0 byla určena dle normy na 1100 °C.



Obr. 21 Elektrická indukční pec SOP 400/3-A30 P/L/T [21]

3.11 Výpočet velikosti kovací síly dle Storoževa [12] [13]

Základní přetvárný odpor σ_p se určí z normy ČSN 22 8306 pro kovací teplotu 1100 °C, kde se $\sigma_p=106$ MPa.

$$F_K = \sigma_p \cdot \left[\left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h} \right) \cdot S_{výr} + \left(1,5 + \frac{b}{h} + 0,1 \cdot \frac{D_V}{h} \right) \cdot S_V \right] \text{ [N]} \quad (3.13)$$

$$S_{výr} = \frac{\pi \cdot (D_{výr}^2 - D_V^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (144^2 - 95,2^2)}{4} = 9\,167,9 \text{ mm}^2 \quad (3.14)$$

$$S_V = \frac{\pi \cdot D_V^2}{4} = \frac{\pi \cdot 95,2^2}{4} = 7\,118,1 \text{ mm}^2 \quad (3.15)$$

$$F_K = 106 \cdot \left[\left(1,5 + \frac{4,4}{2 \cdot 2,2} \right) \cdot 9167,9 + \left(1,5 + \frac{4,4}{2,2} + 0,1 \cdot \frac{95,2}{2,2} \right) \cdot 7118,1 \right]$$

$$F_K = 8335316,36 \text{ N} \Rightarrow 8,34 \text{ MN}$$

3.12 Výpočet velikosti kovací síly dle Brjuchanov-Rebelského [9]

$$F_K = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_V) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_V} \right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_V \quad (3.16)$$

$$F_K = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 95,2) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{95,2} \right)^2 \cdot 106 \cdot 7118,1 = 9373695,91 \text{ N} \Rightarrow 9,37 \text{ MN}$$

3.13 Výpočet velikosti kovací síly dle Tomlenova [9] [13]

Rozměry výkovku:

$D_0 = 104 \text{ mm}$	$z_1 = 2,2 \text{ mm}$	$\Delta r_1 = 4,4 \text{ mm}$	$\Delta z_1 = 32,6 \text{ mm}$
$D_1 = 95,2 \text{ mm}$	$z_2 = 34,8 \text{ mm}$	$\Delta r_2 = 16,55 \text{ mm}$	$\Delta z_2 = 71,9 \text{ mm}$
$D_2 = 62,1 \text{ mm}$	$z_3 = 106,7 \text{ mm}$	$\Delta r_3 = 9,7 \text{ mm}$	$\Delta z_3 = 33,1 \text{ mm}$
$D_3 = 42,7 \text{ mm}$	$z_4 = 139,8 \text{ mm}$	$\Delta r_4 = 21,35 \text{ mm}$	

$$R_{mT} = 40 \text{ MPa}$$

$$C_O = 4,5$$

Výpočet přetvárných odporů:

$$\sigma_{d0} = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_O = 1,285 \cdot 40 \cdot 4,5 = 231,3 \text{ MPa} \quad (3.17)$$

$$\sigma_{d1} = \sigma_{d0} + R_{mT} \cdot C_O \cdot \frac{\Delta r_1}{z_1} = 231,3 + 40 \cdot 4,5 \cdot \frac{4,4}{2,2} = 591,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d2} = \sigma_{d1} + R_{mT} \cdot C_O \cdot \frac{\Delta r_2}{z_2} = 591,3 + 40 \cdot 4,5 \cdot \frac{16,55}{34,8} = 676,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d3} = \sigma_{d2} + R_{mT} \cdot C_O \cdot \frac{\Delta r_3}{z_3} = 676,9 + 40 \cdot 4,5 \cdot \frac{9,7}{106,7} = 693,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d4} = \sigma_{d3} + R_{mT} \cdot C_O \cdot \frac{\Delta r_4}{z_4} = 693,3 + 40 \cdot 4,5 \cdot \frac{21,35}{139,8} = 720,8 \text{ MPa}$$

Výpočet dílčích ploch pod křivkou napětí:

$$S_j = \sigma_{dn} \cdot \Delta r_n [\text{mm}^2] \quad (3.18)$$

$$S_{j+1} = (\sigma_{dn} - \sigma_{dn-1}) \cdot \frac{\Delta r_n}{2} [\text{mm}^2] \quad (3.19)$$

$$S_1 = \sigma_{d0} \cdot \Delta r_1 = 231,3 \cdot 4,4 = 1017,7 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = (\sigma_{d1} - \sigma_{d0}) \cdot \frac{\Delta r_1}{2} = (591,3 - 231,3) \cdot \frac{4,4}{2} = 792 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = \sigma_{d1} \cdot \Delta r_2 = 591,3 \cdot 16,55 = 9786 \text{ mm}^2$$

$$S_4 = (\sigma_{d2} - \sigma_{d1}) \cdot \frac{\Delta r_2}{2} = (676,9 - 591,3) \cdot \frac{16,55}{2} = 708,3 \text{ mm}^2$$

$$S_5 = \sigma_{d2} \cdot \Delta r_3 = 676,9 \cdot 9,7 = 6565,9 \text{ mm}^2$$

$$S_6 = (\sigma_{d3} - \sigma_{d2}) \cdot \frac{\Delta r_3}{2} = (693,3 - 676,9) \cdot \frac{9,7}{2} = 79,5 \text{ mm}^2$$

$$S_7 = \sigma_{d2} \cdot \Delta r_4 = 693,3 \cdot 21,35 = 14\,802 \text{ mm}^2$$

$$S_8 = (\sigma_{d4} - \sigma_{d3}) \cdot \frac{\Delta r_4}{2} = (720,8 - 693,3) \cdot \frac{21,35}{2} = 293,6 \text{ mm}^2$$

Výpočet těžiště dílčích ploch pod křivkou napětí:

$$r_1 = \frac{D_1}{2} + \frac{\Delta r_1}{2} = \frac{95,2}{2} + \frac{4,4}{2} = 49,8 \text{ mm}$$

$$r_2 = \frac{D_1}{2} + \frac{\Delta r_1}{3} = \frac{95,2}{2} + \frac{4,4}{3} = 49,1 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{D_2}{2} + \frac{\Delta r_2}{2} = \frac{62,1}{2} + \frac{16,55}{2} = 39,3 \text{ mm}$$

$$r_4 = \frac{D_2}{2} + \frac{\Delta r_2}{3} = \frac{62,1}{2} + \frac{16,55}{3} = 36,6 \text{ mm}$$

$$r_5 = \frac{D_3}{2} + \frac{\Delta r_3}{2} = \frac{42,7}{2} + \frac{9,7}{2} = 26,2 \text{ mm}$$

$$r_6 = \frac{D_3}{2} + \frac{\Delta r_3}{3} = \frac{42,7}{2} + \frac{9,7}{3} = 24,6 \text{ mm}$$

$$r_7 = \frac{\Delta r_4}{2} = \frac{21,35}{2} = 10,7 \text{ mm}$$

$$r_8 = \frac{\Delta r_4}{3} = \frac{21,35}{3} = 7,1 \text{ mm}$$

Tab. 19 Výpočet dílčích ploch pod křivkami napětí a jejich těžišť.

Dílčí plocha	$S_j \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-1}]$	$r_j \text{ [mm]}$	$r_j \cdot S_j \text{ [N]}$
I	1017,7	49,8	50681,46
II	792	49,1	38887,2
III	9786	39,3	384589,8
IV	708,3	36,6	25923,78
V	6565,9	26,2	172026,58
VI	79,5	24,6	1955,7
VII	14802	10,7	158381,4
VIII	293,6	7,1	2084,56
$\sum_{j=1}^n S_j \cdot r_j$			834 530,48

Kovací síla od normálových složek napětí:

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n S_j \cdot r_j \text{ [N]} \quad (3.20)$$

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot 834530,48 = 5243509,65 \text{ N} \Rightarrow 5,24 \text{ MN}$$

Kovací síla od tangenciálních složek napětí:

$$F_T = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n \Delta S_j \text{ [N]} \quad (3.21)$$

$$\sum_{j=1}^n \Delta S_j = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 = (\pi \cdot D_1 \cdot \Delta z_1) + (\pi \cdot D_2 \cdot \Delta z_2) + (\pi \cdot D_3 \cdot \Delta z_3) [\text{mm}^2] \quad (3.22)$$

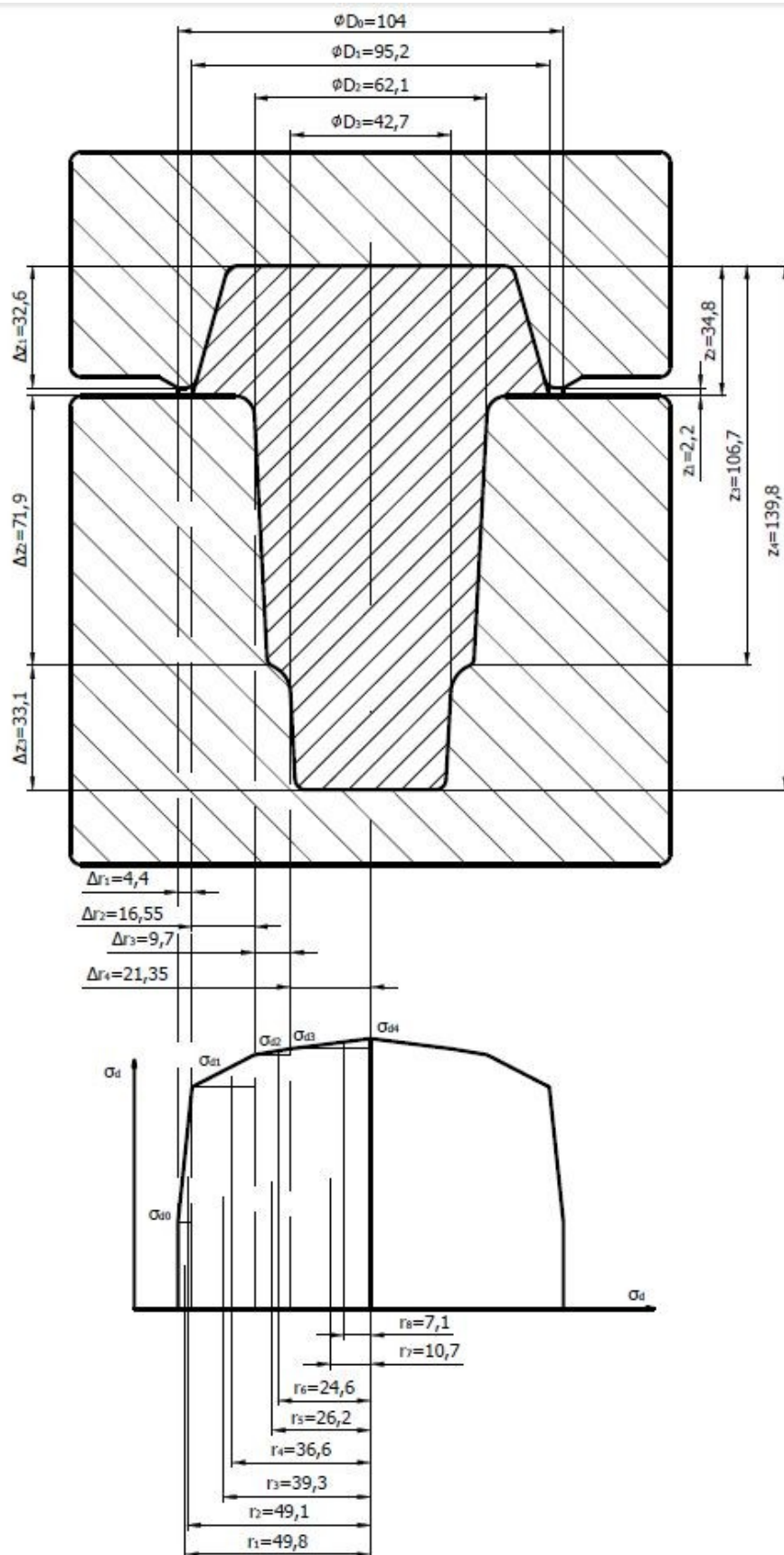
$$\sum_{j=1}^n \Delta S_j = (\pi \cdot 95,2 \cdot 32,6) + (\pi \cdot 62,1 \cdot 71,9) + (\pi \cdot 42,7 \cdot 33,1) = 28217,4 \text{ mm}^2$$

$$F_T = \frac{40}{2} \cdot \pi \cdot 28217,4 = 1772951,5 \text{ N} \Rightarrow 1,77 \text{ MN}$$

Výsledná kovací síla:

$$F_K = F_N + F_T \text{ [N]} \quad (3.23)$$

$$F_K = 5243509,65 + 1772951,5 = 7016461,15 \text{ N} \Rightarrow 7,02 \text{ MN}$$



Obr. 22 Schéma závislosti rozměrů výkovku na průběhu přetvárných odporů.

3.14 Volba tvářecího stroje [22]

Pro výkovek ozubeného kola byl zvolen svislý kovací lis od firmy Šmeral typu LMZ 1000 (obr. 23)A o kovací síle 10 MN, který má dostatečnou rezervu vzhledem k vypočteným kovacími silám.



Obr. 23 Lis LMZ 1000 A [22]

Tab. 20 Technické parametry lisu. [22]

LMZ 1000 A	
Tvářecí síla [MN]	10
Zdvih [mm]	220
Sevření [mm]	660
Přestavení beranu [mm]	10
Počet zdvihů [1/min]	115
Rozměr stolu [mm]	1000x950
Rozměr beranu [mm]	1010x1035

3.15 Výpočet ostříhovací síly [17]

Výronek bude ostřížen za teploty 800 °C, kdy mez pevnosti v tahu při této teplotě činí $R_{m800}=118$ MPa.

Výpočet síly na odstřížení výronku:

$$F_{SV} = 1,6 \cdot L \cdot h \cdot R_m [N] \quad (3.24)$$

kde: L [mm] – obvod výronku v dělicí rovině
 h [mm] – výška můstku
 R_{m800} [MPa] – mez pevnosti v tahu při ostříhovací teplotě 800 °C

$$F_{SV} = 1,6 \cdot 299,1 \cdot 2,2 \cdot 118 = 124\,234,2 \text{ N} \Rightarrow 0,12 \text{ MN}$$

Výpočet celkové síly ustříhovacího lisu:

$$F_{CSV} = 1,25 \cdot F_{SV} = 1,25 \cdot 124\,234,2 = 155\,292,75 \text{ N} \Rightarrow 0,16 \text{ MN}$$

Síla ustříhovacího lisu byla navýšena o 25% z důvodu opotřebení zápustky a tím zvýšení rozměru výronku.

3.16 Volba ostříhovacího lisu [23]

Byl zvolen ostříhovací lis LKOA 200 (obr. 24) od firmy Šmeral Brno, jeho tvářecí síla je několika násobně vyšší než vypočtená celková síla ostříhovací, a proto je dostatečným řešením.



Obr. 24 LKOA 200 [22]

Tab. 21 Technické parametry ustříhovacího lisu. [22]

LKOA 200	
Tvářecí síla [MN]	2
Zdvih [mm]	180
Sevření [mm]	600
Přestavení beranu [mm]	100
Počet zdvihů [1/min]	55
Rozměr stolu [mm]	1415x1000
Rozměr beranu [mm]	1300x800

4. Technologický postup [24] [25] [26]

Tab. 22 Technologický postup

Postupový list			
Vyhotovil: Jan Cvrček		Datum: 30.1.2013	
Název výkovku: OZUBENÉ KOLO	Č. výkresu výkovku: A3-BP-2012-002		Č. výkresu součásti: A2-BP-2012-001
Č. operace:	Název operace:		
1.	Dělení materiálu-řezáním		
	Jakost materiálu: 14 220.0	Profil materiálu: Ø63 mm	Norma materiálu: ČSN EN 10060
	Stroj: Pásová pila Pegas 220x250 A-NC-R	Délka polotovaru: 156 mm	Hmotnost přířezu: 3,81 kg
2.	Kontrola přířezu		
	Kontrola rozměrů a hmotnosti přířezu-četnost 20%		
3.	Kování na kovací lince		
	3.1	Indukční ohřev	
		Stroj: SOP 400/3-A30 P/L/T	Teplota ohřevu: 1150 °C ± 20 °C
	3.2	Kování	
		Stroj: LMZ 1000 A	Kovací teplota: 1100 °C ± 20 °C
		Kovací síla: 7,02 MN	
		3.2.1 Předkování	
		3.2.2 Dokování	
	3.3	Ostřih	
		Stroj: LKO A 200	Hmotnost výkovku: 3,48 kg
4.	Tepelné zpracování		
	Normalizační žíhání 530-730 MPa		Agregát: Průběžná pec SIGMA N 0.6-0.25-6.9/191-920
5.	Kontrola tvrdosti		
	Požadovaná tvrdost: 58-60 HRC		
6.	Otryskávání		
	Stroj: TZB 1-5.5/700		

5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Tímto zhodnocením bude dosaženo porovnáním nákladu na výrobu dané součásti třískovým obráběním a tvářecím procesem zápusťkového kování a následným obráběním. Tyto náklady jsou rozděleny do následujících podskupin:

- a) Náklady na materiál
- b) Mzdy výrobním dělníkům
- c) Vratný odpad
- d) Dílenská režie
- e) Podniková režie
- f) Zvláštní náklady

Vstupní hodnoty:

Tab. 22 Vstupní hodnoty technicko-ekonomického zhodnocení.

Název:	Značení:	Hodnota:	Jednotka:
Počet vyráběných kusů	n_c	100 000	ks.rok^{-1}
Hmotnost konečného výrobku	m_k	2,1	kg
Rozměr polotovaru pro obrábění	-	Ø90-139	mm
Hmotnost polotovaru pro obrábění	m_{ob}	6,94	kg
Výrobní čas součásti obráběním	t_{ko}	15	min
Rozměr polotovaru pro kování	-	Ø 63-156	mm
Hmotnost polotovaru pro kování	m_o	3,81	kg
Výrobní čas jedné součásti kováním	t_{kk}	6	min
Výrobní čas jedné součásti obráběním (po kováni)	t_{kko}	12	min
Cena oceli 1 kg 14 220	C_m	30,20	Kč
Výkupní cena odpadu	C_{od}	3	Kč
Hodinová mzda výrobního dělníka	m_v	90	Kč

5.1 Náklady na výrobu metodou obrábění

- a) Náklady na materiál

Náklady na jeden kus:

$$N_{m1} = C_m \cdot m_{ob} \text{ [Kč]} \quad (5.1)$$

$$N_{m1} = 30,20 \cdot 6,94 = 209,6 \text{ Kč}$$

Náklady na materiál celkové série:

$$N_{cm1} = N_{m1} \cdot n_c \text{ [Kč]} \quad (5.2)$$

$$N_{cm1} = 209,6 \cdot 100\,000 = 20\,960\,000 \text{ Kč}$$

b) Mzdy výrobních dělníků

Mzdy na jeden kus:

$$M_{v1} = \frac{t_{ko}}{60} \cdot m_v [Kč] \quad (5.3)$$

$$M_{v1} = \frac{15}{60} \cdot 90 = 22,5 \text{ Kč}$$

Celkové mzdy:

$$M_{cv1} = M_{v1} \cdot n_c [Kč] \quad (5.4)$$

$$M_{cv1} = 27 \cdot 100\,000 = 2\,250\,000 \text{ Kč}$$

c) Vratný odpad

Odpad z jednoho kusu:

$$m_{odp1} = m_{ob} - m_k [kg] \quad (5.5)$$

$$m_{odp1} = 6,94 - 2,1 = 4,84 \text{ kg}$$

Hmotnost celkového odpadu:

$$m_{codp1} = m_{odp1} \cdot n_c [kg] \quad (5.6)$$

$$m_{codp1} = 4,84 \cdot 100\,000 = 484\,000 \text{ kg}$$

Cena celkového vratného odpadu:

$$N_{codp1} = m_{codp1} \cdot C_{od} [Kč] \quad (5.7)$$

$$N_{codp1} = 484\,000 \cdot 3 = 1\,452\,000 \text{ Kč}$$

d) Dílenská režie

Pro obrábění činí dílenská režie 650% mezd výrobních dělníků.

$$M_{D1} = \frac{650}{100} \cdot M_{cv1} [Kč] \quad (5.8)$$

$$M_{D1} = \frac{650}{100} \cdot 2\,250\,000 = 14\,652\,000 \text{ Kč}$$

e) Podniková režie

Pro obrábění činí podniková režie 200% mezd výrobních dělníků.

$$M_{P1} = \frac{200}{100} \cdot M_{cv1} [Kč] \quad (5.9)$$

$$M_{P1} = \frac{200}{100} \cdot 2\,250\,000 = 4\,500\,000 \text{ Kč}$$

f) Zvláštní náklady

Cena nástrojů: 50 000 Kč

5.2 Náklady na výrobu metodou záпуст. kování a následným obráběním

a) Náklady na materiál

Náklady na jeden kus:

$$N_{m2} = C_m \cdot m_o [Kč] \quad (5.10)$$

$$N_{m2} = 30,20 \cdot 3,81 = 115,1 \text{ Kč}$$

Náklady na materiál celkové série:

$$N_{cm2} = N_{m2} \cdot n_c [Kč] \quad (5.11)$$

$$N_{cm1} = 115,1 \cdot 100\,000 = 11\,510\,000 \text{ Kč}$$

b) Mzdy výrobních dělníků

Mzdy na jeden kus kování:

$$M_{v21} = \frac{t_{kk}}{60} \cdot m_v [Kč] \quad (5.12)$$

$$M_{v21} = \frac{6}{60} \cdot 90 = 9 \text{ Kč}$$

Celkové mzdy na kování:

$$M_{cv21} = M_{v21} \cdot n_c [Kč] \quad (5.13)$$

$$M_{cv21} = 9 \cdot 100\,000 = 900\,000 \text{ Kč}$$

Mzdy na jeden kus následným obráběním:

$$M_{v22} = \frac{t_{kko}}{60} \cdot m_v [Kč] \quad (5.14)$$

$$M_{v22} = \frac{12}{60} \cdot 90 = 18 \text{ Kč}$$

Celkové mzdy na následné obrábění:

$$M_{cv22} = M_{v22} \cdot n_c \text{ [Kč]} \quad (5.15)$$

$$M_{cv22} = 18 \cdot 100\,000 = 1\,800\,000 \text{ Kč}$$

Celkové mzdy na obě operace:

$$\begin{aligned} M_{cv2} &= M_{cv21} + M_{cv22} \\ M_{cv2} &= 900\,000 + 1\,800\,000 = 2\,700\,000 \end{aligned} \quad (5.16)$$

c) Vratný odpad

Odpad z jednoho kusu:

$$m_{odp2} = m_o - m_k \text{ [kg]} \quad (5.17)$$

$$m_{odp2} = 3,81 - 2,1 = 1,71 \text{ kg}$$

Hmotnost celkového odpadu:

$$m_{codp2} = m_{odp2} \cdot n_c \text{ [kg]} \quad (5.18)$$

$$m_{codp2} = 1,71 \cdot 100\,000 = 171\,000 \text{ kg}$$

Cena celkového vratného odpadu:

$$N_{codp2} = m_{codp2} \cdot C_{od} \text{ [Kč]} \quad (5.19)$$

$$N_{codp2} = 171\,000 \cdot 3 = 513\,000 \text{ Kč}$$

d) Dílenská režie

Pro zápusťkové kování činí dílenská režie 1000% mezd výrobních dělníků.

$$M_{D11} = \frac{1000}{100} \cdot M_{cv21} \text{ [Kč]} \quad (5.20)$$

$$M_{D11} = \frac{1000}{100} \cdot 900\,000 = 9\,000\,000 \text{ Kč}$$

Pro následné obrábění po kování činí dílenská režie 650% mezd výrobních dělníků.

$$M_{D12} = \frac{650}{100} \cdot M_{cv22} \text{ [Kč]} \quad (5.21)$$

$$M_{D1} = \frac{650}{100} \cdot 1\,800\,000 = 1\,170\,000 \text{ Kč}$$

e) Podniková režie

Pro obrábění činí podniková režie 200% mezd výrobních dělníků.

$$M_{P2} = \frac{200}{100} \cdot M_{cv2} \text{ [Kč]} \quad (5.22)$$

$$M_{P2} = \frac{200}{100} \cdot 2\,700\,000 = 5\,400\,000 \text{ Kč}$$

f) Zvláštní náklady

Celkové zvláštní náklady činní 300 000 Kč. Do těchto nákladů jsou zahrnuty náklady na zápusťky 1. a 2. operace, náklady na ostříhovací nástroj atd.

Tab. 23 Zhodnocení nákladů výroby součástí.

	Technologie		Rozdíl zápusťkového kování vůči obrábění
	Obrábění [Kč]	Zápusťkové kování [Kč]	
Celkové náklady na materiál	20 960 000	11 510 000	9 450 000
Celkové mzdy výrobních dělníků	2 250 000	2 700 000	-450 000
Celkový vratný odpad	-1 452 000	-513 000	939 000
Dílenská režie	14 652 000	10 170 000	4 482 000
Podniková režie	4 500 000	5 400 000	-900 000
Zvláštní náklady	50 000	300 000	-250 000
Náklady celkem	40 960 000	29 567 000	-13 009 000
Náklady na 1 ks	409,6	295,67	113,93

6 Závěr

Náplní bakalářské práce bylo navrhnout výrobu cyklicky namáhaného pastorku. Pro dosažení lepších mechanických vlastností a delší životnosti součásti byla vybrána jako vhodná metoda výroby objemovým tvářením za tepla se zaměřením na zápusťkové kování. Z tvářecích strojů bylo zvoleno kování na svislém kovací lisu, vzhledem k lepšímu prokování materiálu, vyšší přesnosti výkovku a možnosti použití vyhazovače. Pro pastorek byl vytvořen kompletní návrh technologie výroby, počínaje zařazením výkovku dle složitosti tvaru, stanovení dělicí roviny. V dalších krocích byly stanoveny přídavky na obrábění a přídavky technologické a určení jejich stupňů přesnosti. Dále byla zvolena výronková drážka a stanoveny její parametry. Jako výchozí polotovar byl zvolen přířez z tyče materiálu ČSN 14 220 o rozměrech $\varnothing 63-156$ mm. Pro ohřev přířezů byla zvolena elektrická indukční pec SOP 400/3-A30 P/L/T s výkonem 400 kW od výrobce Roboterm Chotěboř. V 1. operaci je ohřátý přířez vložen do předkovací zápusťky, kde je vykován předběžný tvar součásti. Ve druhé operaci je výkovek vložen do dokončovací zápusťky, kde je tvar součásti dokován pýchováním. Dle výpočtu kovací síly byl vybrán svislý kovací lis od firmy Šmeral Brno typu LMZ 1000 o kovací síle 10 MN, od této firmy byl zvolen i ostřihovací lis pro odstřižení výronku. Pro tuto operaci byl vybrán lis LKOA 200 o tvářecí síle 2 MN.

Aby, bylo možno pastorek vyrábět zápusťkovým kováním je nutné z technicko-ekonomického hlediska provést srovnání s jinými metodami výroby. V tomto případě bylo porovnání mezi výrobou pastorku obráběním a výrobou zápusťkovým kováním a následným obráběním. Dle výsledků technicko-ekonomického zhodnocení je lepší metoda výroby zápusťkovým kováním při sérii 100 000 ks/rok, kde dochází k úspoře zápusťkovým kováním, proti obrábění o 113,93 Kč na 1 ks.

Seznam použitých zdrojů

- [1] TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ, slévání a svařování. *Technologie tváření* [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~sbenesov/Skriptaleden12.doc>
- [2] TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Katedra tváření kovů a plastů – Skripta* [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm
- [3] *Rekrystalizace deformačně zpevněného kovu* [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.ateam.ic.cz/rekrystalizace.pdf>
- [4] METAL STUDÉNKA, a.s. *Výrobní možnosti: Kovárna* [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.msvmetal.eu/vyrobní-možnosti/kovarna.php>
- [5] ČADA, Radek. *Postup údržby I* [online]. 1. vyd. 2007 [cit. 2013-03-20]. ISBN 978-80-248-1506-0. Dostupné z: http://www.strojar.com/upload/ost/postupy_udrzby_1.pdf
- [6] HAŠEK, Vladimír et al. *Kování*. 1. vyd. Praha: STNL, 1965, 730 s. ISBN 04-233-65.
- [7] ČSN 49 9002. *Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 15. 7. 1968, 36 s.
- [8] ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápusťkové: Přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 13.10. 1986, 22 s.
- [9] NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0404-3.
- [10] ČERMÁK, Jan. *Podklady pro předmět Projekt I: Část kování* [online]. 2004 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO1/vykovek_zadani.pdf
- [11] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- [12] FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT, 1991, 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
- [13] ČSN 228306. *Zápusťky pro svislé kovací síly: Technické požadavky na konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 26.11. 1990, 39 s.
- [14] ŠPINRELOVÁ, Marie. *Technologie: Obor Nástrojař* [online]. 2007 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>
- [15] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření, a nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

- [16] DRASTÍK, František. *Výpočty z oboru kování a lisování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1972, 192 s. ISBN 04-227-72.
- [17] DVOŘÁK, Milan et al. *Technologie 2*. 3. dopl. vyd. Brno: VUT, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
- [18] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-7361-011-6.
- [19] *Ocel 14 220* [online]. [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_14220.pdf
- [20] DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ: Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník* [online]. Brno, 2006 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm
- [21] ROBOTERM SPOL S.R.O. *Středofrekvenční ohříváč SOP 400/3-A30 P/L/T výkonové řady 400 kW* [online]. [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: http://www.roboterm.cz/ohrivace_i/reference/SOP400_3-A30_PLT_i.htm
- [22] ŠMERAL BRNO A.S. *Svislé kovací lisy* [online]. [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZTvarKov.html>
- [23] ŠMERAL BRNO A.S. *Ostříhovací lisy* [online]. [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZTvarOst.html>
- [24] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: Návod do cvičení*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
- [25] ZEZ PRAHA A.S. *Průběžné pece s válečkovým dopravníkem pro normalizační žhání: Sigma N* [online]. [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: http://www.zez.cz/SIGMA_N.htm
- [26] KOVO STANĚK S.R.O. *Tryskací zařízení: Bubnová* [online]. [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://www.kovostanek.cz/bubnova-tryskaci-zarizeni>

Seznam použitých zkratk a symbolů

A_i	[MPa.mm]	dílčí plocha pod křivkou napětí
B	[mm]	šířka otřepu
C_o	[-]	koeficient, který udává závislost hmotnosti výkovku kolikrát je přirozený přetvárný odpor ve výronku větší než vně výkovku
C_m	[Kč]	cena oceli za 1 kg
C_{od}	[Kč]	výkupní cena odpadu
D_{dok}	[mm]	průměr dokončovací zápustky
D_D	[mm]	největší průměr dutiny zápustky
D_k	[mm]	průměr hlavy vyhazovače
$D_{před}$	[mm]	průměr předkovací zápustky
D_{pt}	[mm]	průměr dosedací části předkovacího trnu
D_O	[mm]	průměr polotovaru
D_V	[mm]	průměr výkovku bez výronku
F_K	[N]	kovací síla
F_N	[N]	síla vznikající od normálových napětí
F_S	[N]	ostříhovací síla výronku
F_{S1}	[N]	ostříhovací síla blány
F_T	[N]	síla vznikající od tangenciálních napětí
H_D	[mm]	hloubka dutiny spodního dílu zápustky
H_{D1}	[mm]	největší hloubka dutiny zápustky
L	[mm]	obvod ostřížku v dělicí rovině
L_1	[mm]	obvod ostřížku blány
L_O	[mm]	délka polotovaru
M_{cv1}	[Kč]	celkové mzdy výrobních dělníků na obrábění
M_{cv2}	[Kč]	celkové mzdy výrobních dělníků na obě operace kování a obrábění
M_{cv21}	[Kč]	celkové mzdy výrobních dělníků na kování
M_{cv22}	[Kč]	celkové mzdy výrobních dělníků na obrábění po kování
M_{D1}	[Kč]	dílenská režie pro obrábění
M_{D11}	[Kč]	dílenská režie pro kování
M_{D12}	[Kč]	dílenská režie pro obrábění po kování
M_{P1}	[Kč]	podniková režie pro obrábění
M_{P2}	[Kč]	podniková režie pro kování
M_{v1}	[Kč]	mzdy výrobních dělníků na jeden kus obrábění
M_{v21}	[Kč]	mzdy výrobních dělníků na jeden kus kování
M_{v22}	[Kč]	mzdy výrobních dělníků na jeden kus následným obráběním po kování
N_{cm1}	[Kč]	celkové náklady na materiál obrábění
N_{cm2}	[Kč]	celkové náklady na materiál kování
N_{codp1}	[Kč]	cena celkového vratného odpadu obrábění
N_{codp2}	[Kč]	cena celkového vratného odpadu kování
N_{m1}	[Kč]	náklady na materiál obrábění
N_{m2}	[Kč]	náklady na materiál kování
O	[mm]	obvod výronku
R_m	[MPa]	mez pevnosti materiálu v tahu
R_{mT}	[MPa]	pevnost materiálu za kovací teploty
S'	[mm ²]	celkový povrch bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápustky
S_V	[mm ²]	průmět plochy bez výronku
$S_{výr}$	[mm ²]	plocha průmětu výkovku včetně výronku
V_{CEL}	[mm ³]	celkový objem výkovku

V_{OP}	[mm ³]	objem přídavku na opal
$V_{výr}$	[mm ³]	objem výronkové drážky
$V_{výK}$	[mm ³]	objem výkovku bez výronku a opalu
b	[mm]	šířka výronkové drážky
d_k	[mm]	průměr otvoru pro vyhazovací kolík
d_{pt}	[mm]	průměr otvoru pro předkovací trn
d_v	[mm]	průměr otvoru pro vyrážecí kolík
h	[mm]	výška můstku
m_{codp1}	[kg]	hmotnost celkového odpadu z obrábění
m_{codp2}	[kg]	hmotnost celkového odpadu z kování
m_k	[kg]	hmotnost konečného výrobku
m_O	[kg]	hmotnost polotovaru pro kování
m_{ob}	[kg]	hmotnost polotovaru pro obrábění
m_{odp1}	[kg]	odpad obrábění z jednoho kusu
m_{odp2}	[kg]	odpad kování z jednoho kusu
m_v	[kg]	hmotnost výkovku
m_{vd}	[Kč]	hodinová mzda výrobního dělníka
n	[mm]	hloubka zásobníku
n_c	[ks.rok ⁻¹]	počet vyráběných kusů za rok
r	[mm]	poloměr přechodu tvaru do dělicí roviny
s	[mm]	stříhaná tloušťka výronku
s_1	[mm]	stříhaná tloušťka blány
t_{kk}	[min]	výrobní čas jedné součásti kováním
t_{kko}	[min]	výrobní čas jedné součásti obráběním (po kování)
t_{ko}	[min]	výrobní čas součásti obráběním
x_i	[mm]	vzdálenost těžiště plochy od osy výkovku
λ	[-]	štíhlostní poměr
σ_{dn}	[MPa]	přetvárný odpor v bodě průřezu
σ_P	[MPa]	přirozený přetvárný odpor

Seznam příloh

Příloha č. 1	Ozubené kolo	A2-BP-2012-001
Příloha č. 2	Ozubené kolo (Výkovek)	A3-BP-2012-002
Příloha č. 3	Ozubené kolo (Teplý výkovek)	A3-BP-2012-003
Příloha č. 4	Předkovací zápustka	A2-BP-2012-004
Příloha č. 5	Dokončovací zápustka	A2-BP-2012-005
Příloha č. 6	Sestava nástroje	A1-BP-2012-006