

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 OZUBENÉHO KOLA

DROP FORGING OF GEAR WHEEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MILAN VESELÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MAREK ŠTRONER, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Veselý Milan

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 ozubeného kola

v anglickém jazyce:

Drop forging of gear wheel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě literární rešerše aplikovat vhodnou technologii pro výrobu zápustkového výkovku ozubeného kola. S ohledem na cyklicky namáhané ozubené kolo 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 uzavřené 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, 1991. 187s. ISBN 80-214-0294-6.
3. HAŠEK, Vladimír. Kování. 1. vyd. Praha : SNTL, 1965. 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, 1979. s. 250. ISBN nemá.

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

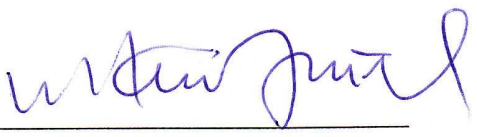
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 26.10.2009 10:04

L.S.




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

VESELÝ Milan: Zápustkové kování ozubeného kola

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru B-STG předkládá návrh technologie výroby výkovku – ozubeného kola – součásti převodové skříně zhotovené zápustkovým kovááním z materiálu 14 223.0 (20CrMn5-4). Na základě literární studie problematiky zápustkového kování a výpočtů, bylo navrženo kování na dvě operace. Vzhledem k předpokládané sérii 100 000 kusů za rok, přesnosti a automatizaci výroby dané součásti, bude součást vyrobena na svislém klikovém kovacím lisu LMZ 2500 (výrobce ŠMERAL Brno, a.s.), se jmenovitou tvářecí silou 25 MN. Zápustky jsou vyrobeny ze slitinové nástrojové oceli 19 552.8, tepelně zpracované podle výkresové dokumentace. Závěrem daného projektu je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení dané technologie výroby součásti.

Klíčová slova: ocel 14 223, ozubené kolo, objemové tváření, zápustkové kování.

ABSTRACT

VESELÝ Milan: Drop forging of gear wheel.

The project elaborated in a frame of Bachelor's studies branch B-STG presents a technology design of a forged piece – gear wheel – a part of a gear box made by drop forging from 14 223.0 (20CrMn5-4) material. Drop forging in two operations was suggested on the basis of specialized studies on the subject of drop forging and calculations. Assumed series of 100 000 pieces a year, preciseness and automatization of production of the part, will be produced on the crank drawing inclinable press LMZ 2500 (producer Šmeral Brno, a.s.) with nominal tensile force 25 MN. Swages are made of alloyed instrumental steel 19 552.8, heat-worked according to drawing documentation. At the end of the project technical economic evaluation of the technology design is implemented.

Key words: Steel 14 223, gear wheel, volumetric forming, drop forging.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VESELÝ Milan: *Zápustkové kování ozubeného kola*. Brno, 2010. 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.

V Brně dne

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

1	ÚVOD	12
2	LITERÁRNÍ STUDIE	13
2.1	Teorie tváření za tepla.....	13
2.2	Technologie objemového tváření za tepla	13
2.2.1	<i>Volné kování</i>	13
2.2.2	<i>Zápustkové kování</i>	15
2.3	Zápustkový výkovek a jeho návrh	16
2.3.1	<i>Rozdělení zápustkových výkovků dle složitosti tvaru</i>	16
2.3.2	<i>Přídavky</i>	16
2.3.3	<i>Tolerance rozměrů výkovku a mezní úchylky</i>	17
2.3.4	<i>Dělicí rovina výkovku</i>	18
2.4	Dělení materiálu pro kování	18
2.4.1	<i>Strhávání</i>	18
2.4.2	<i>Lámání</i>	18
2.4.3	<i>Řezání pilami</i>	18
2.5	Ohřívací zařízení pro zápustkové kování.....	18
2.5.1	<i>Elektrický ohřev</i>	18
2.5.2	<i>Ohřev v pecích</i>	19
2.6	Přehřev zápustek	19
2.7	Mazání zápustek	19
2.8	Zápustkové kování na bucharech.....	20
2.8.1	<i>Typy bucharů</i>	20
2.8.2	<i>Předkovací dutiny</i>	21
2.8.3	<i>Tvar a rozměr výronkové drážky</i>	22
2.8.4	<i>Vedení zápustek</i>	24
2.8.5	<i>Upínání zápustek</i>	25
2.8.6	<i>Výpočet velikosti bucharu</i>	26
2.9	Zápustkové kování na svislých kovacích lisech	27
2.9.1	<i>Typy lisů</i>	27
2.9.2	<i>Předkovací dutiny</i>	27
2.9.3	<i>Tvar a rozměr výronkové drážky</i>	28
2.9.4	<i>Vedení zápustek</i>	29
2.9.5	<i>Upínání zápustek</i>	29
2.9.6	<i>Vyhazování výkovků</i>	30
2.9.7	<i>Výpočet kovací síly</i>	31

2.10	Úprava výkovků	32
2.10.1	Ostřihování a děrování zápusťkových výkovků.....	32
2.10.2	Čištění výkovků	33
2.11	Tepelné zpracování.....	33
3	STÁVAJÍCÍ MOŽNOSTI VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI	34
3.1	Zvolení způsobu kování	34
4	TECHNOLOGIE VÝROBY OZUBENÉHO KOLA	35
4.1	Materiál výkovku.....	35
4.2	Zařazení výkovku dle složitosti tvaru podle ČSN 42 9002	35
4.3	Návrh výkovku	35
4.3.1	Přídavky na obrábění	35
4.3.2	Technologické přídavky.....	36
4.3.3	Přesnost výkovku	36
4.3.4	Poloha dělicí roviny	38
4.3.5	Tvar a rozměry výronkové drážky	38
4.3.6	Smrštění výkovku	39
4.4	Návrh polotovaru.....	39
4.4.1	Výpočet objemu výkovku.....	39
4.4.2	Rozměr polotovaru	40
4.4.3	Ohřev polotovaru.....	40
4.5	Návrh zápusťek a příslušenství	41
4.5.1	Materiál zápusťek	41
4.5.2	Rozměry a mezní úchytky zápusťek.....	41
4.5.3	Konstrukce vyhazovače	42
4.6	Výpočet kovací síly	42
4.6.1	Výpočet kovací síly podle Storoževa.....	42
4.6.2	Výpočet kovací síly podle Brjuchanova – Rebelského	42
4.6.3	Výpočet kovací síly dle Tomlenova.....	42
4.6.4	Volba stroje pro tváření.....	46
4.7	Výpočet ostřihovací síly	46
4.7.1	Ostřihovací síla výronku.....	46
4.7.2	Děrovací síla	46
4.8	Technologický postup	48
5	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	49
5.1	Náklady na výrobu obráběním	49
5.2	Náklady na výrobu zápusťkovým kovááním a následným obráběním	50
5.3	Porovnání nákladů	51
6	ZÁVĚR.....	53

Seznam použitých zdrojů.....	54
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	55
Seznam příloh.....	57

1 ÚVOD

Kování patří mezi nejstarší technologie zpracování kovu. Je to technologie objemového tváření za tepla, při které se výchozí ohřátý materiál uvede do plastického stavu bez porušení soudržnosti. První pokusy tohoto tepelného zpracování kovu spadají do 3. tisíciletí před naším letopočtem. Po dobu své existence prošla tato technologie dlouhým vývojem. V dnešní době si nelze představit velkosériovou kovářenskou výrobu bez moderních strojů jak pro volné kování, tak i v oblasti kování zápustkového. Touto technologií se sice ve strojírenství zpracovává pouze cca 5% celkové výroby, ale dodnes je výhodně využívána hlavně z důvodu příznivých vlastností materiálu po kování. Hlavními výhodami jsou neporušená materiálová vlákna a to ani v místech přechodů příčných rozměrů. Vhodným způsobem tváření je dosaženo nejvhodnějšího usměrnění vláken s ohledem k provoznímu zatížení a součásti se vyznačují odolností proti šíření křehkého lomu při cyklickém zatěžování. Součásti vyráběné kování mají také vhodné mechanické vlastnosti získané důkladným prokováním materiálu a mohou být velmi složitých a rozmanitých tvarů, které by byly jen těžko vyrobitelné jinou technologií.

Bakalářská práce bude věnována návrhu zápustkového výkovku s ohledem na cyklicky namáhané ozubené kolo.



Obr. 1.1 Příklady výrobků zhotovené zápustkovým kováním [14]

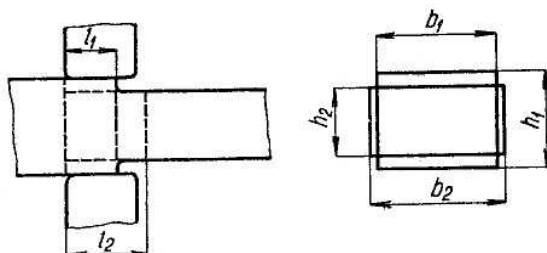
době už nemá velký význam. Využívá se především jako samostatný obor pro kování uměleckých předmětů.

Strojně se kove pod buchary o váze beranu až 5t. Pro výkovky, které vyžadují větší kovací sílu se používá převážně hydraulických lisů. Polotovarem je válcovaný materiál nebo ingot.

Mezi základní kovářské operace volného kování patří:

- Prodlužování

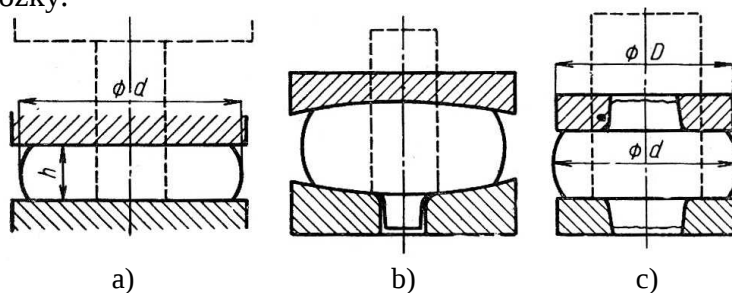
Je to nejrychlejší a nejpoužívanější operace při kování. Účelem je prodlužovat výkovek při změně jeho průřezu. Šířka i výška kovaného průřezu se zmenšuje vzhledem k výchozímu průřezu, nebo pro zmenšování výšky výchozího výkovku je dovoleno i určité zvětšování šířky při celkovém zdelšení. Tvar a rozměr kovadla může být různý. Používají se ploché, úhlové nebo oválné a poměr rozšiřování a zdelšování je dán šířkou těchto kovadel.



Obr. 2.2 Prodlužování a rozšiřování na plochých kovadlech [1]

- Pěchování

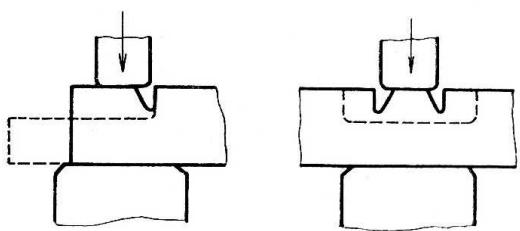
Při této operaci je materiál stlačován a rozšiřován jeho příčný průřez. Pěchováním vzniká v důsledku tření s dotykovou plochou kovadel a velikosti síly nebo rázu soudkový tvar. Je zapotřebí také dodržovat tzv. štíhlostní poměr, kdy délka pěchovaného materiálu nesmí být větší než 3násobek průměru, jinak hrozí ztráta stability a dochází k ohnutí a následně k vytvoření přeložky.



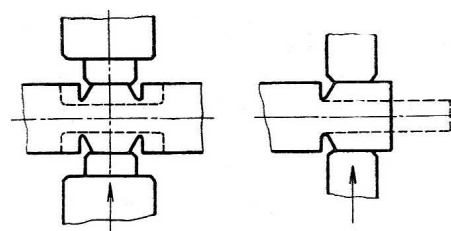
Obr. 2.3 Způsoby pěchování: a) rovnými deskami, b) vydutými deskami, c) pěchování s vytlačováním [1]

- Osazování, prosazování a přesazování

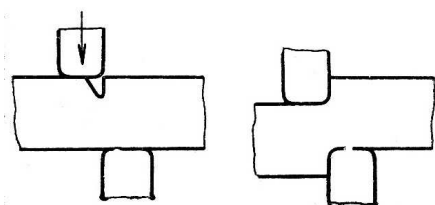
Těmito operacemi se provádí zmenšení průřezů u osazovaných hřídelů, prokování jednostranného vybrání, přemístění průřezů při zachování paralelnosti os apod. Na místě, kde se bude provádět osazování, prosazování nebo přesazování je potřeba označit a udělat zářez. Zaseknutí může být jednostranné nebo oboustranné a rozpětí musí být minimálně v šířce kovadla. Jednotlivé operace na obr. 2.4, 2.5, 2.6, 2.7



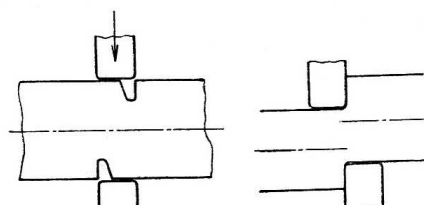
Obr. 2.4 Jednostranné osazení a prosazení [1]



Obr. 2.5 Dvoustranné osazení a prosazení [1]



Obr. 2.6 Přesazování v jedné rovině [1]



Obr. 2.7 Přesazování ve dvou rovinách [1]

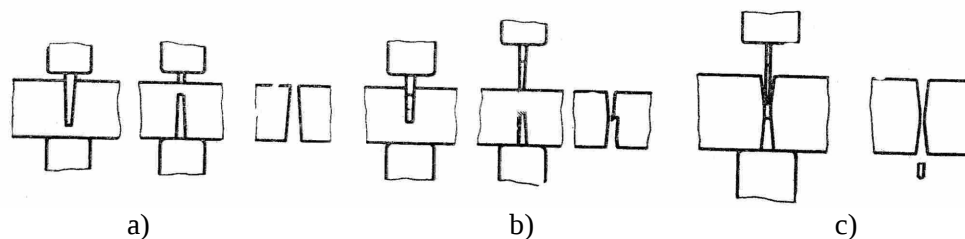
- Ohýbání

Ohýbání je charakteristické tím, že na vnější straně ohybu se vlákna natahují a na vnitřní straně se stlačují. Tvar ohýbaného materiálu se mění, a proto musí být v místě ohybu průřez větší. K ohýbání se často využívá přípravků, které zaručují přesnou polohu výchozího polotovaru. Při značných ohybech musí mít výchozí předkovek o jednu třetinu až o jednu čtvrtinu větší délku, než je střední délka ohnuté součásti.

- Sekání, nasekávání

Touto operací se výchozí materiál rozděluje na několik dílů nebo se odděluje například nepotřebná část. Využívá se především jako prvotní operace pro další zpracování předkovek jako je prodlužování, osazování, přechovávání atd.

Existuje několik způsobů sekání. Sekání z jedné strany (obr. 2.8a), kdy vtlačíme sekáč až na několik milimetrů od spodní stěny a po otočení o 180° oddělíme zbylý materiál. Sekání ze dvou stran (obr. 2.8b) se používá při větších průřezích. Při sekání ze čtyř stran (obr. 2.8c) se používá při velkých průřezích. Postupuje se tak, aby uprostřed zůstala kvadratická neoddělená část a ta se oddělí jako poslední



Obr. 2.8 Způsoby sekání materiálu: a) z jedné strany, b) ze dvou stran, c) ze čtyř stran [1]

2.2.2 Zápustkové kování [1], [5]

Pod tímto pojmem rozumíme tváření polotovaru ohřátého na kovací teplotu v dutině zápustky. Zápustka je tvořena spodní a vrchní částí, ve kterých jsou dutiny odpovídajícího tvaru hotového výkovku zvětšeného o smrštění. Zápustkovým kovááním se mohou vyrábět výrobky rozmanitých tvarů s velkým rozmezím hmotnosti od několika málo gramů do několika set kilogramů. Nejčastěji se však používá pro výrobu velkých sérií tvarově stejných součástí, u kterých by jiné technologie nebyly efektivní jak z hlediska ekonomického, tak z hlediska časové náročnosti výroby.

Výchozí polotovár nebo předkovek je vložen do spodní části zápustky a silou vrchní částí je poté přetvořen do hotové součásti. Přebytný materiál je vytlačen do výronkové drážky, což je mezera mezi spodní a horní zápustkou. Výronková drážka je po dokončení kování ostřížena protlačením výkovku otvorem střižnice.

Výrobky zhotovené zápustkovým kovááním většinou neumožňují dosažení takové kvality povrchu a přesnosti rozměrů, jaké jsou od hotových součástí požadovány. Výkovky se proto ve většině případů dále obrábí. I přesto jsou celkové náklady na výrobu při velkých sériích menší než při běžném třískovém obrábění hlavně z důvodu úspory velkého objemu materiálu, který by jinak skončil ve formě třísky. Výkovky, které se obrábí jen minimálně, především některé funkční plochy, nazýváme výkovky přesné nebo velmi přesné.

2.3 Zápustkový vývovek a jeho návrh

2.3.1 Rozdělení zápustkových výkovků dle složitosti tvaru [6]

Zařazení výkovku dle složitosti tvaru se provádí podle normy ČSN 42 9002. Tato norma platí pro třídění zápustkových výkovků z ocelí a nezelezných kovů a označuje se číselně.

- | | |
|---|--|
| • Tvarový druh: XXXX – X | • Tvarová třída: XXXX – X |
| 4 výkovky kruhového průřezu plné | 1 konstantní průřez |
| 5 výkovky kruhového průřezu duté | 2 kuželovité (jehlanovité, klínovité) |
| 6 výkovky hranolovitých tvarů plné i duté | 3 jednostranně osazené |
| 7 výkovky kombinovaných tvarů plné i duté | 4 oboustranně osazené |
| 8 výkovky s ohnutou osou | 5 osazené s kuzelem (jehlanem, klínem) |
| 9 výkovky složitých tvarů s přímou dělicí plochou | 6 prosazené |
| 0 výkovky s lomenou dělicí plochou | 7 kombinované |
| | 8 kombinované s kuzelem (jehlanem, klínem) |
| | 9 členité (u tvarového druhu 8 – výkovky háků) |
| | 0 neobsazeno |

- Tvarový druh: **XXXX** – X

„U výkovků zařazených do jednotlivých tvarových tříd jsou čísla 1 až 8 dále tříděny výkovky podle štíhlostních a jiných dále uvedených poměrů. Výkovky druhu 4, 6 a 7 s dělicí plochou ve směru hlavní osy (technologické hledisko 1, 2) jsou zásadně děleny na výkovky bez otvoru (označené čísla 1 až 4) a na výkovky s otvorem (označené 5 až 8). Výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu (technologické hledisko 3, 4, 5) a výkovky zhotovené na vodorovných kovacíích lisech (technologické hledisko 6, 7, 8) jsou zásadně děleny na výkovky plné (označené čísla 1 až 4) a na výkovky duté (označené čísla 5 až 8). Jinak se výkovky rozdělují na výkovky nízké a vysoké nebo na výkovky krátké a dlouhé. Dále se třídí výkovky podle vzájemných poměrů výšek, poměrů šířek, velikosti úhlů ohybu nebo počtem ohybů, velikostí rozvidlení, počtu zalomení, úhlu polohy jednotlivých ramen zalomených hřidelů a velikosti úhlu natočení listů lopatek.“

- | | |
|---|---|
| • Tvarová podskupina: XXXX – X | • Technologické hledisko: XXXX – X |
| 1 přesah v poměru L : B(D) nebo H : B(D) | 1 d.p. ^{*)} ve směru hlavní osy – souměrná |
| 2 přesah v poměru H : H1 (D : D1) | 2 d. p. ve směru hlavní osy – nesouměrná |
| 3 přesah v poměru B : B1 | 3 d. p. kolmá na hlavní osu – souměrná |
| 4 přesah v poměru F : F1 | 4 d. p. kolmá na hlavní osu – nesouměrná |
| 5 přesah v hloubce dutiny h : d nebo úhlu listů lopatek β | 5 d. p. kolmá na hlavní osu – s ozubením |
| 6 přesah v tloušťce dna nebo blány H1 | 5 zhotovené na vod. kov. lisech – souměrné |
| 7 přesah v tloušťce stěny s nebo velikosti rozvidlení l : b | 7 zhotovené na vod. kov. lisech – nesouměrné |
| 0 bez přesahu | 3 zhotovené na vod. kov. lisech – s ozubením |
| | 9 více dělicími plochami |
| | ^{*)} Dělicí plocha |

Při výrobě zápusťkových výkovků se jmenovité rozměry na hotové součásti zvětšují o přídavky. Tyto přídavky zajišťují, aby bylo možno na součásti vyrobit požadovaný kvalitní povrch a předepsanou přesnost rozměrů. Přídavky u výkovků dělíme na přídavky na obrábění a na přídavky technologické.

- **Přídavky na obrábění**

Pokud je na výkovku požadována velká rozměrová přesnost, hladkost a dobrá jakost povrchu musí se po vykování obrábět. Obrábějí se však jen ty plochy, které jsou potřebné pro funkci dané součásti. Z ekonomického hlediska by nebylo účelové obrábět všechny druhy výkovků nebo všechny jejich plochy.

Při tváření za tepla je povrch vždy znehodnocen a přídavek na obrábění umožňuje odstranění tohoto znehodnoceného povrchu. Tato vrstva je pokryta okujemi a je poměrně drsná, proto se zpravidla zokujená vrstva z výkovků odstraňuje mořením, pískováním nebo otloukáním v bubnu.

- **Technologické přídavky**

Součásti, které se budou vyrábět zápusťkovým kovááním nejsou ve většině případů vhodné svým tvarem ke kováání. Celkový tvar se proto upravuje technologickými přídávky, které zjednodušují tvar součásti.

V první řadě se jedná o úkopy bočních vnějších a vnitřních stěn. Velikost úkosů se volí na základě tvaru výkovku a druhu použitého stroje. Úkopy slouží především pro ulehčení vyjmutí hotového výkovku a eliminují třecí síly mezi výkovkem a zápusťkou. U bucharů je třeba volit úkopy větší než u klikových lisů u kterých je možné použít vyhazovače.

Zaoblení hran na výkovku je potřebné zejména pro snadné a plynulé zatékání kovů do zápusťky a v neposlední řadě má také vliv na prodloužení životnosti celé kovací soustavy. Vhodně zvolené zaoblení hran a přechodů má také vliv na snadnější vyjmutí výkovku, naopak nesprávné zvolení zaoblení může způsobovat vznik zákovků.

Technologickými přídávky se také upravují součásti i v jiných případech. Jedná se hlavně o příliš členité plochy součástí s úzkým a hlubokým vybráním, zvětšení tloušťek stěn žebí a stěn tenkostěnných výkovků na minimální tloušťku a podobně.

2.3.3 Tolerance rozměrů výkovku a mezní úchytky [1]

Stupeň přesnosti se určuje dle zařazení výkovku podle složitosti tvaru, dále mezní úchytky rozměrů a tvaru se stanovují dle normy ČSN 42 9030. Za rozměry výkovku považujeme jeho délku, šířku, výšku, tloušťku nebo průměr. Za úchytku od tvaru považujeme změnu zaoblení rohů a hran.

Na nepřesnost zápusťkového výkovku mají vliv:

- **Nepřesnost výroby zápusťek**

Zápusťky se vyrábějí s přesností, která je dána převážně složitostí tvaru výkovku a jeho danými úchytkami.

- **Smrštění výkovku po kováání**

Zápusťky se zvětšují o tzv. smrštění výkovku, které je u středně uhlíkových a nízkouhlíkových ocelí asi o 1% a u austenitických ocelí asi o 1,6%. Přesto zde vznikají určité nepřesnosti, které závisí na chemickém složení tvářeného materiálu, teplotě dokování a dalších vlivů.

- **Změny tvaru dutiny zápusťky opotřebením nebo její deformací**

Tyto nepřesnosti vznikají během tvářecího procesu. Jsou to především změny tvaru dutiny zápusťky vlivem neustálého tření mezi kovaným materiálem a zápusťkou. Největší opotřebení vzniká v místech největšího přesunu tvářeného materiálu a to je nejčastěji v přechodu dutiny

do výronku, u hran, v místech přechodů žeber do výstupků atd. Tyto nepříznivé vlivy se dají podstatně snížit vhodným mazáním zápustek

- Ostatní vlivy

Jsou to hlavně nepřesnosti v rozměrech na základním materiálu, druh a nepřesnost kovacího stroje, špatné vedení zápustek a celková tuhost soustavy.

2.3.4 Dělicí rovina výkovku [1], [12]

Dělicí rovina na výkovku se volí tak, aby se dal výkovek co nejsnadněji vyjmout ze zápustky. Tato rovina tedy rozděluje zápustku na dvě poloviny. Rozeznáváme dělicí roviny s rovnou plochou, ale některé výkovky však vyžadují lomenou, popřípadě zakřivenou. Nejvýhodnější pro konstruování a výrobu zápustek je dělicí rovina s rovnou plochou, která bývá umístěna do roviny souměrnosti výkovku. U lomených nebo zakřivených výkovků se volí dělicí rovina se zřetelem na odstraňování výkovku. Při tomto kování je nevýhodou vznik bočních sil, které nepříznivě působí na posouvání zápustek a může vznikat přesazení výkovku. Tento problém se řeší změnou polohy součásti nebo používání tzv. zámku.

2.4 Dělení materiálu pro kování [1]

Materiál pro kování se dělí několika způsoby. Dělení tyčí na špalíky se může provádět bez tvoření třísek nebo třískovým odpadem. V následujících odstavcích jsou uvedeny nejpoužívanější metody obou skupin.

2.4.1 Stříhání [1]

Je metoda postupného nebo současného oddělování části materiálu působením protilehlých břitů nože. Zatlačením nože do určité hloubky se dosáhne požadovaného smykového napětí a začne se porušovat soudržnost materiálu. Špalíky se nejčastěji stříhají v přípravech na lisech. Nejdokonalejší metodou je tzv. způsob uzavřeného stříhu. Nože jsou podélné dělené čelisti, které obepínají tyč i budoucí špalík po celém obvodu.

2.4.2 Lámání [1]

Výhodou lámání je velká produktivita práce, avšak na úkor jakosti povrchu plochy. Samotné lámání se provádí na mechanických nebo hydraulických lamačích. Před lámáním je potřeba na výchozí tyči vytvořit vrub (pilou, naseknutím, plamenem atd.). Lámou se materiály s vyšší pevností, protože jinak se při lámání tyč ohýba.

2.4.3 Řezání pilami [1]

Řezání polotovarů na pilách není tak produktivní způsob jako lámání nebo stříhání, ale používá se tam, kde potřebujeme vytvořit kvalitnější plochy (například přířezy pro přechování) nebo u velkých průřezů, které by nešli jiným způsobem oddělit. Řezání se provádí na pásových, kotoučových, tavných nebo anodomechanických pilách.

2.5 Ohřívací zařízení pro zápustkové kování

2.5.1 Elektrický ohřev [5]

- Indukční ohřev

Ohřívání materiálu je vložen do dutiny cívky, kterou protéká střídavý elektrický proud. V základním materiálu se začnou indukovat vířivé proudy a tím se ohřívá na teplotu tváření. Teplo se však začíná šířit od povrchu a hloubka vniku závisí na vhodné frekvenci proudu a měrném odporu materiálu.

- Nepřímý ohřev elektrickou energií

Teplo se indukuje v drátech, které jsou vhodně upraveny do topných spirál. Těmito spirálami prochází proud a ohřívají celý prostor pece, které mají libovolný tvar.

- Přímý ohřev elektrickou energií

Ohřev se děje odporem, který vzniká průchodem proudu přímo základním materiálem. Tento způsob se používá pro průřez tyče maximálně do 100mm.

2.5.2 Ohřev v pecích [1]

- Plynové pece

Slouží pro ohřev drobných kusů materiálu. Ohřev se děje pomocí hořáků, do kterých se přivádí přehřátý vzduch a plyn. Plamen je buď redukční (s přebytkem plynu) nebo oxidační (s přebytkem vzduchu).

- Karuselové pece

Patří do skupiny průchozích pecí. Má kruhový půdorys, pracovní plocha je otočná s částí předehřívací, ohřívací a vyrovnávací. Využívá se pro ohřev širokého sortimentu, odlišného svým objemem tvarem a velikostí. Nevýhodou karuselových pecí je jejich půdorys, který zabírá velký zastavěný prostor.

- Pece komorové

Rozeznáváme mnoho různých konstrukčních řešení těchto pecí. Liší se provedením, tvarem pracovního prostoru a počtem pracovních dveří. Hlavní nevýhodou těchto pecí je nevyužitelnost tepla spalin k předehřevu a celková nerovnoměrnost ohřevu.

- Strkáci pece

Jsou to pece průchozí, vhodné pro velké série a ohřev pro zápusťkové kování. Strkáci pece mají část pro předehřev a ohřev a vyznačují se teplotní stálostí v ohřívacím pásmu a pravidelností dodávky ohřátého materiálu. Výhodou je jednoduché provedení s nízkou pořizovací cenou a v neposlední řadě lepší využití zastavěného prostoru.

2.6 Předehřev zápusťtek [1]

Oceli, ze kterých se zápusťky zhotovují mají po tepelném zpracování velmi nízkou houževnatost. Proto požadavek na předehřátí zápusťtek je velmi důležitý. Předehřev se provádí jak před započítím práce, tak i během přestávek nebo při střídání směn. Pokud se nepracuje dostatečně intenzivně je nutné zápusťky ohřívát i během pracovních cyklů. Teplota zápusťtek by se měla pohybovat někde okolo 250°C maximálně však 300°C. Při překročení této teploty by ohřívání nebylo hospodárné, protože při teplotách nad 300°C se houževnatost dále nezvyšuje nebo dokonce dochází k jejímu poklesu.

Samotné ohřívání se provádí několika způsoby, z nichž nejpoužívanější je předehřev pomocí ohřátého ocelového bloku. Ohřívá se přímo na stroji, ale nevýhodou je nerovnoměrný místní ohřev. Pro lepší prohřátí zápusťky je vhodnější použít ohřev na pískovém roštu, který je vyhříván plynovými hořáky. Nevýhodou je, že zápusťka musí být vyjmuta ze stroje a následné seřízení stěhuje manipulace s horkou zápusťkou. U zápusťtek, které se musí přehřívat i za provozu se používá věncovitých plynových hořáků, které jsou nastaveny dle tvaru zápusťky.

2.7 Mazání zápusťtek [1]

Maziva v procesu kování slouží především pro snížení tření mezi zápusťkou a materiálem, chrání zápusťku před opotřebením, zamezuje ulpívání okují na zápusťce, ochlazuje výkovek a nástroj, zlepšuje tok tvářeného materiálu a uvolňuje výkovek ze zápusťky.

- Tuhá maziva

Jsou to nejpoužívanější maziva, kde hlavním činitelem mazání je grafit, který se používá do teplot 800°C. V praxi se tyto maziva používají jako disperzní ve vodě nebo v oleji.

- Kapalná maziva

Do této skupiny mazacích látek patří minerální a organické oleje, emulze a syntetické látky.

- Maziva na bázi mýdel

Tyto maziva se v praxi pro zápustkové kování v podstatě vůbec nepoužívají, mají malou teplotní odolnost asi do 200°C. Vyznačují se však odolností proti vysokým tlakům.

- Piliny

Mají své uplatnění hlavně při kování v hlubokých zápustkových dutinách. Uvolňují výkovek vodními parami a plyny, které se tvoří spalováním pilin.

- Soli

Jsou to roztoky kuchyňské soli, které ale nemají velké uplatnění, protože mají korozivní účinky a silně znečišťují stroj.

- Sklo

Vyznačuje se vysokou teplotní odolností, dobrými mazacími účinky, ale nevýhodou je ne snadné odstranění zbytků ze zápustek a výkovků.

2.8 Zápustkové kování na bucharech [1], [5]

Buchary jsou využívány především pro kování velkých a těžkých výkovků nebo naopak pro kování drobnějších výkovků se žebry, výstupky a tenkostěnnými částmi. Buchary jsou také vhodné spíše pro kování se značnou spotřebou deformační energie a přetvoření základního materiálu hlavně ve směru rázu. Stroj pracuje dynamickou rázovou silou, která musí být tlumena masivními základy. Zároveň tyto rázy příznivě působí na odstraňování okují z výkovku, nezakovávají se a zároveň se méně opotřebovávají zápustky, které tolik netrpí na otěr. Technologický postup zápustkového kování na bucharu obsahuje tyto operace: předkování, dokončovací kování, ostřížení výronku a blány, rovnání a kalibrování.

2.8.1 Typy bucharů [1], [5]

- Padací

Patří mezi nejjednodušší stroje, pracuje vlastní vahou beranu, jež je zvednut do určité výšky a poté padá na šabotu.

- Hydraulické

U hydraulických bucharů je nositelem energie kapalina, nejčastěji je to vodní emulze a minerální oleje.

- Parovzdušné

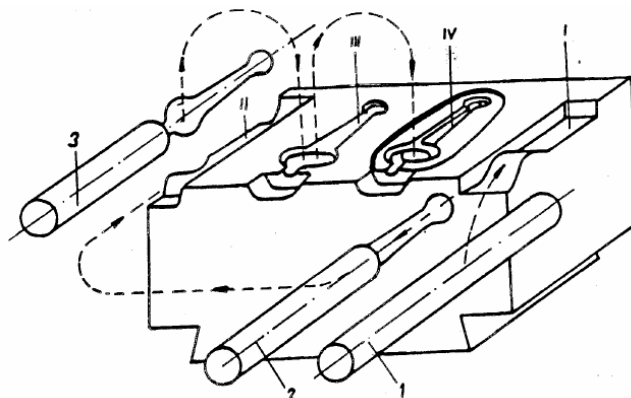
Ke zvedání do horní polohy a urychlování pádu beranu se využívá páry. Rychlost beranu dosahuje velké rychlosti, až 200 m.s⁻¹.

- Protiběžné

Tyto stroje nemají šabotu, místo ní je spodní beran, který se pohybuje proti hornímu. Dosahuje se vysoké energie využívané ke kování rozměrných výkovků.

2.8.2 Předkovací dutiny [1], [2]

Předkování může probíhat volným kováním nebo v postupové zápustce. Volným předkováním se zhotovují většinou rozměrné výkovky na kovacích válcích, profilovaných nebo rovných kovádlech. V postupové zápustce se polotovar přenáší pomocí kleštín z jedné dutiny do druhé, přičemž předkovacích dutin může být několik. Příklad postupové zápustky je na obr. 2.9

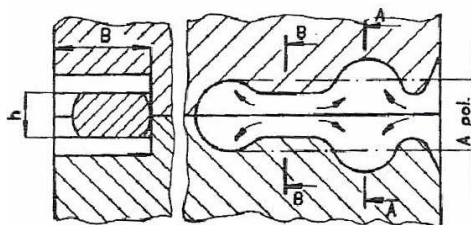


Obr. 2. 9 Postupová zápustka s přípravnými dutinami [2]

Předkovací dutiny se používají hlavně proto, aby se snížilo co možná nejvíce opotřebení dokončovací dutiny a aby se usnadnilo tváření velmi složitých výkovků se žebry a obtížnými přechody. Nejdůležitější typy předkovacích dutin pro buchary jsou:

- Zužovací dutina

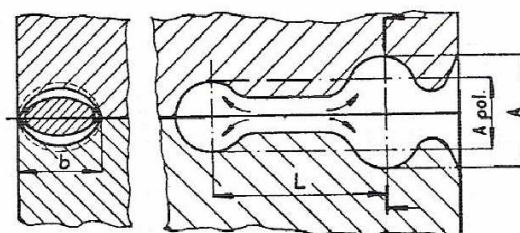
Slouží k redukci jednotlivých průřezů za současného vytahování výkovku do délky. Kove se jedním úderem bez jakéhokoli otáčení polotovaru. Zužovací dutiny mohou být řešeny různými způsoby, jeden z nich je uveden na obr. 2.10



Obr. 2.10 Zužovací předkovací dutina [13]

- Dutina pro otáčivé kování

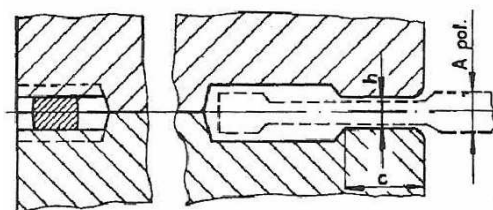
Této dutiny se využívá zejména při předkování osově symetrických součástí a je zároveň nejpoužívanějším provedením předkovací zápustky. Polotovar se obvykle nejdříve prodlužuje a poté se při kováni v této dutině pootáčí o 90°.



Obr. 2.11 Dutina pro otáčivé kování [13]

- **Prodlužovací dutina**

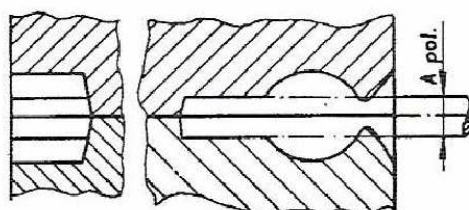
Dochází zde ke zdelšování polotovaru za současného zredukování průřezů.



Obr. 2.12 Prodlužovací dutina [13]

- **Tvarovací dutina**

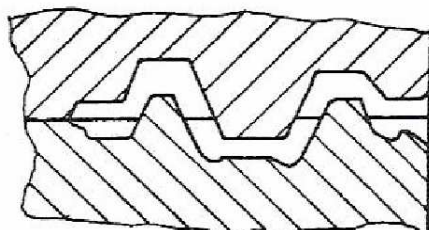
Materiál se kove bez otáčení, jedním nebo dvěma údery a používá se k tvarování předkovku na tvar obrysu hotové součásti.



Obr. 2.13 Tvarovací dutina [13]

- **Ohýbací dutina**

Slouží k ohýbání, v některých případech k ohnutí již ostříženého výkovku.



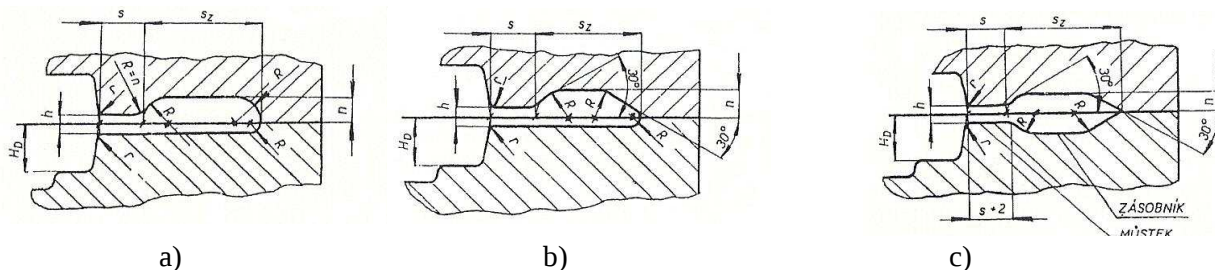
Obr. 2.14 Ohýbací dutina [13]

- **Oddělovací dutina**

Dutinou tohoto typu se oddělují hotové výkovky z tyče nebo dvojkusů kovaných s otáčením. Umisťuje se na zápustce šikmo a v některém rohu pracovní plochy zápustky.

2.8.3 Tvar a rozměr výronkové drážky [1], [15]

Výronková drážka se umísťuje v dělicí rovině okolo celého tvaru dokončovací dutiny. Hlavním úkolem drážky je zachycovat přebytečný materiál a regulovat tlak v dutině zápustky. Pro buchary se volí zejména tři hlavní provedení výronkových drážek, přičemž drážky jsou vždy uzavřené, neboť je nutné, aby styčná plocha přenášela přebytečnou energii bucharu. Pro výkovky větších rozměrů se výronek zhotovuje celý v jedné polovině zápustky z důvodu jednodušší výroby. Tam, kde se předpokládá větší přebytek materiálu, vytváří se zásobník oboustranný. Pokud je výkovek složitého tvaru, obvykle se volí h menší nebo s/h větší a zároveň lze místně zvětšovat šířku můstku s . Tři základní typy výronkových drážek pro buchar jsou uvedeny na obr. 2.15.



Obr. 2.15 Výronkové drážky pro buchar: a),b) obvyklý tvar - zásobník v horní části, c) speciální - pro složitější výkovky [15]

- Výpočet výronkové drážky dle ČSN 22 8308
Nejprve je nutné spočítat výšku můstku dle vzorce:

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

Kde: S_v [cm²] je průmět plochy výkovku do dělicí roviny.

Koeficient 0,012 se volí pro největší výkovky a 0,015 se volí pro malé výkovky. Ostatní rozměry na výronkové drážce se volí dle tab. 2.1 v závislosti na výšce můstku h , jedná se o hloubku zásobníku n , šířku můstku s a šířku zásobníku s_z .

Tab. 2.1 Rozměry výronkové drážky [15]

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

F_{vyt} platí pouze pro výronkovou drážku obvyklého typu.

Kde: F_{vyt} [cm²] je plocha průřezu výronku.

- Poloměr zaoblění r přechodu tvaru do dělicí plochy

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

Kde: S_v [cm²] je průmět plochy výkovku do dělicí roviny,

H_D [mm] je výška dutiny spodní zápustky.

Poloměr r je však limitován a nesmí přesáhnout hodnotu 6 mm. Hodnoty maximálního poloměru jsou závislé na typu a velikosti bucharu.

- Zaplnění výronkové drážky

Zaplnění výronkové drážky a její objem je rozhodující pro stanovení konečného objemu polotovaru. Zaplnění se určuje z tab. 2.2 a stanovuje se přibližně kolem 0,7

Tab. 2.2 Koeficienty zaplnění výronkové drážky [15]

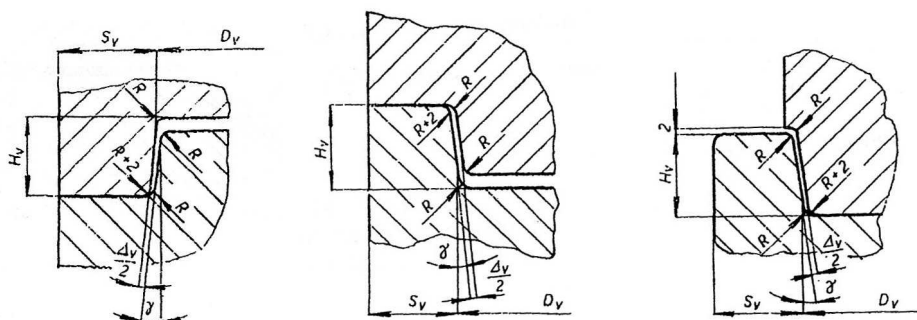
Skupina výkovků	Hmotnost (kg)	Součinitel zaplnění výronkové drážky		
		pěchování	rozšiřování	protlačování
Výkovky podélného tvaru kované kolmo na úkor výšky a šířky podél délky netače	< 1	0,4	0,5	0,6
	1 – 5	0,5	0,6	0,7
	> 5	0,6	0,7	0,8
Výkovky čtvercového, kruhového průřezu kované na stojato, dochází k osazování pěchování, vytlačování a probíjení	< 1	0,3	0,4	0,5
	1 – 5	0,4	0,5	0,6
	> 5	0,5	0,6	0,7

2.8.4 Vedení zápustek [1], [15]

Používá se v takových případech, kde nemůžeme zaručit přesné vedení strojem a docházelo by u výkovku k tvorbě přesazení. U postupových zápustek se vedení nepoužívá, je to z důvodu kolíků, které by znemožňovaly rovnoměrné rozložení dutin a charakter vedení beranu bucharů to nevyžaduje. Pro zajištění přesnosti se používají tyto druhy vedení.

- Kruhové

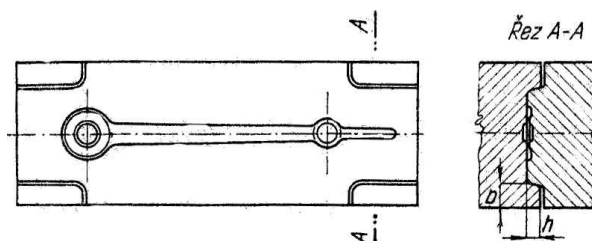
Toto vedení se používá zejména pro kruhové a čtvercové zápustky a obvykle pro výkovky rotačního tvaru. H_v je výška vedení, která je závislá na tvaru výkovku a velikosti stroje.



Obr. 2.16 Kruhové vedení zápustek [15]

- Podélné, příčné a křížové

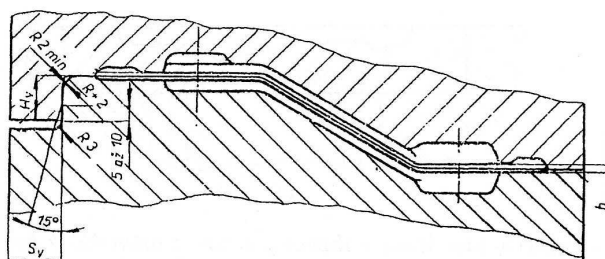
Podélné vedení vymezuje přesazení v příčném směru, příčné v podélném směru a křížové v obou směrech. Šířka vedení b musí být 1,5 násobkem výšky vedení h , tím narůstá spotřeba zápustkového materiálu, a proto se tento způsob vedení používá jen zřídka. Avšak tyto druhy vedení jsou velmi přesné a zajišťují dobrou kvalitu výkovku.



Obr. 2.17 Křížové vedení zápustek [1]

- Zámky pro zachycení posouvajících sil

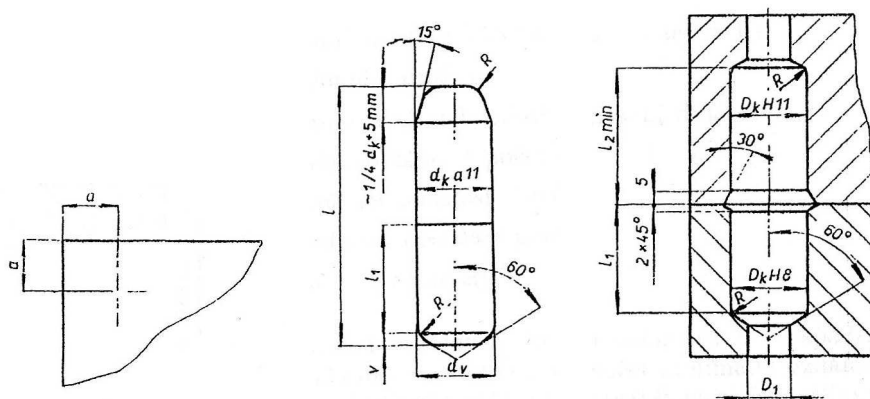
Opěrného zámku se využívá pro vedení zápustek s lomenou dělicí rovinou. Při takovém kování vzniká síla, která způsobuje vzájemné posouvání zápustek do boku a tímto vedením se tato síla eliminuje. Výška vedení H_v se stanovuje podle potřeby v rozsahu 20 až 60 mm.



Obr. 2.18 Zámkové vedení zápustek [15]

- Vodící kolíky

Kolíky se umísťují nejčastěji v rozích zápustky a to tak, aby ve středu jejich spojnic ležela dutina zápustky. Používají se nejčastěji u podélných zápustek k zamezení přesazení výkovku.



Obr. 2.19 Tvar vodícího kolíku a poloha díry [15]

- Minimální vzdálenost kolíku od okraje zápustky

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

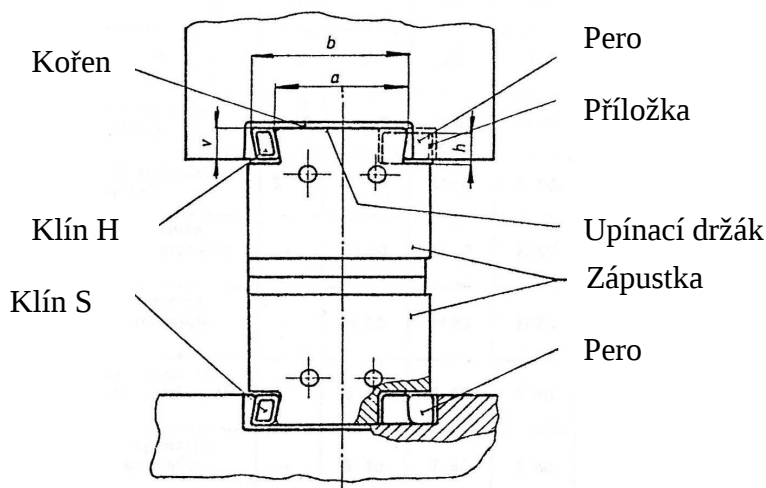
Kde: d_k [mm] je průměr vodícího kolíku.

Tab. 2.3 Rozměry vodících kolíků [15]

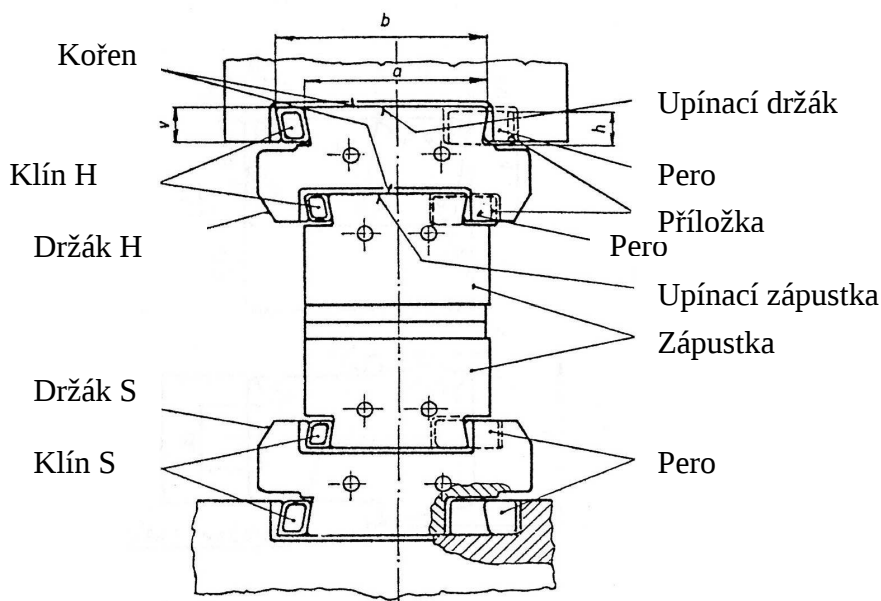
Kolík (otvor)						Otvor				v	R
d _k (D _k)				Přesah kolíku	l	l ₁	l ₂	D ₁			
I	II	III	IV								
12	14	16	18	0,02 až 0,04	70	30	45	8	2,5	3	
16	18	20	22		85	40	50	10			
20	22	25	28		90	34	55	12			
25	28	30	34	0,03 až 0,05	100	45	65	16	4	5	
30	32	36	38		110	50	70	20			
36	38	40	42		130	60	80	25			
40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

2.8.5 Upínání zápustek [1], [16]

Upínací plochy na zápustce jsou ve tvaru rybiny, která se vkládá do rybinové drážky v nástavci šaboty nebo do beranu bucharu. K upevnění se používá v radiálním směru klínu a v axiálním směru je zajištěno pomocí pera, které se vkládá do boční drážky vytvořené kolmo na rybinu. Klín se umísťuje na protilehlou stranu, ve výjimečných případech se používají klíny z obou stran kořene zápustky.



Obr. 2.20 Upnutí zápustky bez držáku [16]



Obr. 2.21 Upnutí zápustky s držáky [16]

2.8.6 Výpočet velikosti bucharu [1], [15]

Velikost bucharu je udána prací, kterou buchar vykoná při jednom úderu. Tato vykonaná práce se označuje jako rázová nebo úderová práce.

- Výpočet práce

a) Pro kruhové výkovky:

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

Kde: D_D [cm] je průměr výkovku,

σ_s [Mpa] je mez pevnosti za kovací teploty.

b) Pro nekruhové výkovky:

Používá se stejný vzorec, ale místo D_D se dosazuje D_{red} .

$$A_n = A \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_D}{B_{Dstřst}}}\right) \quad [\text{J}] \quad (2.5)$$

$$B_{Dstřst} = \frac{F_D}{L_D} \quad [\text{cm}] \quad (2.6)$$

$$D_{red} = 1,13 \cdot \sqrt{F_D} \quad [\text{cm}] \quad (2.7)$$

Kde: F_D [cm²] je průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu,

L_D [cm] je délka výkovku,

$B_{Dstřst}$ [cm] je šířka nekruhového výkovku.

- Výpočet hmotnosti beranu

a) Pro kruhové výkovky

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

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

b) Pro nekruhové výkovky

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

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

2.9 Zápustkové kování na svislých kovacích lisech [1], [5]

Kováním na svislých kovacích lisech se polotovary tváří klidovou silou, která způsobuje snadnější tváření materiálu ve směru kolmém na tuto sílu. Proto se na lisech kovají výkovky spíše členité do šířky, než tomu bylo naopak u bucharů. Na každou operaci je volena jedna dutina zápustky, protože při kování na lisu se jedna operace rovná jednomu zdvihu. To má za následek menší opotřebení zápustek vlivem styku žhavého materiálu se zápustkou po dobu pouze jednoho zdvihu. U lisu se navrhuje většinou jako první operace přechování, a to proto, aby přebytečné okraje z předkovku odpadly a nezakovávaly se do výkovku. Výkovky kované na svislých kovacích lisech jsou obecně přesnější, zápustky jsou upnuty do stojánku a vedení je přesnější než u bucharu. Výhodou je také možnost použití vyhazovačů, které se u bucharů nekonstruují z důvodu velkých rázů. Proto se volí u lisu menší úkosy vnějších a vnitřních stěn a to má příznivý dopad na úsporu materiálu. Avšak také u těchto strojů stále hrozí nebezpečí přetížení, síla lisu bývá omezena jmenovitou silou, která je ale chráněna pojistkami.

2.9.1 Typy lisů [5]

- Klikové

Pro tyto stroje se volí indukční ohřev a to z důvodu malé tvorby okují. Klikové lisy totiž pracují klidnou silou a hrozí jejich zakovávání do výkovku.

- Vřetenové

Energie se shromažďuje v setrvačnicku a celá je také naráz spotřebována, proto mají podobný charakter jako buchary.

- Hydraulické

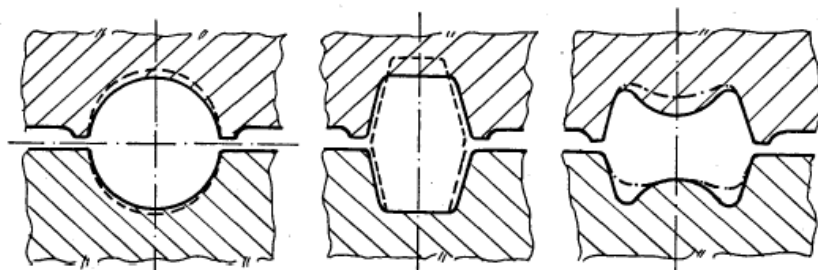
Hlavní výhodou je nastavení tvářecí síly, bezrázový provoz a malá tvářecí rychlost. Síla je buzena tlakem kapaliny na píst. Využívají se pro tváření a lisování především plošných těles.

- Výstředníkové

V kovárenství se využívají zejména pro ostříhování výronků a prostřihování předkovaných děr, dále pro zpracování plechu, protlačování atd. Výstředníkový mechanismus umožňuje změnu zdvihu beranu.

2.9.2 Předkovací dutiny [1], [5], [17]

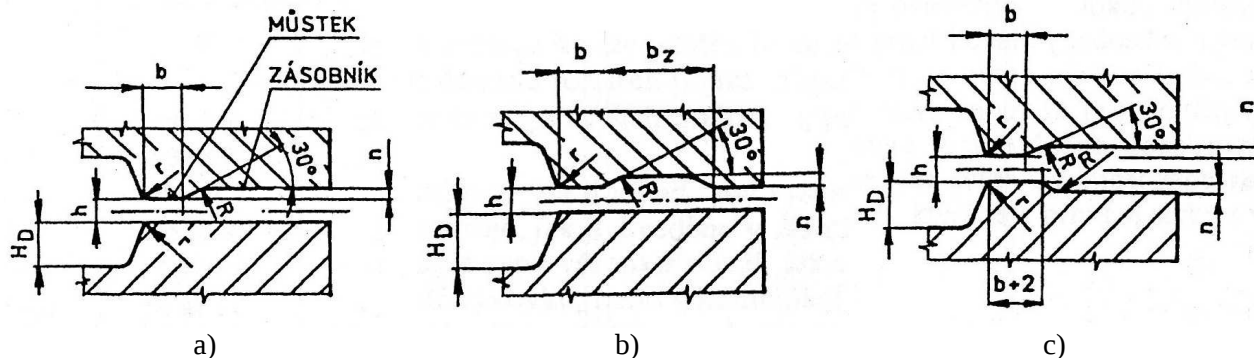
Předkovací dutina by se měla co nejvíce podobat tvaru dutiny dokončovací a to hlavně z důvodu jejího co nejmenšího opotřebení. Tento přibližný tvar se zhotovuje vytlačováním, přechováním nebo ohýbáním a dbá se na to, aby předkovek byl užší a vyšší z důvodu jednoznačného zakládání do dokončovací dutiny. Přebytek kovu v předkovací dutině je 3 – 4 %, tloušťka výronku bývá o 30 až 60 % větší než v dutině dokončovací, stejně tak její šířka. Ve většině případů se ale výronek vůbec nepoužívá. V předkovací dutině se také využívá vyhazovačů, ale není to podmínkou.



Obr. 2.22 Předkovací dutiny pro lisy [13]

2.9.3 Tvar a rozměr výronkové drážky [1], [8]

Výronkové drážky stejně jako u bucharů slouží k zachycování přebytečného materiálu a k regulaci tlaku v dutině zápustky. Jejich konstrukce je však otevřená a horní zápustka se spodní na sebe nesmí dosednout. Výška můstku výronku je vzdálenost mezi dolní a horní zápustkou v dolní úvratí. Výronková drážka je tedy dána výškou můstku h a hloubkou zásobníku n , přičemž zásobník je vybrán do bloku zápustky v provedení až po okraj.



Obr. 2.23 Tvary výronkových drážek: a) Obvyklý typ, b) Při velké vzdálenosti dutiny od okraje, c) Při velkém přebytku materiálu [8]

- Výpočet výronkové drážky dle ČSN 22 8306

Pokud je známa velikost tvářecího stroje, můžeme určit rozměry z tab. 2.4

Tab. 2.4 Rozměry výronkové drážky [8]

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

Pokud neznáme tvářecí sílu, určíme výšku můstku z nomogramu podle obr. 4.6

$$\text{Šířka můstku: } b = 2 \cdot h \text{ [mm]} \quad (2.12)$$

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

- Poloměr zaoblení r přechodu tvaru do dělicí plochy

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

Kde: S_v [cm²] je průmět plochy výkovku do dělicí roviny,
 H_D [mm] je výška dutiny spodní zápustky.

Poloměr nesmí přesáhnout hodnoty 3 až 5 mm, v závislosti na tvářecí síle lisu. Lze také použít poloměry uvedené v tab. 2.4.

- Zaplnění výronkové drážky

$$V_{VYR} = o \cdot [b \cdot h + (n + h) \cdot B] \text{ [mm}^3\text{]} \quad (2.15)$$

Kde: o [mm] je obvod výkovku v dělicí rovině,

b [mm] je šířka můstku výronku,

h [mm] je výška můstku výronku,

n [mm] je výška zásobníku výronku,

B [mm] je zaplnění výronkové drážky.

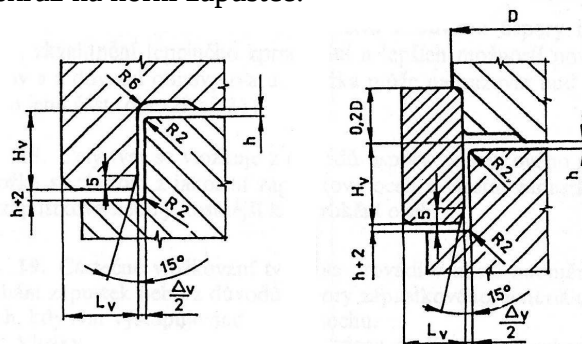
Rozměr B se volí 50 až 70 % z prostoru výronkové drážky.

2.9.4 Vedení zápustek [8]

Vedení je zajištěno u lisů použitým držákem zápustek pomocí přesného vedení smýkadla lisu a vodicími sloupky. Pokud vzhledem k výrobním tolerancím toto vedení nevyhovuje, používají se následující typy vedení:

- Kruhové vedení

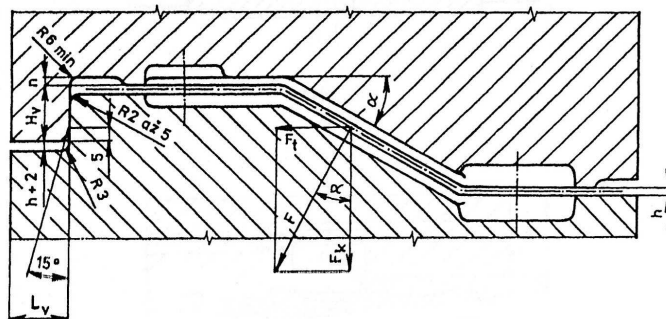
Část vnějšího vedení se zhotovuje přímo na horní zápustce, nebo může být nalisována tzv. bandáž, což je vodicí skruž na horní zápustce.



Obr. 2.24 Kruhové vedení zápustek [8]

- Zámky pro zachycení posouvajících sil

Tento způsob vedení se používá pro zachycení tangenciálních složek kovací síly, tedy pro výkovky, které mají lomenou dělicí rovinu.

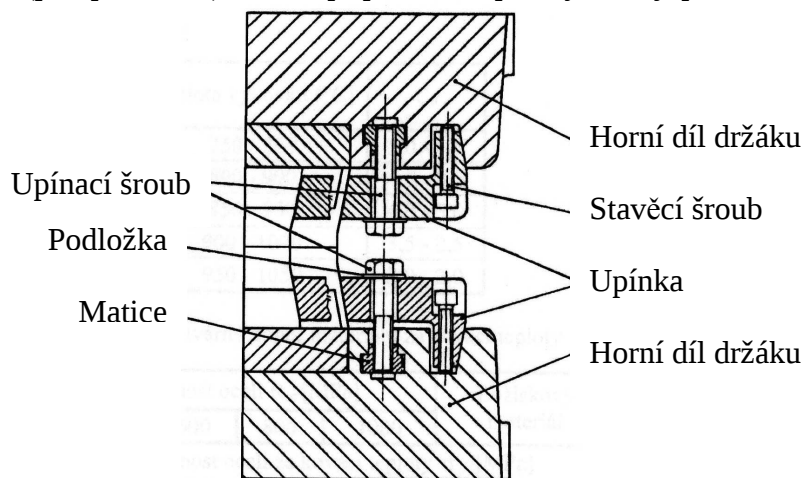


Obr. 2.25 Zámkové vedení zápustek [8]

2.9.5 Upínání zápustek [1], [18]

Zápustky se upínají pomocí držáku, které jsou upnuty na spodní desku beranu a na smýkadlo lisu. Zápustky bývají kruhové nebo obdélníkové a mají vybrání pro vyhazo-

vače. Na přední straně zápustky je úkos a o něj je opřena upínka, zápustka je současně dotažena šroubem a je přitlačena k podkladové desce. Bočního ustavení se docílí doražením zápustek na jednu stranu a na druhé straně jsou ukotveny pomocí úkosové lišty a šroubu. Je třeba dbát na to, aby po sevření zápustek byla dodržena stále stejná vzdálenost a to i po obnově zápustek (po opotřebení). V tom případě se zápustky musejí podkládat.



Obr. 2.26 Upínání zápustek na svislých lisech [18]

2.9.6 Vyhazování výkovků [8]

Problém ulpívání výkovku v dutině zápustky se u lisů řeší konstrukcí vyhazovačů. Toto ulpívání je ovlivněno několika faktory, především hloubkou dutiny, vnějšími a vnitřními úkosy, mazání a odstraňování okují z výkovku atd. Je proto nutné se rozhodnout pro správný způsob nuceného vyhazování s ohledem na tyto hlediska. Podle tvaru činné části, která je v přímém styku s výkovkem rozlišujeme vyhazovače:

- Prstencové

Pro výkovky se zahlučením ve středu výkovku. Rozměry se stanovují dle normy ČSN 22 8306.

Předkovací trn:

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

Kde: d_{pt} [mm] je průměr otvoru pro předkovací trn,

D_{pt} [mm] je průměr dosedací části předkovacího trnu.

Průměr prstence D_p musí vyhovět podmínkám:

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

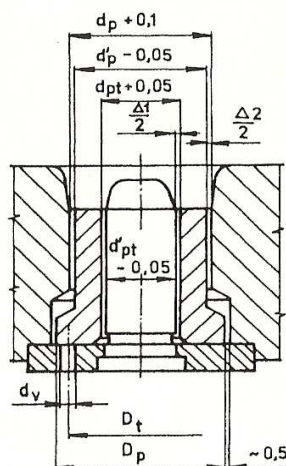
$$D_p \geq D_t + d_v + 5 \text{ [mm]} \quad (2.18)$$

Kde: D_p [mm] je průměr dosedací části prstencového vyhazovače,

d_p [mm] je průměr otvoru pro prstencový vyhazovač,

D_t [mm] je roztečný průměr otvorů pro vyrážecí kolík upínače zápustek,

d_v [mm] je průměr otvoru pro vyrážecí kolík.



Obr.2.27 Prstencový vyhazovač [8]

- Kolíkové

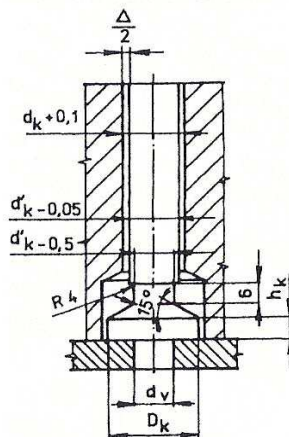
Mohou být v provedení jako středové, mimostředné a může působit na blánu, tvar nebo výronek. Rozměry se stanovují dle normy ČSN 22 8306.

Průměr hlavy (paty) kolíkového vyhazovače:

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

Kde: d_v [mm] je průměr otvoru pro vyrážecí kolík,

d_k [mm] je průměr otvoru pro vyhazovací kolík.



Obr.2.28 Kolíkový vyhazovač [8]

- Vložkové

Vyhazovačem je v tomto případě předkovací trn, tento typ je vhodný pro výkovky s blánou posunutou do spodní části výkovku. Používá se jen ve výjimečných případech, kdy vyhazovací kolík příliš zeslabuje vložku.

2.9.7 Výpočet kovací síly [8], [9]

Pro určování kovací síly se používají nejčastěji tři metody, z nichž normovaná je dle Tomlenova (ČSN 22 8306). Velikost kovací síly závisí především na rozměrech výkovku, dále na tvaru výronku, přirozeném přetvárném odporu kovu za kovací teploty a na tření mezi materiálem a zápustkou.

- Výpočet kovací síly podle Brjuchanova - Rebelského

$$F_K = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v}\right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_d \text{ [N]} \quad (2.20)$$

- Výpočet kovací síly podle Storoževa

$$F_K = \sigma_p \left[\left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h}\right) \cdot S_v + \left(1,5 + \frac{b}{h} + 0,1 \cdot \frac{D_v}{h}\right) \cdot S_d \right] \text{ [N]} \quad (2.21)$$

Kde: S_v [mm²] je plocha výronku v šířce můstku,
 S_d [mm²] je plocha průřezu výkovku do dělicí roviny,
 D_b [mm] je průměr výkovku s můstkem,
 D_v [mm] je průměr výkovku,
 b [mm] je šířka můstku,
 h [mm] je výška můstku,
 σ_p [MPa] je přirozený přetvárný odpor.

- Výpočet kovací síly dle Tomlenova

Napětí v jednotlivých bodech průřezu:

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

$$\sigma_{d1} = \sigma_{d0} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_1}{z_1} \text{ [Mpa]}$$

$$\sigma_{dn} = \sigma_{dn-1} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_n}{z_n} \text{ [Mpa]} \quad (2.23)$$

Kde: C_0 je součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teploty,
 R_{mT} [Mpa] je pevnost materiálu za kovací teploty.

Schéma nárůstu normálových napětí je na obr.4.8.

Výpočet dílčích ploch pod čarami přetvárných odporů:

$$S_j = \sigma_{dn} \cdot \Delta r_n \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.24)$$

$$S_{j+1} = (\sigma_{dn+1} - \sigma_{dn}) \cdot \frac{\Delta r_n}{2} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.25)$$

Kovací síla vznikající od normálových složek napětí:

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot \sum r_j \cdot S_j \text{ [N]} \quad (2.26)$$

Kovací síla vznikající od tangenciálních složek napětí:

$$F_T = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n \Delta S_j' \text{ [N]} \quad (2.27)$$

Kde: S_j' [mm²] je boční plocha výkovku v pohybujícím se dílu zápustky.

Výsledná kovací síla:

$$F_K = F_N + F_T \text{ [N]} \quad (2.28)$$

2.10 Úprava výkovků

2.10.1 Ostříhování a děrování zápustkových výkovků [1]

Zápustkové výkovky, které jsou zhotoveny na bucharech nebo lisech v otevřených zápustkách vzniká výronek a blána po předkování otvorů. K dosažení konečného tvaru je nutno výronek s blánou odstranit na mechanickém nebo hydraulickém lisu. Ostříhování a děrování

se provádí za tepla u výkovků s obsahem C větší než 0,5% nebo za studena s menším obsahem než 0,5% C. U velkých výkovků se z důvodu menších ostřihovacích tlaků provádí výhradně za tepla.

2.10.2 Čištění výkovků [1]

Provádí se zejména proto, aby povrch byl hladký a čistý a aby se u výkovků usnadnilo následné obrábění. Z povrchu se odstraňují nečistoty, rez, povrchové vady a hlavně okuje.

- Ruční čištění

Provádí se pomocí brusných kotoučů, opalováním plamenem nebo vysekáváním pneumatickými sekáči.

- Otryskání

K otryskání se používá prostředků jako jsou drcený korund, karbid křemíku atd. Podstatou otryskání je vytvoření proudu letících zrn značnou rychlostí, které dopadají na povrch čistěného výkovku a vytváří se tlakový a řezný účinek.

- Omílání

Omílání je vhodné pro menší výkovky, které jsou vloženy do bubnu. Do otáčejících bubnů se přidávají také kapaliny určitého chemického složení a omílací prostředky jako křemičitý písek, ocelolitinové hvězdičky, úlomky brusných kotoučů atd.

- Chemické moření

Výkovky jsou uloženy v koších, které jsou následně ponořeny do van s odmašťovacími a mořícími roztoky. Moření probíhá ve vodných roztocích kyselin nebo zásad, v taveninách soli atd.

2.11 Tepelné zpracování

Téměř všechny zápusťkové výkovky je nutné po kování tepelně zpracovat. Tato operace má přímý vliv na dobrou obrobitelnost, dosažení požadovaných mechanických hodnot, zabraňuje vnitřnímu pnutí a tvorbě vločkových trhlin. Mezi základní způsoby tepelného zpracování patří:

- Normalizační žíhání

Patří mezi nejobvyklejší metody tepelného zpracování, provádí se pro zjemnění struktury a odstranění vnitřního pnutí. Normalizační teplota se volí 30 až 50°C nad teplotou rekrytalizace. Poté následuje výdrž na této teplotě, přičemž doba je různá podle druhu oceli (5-20 min). Ochlazování musí probíhat pozvolna v pecích nebo na klidném vzduchu bez průvanu a zároveň výkovky nesmí být v kontaktu mezi sebou.

- Žíhání na měkko

Tímto způsobem se přeměňuje páskový perlit na zrnitý perlit a tím se výrazně zlepšuje obrobitelnost. Teplota žíhání se pohybuje někde okolo 650 až 720°C. Patří mezi dlouhodobé tepelné operace (výdrž až 4 hodiny na žíhací teplotě) a poté následuje pozvolné ochlazování.

- Zušlechťování

Je po normalizačním žíhání druhou nejpoužívanější metodou tepelného zpracování. V první fázi se provádí zakalení, a to se děje ohřevem nad teplotu přeměny a krátkou výdrží na této austenitizační teplotě. Poté nastává ochlazování na klidném nebo dmýchaném vzduchu. Ve druhé fázi se výkovky ohřívají na popouštěcí teplotu a výdrž se pohybuje někde okolo 1/2 až 2hod. Po skončení časového intervalu na této teplotě nejčastěji následuje ochlazení na vzduchu. Teploty a časové úseky při zušlechťování se mění v závislosti na použitém materiálu výkovku.

3 STÁVAJÍCÍ MOŽNOSTI VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI

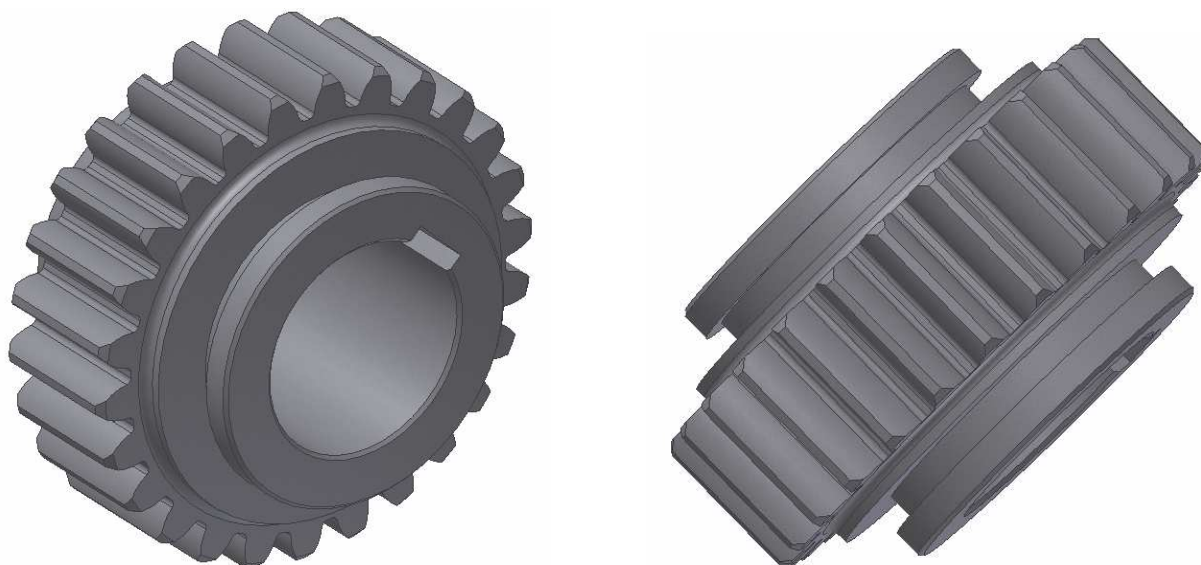
3.1 Zvolení způsobu kování [5]

Hlavním faktorem ovlivňujícím volbu tvářecího stroje pro danou součást je způsob zatékání kovu. U bucharu způsobuje rázový účinek větší rychlost tečení materiálu a snadnější zaplňování zápustky ve směru rázu. Naopak svislé kovací lisy jsou vhodnější pro kování součástí, ve kterých se ohřátý materiál přemísťuje ve směru kolmém k působící síle.

Při kování na mechanickém lisu stačí jeden zdvih beranu, na bucharu je ve většině případech zapotřebí několik úderů, než se dutina zápustky uzavře. Dalšími výhodami kování na lisech je menší opotřebení zápustek vlivem kratšího časového úseku, kdy se stýká ohřátý materiál se zápustkami. Výkovky jsou obecně přesnější, avšak okuje nesnadno odpadávají a zakovávají se do povrchu. Lisy nepotřebují tak mohutné základy jako buchary a práce na lisu není tak náročná na kvalifikaci a fyzickou sílu obsluhy. Pořizovací cena lisu je sice větší než u bucharu, ale při velkosériové a hromadné výrobě je výroba celkově levnější.

Při kování na bucharu jsou hlavními výhodami příznivá cena, okuje z polotovaru rázem snadněji odpadávají, nevýhodami je vysoká hlučnost a vznik velkých rázů při kování.

Vzhledem k velikosti, tvaru a sériovosti 100 000 ks.rok⁻¹ bude výhodnější zadanou součást vyrábět zápustkovým kováním na svislém kovacím lisu.



Obr. 3.1 3D model součásti

4 TECHNOLOGIE VÝROBY OZUBENÉHO KOLA

4.1 Materiál výkovku [4]

Ozubené kolo bude vyrobeno z konstrukční nízkolegované oceli 14223.0 (20CrMn5-4). Ocel je dobře tvárná za tepla, po žíhání na měkko i za studena. Využívá se pro výrobu velmi namáhaných součástí určených k cementování, jako jsou např. ozubená kola, řetězová kola, šneky, vačkové hřídele, pístní čepy, pera, upínací nářadí apod.

- Charakteristika materiálu:

Tváření za tepla:	880 ÷ 1100 °C
Normalizační žíhání:	850 ÷ 880 °C
Žíhání na měkko:	680 ÷ 720 °C
Kalení:	850 ÷ 880 °C
Mez pevnosti v tahu:	$R_m = 981 \text{ MPa}$
Mez kluzu:	$R_e = 685 \text{ MPa}$
Tvrдост:	Max 217 HB

- Chemické složení:

Uhlík:	0,17 ÷ 0,23 %
Křemík:	0,17 ÷ 0,37 %
Chrom:	1,0 ÷ 1,3 %
Mangan:	0,8 ÷ 1,1 %
Titan:	0,04 ÷ 0,10 %
Síra:	max. 0,035 %
Fosfor:	max. 0,035 %

4.2 Zařazení výkovku dle složitosti tvaru podle ČSN 42 9002 [6]

Zařazením výkovku dle normy dostáváme označení: 5440 – 3

Vysvětlení jednotlivých číslic:

5 – tvarový druh (výkovky kruhového průřezu duté),

4 – tvarová třída (výkovky oboustranně osazené),

4 – tvarová skupina (výkovky duté),

0 – tvarová podskupina (bez přesahu),

3 – technologické hledisko (výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrné).

4.3 Návrh výkovku

4.3.1 Přídavky na obrábění [7]

Přídavky na obrábění jsou určeny dle tab. 4.1. Kde největší výška hotového výrobku je 80 mm a největší průměr 140 mm. Potom přídavky na obrábění jsou 2,5 mm.

Tab. 4.1 Přídavky na obrábění (rozměry v mm) [7]

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

4.3.2 Technologické přídavky [7]

- Úkosy zápustkového výkovku

Tab. 4.2 Úkosy [7]

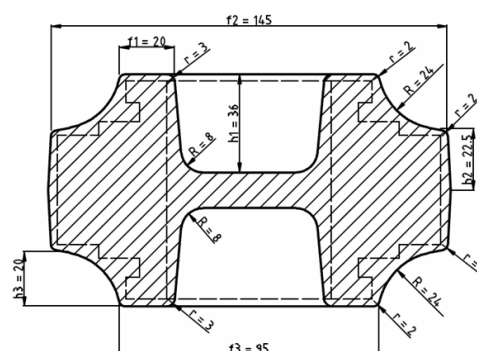
	vnější	vnitřní
Zapustkové výkovky se běžně vyrábějí s úkosy	3°	7°
Vzhledem k rozdílné úrovni technologického zařízení výrobců výkovků se dovolují úkosy – pro buchary a lisů bez vyhazovače	7°	10°
– lisů s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
– vodorovné kovací stroje	0 až 5°	0 až 5°

Úkosy jsou zvolené pro lis s vyhazovačem a určené z tab. 4.2. Pro vnější plochy jsou pro zadanou součást 3° a pro vnitřní plochy 5°.

- Zaoblení hran r a přechodů R

Tab. 4.3 Zaoblení hran r a přechodů R výkovku (rozměry v mm) [7]

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



Obr. 4.1 Zaoblení hran r a přechodů R na výkovku

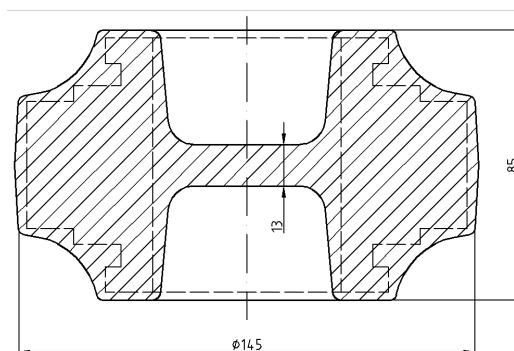
V místech členitosti průměrů je vhodnější zvolit variantu s velkým přechodem $R = 24$ mm. Zbylé zaoblení a přechody jsou zvoleny dle tab. 4.3.

- Minimální tloušťka blány

Tloušťka blány pro výkovky je z tab. 4.4 zvolena dle největšího průměru a výšky výkovku. $H = 13$ mm.

Tab. 4.4 Nejmenší tloušťka dna, blány a stěny výkovku (rozměry v mm) [7]

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



Obr. 4.2 Největší rozměr výkovku

4.3.3 Přesnost výkovku [7]

- Stanovení stupně přesnosti

Stupeň přesnosti se určuje dle zařazení výkovku podle složitosti tvaru a poté podle tab. 4.5 je stanoveno pro obvyklé provedení: rozměry kolmém ke směru rázu – IT5, rozměry rovnoběžné ve směru rázu – IT6.

Tab. 4.5 Stupeň přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení [7]

Tvarový druh	Tvarová třída	Tvarová skupina	Tvarová podskupina	Technologické hledisko	Stupeň přesnosti pro provedení					
					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 9	1; 5	*	3; 4; 5	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 4			5	6	4	5	3	4
		6; 7; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	*	*	6; 7; 8; 9	6	7	5	6	4	5
	6 až 8				7	7	6	6	5	5
8	1 až 8	1; 2; 3; 4	*	*	6	7	5	6	4	5
		5; 6			7	7	6	6	5	5
8	9	1; 2	*	*	6	7	5	6	4	5
		3; 4; 5; 6; 7			7	7	6	6	5	5
9; 0	*	1; 2; 3; 4	*	*	6	6	5	5	4	4
		5; 6; 7; 8			7	7	6	6	5	5

- Mezní úchytky a tolerance

Tab 4.6 Mezní úchytky zaoblení přechodů a hran (rozměry v mm) [7]

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

Tab. 4.7 Mezní úchytky a tolerance výkovku pro IT5 (rozměry v mm) [7]

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

Tab. 4.8 Mezní úchytky a tolerance výkovku pro IT6 (rozměry v mm) [7]

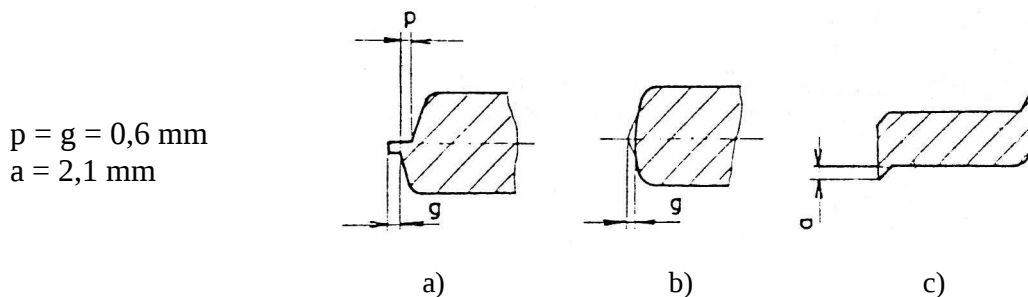
Největší průměr výkovku D nebo 0,5(L+B) ve směru kolmo k rázu	Rozměr výkovku ve směru rázu (H)									
	přes	25	40	63	100	160	250	400		
	do 25	40	63	100	160	250	400	630		
přes 25 do 25	Mezní úchytky	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,1 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7				
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1				
přes 25 do 40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

Jednotlivé mezní úchylky jsou určeny z tab. 4.6, 4.7 a 4.8.

Pak: $r2_{-1}^{+0,5}$, $r3_{-1,5}^{+0,75}$, $R8_{-2}^{+4}$, $R24_{-4,8}^{+9,6}$, $IT5_{-0,6}^{+1,4}$, $IT6_{-1,1}^{+2,1}$.

- Dovolené přesazení, otřep, sestřižení a jehla

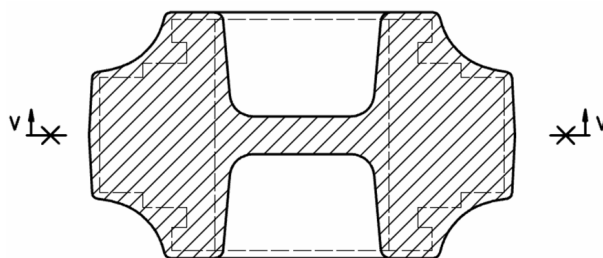
Dovolené přesazení p , dovolený otřep a sestřižení g je roven minusové mezní úchylce kolmo k rázu stanovené pro výkovek ozubeného kola. Jehla je ostří, které může vzniknout na okraji střížné plochy a je rovna plusové mezní úchylce výkovku ve směru rázu.



Obr. 4.3 Mezní úchylky tvaru výkovku: a) přesazení, otřep, b) sestřižení, c) jehla [7]

4.3.4 Poloha dělicí roviny

Dělicí rovina na výkovku je zvolena vzhledem k jeho tvaru do poloviny výšky, je symetrická a zároveň umístěna do největšího průměru, kde zaručuje nejlepší zaplnění zápustky.



Obr. 4.4 Poloha dělicí roviny

4.3.5 Tvar a rozměry výronkové drážky [8]

- Výška můstku h

Výška můstku je stanovena dle nomogramu na obr. 4.6 podle veličin $D_V = 147 \text{ mm}$, $S_V = 170,5 \text{ cm}^2$, $m_o = 8.25 \text{ kg}$. Výronková drážka bude obvyklého typu (obr. 4.5).

Kde: $D_V [\text{mm}]$ je průměr výkovku bez výronku,

$S_V [\text{cm}^2]$ je průmět plochy výkovku bez výronku,

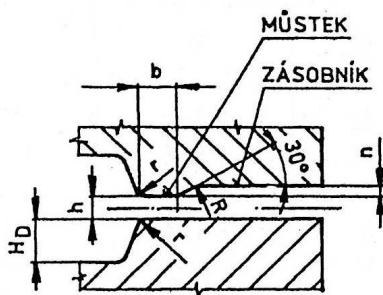
$m_o [\text{kg}]$ je hmotnost přířezu.

Teoretická výška můstku:

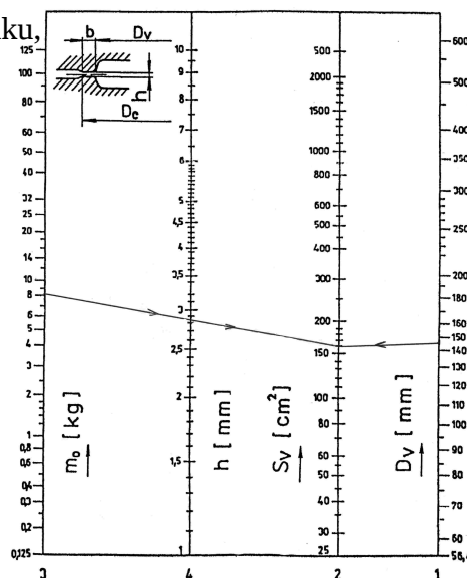
$h_t = 2,8 \text{ mm}$.

Zvoleno:

$h = 3 \text{ mm}$.



Obr. 4.5 Výronková drážka – obvyklý typ [8]



4.6 Nomogram pro stanovení výšky můstku [8]

- Šířka můstku b
 $b = 2 \cdot h$ [mm]
 $b = 2 \cdot 3 = 6$ mm

(4.1)

- Výška zásobníku n
 $n = 0,4 \cdot h + 2$ [mm]
 $n = 0,4 \cdot 3 + 2 = 3,2$ mm

(4.2)

- Přejechod tvaru do dělicí roviny
 $r = 1,5$ až $2,5$ mm
 Zvoleno: $r = 2$ mm.

4.3.6 Smrštění výkovku [8]

Hodnoty smrštění se stanovují ze součinitelů tepelné délkové roztažnosti a teploty kování pro konkrétní materiál podle údajů výrobce. Hodnoty smrštění se také mění v závislosti na tvaru součásti a pro běžné oceli dle ČSN 22 8306 se hodnoty pohybují kolem 1 až 1,3%.

4.4 Návrh polotovaru

4.4.1 Výpočet objemu výkovku

Celkový objem výkovku: $V_C = V_V + V_{VÝR} + V_P$ [mm³]

(4.3)

- Objem výkovku



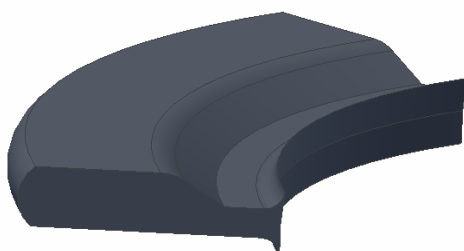
Obr. 4.7 3D model výkovku

Objem výkovku je vypočítán pomocí programu Autodesk Inventor 2008.

$$V_V = 944842,48 \text{ mm}^3$$

- Objem výronku

Délka zásobníku $b_Z = 32$ mm, který je zaplněn ze 2/3.



Obr. 4.8 Element výronkové drážky

Objem výronku je vypočítán pomocí programu Autodesk Inventor 2008.

$$V_{VÝR} = 77093,4 \text{ mm}^3$$

- Objem přídatku na propal

$$V_P = (V_V + V_{V\dot{Y}R}).0,03 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.4)$$

$$V_P = (944842,48 + 77093,4).0,03 = 30658,1 \text{ mm}^3$$

- Celkový objem výkovku

$$V_C = V_V + V_{V\dot{Y}R} + V_P = 944842,48 + 77093,4 + 30658,1 = 1052593,98 \text{ mm}^3$$

4.4.2 Rozměr polotovaru [9]

Důležitým faktorem pro stanovení velikosti polotovaru je dodržení štíhlostního faktoru. Proto vlastní rozměr polotovaru musí respektovat pravidlo přechování, tj. poměr délky k jeho průměru. Při jeho nedodržení hrozí nekontrolovatelné vybočení do strany v počátku kování (ztráta stability).

Štíhlostní poměr: $\lambda = \frac{L_0}{D_0} = 1,5 \div 2,8$, zvolený poměr je 2.

Kde: L_0 [mm] je délka polotovaru,
 D_0 [mm] je průměr polotovaru.

- Stanovení průměru polotovaru

$$L_0 = \lambda \cdot D_0$$

$$V_C = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot L_0 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.5)$$

$$D_0' = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_C}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{1052593,98}{2}} = 87,19 \text{ mm}$$

Zvoleno: $D_0 = 88 \text{ mm}$.

- Stanovení délky polotovaru

$$L_0' = \frac{4 \cdot V_C}{\pi \cdot D_0^2} = \frac{4 \cdot 1052593,98}{\pi \cdot 88^2} = 173,06 \text{ mm}$$

Zvoleno: $L_0 = 173 \text{ mm}$.

Kde: D_0' [mm] je předběžný průměr polotovaru,

L_0' [mm] je předběžná délka polotovaru,

ρ [kg.m⁻³] je měrná hmotnost materiálu.

- Kontrola štíhlosti

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = \frac{173}{88} = 1,97 \Rightarrow \text{vyhovuje.}$$

- Hmotnost polotovaru

$$m_p = \rho \cdot V_0 \text{ [kg]} \quad (4.6)$$

$$m_p = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot L_0 = 7840 \cdot \frac{\pi \cdot 88^2}{4} \cdot 173 = 8,25 \text{ kg}$$

Kde: V_0 [mm³] je objem polotovaru.

Polotovar bude použit přířez z tyče o Ø 88 - 173 ± 0,1 mm.

4.4.3 Ohřev polotovaru

Pro ohřev materiálu volím středofrekvenční pec od firmy ROBOTERM Chotěboř typové řady SOP 250 kW. Materiál bude ohříván na teplotu 1180 ± 20 °C. Maximální objem ohřátého materiálu pro zvolený typ pece je 625 kg/hod. Indukční ohřev zaručuje minimální

tvorbu opalu a okují (cca. 1%), které nepříznivě působí na kvalitu výkovku a v neposlední řadě také na životnost zápustek.

4.5 Návrh zápustek a příslušenství

4.5.1 Materiál zápustek

Volbou materiálu je možné v určitém rozsahu zvyšovat životnost zápustek. Nejdůležitějšími vlastnostmi materiálu pro kovací zápustky jsou tvrdost a pevnost, a to zejména v oblasti vyšších teplot. Dalšími důležitými charakteristikami je dobrá houževnatost a odolnost proti mechanické a tepelné únavě.

Pro výkovek ozubeného kola byla zvolena chromová ocel 19 552 s přísadami jako je M_o , W, V atd. Tato ocel má vyšší popouštěcí teplotu a je vhodná pro středně velké zápustky jak pro lis, tak pro buchary.

4.5.2 Rozměry a mezní úchytky zápustek [8]

Jmenovité rozměry dutiny zápustky vychází z rozměru výkovku, který je zvětšen o smrštění (viz. výkres ohřátého výkovku, číslo dokumentu: A3 – BP – 2010 – 003).

- Mezní úchytky předkovací dutiny

Úchytky rozměrů se volí přibližně dvojnásobné vzhledem k mezním rozměrům dokončovací dutiny. Z důvodu přibližného předkování rozměru výkovku ozubeného kola byla předkovací zápustka nakonstruována bez mezních úchylek pro její levnější výrobu. Tento způsob nijak neovlivní výslednou kvalitu výkovku.

- Mezní úchytky dokončovací dutiny

Pro rozměry vnější (vnitřní) jsou určeny mezní úchytky rozměrů dokončovací dutiny plusové (minusové) podle tab. 4.9.

Tab. 4.9 Mezní úchytky dutiny zápustky [8]

Jmenovitý rozměr		Mezní úchytky	
přes	do	⊥	∥
0	25	0,06	0,07
25	40	0,07	0,1
40	63	0,08	0,12
63	100	0,1	0,15
100	160	0,12	0,2
160	250	0,15	0,25
250	400	0,2	0,3
400	630	0,3	0,45
630	1000	0,4	0,6

Použité značky:
 ⊥ kolmo k rázu
 ∥ ve směru rázu

- Minimální průměr předkovací zápustky

$$D_{PZ} \geq D_D + 0,2 \cdot (D_D + H_D) + 5 \text{ [mm]} \quad (4.7)$$

$$D_{PZ} \geq 141,2 + 0,2 \cdot (141,2 + 45) + 5 = 183,4 \text{ mm}$$

Zvoleno: $D_{PZ} = 200 \text{ mm}$

- Minimální průměr dokončovací zápustky

$$D_{DZ} \geq D_D + 0,4 \cdot (D_D + H_D) + 5 \text{ [mm]} \quad (4.8)$$

$$D_{DZ} \geq 148,9 + 0,4 \cdot (148,9 + 42,9) + 5 = 230 \text{ mm}$$

Zvoleno: $D_{DZ} = 234 \text{ mm}$

Kde: D_D [mm] je průměr dutiny,

H_D [mm] je hloubka dutiny.

4.5.3 Konstrukce vyhazovače [8]

Pro vyhazování výkovku byl zkonstruován kolíkový vyhazovač, v provedení jako středový, působící na blánu. V předkovací zápustce je použit pouze jeden vyhazovač. V dokončovací dutině jsou použity dva, protože může nastávat ulpívání výkovků jak v dolní, tak v horní zápustce. Jmenovitý průměr vyhazovacího kolíku je určen dle ČSN 22 8306 $d_k = 16 \text{ mm}$.

4.6 Výpočet kovací síly

4.6.1 Výpočet kovací síly podle Storoževa [9]

$$S_v = \frac{\pi \cdot D_b^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_v^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4.9)$$

$$S_v = \frac{\pi \cdot (145 + 2.6)^2}{4} - \frac{\pi \cdot 145^2}{4} = 19359,3 - 16513 = 2846,3 \text{ mm}^2$$

$$S_d = \frac{\pi \cdot D_v^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4.10)$$

$$S_d = \frac{\pi \cdot 145^2}{4} = 16513 \text{ mm}^2$$

$$F_K = \sigma_p \left[\left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h} \right) \cdot S_v + \left(1,5 + \frac{b}{h} + 0,1 \cdot \frac{D_v}{h} \right) \cdot S_d \right] \text{ [N]} \quad (4.11)$$

$$F_K = 115 \left[\left(1,5 + \frac{6}{2 \cdot 3} \right) \cdot 2846,3 + \left(1,5 + \frac{6}{3} + 0,1 \cdot \frac{145}{3} \right) \cdot 16513 \right] = 16643269,58 \text{ N} = 16,64 \text{ MN}$$

Kde: $S_v \text{ [mm}^2\text{]}$ je plocha výronku v šířce můstku,
 $S_d \text{ [mm}^2\text{]}$ je plocha průmětu výkovku do dělicí roviny,
 $D_b \text{ [mm]}$ je průměr výkovku s můstkem,
 $D_v \text{ [mm]}$ je průměr výkovku,
 $b \text{ [mm]}$ je šířka můstku,
 $h \text{ [mm]}$ je výška můstku,
 $\sigma_p \text{ [MPa]}$ je přirozený přetvárný odpor.

4.6.2 Výpočet kovací síly podle Brjuchanova – Rebelského [9]

$$S_d = \frac{\pi \cdot 145^2}{4} = 16513 \text{ mm}^2$$

$$F_K = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v} \right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_d \text{ [N]} \quad (4.12)$$

$$F_K = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 145) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{145} \right)^2 \cdot 115 \cdot 16513 = 19905487,78 \text{ N} = 19,91 \text{ MN}$$

4.6.3 Výpočet kovací síly dle Tomlenova [8]

Pro materiál 14 223: $C_0 = 4$,
 $R_{mT} = 59 \text{ MPa}$.

Kde: C_0 je součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teploty,
 $R_{mT} \text{ [Mpa]}$ je pevnost materiálu za kovací teploty.

- Rozměry výkovku

$$\begin{aligned} z_1 &= 3 \text{ mm} & \varnothing D_0 &= 159 \text{ mm} \\ z_2 &= 45 \text{ mm} & \varnothing D_1 &= 147 \text{ mm} \\ z_3 &= 85 \text{ mm} & \varnothing D_2 &= 95 \text{ mm} \\ z_4 &= 13 \text{ mm} & \varnothing D_3 &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta r_1 &= 6 \text{ mm} & \Delta z_1 &= 21 \text{ mm} \\ \Delta r_2 &= 26 \text{ mm} & \Delta z_2 &= 20 \text{ mm} \\ \Delta r_3 &= 22.5 \text{ mm} & \Delta z_3 &= 36 \text{ mm} \\ \Delta r_4 &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Výpočet přetvárných odporů

$$\sigma_{d0} = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 \text{ [Mpa]} \quad (4.13)$$

$$\sigma_{d0} = 1,285 \cdot 59.4 = 303,26 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{d1} = \sigma_{d0} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_1}{z_1} \text{ [Mpa]} \quad (4.14)$$

$$\sigma_{d1} = 303,26 + 59.4 \cdot \frac{6}{3} = 775,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d2} = \sigma_{d1} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_2}{z_2} = 775,26 + 59.4 \cdot \frac{26}{45} = 911,6 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{d3} = \sigma_{d2} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_3}{z_3} = 911,6 + 59.4 \cdot \frac{22,5}{85} = 974,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d4} = \sigma_{d3} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_4}{z_4} = 974,1 + 59.4 \cdot \frac{25}{13} = 1428 \text{ MPa}$$

- Určení souřadnic těžišť

$$r_1 = \frac{D_1}{2} + \frac{\Delta r_1}{2} \text{ [mm]} \quad (4.15)$$

$$r_1 = \frac{D_1}{2} + \frac{\Delta r_1}{2} = \frac{147}{2} + \frac{6}{2} = 76,5 \text{ mm}$$

$$r_2 = \frac{D_1}{2} + \frac{\Delta r_1}{3} = \frac{147}{2} + \frac{6}{3} = 75,5 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{D_2}{2} + \frac{\Delta r_2}{2} = \frac{95}{2} + \frac{26}{2} = 60,5 \text{ mm}$$

$$r_4 = \frac{D_2}{2} + \frac{\Delta r_2}{3} = \frac{95}{2} + \frac{26}{3} = 56,2 \text{ mm}$$

$$r_5 = \frac{D_3}{2} + \frac{\Delta r_3}{2} = \frac{50}{2} + \frac{22,5}{2} = 36,25 \text{ mm}$$

$$r_6 = \frac{D_3}{2} + \frac{\Delta r_3}{3} = \frac{50}{2} + \frac{22,5}{3} = 32,5 \text{ mm}$$

$$r_7 = \frac{\Delta r_4}{2} = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ mm}$$

$$r_8 = \frac{\Delta r_4}{3} = \frac{25}{3} = 8,3 \text{ mm}$$

- Výpočet dílčích ploch pod čarami přetvárných odporů

Tab. 4.10 Dílčí plochy pod křivkou napětí

Plocha	S_i [N.mm ⁻¹]	r_i [mm]	$S_i \cdot r_i$ [N]
I	1819,56	76,5	139196,34
II	1416	75,5	106908
III	20156,76	60,5	1219483,98
IV	1772,42	56,2	99610,004
V	20511	36,25	743523,75
VI	703,13	32,5	22851,725
VII	24352,5	12,5	304406,25
VIII	5673,8	8,3	47092,54
$\sum_{i=1}^n S_i \cdot r_i$			2683072,6

- Síla vznikající od normálových složek napětí

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n r_i \cdot S_i \text{ [N]} \quad (4.16)$$

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot 2683072,6 = 16858242,34 \text{ N} = 16,858 \text{ MN}$$

- Síla vznikající od tangenciálních složek napětí

$$F_T = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n \Delta S'_j \text{ [N]} \quad (4.17)$$

$$\sum_{j=1}^n \Delta S'_j = \Delta S'_1 + \Delta S'_2 + \Delta S'_3 = \pi \cdot D_1 \cdot \Delta z_1 + \pi \cdot D_2 \cdot \Delta z_2 + \pi \cdot D_3 \cdot \Delta z_3 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4.18)$$

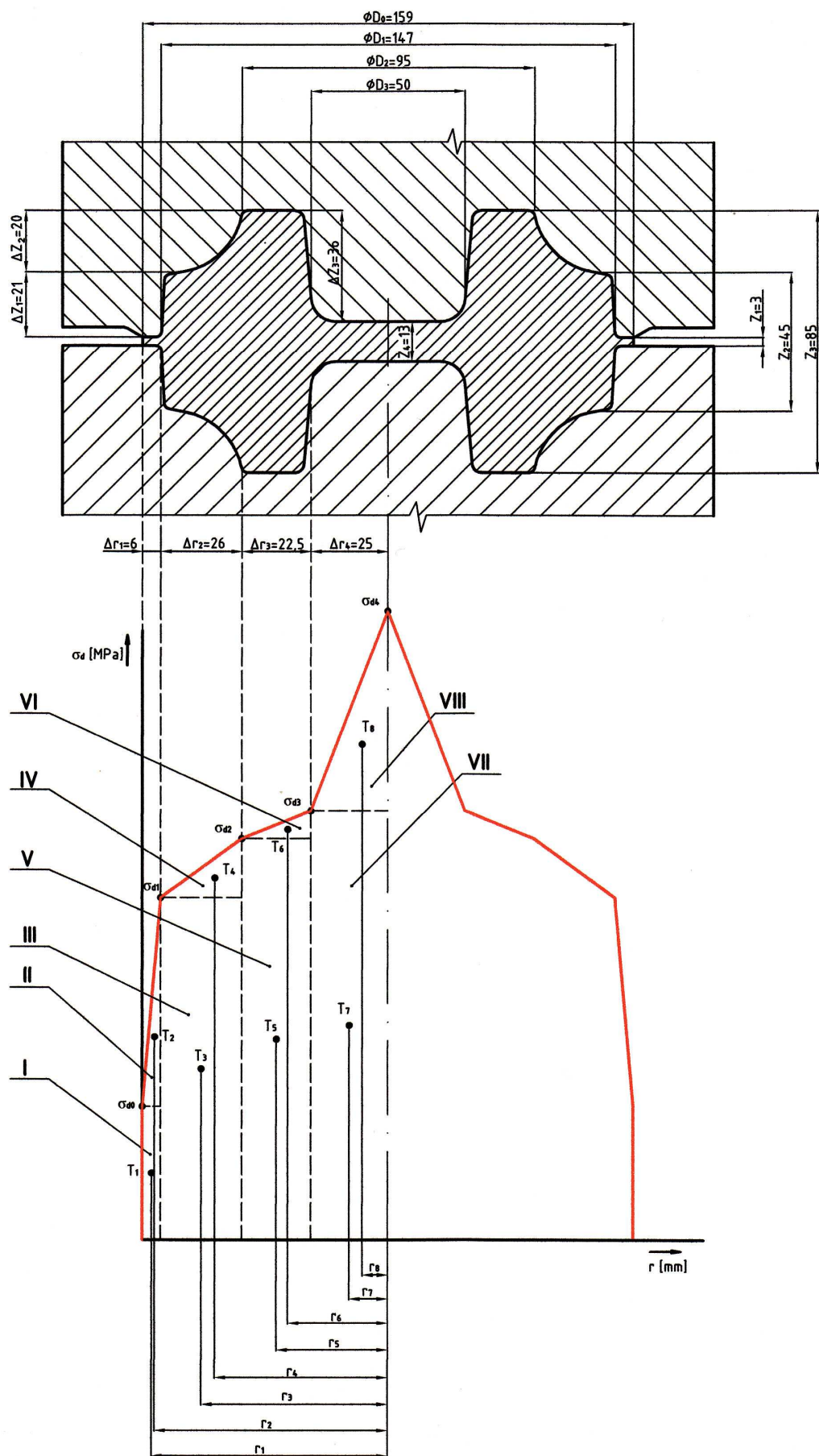
$$\sum_{j=1}^n \Delta S'_j = \pi \cdot 147,21 + \pi \cdot 95,20 + \pi \cdot 50,36 = 21322 \text{ mm}^2$$

$$F_T = \frac{59}{2} \cdot \pi \cdot 21322 = 1976057,65 \text{ N} = 1,976 \text{ MN}$$

- Výsledná kovací síla

$$F_K = F_N + F_T \text{ [N]} \quad (4.19)$$

$$F_K = F_N + F_T = 16858242,34 + 1976057,65 = 18834300 \text{ N} = 18,8343 \text{ MN}$$



Obr. 4.9 Schéma nárůstu normálových napětí (M 1:2)

4.6.4 Volba stroje pro tváření [10]

Svislý klikový lis je zvolen od firmy Šmeral Brno a vzhledem k vypočteným kovací silám bude postačovat i s rezervou typ LMZ 2500A.



Technické parametry stroje:

Jmenovitá tvářecí síla [MN]	25
Zdvih [mm]	320
Sevření [mm]	910
Průchod [mm]	1470
Přestavení beranu [mm]	10
Počet zdvihů [min ⁻¹]	70
Rozměr stolu [mm]	1420 x 1400
Rozměr beranu [mm]	1350 x 1250
Celkový instalovaný výkon [kW]	145

Obr. 4.10 Svislý kovací lis LMZ 2500A

4.7 Výpočet ostříhovací síly

4.7.1 Ostříhovací síla výronku [9]

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (4.20)$$

$$\tau_s = 0,8 \cdot 981 = 784,8 \text{ MPa}$$

$$O_V = 463 \text{ mm}$$

$$h = 3 \text{ mm}$$

$$n = (1,2 \text{ až } 1,55)$$

$$F_{OV} = n \cdot h \cdot O_V \cdot \tau_s \text{ [N]} \quad (4.21)$$

$$F_{OV} = 1,3 \cdot 3 \cdot 463 \cdot 784,8 = 1417114 \text{ N} = 1,4171 \text{ MN}$$

Kde: R_m [Mpa] je mez pevnosti materiálu 14223,

τ_s [Mpa] je pevnost materiálu ve stříhu,

O_V [mm] je obvod výkovku v dělicí rovině,

h [mm] je výška můstku,

n je zvyšující koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek.

4.7.2 Děrovací síla [9]

$$h_B = 13 \text{ mm}$$

$$O_B = 157 \text{ mm}$$

$$F_{OB} = n \cdot h_B \cdot O_B \cdot \tau_s \text{ [N]} \quad (4.22)$$

$$F_{OB} = 1,3 \cdot 13 \cdot 157 \cdot 784,8 = 2082310 \text{ N} = 2,0823 \text{ MN}$$

Kde: O_B [mm] je obvod výkovku v místě blány,

h_B [mm] je šířka blány.

4.7.3 Celková střížná síla

$$F_S = F_{OV} + F_{OB} \text{ [N]} \quad (4.23)$$

$$F_S = 1,4171 + 2,0823 = 3,4994 \text{ MN}$$

4.7.4 Volba stroje [11]

Ostříhovací lis je zvolen od firmy Šmeral Brno a vzhledem k vypočteným střížným silám bude postačovat i s rezervou typ LDO 500 A/S.



Obr. 4.11 Ostříhovací lis
LDO 500 A/S

Technické parametry stroje:

Jmenovitá tvářecí síla [kN]	5000
Zdvih [mm]	250
Sevření [mm]	680
Přestavení beranu [mm]	160
Počet zdvihů [min ⁻¹]	38
Rozměr stolu [mm]	1570 x 1100
Rozměr beranu [mm]	1570 x 1100

4.8 Technologický postup

Tab. 4.11 Postupový list

Technologický postup			
Název výkovku: OZUBENÉ KOLO (VÝ- KOVEK)		Číslo výkresu součásti: A3 – BP – 2010 - 001	Číslo výkresu výkovku: A3 – BP – 2010 - 002
Číslo Operace:	Název operace:		
1.	Dělení materiálu - řezání		
	Jakost: 14 223.0	Rozměr: Ø 88 x 173 mm	ČSN materiálu: 42 6510
	Stroj: Pásová pila Pegas 235 x 315 A-CNC	Hmotnost přířezu: 8,25 kg	
2.	Kontrola přířezu		
	Kontrola rozměru a hmotnosti s četností 10%		
3.	Zápustkové kování v lince		
	3.1	Indukční ohřev	
		Stroj: SOP 250 kW	Teplota: 1180 ± 20 °C
	3.2	Kování	
		Stroj: LMZ 2500	Kovací teplota: 1000 až 1100
		Kovací síla: 19,91 MN	
		3.2.1 Předkování	
	3.2.2 Dokování		
	3.3	Ostřih	
		Stroj: LDO 500 A/S	Hmotnost výkovku: 7,4 kg
Střížná síla: 3,499 MN			
4.	Tepelné zpracování		
	Druh: Normalizační žíhání na 530 až 735 MPa	Agregát: Vozová pec	
5.	Kontrola tvrdosti		
	Požadovaná tvrdost: 58 až 62 HRC		
6.	Tryskání		
	Stroj: Tryskací zařízení PTB 3		
Vyhotovil: Veselý Milan		Datum: 5.3.2010	

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tímto zhodnocením se budou porovnávat dvě technologie výroby, a to výroba ozubeného kola obráběním a zápusťkovým kování. Pro stanovení kalkulace je zapotřebí propočítat základní položky:

- 1) Náklady na materiál
- 2) Mzdy výrobních dělníků
- 3) Vratný odpad
- 4) Dílenská režie
- 5) Podniková režie
- 6) Další náklady (nevýrobní a zvláštní náklady)

• Vstupní údaje

Počet vyráběných kusů:	$n = 100\,000 \text{ ks.rok}^{-1}$
Hmotnost konečného výrobku:	$m_c = 4,5 \text{ kg}$
Rozměr polotovaru pro obrábění:	$\varnothing 150 - 84$
Hmotnost polotovaru pro obrábění:	$m_{po} = 11,6 \text{ kg}$
Rozměr polotovaru pro kování:	$\varnothing 88 - 173$
Hmotnost polotovaru pro kování:	$m_{pk} = 8,25 \text{ kg}$
Hmotnost výkovku:	$m_v = 7,4 \text{ kg}$
Cena 1 kg oceli 14223.0:	$C_m = 31 \text{ Kč.kg}^{-1}$
Výkupní cena vratného odpadu:	$C_v = 6 \text{ Kč.kg}^{-1}$
Výkupní cena vratného odpadu ve formě třísek:	$C_{vo} = 1,5 \text{ Kč.kg}^{-1}$

5.1 Náklady na výrobu obráběním

• Náklady na materiál

$$\begin{aligned} \text{Náklady na jeden kus: } N_{m1} &= C_m \cdot m_{po} \text{ [Kč]} \\ N_{m1} &= 31 \cdot 11,6 = 359,6 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Celkové náklady na materiál: } N_m &= N_{m1} \cdot n \text{ [Kč]} \\ N_m &= 359,6 \cdot 100\,000 = 35\,960\,000 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (5.2)$$

• Mzdy výrobních dělníků

Výrobní čas jedné součásti: $t_k = 21 \text{ min}$
Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_v = 95 \text{ Kč}$

$$\begin{aligned} \text{Mzdy na jeden kus: } M_{v1} &= \frac{t_k}{60} \cdot m_v \text{ [Kč]} \\ M_{v1} &= \frac{21}{60} \cdot 95 = 33,25 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Celkové mzdy: } M_v &= M_{v1} \cdot n \text{ [Kč]} \\ M_v &= 33,25 \cdot 100\,000 = 3\,325\,000 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (5.4)$$

• Vratný odpad

$$\begin{aligned} \text{Odpad z jednoho kusu polotovaru: } m_1 &= m_{po} - m_c \text{ [kg]} \\ m_1 &= 11,6 - 4,5 = 7,1 \text{ kg} \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} \text{Hmotnost celkového odpadu: } m_{co} &= m_1 \cdot n \text{ [kg]} \\ m_{co} &= 7,1 \cdot 100\,000 = 710\,000 \text{ kg} \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$\begin{aligned} \text{Cena vratného odpadu: } N_o &= m_{co} \cdot C_{vo} \text{ [Kč]} \\ N_o &= 710\,000 \cdot 1,5 = 1\,065\,000 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (5.7)$$

- Dílenská režie

Třískové obrábění činí 650 % mezd výrobních dělníků.

$$m_D = \frac{650}{100} \cdot M_V \text{ [Kč]} \quad (5.8)$$

$$m_D = \frac{650}{100} \cdot 3\,325\,000 = 21\,612\,500 \text{ Kč}$$

- Podniková režie

Činí 200 % mezd výrobních dělníků.

$$m_P = \frac{200}{100} \cdot M_V \text{ [Kč]} \quad (5.9)$$

$$m_P = \frac{200}{100} \cdot 3\,325\,000 = 6\,650\,000 \text{ Kč}$$

- Další náklady

Vedlejšími výdaji při obrábění jsou náklady na nářadí, nástroje, řezné kapaliny atd.

$V_n = 450\,000 \text{ Kč}$

5.2 Náklady na výrobu zápusťkovým kováním a následným obráběním

- Náklady na materiál

$$\begin{aligned} \text{Náklady na jeden kus: } N_{m1} &= C_m \cdot m_{pk} \text{ [Kč]} \\ N_{m1} &= 31,8,25 = 255,7 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$\begin{aligned} \text{Celkové náklady na materiál: } N_m &= N_{m1} \cdot n \text{ [Kč]} \\ N_m &= N_{m1} \cdot n = 255,7 \cdot 100\,000 = 25\,570\,000 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (5.11)$$

- Mzdy výrobních dělníků (kování)

Výrobní čas jedné součásti: $t_k = 6 \text{ min}$

Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_V = 95 \text{ Kč}$

$$\text{Mzdy na jeden kus: } M_{V1} = \frac{t_k}{60} \cdot m_V \text{ [Kč]} \quad (5.12)$$

$$M_{V1} = \frac{6}{60} \cdot 95 = 9,5 \text{ Kč}$$

$$\begin{aligned} \text{Celkové mzdy: } M_V &= M_{V1} \cdot n \text{ [Kč]} \\ M_V &= 9,5 \cdot 100\,000 = 950\,000 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (5.13)$$

- Mzdy výrobních dělníků (následné obrábění)

Výrobní čas jedné součásti: $t_k = 12 \text{ min}$

Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_V = 95 \text{ Kč}$

$$\text{Mzdy na jeden kus: } M_{V1} = \frac{t_k}{60} \cdot m_V \text{ [Kč]} \quad (5.14)$$

$$M_{V1} = \frac{12}{60} \cdot 95 = 19 \text{ Kč}$$

$$\begin{aligned} \text{Celkové mzdy: } M_V &= M_{V1} \cdot n \text{ [Kč]} \\ M_V &= 19 \cdot 100\,000 = 1\,900\,000 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (5.15)$$

Celkové mzdy obou metod: $M_{vc} = 2\,850\,000 \text{ Kč}$

- Vratný odpad (kování)

$$\text{Odpad z jednoho kusu polotovaru: } m_1 = m_{pk} - m_v \text{ [kg]} \quad (5.16)$$

$$m_1 = 8,25 - 7,4 = 0,85 \text{ kg}$$

$$\text{Hmotnost celkového odpadu: } m_{co} = m_1 \cdot n \text{ [kg]} \quad (5.17)$$

$$m_{co} = 0,85 \cdot 100\,000 = 85\,000 \text{ kg}$$

$$\text{Cena vratného odpadu: } N_o = m_{co} \cdot C_{vo} \text{ [Kč]} \quad (5.18)$$

$$N_o = 85\,000 \cdot 6 = 510\,000 \text{ Kč}$$

- Vratný odpad (následné obrábění)

$$\text{Odpad z jednoho kusu polotovaru: } m_1 = m_v - m_c \text{ [kg]} \quad (5.19)$$

$$m_1 = 7,4 - 4,5 = 2,9 \text{ kg}$$

$$\text{Hmotnost celkového odpadu: } m_{co} = m_1 \cdot n \text{ [kg]} \quad (5.20)$$

$$m_{co} = 2,9 \cdot 100\,000 = 290\,000 \text{ kg}$$

$$\text{Cena vratného odpadu: } N_o = m_{co} \cdot C_{vo} \text{ [Kč]} \quad (5.21)$$

$$N_o = 290\,000 \cdot 1,5 = 435\,000 \text{ Kč}$$

$$\text{Cena vratného odpadu celkem: } N_{oc} = 945\,000 \text{ Kč}$$

- Dílenská režie

Pro zápusťkové kování činí 1000 % mezd výrobních dělníků

$$m_D = \frac{1000}{100} \cdot M_v \text{ [Kč]} \quad (5.22)$$

$$m_D = \frac{1000}{100} \cdot 950\,000 = 9\,500\,000 \text{ Kč}$$

Třískové obrábění činí 650 % mezd výrobních dělníků.

$$m_D = \frac{650}{100} \cdot M_v \text{ [Kč]} \quad (5.23)$$

$$m_D = \frac{650}{100} \cdot 1\,900\,000 = 12\,350\,000 \text{ Kč}$$

- Podniková režie

$$m_P = \frac{200}{100} \cdot M_v \text{ [Kč]} \quad (5.24)$$

$$m_P = \frac{200}{100} \cdot 2\,850\,000 = 5\,700\,000 \text{ Kč}$$

- Další náklady

Vedlejšími výdaji při kování jsou náklady zápusťky, ostříhovací nástroje atd.

$$V_n = 850\,000 \text{ Kč}$$

5.3 Porovnání nákladů

Tab. 5.1 Porovnání základních parametrů

Technologie	Obrábění	Kování + obrábění
Spotřeba materiálu [kg.kus ⁻¹]	11,6	8,25
Hmotnost odpadu [kg.ks ⁻¹]	7,1	3,75
Pracnost [min.kus ⁻¹]	21	18

Tab. 5.2 Úspora kování oproti obrábění v Kč

Položka	Obrábění	Kování + obrábění	Úspora
Materiál	35 960 000	25 570 000	10 390 000
Mzdy výrobních dělníků	3 325 000	2 850 000	475 000
Dílenská režie	21 612 500	21 850 000	-237 500
Podniková režie	6 650 000	5 700 000	950 000
Další náklady	450 000	850 000	-400 000
Vratný odpad	-1 065 000	-945 000	-120 000
Celkové náklady	66 932 500	55 875 000	11 057 500
Náklady na jeden kus	669,33	558,75	110,58

6 ZÁVĚR

Bakalářská práce byla věnována technologickému návrhu výroby ozubeného kola objemovým tvářením – zápustkovým kováním. V úvodní části práce jsou okrajově popsány nejdůležitější pojmy z oblasti teorie kování, základní způsoby volného a strojního kování, ale největší část práce je věnována právě zápustkovému kování. V literární studii byla popsána celá problematika této technologie zaměřená především na dva hlavní způsoby kování, kterými jsou tváření na bucharech a lisech. U zadané součásti bylo úkolem aplikovat některou z těchto technologií s ohledem na cyklicky namáhané ozubené kolo a potřebu zvýšení jeho mechanických vlastností a životnosti. V praktické části je proto tato problematika rozebrána do větších detailů, kde je provedeno zatřídění výkovku podle složitosti tvaru a zvolení veškerých přídavek a určení stupně přesnosti a příslušné úchytky rozměrů. Pro zvolení technologie výroby výkovku na svislém kovací lise bylo rozhodující dosažení vyšší přesnosti, lepší zatékání kovu ve směru kolmém na působící sílu a tím vhodné uspořádání vláken tvářeného materiálu. Návrh dále obsahuje důležité kapitoly, patří mezi ně volba výronkové drážky, dělicí roviny, návrh polotovaru a jeho ohřev. Pro výrobu zápustek byla zvolena chromová ocel 19 552, má vyšší popouštěcí teplotu a je vhodná pro středně velké zápustky jak pro lis, tak pro buchary. Technologický postup výroby byl zvolen na dvě operace v předkovací a dokončovací dutině zápustky. V první fázi dochází k pěchování polotovaru, což zaručuje lepší rozložení materiálu pro kování v dutině dokončovací. Ulpívání výkovku je řešeno navržením kolíkových vyhazovačů, které jsou nejlépe zřejmé z přiložené výkresové dokumentace výkresu sestavení nebo výrobních výkresů obou zápustek. Dle vypočtených kovacích, ostřihovacích a děrovacích sil jsou navrženy vhodné tvářecí stroje od firmy ŠMERAL a.s. Brno. Závěr práce byl věnován technicko-ekonomickému zhodnocení, v němž se porovnávají dvě technologie výroby, a to výroba ozubeného kola obráběním a zápustkovým kováním. Po hrubém propočítání a porovnání těchto technologií byla zjištěna značná úspora kování oproti obrábění, která přesahuje 100 Kč na jeden kus. Pro stanovení této kalkulace byly zohledněny mzdy dělníků, náklady na materiál, vratný odpad, dílenská a podniková režie a některé nevýrobní a zvláštní náklady. Z celého návrhu a konečných propočtů lze usoudit, že objemové tváření patří v některých případech k nenahraditelným technologiím výroby a při použití vyššího stupně automatizace se zařazuje mezi moderní průmyslovou výrobu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HAŠEK, V. *Kování*. Vyd.1. Praha: SNTL, 1965. 730 s. ISBN 04-233-65.
- [2] NOVOTNÝ, K. *Speciální technologie výroby: Část tváření*. Brno: VUT, 2002. 89 s.
- [3] *Strojnílyceum* [online]. 2008 [cit. 2010-02-20]. Dostupný z WWW:
<<http://www.strojnilyceum.wz.cz/maturita/tep/tep12.pdf>>.
- [4] LENVEBER, J., RASA, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Vyd.3. Praha: Albra, 2003. 865 s. ISBN 90-7183-008-9.
- [5] DVOŘÁK, M. a kolektiv. *Technologie II*. Brno: VUT, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
- [6] ČSN 42 9002. *Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 15.7.1968. 36 s. DT 669-134:621.73.043.
- [7] 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. MDT 621.73.043.
- [8] ČSN 22 8306. *Zápusťky pro svislé kovací lisý: Technické požadavky na konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 26.11.1990. 30 s. MDT 621.73.073.
- [9] DRASLÍK, F. *Výpočty z oboru kování a lisování*. Vyd.1. Praha: SNTL, 1972. 192 s. ISBN 04-227-72.
- [10] *Smeral* [online]. Brno: 1995 [cit. 2010-03-05]. Svislé kovací lisý. Dostupné z WWW:
<<http://www.smeral.cz/CZTvarKov.html>>.
- [11] *Smeral* [online]. Brno: 1995 [cit. 2010-03-05]. Ostřihovací lisý. Dostupné z WWW:
<<http://www.smeral.cz/CZTvarOst.html>>.
- [12] AUGUSTIN, F. *Strojírenská technologie: Výrobní pomůcky*. Vyd.1. Praha: SNTL, 1978. 352 s. ISBN 04-224-78.
- [13] NOVOTNÝ, K. *Tvářecí nástroje*. Vyd.1. Brno: VUT, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- [14] *Zbirovia* [online]. 2008 [cit. 2010-03-20]. Dostupný z WWW:
<<http://www.zbirovia.cz/forging.php?lang=cze>>.
- [15] ČSN 22 8308. *Zápusťky pro buchary: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 7.5.1990. 18 s. DT 621.073:621.974.
- [16] ČSN 21 1413. *Upínání zápusťek pro padací a parovzdušné buchary*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 17.2.1970. 10 s. DT 621.974.2.074.
- [17] DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., ŽÁK, L. *Technologie tváření - návody do cvičení*. Vyd.1. Brno: VUT, 2000. 103 s. ISBN 80-214-1723-4.
- [18] ČSN 21 1420. *Upínání zápusťek na svislých klikových lisech*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 26.2.1970. 17s. DT 621.979.131.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Práce bucharu pro kruhové výkovky	[J]
A _n	Práce bucharu pro nekruhové výkovky	[J]
B _{Dstřed}	Šířka nekruhového výkovku	[cm]
b	Šířka můstku	[mm]
b _Z	Délka zásobníku	[mm]
C _m	Cena 1 kg oceli 14223.0	[Kč.kg ⁻¹]
C ₀	Sou. snížení plasticity mat. v oblasti výronku vlivem poklesu tep.	[-]
C _v	Výkupní cena vratného odpadu	[Kč.kg ⁻¹]
C _{vo}	Výkupní cena vratného odpadu ve formě třísek	[Kč.kg ⁻¹]
D _b	Průměr výkovku s můstkem	[mm]
D ₀	Průměr polotovaru	[mm]
D _{0`}	Předběžný průměr polotovaru	[mm]
D _p	Průměr dosedací části prstencového vyhadzovače	[mm]
D _t	Roztečný průměr otvorů pro vyrážecí kolík upínače zápustek	[mm]
D _V	Průměr výkovku bez výronku	[mm]
d _p	Průměr otvoru pro prstencový vyhadzovač	[mm]
d _k	Průměr otvoru pro vyhadzovací kolík	[mm]
d _v	Průměr otvoru pro vyrážecí kolík	[mm]
F _D	Průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu	[cm ²]
F _K	Kovací síla	[N]
F _N	Síla vznikající od normálových složek napětí	[N]
F _{OB}	Děrovací síla	[N]
F _{OV}	Ostřihovací síla výronku	[N]
F _S	Celková střížná síla	[N]
F _T	Síla vznikající od tangenciálních složek napětí	[N]
H	Tloušťka blány	[mm]
H _D	Výška dutiny spodní dutiny	[mm]
h	Výška můstku	[mm]
h _t	Teoretická výška můstku	[mm]
L ₀	Délka polotovaru	[mm]
L _{0`}	Předběžná délka polotovaru	[mm]
M _V	Celkové mzdy	[Kč]
M _{V1}	Mzdy na jeden kus	[Kč]
m _c	Hmotnost konečného výrobku	[kg]
m _{co}	Hmotnost celkového odpadu	[kg]
m _D	Dílenská režie	[Kč]
m _o	Hmotnost přířezu	[kg]
m _p	Hmotnost polotovaru	[kg]
m _{po}	Hmotnost polotovaru pro obrábění	[kg]
m _{pk}	Hmotnost polotovaru pro kování	[kg]
m _v	Hmotnost výkovku	[kg]
m ₁	Odpad z jednoho kusu polotovaru	[kg]
N _m	Celkové náklady na materiál	[Kč]
N _{m1}	Náklady na jeden kus	[Kč]
N _o	Cena vratného odpadu	[Kč]
n	Výška zásobníku	[mm]
O _B	Obvod výkovku v místě blány	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
O_V	Obvod výkovku v dělicí rovině	[mm]
R	Zaoblení přechodů	[mm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{mT}	Pevnost materiálu za kovací teploty	[MPa]
r	Zaoblení hran	[mm]
r_i	Poloha těžišť	[mm]
S_d	Plocha průmětu výkovku do dělicí roviny	[mm ²]
S_V	Průmět plochy výkovku bez výronku	[cm ²]
T_{tav}	Teplota tavení kovu	[°C]
T_{rek}	Rekrytalizační teplota	[°C]
t_k	Výrobní čas jedné součásti	[min]
V_C	Celkový objem výkovku	[mm ³]
V_n	Vedlejší výdaje	[Kč]
V_0	Objem polotovaru	[mm ³]
V_P	Objem přídatku na propal	[mm ³]
V_V	Objem výkovku	[mm ³]
$V_{VÝR}$	Objem výronku	[mm ³]
λ	Štíhlostní poměr	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ	Měrná hmotnost materiálu	[kg.m ⁻³]
σ_{di}	Přetvárné odpory	[MPa]
σ_p	Přirozený přetvárný odpor	[MPa]
σ_s	Mez pevnosti materiálu za kovací teploty	[MPa]
τ_s	Pevnost materiálu ve stříhu	[MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Výkres ozubeného kola	A3 – BP – 2010 - 001
Příloha č. 2	Výkres výkovku	A3 – BP – 2010 - 002
Příloha č. 3	Výkres teplého výkovku	A3 – BP – 2010 - 003
Příloha č. 4	Výkres předkovací zápustky	A1 – BP – 2010 - 004
Příloha č. 5	Výkres dokončovací zápustky	A1 – BP – 2010 - 005
Příloha č. 6	Výkres kovacího nástroje	A1 – BP – 2010 - 00