



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ŘETĚZOVÉHO KOLA

PRODUCTION SPROCKET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Diviš

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Adam Diviš
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
Akademický rok:	2016/17

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

Výroba řetězového kola

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Účelem práce je prověřit výrobní možnosti a navrhnout postup výroby řetězového kola. Simplexní řetězové kolo s nábojem je určené pro dopravní řetěz a je použito v dopravníkovém systému. Pro řetězové kolo je předepsán materiál C45, který umožňuje povrchové kalení ozubení.

Cíle bakalářské práce:

- Analyzovat možné způsoby výroby řešené součásti.
- Vybrat optimální technologii výroby a pro zvolenou výrobní technologii zpracovat literární studii.
- Sestavit technologický postup výroby doložený nezbytnými technologickými výpočty.
- Zpracovat výkresovou dokumentaci nástrojů.
- Zpracovat technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

Seznam doporučené literatury:

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press. 2007,365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o.,2006, 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

ASM-Metals Handbook: Formig and Forging. Vol.14. USA ASM International. 2004,S.978. ISBN 0-87170-020-4

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření II. Brno: Univerzita obrany, 2008. 106 s. ISBN 978-8-7213-580-2.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně. 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

DIVIŠ Adam: Výroba řetězového kola.

Práce předkládá návrh technologie výroby řetězového kola pomocí zápusťkového kování z oceli jakosti C45. Na základě literární studie problematiky zápusťkového kování na klikovém kovacím lisu a výpočtů byl navržen výrobní postup na tři kovací operace. Rozměry výkovku a nástroje jsou konstruovány podle příslušných norem. Kování bude probíhat na kovacím lisu LZK 1000 P/SH, s nominální tvářecí silou 10 MN. Zápusťky budou vyrobeny z nástrojové oceli jakosti 19 662 tepelně zpracované podle výkresové dokumentace.

Klíčová slova: Ocel C45, objemové tváření, klikový kovací lis, zápusťkové kování, řetězové kolo

ABSTRACT

DIVIŠ Adam: Production sprocket.

The project elaborated design of technology production of the sprocket using die forging from steel C45. Pursuant to of the literary pursuit a problem of the die forging and calculation was designed manufacturing process for three operations. Dimensions of forging and tool are designed according to appropriate standards. Forging will be done on forging press LZK 1000 P/SH, with nominal tensile force 10 MN. Dies will be made from instrumental steel 19 662 heat-worked according to drawing documentation.

Keywords: C45 steel, volumetric forming, crank forging press, die forging, sprocket

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DIVIŠ, Adam. *Výroba řetězového kola*. Brno, 2017. 43s, 7 výkresů, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

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 doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	10
1 ROZBOR SOUČÁSTI	11
1.1 Varianty výroby	12
2 TECHNOLOGIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ ZA TEPLA	14
2.1 Zápustkové kování	15
2.2 Stroje pro zápustkové kování	15
2.2.1 Buchary.....	16
2.2.2 Lisy.....	16
2.3 Ohřev na kovací teplotu	17
2.3.1 Ohřívací zařízení	17
2.4 Konstrukce zápustkového výkovku	18
2.4.1 Přidávky na obrábění.....	18
2.4.2 Přidávky technologické	19
2.4.3 Rozdělení výkovků podle tvarové složitosti.....	21
2.4.4 Úchyly rozměrů a tvarů výkovku.....	23
2.5 Konstrukce zápustek pro svislé klikové kovací lisy	25
2.5.1 Upínání zápustek.....	25
2.5.2 Výronková drážka	26
2.5.3 Vyhazování výkovku.....	27
3 NÁVRH VÝROBY	28
3.1 Návrh výkovku	28
3.2 Tvar a rozměry výronkové drážky	30
3.3 Návrh polotovaru	30
3.4 Ohřev polotovaru	31
3.5 Výpočet kovací síly	32
3.5.1 Výpočet kovací síly podle Brjuchanov – Rebelského.....	32
3.5.2 Výpočet kovací síly podle Storoževa	32
3.5.3 Výpočet síly podle Tomlenova	33
3.5.4 Porovnání vypočtených sil.....	36

3.6	Výpočet ostřihovací síly.....	36
3.7	Výpočet síly pro dělení materiálu stříháním	36
3.8	Volba stojů.....	37
3.9	Konstrukce zápustek.....	38
3.9.1	Volba vyhazovače.....	38
3.10	Technologický postup kování.....	39
4	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	40
4.1	Náklady na výrobu obráběním	40
4.2	Náklady na výrobu zápustkovým kovááním a následným obráběním	41
4.3	Zhodnocení technicko – ekonomických výpočtů.....	42
5	ZÁVĚR	43
	Seznam použitých zdrojů	
	Seznam použitých symbolů a zkratk	
	Seznam obrázků	
	Seznam tabulek	
	Seznam výkresů	

ÚVOD [3], [7], [24]

Kovářství je jedním z nejstarších řemesel a patřilo k nejdůležitějším oborům lidské činnosti, dá se říci, že schopnost zpracovávat kov je jedním ze základních hledisek nahlížení na vyspělost starověkých civilizací. Prvotní důkazy o zpracování kovů pomocí kování jsou již z 3. tisíciletí před naším letopočtem. Touto technologií se vyráběli věci od kuchyňského nádobí, přes nástroje až po zbraně. Nejprve se kovalo jen pomocí lidské síly, až začátkem 14. století se objevila snaha o automatizaci procesu pomocí vodního kola. Větší rozmach přišel až na počátku 19. století, kde s rozvojem železniční dopravy značně vzrostlo množství zpracovávaného materiálu, bylo nutné zavést nové technologie, a proto byly zkonstruovány první padací buchary a následně i kovací lisny.

V dnešní době se kované výrobky používají ve všech odvětvích průmyslu. Nejvyužívanější jsou však v automobilovém, vojenském či leteckém průmyslu (viz příklady výkovek na obr. 1). Nepoužívají se pouze oceli, ale i slitiny různých kovů z důvodů zjednodušení hmotnosti při zachování pevnosti na úrovni oceli.

Existuje mnoho způsobů kování, které se vyznačují použitými typy nástrojů či strojů, avšak základní rozdělení je na kování volné a zápusťkové. Mezi hlavní výhody kování patří vznik vláknité struktury vnesením plastických deformací při tváření za tepla a vytvoření homogennější struktury, čímž se zvýší mechanické vlastnosti materiálu zejména jeho pevnost.

Zápusťkovým kovááním lze dosáhnout rychlé a přesné výroby. K tomu jsou potřeba stejně nebo více rozměrově přesné nástroje – zápusťky. Výroba takovýchto nástrojů je velice drahá, a proto, aby se výroba zápusťkovým kovááním vyplatila, musí se kovat ve velkých sériích.

Zápusťkové výkovky se vyznačují optimálním průběhem vláken, čímž se výrazně zlepšují mechanické vlastnosti a díky přesnosti výkovek lze kovat buď na hotové rozměry, nebo s minimálními přídávky na obrábění.

Cílem práce je zhodnotit možnosti výroby zadané součásti a zpracovat pro nejvhodnější metodu literární studii na toto téma.



Obr. 1 Příklady výkovek zápusťkového kování [18], [26]

1 ROZBOR SOUČÁSTI [27]

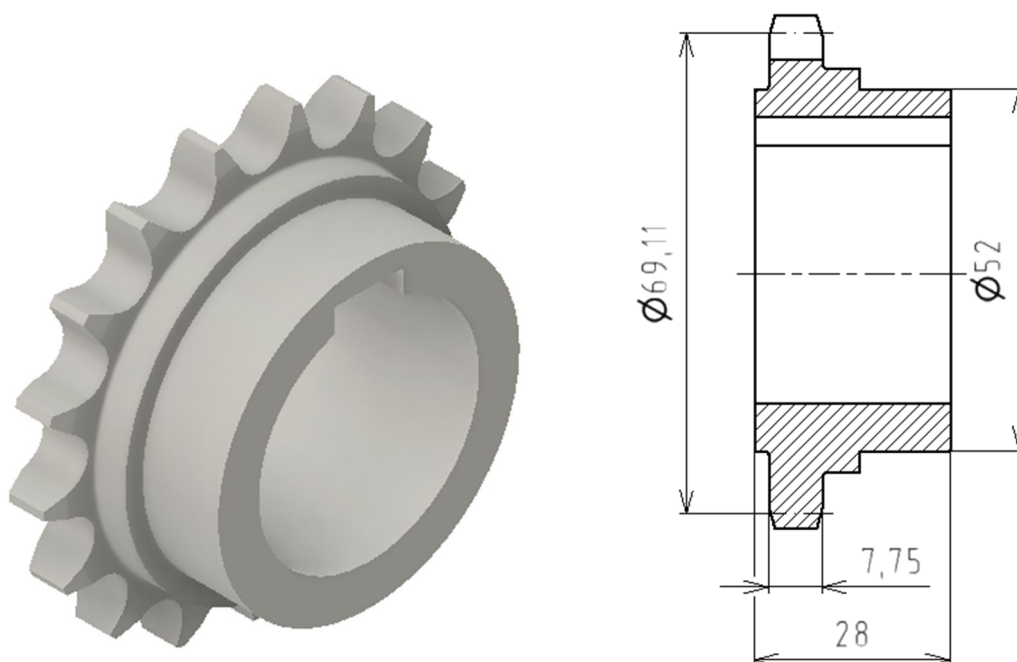
Zadaná součást (číslo výkresu A4_BP_2017_01) je řetězové kolo s nábojem (viz obr. 2) použité v dopravníkovém systému, které od hřídele pomocí pera přenáší kroučící moment přes dopravní řetěz na poháněné kolo. Poloha náboje na hřídeli je zajištěna pomocí přitlačné matice s podložkou a z druhé strany osazením hřídele. U součásti se požadují zvýšené mechanické vlastnosti s jakostí oceli C45.

Ocel C45 (ČSN ekvivalent 12 050) je houževnatá, velmi dobře obrobitelná ušlechtilá uhlíková ocel s dobrou tvarovou stabilitou po tepelném zpracování, vhodná k zušlechťení a povrchovému kalení. Používá se pro pevnostní díly ve všeobecném strojírenství, je vhodná zejména pro tepelně zpracované díly, kde jsou mechanické vlastnosti oceli maximálně využity. Mechanické vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v tabulce 1. Ocel C45 má rozsahy teplot pro tepelné zpracování:

- tváření za tepla 850 až 1150 °C
- normalizační žíhání 840 až 880 °C
- žíhání na měkko 650 až 700 °C
- kalení 820 až 860 °C
- popouštění 550 až 660 °C

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení oceli C45. [27]

Materiál	Ocel C45 (1.1191)				
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A [%]			Mez kluzu Re [MPa]
	650-800	16			430
Chemické složení	Uhlík – C [%]	Mangan – Mn [%]	Křemík – Si [%]	Síra - S [%]	Fosfor – P [%]
	0,42-0,50	0,50-0,80	max. 0,4	max. 0,035	max. 0,035

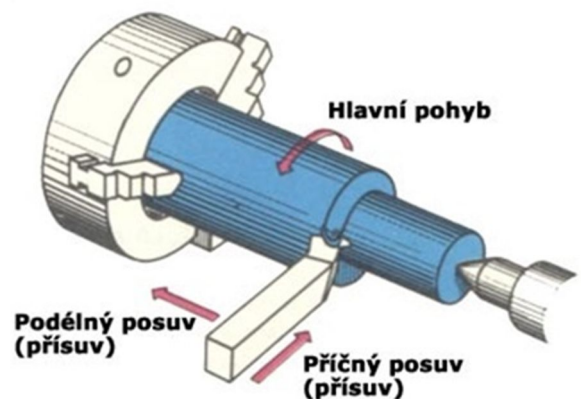


Obr. 2 3D model a základní rozměry součásti

1.1 Varianty výroby [4], [8], [23], [28]

Řetězové kolo s nábojem lze vyrobit různými metodami, např. obráběním, odléváním nebo objemovým tvářením za tepla – kovááním. Pro správnou volbu postupu výroby je nutné vzít v úvahu případné klady a zápory každé výrobní technologie, aby docházelo k efektivnímu hospodaření s materiálem, energií a součást splnila požadavky na mechanické vlastnosti.

- Výrobou třískovým obráběním (viz schéma na obr. 3) lze dosáhnout vysoké přesnosti a jakosti povrchu, ale nevýhodou jsou přerušená vlákna což má za efekt snížení pevnosti materiálu. Dále při obrábění hutního polotovaru vzniká velké množství odpadu ve formě třísek, výrobní časy jsou mnohonásobně delší než u jiných technologií a je zde velká spotřeba rezných nástrojů, které vydrží jen několik minut v záběru. Z tohoto důvodu se tato technologie používá pro malosériovou výrobu nebo jako dokončovací operace funkčních ploch polotovarů vyrobených odléváním či tvářením.



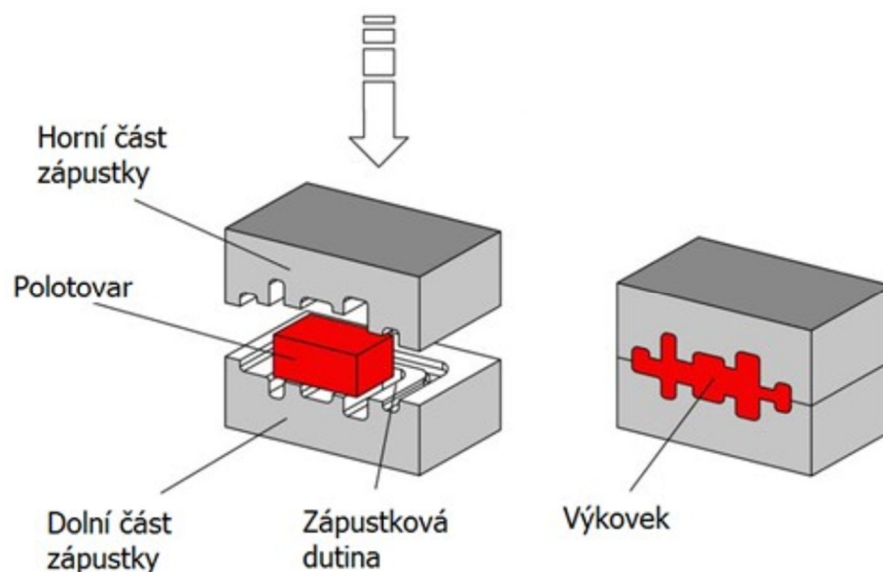
Obr. 3 Schéma soustružení [28]

- Odlévání je technologie (viz foto na obr. 4), která se vyznačuje dobrou produktivitou a výrazně lepším využitím materiálu než v případě technologie obráběním. Vytvořený odlitek je buď hotový výrobek, nebo polotovar pro následné opracování funkčních ploch. Cena výrobků pomocí této technologie je většinou nižší než v případě ostatních technologií. U odlitků nedochází k požadovanému zpevnění součásti, ani k vytvoření vláknitosti ve struktuře materiálu. Vlivem procesu chladnutí vzniká heterogenní struktura, která způsobuje rozdílné mechanické vlastnosti na povrchu a uvnitř součásti. Tato technologie je vhodná spíše pro tvarově složité součásti jinou metodou nevyrobitelné, kde nejsou takové nároky na mechanické vlastnosti.



Obr. 4 Odlévání do pískové formy [21]

- Poslední uvažovanou technologií je objemové tváření za tepla, resp. kování v zápustce (viz schéma na obr. 5). Využití této technologie je výhodné v případě sériové výroby z důvodu vyšších nákladů na výrobu nástroje – zápustky, která je vytvořena z nástrojové oceli a má životnost až několika stovek tisíců výkovků. Výhodami jsou velká produktivita a hospodaření s materiálem. Díky vytvoření vláknité struktury s ideálním průběhem vláken, které kopírují tvar součásti, mají výkovky lepší mechanické vlastnosti a tedy vyšší životnost u cyklicky namáhané součásti než u předešlých dvou technologií.



Obr. 5 Schéma zápustkového kování [25]

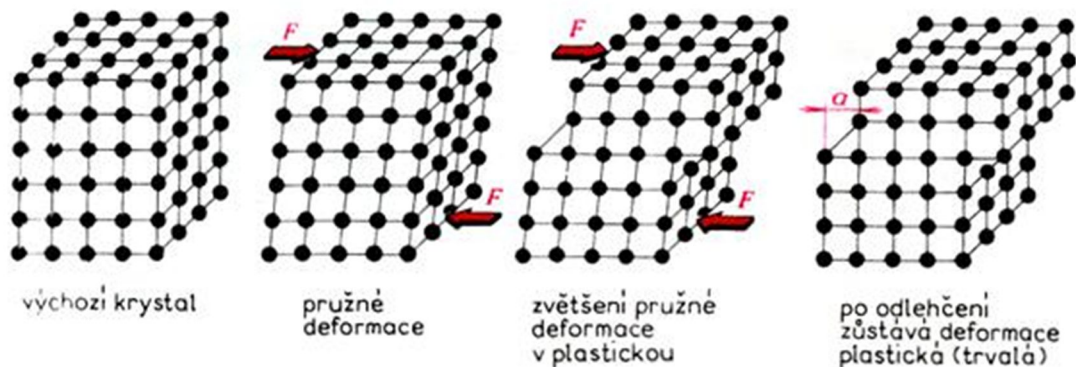
Z uvažovaných možností výroby zadané součásti se jako nejvhodnější varianta jeví výroba pomocí zápustkového kování na svislém kovacím lise. U zadané součásti jsou požadované zvýšené mechanické vlastnosti a součást se bude vyrábět ve velké sérii, což technologie výroby zápustkovým kovááním dovoluje. Rovněž zadaná ocel C45 je vhodná ke zpracování kovááním, z důvodu dobré tváritelnosti a obrobitelnosti ve vyžíhaném stavu, díky které se bude součást dobře obrábět při následném obrábění na požadované rozměry.

Po domluvě s vedoucím práce je tato bakalářská práce zaměřena jen na výrobu ideálního polotovaru použitím technologie zápustkového kování.

2 TECHNOLOGIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ ZA TEPLA [4], [6], [23]

Tváření neboli plastická deformace kovů je zpracování kovů působením vnějších sil, při němž se mění poloha jeho částic, aniž by se při tom oddělovaly. Z tohoto důvodu lze kovy kovat, válcovat, lisovat, protlačovat apod. Kovy tváříme za tepla nebo za studena. Plastickou (trvalou) deformaci předchází vždy deformace elastická (pružná). Vzroste-li napětí v krystalu nad určitou mez, pak v případě, že se nejedná o křehký materiál, dojde k trvalé deformaci.

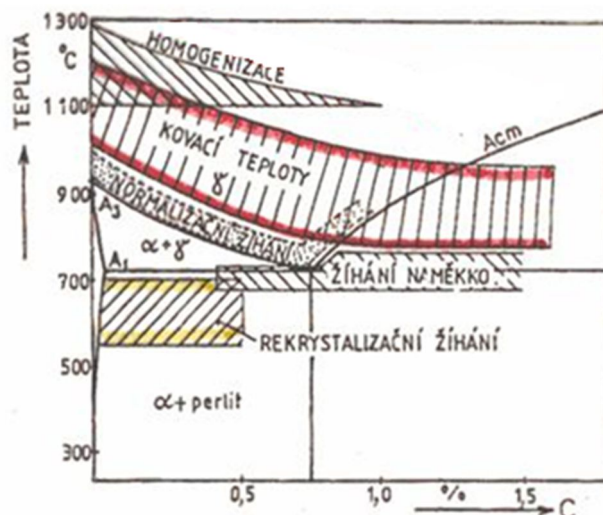
Plastická deformace se uskutečňuje nejčastěji kluzem jedné krystalické roviny oproti druhé (viz obr. 6). Skluz je umožněn pohybem dislokací v mřížce. Dislokace si při pohybu překážejí a nemohou překročit hranice zrn, aby mohla plastická deformace probíhat dál musí se aktivovat pohyb dalších dislokací, proto vzniká deformační zpevnění.



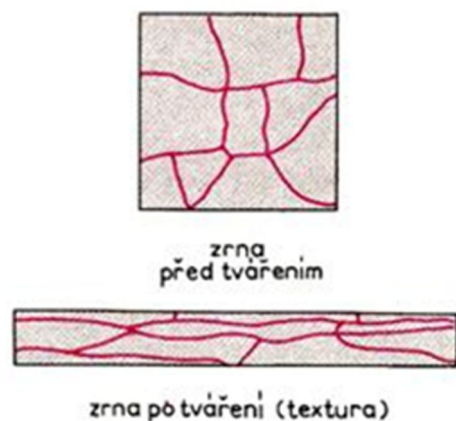
Obr. 6 Schéma elastické (pružné) a plastické (trvalé) deformace [23]

Při deformaci za tepla avšak dochází k procesům zotavení a rekrytalizace, při které se deformovaná zrna obnoví do původního tvaru. Probíhá-li deformace dostatečně pomalu má kov tvářený za tepla v okamžiku ukončení deformace úplně rekrytalizovanou strukturu bez známky zpevnění. Tváření za tepla se provádí při teplotách vyšších, než je teplota počátku rekrytalizace (viz obr. 7), kdy je rychlost rekrytalizace tak vysoká, že zpevnění vzniklé tvářením mizí již v průběhu procesu nebo bezprostředně po něm. Díky tomu stačí k tváření až desetkrát menší síly, než u tváření kde probíhá zpevnění, tedy za studena.

Dalším vlivem tváření za tepla je vznik vláknité struktury z hrubé dendritické struktury ingotu (viz obr. 8), vzniklé v důsledku nečistot obsažených na okrajích zrn, která "kopíruje" tvar deformovaného kovu. Vlákniitou strukturu je nemožné změnit tepelným zpracováním, ani tvářením. Vlákna v materiálu ovlivňují mechanické vlastnosti a způsobují anizotropii.



Obr. 7 Kovací teploty v diagramu Fe-Fe₃C [23]



Obr. 8 Změna tvaru zrn v důsledku tváření [23]

2.1 Zápustkové kování [1], [4], [6], [9], [14], [23]

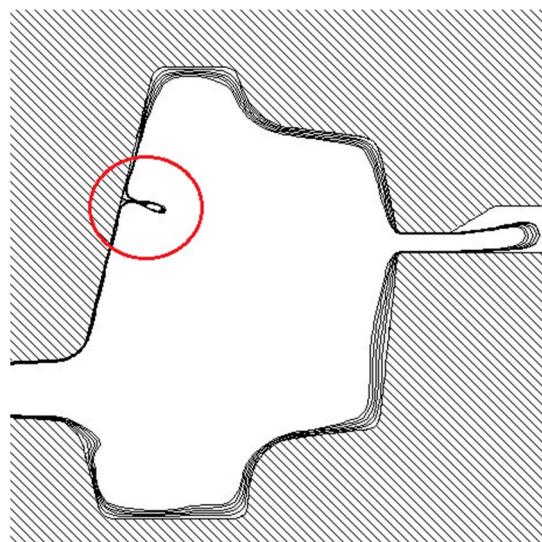
Princip metody spočívá v tváření materiálu ohřátého na kovací teplotu v dutině zápustky, jejíž tvar je negativem tvaru budoucího výkovku. Vlivem smrštění kovu při chladnutí se rozměry zápustkové dutiny zvětšují zpravidla o 1 % u oceli. Oproti volnému kování se používají nástroje jednoúčelové nazývané zápustky, které jsou zpravidla děleny na dvě části. Při zápustkovém kování se dosáhne vysokého stupně prokování, kde vláknitá struktura kopíruje tvar výkovku. Při porovnání s volným kováním zápustkové výkovky dosahují vyšších tvarových přesností, ale i tak zpravidla nedosahují požadované jakosti a přesnosti, a proto se musí následně funkční plochy obrábět.

Ke správnému vyplnění dutiny je objem polotovaru větší, než je objem budoucího výkovku. Nadbytečný materiál je vytlačen do výronkové drážky, kde vytvoří výronek, který se následně odstraní v ostříhovacím lise. Lze kovat i v zápustkách uzavřených bez výronku, ale jde o způsob velmi náročný na správné stanovení objemu vstupního polotovaru, proto se tato metoda používá jen výjimečně. Při kování v zápustkách nelze přímo vytvořit průchozí díru, a proto se pouze předkovává a poté se proděruje vzniklá blána.

Pomocí jedné zápustky lze kovat jen jednoduché součásti, jelikož by se měl výchozí polotovar pěchovat a nikoliv protlačovat, aby nevznikly tzv. přeložky (viz obr. 9). Tvarově složitější součásti se předkovávají ve více zápustkách do tvaru podobného budoucímu výkovku. Předkovává se buď pomocí kovacích válců, zápustky nebo pomocí volného kování.

Hotové výkovky se zbavují zbylých okujů otryskáváním, tepelně zpracovávají, kontrolují popřípadě kalibrují za studena.

Mezi výhody této metody patří vysoká výkonnost a jednoduchá obsluha, proto se přednostně používá v sériové a hromadné výrobě pro výkovky menších hmotností.



Obr. 9 Vada výkovku typu “přeložka“ [30]

2.2 Stroje pro zápustkové kování [1], [9], [11], [13]

Mezi používané tvářecí stroje pro zápustkové kování patří buchary, vodorovné kovací stroje v různých provedeních nebo svislé kovací lisu. Každý stroj má různé vlastnosti a hodí se pro výrobu jiných součástí.

Buchary pracují s dynamickým účinkem, a proto je jejich kritérium rázová energie. Kování probíhá obvykle v jedné zápustce, kde pomocí opakovaných úderů beranu materiál vyplňuje dutinu zápustky. Velikost tvářecí síly je vlivem vysoké rychlosti deformace, při které vzniká deformační zpevnění, vyšší než u lisu.

Naopak lisu pracují se statickým zatížením, kde je rozhodující maximální síla, kterou dokáže lis vyvinout. Kování probíhá v několika zápustkách, kde v první se polotovar napěchuje, tím z něj opadají okuje a v dalších se přibližuje tvaru finálního výkovku.

2.2.1 Buchary [11], [13]

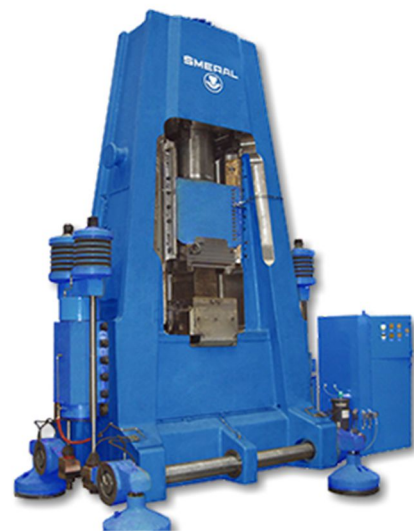
Jedná se o tvářecí stroj, který přeměňuje kinetickou energii beranu, buď padacího, nebo urychleného k tváření materiálu rázem. Nepohyblivá část stroje, na kterém je uložen tvářený materiál se nazývá šabota. Výhodou při tváření na bucharech je, že rázy způsobují větší rychlost tečení a snadněji zaplňují dutinu zápustky ve směru a proti směru rázu.

Buchary se dělí na šabotové a protiúderové. U protiúderových je šabota nahrazena beranem, který se pohybuje současně proti hornímu beranu. U takovýchto bucharů může být pohon samostatný pro horní a dolní beran nebo je poháněn jen jeden z nich a druhý je s ním v kinematické vazbě. U šabotových bucharů je šabota uložena v základu stroje nezávisle na stojanu pro vedení beranu, což se používá pro volné kování nebo jsou šaboty pevně spojeny se stojanem, čehož se využívá díky lepšímu vedení beranu při zápustkovém kování.

Buchary se dále rozdělují podle dopadové rychlosti beranu na buchary s běžnou rychlostí ($v = 4$ až 8 m.s^{-1}) a buchary se zvýšenou a velkou rychlostí ($v = 20$ až 60 m.s^{-1}). Běžných kovacích rychlostí dosahují tzv. padací buchary, u nichž je beran zvednut do určité výšky a po uvolnění padá vlastní vahou. Vyšších rychlostí dosahují dvojčinné buchary, kde je beran urychlován přídatnou silou.

Buchary lze rozlišit podle použitého pohonu:

- plynové (pneumatické a parní)
- hydraulické
- mechanické (pružinové, padací, elektromagnetické)
- kombinované (obr. 10)



Obr. 10 Pneumaticko - hydraulický buchar [29]

2.2.2 Lisy [1], [11], [13]

Lis je tvářecí stroj, který tvářený materiál staticky zatěžuje, kde rychlost beranu je řádově nižší než u bucharu ($v = 0,01$ až $0,8 \text{ m.s}^{-1}$). Tvářecí síla je generována mechanicky nebo hydraulicky. Lis tvoří tuhá konstrukce vhodná i pro excentrické zatížení, lze tedy upnout více zápustek vedle sebe, kde dokovací zápustka musí být uprostřed.

Lisy vhodné ke kování lze rozlišit na:

- Klikové kovací lisy – kovací síla je vyvozena z nastřádané kinematické energie rotujícího setrvačnicku. Pomocí klikové hřídele a ojnice je rotační pohyb přenesen na přímočarý pohyb beranu. Maximální tvářecí síla je těsně před dolní úvrátí, nelze tedy tvářet velkou silou po delší dráze.
- Vřetenové lisy – kovací síla je vyvozena z nastřádané kinematické energie rotujícího setrvačnicku a vřetena. Pomocí matice a vřetena je rotační pohyb přenesen na přímočarý pohyb beranu
- Hydraulické kovací lisy – kovací síla je vyvozena od tlakové kapaliny, která působí na plunžr beranu.
- Vodorovné kovací lisy – jde o klikový lis, kde mimo hlavní (pěchovací) beran je i beran svěrací. Používá se pro kování malých výkovek do uzavřených zápustek.

2.3 Ohřev na kovací teplotu [6], [9]

Ohřev na kovací teplotu by měl být v co nejkratším čase při zachování povrchové a vnitřní jakosti ohřívaného materiálu a omezení nebo dokonce úplného potlačení doprovodných jevů ohřevu jako jsou, opal, zhrubnutí zrna, povrchové oduhličení, přehřátí, apod. Vhodně zvoleným ohřevem se zlepšuje tvárnost materiálu při poklesu deformačního odporu materiálu. Kovy se přednostně na horní hranici kovacích teplot materiálu (viz obr. 7), kdy má kov lepší zabíhavost a dojde tak k lepšímu vyplnění zápustky. Dále je nutné, aby byl materiál v celém svém objemu rovnoměrně ohřát, jinak by došlo k vadám výkovku. Při překročení horní kovací teploty dochází k intenzivní oxidaci, vytvoření hrubozrnné struktury, přehřátí či k spálení materiálu, kdy dochází k natažení hranic zrn a polotovaru se tak znehodnocuje.

2.3.1 Ohřívací zařízení [6], [9]

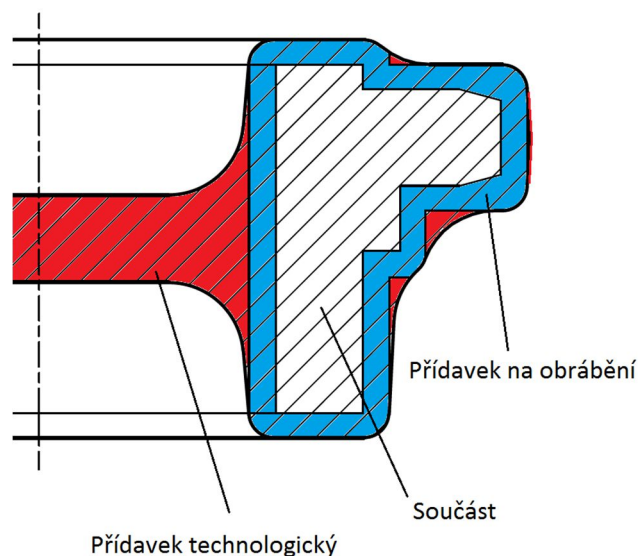
- Plynové pece – ohřev probíhá spalováním směsi plynu a předehřátého vzduchu, která je přiváděna pomocí jednoho nebo více hořáků do spalovací komory. Plynové pece se vyznačují větším množstvím opalu, jelikož se zde ohřátý materiál dostává do kontaktu s volným kyslíkem ve spalinách, proto se využívá redukčního plamene na zmírnění tohoto efektu. Pece tohoto typu jsou určeny spíše pro ohřev větších polotovarů. Konstrukčně existují pece jak komorové tak i průběžné, kde je zakládán materiál posouván strkacím zařízením umístěným mimo pec.
- Elektrické odporové pece – dělí se na zařízení s přímým průchodem proudu a na zařízení s nepřímým ohřevem. Ohřev přímým průchodem proudu je vhodný jen pro štíhlé polotovary (tyče, trubky, dráty,...), princip ohřevu spočívá v zavádění střídavého proudu o velké intenzitě a nízkém napětí při síťové frekvenci do materiálu, ve kterém se pomocí odporu generuje teplo. Při nepřímém odporovém ohřevu jsou v komorové peci zabudovány odporové články, od kterých sálá teplo. V porovnání s ostatními způsoby elektrického ohřevu je tato metoda pomalá. Výhodou odporových pecí je snadná regulace teploty ohřevu, která závisí na elektrickém příkonu a možnost snadného vytvoření ochranné atmosféry, při které nedochází k vytvoření opalu.
- Elektrické indukční pece – vytváření tepla indukcí spočívá v působení vířivých proudů v materiálu umístěném v elektromagnetickém poli cívky kruhového (viz obr. 11) či čtvercového průřezu. Základní veličina pro určení optimální hloubky vniku je frekvence střídavého proudu, která se pohybuje v rozmezí od 50 do 10 000 Hz, kde čím větší je průměr polotovaru tím menší je použitá frekvence. Hlavní předností indukčního ohřevu je jeho rychlost, při které nedochází k oduhličení a ztráty opalem jsou do 1 % objemu polotovaru.



Obr. 11 Indukční ohřev [22]

2.4 Konstrukce zápusťkového výkovku [2], [6], [9], [15]

Výkres výkovku se řídí tvarem součásti, která má být kovááním vyrobena, proto již tvar součásti by měl respektovat specifika této technologie. Tvar a rozměry zápusťkových výkovků jsou dále ovlivňovány velikostí přídaveků na obrábění a přídaveků technologických znázorněných na obr. 12. Jako první se při návrhu volí poloha dělicí plochy, rozdělující výkovek na část kovanou v horní a dolní zápusťce. Ta musí zaručit snadné vyjmutí výkovku ze zápusťkové dutiny. Proto se dělicí plocha zpravidla umísťuje v polovině výšky největšího průřezu.



Obr. 12 Přídavky výkovku

2.4.1 Přídavky na obrábění [2], [6], [9], [10], [15]

Plochy součásti, na kterých je předepsané obrábění musejí mít přídavek, jelikož po kováání mohou zůstat na povrchu okraje, které se odstraňují otryskáním. Taková to úprava zanechá povrch členitý. Dalším faktorem zhoršující vlastnosti materiálu je povrchové oduhlíčení, které snižuje pevnost, z tohoto důvodu se dává přídavek na obrobení této vrstvy. Velikost přídavku závisí na požadované přesnosti výkovku a určí se dle ČSN 42 9030 z největšího průměru a výšky součásti ve směru rázu (viz tab. 2). Pro nerotační součásti se přídavek určí dle střední hodnoty šířky a délky ve směru rázu.

Tab. 2 Přídavky na obrábění ploch pro obvyklé provedení. [15]

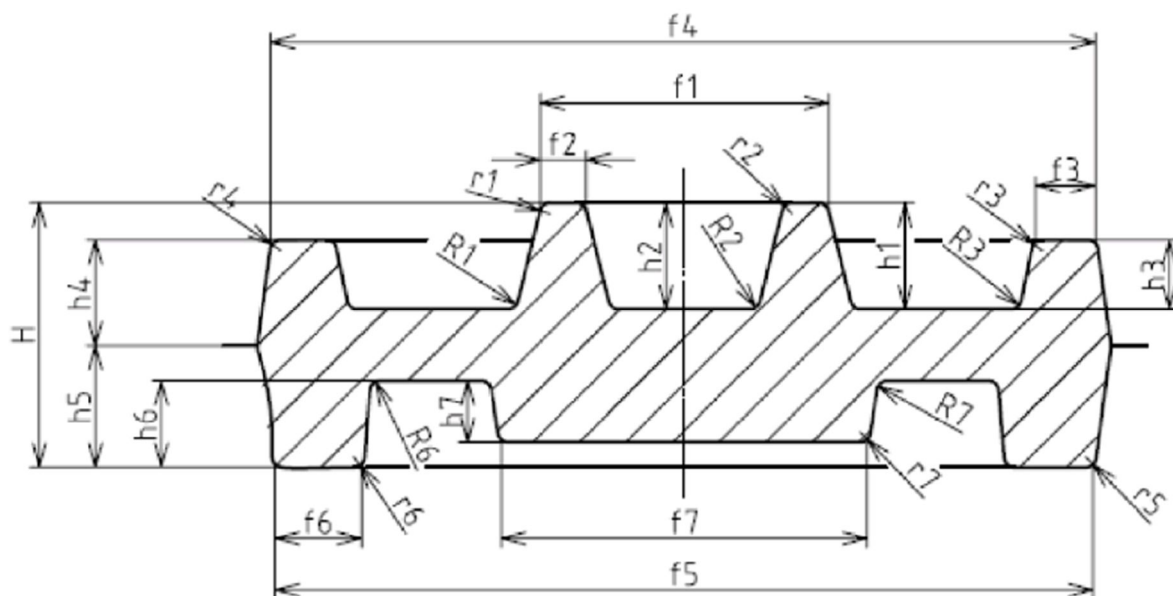
Rozměry v mm.

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

2.4.2 Přidavky technologické [2], [6], [9], [10], [15]

Technologické přidavky se používají k vytvoření tvaru výkovku vhodného ke kování. Jedná se o zaoblení hran, úkosy na stěnách, blány v otvorech, zvětšení tloušťek stěn a žeber nebo zjednodušení příliš členitého tvaru.

- Zaoblení hran a přechodů – provádí se z důvodu správného toku kovu do dutiny a její zaplnění, ostré hrany by se nevyplnily. Příliš malé přechody mohou mít za následek tvorbu přeložek a větší opotřebení hran zápustek, proto mají 2,5 – 3x větší poloměr než hrany. Velikost zaoblení hran r a přechodů R se určí dle tab. 3 a obr. 13 z hodnot doporučené normou ČSN 42 9030.



Obr. 13 Zaoblení hran r a přechodů R [15]

Tab. 3 Zaoblení hran r a přechodů R . [15]

Rozměry v mm.

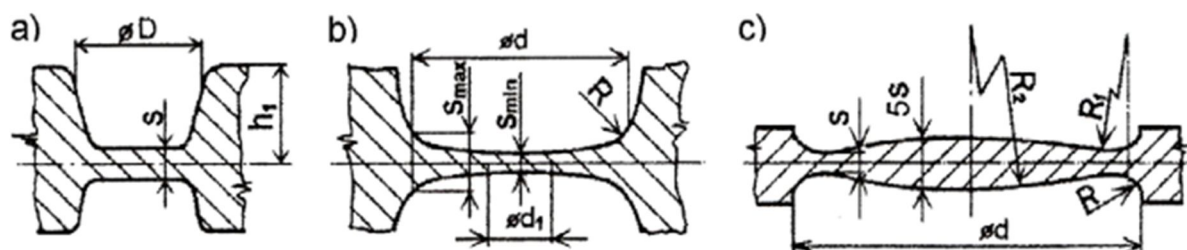
Výška (hloubka) h		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		$\frac{h}{f}$ do 2		$\frac{h}{f}$ přes 2 do 4		$\frac{h}{f}$ přes 4	
přes	do	r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	16	40
160	250	12	30	16	45	25	65
250	400	20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

- Úkosy – pomáhají snazšímu vyjmutí výkovku ze zápustky. Z důvodu smrštění výkovku při ochlazení, který je ve styku se zápustkou a mohl by uvíznout na trnu, se úkosy na vnitřních plochách dělají větší nežli na plochách vnějších. Velikost úkosu se volí s ohledem na použitý tvářecí stroj. Při využití vyhazovačů se volí úkosy menší, jelikož nám zaručí snadné vyjmutí výkovku z dutiny zápustky. Doporučené hodnoty úkosů dle normy ČSN 42 9030 jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 Úkosy zápustkových výkovků. [9]

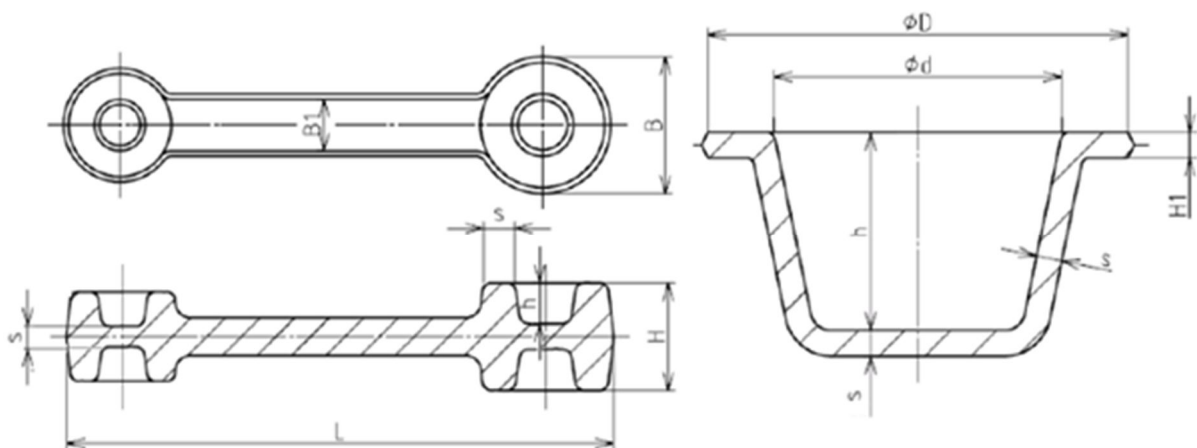
Úkosy zápustkových výkovků na plochách	vnějších	vnitřních
Zápustkové výkovky se běžně zhotovují s úkosy	3	7
Pro buchary a lisy bez vyhazovače se dovolují úkosy	7	10
Pro lisy s vyhazovačem se dovolují úkosy	2° až 3°	3° až 5°
Pro výkovky kované na vodorovných kovacích strojích	0° až 5°	0° až 5°

- Kovací blána – při zápustkovém kování nelze vykovat průchozí otvor, proto se v otvoru vytvoří přepážka tzv. blána, která se následně proděruje. Díry malých průměru se nepředkovávají a kove se s technologickým přídavkem, který vyplňuje celý otvor. Tvary kovacích blan jsou uvedeny na obr. 14. Pro výkovky s hlubokým otvorem, kdy $(d - 1,25R) > 26$ se doporučuje tvar blány dle obr. 14b), u výkovků velkého průměru a malé výšky se doporučuje tvar dle obr. 14c).



Obr. 14 Tvar kovací blány v předkovaném otvoru [15]

- Tloušťka blány, stěn a žeber
 Minimální tloušťku stěn a žeber kontrolujeme z důvodu obtížného zatékání kovu do úzkých štěrbin, které je následně ztiženo rychlým ochlazením. Toto znesnadňuje kování a způsobuje vydírání dutiny zápustky. Doporučené hodnoty pro minimální tloušťku dna, blány disku a stěny výkovku dle normy ČSN 42 9030 jsou uvedeny v tab. 5 a určí se dle obr. 15.



Obr. 15 Minimální tloušťka dna, blány, disku a stěny s výkovku [15]

Tab. 5 Minimální tloušťka dna, blány, disku a stěny s. [15] Rozměry v mm.

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	Minimální tloušťka dna, blány, disku 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

2.4.3 Rozdělení výkovků podle tvarové složitosti [17]

Pro správné určení tolerancí se zápusťkové výkovky třídí podle tvarové složitosti, určené normou ČSN 42 9002. Výsledná tvarová složitost je označena pomocí pěti číslic, jejichž význam je:

Číselné označení složitosti výkovku: **XXXX – X**

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

Tvarový druh: Xxxx – x

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

Tvarová třída: xXxx – x

- Výkovky tvarového druhu 4, 5, 6, 7, a 8 se dělí do tvarové třídy na:
 - 1 – konstantní průřez
 - 2 – kuželovité (jehlanovité, klínovité)
 - 3 – jednostranně osazené
 - 4 – oboustranně osazené
 - 5 – osazené s kuzelem (jehlanem, klínem)
 - 6 – prosazené
 - 7 – kombinované
 - 8 – kombinované s kuzelem (jehlanem, klínem)
 - 9 – členité (u tvarového druhu 8 – výkovky háků)
 - 0 – neobsazeno

- Výkovky tvarového druhu 9 a 0 se dělí do tvarové třídy na:
 - 1 – převážně kruhový průřez
 - 2 – převážně plochý průřez
 - 3 – s hlavou a jedním ramenem
 - 4 – s hlavou a více rameny
 - 5 – jednostranně rozvidlené
 - 6 – oboustranně rozvidlené
 - 7 – zalomené
 - 8 – šroubovité stoupání (stoupání < 1) – pouze u tvarového druhu 0
 - 9 – šroubovité stoupání (stoupání > 1) – pouze u tvarového druhu 0

Tvarová skupina: xxXx – x

„U výkovků zařazených do jednotlivých tvarových tříd jsou čísla 1 až 8 dále tříděny výkovky podle 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 kovacích 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 hřídelů a velikosti úhlu natočení listů lopatek.“

Tvarová podskupina: xxxX – x

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

- 1 – přesah v poměru L : B (D) nebo H : B (D)
- 2 – přesah v poměru H : H₁ (D : D₁)
- 3 – přesah v poměru B : B₁
- 4 – přesah v poměru F : F₁
- 5 – přesah v hloubce dutiny h : d nebo úhlů listů lopatek β
- 6 – přesah v tloušťce dna nebo blány H₁
- 7 – přesah v tloušťce stěny s nebo velikosti rozvidlení l : b
- 8 – přesah v zaoblení přechodů a hran R, r
- 9 – kombinace několika přesahů
- 0 – bez přesahu

Technologické hledisko: xxxx – X

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

2.4.4 Úchyly rozměrů a tvarů výkovku [2], [6], [9], [15]

Pro všechny rozměry, přesazení, otřep a zaoblení se používají tolerance stanovené normou ČSN 42 9030, která vychází z tvarové složitosti a stupně přesnosti výkovku (viz tab. 7). Velikost tolerance závisí na tom, jestli je rozměr kolmo nebo ve směru rázu beranu. Hodnoty úchylek, uvedené v tab. 8, platí pro vnější rozměry. U vnitřních rozměrů se hodnoty úchylek otočí. Tolerance zaoblení jsou uvedené v tab. 6.

Tab. 6 Mezní úchyly zaoblení přechodů R a hran r. [15]

Rozměry v mm.

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

Tab. 7 Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení. [15]

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;4;7			5	6	4	5	3	4
		4;8			6	7	5	6	4	5
4;5;6;7	1 až 5	1 až 5	-	3;4;5	5	5	4	4	3	3
		2;3;4			5	6	4	5	3	4
		6;7;8			6	7	5	6	4	5
4;5;6;7	1 až 5;9	-	-	6;7;8;9	6	7	5	6	4	5
	6 až 8				7	7	6	6	5	5
8	1 až 8	1;2;3;4	-	-	6	7	5	6	4	5
		5;6			7	7	6	6	5	5
8	9	1;2	-	-	6	7	5	6	4	5
		3;4;5;6;7			7	7	6	6	5	5
9;0	-	1;2;3;4	-	-	6	6	5	5	4	4
		5;6;7;8			7	7	6	6	5	5

Tab. 8 Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku pro IT 5. [15]

Rozměry v mm.

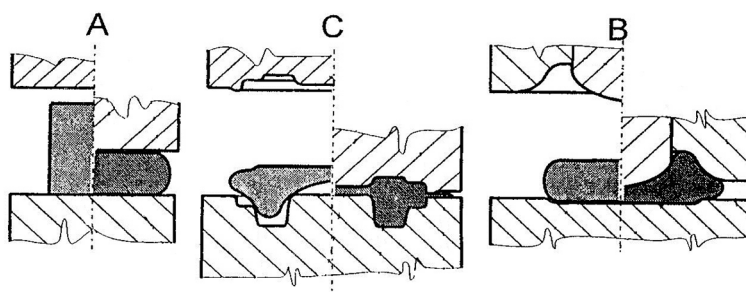
Největší průměr výkovku D nebo 0,5.(L+B) ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
do 25	Mezní úchytky	+0,6 -0,3	+0,3 -0,4	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+1,0 -0,4			
	Tolerance	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4			
přes 25 do 40	Mezní úchytky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

2.5 Konstrukce zápustek pro svislé klikové kovací lisy [1], [9], [14], [16]

Kování pomocí statického zatížení ovlivňuje i konstrukci zápustek. Na rozdíl od bucharu, kde jsou zápustkové dutiny vytvořeny v jednom bloku, je u lisy každá dutina vytvořena zvlášť v samostatné zápustkové vložce (zápustce). Klikové kovací lisy jsou obvykle uzpůsobeny pro 3 zápustkové vložky, tedy výkovek bude vykován na 3 operace (viz obr. 16), kde se každá operace provádí při jednom zdvihu lisy. První operace (A) slouží k napěchování polotovaru, při kterém opadají z povrchu okuje, které jsou odfouknuty z pracovního prostoru. Druhá operace (B) slouží k přiblížení tvaru finálního výkovku, který se vykovává při třetí dokovací operaci (C). Při vynechání operace předkování (B), tedy součást po pěchovací operaci rovnou dokončovat, by mohlo mít za následek vytvoření přeložek. Jelikož je při dokovací operaci potřeba největší síla, umísťuje se tato zápustka uprostřed, aby nedocházelo k přílišnému výstřednému namáhání beranu lisy.

Zápustkovou dutinu je potřeba zvětšit o velikost smrštění kovu, což je u oceli asi 1% a vytvořit po obvodě v oblasti dělicí plochy výronkovou drážku, která zachytí přebytečný materiál během tváření.

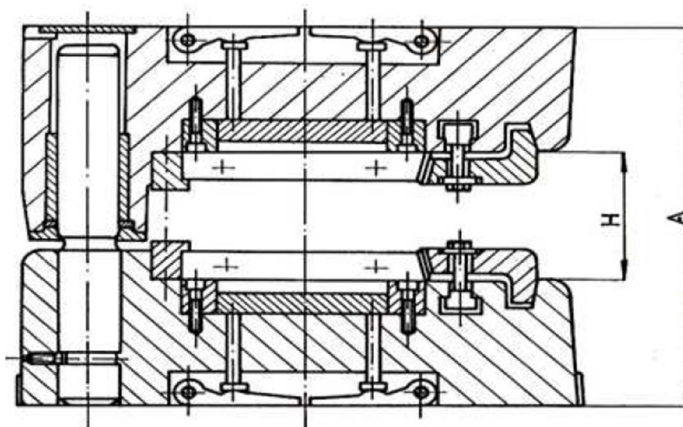
Zápustky se vyrábějí z nástrojové oceli třídy 19 např. 19 662 nebo 19 720, které se vyznačují žaru pevností a zvýšenou odolností proti otěru. K zvýšení životnosti nástroje se dutina zápustky předehřívá na 200 až 300 °C a maže směsí oleje a grafitu.



Obr. 16 Postup kování na svislém klikovém lisu [9]

2.5.1 Upínání zápustek [9], [12]

Zápustky jsou upnuty do držáků (Obr. 17) a ty k prvkům v pracovním prostoru tvářecího stroje. Spodní polovina ke stolu lisy, horní k beranu lisy. V držáku jsou zápustky uloženy na kalených podložkách a upnuty pomocí z jedné strany osazenou lištou a z druhé strany úpinkou s úkošem. Lišta i úpinka jsou upevněny k držákům šrouby. Každá zápustková vložka je upevněna zvlášť. Kalená deska obsahuje otvor pro kolíky případných vyhazovačů. Tvar zápustky může být buď kruhový, nebo obdélníkový.

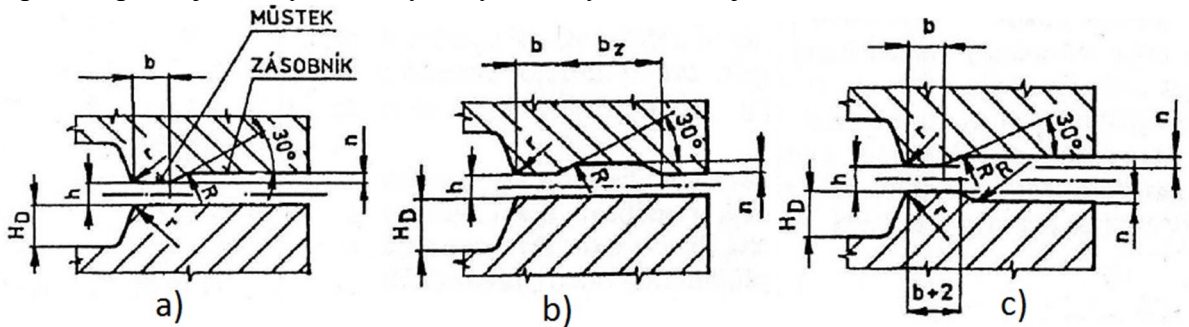


H – svěrná výška držáku
A – svěrná výška lisy

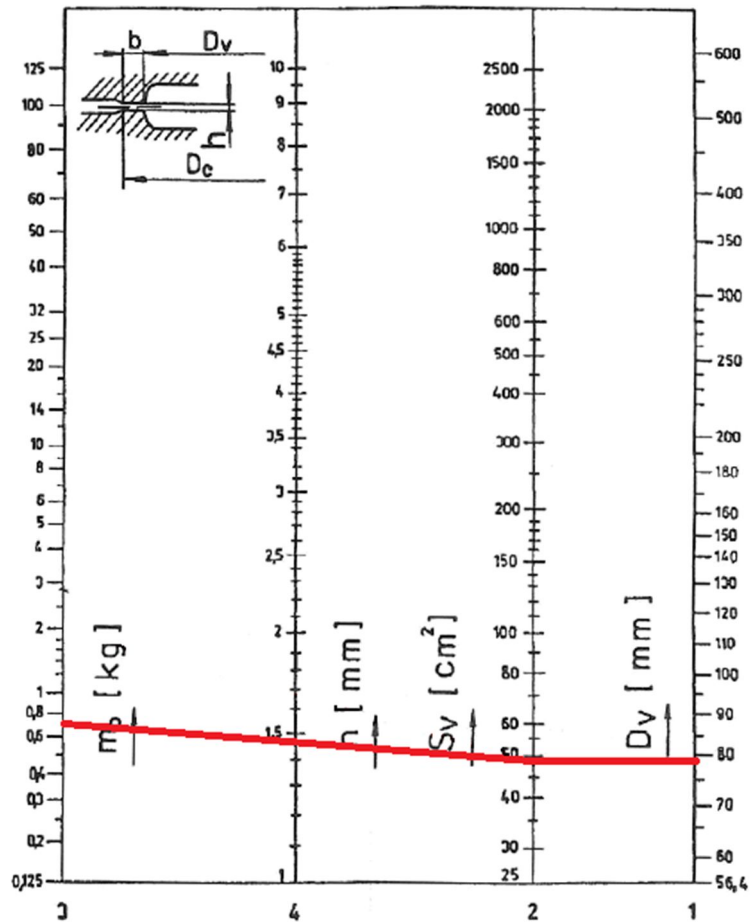
Obr. 17 Držák zápustkových vložek [12]

2.5.2 Výronková drážka [1], [9], [16]

Výronkovou drážku dělíme na uzavřenou a otevřenou. Uzavřená drážka se používá u bucharů, kde dojde k dosednutí horní a dolní zápustky. U lisů se používá otevřená drážka, jelikož lis má pevnou výšku zdvihu a zápustky tak na sebe nedosedají. Výška můstku h výronkové drážky je podmíněna pružením materiálu, proto nesmí být lis s upevněnými zápustky spuštěn bez vloženého materiálu. Aby u členitých výronků došlo prvně k vyplnění dutiny a poté výronkové drážky, je výška můstku h menší. Rozměry drážky se zvolí dle normy ČSN 22 8306. Podle nomogramu na obr. 19 se zvolí výška můstku a ostatní rozměry se poté dopočítají. Tvary otevřených výronkových drážek jsou na obr. 18.



Obr. 18 Tvary výronkových drážek [16]



Obr. 19 Nomogram pro stanovení výšky můstku h [16]

Šířka můstku:

$$b = 3 \cdot h \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

kde: h – výška můstku [mm]

Hloubka zásobníku:

$$n = 0,4 \cdot h + 2 \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

Poloměr zaoblení přechodu R_{dp} do dělicí plochy:

$$R_{dp} = \frac{\sqrt{S_V}}{200} + 0,04 \cdot H_D \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

kde: S_V – plocha výkovku bez výronku v dělicí rovině [cm^2]

H_D – hloubka spodní dutiny zápustky [mm]

Objem výronku:

$$V_{VÝR} = O \cdot \left[b \cdot h + \left(n + \frac{h}{2} \right) \cdot B_V \right] \text{ [mm}^3] \quad (2.4)$$

kde: O – obvod výkovku bez výronku v dělicí rovině [mm]

b – šířka můstku [mm]

h – výška můstku [mm]

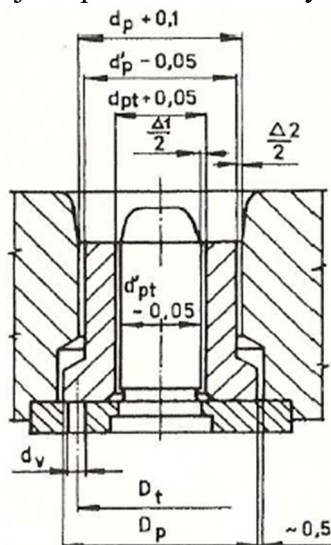
n – hloubka zásobníku [mm]

B_V – šířka otřepu v zásobníku [mm]

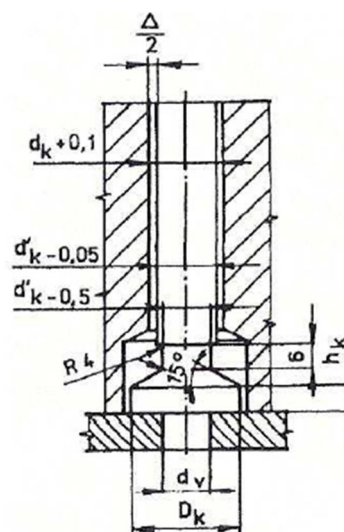
Pro výkovky o hmotnosti do 0,5 kg se šířka otřepu v zásobníku B volí 10 mm, do 2 kg se volí 15 mm a nad 2 kg se volí 20 mm.

2.5.3 Vyhazování výkovku [16]

U lisu dochází k uvíznutí výkovku v zápustce vlivem tření mezi zápustkou a výkovkem. Toto se řeší pomocí vyhazovačů. Pohyb vyhazovačů je vyvozen od pohybu beranu. Dle tvaru se dělí vyhazovače na prstencové (obr. 20) a kolíkové (obr. 21). Prstencové vyhazovače se používají v případech, že výkovek má předkovanou díru a při použití kolíkového vyhazovače by mohlo dojít k proděrování blány. Tvar a rozměry vyhazovačů se určí dle normy ČSN 22 8306.



Obr. 20 Prstencový vyhazovač [16]



Obr. 21 Kolíkový vyhazovač [16]

3 NÁVRH VÝROBY

Vyráběnou součástí je řetězové kolo (viz obr. 2) z materiálu C45, jejímž polotovarem je výkovek (viz obr. 22). Tvar výkovku se navrhl podle výkresu součásti (viz výkres – řetězového kola), který se dále upravil dle přídaveků na obrábění a přídaveků technologických.

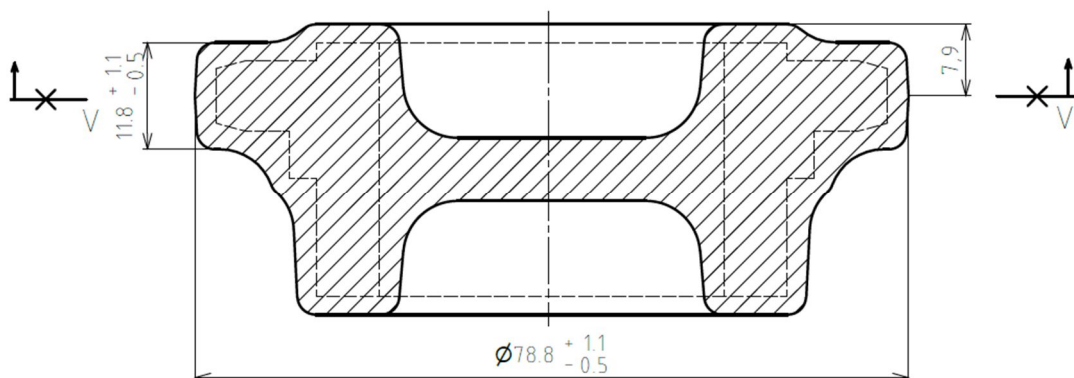


Obr. 22 Model výkovku

3.1 Návrh výkovku [15], [17]

Nejprve se určí nejvhodnější poloha dělicí plochy, dále přídaveky na obrábění a přídaveky technologické.

- Dělicí plocha – zvolena v polovině výšky největšího průměru výkovku. Výsledná poloha dělicí plochy (viz obr. 23) je ve vzdálenosti 7,9 mm od základny výkovku.



Obr. 23 Poloha dělicí plochy

- Přídavek na obrábění – zvolí se podle tab. 2 na základě největšího průměru kolmo k rázu a největší výšky hotové součásti.

Největší průměr součásti kolmo k rázu: $d_s = 74,22$ mm (rozsah 63 až 100 mm)

Největší výška součásti: $h_s = 28$ mm (rozsah 25 až 40 mm)

Výsledný přídavek na obrábění je 2 mm.

- Technologické přídavky – poloměry zaoblení hran a přechodů se zvolí dle tab. 3 podle poměru výšky h a rozměru f stěny podle obr. 13. Poměr h/f je ve všech případech do 2 a výška stěny do 25 mm.

Výsledný poloměr zaoblení hran: $r = 2$ mm

Výsledný poloměr zaoblení přechodů: $R = 6$ mm

Velikost úkosů je volena podle tab. 4 v závislosti na použitém tvářecím stroji. Jako tvářecí stroj bude použit klikový kovací lis s použitím vyhazovače, pro který se doporučují u vnějších úkosů 2° až 3° a pro vnitřních úkosů 3° až 5° . Pro snazší vyndávání výkovků byly zvoleny horní hranice tedy pro vnější úkosy 3° a pro vnitřní 5° .

Nejmenší tloušťka kovací blány se volí podle tab. 5 na základě největšího průměru kolmo k rázu a největší výšky výkovku. Zvolen obvyklý typ kovací blány dle obr. 14a).

Největší průměr výkovku kolmo k rázu: $D = 78,8$ mm (rozsah 63 až 100 mm)

Největší výška výkovku: $H = 32$ mm (rozsah 25 až 40 mm)

Výsledná tloušťka kovací blány: $s = 7$ mm.

- Úchytky rozměrů a tvarů výkovku – pro správnou velikost úchylek rozměrů je potřeba nejprve zatřídit výkovky dle složitosti tvaru podle ČSN 42 9002.

Tvarový druh	5 – výkovky kruhového průřezu duté
Tvarová třída	4 – výkovky oboustranně osazené
Tvarová skupina	5 – výkovky duté
Tvarová podskupina	0 – bez přesahu
Technologické hledisko	4 – výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu – nesouměrné

Výsledné označení výkovku: 5 4 5 0 – 4

Podle označení výkovku se dle tab. 7 určí stupeň přesnosti pro rozměry kolmé k rázu a rozměry rovnoběžné s rázem. V obou případech je výsledná přesnost IT 5. Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku se určí podle tab. 8 na základě největšího průměru kolmo k rázu a největší výšky výkovku.

Mezní úchytky rozměrů: + 1,1 mm

- 0,5 mm

Celková tolerance rozměrů: 1,6 mm

Uvedené hodnoty úchylek platí pro rozměry vnější (zvětšující), pro rozměry vnitřní se hodnoty úchylek otočí.

Mezní úchytky a tolerance zaoblení se určí podle tab. 6, na základě poloměru zaoblení hran a přechodů. Určené mezní úchytky se dále vynásobí poloměrem zaoblení. V obou případech je poloměr zaoblení do 10 mm.

Výsledné mezní úchytky pro zaoblení hran r : + 0,50 mm

- 1,0 mm

Výsledné mezní úchytky pro zaoblení přechodů R : + 3,0 mm

- 1,5 mm

3.2 Tvar a rozměry výronkové drážky [10], [16]

Tvar výronkové drážky byl zvolen obvyklý typ (viz obr. 18a)).

- Výška můstku – je určena podle nomogramu na obr. 19, který vychází z průměru výkovku v dělicí rovině $D_V = 78,8$ mm a hmotnosti výkovku $m_V = 0,716$ kg. Hmotnost výkovku byla určena pomocí softwaru Autodesk Inventor 2016 z modelu výkovku (viz obr. 22).

Plocha výkovku v dělicí rovině:

$$S_V = \frac{\pi \cdot D_V^2}{4} = \frac{\pi \cdot 78,8^2}{4} = 4877 \text{ mm}^2 = 48,77 \text{ cm}^2 \quad (3.1)$$

kde: D_V – průměr výkovku bez výronku v dělicí rovině [mm]

Z nomogramu se stanovila výška můstku $h = 1,45$ mm.

Zvolená výška můstku je 1,5 mm.

- Šířka můstku – vypočtena dle vzorce (2.1):

$$b = 3 \cdot h = 3 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ mm}$$

Vypočtená šířka můstku je 4,5 mm.

- Hloubka zásobníku – vypočtena dle vzorce (2.2):

$$n = 0,4 \cdot h + 2 = 0,4 \cdot 1,5 + 2 = 2,6 \text{ mm}$$

Vypočtená hloubka zásobníku je 2,6 mm.

- Poloměr zaoblení přechodu do dělicí plochy – vypočten dle vzorce (2.3):

$$R_{dp} = \frac{\sqrt{S_V}}{200} + 0,04 \cdot H_D = \frac{\sqrt{48,77}}{200} + 0,04 \cdot 5,2 = 0,56 \text{ mm}$$

Výsledný poloměr zaoblení přechodu do dělicí plochy je zvolen 1 mm.

3.3 Návrh polotovaru [3], [5], [20]

- Objem výkovku – určen pomocí softwaru Autodesk Inventor 2016 z 3D modelu výkovku (obr. 22).

$$V_V = 91189 \text{ mm}^3$$

- Objem výronku – vypočten dle vzorce (2.4)

$$V_{V\dot{Y}R} = 0 \cdot \left[b \cdot h + \left(n + \frac{h}{2} \right) \cdot B_V \right] = \pi \cdot 78,8 \cdot \left[4,5 \cdot 1,5 + \left(2,6 + \frac{1,5}{2} \right) \cdot 11 \right]$$

$$V_{V\dot{Y}R} = 10794 \text{ mm}^3$$

Vypočtený objem výronku s uvažovanou velikostí otřepu v zásobníku výronkové drážky $B_V = 11$ mm je $V_{V\dot{Y}R} = 10794 \text{ mm}^3$.

- Objem přídatku na opal – opal na indukční peci se uvádí 1 % z objemu výkovku s výronkem.

$$V_p = (V_V + V_{V\dot{Y}R}) \cdot 0,01 = (91189 + 10794) \cdot 0,01 = 1020 \text{ mm}^3 \quad (3.2)$$

Vypočtený objem přídatku na propal je 1020 mm^3 .

- Celkový objem polotovaru:

$$V_{pol} = V_V + V_{V\dot{Y}R} + V_p = 91189 + 10794 + 1020 = 103003 \text{ mm}^3 \quad (3.3)$$

- Průměr polotovaru – pro výpočet polotovaru se vychází ze štíhlostního poměru λ , který udává poměr délky ku průměru polotovaru. Jeho dodržení je nutné, aby nedošlo k vybočení polotovaru do strany a vytvoření přeložek.

$$\lambda = \frac{L_{pol}}{D_{pol}} = 1,5 \text{ až } 2,8 \quad (3.4)$$

kde: L_{pol} – délka polotovaru [mm]

D_{pol} – průměr polotovaru [mm]

λ je zvoleno 2.

$$D_{pol} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{pol}}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{103003}{2}} = 40,18 \Rightarrow 42 \text{ mm} \quad (3.5)$$

Na stránkách výrobce hutních polotovaru byl vybrán nejbližší normalizovaný průměr tedy 42 mm.

- Délka polotovaru:

$$V_{pol} = \frac{\pi \cdot D_{pol}^2}{4} \cdot L_{pol} \Rightarrow L_{pol} = \frac{V_{pol}}{\frac{\pi \cdot D_{pol}^2}{4}} = \frac{103003}{\frac{\pi \cdot 42^2}{4}} = 74,34 \Rightarrow 74,3 \text{ mm} \quad (3.6)$$

Zaokrouhlená délka polotovaru 74,3 mm.

Kontrola štíhlostního poměru dle vzorce (3.4): $\lambda = \frac{74,3}{42} = 1,76 \Rightarrow$ vyhovuje

- Hmotnost výchozího polotovaru:

$$m_{pol} = \rho \cdot V_{pol} = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D_{pol}^2}{4} \cdot L_{pol} = 7850 \cdot \frac{\pi \cdot 42^2}{4} \cdot 74,3 \cdot 10^{-9} = 0,808 \text{ kg} \quad (3.7)$$

kde: ρ – hustota oceli [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Hmotnost výchozího polotovaru bude přibližně 0,8 kg.

Jako polotovar bude ustřižený špalík z kruhové tyče ČSN EN 10060 jakosti oceli C45 o rozměrech $\varnothing 42 - 74,3 \pm 0,3 \text{ mm}$.

3.4 Ohřev polotovaru

Ohřev polotovarů bude zajištěn pomocí elektrické indukční pece SOP 250/6-A30 od firmy ROBOTERM Chotěboř na teplotu $1130 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.5 Výpočet kovací síly

Pro zvolení dostatečně výkonného tvářecího stroje potřebujeme znát kovací sílu.

3.5.1 Výpočet kovací síly podle Brjuchanov – Rebelského [1]

Jde o přibližný výpočet kovací síly pomocí empirického vzorce dle normy ČSN 22 8306, podle které je přetvárný odpor materiálu ČSN 12 050 $\sigma_p = 80 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ při střední rychlosti deformace a kovací teplotě 1100 °C.

$$F_K = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_V) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_V}\right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_V \quad (3.8)$$

$$F_K = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 78,8) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{78,8}\right)^2 \cdot 80 \cdot 4877 = 5269747 \text{ N} = 5,27 \text{ MN}$$

kde: σ_p – přirozený přetvárný odpor [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]

Vypočtená kovací síla podle Brjuchanov – Rebelského vztahu je 5,27 MN.

3.5.2 Výpočet kovací síly podle Storoževa [3]

Jedná se o přibližný výpočet potřebné kovací síly. Do výpočtu se zahrnuje plocha výronku v dělicí rovině, proto je potřeba jej nejprve spočítat.

Plocha výronku v dělicí rovině:

$$S_{V\dot{Y}R} = \frac{\pi \cdot (D_{V\dot{Y}R}^2 - D_{\dot{V}}^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (109,8^2 - 78,8^2)}{4} = 4592 \text{ mm}^2 \quad (3.9)$$

kde: $D_{V\dot{Y}R}$ – vnější průměr výronku [mm]

Kovací síla:

$$F_K = \sigma_p \left[\left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h}\right) \cdot S_{V\dot{Y}R} + \left(1,5 + \frac{b}{h} + 0,1 \cdot \frac{D_V}{h}\right) \cdot S_V \right] \quad (3.10)$$

$$F_K = 80 \left[\left(1,5 + \frac{4,5}{2 \cdot 1,5}\right) \cdot 4592 + \left(1,5 + \frac{4,5}{1,5} + 0,1 \cdot \frac{78,8}{1,5}\right) \cdot 4877 \right]$$

$$F_K = 4907327 \text{ N} = 4,91 \text{ MN}$$

Vypočtená kovací síla podle Storoževa vztahu je 4,91 MN.

3.5.3 Výpočet síly podle Tomlenova [16]

Dle normy ČSN 22 8306 se vyhledá pevnost materiálu ČSN 12 050 při kovací teplotě a zvolíme součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teplot. Dále se vypočte přetvárný odpor ve zvolených průřezech výkovku. Z vypočtených přetvárných odporů lze vytvořit plochy a zjistit jejich těžiště. Těžiště ploch byly zjištěny pomocí softwaru Autodesk Inventor 2016. Velikost kovací síly se nakonec zjistí pomocí součinu těchto hodnot.

Přetvárný odpor σ_{d0} v bode 0:

$$\sigma_{d0} = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 = 1,285 \cdot 41 \cdot 4 = 210,7 \text{ MPa} \quad (3.11)$$

kde: R_{mT} – pevnost materiálu za kovací teploty [MPa] $R_{mT} = 41 \text{ MPa}$

C_0 – Součinitel snížení plasticity [-] $C_0 = 4$

Přetvárný odpor v bodech výkovku:

$$\sigma_{dn} = \sigma_{dn-1} + R_{mT} \cdot \frac{b_n}{h_n} \cdot C_0 [\text{MPa}] \quad (3.12)$$

kde: σ_{dn-1} – napětí v předchozím bodě [MPa]

Δr_n – šířka příslušné části výkovku [mm]

z_n – výška příslušné části výkovku [mm]

Přetvárný odpor σ_{d1} v bodě 1:

$$\sigma_{d1} = \sigma_{d0} + R_{mT} \cdot \frac{\Delta r_1}{z_1} \cdot C_0 = 210,7 + 41 \cdot \frac{4,8}{1,5} \cdot 4 = 735,5 \text{ MPa}$$

Přetvárný odpor σ_{d2} v bodě 2:

$$\sigma_{d2} = \sigma_{d1} + R_{mT} \cdot \frac{\Delta r_2}{z_2} \cdot C_0 = 735,5 + 41 \cdot \frac{8,1}{11,75} \cdot 4 = 848,6 \text{ MPa}$$

Přetvárný odpor σ_{d3} v bodě 3:

$$\sigma_{d3} = \sigma_{d2} + R_{mT} \cdot \frac{\Delta r_3}{z_3} \cdot C_0 = 848,6 + 41 \cdot \frac{3}{17} \cdot 4 = 877,5 \text{ MPa}$$

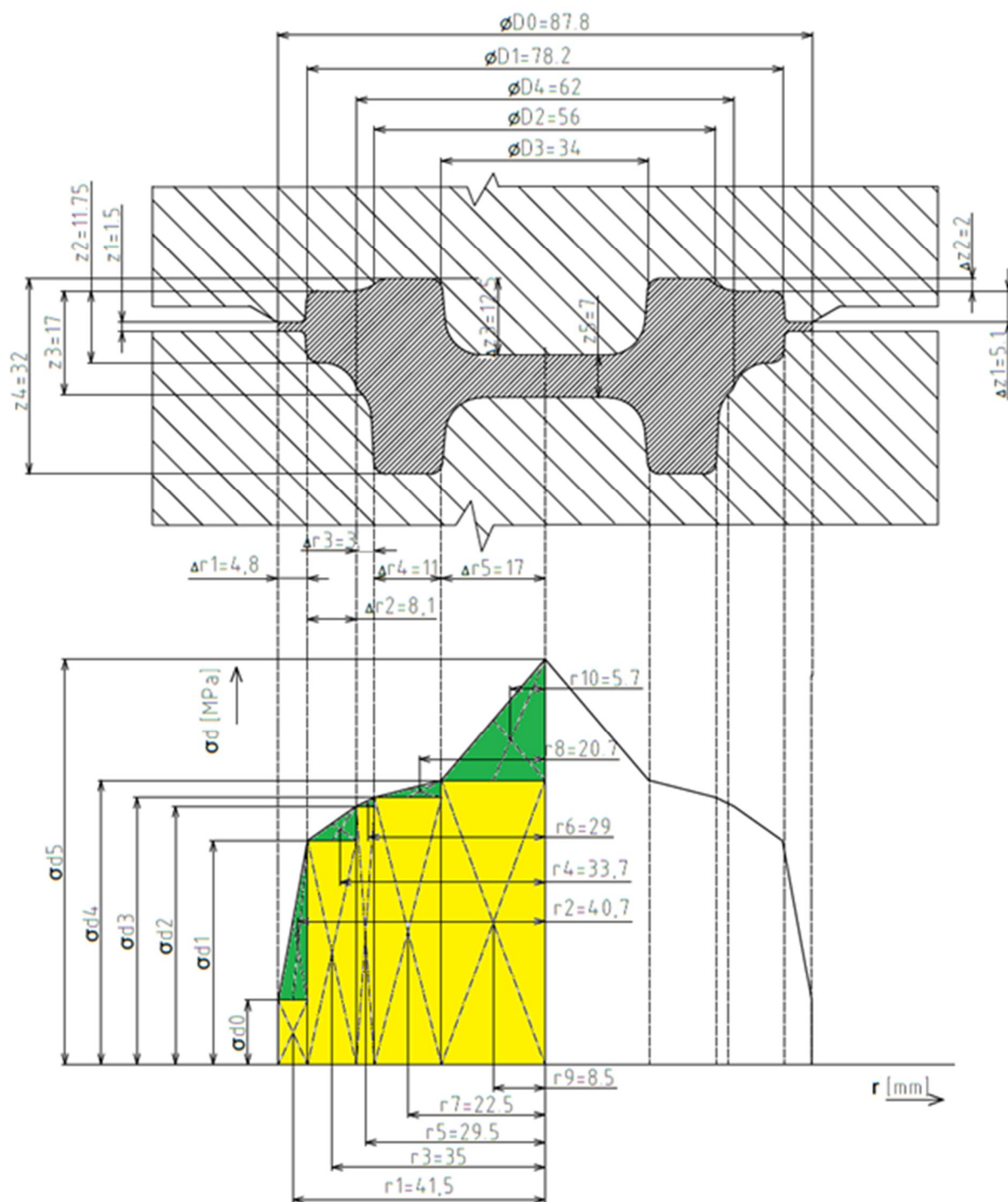
Přetvárný odpor σ_{d4} v bodě 4:

$$\sigma_{d4} = \sigma_{d3} + R_{mT} \cdot \frac{\Delta r_4}{z_4} \cdot C_0 = 877,5 + 41 \cdot \frac{11}{32} \cdot 4 = 933,9 \text{ MPa}$$

Přetvárný odpor σ_{d5} v bodě 5:

$$\sigma_{d5} = \sigma_{d4} + R_{mT} \cdot \frac{\Delta r_5}{z_5} \cdot C_0 = 933,9 + 41 \cdot \frac{17}{7} \cdot 4 = 1332,2 \text{ MPa}$$

Průběhy přetvárných odporů a jejich hodnoty jsou zobrazeny na obr. 24 v měřítku 1:20.



Obr. 24 Diagram průběhu nárůstu normálových napětí u výkovku

Výpočet jednotlivých ploch pod čarami přetvárných odporů:

$$\text{Vzorec pro výpočet obdélníkové plochy: } S_j = \sigma_{dn} \cdot \Delta r_n \quad (3.13)$$

$$\text{Vzorec pro výpočet trojúhelníkové plochy: } S_{j+1} = (\sigma_{dn+1} - \sigma_{dn}) \cdot \frac{\Delta r_n}{2} \quad (3.14)$$

Tab. 9 Výpočty jednotlivých ploch pod křivkou napětí.

Plocha	S_j [N.mm ⁻¹]	r_j [mm]	$S_j \cdot r_j$ [N]
1	$S_1 = 210,7 \cdot 4,8 = 1011,36$	41,5	41 971
2	$S_2 = (735,5 - 210,7) \cdot \frac{4,8}{2} = 1259,5$	40,7	51 262
3	$S_3 = 735,5 \cdot 8,1 = 5957,6$	35	208 514
4	$S_4 = (848,6 - 735,5) \cdot \frac{8,1}{2} = 458,1$	33,7	15 437
5	$S_5 = 848,6 \cdot 3 = 2800$	29,5	82 611
6	$S_6 = (877,5 - 848,6) \cdot \frac{3}{2} = 43,4$	29	1 257
7	$S_7 = 877,5 \cdot 11 = 9652,5$	22,5	217 181
8	$S_8 = (933,9 - 877,5) \cdot \frac{11}{2} = 310,2$	20,7	6 421
9	$S_9 = 933,9 \cdot 17 = 15876,3$	8,5	134 949
10	$S_{10} = (1332,2 - 933,9) \cdot \frac{17}{2} = 3385,5$	5,7	19 298
$\sum_{j=1}^n r_j \cdot S_j$			778 901

Síla od normálových složek napětí:

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n r_j \cdot S_j = 2 \cdot \pi \cdot 778901 = 4893979 = 4,894 \text{ MN} \quad (3.15)$$

kde: r_j – vzdálenost těžiště v ose x [mm]

Pro lepší přehled je suma součinu ploch pod křivkou a vzdáleností těžišť zpracována do tabulky 9.

Síla od tangenciálních složek napětí:

$$F_T = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n \Delta S_j' \text{ [N]} \quad (3.16)$$

$$F_T = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot (D_1 \cdot \Delta z_1 + D_2 \cdot \Delta z_2 + D_3 \cdot \Delta z_3)$$

$$F_T = \frac{41}{2} \cdot \pi \cdot (78,2 \cdot 5,1 + 56 \cdot 2 + 34 \cdot 12,5) = 60269 \text{ N} = 0,063 \text{ MN}$$

kde: S_j' - povrch bočních ploch v pohybující se zápustce, kde dochází ke tření [mm²]

Výsledná kovací síla:

$$F_K = F_N + F_T = 4,894 + 0,063 = 4,96 \text{ MN} \quad (3.17)$$

Výsledná kovací síla metodou přetvárných odporů podle Tomlenova je 4,96 MN.

3.5.4 Porovnání vypočtených sil

Tab. 10 Porovnání vypočtených sil podle různých metod.

Metoda	Výsledná kovací síla [MN]
Brjuchanov – Rebelského	5,27
Storoževova	4,91
Tomlenova	4,96

Z vypočtených metod kovacích sil (viz tab. 10) je patrné, že síla se pohybuje okolo 5 MN. Podle toho se bude volit tvářecí lis, který dosahuje větší jmenovité tvářecí síly nežli nejvyšší vypočtená síla.

3.6 Výpočet ostříhovací síly [12]

Po kování zůstává po obvodu výronek a uvnitř otvorů kovací blána, které je potřeba odstranit. Ostříhování probíhá za spodních kovacích teplot okolo 800, proto se počítá s mezí pevnosti materiálu při této teplotě, která je 130 MPa.

Síla na ostřížení výronku:

$$F_{V\dot{Y}R} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_{mS} \cdot O \cdot 2 \cdot h = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 130 \cdot 78,8 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 1,5 = 131304 \text{ N} \quad (3.18)$$

kde: R_{mS} – mez pevnosti při teplotě 800°C [MPa], $R_{mS} = 130$ MPa

O – obvod výkovku bez výronku v dělicí rovině [mm]

Síla na proděrování blány v otvoru:

$$F_{BL} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_{mS} \cdot O_{BL} \cdot s = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 130 \cdot 32,8 \cdot \pi \cdot 7 = 127528 \text{ N} \quad (3.19)$$

kde: s – tloušťka kovací blány [mm]

O_{BL} – obvod kovací blány [mm]

Celková střížná síla:

$$F_S = F_{V\dot{Y}R} + F_{BL} = 131304 + 127528 = 258832 \text{ N} \cong 0,26 \text{ MN} \quad (3.20)$$

Pro ostřížení a proděrování bude potřeba ostříhovacího lisu, který dosahuje vyšší jmenovité síly než je největší vypočtená síla těchto dvou operací, tedy přibližně 131 kN. Chceme-li provádět obě operace na jeden zdvih beranu, musí stroj disponovat silou větší než 0,26 MN.

3.7 Výpočet síly pro dělení materiálu stříháním [2]

Hutní polotovary (tyč) se bude stříhat na délku 74,3 mm při pokojové teplotě.

$$F_D = 1,3 \cdot S_{pol} \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot \frac{\pi \cdot 42^2}{4} \cdot 0,8 \cdot 800 = 1152688 \text{ N} \cong 1,15 \text{ MN} \quad (3.21)$$

kde: S_{pol} – plocha průřezu hutního polotovaru [mm²]

R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

Výsledná střížná síla je přibližně 1,15 MN. Pro dělení materiálu bude potřeba střížného stroje, který dosahuje vyšší jmenovité síly než je vypočtená.

3.8 Volba stojů

- Tvářecí stroj – pro kování bude použit svislý kovací lis LZK 1000 P/SH (obr. 25) od firmy Šmeral Brno a.s., který disponuje dostatečně velkou jmenovitou silou pro vykování zadaného dílce. Parametry tvářecího stroje jsou zapsány v tabulce 11.



Obr. 25 Lis LZK 1000 P/SH [29]

Tab. 11 Parametry kovacího lisu. [29]

Tvářecí síla	10 MN
Sevření	620 mm
Průchod	1040 mm
Upínací plocha stolu	100 x 950 mm
Upínací plocha beranu	968 x 750 mm
Hydraulické přestavení beranu	10 mm
Zdvih / počet zdvihů	220mm / 100 min ⁻¹
Celkový instalovaný výkon	65 kW
Rozměry stroje v x š x h	4,6 x 2,6 x 3 m

- Ostříhovací stroj – pro ostříhování výronku a proděrování otvoru s kovací blánou bude použit ostříhovací lis LKOA 200 (obr. 26) od firmy Šmeral Brno, a.s., který disponuje jmenovitou silou větší než je požadovaná výpočtem výše. Ostřížení a proděrování bude probíhat na 2 zdvihy, tedy pro každou operaci 1 zdvih. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 12.

Tab. 12 Parametry ostříhovacího lisu. [16]

Tvářecí síla	2000 kN
Sevření	585 mm
Průchod	1420 mm
Upínací plocha stolu	1415 x 1000 mm
Upínací plocha beranu	1200 x 800 mm
Přestavování beranu	100 mm
Zdvih / počet zdvihů	210mm / 55 min ⁻¹
Celkový instalovaný výkon	18 kW
Rozměry stroje v x š x h	4,1 x 2,3 x 2,2 m

- Stroj na dělení výchozího materiálu – pro dělení hutního polotovaru (tyče) budou použity strojní nůžky ScK 315, které disponují jmenovitou silou 3,15 MN a maximálním stříhaným průměrem 98 mm při pevnosti tyče 800MPa.



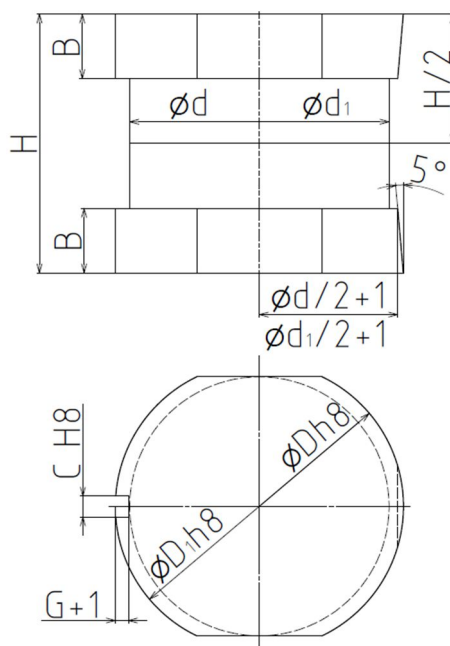
Obr. 26 Lis LKOA 200 [29]

3.9 Konstrukce zápustek [10]

Podle zvoleného kovacího stroje LZK 1000 jsou doporučeny rozměry zápustek dle tab. 13 a obr. 27. Zápustky budou vyrobeny z nástrojové oceli jakosti 19 662.

Tab. 13 Rozměry zápustek. [10] Rozměry v mm.

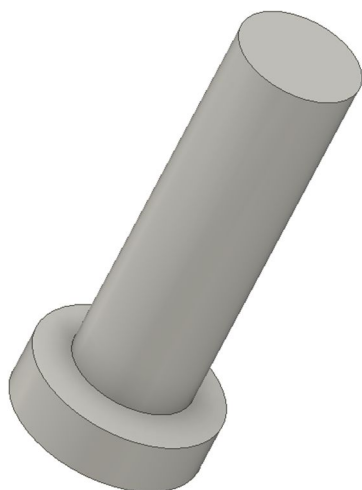
Dokovací zápustka	D_1	222
	d_1	200
Předkovací zápustka	D	197
	d	175
H		200
B		50
C		16
G		9



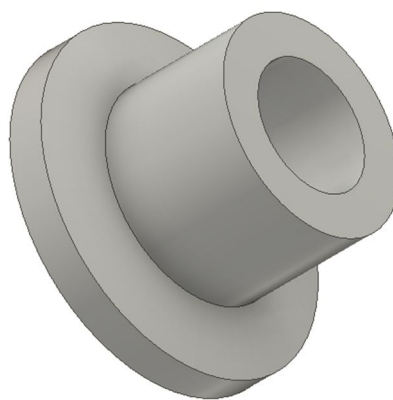
Obr. 27 Rozměry kruhové zápustky [10]

3.9.1 Volba vyhazovače [16]

Z důvodu, že po kování by mohl výkovek ulpívat na stěnách zápustek, budou použity vyhazovače. V předkovací operaci bude použit ve spodní zápustce kolíkový vyhazovač (obr. 28) o průměru $16_{-0,2}$ mm a v dokovací operaci bude použit prstencový vyhazovač (obr. 29) o průměru $56_{-0,2}$ mm s předkovacím trnem (obr. 30) o průměru $34,3_{-0,2}$ mm. Rozměry vyhazovačů se řídí dle normy ČSN 22 8306.



Obr. 28 Model kolíkového vyhazovače



Obr. 29 Model prstencového vyhazovače



Obr. 30 Model předkovacího trnu

3.10 Technologický postup kování

Technologický postup kování pro kovací linku uveden v tabulce 14.

Tab. 14 Postupový list kování

POSTUPOVÝ LIST				
Název výkovku: ŘETĚZOVÉ KOLO (VÝKOVEK)		Číslo výkresu výkovku: A3_BP_2017_02	Číslo výkresu součásti: A4_BP_2017_01	
Číslo operace:	Název operace			
1.	Dělení materiálu - stříhání			
	Jakost materiálu: C45	Profil materiálu: ø 42 mm	Norma materiálu: ČSN EN 10083-2	
	Stroj: Strojní nůžky ScK 315	Délka: 74,3 ± 0,3 mm	Hmotnost přířezu: 0,808 kg	
2.	Kontrola			
	Kontrola hmotnosti a jakosti špalíků s četností 5%			
3.	Kování v kovací lince:			
	A	Indukční ohřev:		
		Stroj: Indukční pec SOP 250/6-A30	Teplota: 1130 ± 20 °C	
	B	Kování:		
		Stroj: LZK 1000 P/SH	Kovací teplota: 1100 ± 20 °C	Kovací síla: 5,27 MN
		1. operace: pēchování		
		2. operace: předkování		
	3. operace: dokování			
C	Ostřih			
	Stroj: LKO A 200	Hmotnost výkovku: 0,716 kg	Střížná síla: 0,26 MN	
4.	Otrýskání:			
	Stroj: Tryskací zařízení TZB 1-5,5/700			
5.	Teplené zpracování			
	Druh: Normalizační žihání		Teplota: 840 až 880 °C	

4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [19], [20]

Technicko – ekonomické zhodnocení vychází z porovnání dvou metod výroby součástí a to zápusťkovým kovááním a obráběním. Porovnává se na základě výpočtu nákladů, které se dělí:

- Závislé (opakované) – je potřeba je vynaložit na výrobu každého kusu (např. mzdy)
- Nezávislé (jednorázové) – je potřeba je vynaložit před zahájením výroby (vypracování výrobní dokumentace, náklady na speciální nářadí atd.)

Vstupní hodnoty:

Počet vyráběných kusů: $Q = 100000$ ks

Hmotnost hotového výrobku: $m_c = 0,31$ kg

Hmotnost výkovku: $m_v = 0,716$ kg

Cena 1 kg oceli C45: $C_m = 28,77$ Kč.kg⁻¹

Výkupní cena třískového odpadu: $C_{to} = 2,7$ Kč.kg⁻¹

Výkupní cena ocelového odpadu: $C_{oo} = 4,8$ Kč.kg⁻¹

4.1 Náklady na výrobu obráběním

- Náklady na materiál:

Rozměr polotovaru: $\varnothing 75 - 32$ mm

Hmotnost polotovaru: $m_{po} = 1,11$ kg

$$\text{Náklady na 1 ks: } N_{m1} = C_m \cdot m_{po} = 28,77 \cdot 1,11 = 31,935 \text{ Kč} \quad (4.1)$$

$$\text{Celkové náklady na materiál: } N_m = N_{m1} \cdot Q = 31,935 \cdot 100000 = 3\,193\,500 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

- Mzdy výrobních dělníků:

Výrobní čas jedné součásti: $t_k = 13$ min

Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_{vd} = 85$ Kč

$$\text{Mzdy na 1 ks: } M_{v1} = \frac{t_k}{60} \cdot m_{vd} = \frac{13}{60} \cdot 85 = 18,42 \text{ Kč} \quad (4.3)$$

$$\text{Celkové mzdy: } M_v = M_{v1} \cdot Q = 18,42 \cdot 100000 = 1\,842\,000 \text{ Kč} \quad (4.4)$$

- Vratný odpad:

$$\text{Odpad z jednoho kusu: } m_o = m_{po} - m_c = 1,11 - 0,31 = 0,8 \text{ kg} \quad (4.5)$$

$$\text{Hmotnost celkového odpadu: } m_{oc} = m_o \cdot Q = 0,8 \cdot 100000 = 80\,000 \text{ kg} \quad (4.6)$$

$$\text{Cena vratného odpadu: } N_o = m_{oc} \cdot C_{to} = 80000 \cdot 2,7 = 216\,000 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

- Dílenské režie:

Dílenské režie činí 650% mezd výrobních dělníků.

$$D_r = \frac{\%mezd}{100} \cdot M_v = \frac{650}{100} \cdot 1\,842\,000 = 11\,973\,000 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

- Podniková režie:

Podniková režie činí 200% mezd výrobních dělníků.

$$P_r = \frac{\%mezd}{100} \cdot M_v = \frac{200}{100} \cdot 1\,842\,000 = 3\,684\,000 \text{ Kč} \quad (4.9)$$

- Zvláštní náklady:

Požizovací náklady nástrojů: $N_n = 45\,000$ Kč

4.2 Náklady na výrobu zápusťkovým kováním a následným obráběním

- Náklady na materiál:

Určíme z vsázkové hmotnosti polotovaru i s opalem.

Rozměr polotovaru: $\varnothing 42 - 74,3$ mm

Hmotnost polotovaru: $m_{pk} = 0,81$ kg

Náklady na 1 ks: $N_{m1} = C_m \cdot m_{pk} = 28,77 \cdot 0,81 = 23,3$ Kč

Celkové náklady na materiál: $N_m = N_{m1} \cdot Q = 23,3 \cdot 100000 = 2\,330\,000$ Kč

- Mzdy výrobních dělníků:

Výrobní čas jedné součásti: $t_k = 3$ min

Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_{vd} = 85$ Kč

Mzdy na 1 ks: $M_{v1} = \frac{t_k}{60} \cdot m_{vd} = \frac{3}{60} \cdot 85 = 4,25$ Kč

Celkové mzdy: $M_v = M_{v1} \cdot Q = 4,25 \cdot 100000 = 425\,000$ Kč

- Vratný odpad:

Odpad z jednoho kusu: $m_o = m_{pk} - m_v = 0,81 - 0,716 = 0,094$ kg

Hmotnost celkového odpadu: $m_{oc} = m_o \cdot Q = 0,094 \cdot 100000 = 9\,400$ kg

Cena vratného odpadu: $N_o = m_{oc} \cdot C_{oo} = 9400 \cdot 4,8 = 45\,120$ Kč

- Dílenské režie:

Dílenské režie činí 1000% mezd výrobních dělníků.

$D_r = \frac{\%mezd}{100} \cdot M_v = \frac{1000}{100} \cdot 425000 = 4\,250\,000$ Kč

- Podniková režie:

Podniková režie činí 200% mezd výrobních dělníků.

$P_r = \frac{\%mezd}{100} \cdot M_v = \frac{200}{100} \cdot 425000 = 850\,000$ Kč

- Zvláštní náklady:

Náklady na zápusťky: $N_z = 320\,000$ Kč

Náklady na ostříhovací nástroj: $N_{os} = 120\,000$ Kč

Celkové zvláštní náklady: $N_{czvl} = N_z + N_{os} = 350000 + 120000 = 440\,000$ Kč (4.10)

Náklady na následné obrábění po kování:

- Mzdy výrobních dělníků:

Výrobní čas jedné součásti: $t_k = 6$ min

Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_{vd} = 85$ Kč

Mzdy na 1 ks: $M_{v1} = \frac{t_k}{60} \cdot m_{vd} = \frac{6}{60} \cdot 85 = 8,5$ Kč

Celkové mzdy: $M_v = M_{v1} \cdot Q = 8,5 \cdot 100000 = 850\,000$ Kč

- Vratný materiál:

Odpad z jednoho kusu: $m_o = m_v - m_c = 0,716 - 0,31 = 0,406$ kg

Hmotnost celkového odpadu: $m_{oc} = m_o \cdot Q = 0,406 \cdot 100000 = 40\,600$ kg

Cena vratného odpadu: $N_o = m_{oc} \cdot C_{to} = 40\,600 \cdot 2,7 = 109\,620$ Kč

- Dílenské režie:

Dílenské režie činí 650% mezd výrobních dělníků.

$$D_r = \frac{\%mezd}{100} \cdot M_v = \frac{650}{100} \cdot 850000 = 5\,525\,000 \text{ Kč}$$

- Podnikové režie:

Podniková režie činí 200% mezd výrobních dělníků.

$$D_r = \frac{\%mezd}{100} \cdot M_v = \frac{200}{100} \cdot 850000 = 1\,700\,000 \text{ Kč}$$

- Zvláštní náklady:

Pořizovací náklady nástrojů: $N_n = 25\,000 \text{ Kč}$

4.3 Zhodnocení technicko – ekonomických výpočtů

Základní srovnání technicko ekonomických ukazatelů je uvedeno v tab. 15. a srovnání nákladů výroby zápusťkového kování a obrábění je uvedeno v tab. 16.

Tab. 15 Porovnání technicko – ekonomických ukazatelů.

Technologie	Obrábění	Zápusťkové kování
Počet kusů [ks]	100 000	100 000
Spotřeba materiálu [kg.ks ⁻¹]	1,11	0,81
Hmotnost odpadu [kg.ks ⁻¹]	0,8	0,5
Pracnost [min.ks ⁻¹]	13	9

Tab. 16 Porovnání nákladů.

Hodnoty v Kč.

Položka	Technologie		Úspory záp. kováním vůči obrábění
	Obrábění	Zápusťkové kování	
Materiál	3 193 500	2 330 000	863 500
Mzdy výrobních dělníků	1 842 000	1 275 000	567 000
Dílenské režie	11 973 000	9 775 000	2 198 000
Podnikové režie	3 684 000	2 550 000	1 134 000
Zvláštní náklady	45 000	465 000	-420 000
Vratný odpad	-216 000	-154 740	61 260
Celkové náklady	20 521 500	16 240 260	4 281 240
Náklady na 1 ks	205,22	162,40	42,82

Podle výpočtů jsou náklady na výrobu součásti pomocí třískového obrábění 205,2 Kč a zápusťkového kování 162,4 Kč. Použitím technologie zápusťkového kování se dosáhne úspory 42,8 Kč a to díky zkrácení času výroby a lepšího využití materiálu.

5 ZÁVĚR

Bakalářská práce pojednává o návrhu výroby řetězového kola, které lze vyrobit různými metodami. Jako nejvhodnější metoda byla nakonec vybrána výroba zápustkovým kovááním. Na toto téma byla vypracována literární studie, ve které se zabývalo procesem tváření, druhy strojů pro kováání, konstrukcí výkovku a nástroje a jeho upínání do tvářecího stoje.

V další části byl vytvořen návrh výroby, který vycházel z literární studie. Zde se provedlo navržení přídavek na obrábění a přídavek technologických. Dále byl výkovek zařazen dle složitosti tvaru, podle kterého se vybrali odpovídající úchytky a tolerance rozměrů. Polotovary výkovku byly vypočítány z objemu výkovku, který byl zjištěn pomocí programu Autodesk Inventor 2016 s přičtením objemu výronku a objemu ztráty kovu opalem. S ohledem na štíhlostní poměr byla zvolena polotovarem ocelová tyč Ø42 mm ČSN EN 10060 dodávaná v délce 6 m, která bude dělena stříháním na špalíky o délce $74,3 \pm 0,3$ mm. Potřebná střížná síla byla stanovena na 1,15 MN. S ohledem na tuto sílu byly pro operaci dělení zvoleny strojní nůžky ScK 315. Pro ohřev materiálu na kovací teplotu 1100°C byla zvolena indukční pec SOP 250/6-A30. Jako další byla určena potřebná kovací síla ze tří různých metod teoretickými výpočty. Výsledná kovací síla se pohybovala v rozmezí od 4,91 po 5,27 MN, z těchto hodnot byl zvolen kovací lis LZK 1000 P/SH. Z doporučených hodnot rozměrů zápustek pro zvolený stroj byly zkonstruovány zápustky z nástrojové oceli jakosti 19 662 s použitím kolíkového vyhazovače u předkovací zápustky a prstencového vyhazovače u dokovací zápustky. Poté se vypočítala síla potřebná na ostřížení výronku a proděrování kovací blány. Výsledná síla pro ostřížení výronku byla vypočtena na 131 kN a na proděrování kovací blány 128 kN. Jelikož bude každá operace probíhat při jednom zdvihu na stejném stroji, byl zvolen ostříhovací lis LKOA 200 s ohledem na nejvyšší vypočtenou sílu, tedy sílu potřebnou na ostřížení výronku.

Z vypočtených a zvolených hodnot byly vytvořeny výkresy výkovku, teplého ohřátého výkovku, pýchovací zápustky, předkovací zápustky, dokončovací zápustky a sestavy všech tří kovacích zápustek s vyhazovači.

V poslední kapitole zabývající se technicko – ekonomickým zhodnocením výroby byla porovnána výroba zadané součásti pouze třískovým obráběním a použitím zápustkového kováání s následným obrobením funkčních ploch. Celkové úspory jsou uvedené v tab. 14, ze které vyplývá, že výroba pomocí zápustkového kováání s následným obrobením funkčních ploch bude asi o 42,8 Kč úspornější nežli výroba vysoustružení součásti z hutního polotovaru a to díky úsporám na materiálu a kratšího výrobního času.

Technologie zápustkového kováání je pro svou efektivitu využití materiálu, vysokou produktivitu a zlepšení mechanických vlastností, nezastupitelnou technologií ve výrobním průmyslu, která má do budoucna velký potenciál.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BRJUCHANOV, Andrej Nikolajevič a A. V. REBEL'SKIJ, 1955. *Zápustkové kování: konstrukce a výpočet nástrojů: určeno pro kovárenské techniky a studující*. Přeložil Vladimír HORSKÝ, přeložil Antonín STROCH. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. Řada strojírenské literatury.
2. ČERMÁK, Jan, 2004. *Podklady pro technologický postup zápustkového kování* [online]. Praha [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/Uploads/vykovek-zadani.pdf>
3. DRASTÍK, František, 1972. *Výpočty z oboru kování a lisování*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury.
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ, 2013. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 9788021447479.
5. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK, 2005. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 8021428813.
6. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA, 2006. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 8021423749.
7. FROLEC, Ivo, 2003. *Kovářství*. Praha: Grada. Řemesla, tradice, technika. ISBN 8024706113.
8. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL, 2011. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 9781107004528.
9. LIDMILA, Zdeněk, 2008. *Teorie a technologie tváření II*. Brno: Univerzita obrany. ISBN 9788072135802.
10. LIDMILA, Zdeněk, *Technologické procesy: Podklady do cvičení*.
11. NOVOTNÝ, Karel, 2002. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje* [online]. Brno [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobnni_stroje_a_zarizeni__novotny.pdf
12. NOVOTNÝ, Karel, 1992. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické. ISBN 8021404019.
13. RUDOLF, Bedřich, 1982. *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce: vysokoškolská učebnice*. 2., opr. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.
14. SUCHOPÁREK, Rudolf, 1956. *Základy zápustkového kování oceli*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

15. ČSN 42 9030, *Výkovky ocelové zápusťkové: Přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů*, 1987. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření.
16. ČSN 22 8306, *Zápusťky pro svislé kovací lisy: Směrnice pro konstrukci*, 1991. Praha: Vydavatelství norem.
17. ČSN 42 9002, *Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru*, 1971. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření.
18. Automobilový průmysl, *Alper* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.alper.cz/automobilovy-prumysl.php>
19. Ceník ocelového odpadu, *Korona s.r.o.* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.korona-eko.cz/dokumenty/zelezo.pdf>
20. *Ferona a.s.* [online], [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php>
21. Gravitační liti do forem, *Slovácké strojírný* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.sub.cz/mep-postrelmov/slevarna/gravitacni-liti-do-forem.aspx>
22. Induktives Glühen, *Plustherm* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.plustherm.ch/induktives-gluumlhen.html>
23. *Katedra tváření kovů a plastů* [online], Liberec [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obsah.htm
24. Kovářství, *Wikipedie* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kov%C3%A1%C5%99stv%C3%AD>
25. Objemové a plošné tváření, *Slideplayer* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/11459599/>
26. Ojnice, *Zetorkovarna* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.zetorkovarna.cz/ojnice>
27. Přehled vlastností ocelí C45, *Bolzano* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-c45>
28. Soustružení, *ELUC* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1823>
29. *Šmeral Brno a.s.* [online], [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/index.html>
30. Vada, *Jiri Hruby* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hru45/images/Vada05.jpg>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
B	Šířka výkovku	[mm]
B _V	Šířka otřepu v zásobníku	[mm]
b	Šířka můstku	[mm]
C ₀	Součinitel snížení plasticity	[-]
C _m	Cena oceli C45	[Kč.kg ⁻¹]
C _{oo}	Výkupní cena ocelového odpadu	[Kč.kg ⁻¹]
C _{to}	Výkupní cena třískového odpadu	[Kč.kg ⁻¹]
D	Největší průměr výkovku	[mm]
D _{pol}	Průměr polotovaru	[mm]
D _r	Dílenské režie	[Kč]
D _V	Průměr výkovku bez výronkové drážky	[mm]
D _{VÝR}	Vnější průměr výronku	[mm]
d _s	Největší průměr součásti	[mm]
F _{BL}	Síla na proděrování blány v otvoru	[N]
F _D	Síla na dělení polotovaru	[N]
F _K	Kovací síla	[N]
F _N	Síla od normálových složek napětí	[N]
F _S	Celková střižná síla	[N]
F _T	Síla od tangenciálních složek napětí	[N]
F _{VÝR}	Síla na ostřížení výronku	[N]
f	Délka hrany k zaoblení	[mm]
H	Výška výkovku	[mm]
H _D	Hloubka spodní dutiny zápustky	[mm]
h	Výška můstku	[mm]
h _s	Největší výška součásti	[mm]
L	Délka výkovku	[mm]
L _{pol}	Délka polotovaru	[mm]
M _V	Celkové mzdy	[Kč]
m _c	Hmotnost hotového výkovku	[kg]
m _o	Odpad z jednoho kusu	[kg]
m _{oc}	Celkový odpad	[kg]
m _{pk}	Hmotnost polotovaru na kování	[kg]
m _{po}	Hmotnost polotovaru na obrábění	[kg]
m _{pol}	Hmotnost polotovaru	[kg]
m _V	Hmotnost výkovku	[kg]
m _{vd}	Hodinová mzda výrobního dělníka	[Kč]
N _{czvl}	Celkové zvláštní náklady	[Kč]
N _m	Celkové náklady na materiál	[Kč]
N _{m1}	Náklady na materiál na jeden kus	[Kč]
N _n	Požizovací náklady nástrojů	[Kč]
N _o	Cena vratného odpadu	[Kč]
N _{os}	Náklady na ostříhovací nástroj	[Kč]
N _z	Náklady na zápustky	[Kč]
n	Hloubka zásobníku	[mm]
O	Obvod výkovku bez výronku	[mm]
O _{BL}	Obvod kovací blány	[mm]

P_r	Podnikové režie	[Kč]
Q	Počet vyráběných kusů	[-]
R	Zaoblení přechodu	[mm]
R_{dp}	Poloměr zaoblení přechodu do dělicí roviny	[mm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
R_{ms}	Mez pevnosti při 800 °C	[MPa]
R_{mT}	Pevnost materiálu za kovací teplot	[MPa]
r	Zaoblení hrany	[mm]
r_j	Vzdálenost těžiště v ose x j-té části výkovku	[mm]
S_j	Plocha pod křivkou j-té části výkovku	[N.mm ⁻¹]
S_V	Plocha výkovku bez výronkové drážky	[mm ²]
S_{VYR}	Plocha výronku	[mm ²]
s	Tloušťka blány	[mm]
t_k	Výrobní čas	[min]
V_p	Objem přídavku na opal	[mm ³]
V_{pol}	Objem polotovaru	[mm ³]
V_V	Objem výkovku	[mm ³]
V_{VYR}	Objem výronku	[mm ³]
v	Rychlost beranu	[m.s ⁻¹]
z_n	Výška n-té části výkovku	[mm]
Δr_n	Šířka n-té části výkovku	[mm]
λ	Štíhlostní poměr	[-]
ρ	Hustota oceli	[kg.m ³]
σ_{dn}	Napětí v bodech	[MPa]
σ_p	Přirozený přetvárný odpor při kovací teplotě	[N.mm ⁻²]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výkovků zápustkového kování [18], [26]	10
Obr. 2 3D model a základní rozměry součásti.....	11
Obr. 3 Schéma soustružení [28].....	12
Obr. 4 Odlévání do pískové formy [21]	12
Obr. 5 Schéma zápustkového kování [25].....	13
Obr. 6 Schéma elastické (pružné) a plastické (trvalé) deformace [23]	14
Obr. 7 Kovací teploty v diagramu Fe-Fe ₃ C [23].....	14
Obr. 8 Změna tvaru zrn v důsledku tváření [23].....	14
Obr. 9 Vada výkovku typu ‘‘přeložka‘‘ [30].....	15
Obr. 10 Pneumaticko - hydraulický buchar [29].....	16
Obr. 11 Indukční ohřev [22]	17
Obr. 12 Přídavky výkovku.....	18
Obr. 13 Zaoblení hran r a přechodů R [15].....	19
Obr. 14 Tvar kovací blány v předkovaném otvoru [15].....	20
Obr. 15 Minimální tloušťka dna, blány, disku a stěny s výkovku [15].....	21
Obr. 16 Postup kování na svislém klikovém lisu [9]	25
Obr. 17 Držák zápustkových vložek [12]	25
Obr. 18 Tvary výronkových drážek [16].....	26
Obr. 19 Nomogram pro stanovení výšky můstku h [16].....	26
Obr. 20 Prstencový vyhazovač [16]	27
Obr. 21 Kolíkový vyhazovač [16].....	27
Obr. 22 Model výkovku.....	28
Obr. 23 Poloha dělicí plochy	28
Obr. 24 Diagram průběhu nárůstu normálových napětí u výkovku.....	34
Obr. 25 Lis LZK 1000 P/SH [29].....	37
Obr. 26 Lis LKOA 200 [29]	37
Obr. 27 Rozměry kruhové zápustky [10]	38
Obr. 28 Model kolíkového vyhazovače.....	38
Obr. 29 Model prstencového vyhazovače	38
Obr. 30 Model předkovacího trnu.....	38

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení oceli C45. [27].....	11
Tab. 2 Přídavky na obrábění ploch pro obvyklé provedení. [15]	18
Tab. 3 Zaoblení hran r a přechodů R. [15]	19
Tab. 4 Úkosy zápusťkových výkovků. [9].....	20
Tab. 5 Minimální tloušťka dna, blány, disku a steny s. [15]	21
Tab. 6 Mezní úchylky zaoblení přechodů R a hran r. [15].....	23
Tab. 7 Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení. [15]	24
Tab. 8 Mezní úchylky a tolerance rozměrů výkovku pro IT 5. [15].....	24
Tab. 9 Výpočty jednotlivých ploch pod křivkou napětí.	35
Tab. 10 Porovnání vypočtených sil podle různých metod.....	36
Tab. 11 Parametry kovacího lisu. [29]	37
Tab. 12 Parametry ostříhovacího lisu. [16]	37
Tab. 13 Rozměry zápusťek . [10].....	38
Tab. 14 Postupový list kování.....	39
Tab. 15 Porovnání technicko – ekonomických ukazatelů.	42
Tab. 16 Porovnání nákladů.	42

SEZNAM VÝKRESŮ

ŘETĚZOVÉ KOLO	A4_BP_2017_01
ŘETĚZOVÉ KOLO (VÝKOVEK)	A3_BP_2017_02
DOKONČOVACÍ ZÁPUSTKA	A3_BP_2017_03
PŘEDKOVACÍ ZÁPUSTKA	A3_BP_2017_04
PĚCHOVACÍ ZÁPUSTKA	A3_BP_2017_05
KOVACÍ ZÁPUSTKY	A2_BP_2017_06
TEPLÝ NEOSTŘÍŽENÝ VÝKOVEK	A3_BP_2017_07