



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ OZUBENÉHO KOLA

DROP FORGING OF GEAR WHEEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Bednařík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marek Štroner, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Petr Bednařík
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Marek Štroner, Ph.D.
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:

Zápustkové kování ozubeného kola

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 kováním v zápustce.

Cíle bakalářské práce:

Zpracování technologického postupu pro zvolenou technologii a daný případ.

Vypracování výkresové dokumentace spolu s technologickými výpočty.

Technicko–ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. Brno: Nakladatelství VUT, 1991.

HAŠEK, Vladimír. Kování: pomůcka pro studenty vysokých a odborných škol. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. Řada strojírenské literatury.

KOTOUČ, Jiří. Tvářecí nástroje. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-01-01003-1.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.

PRIMUS, František. Teorie objemového tváření. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1979.

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

BEDNAŘÍK Petr: Zápustkové kování ozubeného kola.

Práce předkládá návrh technologie výroby ozubeného kola z kruhového přříezu jakosti 12 050. Na základě literární studie zápustkového kování a výpočtů byl navržen technologický postup výroby. Návrh zápustek bude proveden na základě příslušných norem, materiál zápustek bude ocel 19 552. Vzhledem k tvarové složitosti a rozměrům ozubeného kola budou použity tři operace. Na základě vypočtené kovací síly byl zvolen svislý kovací list LMZ 1600 A/S se jmenovitou silou 16 MN. Vzhledem k použití lisu bude zápustka opatřena vyhazovačem.

Klíčová slova: Ocel 19 552, tváření, zápustkové kování, svislý kovací lis, ozubené kolo

ABSTRACT

BEDNAŘÍK Petr: Drop forging of gear wheel.

The project elaborated design of technology production of gear wheel from circular blanks of steel 12 050. Pursuant to of the literary pursuit a problem of the die forging and calculation was designed manufacturing process. Dies proposal will be based on relevant standards, materials die steel will be 19 552. Given the complexity of the shape and dimensions of the gear will be used in three operations. Based on the calculated forging force was chosen vertical forging sheet LMZ 1600 A/S with a nominal power of 16 MN. Due to the use of the press die is provided with an ejector.

Keywords: 19 552 steel, forming, die forging, vertical forging press, gear wheel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BEDNAŘÍK, Petr. *Zápustkové kování ozubeného kola*. Brno, 2017. 40s, 7 výkresů, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Marek Štroner, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 19.5.2017

.....
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	
ÚVOD	10
1 ROZBOR ZADÁNÍ	11
1.1 Výrobní varianty	12
2 KOVÁNÍ	14
2.1 Zápustkové kování	14
2.2 Kovací stroje	15
2.3 Příprava polotovaru	16
2.4 Návrh výkovku	18
2.5 Návrh zápustky	22
2.6 Výronková drážka	24
2.7 Odstraňování výkovku	24
3 NÁVRH VÝROBY	25
3.1 Zatřídění výkovku	25
3.2 Přídavky a tolerance výkovku	26
3.3 Návrh výronkové drážky	26
3.4 Výpočet polotovaru	27
3.5 Stanovení kovací síly	28
3.6 Výpočet střížné síly	33
3.7 Volba ohřevu polotovaru	33
3.8 Volba strojů	34
3.9 Technologický postup	35
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	36
4.1 Náklady na výrobu obráběním	36
4.2 Náklady na výrobu zápustkovým kovááním	37
4.3 Porovnání nákladů	39
5 ZÁVĚRY	40
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam výkresů	

ÚVOD [3], [4], [18], [27]

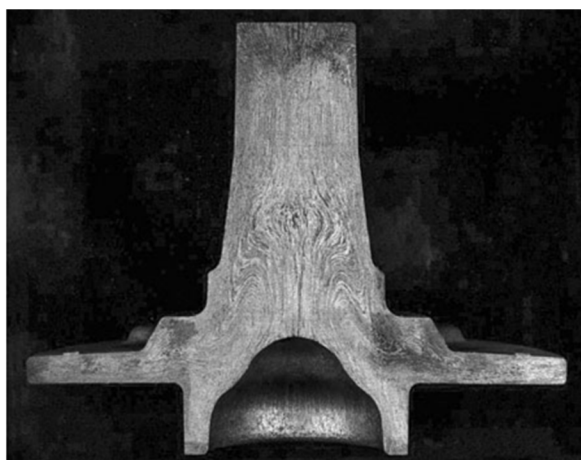
Kování je jednou z nejstarších technologií, historicky bylo kování důležité zejména pro zpracování kovů k výrobě nástrojů a zbraní. Později se stalo jedním ze znaků vyspělosti dané země. V počátcích se jednalo hlavně o ruční kování, které byla postupem času snaha zmechanizovat. To se povedlo až kolem 12. století v podobě tzv. hamrů. Velkým průlomem byl v 19. století vynález parního stroje a vznik prvních strojních bucharů. Postupem doby se pak buchary a později i lisy modernizovali a automatizovali, až do podoby jakou známe dnes. S rostoucí automatizací se zároveň začalo přecházet od volného kování k zápustkovému, které se dnes používá ve většině sériových výrob. V současné době je kování rozšířeno do téměř všech odvětví průmyslu, zejména pak u těch odvětví kde je potřeba vysoká pevnost, příklady výkovků jsou na obr. 1.

Kování je tvářecí proces probíhající nad teplotou překrystalizace. Během kování měníme strukturu vláken (obr. 2) a tím pozitivně ovlivňujeme mechanické vlastnosti a homogenitu součástí. Další podstatnou výhodou je menší materiálový odpad u tvarově složitějších součástí.

Cílem této práce bude navrhnout pro zadanou součást technologický postup, včetně výkresů zápustek, a technicko-ekonomické zhodnocení stávající výroby s navrhovanou. Součást bude zhotovena zápustkovým kovááním, na tuto technologii bude tematicky zpracována literární studie.



Obr. 1 Příklady výkovků [27]

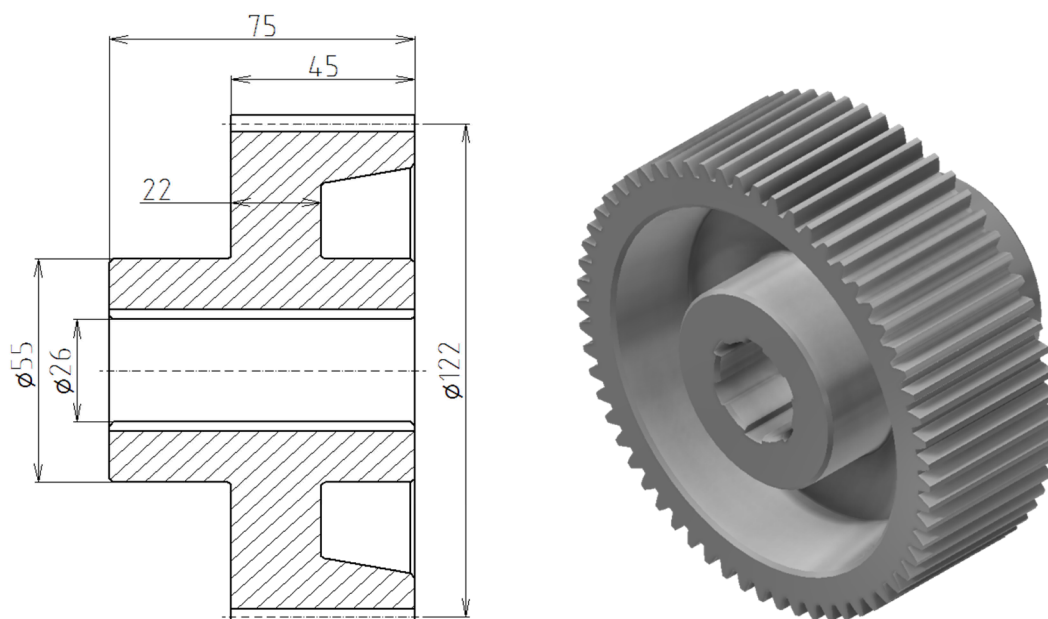


Obr. 2 Struktura vláken výkovku [3]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [8]

Zadanou součástí je ozubené kolo pohybového mechanismu manipulátoru. Součást bude přenášet nižší až střední krouticí momenty při poměrně nízkých otáčkách. Krouticí moment je z hřídele přenášen drážkováním dle ČSN ISO 14 (01 4942). Pozice na hřídeli je zajištěna z jedné strany odsazením a z druhé pomocí pojistného kroužku, v tomto místě je také kolo odlehčeno vybráním. Náčrt a model kola je na obrázku 3. Výkres součásti je v příloze č.1, č.v. BP_2017_01_01.

Součást byla celá doposud vyráběna třískovým obráběním, pro zlepšení mechanických vlastností a zvýšení výrobnosti bude navrhnout výrobní postup pro zápustkové kování. Výrobní série pro tuto součást je 70.000 ks.rok⁻¹.



Obr. 3 Náčrt a model zadané součásti

Materiál součásti je ocel 12 050, ušlechtilá uhlíková ocel vhodná k zušlechťování a povrchovému kalení. Je velmi dobře obrobitelná, s dobrou tvarovou stabilitou po tepelném zpracování. Vhodná zejména pro tepelně zpracované součásti, kde je plně využito mechanických vlastností oceli. Mez pevnosti této oceli je $R_m = 590-710$ MPa. Chemické složení oceli je v tabulce 1.

Tab. 1 Chemické složení materiálu [8]

Materiál:	Ocel 12 050 (1.1191 / C45)			
Uhlík – C [%]	Křemík – Si [%]	Mangan – Mn [%]	Chrom – Cr [%]	Nikl – Ni [%]
0,42 – 0,50	< 0,4	0,50 – 0,80	< 0,4	< 0,4

Teploty pro tepelné zpracování: Kování: 800 - 1100 °C
 Žihání normalizační: 840 - 880 °C
 Žihání na měkko: 650 - 700 °C
 Kalící teplota: 820 - 860 °C

1.1 Výrobní varianty [3], [9], [12], [15], [16], [17], [23]

Výrobu ozubeného kola je možné rozdělit na výrobu základního tvaru a na výrobu ozubení, případně dohotovení dalších prvků, jako jsou otvory, drážky a dosedací plochy. Tato práce se bude především zabírat možnostmi výroby základního tvaru kola. Ten je možné vyrobit technologiemi obrábění, slévání a tváření. U každé z těchto technologií bude vybrána nejvhodnější metoda, která bude popsána a zhodnocena. Pro technologii obrábění je nejvhodnější soustružení, pro slévárství je to vzhledem k výrobní sérii a tvaru odlévání ve variantě trvalých forem. U tváření je nejvhodnější metodou zápusťkové kování. U jednotlivých metod bude zhodnocena vhodnost pro danou sérii, změny mechanických vlastností a přibližné porovnání odhadovaných nákladů.

- **Soustružení**

Je obrábění válcových a rotačních ploch zpravidla jednobřítým nástrojem (obr. 4). Hlavní pohyb je rotační a koná ho obrobek, vedlejší pohyb je pak posuvný a koná ho nástroj. Soustružením jsem schopni docílit většiny požadovaných rozměrů a drsností



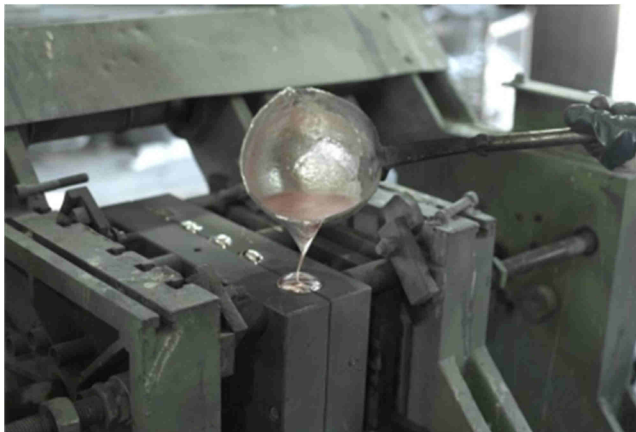
Obr. 4 Soustružení [23]

povrchu, pokud potřebujeme přesnější rozměry nebo lepší povrch, musíme součást brousit. Jako výhodu můžeme považovat univerzální a levnější nástroje v porovnání s ostatními metodami. Velká nevýhoda soustružení je velké množství odpadového materiálu a také poměrně nízká produktivita této technologie, vzhledem k ostatním metodám. Další nevýhodou jsou horší mechanické vlastnosti, které jsou způsobené porušováním vláken materiálu.

Tato metoda se jeví v porovnání s ostatními jako nejméně vhodná, zejména protože není dosaženo požadovaných mechanických vlastností a taky je při výrobě produkováno velké množství odpadového materiálu což vede ke zvýšeným nákladům.

- **Odlévání do trvalých forem**

Je technologie lití roztaveného kovu do trvalých (kovových) forem (obr. 5). Forma odpovídá tvaru výsledné součásti, ale je zvětšena o hodnotu smrštění. Získaný odlitek může být polotovar pro obrábění nebo přímo hotová součást, ve většině případů se pouze obrábějí funkční rozměry a plochy. Při této technologii vzniká minimální odpadový materiál. Další výhodou je vysoká produktivita. Pořizovací cena forem je vysoká, proto je tato technologie vhodná pro velko sériovou výrobu. Chladnutím a smršťováním vzniká heterogenní



Obr. 5 Odlévání do trvalých forem [9]

struktura, která působí negativně na mechanické vlastnosti materiálu.

Tato technologie se jeví jako vhodná kvůli dostatečné výrobnosti a nízké konečné ceně výrobku. Nesplňuje ovšem požadavek na vysoké mechanické vlastnosti.

- **Zápustkové kování**

Technologie tváření materiálu za tepla pomocí jednoúčelových nástrojů – zápustek (obr. 6). Zápustka má negativ tvaru budoucího výkovku a je rozdělena na horní a dolní polovinu, zápustky mohou být předkovací, kovací a dokončovací. Takto získaný výkovek je ve většině případů polotovar pro další třískové obrábění. Hlavním výhodou jsou lepší mechanické vlastnosti výkovku následkem tvarování vláken materiálu během kovacího procesu. Výsledná součást má proto vyšší mechanické vlastnosti a je homogenní. I pokud budeme brát v úvahu dokončovací obráběcí práce, je u této technologie velmi malý odpadový materiál. V neposlední řadě je výhodou vysoká produktivita metody. Pořizovací cena zápustky je vysoká, ale životnost zápustky je několik stovek tisíc cyklů. Proto je tato metoda vhodná pro velkou sériovou výrobu součástí, zvláště pak u těch, které mají požadavek na mechanické vlastnosti.

Zápustkové kování lze provádět na bucharech nebo lisech. Obě tyto varianty mají své charakteristiky. Stručné porovnání obou variant je uvedeno níže:



Obr. 6 Zápustkové kování [9]

Buchar

- Lepší vyplnění horní zápustky následkem setrvačných sil.
- Kvalitnější povrch výkovku kvůli odlétávání okují.
- Horší prokování a nižší produktivita.
- Nižší přesnost výroby následkem horšího vedení zápustek a rázů.

Lis

- Lepší prokování materiálu a vyšší produktivita.
- Je možné použít vyhazovače – menší technologické úkosity.
- Větší přesnost výkovku následkem pomalu působící síly – nevznikají rázy.
- Okuje se postupně zakovávají do výkovku – horší kvalita povrchu.

Z jednotlivých variant je nejvíce vhodné zápustkové kování. Obrábění má kvůli velkému odpadu vysoké náklady a sléváním nejsme schopni dosáhnout požadované pevnosti. Na výběr strojů jsou požadavky na lepší prokování a vysokou produktivitu, ty splňuje lépe lis. Součást tedy bude vyráběna technologií zápustkového kování na výstředníkovém lisu.

2 KOVÁNÍ [5], [12], [16], [18]

Kování je technologie objemového tváření za tepla, to znamená, že teplota během kovacího procesu je nad teplotou rekrystalizace. Během této teploty se zrna, která jsou zpevněná deformací, vzniklou během kování, obměňují za nová nedeformovaná zrna. Následkem této transformace je částečná nebo úplná ztráta deformačního zpevnění.

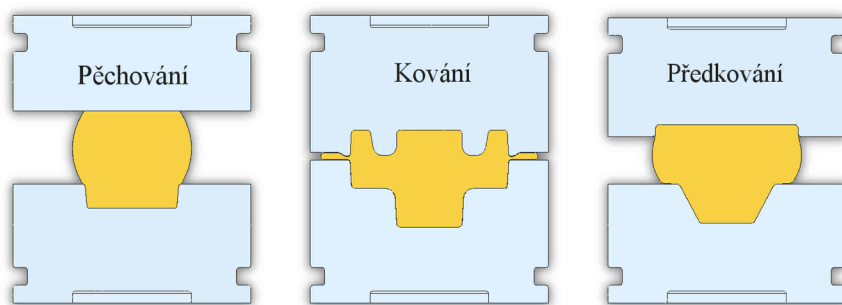
Výchozí polotovár je tvářen vnější tlakovou silou, působící na beran resp. na horní část zápustky. Výsledkem je pak hotový výkovek případně u složitějších součástí může být použito i více zápustek, než dostaneme hotový výkovek. Polotovár se zpravidla ještě před těmito operacemi pěchuje. Je potřeba, aby tvářecí síla překonala odpor, který brání vzniku plastických deformací v materiálu. Proto je nutný správný výpočet této síly a správný výběr lisu, případně bucharu. Výhodou tváření za tepla je nižší tvářecí síla a následkem toho i menší opotřebení nástroje. Další podstatnou výhodou je vznik a tvarování vláknité struktury do podoby konečného výkovku, díky tomu má pak výkovek velmi dobré mechanické vlastnosti. Jako nevýhoda se pak jeví horší kvalita povrchu následkem okujení, zejména pak u lisů kde se okuje většinou zakovávají do výkovku.

Kování je rozděleno na ruční a strojní, případně podle použitých nástrojů na volné a zápustkové. Tato práce se bude vzhledem ke svému charakteru zabývat pouze zápustkovým kovááním.

2.1 Zápustkové kování [6], [16], [18], [19]

Zápustkovým kovááním dosahujeme přesnějších rozměrů a tvarů než u volného kování. Zápustka je v podstatě jednoúčelový dvoudílný nástroj, který má negativní tvar hotového výkovku, rozměry jsou zvětšené o velikost smrštění kovaného materiálu. Postup při zápustkovém kováání je následující. Zpravidla do předem zahřáté spodní dutiny zápustky se vloží polotovár ohřátý na kovací teplotu. Ten se pak tváří do podoby výkovku přes horní část zápustky pomocí tvářecí síly, která je vyvozena údery beranu nebo klidně působící silou lisu.

Touto technologií jsme schopni dosáhnout kvalitního prokování a vláknité struktury, která má tvar obrysu výkovku. Výsledkem toho jsou pak lepší mechanické vlastnosti. I přesto, že je zápustkové kováání velmi přesné, je



Obr. 7 Příklad postupu zápustkového kováání [18]

potřeba všechny funkční plochy obrobit na požadovanou přesnost a drsnost. Případně dodělat prvky, které zápustkovým kovááním vyrobit nelze jako jsou například drážky, zápichy a díry malého průměru.

Mezi výhody zápustkového kováání patří kromě již dříve zmiňovaného zlepšení mechanických vlastností také vysoká produktivita. I kvůli vyšší pořizovací ceně zápustek je proto tato technologie využívána hlavně pro velko sériové a hromadné výroby. Nejtěžší výkovky vyrobené zápustkovým kovááním se pohybují kolem 600 kg, pro větší hmotnosti už by byla tvářecí síla příliš velká. Proto se pro kováání těžších výkovků používá kováání volné. V případě malého výkovku můžeme dosáhnout lepšího využití zápustky sdruženým kovááním.

V jedné zápustce bude prováděno více operací naráz, to je výhodné především v automatizovaných provozech.

Výchozí polotovár se volí menšího průměru než hotový výkovek. Je to kvůli správnému prokování a také kvůli snadnější manipulaci. Pro dokonalé vyplnění obou částí zápustky je nutné, aby byl objem výchozího polotovaru větší než konečného výkovku. Materiál, který je přebytečný vytváří ve výronkové drážce výronek. Pro kování bez výronkových drážek je potřeba velmi přesného výpočtu objemu polotovaru. Z výchozího polotovaru je možné kovat pouze výkovky, které nejsou příliš tvarově náročné. Pokud je výkovek tvarově složitý je potřeba polotovár upravit volným kovááním nebo předkovací zápustkou na tvar podobný hotovému výkovku (obr. 7). Zároveň nejsme schopni vyrobit najednou průchozí otvory, otvory musíme napřed předkovat a poté společně s výronkovou drážkou odstříhnout na ostříhovacím lisu.

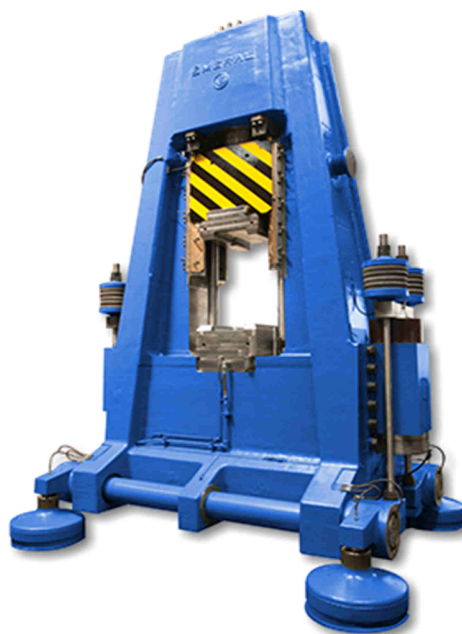
Zápustky se vyrábí nejčastěji třískovým obráběním, materiál pro výrobu musí splňovat vysokou otěruvzdornost při zvýšených pracovních teplotách. Nejčastěji se proto vybírají nástrojové oceli třídy 19, popis jednotlivých materiálů bude uveden dále v práci.

2.2 Kovací stroje [5], [12], [14], [19]

Podle zvoleného tvářecího stroje by se dalo zápustkové kováání dělit na kováání dynamické v případě bucharů a kováání statické pro kováací lisy. Obě varianty mají své charakteristické vlastnosti, které rozhodují při volbě. Jde především o tvarovou náročnost, velikost výroby a jakost konečného výkovku. Kromě samotné volby stroje je také nutné, aby stroj splňoval všechny potřebné požadavky, zejména pak tvářecí sílu. Charakteristiky obou strojů jsou:

Buchar – Vytváří tvářecí sílu přeměnou z kinetické energie beranu. Ten může být buď padací, nebo urychlený (obr. 8), kde je přídavná síla při pohybu dolů. Beran je uložen ve vertikální poloze kolmo k pracovnímu stolu (šabota). Buchary mohou být i protiúderové, tyto stroje nemají pracovní stůl, ale druhý beran. Nejčastěji jsou poháněny oba berany. Tento typ může mít uložené berany i v horizontální poloze. Všechny tyto varianty mohou být použity pro zápustkové kováání.

Hlavní charakteristikou bucharů je rázová práce, ta nahrazuje tvářecí sílu. Rychlost dopadu beranu je přibližně mezi 4 až 8 m.s⁻¹ u běžných a u zrychlených je to mezi 40 až 60 m.s⁻¹. Buchar kove většinou na více úderů, při každém úderu se polotovár zmenšuje a vyplňuje dutinu zápustky. To má za následek vznik rázů, který vede k horšímu vedení zápustky a horší přesnosti výroby, zároveň je to však výhodou, protože dochází k odlétávání okují a povrch výkovku je kvalitnější. Jako nevýhody by se pak daly označit nižší produktivita a horší prokování materiálu.

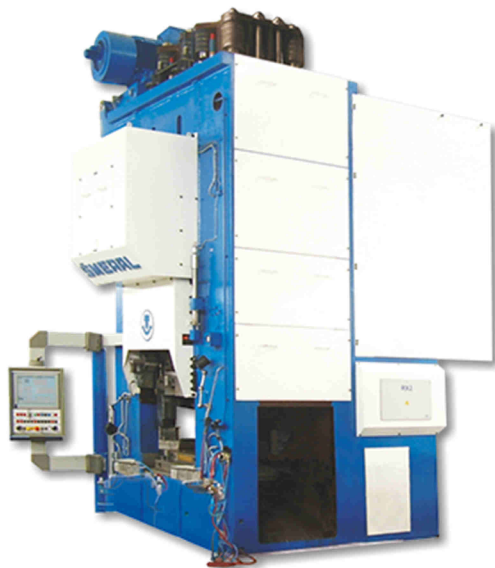


Obr. 8 Pneumaticko-hydraulický buchar KHZ 4A [14]

Jako nevýhody by se pak daly označit nižší produktivita a horší prokování materiálu.

Pohon bucharu rozdělujeme podle způsobu přenosu energie na beran. Nejčastěji se jedná o hydraulické a pružinové, dalšími možnostmi jsou buchary pneumatické (případně parní), elektromagnetické a zejména u protiúderových to může být i pohon kombinovaný.

Kovací lis – Tvářecí síla je vytvářena poklidně působícím tlakem beranu. Rychlost je proti bucharům řádově nižší, rychlost beranu je u lisů 0,01 až 2 m.s⁻¹. Lisy mývají velmi tuhou



Obr. 9 Svislý kovací lis LMZ1600 [14]

rámovou konstrukci, která zajišťuje dostatečnou tuhost při kování velkých výkovků s nerovnoměrným zatížením. Lisy mohou být opět svislé (obr. 9) nebo vodorovné. Vodorovné lisy jsou velmi výhodné pro zápusťkové kování v uzavřených zápusťkách, díky konstrukci je možné použít pro výkovky menší úkosy než na svislém lisu.

Hlavní charakteristika kovacích lisů je tvářecí síla, je nutné počítat s průběhem tvářecí síly, Největší síla při kování na hydraulickém lisu končí, v okamžik kdy je polotovár stlačen na konečnou výšku. Klidně působící síla beranu umožňuje lepší přesnost výkovku a lepší vedení zápusťek. Prokování materiálu je v celém průřezu. Výhodou je i vyšší produktivita v porovnání s bucharem. Můžeme také použít vyhazovače, díky tomu můžeme zmenšit technologické úkosy a ve výsledku ušetřit spotřebu materiálu. Jako nevýhoda je pak horší kvalita povrchu následkem zakování okují.

Lisy dělíme podle pohonu beranu, pro kování jsou vhodné zejména vřetenové, klikové hydraulické a vodorovné (klikové). Rozdíl proti bucharům je zvláště v soustředění síly na celou oblast zdvihu.

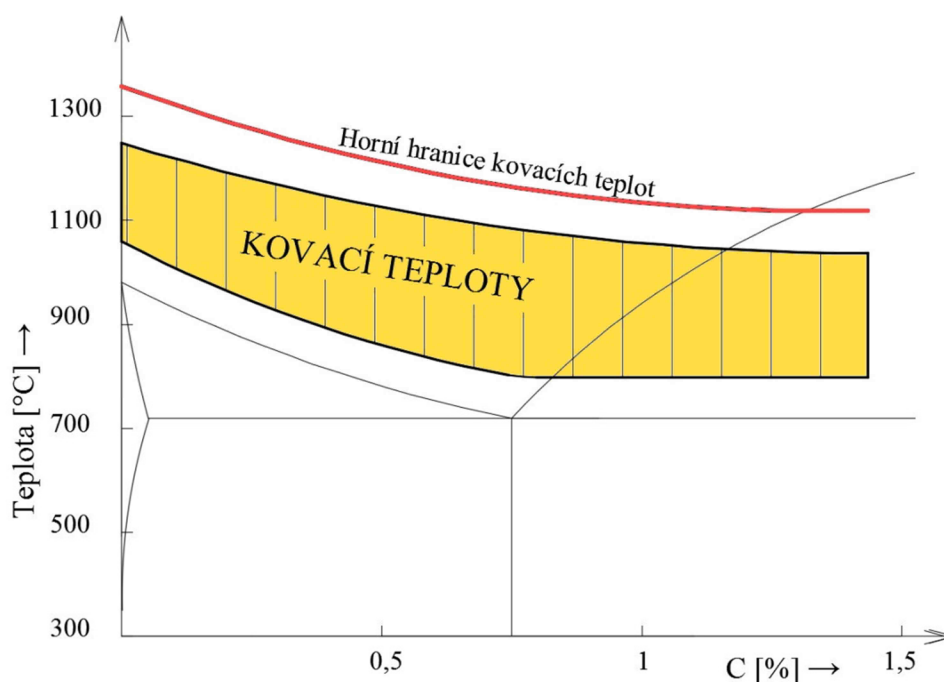
2.3 Příprava polotovaru [12], [13], [15], [17]

Polotovarem pro zápusťkové kování jsou kruhové tyče pro rotační výkovky nebo čtvercové a ploché tyče pro nerotační výkovky. Tyto polotovary je potřeba nadělit na špalíky nebo přířezy. Nejčastější se pro dělení používají metody:

- Řezání – Princip je dělení materiálu pásovou nebo kotoučovou pilou. Používá se především u materiálů s nízkou pevností, jde o poměrně málo produktivní metodu. Výhodou je pouze nezdeformovaný polotovar. Proto se řezání používá pro přesné výkovky nebo malé série.
- Stříhání – Jde o dělení především tyčových polotovarů pomocí dvou břitů posazených proti sobě. Stříhání je levné a produktivní. Proto se jedná o nejčastěji používanou metodu. Jako nevýhoda se pak může brát horší kvalita střížné plochy.
- Lámání – Na polotovaru je vytvořen vrub, působením sil vzniká koncentrované napětí a polotovar se v místě vrubu rozlomí. Lámání se provádí především na materiálech s vysokou pevností. Výhodou je velká produktivita, jako nevýhoda je opět horší kvalita plochy v místě lomu.

Takto připravený polotovár je potřeba dostat na kovací teplotu, pro lepší tváritelnost materiálu. U většiny oceli je tato teplota v rozmezí 800 – 1250°C (obr. 10). Vhodně zvolená kovací teplota zajistí dobrou tváritelnost materiálu a tím zvýšení životnosti zápustky. Materiál by se měl prohřívat rovnoměrně, aby nedocházelo k vadám výkovku, ze začátku by měl být ohřev pomalejší, kvůli vnitřnímu pnutí. Ohřev polotovaru je doprovázen nepříznivým jevem, tvorbou okují. Okuje vznikají v atmosféře okysličujících plynů, výsledkem je tvorba oxidů železa na povrchu polotovaru. Následkem je ztráta 1 až 3 % z materiálu. Okuje se musí z povrchu očistit, jinak hrozí jejich zakování do výkovku a tím znehodnocení povrchu. Nejčastější typy pecí pro ohřev polotovaru:

- Plynová pec – Teplo vzniká spalováním plynů, které jsou do pece přiváděny hořáky. Přivádí se předehřátý vzduch a hořlavý plyn, poměr jednotlivých složek je možné regulovat pro tvorbu oxidačního, redukčního nebo neutrálního plamene. Pro hospodárny provoz pece je vhodný plynulý provoz.
- Odporová pec – Polotovár je ohříván elektrickým obloukem pomocí střídavého elektrického proudu. Výhodou je přesná regulace teploty. V peci neprobíhá spalování plynů, proto je možné vytvořit umělou atmosféru, která snižuje tvorbu okují.
- Indukční pec – K ohřevu dochází působením vířivých proudů v důsledku vzniku střídavého elektromagnetického pole v materiálu. Pro dokonalé prohřátí celého průřezu polotovaru je potřeba správné nastavení kmitočtu proudu. Tato metoda má výhodu vysoké účinnosti a malé tvorby okují.

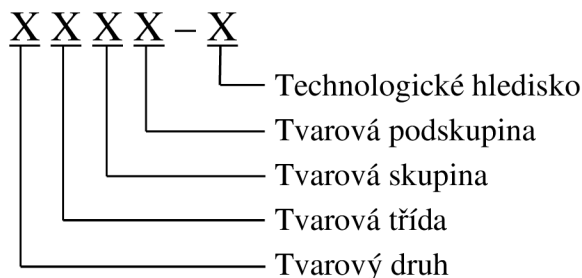


Obr. 10 Kovací teploty [15]

2.4 Návrh výkovku [11], [20], [22], [24]

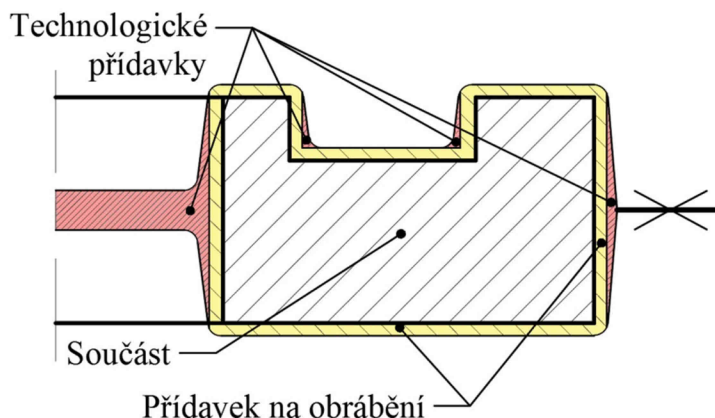
Před samotným návrhem výkovku je nutné zkontrolovat technologičnost součásti, případně provést úpravy pro potřeby zápustkového kování. Dokončovat obráběním by se měli pouze funkční plochy a pro zbylé plochy by měly být dostačující rozměry a drsnost vzniklá kováním.

Pro zápustkové kování je potřeba výkovek zatřídit podle tvaru a velikosti dle normy ČSN 42 9002. Zatřídění výkovku je potřebné pro správné určení přídaveků a tolerancí. Číselné označení se skládá z pěti číslic, význam jednotlivých číslic je následovný:



Dále je potřeba zvolit pozici dělicí roviny. Je to rovina, po které je rozdělen tvářecí nástroj - zápustka. Tato rovina by se měla především volit s ohledem na snadné vyjmutí výkovku z dutiny zápustky.

U rotačních součástí je dělicí rovina většinou v polovině výšky největšího průměru. U složitějších výkovků je požadavek na umístění roviny tak aby bylo co nejvíc rozměrů k ní kolmých. V případech kde je výkovek tvarově složitý, je potřeba použít dělicí roviny lomenou nebo zakřivenou. Dělicí rovina zároveň určuje pozici blány a technologických úkosů.



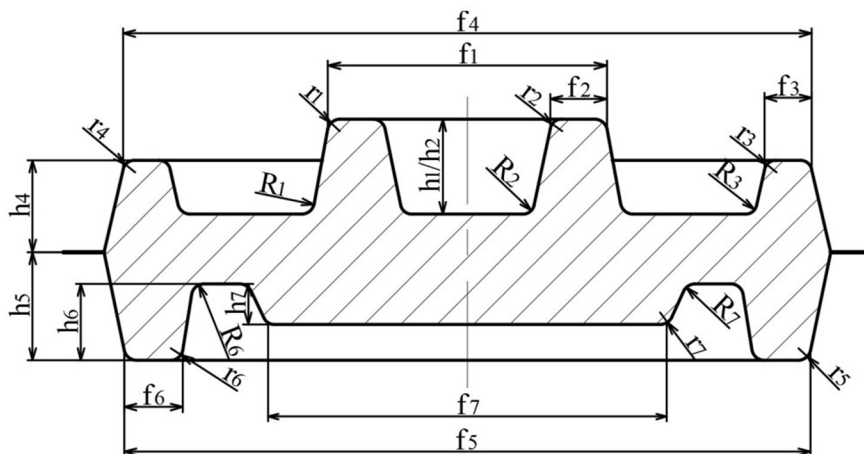
Obr. 11 Přídávky technologické a na obrábění [22]

Pro volbu kovacího stroje je potřeba vypočítat velikost kovací síly. Zejména u kovacích lisů je důležité, aby bylo zaručené provedení operace na jeden zdvih. Velikost síly negativně ovlivňuje tření mezi výkovkem a dutinou zápustky, chladnutí materiálu a vznik povrchových napětí. Možností výpočet tvářecí síly je několik.

- o Výpočet síly dle Brjuchanov-Rebelského
- o Výpočet síly dle Tomlenova
- o Výpočet síly dle Storoževa
- o Stanovení síly dle ČSN 22 8306

Pro správnou funkčnost a snadné odstraňování je důležité zvolit pro výkovek vhodné přídavky a tolerance (obr. 11). U zápustkového kování máme přídavky technologické, které zajišťují vyplnění dutiny zápustek a jednoduché odstranění výkovku, a přídavky na obrábění, ty zajišťují dostatek materiálu pro obrábění funkčních ploch. Následuje výpis jednotlivých přídavků dle normy ČSN 42 9030:

- Zaoblení hran – Zajišťuje, aby byla dutina zápustky správně zaplněna materiálem a nebyly porušeny vlákna výkovku. (tab. 2, obr. 12)



Obr. 12 Zaoblení hran a přechodů [20]

Tab. 2 Poloměry zaoblení hran a přechodů [20]

Rozměry v mm

Výška/Hloubka		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		$\frac{h}{f} \leq 2$		$2 < \frac{h}{f} \leq 4$		$4 < \frac{h}{f}$	
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

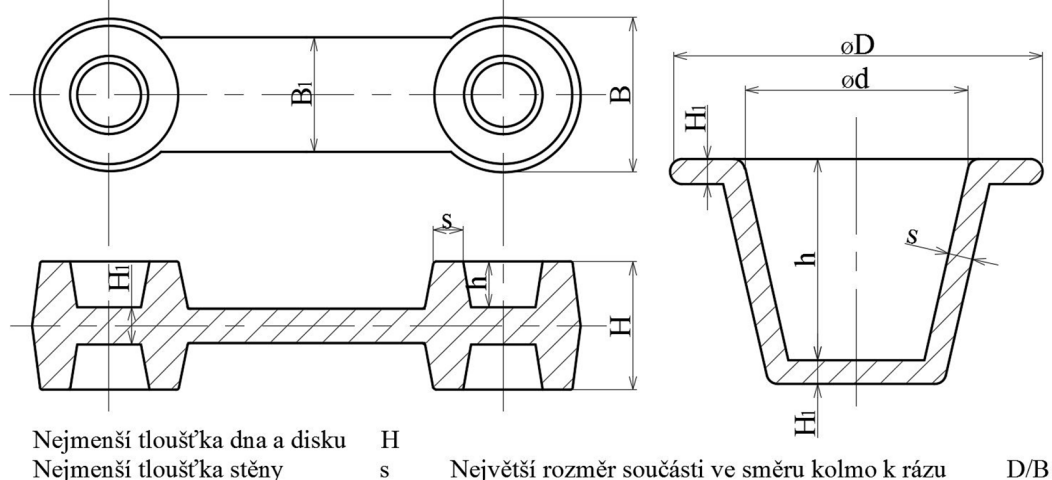
- Úkosy – Používají se pro zajištění snadného vyjmutí výkovku ze zápustky. Při použití vyhazovače je možné použít menší úkosy. (tab. 3)

Tab. 3 Úhel úkosů na výkovku [20]

Rozměry v mm

Varianta	Úhel úkosu	
	Vnější	Vnitřní
Běžně používané úkosy	3°	7°
Povolené úkosy pro buchary a lisy bez vyhazovače	7°	10°
Povolené úkosy pro lisy s vyhazovačem	2° ÷ 3°	3° ÷ 5°
Povolené úkosy pro vodorovné kovací stroje	0° ÷ 5°	0° ÷ 5°

- Nejmenší tloušťka dna a blány výkovku – Kováním není možné udělat průchozí otvory, proto se otvory pouze předkovávají. (tab. 4, obr. 13).



Obr. 13 Nejmenší tloušťka dna a stěny [20]

Tab. 4 Nejmenší rozměry tloušťky dna a stěny [20]

Rozměry v mm

Největší rozměr součásti ve směru kolmo k rázu		Největší výška výkovku							
		přes	10	25	40	63	100	160	250
		do 10	25	40	63	100	160	250	400
přes	do	Nejmenší tloušťka dna, disku a stěny							
	25	4	5	6	7	9			
25	40	5	5	6	7	9	11		
40	63	5	6	7	9	11	13	15	
63	100	6	7	9	11	13	15	17	20
100	160	8	9	11	13	15	17	20	25
160	250	10	13	15	17	20	25	30	35

- Přidávky na obrábění – Používají se pro funkční plochy, které není možné vyrobit kováním s dostatečnou přesností a drsností povrchu. (tab. 5)

Tab. 5 Přidávky na obrábění [20]

Rozměry v mm

Největší průměr součásti kolmo k rázu		Největší výška součásti							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes	do	Přidávky na obrábění ploch pro obvyklé provedení výkovku							
	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

- Tolerance a mezní úchytky - Pro všechny rozměry výkovku je nutné stanovit kvůli opotřebení nástroje a přesnosti kování toleranci dle ČSN 22 8306. (tab. 6 a tab. 7)

Tab. 6 Mezní úchytky a tolerance ve směru kolmo k rázu [20]

Rozměry v mm

Největší průměr výkovku ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu					
		přes	25	40	63	100	160
		do 25	40	63	100	160	250
		Mezní úchytky pro rozměry ve směru kolmém k rázu					
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
	Tolerance	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,3
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
	Tolerance	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,7

Tab. 7 Mezní úchytky a tolerance ve směru rovnoběžném s rázem [20]

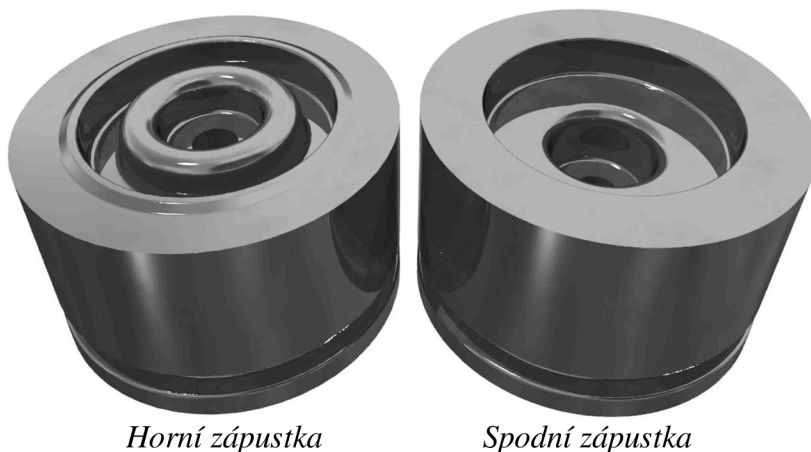
Rozměry v mm

Největší průměr výkovku ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu					
		přes	25	40	63	100	160
		do 25	40	63	100	160	250
		Mezní úchytky pro rozměry ve směru rovnoběžném s rázem					
do 25	Mezní úchytky	+ 0,6 - 0,3	+ 0,6 - 0,4	+ 0,7 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 1,0 - 0,4	
	Tolerance	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	
přes 25 do 40	Mezní úchytky	+ 0,7 - 0,4	+ 0,8 - 0,4	+ 0,9 - 0,4	+ 1,0 - 0,4	+ 1,1 - 0,5	+ 1,2 - 0,6
	Tolerance	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8
přes 40 do 63	Mezní úchytky	+ 0,9 - 0,4	+ 1,0 - 0,4	+ 1,0 - 0,5	+ 1,1 - 0,5	+ 1,2 - 0,6	+ 1,4 - 0,6
	Tolerance	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0
přes 63 do 100	Mezní úchytky	+ 1,0 - 0,5	+ 1,1 - 0,5	+ 1,2 - 0,6	+ 1,2 - 0,6	+ 1,4 - 0,6	+ 1,5 - 0,7
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2
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
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4

2.5 Návrh zápustky [16], [17], [21], [25], [26]

Zápustka je nástroj pro operace zápustkového kování. Jedná se většinou o dvoudílný nástroj s negativním tvarem výkovku. Horní část je umístěna na beranu stroje a zpravidla koná pracovní pohyb. Spodní je pevná upevněna na stole tvářecího stroje, v případě protiúderových beranů je uložena taktéž na beranu. Pro svislé kovací lisy může být součástí zápustek vyhazovač. Zápustky lze rozdělit na pýchovací, předkovací, kovací, dokončovací a případně kalibrovací. Další možné rozdělení je podle počtu dutin, kromě zápustek s jednou dutinou máme také zápustky postupové a násobné. V postupových zápustkách jsou dutiny pro jednotlivé operace. V násobných jsou pak dutiny pro kování více výkovků současně, tyto zápustky jsou vhodné zejména pro velko-sériovou a hromadnou výrobu.

Výroba dutin zápustek je možná několika způsoby. Nejčastěji se používá k výrobě dutiny obrábění, dutina se vytváří do celistvých bloků ze zápustkové oceli. K obrábění se používají zejména frézy nebo v případě kruhových zápustek (obr. 14) soustružení. Takto vzniklá dutina se ještě brousí na požadovanou drsnost. Kromě obrábění je možné dutinu vytvořit kováním. Pro kování se používá pozitivní tvar výkovku, který je vtlačen do zápustky. Pro návrh je důležité počítat s dvojnásobným přídavkem na smrštění. Po vyražení dutiny se blok žihá



Obr. 14 Navrhované zápustky pro dokončovací operaci

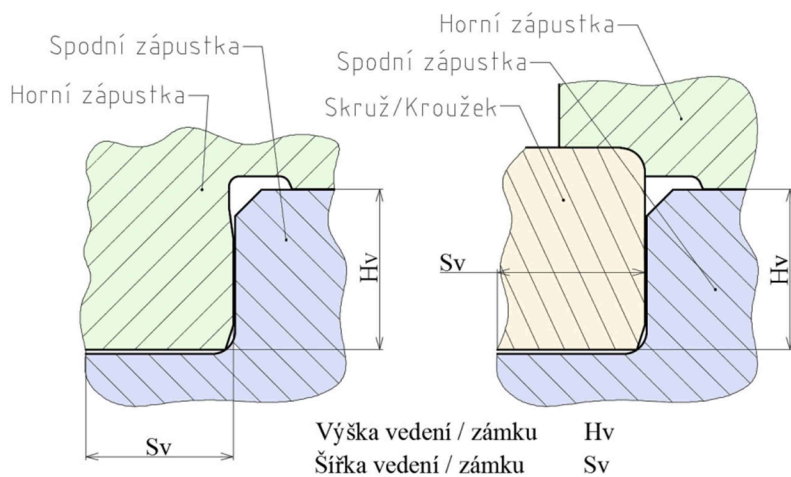
a brousí. Během kování je důležité dutinu chránit před oxidací a vznikem okují. Výhodou je možnost výroby vložkováných zápustek. Dutina výkovku se vytváří zvlášť a po zhotovení je zasazena do bloku zápustky, který je většinou z uhlíkové oceli. Výsledkem je úspora zápustkové oceli a tím snížení nákladů na výrobu.

Zápustky jsou během kovacího procesu poměrně vysoce tepelně a mechanicky namáhány a opotřebovávány. Vzhledem k pořizovacím cenám zápustek je životnost důležitá pro celkovou hospodárnost výroby. Proto jsou kladeny na materiál a zpracování požadavky jako je vysoká pevnost, dobrá otěruvzdornost a schopnost zachovat si vlastnosti i za zvýšených teplot. Důležité je i vhodné tepelné zpracování zápustky a povrchové úpravy dutiny. Pro úsporu nákladů se opotřebované zápustky opravují. Opotřebované části dutiny zápustky se mohou odstranit a navařit nové, nejvýhodnější jsou pak na opravu vložkované zápustky, u kterých stačí vyměnit opotřebovanou vložku.

Materiál zápustky se odvíjí podle namáhání. Obvyklými materiály pro málo namáhané zápustky jsou nástrojové oceli ČSN 19 423, 19 642 a 19 662. Pro vložky a rozměrově malé ale vysoce namáhané zápustky se používají oceli ČSN 19 720 a 19 721. Pro nejvíce namáhané a členité zápustky se používá oceli ČSN 19 552, 19 555 a 19 556.

Návrh zápustky závisí na volbě stroje a na výkresu výkovku (rozměry, tvar, tolerance a pozice dělicí roviny). Pro volbu upnutí a výronkové drážky je podstatný typ použitého kovacího stroje. Tvar a rozměry dutiny pak závisí na výkovku a navrhovanému způsobu odstraňování výkovku z dutiny. Pro návrh je potřeba uvažovat ještě materiál výkovku,

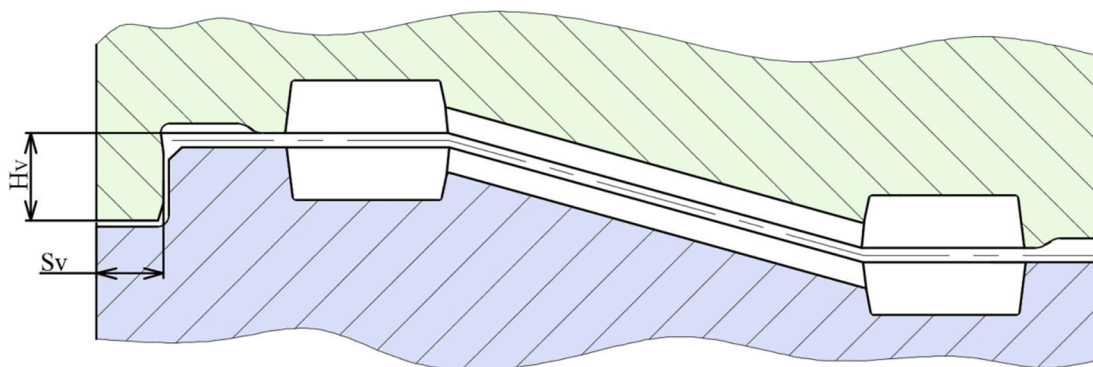
zejména pak materiálové charakteristiky jako kovací teplota, smrštění a stupeň tvárnosti. Dále je také potřeba určit jestli budou použity pýchovací nebo předkovací zápustky a případně navrhnout vhodný tvar jejich dutin. Rozměry zápustek jsou omezeny rozměry stolu a beranu stroje.



Obr. 15 Kruhové vedení zápustek [18]

Zápustky se upínají pomocí držáků, které jsou upnuty šrouby k beranu a stolu lisu a jsou uloženy na kalených deskách, ty mají otvor pro vyhazovač. Uložení v držáku je z jedné strany pomocí dorazu s drážkou a z druhé strany pomocí upínky. Zápustka má na této straně úkos a upínka je připevněna pomocí šroubů do T drážky stroje. Šroub vyvozuje sílu, která tlačí na zkosenou stranu zápustky a dotlačuje ji na doraz.

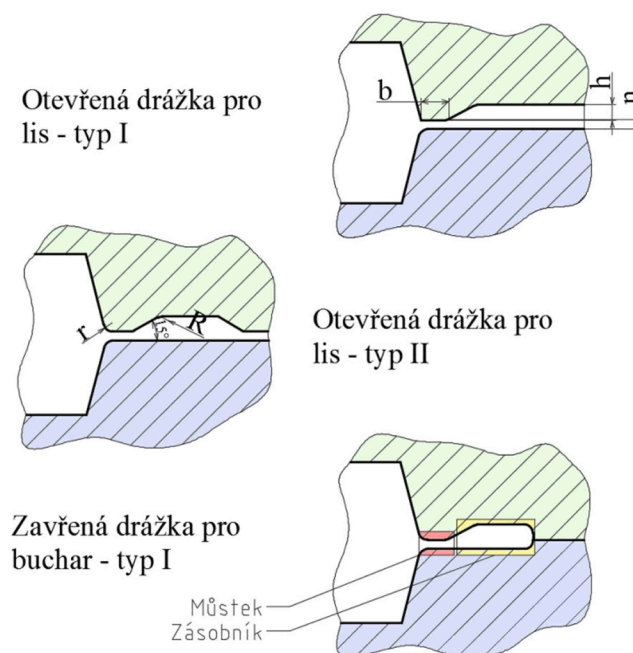
Vedení zápustek je zajištěno přesným vedením beranu lisu. Pokud potřebujeme zvýšit přesnost nebo používáme zakřivenou dělicí rovnu (obr. 16), je možné použít kruhové vedení (obr. 15), zámky, vodící kolíky a lišty. Jedná se o tvarové spoje, které zabraňují posuvným silám vychýlit zápustku.



Obr. 16 Příklad vedení zápustek – zakřivená dělicí rovina [18]

2.6 Výronková drážka [17], [26]

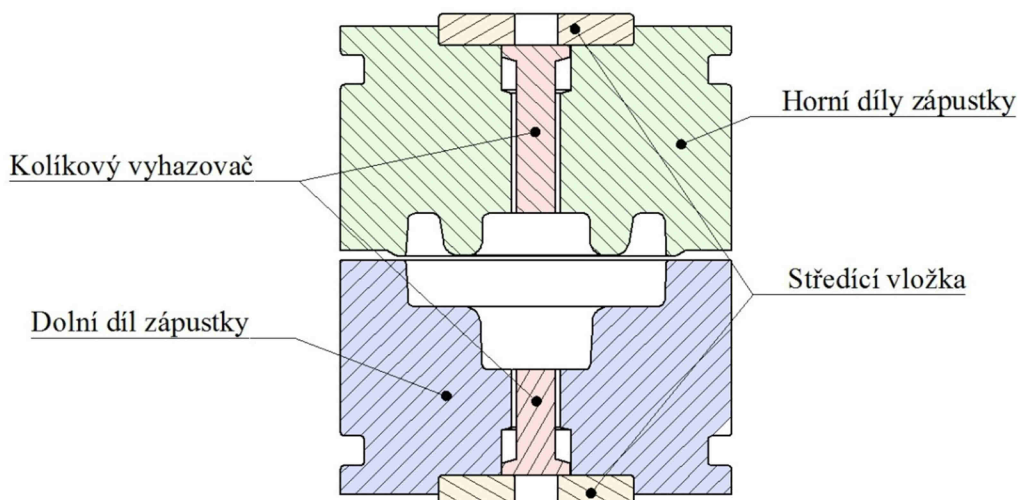
Výronkové drážky rozdělujeme na otevřené a uzavřené (obr. 17), jejich použití se odvíjí od volby typu stroje. Pro kovací lisy se používají drážky otevřené, aby nedošlo k dosednutí zápustek. Do zápustky je zhotoveno vybrání, které neumožní kontakt zápustek a zároveň plní funkci zásobníku. Pokud je můstek daleko od hrany zápustky, drážka se v horní zápustce uzavře. Pro buchary se volí drážky uzavřené, během kování na bucharu dochází ke kontaktu zápustek. Protože je potřeba snížit rychlosti opotřebení dosedacích ploch je nutné, aby byla dosedací plocha co největší. Drážky můžeme dělit dále podle samotného tvaru drážky. Toto rozdělení je v normě ČSN 22 8306.



Obr. 17 Příklady výronkových drážek [18]

2.7 Odstraňování výkovku [17], [26]

Zápustky taky můžeme rozdělit na zápustky s nuceným nebo bez nuceného vyhazování. Bez nuceného vyhazování se jedná především o buchary. Výkovek odstraňuje ze zápustky obsluha kleštěmi. U kovacích lisů je použito nucené vyhazování, to je zajištěno pomocí vyhazovačů (obr. 18). Vyhazovače máme dvojího typu, prstencové a kolíkové. Prstencové jsou především použity u součástí s čepem. Kolíkové vyhazovače je možné použít pro všechny výkovky, jejich počet a rozmístění závisí na rozměrech a členitosti výkovku. Vyhazovače jsou uloženy v zápustce s vůlí a jejich činnost se odvíjí od pohybu beranu.



Obr. 18 Příklad použití kolíkových vyhazovačů [18]

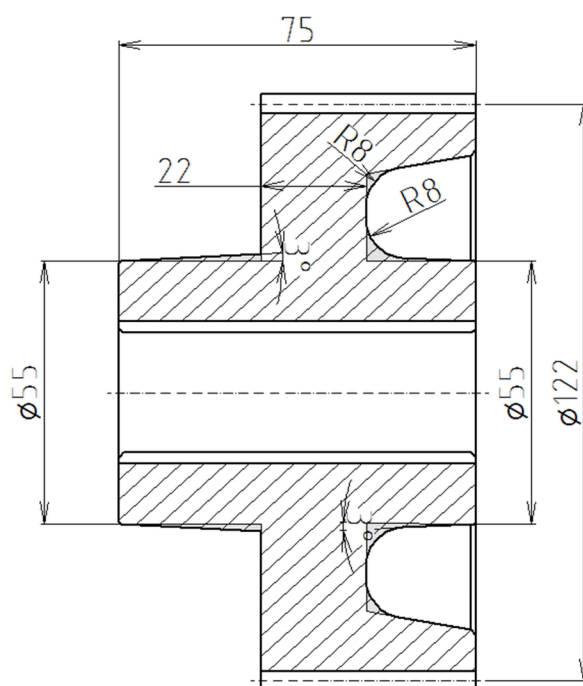
3 NÁVRH VÝROBY [8], [13], [16], [26]

Vyráběná součást byla doposud vyráběna třískovým obráběním. Kvůli zvýšení produktivity bude nově součást vyráběna zápustkovým kováním na svislém kovací lisu. Před samotným návrhem je nejdříve nutné zhodnotit technologičnost součásti a případně provést úpravy.

Součást má poměrně jednoduchou konstrukci, skládá se ze dvou různých průměrů, průchozí díry a vybrání. Nejsložitějšími prvky je drážkování pro hřídel a ozubení. Materiál součásti je uhlíková ocel 12 050. Mez pevnosti této oceli je $R_m = 590-710$ MPa a třída obrobitelnosti je pro všechny použité technologie 12b.

Pro technologii zápustkového kování jsou tvar a rozměry vyhovující, pouze nefunkční plochy jsou upraveny tak aby nebylo potřeba obrábět (obr. 19). Vzhledem k malému průměru se nebude průchozí díra předkovávat a bude se pouze vrtat. Ozubení bude frézováno pomocí odvalovací frézy. Drážkování se bude vyrábět protahováním a dosedací plochy se budou soustružit. Zbylé nefunkční plochy se nebudou z ekonomických důvodů obrábět. Pro jednotlivé rozměrové a geometrické tolerance jsou zvolené technologie dostačující.

Pro zápustkové kování bude použit svislý kovací lis s vyhazovačem. Rozhodující charakteristikou je především větší produktivita, lepší prokování součásti a rozměrová přesnost výkovku. Horší kvalita povrchu není vzhledem ke konstrukci a postupu výroby podstatná.



Obr. 19 Provedené úpravy na součásti

3.1 Zatřídění výkovku [11]

Výkovek je před samotným návrhem potřeba zatřídít podle tvarové složitosti. Zatřídění konkrétního výkovku se provádí dle normy ČSN 42 9002. Zatřídění konkrétního výkovku:

4 3 1 0 - 4

Technologické hledisko	4 – Výkovky kruhového průřezu plné
Tvarová podskupina	3 – Jednostranně osazené
Tvarová skupina	1 – Výkovky plné $H \leq B$ a $H < 2H_1$
Tvarová třída	0 – Bez přesahů
Tvarový druh	4 – Výkovky s děl. pl. kolmou na hlavní osu - nesouměrné

3.2 Přídavky a tolerance výkovku [22]

Přídavky se určují na základě normy ČSN 42 9030, parametry použité v tomto výpočtu jsou vypsány v tabulkách 2 až 6 v předešlých kapitolách.

- Přídavky na obrábění se určují podle největšího průměru kolmo k rázu a největší výšky hotové součásti.
Pro největší průměr kolmo k rázu $d = 126$ mm a největší výšce součásti $H = 75$ mm, je velikost přídavku na obrábění 2,5 mm.
- Poloměry zaoblení – Volí se podle poměru výšky a průměru jednotlivých prvků a výšky prvku. Výsledné zaoblení by nemělo zasahovat do přídavku na obrábění.
Pro poměr h/f do 2 a výšku v rozsahu $h = 25–40$ mm je poloměr přechodů $R = 8$ mm a zaoblení hran $r = 3$ mm.
- Technologické úkopy – Volí se na základě zvoleného tvářecího stroje a podle toho jestli bude použitý vyhazovač.
Pro svislý kovací lis s vyhazovačem jsou vnější úkopy 3° a vnitřní 5° .
- Mezní úchytky a tolerance – Úchytky se určují podle největších rozměrů výkovku pro směr kolmý k rázu a pro směr rovnoběžný s rázem. Hodnoty určují úchytky pro zvětšující rozměry, pro rozměry zmenšující se hodnoty obrací.
Pro největší průměr výkovku ve směru kolmo k rázu 133,4 mm a pro výšku výkovku 75 mm jsou to následující hodnoty.
Pro směr kolmý k rázu jsou mezní úchytky ${}^{+2,1}_{-1,1}$ mm, a celková tolerance 3,2 mm.
Pro směr rovnoběžný s rázem jsou mezní úchytky ${}^{+1,4}_{-0,6}$ mm, a celková tolerance 2,0 mm.

3.3 Návrh výronkové drážky [17], [26]

Výronková drážka se určuje podle použitého stroje, velikosti průmětu plochy v dělicí rovině a podle hmotnosti výkovku. Rozměry výronku se stanovují dle normy ČSN 22 8306. Pro svislý kovací lis bude použita otevřená výronková drážka obvyklá, dle normy typ I.

- Výška můstku výronku
Podle velikosti průmětu plochy a hmotnosti se rozměr určí z nomogramu, který je v normě ČSN 22 8306. Potřebné hodnoty byly zjištěny pomocí softwaru Autodesk Inventor Professional 2016.

$$D_V = 133,4 \text{ mm}$$

$$m_V = 2,473 \text{ kg}$$

$$S_V = \frac{\pi \cdot D_V^2}{4} = \frac{\pi \cdot 133,4^2}{4} = 13\,967,6 \text{ mm}^2 \quad (3.1)$$

Výška můstku dle nomogramu pro dané hodnoty: $h = 2,2$ mm

- Hloubka zásobníku

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

$$n = 0,4 \cdot 2,2 + 2 = 2,88 \text{ mm}$$

h ... výška můstku [mm]

- Šířka můstku

$$b = 2 \cdot h \text{ [mm]} \quad (3.3)$$

$$b = 2 \cdot 2,2 = 4,4 \text{ mm}$$

- Šířka výronku

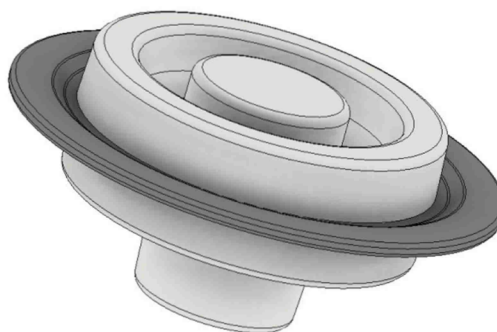
Určuje se na základě hmotnosti výkovku. Pro výkovky s hmotností do 5 kg je šířka výronku $B = 20 \text{ mm}$.

- Šířka zásobníku a poloměr zaoblení přechodu

Hodnoty byly zvoleny podle předběžné kovací síly.

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

$$b_z = 30 \text{ mm}$$



Obr. 20 Model výkovku s výronkem

3.4 Výpočet polotovaru [16], [17]

Polotovar je určen na základě vypočteného objemu výkovku, výronku a opalu (obr. 20). Pro zjištění objemu výkovku s výronkem byl použit model v softwaru Autodesk Inventor Professional 2016.

$$V_{\text{VYK}} = 681\,526,52 \text{ mm}^3$$

- Objem opalu, ztráta opalem je uvažována 3 %.

$$V_{\text{OP}} = 0,03 \cdot V_{\text{VYK}} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.4)$$

$$V_{\text{OP}} = 0,03 \cdot 681\,526,52 = 20\,445,8 \text{ mm}^3$$

- Celkový objem výkovku

$$V_{\text{CEL}} = V_{\text{VYK}} + V_{\text{OP}} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.5)$$

$$V_{\text{CEL}} = 681\,526,52 + 20\,445,8 = 701\,972,32 \text{ mm}^3$$

Rozměry se volí tak, aby byl dodržen štíhlostní poměr ($2,8 \div 1,5$). Pokud by nebyl poměr dodržen, mohlo by dojít při operaci přechování k ztrátě vzpěrné stability a následně by hrozilo poškození nástroje.

- Průměr polotovaru ($\lambda = 2$)

$$D_{\text{POL}} = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{CEL}}}{\lambda}} \text{ [mm]} \quad (3.6)$$

$$D_{\text{POL}} = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{701\,972,32}{2}} = 76,18 \text{ mm}$$

λ ... Štíhlostní poměr [-]

Volím nejbližší normalizovaný průměr $D_{\text{POL}} = 75 \text{ mm}$.

- Délka polotovaru

$$l_{POL} = \frac{4 \cdot V_{CEL}}{\pi \cdot D_{POL}^2} \text{ [mm]} \quad (3.7)$$

$$l_{POL} = \frac{4 \cdot 701972,32}{\pi \cdot 75^2} = 158,89 \text{ mm}$$

Jako polotovar volím kruhovou tyč: Ø 75 – 159 ČSN EN 10060

- Kontrola štíhlostního poměru

$$\lambda = \frac{l_{POL}}{D_{POL}} \text{ [-]} \quad (3.8)$$

$$\lambda = \frac{159}{75} = 2,12$$

Poměr se nachází v intervalu (2,8 ÷ 1,5), rozměry polotovaru vyhovují.

- Přepočítání objemu a hmotnosti polotovaru

$$V_{POL} = \frac{\pi \cdot D_{POL}^2}{4} \cdot l_{POL} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.9)$$

$$V_{POL} = \frac{\pi \cdot 80^2}{4} \cdot 159 = 702\,440,48 \text{ mm}^3$$

$$m_{POL} = V_{POL} \cdot \rho \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.10)$$

$$m_{POL} = 702\,440,48 \cdot 7,850 \cdot 10^{-3} = 5514,16 \text{ g} = 5,514 \text{ kg}$$

ρ Hustota materiálu (Ocel: $\rho = 7,850$) [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]

3.5 Stanovení kovací síly [16], [17], [26]

Kovací sílu lze stanovit několika metodami, v práci jsou uvedeny čtyři nejčastěji používané metody. Před výpočtem jednotlivých sil je třeba určit materiálové charakteristiky. Dle normy ČSN 22 8006 jsou to pro ocel 12 050, při kovací teplotě 1000 °C tyto hodnoty:

$k_p = 108 \text{ MPa}$ Přetvárný odpor pro daný materiál při kovací teplotě.

$C_0 = 4,5$ Součinitel snížení plasticity materiálu následkem poklesu teploty.

$\sigma_p = 56 \text{ MPa}$ Pevnost materiálu za kovací teploty.

Přetvárná pevnost oceli dle Elekunda:

$$\sigma_k = (14 - 0,01 \cdot t) \cdot (1,4 + \%C + \%Mn) \quad (3.11)$$

$$\sigma_k = (14 - 0,01 \cdot 1050) \cdot (1,4 + 0,45 + 0,60) \cdot 9,81 = 84,121 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

t kovací teplota [°C]

$\%C$ obsah uhlíku ve výkovku [%]

$\%Mn$ obsah manganu ve výkovku [%]

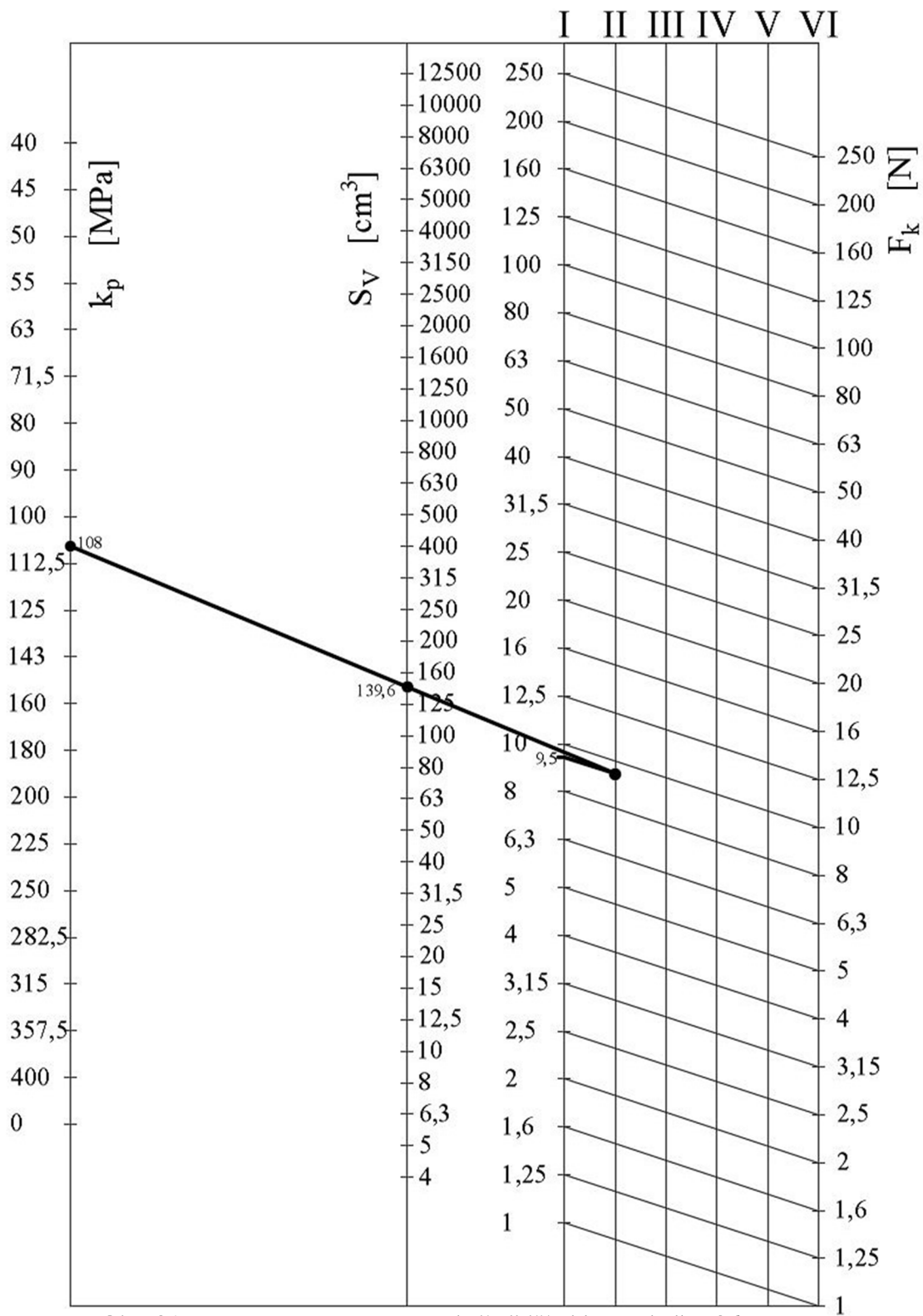
- dle ČSN 22 8306 – Jedná se pouze o orientační určení velikosti síly. Síla se určuje z nomogramu na základě přetvárného odporu, průmětu plochy kolmé k rázu a podle stupně tvarové složitosti výkovku (obr. 21).

Průmět plochy kolmé k rázu $S_V = 13\,967,6 \text{ mm}^2$.

Přetvárný odpor pro daný materiál při kovací teplotě $k_p = 108 \text{ MPa}$.

Stupeň tvarové složitosti je dle zařazení II.

Podle předešlých hodnot je odečtena přibližná velikost kovací síly



Obr. 21 Nomogram pro stanovení předběžné kovací síly [26]

Odečtená síla je přibližně velikosti $F_{k1} = 9,5$ MN

- dle Storoževa – Síla se stanovuje na základě průmětu plochy výkovku a výronku do dělicí roviny. Jedná se opět o přibližné stanovení potřebné síly.

Výpočet plochy výronku v průmětu do dělicí roviny

$$S_{\text{výr}} = \frac{\pi \cdot (D_{\text{výr}}^2 - D^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (179,7^2 - 133,4^2)}{4} = 11\,904,5 \text{ mm}^2 \quad (3.12)$$

$D_{\text{výr}} \dots$ průměr výronku [mm]

Výpočet kovací síly dle Storoževa

$$F_{k2} = \sigma_k \cdot \left[\left(1,5 + 0,5 \cdot \frac{b}{h} \right) \cdot S_{\text{výr}} + \left(1,5 + \frac{b}{h_{\text{výr}}} + 0,08 \cdot \frac{D}{h} \right) \cdot S_v \right] \text{ [N]} \quad (3.13)$$

$$F_{k2} = 84,12 \cdot \left[\left(1,5 + 0,5 \cdot \frac{4,4}{2,2} \right) \cdot 11904,5 + \left(1,5 + \frac{4,4}{2,2} + 0,08 \cdot \frac{133,4}{2,2} \right) \cdot 13967,6 \right]$$

$$F_{k2} = 7\,892\,474,22 \text{ N} \approx 7,892 \text{ MN}$$

$h_{\text{výr}} \dots$ tloušťka výronku [mm]

- dle Brjuchanov-Rebelského – Přibližné stanovení síly výpočtem, do kterého je zahrnut přetvárný odpor a plocha průmětu výkovku do dělicí roviny.

$$F_{k3} = 8 \cdot \sigma_k \cdot S_v \cdot (1 - 0,001 \cdot D) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D} \right)^2 \text{ [N]} \quad (3.14)$$

$$F_{k3} = 8 \cdot 84,12 \cdot 13457,65 \cdot (1 - 0,001 \cdot 133,4) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{133,4} \right)^2$$

$$F_{k3} = 12\,353\,427,936 \text{ N} \approx 12,353 \text{ MN}$$

$D_{\text{výr}} \dots$ průměr výronku [mm]

- dle Tomlenova – Pro stanovení síly je nejprve nutné rozdělit součást na jednotlivé průřezy. Na zvolených průřezích se vypočítá napětí z materiálových charakteristik a z rozměrů jednotlivých průřezů se stanoví plochy, pro které je potřeba zjistit pozici těžiště. Tyto plochy slouží k výpočtu síly od normálových napětí. Síly od tangenciálního napětí se vypočítají s povrchu bočních stěn v horní části zápustky. Sečtením těchto sil získáme celkovou kovací sílu. Plochy a jejich těžiště byly zjištěny pomocí softwaru Autodesk AutoCAD 2016.

Napětí σ_0

$$\sigma_0 = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 \text{ [MPa]} \quad (3.15)$$

$$\sigma_0 = 1,285 \cdot 40 \cdot 4,5 = 231,3 \text{ MPa}$$

$R_{mT} \dots$ pevnost materiálu za kovací teploty [MPa]

$C_0 \dots$ součinitel snížení plasticity materiálu vlivem poklesu teplot [-]

Napětí σ_n na jednotlivých plochách

$$\sigma_n = \sigma_{n-1} + R_{mT} \cdot \frac{b_n}{h_n} \cdot C_0 \text{ [MPa]} \quad (3.16)$$

$\sigma_{n-1} \dots$ napětí předchozí plochy [MPa]

$b_n \dots$ šířka průřezu [mm]

hn ... výška průřezu [mm]

Vzorový výpočet napětí σ_1 pro první plochu, pro zbylé plochy budou výsledky vypsány v tabulce č. 8.

$$\sigma_1 = \sigma_0 + R_{mT} \cdot \frac{b_1}{h_1} \cdot C_0 = 231,3 + 40 \cdot \frac{4,4}{2,2} \cdot 4,5 = 591,3 \text{ MPa}$$

Tab. 8 Napětí na jednotlivých průřezích

Plocha	R_{mT} [MPa]	C_0 [-]	b_n [mm]	h_n [mm]	σ_n [MPa]
1	40	4,5	4,4	2,2	591,3
2			18	50	663,30
3			20	24	826,94
4			28	80	891,22

Ze získaných hodnot napětí byly sestaveny plochy, které slouží k výpočtu kovací síly. Rozdělení jednotlivých průřezů a velikost vzniklých ploch je znázorněna na následující straně na obrázku 22. Rozměry a vypočtené hodnoty jsou zaneseny do tabulky č. 9.

Tab. 9 Plochy a těžiště dle velikosti napětí

Plocha	A_i [mm ²]	x_i [mm]	$A_i \cdot x_i$ [mm ³]
I	2 601,72	85,2	221 666,54
II	11 939,4	74,5	883 515,6
III	16 538,72	56	909 629,6
IV	22 280,55	12,5	278 506,88
V	792	84,47	668 97,6
VI	648	71,33	46 008
VII	1 636,36	52,33	84 545,27
VIII	803,57	8,33	6 696,46
Celkem			2 497 465,94

Síla vznikající následkem normálových napětí

$$F_n = 2 \cdot \pi \cdot \sum_i^n A_i \cdot x_i \text{ [N]} \quad (3.17)$$

$$F_n = 2 \cdot \pi \cdot 2497465,94 = 15 692 041,3 \text{ N}$$

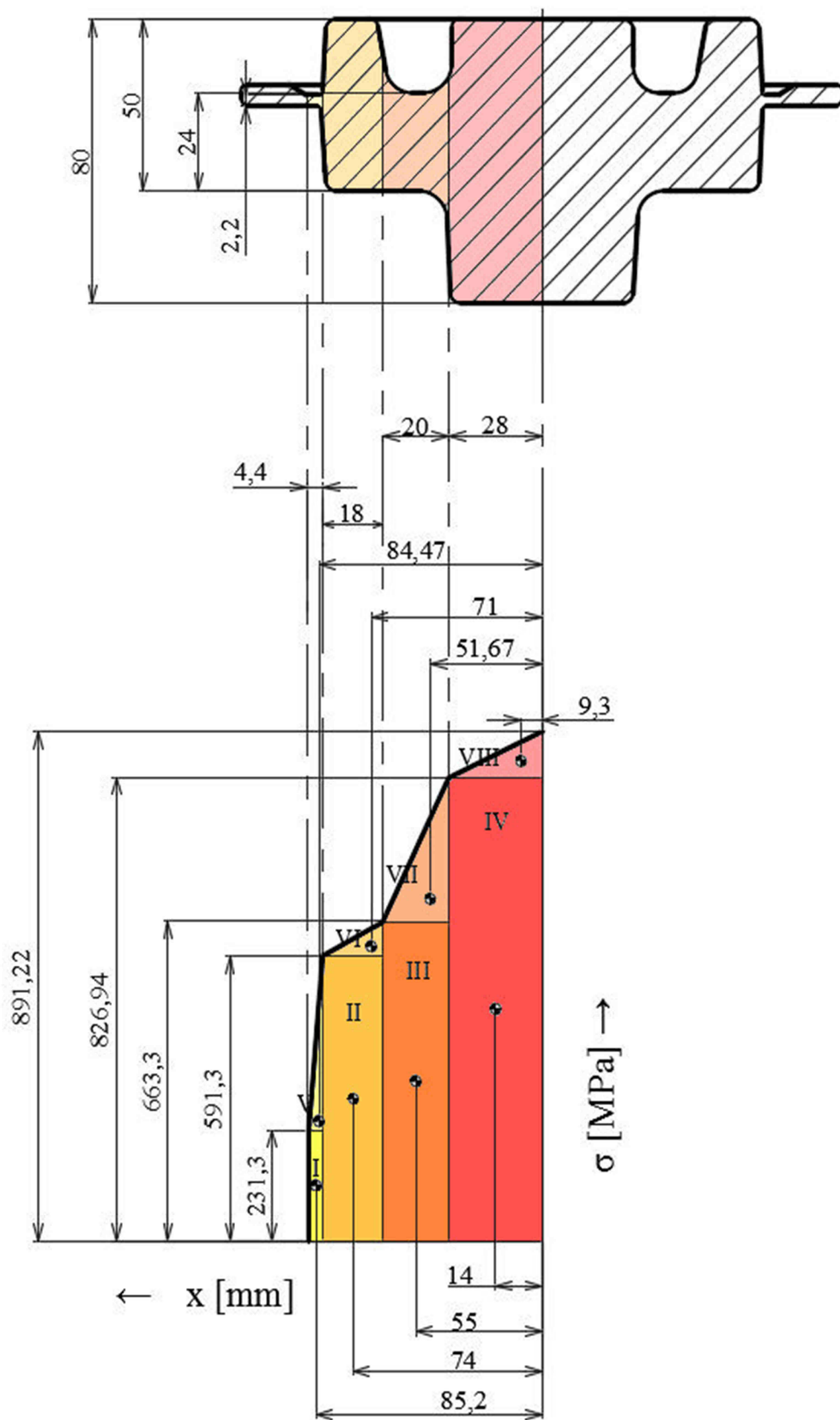
Síla vznikající následkem tangenciálních napětí

$$F_t = \frac{R_{mT}}{2} \cdot S' \text{ [N]} \quad (3.18)$$

$$F_t = \frac{40}{2} \cdot 17270,139 = 245 402,78 \text{ N}$$

Celková kovací síla

$$F_{k4} = F_t + F_n = 15692041,3 + 245402,8 = 15 937 444,1 \cong 15,93 \text{ MJ} \quad (3.19)$$



Obr. 22 Normálové napětí pro výpočet síly dle Tomlenova

Na závěr je nutné kovací síly porovnat a pro zajištění bezproblémové výroby určit nejvyšší sílu. (tab. 10)

Tab. 10 Výsledné kovací síly

Metoda	Síla [MN]
ČSN 22 8306	9,5
Storožev	7,892
Brjuchanov-Rebelský	12,353
Tomlenov	15,93

Největší síla vypočtená síla je dle Tomlenova $F_k = 15,93$ MN.

3.6 Výpočet střižné síly [16], [26]

Po dokování zůstává na výkovku výronek a případně i blána. Ty nejsou na hotovém výkovku žádoucí a proto je potřeba je odstranit, nejčastěji se výkovek a blána ostříhují. Výpočet se provádí na základě pevnosti daného materiálu, tloušťce a délky stříhu.

$$F_{Svyr} = \eta \cdot o_{vyr} \cdot h_{vyr} \cdot \tau_s = \eta \cdot \pi \cdot d_{vyr} \cdot h_{vyr} \cdot 0,8 \cdot R_m [N] \quad (3.20)$$

$$F_{Svyr} = 1,2 \cdot \pi \cdot 133,4 \cdot 2,2 \cdot 0,8 \cdot 650 = 575\,542,64 \text{ N}$$

η ... součinitel otupení nástroje (1,2) [-]

τ_s ... mez pevnosti ve stříhu ($\tau_s = R_m \cdot 0,8$) [MPa]

o_{vyr} ... stříhaná délka výronku [mm]

d_{vyr} ... stříhaný průměr výronku [mm]

h_{vyr} ... tloušťka výronku [mm]

Na navrhovaném výkovku se díra nepředkovává, proto se síla počítá pouze pro výronek. Celková střižná síla je $F_S = 575\,542,64$ N.

3.7 Volba ohřevu polotovaru [10], [13], [16]

Pro ohřev polotovaru byl zvolen indukční ohřev kvůli rychlému ohřevu, dobré spolehlivosti a malé tvorbě okují. Ohřev bude prováděn na středofrekvenčním ohřivači SOP 400/3 (obr. 23) firmy ROBOTERM spol. s.r.o., technické parametry jsou vypsány v tabulce č. 12.

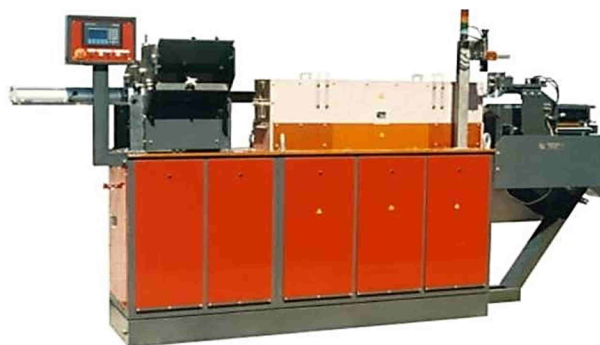
Tab. 11 Doporučené kmitočty pro ohřev uhlíkové oceli na 1200°C [10]

Kmitočet [Hz]	500	1000	2000	4000	8000	10000
Hloubka vniku [mm]	65 – 180	50 – 140	35 – 100	22 – 65	16 – 50	15 – 40

Dle tabulky č. 11 byl stanoven kmitočet pro ohřev na 2000 Hz.

Tab. 12 Technické parametry ohřivače [10]

Typ	SOP 400/3	
Průměr přířezu	[mm]	50 - 120
Délka přířezu	[mm]	60 - 300
Výkon	[kW]	400
Maximální množství	[kg/h]	950
Výstupní teplota	[°C]	1200



Obr. 23 Středofrekvenční ohřivač SOP 400 [10]

3.8 Volba strojů [6], [14], [18]

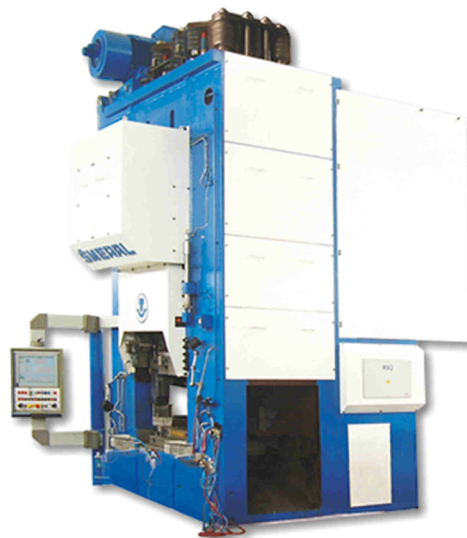
Pro operace kování a ostříhnutí výronku je potřeba zvolit vhodné stroje. Ty by měli odpovídat získaným hodnotám kovací a ostříhovací síly. Stroje volíme s částečnou rezervou, aby měli dostatečnou tuhost, pro dobrou přesnost výroby.

a) Svislý kovací lis

Vypočtené kovací síle $F_k = 15,93$ MJ vyhovuje svislý kovací lis LMZ 1600 A/S (obr. 24) od firmy Šmeral Brno, a.s.. Parametry zvoleného stroje jsou v tabulce č. 13.

Tab. 13 Technické parametry lisu [14]

Typ	LMZ 1600 A/S
Tvářecí síla	16,0 MN
Zdvih / Počet zdvihů	270 / 85 m.min ⁻¹
Upínací plocha beranu	1160x1035 mm
Upínací plocha stolu	1240x1150 mm
Průchod	1290 mm
Celkový výkon	85,0 kW
Sevření	800 mm
Přestavení beranu	10 mm



Obr. 24 Svislý kovací lis LMZ 1600 A/S [14]

b) Ostříhovací lis

Vypočtenou ostříhovací sílu $F_s = 575,5$ kN, je potřeba navýšit o 30% kvůli dostatečné tuhosti stroje. Těmto požadavkům vyhovuje ostříhovací lis LKOA 200 (obr. 25) firmy Šmeral Brno, a.s., technické parametry jsou vypsány v tabulce č. 14.

Tab. 14 Technické parametry ostříh. lisu [14]

Typ	LKOA 200
Tvářecí síla	2000 kN
Zdvih / Počet zdvihů	210 / 55 m.min ⁻¹
Upínací plocha beranu	1200x800 mm
Upínací plocha stolu	1415x1000 mm
Průchod	1420 mm
Celkový výkon	18 kW
Sevření	585 mm
Přestavení beranu	100 mm



Obr. 25 Ostříhovací lis LKOA 200 [14]

3.9 Technologický postup [2], [5], [13], [16]

Pro efektivní a kvalitní výrobu je třeba zvolit vhodný technologický postup. Vzhledem k charakteru práce bude technologický postup navrhnout pouze pro operace související se zápusťkovým kováním, výroba drážek, ozubení a dokončení funkčních ploch není zahrnuto.

Technologický postup			
Název součásti: Ozubené kolo		Č. výkresu: BC_25_2017_01	Datum: 16.4.2017
Polotovary: Kruhová tyč Ø 20 – 159 ČSN EN 10060		Vytvořil: Bednařík Petr	
Číslo operace	Název operace		
1.	Dělení polotovaru		
	Stroj: PEGAS 235x315 A-NC	Hmotnost: 5,51 kg	Norma: ČSN EN 10060
	Materiál: ČSN 12 050	Průměr: 75 mm	Délka: 159 mm
2.	Mezi operační kontrola		
	Kontrola rozměrů přířezu (četnost 20%)		
3.	Ohřev polotovaru		
	Pec: SOP 400/3	Kmitočet: 2000 Hz	Teplota: 1050±20 °C
4.	Kování		
	Stroj: LMZ 1600 A/S	Kovací síla: 15,9 MN	Teplota: 1050±20 °C
	1. Pěchovat		
	2. Předkovat		
	3. Dokovat		
5.	Ostřížení výronku		
	Stroj: LKOA 200	Střížná síla: 575,5 kN	
	Tepelné zpracování		
	Normalizační žihání	Žihací teplota: 840 ÷ 870 °C	
7.	Kontrola tvrdosti		
	Zkontrolovat tvrdost 52 ÷ 55 HRC		

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [2], [7]

Pro zjištění výhodnosti použití technologie zápustkového kování místo obrábění, provedeme technicko-ekonomické zhodnocení. To vychází z výpočtu nákladů na výrobu jednoho kusu a celé série. Tyto výpočty zahrnují cenu materiálu, cenu hodiny práce a režijní náklady. Všechny uvažované vstupní hodnoty jsou vypsány v tabulce č. 15. Hmotnost součásti a polotovarů byla zjištěna pomocí softwaru Autodesk Inventor 2016.

Tab. 15 Vstupní uvažované hodnoty pro technicko-ekonomické hodnocení

Popis	Znač.	Hodnota	Jed.
Výrobní série	n_{ser}	70 000	ks·rok ⁻¹
Hmotnost hotové součásti	m_{cel}	3,413	kg
Cena oceli 12 050 (za 1 kg)	C_{mat}	23,63	Kč
Výkupní cena odpadu (za 1 kg)	C_{odp}	3,4	Kč
Hodinová mzda výrobního dělníka	C_{del}	90	Kč
Podniková režie	-	200	%
Dílenská režie - obrábění	-	600	%
Dílenská režie - kování	-	1000	%
Hmotnost polotovaru - obrábění	m_{po}	8,127	kg
Rozměry polotovaru - obrábění	-	Ø 130 - 78	mm
Výrobní čas - obrábění	t_{ko}	12	min
Hmotnost polotovaru - kování	m_{pk}	5,514	kg
Rozměry polotovaru - kování	-	Ø 75 - 159	mm
Výrobní čas – kování (vč. dokončovacích operací)	t_{kk}	5	min

4.1 Náklady na výrobu obráběním [2], [7]

- Náklady na materiál

Na jeden kus

$$N_{mo} = C_{mat} \cdot m_{po} \text{ [Kč]} \quad (4.1)$$

$$N_{mo} = 23,63 \cdot 8,127 = 192,04 \text{ Kč}$$

Na celou sérii

$$N_{cmo} = N_{mo} \cdot n_{ser} \text{ [Kč]} \quad (4.2)$$

$$N_{cmo} = 192,04 \cdot 70000 = 13\,442\,870,7 \text{ Kč}$$

- Mzda výrobního dělníka

Na jeden kus

$$N_{vo} = C_{del} \cdot \frac{t_{ko}}{60} \text{ [Kč]} \quad (4.3)$$

$$N_{vo} = 90 \cdot \frac{12}{60} = 18 \text{ Kč}$$

Na celou sérii

$$N_{cvo} = N_{vo} \cdot n_{ser} \text{ [Kč]} \quad (4.4)$$

$$N_{cvo} = 18 \cdot 70000 = 1\,260\,000 \text{ Kč}$$

- Hodnota vratného materiálu

Vratný materiál z jednoho kusu

$$m_{vro} = m_{po} - m_{cel} \text{ [kg]} \quad (4.5)$$

$$m_{vro} = 8,127 - 3,413 = 4,714 \text{ kg}$$

Na jeden kus

$$N_{oo} = C_{odp} \cdot m_{vro} \text{ [Kč]} \quad (4.6)$$

$$N_{oo} = 3,4 \cdot 4,714 = 16,03 \text{ Kč}$$

Na celou sérii

$$N_{coo} = N_{oo} \cdot n_{ser} \text{ [Kč]} \quad (4.7)$$

$$N_{coo} = 16,03 \cdot 70000 = 1\,121\,932 \text{ Kč}$$

- Náklady na režie

Dílenské režie

$$N_{po} = N_{cvo} \cdot 6 \text{ [Kč]} \quad (4.8)$$

$$N_{po} = 1260000 \cdot 6 = 7\,560\,000 \text{ Kč}$$

Podniká režie

$$N_{do} = N_{cvo} \cdot 2 \text{ [Kč]} \quad (4.9)$$

$$N_{do} = 1260000 \cdot 2 = 2\,520\,000 \text{ Kč}$$

- Zvláštní náklady

Náklady na pořízení obráběcích nástrojů jsou $N_{zo} = 26\,000 \text{ Kč}$

4.2 Náklady na výrobu zápusťkovým kování [2], [7]

- Náklady na materiál

Na jeden kus

$$N_{mk} = C_{mat} \cdot m_{pk} \text{ [Kč]} \quad (4.10)$$

$$N_{mk} = 23,63 \cdot 5,514 = 130,3 \text{ Kč}$$

Na celou sérii

$$N_{cmk} = N_{mk} \cdot n_{ser} \text{ [Kč]} \quad (4.12)$$

$$N_{cmk} = 130,3 \cdot 70000 = 9\,120\,707,4 \text{ Kč}$$

- Mzda výrobního dělníka

Na jeden kus

$$N_{vk} = C_{del} \cdot \frac{t_{kk}}{60} \text{ [Kč]} \quad (4.13)$$

$$N_{vk} = 90 \cdot \frac{5}{60} = 7,5 \text{ Kč}$$

Na celou sérii

$$N_{cvk} = N_{vk} \cdot n_{ser} \text{ [Kč]} \quad (4.14)$$

$$N_{cvk} = 7,5 \cdot 70000 = 525\,000 \text{ Kč}$$

- Hodnota vratného materiálu

Vratný materiál z jednoho kusu

$$m_{vrk} = m_{pk} - m_{cel} \text{ [kg]} \quad (4.15)$$

$$m_{vrk} = 8,127 - 5,514 = 2,101 \text{ kg}$$

Na jeden kus

$$N_{ok} = C_{odp} \cdot m_{vrk} \text{ [Kč]} \quad (4.16)$$

$$N_{ok} = 3,4 \cdot 2,101 = 7,14 \text{ Kč}$$

Na celou sérii

$$N_{cok} = N_{ok} \cdot n_{ser} \text{ [Kč]} \quad (4.17)$$

$$N_{cok} = 7,14 \cdot 70000 = 500\,038 \text{ Kč}$$

- Náklady na režie

Dílenské režie

$$N_{pk} = N_{cvk} \cdot 10 \text{ [Kč]} \quad (4.18)$$

$$N_{pk} = 525000 \cdot 10 = 5\,250\,000 \text{ Kč}$$

Podniká režie

$$N_{dk} = N_{cvk} \cdot 2 \text{ [Kč]} \quad (4.19)$$

$$N_{dk} = 525000 \cdot 2 = 1\,050\,000 \text{ Kč}$$

- Zvláštní náklady

Náklady na pořízení zápusťek a obráběcích nástrojů pro dokončovací operace jsou

$$N_{zk} = 356\,000 \text{ Kč}$$

4.3 Porovnání nákladů

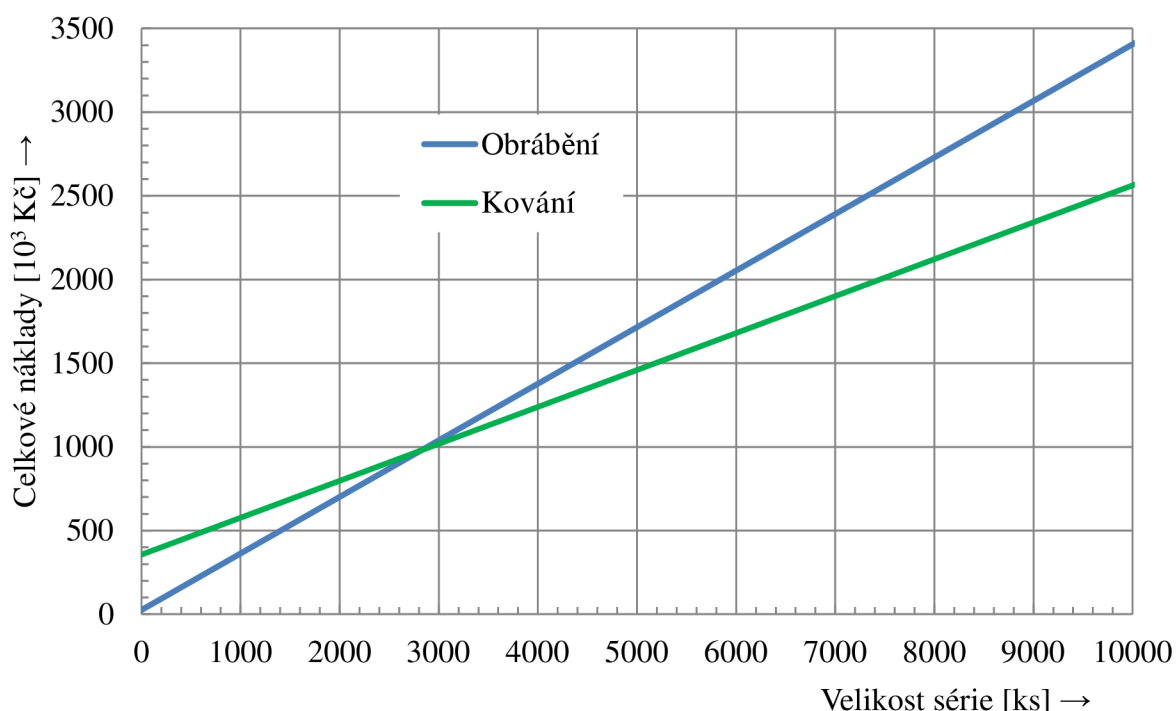
Technologie můžeme porovnat z hlediska vzniklého vratného odpadu, který je u kování v porovnání s obráběním poloviční, hmotnost odpadu při obrábění je $m_{vro} = 4,731$ kg a při kování $m_{vrk} = 2,101$ kg. Důležité je porovnání nákladů na výrobu. Porovnání jednotlivých typů nákladů je v tabulce č. 16. Kování je výrazně lepší u většiny nákladů, pouze pořizovací náklady nástrojů jsou u kování vyšší.

Tab. 16 Porovnání nákladů mezi obráběním a záp. kováním

Typ nákladů		Náklady [Kč]		Úspory zápusťkového kování [Kč]
		Obrábění	Záp. kování	
Materiál	N_m	13 442 870,7	9 120 707,4	4 322 163,3
Mzdy vyr. dělníků	N_v	1 260 000	525 000	735 000
Vratný odpad	N_o	- 1 121 932	- 500 038	- 621 894
Dílenský režie	N_D	7 560 000	5 250 000	2 310 000
Podniková režie	N_P	2 520 000	1 050 000	1 470 000
Zvláštní	N_z	26000	318 000	- 292 000
Celkové náklady	N_C	23 686 938,7	15 763 669,4	7 923 269,3
Náklady na jeden kus	N_K	338,38	225,2	113,18

Dále můžeme porovnat náklady v závislosti na počtu vyrobených kusů, viz graf. Tímto porovnáním dostane mezní velikost série, pro kterou je výhodné ještě obrábění a pro kterou už je výhodné použít zápusťkové kování. Z grafu je patrné, že pro série větší jak 2 800 kusů je výhodnější použití zápusťkového kování.

Graf závislosti celkových nákladů na velikosti série



5 ZÁVĚRY

Úkolem práce bylo navržení výroby ozubeného kola technologií zápustkového kování. Kromě samotného návrhu postupu výroby měla být tematicky vypracována literární studie.

Na základě literární studie byl proveden návrh výroby. Technologičnost součásti je vhodná pro zápustkové kování. Z ekonomických důvodů se však budou obrábět pouze funkční plochy, proto bylo nutné na těchto plochách vytvořit technologické úkosy. Dále bylo provedeno zatřídění složitosti výkovku, dle ČSN 42 9002 je číslo výkovku 4310 – 4. V další podkapitole byly na základě normy ČSN 42 9030 zvoleny přídavky a tolerance pro výkovek. Následovala volba výronkové drážky dle ČSN 22 8306 a výpočet výchozího polotovaru. Jako polotovar byla navržena tyč kruhového průřezu o rozměrech $\varnothing 75 - 159$ ČSN EN 10060, z oceli 12 050. Výpočet kovací síly byl proveden několika metodami, a následně takto vypočtené hodnoty byly porovnány v tabulce č. 10 a s ohledem na bezproblémovou výrobu byla vybrána největší síla, $F_k = 15,93$ MN. Dále byl pak proveden výpočet střižné síly pro ostřížení výronku, tato síla má velikost $F_s = 0,57$ MN. Na základě těchto vypočítaných sil byl zvolen svislý kovací lis LMZ 1600A/S s jmenovitou silou 16 MN a ostřihovací lis LKOA 200 s jmenovitou silou 2 MN. Jako metoda ohřevu byl zvolen indukční ohřev na středofrekvenčním ohříváči SOP 400/3, kmitočet pro ohřev byl stanoven na 2000 Hz. Pro konstrukci zápustek bereme ohled na rozměry stroje a uvažujeme rozměry výkovku při teplotě 1050°C. Materiál zápustek je nástrojová ocel 19 552. V poslední části kapitoly byl navržen a sestaven technologický postup výroby ozubeného kola, tento postup zahrnuje pouze operace přímo související se zápustkovým kovááním.

Z těchto získaných a zvolených hodnot byla navržena výkresová dokumentace pro součást, výkovek, neostřížený zahřátý výkovek a pro jednotlivé zápustky (pěchovací, předkovací a dokončovací), včetně výkresu sestavení těchto zápustek.

Na závěr bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení výroby a porovnání technologií zápustkového kování s obráběním. V tabulce č. 15 byly stanoveny vstupní hodnoty uvažované při výpočtu nákladů. Konečné porovnání nákladů bylo zaneseno do tabulky č. 16. Zde je patrné, že pro velikost série 70 000 ks je úspora nákladů u zápustkového kování lehce přes 7,9mil. Kč, což je přibližně jedna třetina částky nákladů na obrábění. Dále pak bylo v grafu provedeno porovnání v závislosti na počtu kusů, můžeme zde vyčíst hraniční hodnotu, pro kterou už je zápustkové kování výhodnější. Z grafu vyplývá, že hranice je přibližně 2 800 kusů. Přihlédneme-li ke zlepšení mechanických vlastností a celkové velikosti série, můžeme říct, že zápustkové kování je pro tuto výrobu velmi výhodné.

Kromě úspory nákladů na materiál se tato metoda vyznačuje také vysokou produktivitou a zlepšením mechanických vlastností materiálu. Nevýhodou ovšem zůstává vyšší pořizovací cena nástrojů a také malá univerzálnost výroby. Zápustkové kování se jeví jako velice výhodná metoda pro velko-sériovou a hromadnou výrobu, případně pro malo-sériovou výrobu s vyššími požadavky na mechanické vlastnosti.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [1]

1. CITACE PRO: *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
2. FERONA a.s.: *Tyče kruhové* [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://eshop.ferona.cz/vyhledavani/1>
3. Forge magazine: *Grain Flow in Forgings IV – Various Processes and Influence of Machining* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.forgemag.com/articles/84328-grain-flow-in-forgings-iv-various-processes-and-influence-of-machining>
4. History of Forging. *Steel Forge* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.steelforge.com/literature/history-of-forgings/>
5. HAŠEK, Vladimír. *Kování: pomůcka pro studenty vysokých a odborných škol*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. Řada strojírenské literatury. ISBN 04-233-65.
6. FROLEC, Ivo. *Kovářství*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. Řemesla, tradice, technika. ISBN 80-247-0611-3.
7. Kovošrot - Alba: *Ceník železa* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.kvosrot-alba.cz/sberne-suroviny-cenik/zeleza.htm>
8. PRECIZ s.r.o. *Převodník materiálů* [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.1191>
9. Quality Steel Products [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.qualitysteelproductsinc.com/ourhistory.htm>
10. Roboterm: *Indukční ohříváče* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.roboterm.cz/reference/indukcni-ohrivace/sop-do-630-kw/sop-400-3-a30-p-1-t-2>
11. ČSN 42 9002. *Rozdělení zápusťkových výkovek podle složitosti tvaru*. Praha: Ústav pro normalizaci a měření, 1968.
12. ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. 1. vyd. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-718-3284-7.
13. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-736-1033-7.
14. Šmeral Brno a.s.: *Výrobní program* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/vyrobnni_program.html
15. Technologie II: *Tváření kovů* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm

16. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
17. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
18. FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT, 1991. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0294-6.
19. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
20. ČSN 22 8306. *Tvářecí nástroje. Zápustky pro svisle kovací lisy. Technologické požadavky na konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1990.
21. ČSN 21 1420. *Upínání zápustek na svislých klikových kovacích lisech*. Praha: Ústav pro normalizaci a měření, 1970.
22. ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápustkové Příkladky na obrábění mezní úchylky rozmerů a tvarů*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986.
23. Waymachine [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.waymachine.net/>
24. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-839-7.
25. ČSN 22 8308. *Zápustky pro buchary. Směrnice pro konstrukci*. Praha: Ústav pro normalizaci a měření, 1970.
26. ČSN 22 8306. *Zápustky pro svislé kovací lisy. Směrnice pro konstrukci*. Praha: Ústav pro normalizaci a měření, 1990.
27. Zetor kovárna s.r.o.: *Produkty* [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.zetorkovarna.cz/produkty-vykovky>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
%C	Obsah uhlíku ve tvářené oceli	%
%Mn	Obsah manganu ve tvářené oceli	%
A_i	Dílní plocha pod křivkou	mm ²
b	Šířka můstku výronku	mm
B	Šířka výronku	mm
b_n	Šířka příslušného průřezu	mm
b_z	Minimální šířka zásobníku	mm
C_{del}	Hodinová mzda výrobního dělníka	Kč
C_{mat}	Cena oceli (12 050)	Kč
C_o	Součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teplot	-
C_{odp}	Cena vratného odpadu	Kč
d	Největší průměr kolmo k rázu	mm
D_{POL}	Průměr polotovaru	mm
D_V	Největší průměr výkovku	mm
$D_{VÝR}$	Průměr výronku	mm
$d_{VÝR}$	Stříhaný průměr výronku	mm
f	Šířka prvku součásti	mm
F_k	Největší kovací síla	N
F_{kn}	Kovací síly jednotlivých metod	N
F_n	Síla normálových napětí	N
F_s	Celková střižná síla	N
F_t	Síla tangenciálních napětí	N
$F_{VÝR}$	Síla pro odstřížení výronku	N
H	Největší výška součásti	mm
h	Výška můstku výronku	mm
h_n	Výška příslušného průřezu	mm
$h_{výr}$	Výška výronku	mm
k_p	Přetvárný odpor daného materiálu	-
l_{POL}	Výška polotovaru	mm
m_{cel}	Hmotnost hotové součásti	kg
m_{pk}	Hmotnost polotovaru pro kování	kg
m_{po}	Hmotnost polotovaru pro obrábění	kg
m_{vr}	Hmotnost vratného materiálu (na jeden kus)	kg
n	Výška zásobníku od dělicí roviny	mm
N_{cm}	Celkové náklady na materiál	Kč
N_{cv}	Celkové náklady na mzdy výrobního dělníka	Kč
N_D	Dílenské režie	Kč
N_m	Náklady na jeden kus	Kč

N_o	Hodnota vratného odpadu	Kč
N_{oc}	Celková hodnota vratného odpadu	Kč
N_p	Podniková režie	Kč
n_{ser}	Velikost výrobní série	ks
N_v	Náklady na mzdy výrobního dělníka na jeden kus	Kč
N_z	Celkové zvláštní náklady	Kč
$o_{VÝR}$	Stříhaná délka výronku	mm
r	Poloměr zaoblení hrany	mm
R	Poloměr zaoblení přechodu	mm
R_m	Mez pevnosti v tahu	MPa
R_{mT}	Pevnost materiálu za kovací teploty	MPa
R_z	Poloměr zaoblení přechodu výronku	mm
S'	Celkový povrch bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápusky	mm ²
S_V	Plocha průmětu výkovku do dělicí roviny	mm ²
$S_{VÝR}$	Plocha průmětu výronku do dělicí roviny	mm ²
t	Kovací teplota	°C
t_k	Výrobní čas jedné součásti	min
V_{CEL}	Celkový objem výkovku, objem polotovaru	mm ³
V_{OP}	Objem opalu	mm ³
$V_{VÝK}$	Objem výkovku	mm ³
x_i	Vzdálenost těžiště v ose x	mm
η	Součinitel otupení nástroje	-
λ	Štíhlostní poměr	-
ρ	Hustota	g·cm ³
τ_S	Mez pevnosti ve stříhu	MPa
σ_k	Přetvárná pevnost oceli dle Elekunda	MPa
σ_n	Napětí na jednotlivých plochách výkovku	MPa

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výkovků	10
Obr. 2 Struktura vláken výkovku	10
Obr. 3 Nákres a model zadané součásti.....	11
Obr. 4 Soustružení.....	12
Obr. 5 Odlévání do trvalých forem	12
Obr. 6 Zápustkové kování	13
Obr. 7 Příklad postupu zápustkového kování.....	14
Obr. 8 Pneumaticko-hydraulický buchar KHZ 4A	15
Obr. 9 Svislý kovací lis LMZ 1600.....	16
Obr. 10 Kovací teploty	17
Obr. 11 Přidavky technologické a na obrábění	18
Obr. 12 Zaoblení hran a přechodů.....	19
Obr. 13 Nejmenší tloušťka dna a stěny	20
Obr. 14 Navrhované zápustky pro dokončovací operaci	22
Obr. 15 Kruhové vedení zápustek	23
Obr. 16 Příklad vedení zápustek – zakřivená dělicí rovina.....	23
Obr. 17 Příklady výronkových drážek	24
Obr. 18 Příklad použití kolíkových vyhazovačů	24
Obr. 19 Provedené úpravy na součásti	25
Obr. 20 Model výkovku s výronkem	27
Obr. 21 Nomogram pro stanovení předběžné kovací síly	29
Obr. 22 Normálové napětí pro výpočet síly dle Tomlenova	32
Obr. 23 Středofrekvenční ohřívač SOP 400/3.....	33
Obr. 24 Svislý kovací lis LMZ 1600 A/S.....	34
Obr. 25 Ostříhovací lis LKOA 200	34

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení materiálu	11
Tab. 2 Poloměry zaoblení hran a přechodů	19
Tab. 3 Úhel úkosů na výkovku	19
Tab. 4 Nejmenší rozměry tloušťky dna a stěny	20
Tab. 5 Přídavky na obrábění	20
Tab. 6 Mezní úchylky a tolerance ve směr kolmo k rázu	21
Tab. 7 Mezní úchylky a tolerance ve směru rovnoběžném s rázem	21
Tab. 8 Napětí na jednotlivých průřezech	31
Tab. 9 Plochy a těžiště dle velikosti napětí	31
Tab. 10 Výsledné kovací síly	33
Tab. 11 Doporučené kmitočty pro ohřev uhlíkové oceli na 1200°C	33
Tab. 12 Technické parametry ohřívače	33
Tab. 14 Technické parametry ostřích. lisu	34
Tab. 15 Vstupní uvažované hodnoty pro technicko-ekonomické hodnocení	36
Tab. 16 Porovnání nákladů mezi obráběním a záp. kováním	39

SEZNAM VÝKRESŮ

Ozubené kolo	číslo výkresu: BP_2017_01_01
Ozubené kolo - výkovek	číslo výkresu: BP_2017_01_02
Ozubené kolo - teplý výkovek	číslo výkresu: BP_2017_01_03
Pěchovací zápustka	číslo výkresu: BP_2017_02_01
Předkovací zápustka	číslo výkresu: BP_2017_02_02
Dokončovací zápustka	číslo výkresu: BP_2017_02_03
Sestava kovacíh zápustek	číslo výkresu: BP_2017_02_10