



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ NÁBOJE KOLA

DROP FORGING OF HUB

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

EMIL HRBÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MAREK ŠTRONER, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Emil Hrbáček

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

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

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

Zápustkové kování náboje kola

v anglickém jazyce:

Drop forging of hub

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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

Cíle bakalářské práce:

Zpracování technologického postupu pro zvolenou technologii a daný případ.

Vypracování výkresové dokumentace spolu s technologickými výpočty.

Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam odborné literatury:

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

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 18.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

HRBÁČEK Emil: Zápustkové kování náboje kola.

Bakalářská práce předkládá návrh technologie výroby náboje kola z oceli 15 321. Na základě literární studie zápustkového kování byl navržen výrobní postup součásti. Vzhledem ke složitosti výkovku, bude kování prováděno ve třech operacích. Pro tyto operace byla vypočítána kovací síla a následně zvolen svislý kovací lis LMZ 1600A (výrobce ŠMERAL Brno a.s.) se jmenovitou tvářecí silou 16 MN. Kovací zápustky jsou vyrobeny z oceli 19 552 a tepelně zpracovány podle výkresové dokumentace.

Klíčová slova: Ocel 15231, ocel 19 552, tváření, zápustkové kování.

ABSTRACT

HRBÁČEK Emil: Drop forging of hub.

Bachelor thesis presents a proposal technology of hub made of steel 15 321. Based on the literature study of the die forging was designed manufacturing process . Given the complexity of forging , the forging will be carried out in three operations. For these operations was calculated forging force and then selected vertical forging press LMZ 1600A (manufacturer Šmeral Brno a.s.) with a nominal forming force of 16 MN. Forging dies are made of steel 19 552 and heat treated according to drawings.

Keywords : Steel 15231 , 19552 steel , forming, die forging .

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRBÁČEK Emil: *Zápustkové kování náboje kola*. Brno, 2015. 49 s., 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 dne 10.5.2015

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

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

Obsah

Zadání.....	2
Abstrakt.....	4
Bibliografická citace.....	5
Čestné prohlášení.....	6
Poděkování.....	7
1 Úvod.....	10
2 Rozbor součástí	11
2.1 Varianty výroby	12
3 Kování	14
3.1 Zápustkové kování	14
3.2 Stroje pro zápustkové kování	15
3.2.1 Buchary	15
3.2.2 Lisy.....	16
3.3 Ohřev	16
3.4 Tvářecí síla	18
3.5 Postup návrhu výkovku.....	19
3.6 Konstrukce a přesnost výkovků	20
3.7 Rozdělení výkovků podle složitosti tvaru	24
3.8 Postup návrhu zápustky.....	25
3.9 Upínání zápustek	26
3.10 Odstraňování výkovků	27
3.11 Vedení zápustek	27
3.12 Výronková drážka	28
4 Návrh výroby.....	29
4.1 Zatřídění výkovku	29
4.2 Přídavky na obrábění.....	29
4.3 Technologické přídavky.....	29
4.4 Parametry výkovku	30
4.5 Výpočet výronku	30
4.6 Výpočet výchozího polotovaru	31
4.7 Kovací teploty, materiály, postup	32
4.7 Stanovení síly dle ČSN 22 8306	33
4.8 Stanovení síly dle Tomlenova	34

4.9 Stanovení síly dle Brjuchanov-Rebelského.....	36
4.10 Stanovení síly dle Storoževa	37
4.11 Stanovení střížné síly	38
4.12 Volba strojů.....	38
5 Technicko-ekonomické zhodnocení.....	41
5.1 Výpočet pro vybrané technologie	41
5.1.1 Náklady na výrobu obráběním	41
5.1.1 Náklady na výrobu zápusťkovým kovááním.....	42
6 Závěr.....	44
Seznam použitých zdrojů.....	45
Seznam použitých symbolů.....	47
Seznam příloh.....	49

1 Úvod [3],[4],[12]

Od prvopočátku se lidstvo snažilo vyrábět nástroje, kterými by si ulehčilo život. Nástroje byly nejdříve kamenné a postupem doby se vyvíjely. Úroveň zpracovávání různých druhů materiálů je měřítkem rozvoje společnosti. Jakmile lidstvo objevilo kovy, začal si člověk osvojovat procesy hutního zpracování, mezi které patří kování a odlévání. První známky kovů opracovaných kováním pochází již z 3. tisíciletí př. Kr. Kovářství zasahovalo do všech oblastí běžného života, od kuchyňského nádobí, přes nástroje na pole až po zbraně. Jednalo se výhradně o kování s použitím ruční síly člověka. Ve 14. století se začaly objevovat první známky automatizace, a to v podobě hamrů. Větší rozvoj následoval až na začátku 19. století, kdy začal velký rozmach železniční dopravy, pro značně větší množství zpracovávaného materiálu bylo nutno zavést nové výrobní technologie, proto byly sestrojeny první padací buchary a následně i kovací lisy.

V současnosti zasahuje kování do všech oblastí celosvětového průmyslu. Největší využití má však v automobilovém, vojenském a leteckém průmyslu, kde se nepoužívá pouze ocelových slitin, ale také slitin hliníku, hořčíku, titanu nebo bronzů a mosazi. Jedná se o součásti, u kterých je vyžadována vysoká pevnost a malá hmotnost.

Kování se dělí do několika skupin, u nichž jsou však jen malé rozdíly ve vlastnostech hotového výrobku. Mezi výhody kování patří zpevnění součásti vlivem kovacího procesu, součásti se stávají homogennějšími, čímž vykazují větších hodnot tažnosti, kontrakce a zejména pevnosti materiálu.

Zápustkovým kováním je možno docílit rychlé, přesné stejnoměrné a tím i levné výroby, proto je vhodné zejména pro sériovou a velkosériovou výrobu. Někdy je ovšem potřebné i při menším množství, to závisí na tvaru, velikosti a požadavků na součást. Velkou výhodou je, že lze kovat buď na hotové rozměry, nebo s minimálními přídávky na obrábění. Zápustkovým kováním lze také dosáhnout dobrého vzhledu a prokování součásti, čímž se zlepšují mechanické vlastnosti, mezi nimiž je ve většině případů nejdůležitější pevnost.

Cílem práce je navrhnout postup výroby zadané součásti a zpracovat literární studii na toto téma. Součást bude zhotovena technologií zápustkového kování, které zajišťuje zpevnění součásti vlivem kovacího procesu.

2 Rozbor součásti [29]

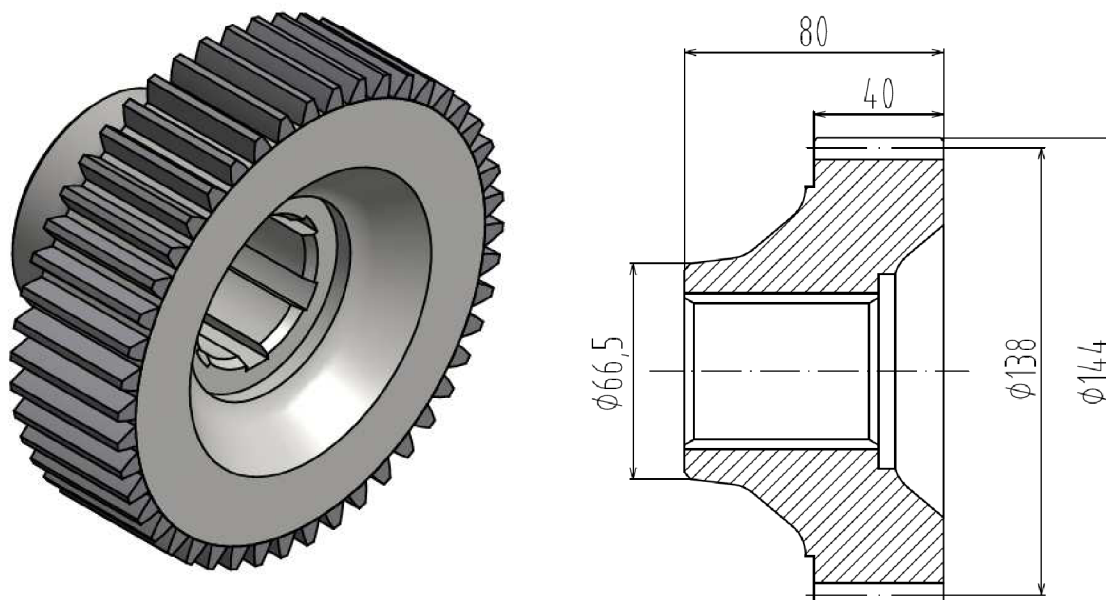
Zadaná součást č. výkresu BC-3-2015-1 je ozubený náboj kola, který pomocí drážkování přenáší z hnací hřídele stroje kroutící moment na věnec kola, na kterém je ozubení. Poloha náboje na hřídeli je zajištěna z jedné strany osazením hřídele a z druhé strany přítlačnou maticí s podložkou pro snadné rozebírání. Pro podložku je v náboji osoustružena dosedací plocha. Součást přenáší vysoké kroutící momenty při relativně malých otáčkách. U součásti se požaduje zpevnění a následné obrábění funkčních ploch, kterému odpovídá materiál ocel 15 231.

Ocel 15 231 je vhodná ke zušlechťování, dobře tvárná za tepla a dobře obrobitelná, používá se pro namáhané strojní součásti silničních motorových vozidel s vysokou pevností a na středně namáhané součásti větších průřezů. Ocel 15 231 má rozsahy teplot pro tepelné zpracování:

- kování 1150 až 800 °C
- normalizační žhání 860 až 900 °C
- žhání na měkko 680 až 720 °C
- kalení do oleje 860 až 890 °C
- popouštění (voda) 520 až 630 °C

Tab. 2.1 Složení oceli 15 231

Prvky	C (uhlík)	Mn (mangan)	Cr (chrom)	V (vanad)
Obsah prvků v %	0,27	1,2	0,75	0,15

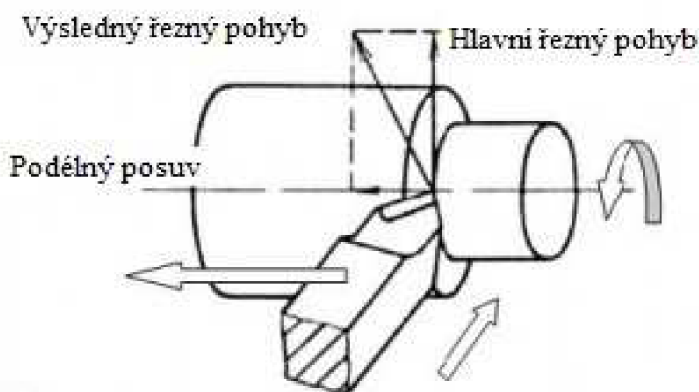


Obr. 2.1 3D model a rozměry náboje

2.1 Varianty výroby [2],[4],[5],[22]

Náboj kola lze vyrobit několika způsoby technologií. Například odléváním, třískovým obráběním nebo kováním. Každá z uvedených technologií se dělí na menší podskupiny, které jsou přímo vhodné pro náboj kola. U třískového obrábění se jeví jako nejlepší varianta soustružení, které je vhodné pro součásti rotačního tvaru. Při výrobě odléváním lze použít dvou variant, a to gravitačního lití do klasických pískových forem, kde je použit dřevěný model nebo lití do trvalých forem, kde je forma kovová. U technologie kování je pak nejvhodnější variantou zápusťkové kování. Popis, výhody, nevýhody a vhodnost a pro každou technologii:

- Soustružení - jedná se o obrábění rotačních ploch, zpravidla jednobřitým nástrojem. Při soustružení je hlavní pohyb otáčivý a vykonává jej obrobek, nástroj pak koná vedlejší pohyby, tj. podélný posuv a příčný přísuv. Válcová plocha je výsledkem podélného posuvu a čelní rovinná plocha je výsledkem posuvu příčného. Koná-li nástroj příčný i podélný posuv současně, vznikne obecná rotační plocha.



Obr. 2.1 Schéma soustružení [29]

Při soustružení lze dosáhnout konečného tvaru součásti s požadovanou jakostí povrchu. U této technologie je vysoká míra konečného odpadu a poměrně malá produktivita vzhledem k ostatním možnostem výroby. U soustružení také dochází k přerušování vláken v materiálu, čímž se nedosahuje požadovaného zpevnění. Soustružení lze u požadovaného tvaru součásti použít jako dokončovací operaci pro odlévání nebo kování. Proto je tato technologie vhodná pro kusovou nebo malosériovou výrobu součásti tvaru náboje kola, v případě součásti ve tvaru hřídele ji pak lze řadit do hromadné výroby.

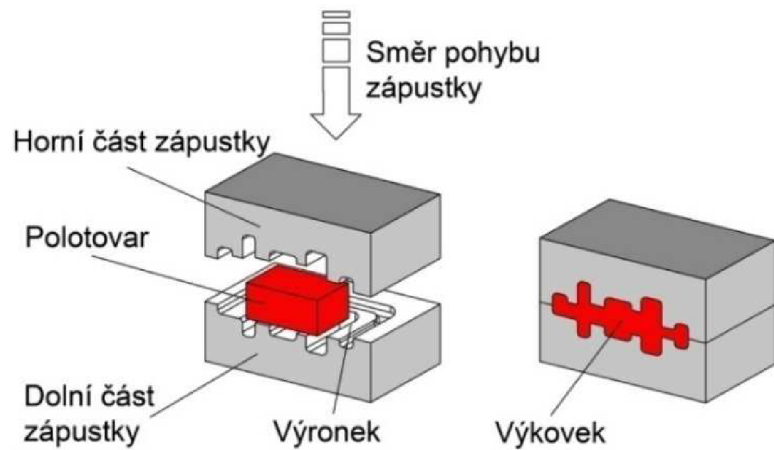
- Odlévání - odlévání do netrvalých forem (pískových) a do trvalých forem (kovových). Je to technologie, při které se roztavený kov vlije do formy, jejíž dutina je velikostí i tvarem shodná s budoucím výrobkem. Získaný odlitek je buď hotový výrobek, nebo polotovár pro třískové obrábění. Při sériové a hromadné výrobě bývá cena odlitků většinou nižší než cena výrobků, které se vyrábí jinými technologiemi. Odléváním lze vyrobit součásti s velkou tvarovou složitostí a je téměř bezodpadovou technologií. Odlévání do kovové formy má výhody zejména při hromadné výrobě, kdy je životnost této formy až 200 000 odlitků. Podmínkou jsou materiály vhodné k odlévání. Při technologii nedochází k požadovanému zpevnění součásti, materiál je více heterogenní, má rozdílné velikosti zrn



Obr. 2.2 Odlévání na lince [23]

vlivem procesu chladnutí, který nemusí být ideálně rovnoměrný, to způsobuje rozdílné mechanické vlastnosti na povrchu a uvnitř součásti. U pískových forem je nutno po každém odlévání součást očistit, protože na povrchu mohou vznikat vady, jako je například přesazení formy, nebo dokonce trhliny. Po odlévání je nutno obrobit funkční plochy součásti na požadovaný tvar a jakost povrchu. Tato technologie je vhodná především pro součásti složitých tvarů, kde nepožadujeme vysoké mechanické vlastnosti.

- Zápustkové kování - řadíme je do technologie objemového tváření za tepla, jedná se o tvarování kovu pomocí nástroje nazývaného zápustka, je to jednoúčelový nástroj, který se zpravidla skládá ze dvou částí. Každá z těchto částí obsahuje dutinu, která má tvar budoucího výkovku. Získaný tvar výkovku je většinou polotovar pro třískové



Obr. 2.3 Dvojdílná zápustka [31]

obrábění, kterým dosahujeme stanovených hodnot přesností a drsností povrchu. Kováním lze dosáhnout zpevnění součásti, jelikož nedochází k přerušení vláken v materiálu, lze kovat poměrně tvarově složité součásti. Při této technologii je značně malá část odpadu materiálu při ohřevu, kdy dochází k propalu součásti a při zbytkovém obrábění. Pro kovací technologii je nutný materiál, který se dobře tváří za tepla a je dobře obrobitelný. Životnost zápustky je řádově stovky tisíc výkovků, ovšem cena zápustky je velmi vysoká, protože je vyrobena z nástrojové oceli. Vzhledem k ceně nástroje je zápustkové kování vhodné zejména pro sériovou a hromadnou výrobu součástí, u nichž vyžadujeme vyšší pevnost.

Z rozboru variant výroby se jeví jako nejvíce vhodná varianta výroby náboje kola zápustkovým kováním. U součásti je vyžadováno zpevnění materiálu a poměrně vysoký počet kusů, které technologie výroby zápustkovým kováním splňuje. Taktéž ocel 15 231 je vhodná ke kování, jelikož má dobrou tvařitelnost za tepla a obrobitelnost, díky které se součást bude dobře obrábět při zbytkovém obrábění na požadovaný tvar.

3 Kování [2],[4],[12]

Kování patří do technologie beztržiskového objemového tváření za tepla. Jedná se o tvářecí postup, při kterém dochází k přeměně výchozího polotovaru na předkovek nebo hotový výkovek pomocí vnější tlakové síly. Během tváření tato síla odpovídá odporu, který klade materiál proti vzniku plastické deformace. Mění se jak tvar součásti, tak i mechanické vlastnosti kovu. Změnu tvaru umožňuje zásoba plasticity materiálu. Mezi hlavní výhody tváření za tepla řadíme menší odpor proti deformaci než u tváření za studena, z toho plyne, že potřebujeme menší opotřebení nástrojů a menší tvářecí síly. Naopak nevýhodou je nutnost dodržení kovacíh teplot, kvůli možnosti zhrubnutí zrna a díky tomu degradaci mechanických vlastností tvářeného kovu.

Kování dělíme dle způsobu vyvození tvářecí síly na ruční a strojní. Dále lze pak rozdělit kování vzhledem k použitým nástrojům na volné nebo zápustkové, kování na stroji můžeme ještě dělit na kování dynamického charakteru (buchar) a statického (lis).

3.1 Zápustkové kování [2],[6],[10],[11],[15],[16]

Materiál ohřátý na kovací teplotu je tvářen v dutině zápustky, jejíž vnitřní tvar je shodný s tvarem budoucího výkovku. Rozměry zápustkové dutiny jsou zvětšeny o velikost hodnoty smrštění materiálu po ochladnutí výkovku. Tento způsob kování vyžaduje oproti kování volnému výrobu jednoúčelových nástrojů nazývaných zápustky, ty bývají zpravidla dvoudílné. Zápustkovým kovááním dosáhneme vysokého stupně prokování, obrys zápustkového výkovku pak určuje průběh vláken v materiálu. Oproti kování volnému lze dosáhnout vyšších tvarových přesností výkovku, ale i v tomto případě nemusíme dosáhnout stanovených hodnot jakosti a přesnosti a následně musíme na výkovku ještě obrábět například funkční plochy.

Zápustky se vyrábějí z ocelí se zvýšenou odolností proti pracovním teplotám a proti otěru. Jedná se o oceli nástrojové, třídy 19 např. 19 720 nebo 19 650. Pracovní dutinu zápustky lze zhotovit obráběním nebo pro mělké tvary nastřelováním, popřípadě vtlačováním. Po vyrobení jsou zápustky dále zušlechtěny na předepsanou hodnotu pevnosti.

Mezi přednosti zápustkového kování patří vysoká produktivita výroby a jednoduchá obsluha, proto se používá zejména v sériové a hromadné výrobě. Zápustkové výkovky se vyrábějí zpravidla do hmotnosti přibližně 500 kg, toto závisí na použitém stroji, lépe řečeno na síle, kterou je stroj schopen vyvodit. Hmotnost i rozměry můžeme zvětšit pomocí sdruženého kování, jedná se o kování volné spolu s kovááním zápustkovým.

Aby došlo k dokonalému vyplnění dutiny zápustky, je objem polotovaru o něco větší, než je objem budoucího výkovku. Přebytný materiál je pak vytlačen do výronkové drážky, kde vytváří výronek, který se poté odstraňuje ostříhováním. Bez výronku lze kovat v zápustkách uzavřených, tento způsob je velmi náročný na přesné stanovení objemu výchozího polotovaru, proto je kování s výronkovou drážkou častější.

Pokud mají být zhotoveny ve výkovku díry průchozí, nelze je přímo vykovat, musíme je nejdříve pouze předkovat a poté prostříhnout tzv. blánu, která se může proděrovat zároveň s ostříhováním výronku.

Z výchozího polotovaru lze kovat jen výkovky jednoduchého tvaru, u složitějších výkovků se musí polotovar předkovat takovým způsobem, aby co nejvíce odpovídal požadovanému tvaru budoucího výkovku. Pro předkování se používají buď kovací válce, zápustky nebo se ková volně. V případě že nelze výkovek vykovat najednou, tak se používá kování v postupových zápustkách.

Hotové výrobky se tepelně zpracovávají, zbavují okují otryskáváním nebo mořením, kontrolují, případně kalibrují za studena. Takto zpracované výkovky jsou buď hotovými produkty, nebo polotovary pro další způsoby tržiskového obrábění.

3.2 Stroje pro zápustkové kování [5],[7],[10],[11]

Jako tvářecí stroje pro zápustkové kování se používají zejména buchary, vodorovné kovací stroje v různých provedeních nebo svislé kovací lisy. Každý stroj má do jisté míry charakteristické využití, v některých případech je dle velikosti a tvaru výkovku lépe použít buchar, v dalších případech kovací lis.

U bucharů je kritériem jejich rázová energie a u lisů je to maximální síla, kterou jsou schopny vyvinout. Při porovnání průběhu tvářecích sil a prací bucharu a lisu plyne rozdíl jejich tvářecích možností a schopností. Síla při kování na hydraulickém lisu končí v okamžiku, kdy je polotovar stlačen na požadovanou výšku. Potřebná tvářecí síla musí být menší než maximální síla, kterou je lis schopen vyvinout.

Kování na bucharěch s charakteristickou rázovou prací, místo tvářecí síly se uskutečňuje na několik úderů beranu. Při prvním úderu beranu bucharu se polotovar zmenší o určitou výšku. Následnými údery dosáhneme požadované výšky, při těchto úderech deformace postupně klesá, velikost tvářecí síly vzhledem k vyšší rychlosti deformace vykazuje větších hodnot než u lisu.

3.2.1 Bucharý [7],[10]

Jako bucharý klasifikujeme tvářecí stroje, u nichž se dosahuje přetvárné práce přeměnou kinetické energie beranu, buď padacího, nebo urychleného. Beran bucharu působí silou na tvářený materiál, který je uložen na stole (šabotě).

Bucharý rozdělujeme na protiúderové a šabotové. Protiúderové bucharý nemají šabotu, ta je nahrazena spodním beranem, který se pohybuje současně s horním jen v opačném směru. U těchto bucharů nedochází k šabotovým ztrátám. Poháněny mohou být oba berany, nebo může být poháněn pouze jeden a druhý beran je s ním v kinematické vazbě. Uspořádání protiúderových bucharů může být také vodorovné. Tento typ bucharů je vhodný zejména pro zápustkové kování.

Šabotové bucharý mají šabotu uloženou buď v základu stroje, nezávisle na konstrukci vedení beranu, jsou vhodné zejména pro volné kování. Nebo bucharý, které mají šabotu uloženu v konstrukci stroje, tyto jsou vhodné pro zápustkové kování.

Bucharý lze rozlišovat také podle dopadové rychlosti beranu na bucharý s běžnou rychlostí ($v = 4$ až $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) a bucharý se zvýšenou a velkou rychlostí ($v = 20$ až $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Běžných kovacích rychlostí lze dosáhnout volným pádem beranu, jedná se o tzv. bucharý padací jednočinné. Bucharý padací, které pracují s přídatnou silou, jenž urychluje beran, jsou bucharý dvojčinné.

Bucharý lze rozdělit podle přenosu energie, použitého při pohonu beranu na:

- Mechanické - pružinové a třecí.
- Hydraulické.
- Plynové - pneumatické a parní.
- Elektromagnetické.
- Kombinované - kombinace předchozích variant.



Obr. 3.1 Buchar od firmy Šmeral Brno a.s. [26]

3.2.2 Lisy [5],[7],[11]

Mezi lisy řadíme stroje, které na tvářený materiál působí klidným tlakem, rychlost beranu je řádově nižší než u bucharů ($v = 0,01$ až $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Tvářecí síla může být vyvozena mechanicky nebo hydraulicky. Lis má tuhou konstrukci, která je vhodná i pro excentrické zatížení. Rámová konstrukce je buď dvousloupová, nebo čtyřsloupová, která zajišťuje vyšší tuhost a lepší přístup do pracovního prostoru při manipulaci s výkovkem.

Lze použít několik variant lisů, které jsou vhodné ke kování a jsou to:

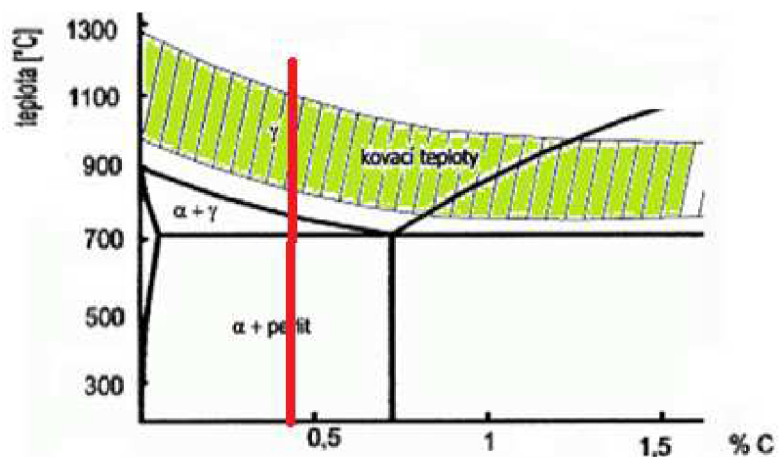
- Vřetenové lisy - jejich princip spočívá v nashromážděné kinetické energii v roztočeném vřetenu a setrvačnicku, pomocí matice a vřetena se převádí otáčivý pohyb na pohyb přímočarý.
- Klikové kovací lisy - jejich kinetická energie je nashromážděna v mohutném otáčejícím se setrvačnicku. Maximální tvářecí síla je omezena konstrukcí lisu a její pevností, mají prakticky stálý zdvih, který lze nastavit podle prováděné operace.
- Hydraulické kovací lisy - jejich použití je zejména u rozměrných výkovků.
- Vodorovné kovací stroje - jedná se v principu klikové lisy, které jsou uspořádány horizontálně, to umožňuje vyrábět výkovky s menšími úkosi a kování do uzavřených zápustek.



Obr. 3.2 Svislý kovací lis od firmy Šmeral Brno a.s. [28]

3.3 Ohřev [2],[5],[20]

Kování v zápustkách musí probíhat v rozmezí kovacích teplot materiálu. Kove se obvykle na horní hranici kovacích teplot, jelikož čím je ocel teplejší, tím má lepší schopnost zatékat, dojde k lepšímu vyplnění zápustky. Dále se spotřebuje méně energie a nedochází k takovému opotřebování zápustek jako při nižších teplotách. Kov se musí prohřát rovnoměrně v celém objemu součásti, jinak dochází k vadám výkovku. Rychlost ohřevu ovlivňuje pnutí v materiálu, pokud je ohřev moc prudký dochází k velkým pnutím, ale vrstvy oduhličeni a okují budou menší. Při příliš pomalém ohřevu je tomu naopak.



Obr. 3.3 Interval kovacích teplot s vyznačením složení pro ocel 15 231 [20]

Správný ohřev má zaručit:

- Optimální počáteční kovací teploty, aby se při docílilo co nejmenší práce při tváření.
- Zachování celistvosti a jakosti materiálu.
- Co nejmenší vrstvu okují.
- Co nejmenší povrchové oduhličeni.

Dobu ohřevu materiálu dělíme na dvě části, na dobu ohřívání při nízkých teplotách a na dobu při vysokých teplotách. U ocelí bývá zpravidla počátek ohřevu pomalý až do teploty kolem 650 °C, poté může být ohřev rychlejší, a to až na kovací teploty. Toho se docílí tak, že se studený materiál vkládá na chladnější místo v peci, aby nebyl ze začátku vysoký tepelný spád, a po pomalém počátečním ohřívání se přesune do pracovního pásma pece, kde dochází k rychlejšímu ohřevu. První ohřívací období je rozhodující pro celistvost materiálu, protože ocel má při nízkých teplotách malou tvárnost a nesnáší velká napětí, která vznikají při rychlém ohřevu. Tepelná vodivost je závislá na chemickém složení materiálu, na jeho teplotě a struktuře. Tepelná vodivost je nepřímo úměrná obsahu uhlíku a ostatních složek v oceli.

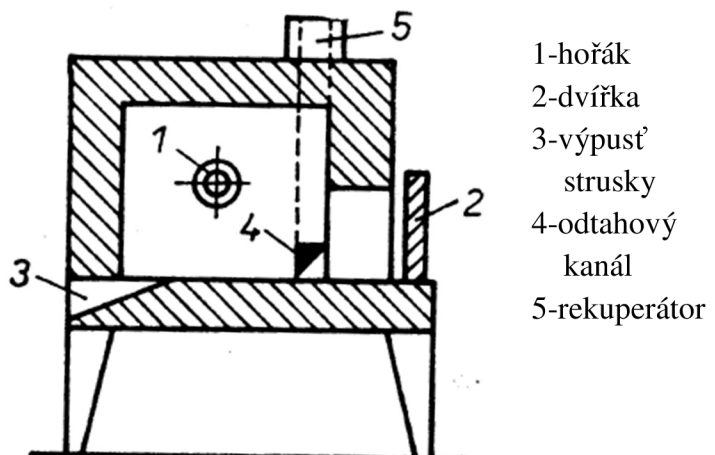
Při určení prvního období ohřevu je nutno přihlídnout:

- Rozměry součástí.
- Teplota pece v okamžiku vsázky.
- Chemické složení, struktura materiálu.

V druhém období ohřevu se má ohřívát s co největší rychlostí, při kterém má dojít k vyrovnání teploty materiálu v celém průřezu. Vysokou rychlostí se zkracuje doba ohřevu a tím roste produktivita. Ke zkrácení doby ohřevu je možno ohřívát i při vyšších teplotách než jsou kovací. Pro různé materiály o různé tepelné vodivosti lze použít vhodný typ ohřívací pece.

Nejčastěji používané pece v kovárnách:

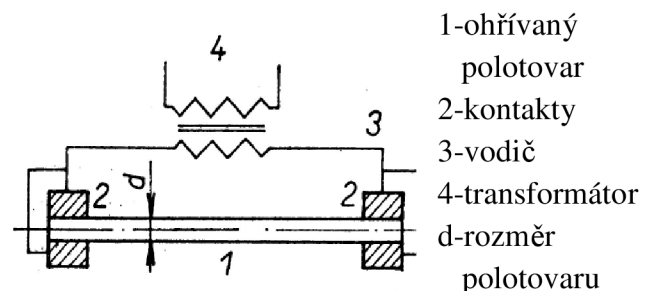
- Plynové pece - v plynových pecích probíhá spalování plynů, které předávají teplo polotovaru. Plyn je přiváděn pomocí jednoho nebo více hořáků do spalovací komory, jedná se směs o plynu a přehřátého vzduchu na teplotu přibližně 300 °C. Hořáky jsou konstruovány tak, aby bylo možno regulovat vzájemný poměr těchto dvou složek. Tím se docílí buď neutrálního, oxidačního nebo redukčního plamene. Oxidační plamen se vyznačuje přebytkem vzduchu a redukční přebytkem plynu. Plnění plynových pecí může být



Obr. 3.4 Schéma plynové komorové pece [20]

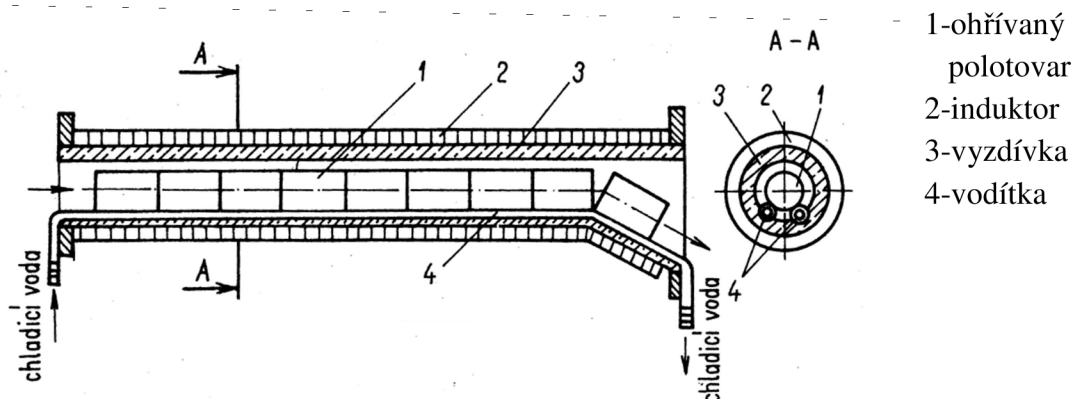
nárazové nebo plynulé, u nárazového plnění se pec naplní studenými kusy, po zahřátí na kovací teplotu se všechny polotovary vyjmou a tento proces se znovu opakuje, tím vznikají značné ztrátové časy. U plnění plynulého dochází k nepřetržité výměně, a to vždy jen několika kusů najednou, ostatní kusy se zatím ohřívají na požadované teploty. Plynulý provoz je hospodárný a umožňuje ohřev ve správném provedení.

- Elektrické odporové pece - střídavý proud o velké intenzitě a nízkém napětí prochází ohříváním polotovarem a tepla se dosahuje elektrickým odporem materiálu. Mezi hlavní výhody patří možnost přesně regulovat teplotu. Množství tepla závisí pouze na elektrickém příkonu. V peci lze vytvořit umělou atmosféru, aniž by došlo k ovlivnění účinnosti pece, je to dáno tím, že v peci neprobíhá spalování.



Obr. 3.5 Schéma odporového ohřevu [20]

- Elektrické indukční pece - při indukčním ohřevu dochází k ohřevu polotovaru působením vířivých proudů, ke kterým dochází v materiálu účinkem střídavého elektromagnetického pole, které se vytvoří v zařízení nazývaném induktor. Jedná se nejčastěji o válcovou cívku s jednou nebo několika vrstvami vinutí. Základní veličinou pro stanovení optimální frekvence je hloubka vniku proudu do materiálu. Účinnost je určována dobou trvání ohřevu, čím kratší čas ohřevu, tím vyšší výkonnost zařízení a tím menší jsou ztráty teplem. Mezi výhody indukčního ohřevu patří malé ztráty okujením, nedochází k oduhličení povrchu materiálu, výkovky lze vyrábět s menšími přídávky na obrábění a provoz v kovárně je čistší.



Obr. 3.6 Schéma indukčního ohřevu [20]

Při ohřevu v pecích, zejména plynových dochází k působením plynů, zejména vzduchu ke vzniku vrstvy okují. Tato vrstva bývá silná i několik milimetrů a tím je povrch oceli vystavován oduhličení. Oduhličení oceli napomáhá vyšší obsah křemíku, hliníku a wolframu. Oduhličení rovněž napomáhá vysoký obsah kyslíku, vodní páry a kyseliny uhličitě v pecních plynech. Naopak prvky jako jsou chrom nebo molybden tento proces brzdí. Proti vzniku okují a oduhličení můžeme postupovat tak, že nejdříve studený polotovar zbavíme všech nečistot a mastnoty, poté na jeho povrch nanese tenkou vrstvu hliníku, popřípadě ještě vápna, nátěr se nechá zaschnout. Tloušťka této vrstvy závisí zejména na době ohřevu. Při klasickém postupu, kdy dochází ke vzniku okují, se musí materiál před vložením do zápustky očistit. Nejčastější způsoby jsou oklepávání nebo seškrabování pomocí vhodného ocelového kartáče.

3.4 Tvářecí síla [1],[7],[14]

Velikost síly pro kovací lisy zaručuje provedení dané operace při jednom zdvihu beranu lisu, lze určit pomocí informativních hodnot, které se získají ze vztahů odvozených na základě zkušeností nebo pomocí koeficientů naměřených u zkušebních těles, dále pomocí nomogramů, diagramů nebo teoretickým výpočtem.

Teoretický výpočet dle Tomlenova vychází z předpokladu, že při poslední fázi zdvihu beranu rostou normálová napětí směrem ke středu výkovku vlivem snížení plasticity kovu. Kov zde chladne rychleji. Na povrchu vznikají napětí tangenciální. Ve stykové ploše působí tření mezi materiálem výkovku a dutinou zápustky. Je to normovaný způsob stanovení tvářecí síly dle ČSN.

Velikost síly je důležitá pro určení stroje, který musí zaručovat jmenovitou sílu větší než je vypočtená.

3.5 Postup návrhu výkovku [2],[5]

Konstrukce, pracovní postup a velikost přídavek se řídí tvarem výkovku, jeho složitostí a velikostí. Zápustkové výkovky musí obsahovat úkosy, které usnadňují vyjímání výrobků. Nelze zhotovovat průchozí otvory, lze je pouze předkovat. U výkovků nejsou žádoucí tenká žebra nebo náhlé změny průřezu, všechny hrany a přechody musí být zaobleny, tím je usnadněno tečení kovu v zápustce. Při návrhu výkovku lze postupovat v následujícím pořadí:

- Výkres součásti - součást má mít co nejjednodušší tvary.
- Volba materiálu - materiál musí být vhodný k tváření za zvýšených teplot.
- Přesnost provedení výkovku - výkovek lze zařadit do čtyř skupin, přesné, velmi přesné, běžné a dle dohody.
- Přídávky na obrábění - jsou ovlivněny stupněm tvařitelnosti a třídou přesnosti, stanovují se pouze pro funkční plochy.
- Technologické přídávky - jedná se o tloušťky blány a dna, zaoblení hran a přechodů.
- Zařazení výkovku podle složitosti tvaru.
- Stupeň přesnosti výkovku - dle složitosti tvaru a přesnosti provedení.
- Mezní úchytky rozměrů a tvarů.
- Tvářecí stroj - buchar, lis apod., důležitý pro dosažení požadovaného tvaru výkovku
- Úkosy - dle použitého stroje zvolíme úkosy vnitřní a vnější
- Dělicí rovina (plocha) - pokud je možnost tak vždy volit jednu dělicí rovinu, ta určuje polohu blány.
- Postup kování - předkování, stupeň prokování, deformace a průběh vláken.
- Tvar a rozměry výronku.
- Volba výchozího polotovaru - nutno připočíst ztráty.
- Tepelné zpracování a konečná úprava výkovku.
- Výkres výkovku.
- Kontrola rozměrů a mechanických vlastností výkovku.

Výkres zápustkového výkovku se dělá na základě výkresu obrobené součásti. Při návrhu se nejdříve určí umístění dělicí roviny a to tak, aby se výkovek vyjímal snadno a dutina byla vyplněna co nejsnáze. Dále se určí přídávky na obrábění a přídávky technologické, úkosy, poloměry atd.

Hmotnost polotovaru závisí na hmotnosti výkovku, hmotnosti odpadu a hmotnosti na propal. Výchozí materiál je nejčastěji polotovar čtvercového nebo kruhového průřezu.

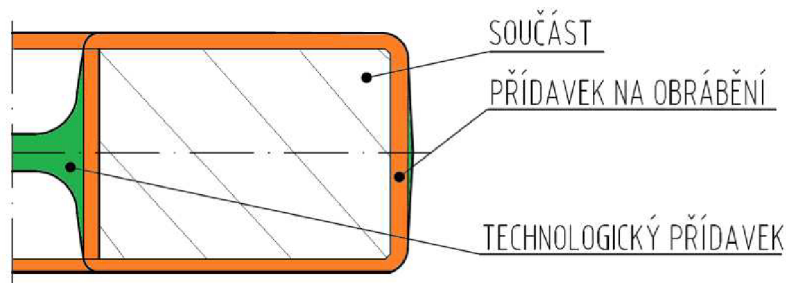
Ideální předkovek závisí na tvaru budoucího výkovku, materiál nesmí být v zápustkové dutině příliš přemístován, to způsobuje, že materiálová vlákna nekopírují obrys výkovku. To se dále projevuje horšími mechanickými vlastnostmi a hrozí nebezpečí vzniku vadného výkovku.

Návrhy zápustek vycházejí z technologického postupu a z výkresu výkovku. Je důležité navrhnout správný technologický postup s potřebným počtem kovacíh operací k zajištění požadované jakosti výkovku.

Na závěr se navrhne tvářecí stroj z potřebné tvářecí síly.

3.6 Konstrukce a přesnost výkovků [5],[8],[13]

Výkovky jsou polotovary nebo hotové součásti vznikající přetvořením ohřátého výchozího polotovaru kování. Výkovky mají specifické požadavky na výkresovou dokumentaci a přídavky. Přídavky u zápustkového kování rozdělujeme na technologické a na přídavky na obrábění.



Obr. 3.7 Přídavky

- Přídavky na obrábění

Po kování na povrchu součásti zůstávají okuje, které se následně odstraňují, a to nejčastěji otryskáváním nebo omíláním. Po takovéto povrchové úpravě je povrch součásti značně členitý. Dalším činitelem ovlivňujícím velikost přídaveků na obrábění jsou povrchové vady a velikost oduhlíčené vrstvy. Výkovky, u kterých je požadována vysoká přesnost a jakost povrchu se musí po vykování obrábět. Přídavky na obrábění jsou pro veškeré rozměry výkovku, které se musí obrobít určeny dle největšího rozměru hotového výkovku, a to ve směru kolmém k rázu a dle největší výšky hotového výrobku (tab. 3.1). Pro nerotační součásti je největší rozměr ve směru kolmém k rázu definován jako střední hodnota součtu největší délky a šířky výkovku.

Tab. 3.1 Přídavky na obrábění pro obvyklé provedení výkovku [8]

Rozměry v mm

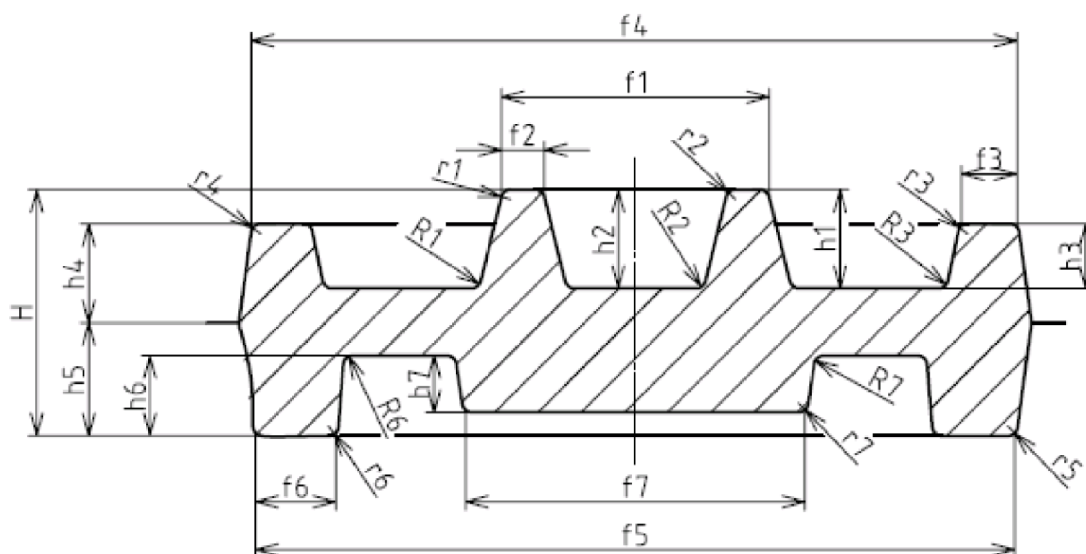
Největší průměr, střední hodnota šířky a délky součásti ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotové součásti							
		přes do 25	25	40	63	100	160	250	400
přes	do	Přídavky na obrábění ploch pro obvyklé provedení výkovku							
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0			
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5		
40	63	2,0	2,0	2,0	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
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

- Přídatky technologické

Jedná se přídatky, jimiž se z hlediska kování doplňuje tvar výkovku na tvar vhodný ke kování, jde například o úkopy, poloměry zaoblení, blány atd. Tyto přídatky nesmí zmenšovat přídatky na obrábění. Je nutno volit dostatečně velké zaoblení hran a přechodů. Musí v dostatečné míře zajišťovat snadné vyjímání výkovku z dutiny zápustky.

a) Zaoblení hran výkovků

Všechny hrany na výkovku musí být zaobleny tak, aby bylo zajištěno správné vyplnění dutiny zápustky. Správná velikost zaoblení zajišťuje v dutině zápustky správný tok materiálu a tím lepší mechanické vlastnosti. Hodnoty zaoblení hran r a přechodů R (obr. 3.3 a tab. 3.2) platí pro neobráběné hrany a přechody na výkovku. Zvolené poloměry nikdy nesmějí zmenšovat přídatky na obrábění.



f - šířka části výkovku, šířka osazení, šířka výstupku

h - hloubka dutiny výkovku, výška výstupku nebo osazení, výška od dělicí roviny

Obr. 3.8 Zaoblení hran r a přechodů R [8]

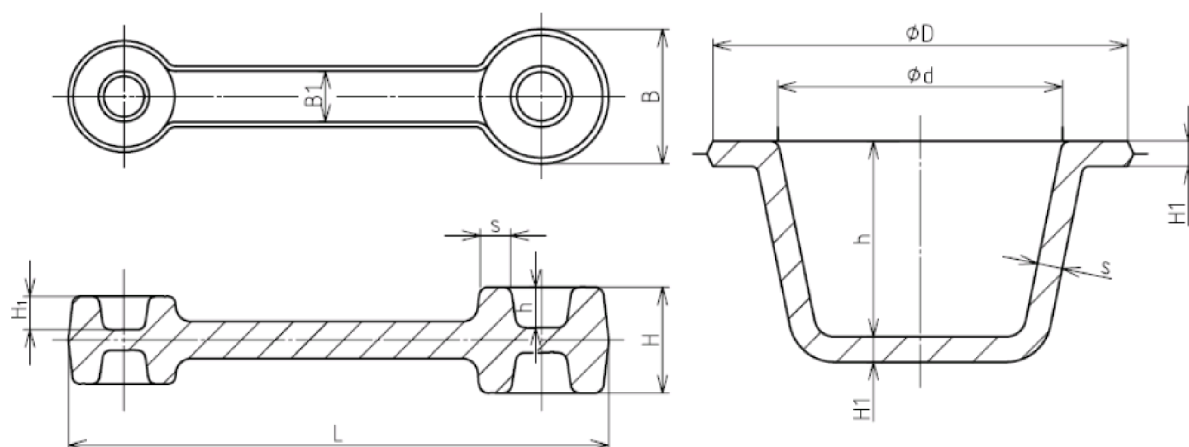
Tab. 3.2 Zaoblení hran r a přechodů R [8]

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

b) Hodnoty nejmenší tloušťky blány a dna výkovku

Blána je jedním z technologických přídaveků, jedná se o zbytkový materiál při kování otvorů. Jelikož se otvor při kování nemůže zhotovit do konečné podoby, je nutno zvolit tloušťku blány vzhledem k velikosti otvoru a výkovku. Malé otvory se nepředkovávají.



Obr. 3.9 Nejmenší tloušťka dna, disku H_1 a stěny s [8]

Tab. 3.3 Nejmenší tloušťka dna, disku H_1 a stěny s [8]

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	Nejmenší tloušťka dna , disku H_1 a stěny s							
	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

c) Úkoly zápusťkových výkovků

Při volbě velikosti bočních úkosů se vychází z druhu zvoleného tvářecího stroje a z tvaru výkovku. Obecně platí, že úkoly na vnějších plochách se volí menší než úkoly na plochách vnitřních, při chladnutí totiž dochází ke smršťování výkovku a mohlo by dojít k uvíznutí na trnu zápusťky. Menší úkoly můžeme volit pro stroje s vyhazovačem, jenž nám zaručí snadné vyjmutí výkovku. Navzdory tomu při kování mělkých dutin se používají úkoly, aby šel výkovek snadněji vyjmout, a u otvorů hlubokých se používají úkoly menší, kvůli spotřebě materiálu. Velikosti bočních úkosů dle ČSN 40 9030 jsou uvedeny v tab. 3.4 a jsou rozděleny podle typu strojů.

Tab. 3.4 Úkoly zápusťkových výkovků [5]

	Úkol úkosu (°)	
	Vnější	Vnitřní
Běžně užívané úkoly	3°	7°
Povolené úkoly pro buchary a lisy bez vyhazovače	7°	10°
Povolené úkoly pro lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
Povolené úkoly pro vodorovné kovací stroje	0° až 5°	0° až 5°

d) Tolerance zápusťkových výkovků

Všechny rozměry na zápusťkovém výkovku musí být tolerovány, používají se tolerance dle ČSN 22 8306. Velikost tolerancí závisí na zvoleném stupni přesnosti výkovku, na tom zda je rozměr ve směru rázu nebo kolmo k rázu beranu. Zvolené hodnoty platí pro vnější rozměry výkovku, pro rozměry vnitřní se hodnoty tolerancí otočí. Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovků pro stupeň přesnosti 6 (tab. 3.5, tab. 3.6).

Tab. 3.5 Mezní úchytky pro směr kolmý k rázu [13]

Rozměry v mm

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

Tab. 3.6 Mezní úchytky pro směr rovnoběžně s rázem [13]

Rozměry v mm

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

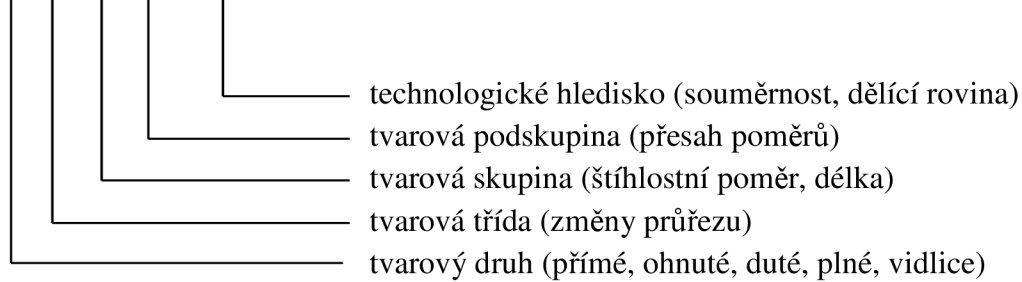
3.7 Rozdělení výkovků podle složitosti tvaru [17]

Zatřídění výkovku dle složitosti tvaru je stanoveno normou ČSN 42 9002, je důležité pro správnou volbu tolerancí a přídavek na výkovku. Pro zatřídění je nejdůležitější tvar výkovku a jeho velikost. Výkovek se zatřídí podle technologického hlediska, tvarové třídy druhu, skupiny a podskupiny. Zápustkové výkovky se vzhledem ke složitosti tvarů dělí dle:

- tvarového druhu - 4 - výkovky kruhového průřezu plné
 - 5 - výkovky kruhového průřezu duté
 - 6 - výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
 - 7 - výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
 - 8 - výkovky s ohnutou osou
 - 9 - výkovky složitých tvarů s přímou dělicí plochou
 - 0 - výkovky s lomenou dělicí plochou
- tvarové třídy - výkovky tvarového druhu 4,5,6,7 a 8 se dále dělí do tvarových tříd
 - 1 - konstantní průřez
 - 2 - kuželovité
 - 3 - jednostranně osazené
 - 4 - oboustranně osazené
 - 5 - osazené s kuželem
 - 6 - prosazené
 - 7 - kombinované
 - 8 - kombinované s kuželem
 - 9 - členité
 - 0 - neobsazeno
- výkovky tvarového druhu 0 a 9 se dělí do jiných tvarových tříd
- tvarové skupiny - výkovky se dělí podle štíhlostních poměrů a dále podle poměrů výšek, průměrů, šířek, počtu zalomení, na výkovku duté a plné, výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech atd.
- tvarové podskupiny - výkovky, které přesahují stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých rozměrů, se označují dle vzájemných poměrů čísla 1 až 9 a výkovky
 - zápustkové výkovky, které nepřesahují poměr dvou na sobě závislých veličin, se označují číslem 0.
- technolog. hlediska
 - 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 kovacích lisech souměrné
 - 7 - výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech nesouměrné
 - 8 - výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech s ozubením
 - 9 - výkovky s více dělicími plochami
 - 0 - neobsazeno

Číselné označení výkovků, význam jednotlivých číslic v číselném označení:

X X X X - X



3.8 Postup návrhu zápustky [5],[6],[10],[11]

Návrh nástroje pro kování vychází z výkresu výkovku (rozměrů, tvarů, složitosti a přesnosti výkovku). Dále z materiálu výkovku (kovací teploty, vlastnosti, smršťení, stupeň tvařitelnosti) a použitého tvářecího stroje. Pro zápustky na svislých kovacích lisech je třeba postupovat následně:

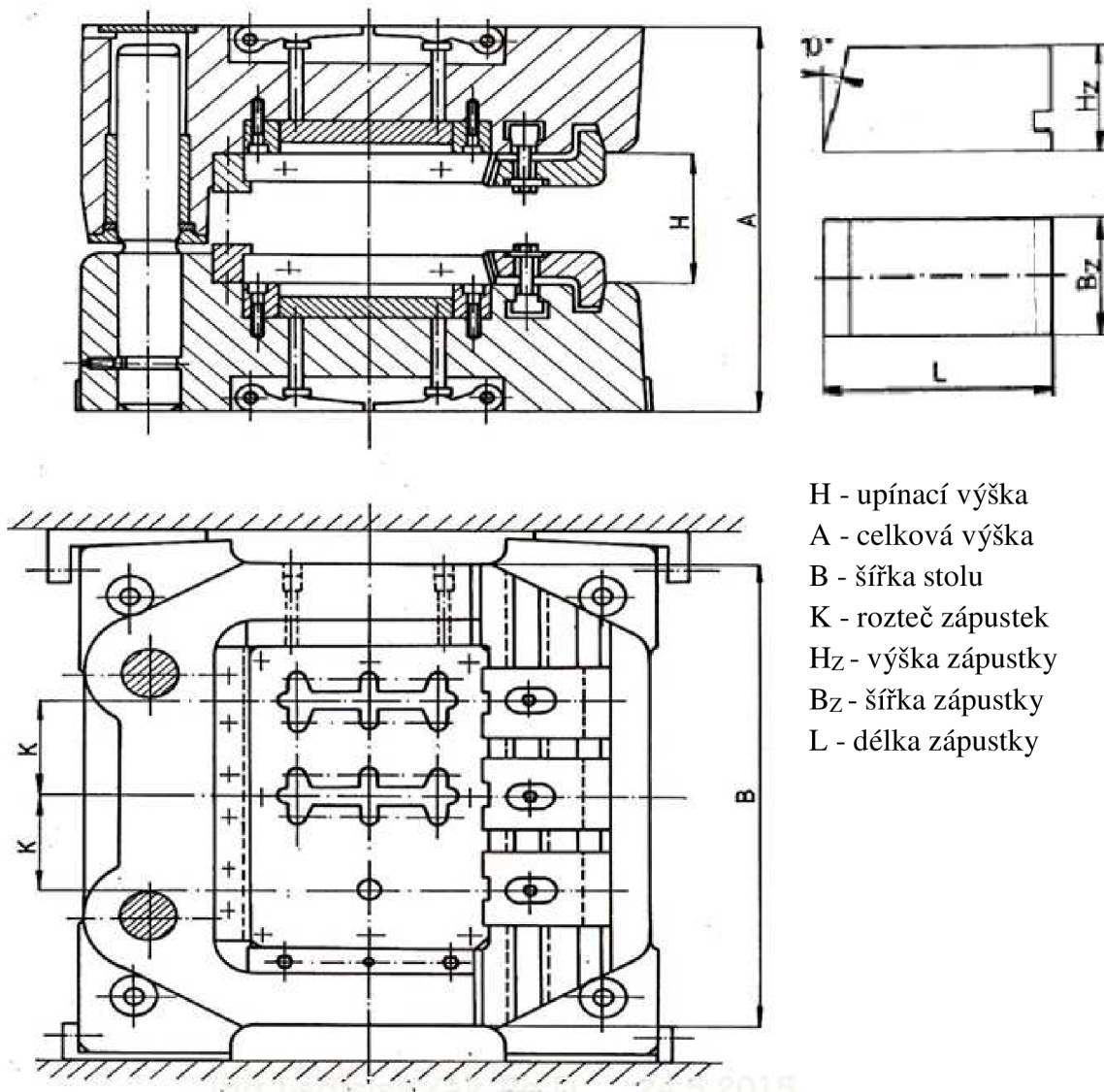
- stanovení rozměrů a tvarů kovacích dutin
- rozměry a tvar výronkové drážky
- odhad potřebné tvářecí síly
- poloha a tvar dělicí roviny
- způsob odstraňování výkovku (vyhazování, vyjímání)
- rozměry zápustky
- způsob upnutí zápustky
- materiál a tepelné zpracování zápustky
- opracování funkčních ploch
- přesné stanovení tvářecí síly

Zápustka je nástroj pro zápustkové kování, skládá se většinou ze dvou dílů, ve kterých jsou dutiny pro výkovky. Horní díl zápustky je připevněn k beranu tvářecího stroje a dolní je upevněn na stole stroje. Zápustky dělíme podle dutiny na otevřené a uzavřené a podle použitého tvářecího stroje. Dále je můžeme dělit na předkovací, dokončovací a kalibrovací, to záleží na požadované tvarové složitosti a přesnosti výkovku. Zápustky lze také rozdělit podle počtu dutin na jednorázové (jedna dutina), postupové (více dutin) a násobné (pro více výkovků současně).

Dutiny zápustky se vyrábějí několika způsoby. Prvním způsobem je výroba obráběním, do bloků ze zápustkové oceli se pomocí obráběcích strojů (např. frézka) a pomocí přesných kopírovacích strojů zhotoví dutina. Tato dutina se dále brousí na požadovanou drsnost povrchu. Dalším způsobem výroby je kování zápustkových dutin. Do zápustky se vtlačí pasivní tvar požadované součásti pomocí razníků. Ten musí mít dvojnásobný přírůstek na smršťení, jeden je pro kování výkovku a druhý pro kování zápustky. Po odstranění otřepu vzniklého při ražení dutiny, se zápustkový blok žihá a následně brousí. Tímto způsobem výroby má zápustka větší životnost, než při prvním způsobu. Nevýhodou je, že se zápustka musí chránit před oxidací a vznikem okujů, které by znehodnotily povrch dutiny. Proto se tato technologie používá zejména pro vložkované zápustky, u kterých se dutina vytvoří ve vložce ze zápustkové oceli a ta se následně vsadí do bloku zápustky, která je z oceli uhlíkové. Tím dochází k úspoře nástrojové oceli. Vložkuje se buď celý tvar součásti, nebo jen jeho část, jež je například více namáhaná.

3.9 Upínání zápustek [18],[19]

Upínání se liší podle druhu zvoleného stroje. Při upínání na bucharu se používá rybinových drážek a klínů. Horní i spodní díl zápustky se upíná stejným způsobem. Boční upevnění se provádí klínem a středění je zabezpečeno pomocí pera, které se vkládá do boční rybinové drážky. U svislých kovacích lisů se zápustky upínají pomocí jejich speciálního tvaru. Ta je na jedné straně zkosena pod úhlem 10° a na straně protilehlé je drážka, do které zapadá doraz. Klín působí na zápustku pomocí síly vyvozené od upínacího šroubu a tím je zápustka dotlačována na doraz (obr. 3.10). Šířka zápustek je limitována šířkou upínací části stolu, jejich výška pak sevřením tvářecího stroje. Upínání kruhových zápustek se provádí buď podobným způsobem jako je výše uvedený, jen s upraveným tvarem klínu a dorazu, nebo se zápustka z jedné strany osadí a upne se do zápustkového bloku, ve kterém je dutina tomu odpovídající. Osazení zajišťuje středění zápustky, aby nedošlo k případnému přesazení.

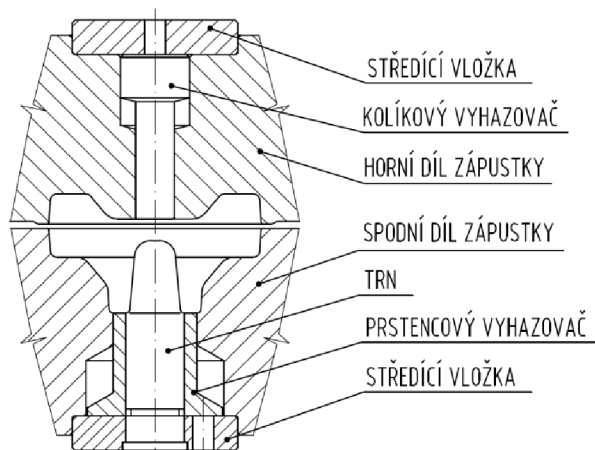


- H - upínací výška
- A - celková výška
- B - šířka stolu
- K - rozteč zápustek
- H_z - výška zápustky
- B_z - šířka zápustky
- L - délka zápustky

Obr. 3.10 Upínání zápustek na svislých kovacích lisech [19]

3.10 Odstraňování výkovků [14]

U zápustek bez nuceného vyhazování odstraní výkovek pomocí kleští obsluha, zejména u bucharů. Při nuceném vyhazování tuto funkci zajišťují vyhazovače (obr. 3.11). Jejich činnost je vázána na pohyb beranu. Vyhazovače se dělí na kolíkové a prstencové. Kolíkové vyhazovače jsou jen válcovité nebo válcovité s hlavou, jejich umístění závisí na tvaru a složitosti výkovku. Vyhazovače prstencové se používají pro výkovky s čepem nebo zahloubením v ose. Vyhazovače se pohybují v uložení s vůlí, která je stanovena normou ČSN 22 8306.

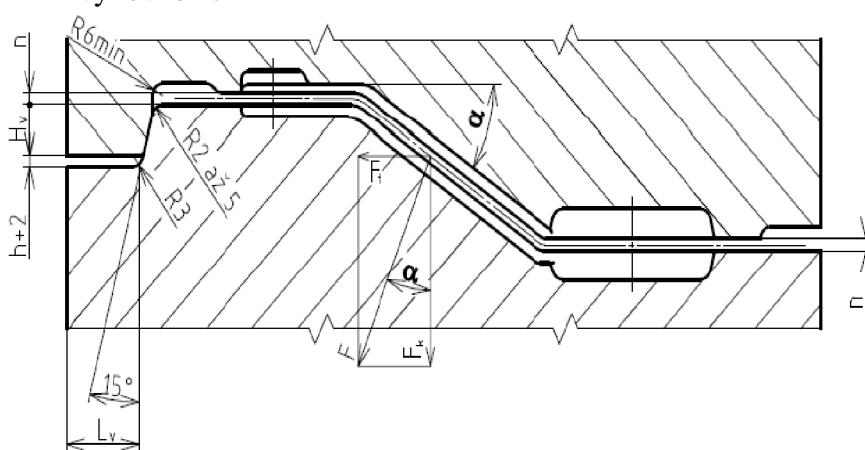


Obr. 3.11 Vyhazovače

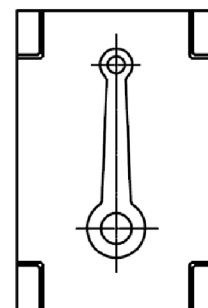
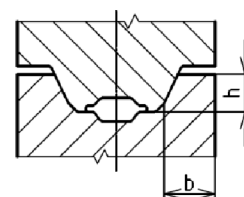
3.11 Vedení zápustek [14]

Vedení horního dílu vůči spodnímu zajišťuje vedení beranu lisu. Požaduje-li se větší přesnost výkovků nebo zachycení posouvajících sil, například při lomené dělicí rovině, použije se vedení i na zápustce. Vedením mohou být:

- Lišty - v jedné části zápustky jsou lišty, které zapadnou do vybrání v druhé části zápustky, mohou být příčné nebo podélné. U křížového vedení (obr. 3.13) jsou z lišt ponechány pouze části v rozích, křížové vedení zabraňuje podélnému i příčnému posuvu.
- Zámky - nejčastěji se používají u výkovků s lomenou dělicí rovinou (obr. 3.12).
- Vodící kolíky - dva nebo čtyři vodící kolíky se umístí do rohů spodního dílu zápustky, v horním dílu jsou díry, do kterých se kolíky zasunou.
- Kruhové vedení - jeho vnější část se zpravidla zhotoví přímo v horní části zápustky, nebo může být zalisována skruž. Pokud je vedení umístěno ve spodním dílu, je možno vyrobít vybrání, které usnadní obsluhu manipulaci s polotovarem a hotovým výkovkem.



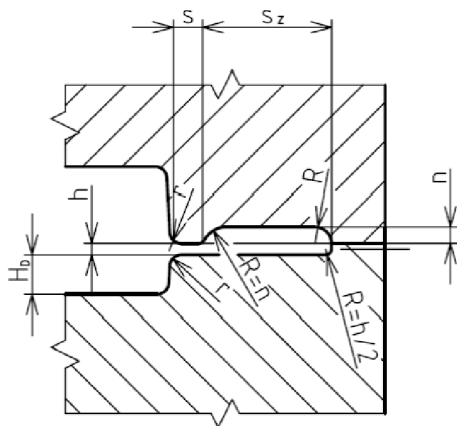
Obr. 3.12 Vedení zápustek s lomenou dělicí rovinou [14]



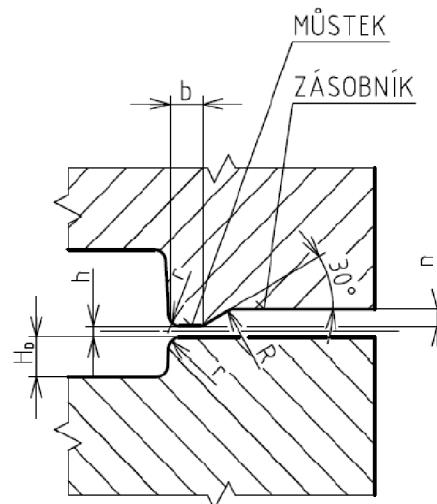
Obr. 3.13 Křížové vedení [14]

3.12 Výronková drážka [15],[16]

Rozeznáváme dva základní typy výronkových drážek, otevřenou a uzavřenou. Tyto dva typy se dále dělí podle tvarů zásobníků. U bucharů se používá uzavřená drážka (obr. 3.14), při kování na bucharu dochází totiž k dosednutí zápustek na sebe, proto je nutné zajistit dostatečně velkou stykovou plochu, aby nedocházelo k rychlému opotřebovávání. Pro svislý kovací lis se nejčastěji používá otevřená výronková drážka (obr. 3.15). Při kování na lisu nesmí dojít k dosednutí zápustek, proto vzniká výronek o výšce h . Do zápustky se zhotoví pouze vybrání, které slouží jako zásobník. Velikost výronkové drážky pro lisy se volí dle ČSN 22 8306 v závislosti na velikosti kovací síly.



Obr. 3.14 Uzavřená výronková drážka pro buchar - Obvyklý typ [15]



Obr. 3.15 Otevřená výronková drážka pro lis - Obvyklý typ [16]

3.13 Materiál a údržba zápustek [5],[14]

Životnost zápustky je jedním ze základních parametrů ovlivňujících hospodárnost procesu kování. Zápustky jsou během kování značně tepelně i mechanicky namáhány. Vzhledem k pracovním podmínkám jsou na materiál kladeny požadavky například na pevnost za provozu, odolnost proti otěru, odolnost proti nárazovému namáhání, dobrá prokalitelnost a další. Proto je třeba vhodná volba chemického složení a tepelného zpracování k získání optimálních vlastností.

Pro méně namáhané zápustky se používají oceli ČSN 19 423, 19 642, 19 662. Pro vložky zápustek a malé velmi namáhané zápustky oceli ČSN 19 720, 19 721. Pro výkonné zápustky pro střední až větší série a členité zápustky se používají oceli ČSN 19 552, 19 555, 19 556.

Aby si tyto vlastnosti nástroje udrželi během provozu, je nutná správná údržba zápustek a jejich případné mazání. Před kovááním se zápustky předežívají na teplotu přibližně 300 °C. Před každým kovááním se musí z dutin odstranit okuje pomocí ocelového kartáče nebo stlačeného vzduchu, okuje značně snižují trvanlivost nástroje. Jako mazivo se používá například olej nebo olej spolu s grafitem. Trvanlivost zápustky lze zvýšit povrchovými úpravami, například tvrdým chromováním nebo nitridací.

Opotřebované zápustky se mohou opravovat. Opravy jsou vhodné z finančního hlediska, jelikož se nemusí vyrábět zápustky nové. V dutině se například mohou navařit opotřebované části. U vložkovaných zápustek lze vyměnit opotřebovanou vložku.

4 Návrh výroby [5]

Při vlastním návrhu výroby je nutno nejdříve provést zatřídění výkovku, poté volba přídavek na obrábění a přídavek technologických, dále výpočet polotovaru s ohledem přídavek na opal materiálu a výronek. Následně se vypočítá velikost kovací síly, ze které se určí potřebný tvářecí stroj. Po kování následuje ostříhování výronku a děrování blány, což probíhá v jedné operaci, je proto nutno vypočítat velikost střížné síly a zvolit příslušný ostříhovací lis.

4.1 Zatřídění výkovku [17]

Zatřídění výkovku dle složitosti tvaru se provede podle ČSN 42 9002.

Tvarový druh - 5 - výkovky kruhového průřezu duté

Tvarová třída - 3 - jednostranně osazené

Tvarová skupina - 5 - výkovky duté

Tvarová podskupina - 0 - bez přesahu

Technologické hledisko - 4 - výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu nesouměrné

Označení výkovku: **5 3 5 0 - 4**

4.2 Přídávky na obrábění [13]

Přídávky na obrábění se volí z tabulky 3.1 podle největšího průměru kolmo k rázu a největší výšky hotové součásti.

Největší průměr kolmo k rázu: $d = 144$ mm (rozsah 100 - 160 mm)

Největší výška součásti: $h = 80$ mm (rozsah 63 - 100 mm)

Přídavek na obrábění dle ČSN 42 9030.1 má velikost 2,5 mm.

4.3 Technologické přídávky [13]

Poloměry zaoblení a poloměry přechodů výkovku dle tabulky 3.2 se volí vzhledem k poměru výšky a průměru. Poměr h/f do 2, rozsah 63 - 100 mm. Zvolené rozměry podle ČSN 42 9030:

Poloměr zaoblení hrany: $r = 5$ mm

Poloměr zaoblení přechodu: $R = 12$ mm

Nejmenší tloušťka dna, disku H_1 a stěny s se volí dle tabulky 3.3. Tloušťka blány závisí na velikosti největšího rozměru kolmo k rázu (rozsah 100 - 160 mm) a největší výšce výkovku (rozsah 63 - 100 mm).

Tloušťka blány: $h_{BL} = 15$ mm

Velikosti úkosů závisí na zvoleném tvářecím stroji, jako tvářecí stroj by zvolen svislý kovací lis s vyhazovačem, pro který jsou velikosti úkosů dle tabulky 3.4:

Vnější úkosy: 3°

Vnitřní úkosy: 5°

Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku podle ČSN 42 9030, úchytky jsou rozdílné pro směr kolmý k rázu a pro směr rovnoběžný s rázem. Hodnoty úchylek platí pro rozměry vnější (zvětšující), pro rozměry vnitřní se hodnoty úchylek obrací.

Mezní úchytky pro směr kolmý k rázu: + 2,1 mm

- 1,1 mm

Celková tolerance pro směr kolmý k rázu: 3,2 mm

Mezní úchytky pro směr rovnoběžně s rázem: + 1,4 mm

- 0,6 mm

Celková tolerance pro směr rovnoběžně s rázem: 2,0 mm

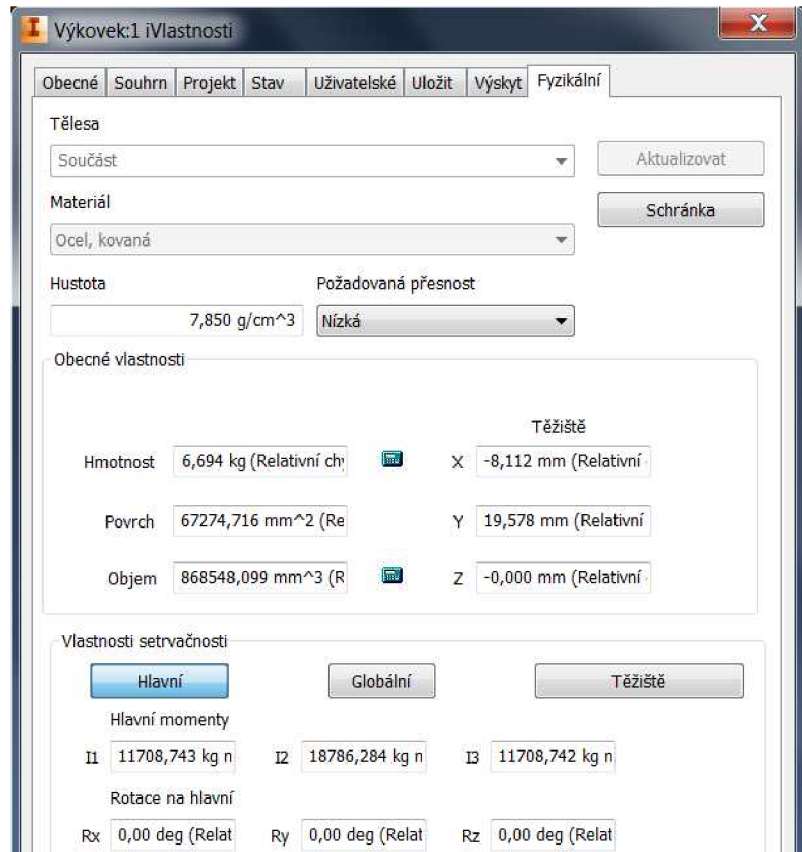
4.4 Parametry výkovku

Parametry výkovku, jako je objem a hmotnost byly odečteny v programu Autodesk Inventor Professional 2014, kde jako materiál byla z vzorníku materiálů vybrána ocel kovaná o měrné hustotě $\rho = 7,850 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$. Odečtené hodnoty byly použity v dalších výpočtech.

Odečtené hodnoty:

Objem: $V_{\text{VÝK}} = 868548,1 \text{ mm}^3$

Hmotnost: $m_{\text{INV}} = 6,694 \text{ kg}$



Obr. 4.1 Parametry výkovku

4.5 Výpočet výronku [14]

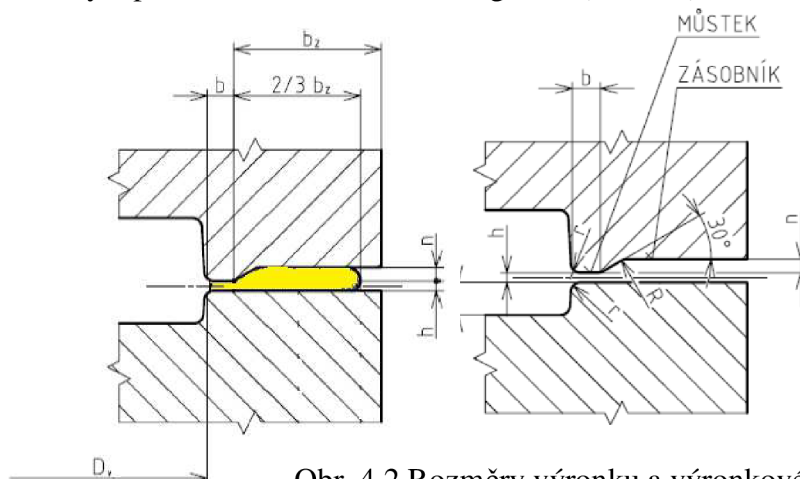
Pro svislý kovací lis byla zvolena otevřená výronková drážka podle ČSN 22 8306 (typ I, obvyklý). Pro výpočet výronku je nutno znát velikost průmětu plochy do dělicí roviny, z té se poté vypočítají potřebné rozměry výronkové drážky.

Plocha průmětu výkovku do dělicí roviny:

$$S_v = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 153,7^2}{4} = 18265,4 \text{ mm}^3 \quad (4.1)$$

kde: D ...největší průměr výkovku [mm]

Rozměry výronku byly stanoveny dle normy ČSN 22 8306, podle velikosti kovacího lisu, jehož síla byla předběžně odečtena z nomogramu (obr. 4.2).



$h = 3 \text{ mm}$
 $b = 7 \text{ mm}$
 $r = R = 2 \text{ mm}$
 $n = 3,2 \text{ mm}$
 $b_z = 32 \text{ mm}$

Obr. 4.2 Rozměry výronku a výronkové drážky [16]

Hmotnost výronku:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{VÝR}} &= m_{\text{M}} + m_{\text{ZÁS}} = \\
 &= [h \cdot b \cdot \pi \cdot \rho \cdot (D + b)] + \left[(h + n) \cdot \frac{2}{3} b_z \cdot \pi \cdot \rho \cdot \left(D + 2 \cdot b + \frac{2}{3} b_z \right) \right] = \\
 &= [3 \cdot 7 \cdot \pi \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot (153,7 + 7)] + \\
 &+ \left[(3 + 3,2) \cdot \frac{2}{3} \cdot 32 \cdot \pi \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot \left(153,7 + 2 \cdot 7 + \frac{2}{3} \cdot 32 \right) \right] = 0,695 \text{ kg}
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

kde: m_{M} ...hmotnost můstku [kg]

$m_{\text{ZÁS}}$...hmotnost v zásobníku [kg]

h ...výška můstku [mm]

b ...šířka můstku [mm]

ρ ...hustota oceli [$\text{g} \cdot \text{cm}^3$]

b_z ...minimální šířka zásobníku [mm]

n ...výška zásobníku od dělicí roviny [mm]

4.6 Výpočet výchozího polotovaru [1]

Hmotnost výkovku s výronkem:

$$m_{\text{VÝK}} = m_{\text{INV}} + m_{\text{VÝR}} = 6,694 + 0,695 = 7,389 \text{ kg} \tag{4.3}$$

kde: m_{INV} ...hmotnost součásti dle programu Inventor [kg]

Hmotnost opalu:

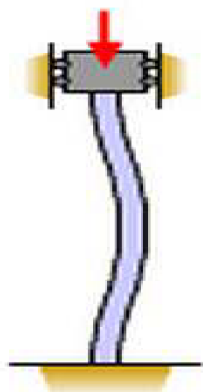
$$m_{\text{OP}} = 0,01 \cdot m_{\text{VÝK}} = 0,01 \cdot 7,389 = 0,074 \text{ kg} \tag{4.4}$$

Hmotnost výchozího polotovaru:

$$m_{\text{VP}} = m_{\text{VÝK}} + m_{\text{OP}} = 7,389 + 0,074 = 7,463 \text{ kg} \tag{4.5}$$

Objem polotovaru:

$$V_{\text{VP}} = \frac{m_{\text{VP}}}{\rho} = \frac{7,463}{7850} = 950,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 950700 \text{ mm}^3 \tag{4.6}$$



Rozměry polotovaru musí ležet ve stanoveném štíhlostním poměru λ (poměr výšky polotovaru k průměru). Štíhlostní poměr musí být dodržen, jinak dojde při pěchování výchozího polotovaru k vybočení, tzv. ztrátě stability (obr. 4.3) a může dojít k poškození nástroje.

Dovolený štíhlostní poměr:

$$\lambda = \frac{l_{\text{VP}}}{D_{\text{VP}}} = 1,5 \div 2,8 \tag{4.7}$$

kde: D_{VP} ...průměr polotovaru [mm]

l_{VP} ...výška polotovaru [mm]

Obr. 4.3 Vzpěr přímého prutu (ztráta stability) [22]

Průměr polotovaru:

$$D_{VP} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{VP}}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{950700}{2,5}} = 78,25 \text{ mm} \quad (4.8)$$

Volím normalizovaný průměr polotovaru dle $D_{VP} = 80 \text{ mm}$.

Výška polotovaru:

$$l_{VP} = \frac{4 \cdot V_{VP}}{\pi \cdot D_{VP}^2} = \frac{4 \cdot 950700}{\pi \cdot 80^2} = 189,1 \text{ mm} \quad (4.9)$$

Volím délku polotovaru $l_{VP} = 190 \text{ mm}$ pro zaručené dodržení nejmenší délky polotovaru. Nepředepsané úchytky rozměru 190 mm jsou dle ČSN ISO 2768-1 pro střední přesnost $\pm 0,5 \text{ mm}$.

Ověření štíhlostního poměru:

$$\lambda = \frac{l_{VP}}{D_{VP}} = \frac{190}{80} = 2,375$$

Štíhlostní poměr vyhovuje dovolenému rozsahu. Lze použít polotovar o průměru 80 mm a délce 190 mm.

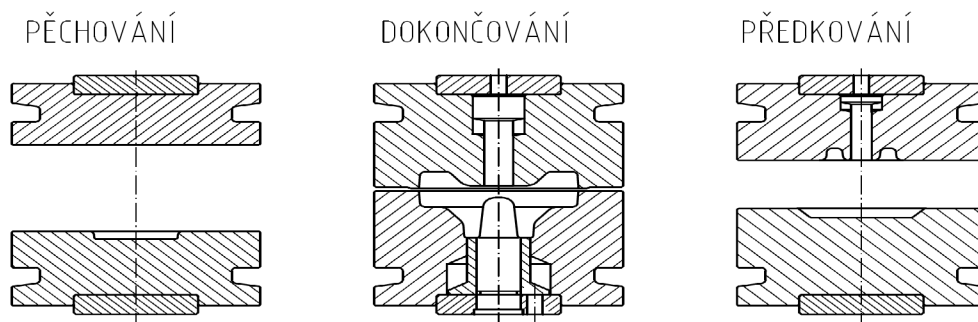
4.7 Kovací teploty, materiály, postup [14],[16]

Pro zadaný materiál 15 231 jsou kovací teploty v rozmezí 1150 °C až 800 °C. Vzhledem k předchozí studii, která doporučuje horní kovací teploty, volím kovací teplotu $1130 \pm 20 \text{ °C}$ a ohřívací kmitočet 4000 Hz, pro polotovar průměru 80 mm.

Materiál zápustek volím s ohledem na sériovost výroby a složitost dutin v zápustkách, ocel ČSN 19 552, která je vhodná pro velké série a členitější zápustky, tato ocel má velkou houževnatost a vysoký stupeň prokalitelnosti. Zápustky kruhového tvaru jsou upnuty pomocí klínu a dorazu, jedná se o způsob jenž nejčastěji u lisů firmy Šmeral Brno a.s.

Kování je prováděno ve třech operacích (obr. 4.4), první operací je pēchování materiálu, při kterém dojde k opadnutí okují a tím zlepšení povrchu a jakosti výkovku. V druhé operaci se předkovává osazení, kterým se určí poloha polotovaru v dokončovací zápustce, v operaci třetí dochází ke kování na požadovaný tvar.

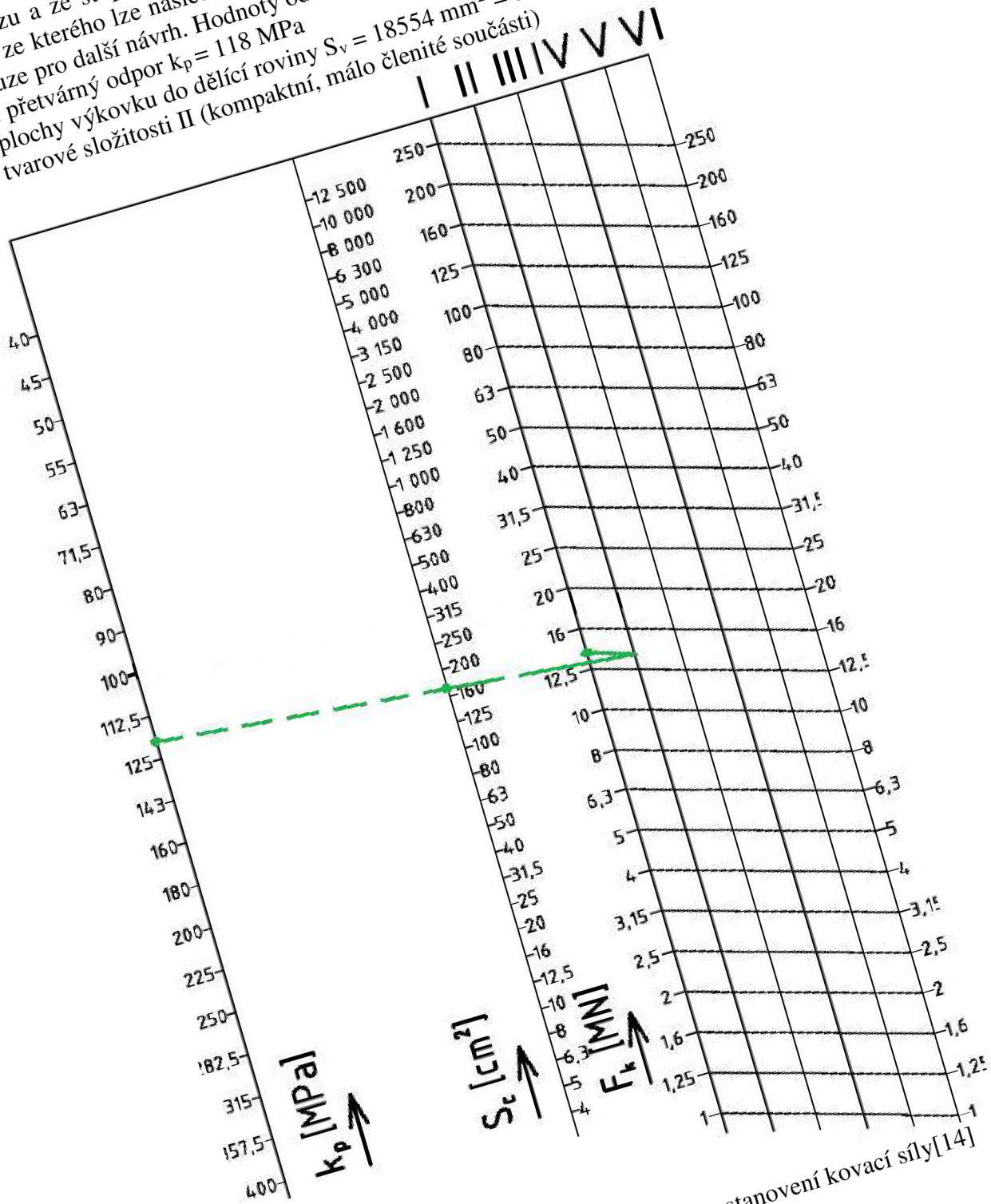
Pro mazání volím olej s grafitem.



Obr. 4.4 Postup kování v zápustkách

4.7 Stanovení síly dle ČSN 22 8306 [14]

Kovací síla se určí z hodnot přetvárného odporu za kovací teplot, průmětu plochy kolmé na směr rázu a ze stupně tvarové složitosti výkovku. Tyto hodnoty jsou zaneseny do grafu (obr. 4.5), ze kterého lze následně odečíst velikost kovací síly. Tato síla je pouze orientační a slouží pouze pro další návrh. Hodnoty odečtené $S_v = 185,54 \text{ cm}^2$
 Základní přetvárný odpor $k_p = 118 \text{ MPa}$
 Průmět plochy výkovku do dělicí roviny $S_v = 18554 \text{ mm}^2 = 185,54 \text{ cm}^2$
 Stupeň tvarové složitosti II (kompaktní, málo členité součásti)



Obr. 4.5 Nomogram pro stanovení kovací síly [14]

4.8 Stanovení síly dle Tomlenova [14]

Nejdříve je potřeba v normě ČSN 22 8306 vyhledat hodnotu pevnosti materiálu za kovací teploty a součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teplot, následně lze vypočítat napětí ve zvolených průřezích výkovku. Z takto vypočtených hodnot napětí a zvolených průřezů lze sestavit plochy a zjistit jejich těžiště. Těžiště ploch byly zjištěny pomocí programu Autodesk AutoCAD 2014. Velikost kovací síly závisí na součtu součinnů těchto hodnot.

Velikosti jednotlivých napětí v průřezích dle obr. 4.6:

Napětí σ_0 v bodě 0:

$$\sigma_0 = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_O = 1,285 \cdot 26,5 \cdot 4,5 = 153,2 \text{ MPa} \quad (4.10)$$

kde: R_{mT} ... pevnost materiálu za kovací teploty [MPa] $R_{mT} = 26,5 \text{ MPa}$

C_O ... součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teplot [-] $C_O = 4,5$

Napětí v bodech výkovku:

$$\sigma_n = \sigma_{n-1} + R_{mT} \cdot \frac{b_n}{h_n} \cdot C_O \text{ [MPa]} \quad (4.11)$$

kde: σ_{n-1} ... napětí z předchozího bodu [MPa]

b_n ... šířka příslušné části výkovku [mm]

h_n ... výška příslušné části výkovku [mm]

Napětí σ_1 v bodě 1:

$$\sigma_1 = \sigma_0 + R_{mT} \cdot \frac{b_1}{h_1} \cdot C_O = 153,2 + 26,5 \cdot \frac{7,3}{3} \cdot 4,5 = 443,4 \text{ MPa}$$

Napětí σ_2 v bodě 2:

$$\sigma_2 = \sigma_1 + R_{mT} \cdot \frac{b_2}{h_2} \cdot C_O = 443,4 + 26,5 \cdot \frac{26,3}{46} \cdot 4,5 = 511,6 \text{ MPa}$$

Napětí σ_3 v bodě 3:

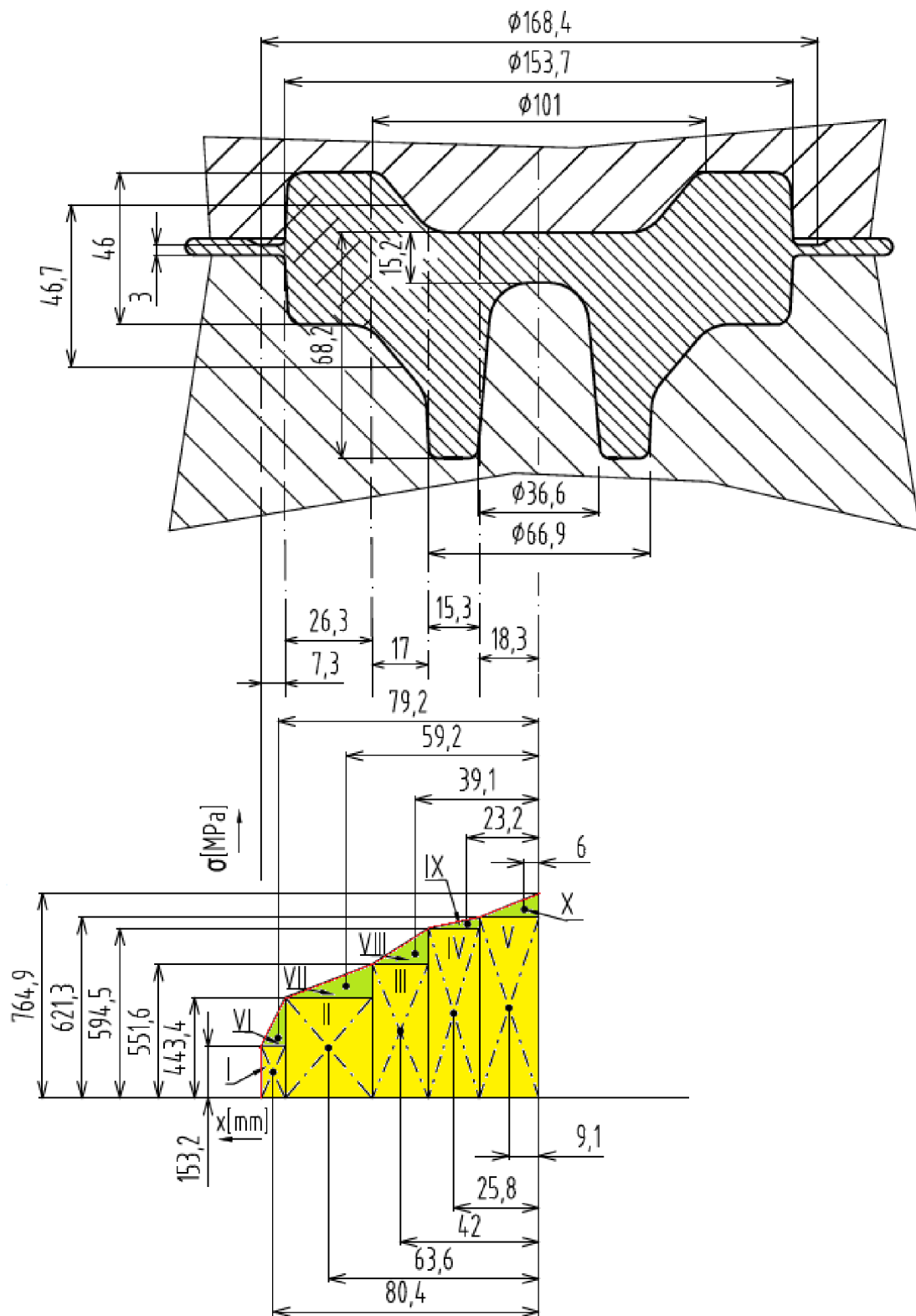
$$\sigma_3 = \sigma_2 + R_{mT} \cdot \frac{b_3}{h_3} \cdot C_O = 511,6 + 26,5 \cdot \frac{16,8}{46,7} \cdot 4,5 = 594,5 \text{ MPa}$$

Napětí σ_4 v bodě 4:

$$\sigma_4 = \sigma_3 + R_{mT} \cdot \frac{b_4}{h_4} \cdot C_O = 594,5 + 26,5 \cdot \frac{15,3}{68,2} \cdot 4,5 = 621,3 \text{ MPa}$$

Napětí σ_5 v bodě 5:

$$\sigma_5 = \sigma_4 + R_{mT} \cdot \frac{b_5}{h_5} \cdot C_O = 621,3 + 26,5 \cdot \frac{18,3}{15,2} \cdot 4,5 = 764,9 \text{ MPa}$$



Obr. 4.6 Nárůst normálových napětí u výkovku

Tab. 4.1 Plochy a těžiště pod křivkou napětí

Plocha	A_i [mm·mm]	x_i [mm]	$A_i \cdot x_i$ [mm ³]
I	7,3·153,2	80,4	89916,1
II	26,3·551,6	63,6	855743,1
III	16,8·594,5	42	419497,2
IV	15,3·621,3	25,8	245252
V	18,3·764,9	9,1	127378,8
VI	3,65·290,2	79,2	83891
VII	13,15·68,4	59,2	53248
VIII	8,5·82,9	39,1	27551,8
IX	7,65·26,8	23,2	4756,5
X	9,05·143,6	6	7797,5
$\sum_{i=1}^n A_i \cdot x_i$			1915014

Síla vznikající od normálových napětí:

$$F_n = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n A_i \cdot x_i = 2 \cdot \pi \cdot 1915014 = 12032387,8 \text{ N} \quad (4.12)$$

kde: A_i ...plocha pod křivkou [mm²]

x_i ...vzdálenost těžiště v ose x [mm]

Síla vznikající od tangenciálních napětí:

$$F_t = \frac{R_{mT}}{2} \cdot S' = \frac{26,5}{2} \cdot \pi \cdot (153,7 \cdot 22 + 69,3 \cdot 18,2) = 193255,8 \text{ N} \quad (4.13)$$

kde: S' ...celkový povrch bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápustky [mm²]

Kovací síla:

$$F_k = F_n + F_t = 12032387,8 + 193255,8 = 12225643,6 \text{ N} \cong 12,2 \text{ MN} \quad (4.14)$$

4.9 Stanovení síly dle Brjuchanov-Rebelského [11]

Jedná se o přibližné stanovení kovací síly pomocí empirického vzorce. Zvětšení přetvárného odporu vlivem rychlosti, velikosti a tření je ve vzorci zaneseno pomocí součinitelů, které závisí na velikosti výkovku. Nejprve se vypočte přetvárná pevnost, která je poté dosazena do výpočtu kovací síly. Přetvárná pevnost vyjde v kilopondech na čtvereční milimetr, je potřeba ji převést na newtony na čtvereční milimetr, aby bylo dosaženo správného výsledku.

Přetvárná pevnost oceli dle Elekunda:

$$\begin{aligned} \sigma_k &= (14 - 0,01 \cdot t) \cdot (1,4 + \%C + \%Mn) = (14 - 0,01 \cdot 1150) \cdot (1,4 + 0,27 + 1,2) = \\ &= 7,175 \text{ kp} \cdot \text{mm}^{-2} = 70,363 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \end{aligned} \quad (4.15)$$

kde: t ...kovací teplota [°C]

$\%C$...obsah uhlíku ve tvářené oceli [%]

$\%Mn$...obsah manganu ve tvářené oceli [%]

Kovací síla:

$$\begin{aligned}
 F_k &= 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D}\right)^2 \cdot \sigma_k \cdot S_v = \\
 &= 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 153,7) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{153,7}\right)^2 \cdot 70,363 \cdot 18265,4 = \\
 &= 13374998,5 \text{ N} \cong 13,4 \text{ MN}
 \end{aligned}
 \tag{4.16}$$

kde: D ...největší průměr výkovku [mm]
 S_v ...plocha průmětu výkovku do dělicí roviny [mm²]

4.10 Stanovení síly dle Storoževa [1]

Při stanovení síly se vychází z plochy průmětu výkovku do dělicí roviny a plochy průmětu výronku do dělicí roviny. Tudiž je potřeba znát velikost těchto dvou ploch, se kterými je dále počítáno. Tato síla je rovněž přibližným stanovením potřebné kovací síly.

Plocha průmětu výronku do dělicí roviny:

$$S_{v\dot{Y}R} = \frac{\pi \cdot (D_{v\dot{Y}R}^2 \cdot D^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (211^2 - 153,7^2)}{4} = 16412,7 \text{ mm}^2
 \tag{4.17}$$

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

Kovací síla:

$$\begin{aligned}
 F_k &= \sigma_k \cdot \left[\left(1,5 + 0,5 \cdot \frac{b}{h_{v\dot{Y}R}}\right) \cdot S_{v\dot{Y}R} + \left(1,5 + \frac{b}{h_{v\dot{Y}R}} + 0,08 \cdot \frac{D}{h_{v\dot{Y}R}}\right) \cdot S_v \right] = \\
 &= 70,363 \cdot \left[\left(1,5 + 0,5 \cdot \frac{6}{3}\right) \cdot 16412,7 + \left(1,5 + \frac{6}{3} + 0,08 \cdot \frac{153,7}{3}\right) \cdot 18265,4 \right] = \\
 &= 11652444,3 \text{ N} \cong 11,7 \text{ MN}
 \end{aligned}
 \tag{4.18}$$

kde: $h_{v\dot{Y}R}$...tloušťka výronku [mm]

Tab. 4.2 Porovnání vypočtených sil.

Metoda	Výsledná kovací síla [MN]
Graficky dle ČSN 22 8309	13,2
Tomlenovova	12,2
Brjuchanov-Rebelského	13,4
Storoževova	11,7

Z vypočtených hodnot kovacích sil podle jednotlivých metod je patrné, že síla se pohybuje okolo 13 MN. Tomuto zjištění musí odpovídat zvolený lis. Ten by měl mít jmenovitou tvářecí sílu stejnou nebo větší jako je největší vypočtená kovací síla.

4.11 Stanovení střížné síly [1]

Po vlastním kování zůstává na výkovku výronek a blána, jedná se o přebytečný materiál, jenž je potřeba odstranit. Je nutno znát tloušťku ostříhovaného materiálu a mez pevnosti dané oceli. Ostříhování se provádí na ostříhovacím lisu.

Síla pro ostřížení blány:

$$F_{BL} = \eta \cdot o_{BL} \cdot h_{BL} \cdot \tau_S = \eta \cdot \pi \cdot d_{BL} \cdot h_{BL} \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,2 \cdot \pi \cdot 28 \cdot 15 \cdot 0,8 \cdot 900 = 1140021 \text{ N} \quad (4.19)$$

kde: η ...součinitel otupení nástroje [-] $\eta = 1,2$

o_{BL} ...stříhaná délka blány [mm]

τ_S ...mez pevnosti ve stříhu [MPa] $\tau_S = 0,8 \cdot R_m$

h_{BL} ...tloušťka blány [mm]

d_{BL} ...stříhaný průměr blány [mm]

Síla pro ostřížení výronku:

$$F_{VÝR} = \eta \cdot o_{VÝR} \cdot h_{VÝR} \cdot \tau_S = \eta \cdot \pi \cdot d_{VÝR} \cdot h_{VÝR} \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,2 \cdot \pi \cdot 152,5 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 900 = 1251580,4 \text{ N} \quad (4.20)$$

kde: $o_{VÝR}$...stříhaná délka výronku [mm]

$d_{VÝR}$...stříhaný průměr výronku [mm]

Celková střížná síla:

$$F_S = F_{BL} + F_{VÝR} = 1140021 + 1251580,4 = 2391601,4 \text{ N} \cong 2,4 \text{ MN} \quad (4.21)$$

Pomocí celkové střížné síly je možno zvolit vhodný ostříhovací lis, jeho jmenovitá síla musí být stejná nebo větší než je hodnota celkové střížné síly.

4.12 Volba strojů

Pro zajištění správného chodu výroby je potřeba zvolit stroje, které budou svou konstrukcí odpovídat vypočteným hodnotám sil a to jak kovacíh, tak ostříhovacích. Dále se musí zvolit vhodný ohřívací stroj, který musí pokrýt potřebu požadované výrobní dávky a zároveň by měl být co nejeekonomičtější a nejefektivnější.

- Tvářecí stroj

Vzhledem k velikosti vypočtených sil byl zvolen svislý kovací lis LMZ 1600A od firmy Šmeral Brno, a.s. (obr. 4.7) Jmenovitá tvářecí síla lisu je 16 MN, což je síla dostačující pro výrobu dané součásti.

Tab. 4.3 Parametry kovacího lisu.

Jmenovitá tvářecí síla	MN	16
Zdvih	mm	270
Sevření	mm	800
Přestavení beranu	mm	10
Počet zdvihů	min ⁻¹	85
Rozměr stolu	mm	1180x1120
Rozměr beranu	mm	1160x1035



Obr. 4.7 Lis LMZ 1600A

[28]

- Ostřihovací lis

Vzhledem k velikosti celkové ostřihovací síly byl zvolen lis LDO 315 A/S od firmy Šmeral Brno, a.s. (obr. 4.8). Tento lis zajišťuje dostatečnou sílu pro ostřížení výronku a blány v jedné operaci, což zajišťuje kratší výrobní čas.



Obr. 4.8 Lis LDO 315 A/S [27]

Tab. 4.3 Parametry ostřihovacího lisu []

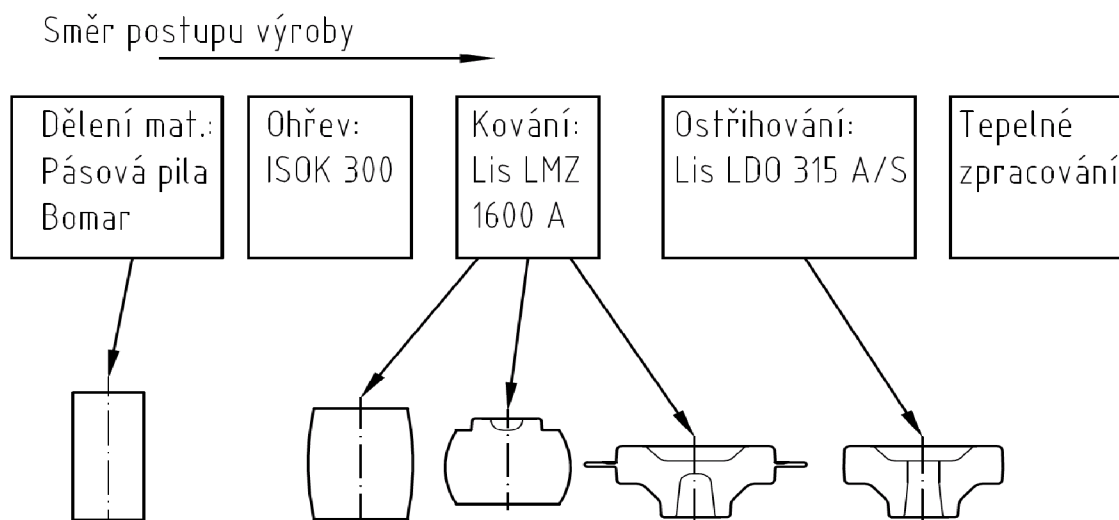
Jmenovitá tvářecí síla	kN	3150
Zdvih	mm	200
Sevření	mm	600
Přestavení beranu	mm	140
Počet zdvihů	min ⁻¹	44
Rozměr stolu	mm	1380x950
Rozměr beranu	mm	1380x950

- Ohřívací zařízení

Jako ohřívací zařízení byl zvolen ISOK 300, jedná se o indukční ohřívací zařízení. Pro stanovený průměr polotovaru 80 mm se používá kmitočet 4000 Hz. Výhodou je, že dochází k tvorbě pouze malého množství okují (okolo 1 %).



Obr. 4.9 Indukční ohřev [25]



Obr. 4.10 Schéma postupu výroby

Technologický postup			
Název výkovku: Náboj kola výkovek		Číslo výkresu výkovku: BC-3-2015-2	Číslo výkresu součástí: BC-3-2015-2
Číslo operace	Název operace		
1	Dělení materiálu		
	Stroj: Pásová pila Bomar Proline 420.350 ANC	Profil: Ø80 mm	ČSN EN: 10060
	Hmotnost přířezu: 7,463 kg	Délka: 190 mm	Jakost materiálu: ČSN 15 231
2	Mezioperační kontrola		
	Kontrolovat rozměry přířezu s četností 5 %		
3	Indukční ohřev		
	Stroj: ISOK 300	Teplota: 1130±20 °C	
4	Kování		
	Stroj: Svislý kovací lis LMZ 1600A	Kovací síla: 13 MN	Kovací teplota: 1130±20 °C
	1. Úkon - pěchovat		
	2. Úkon - předkovat		
	3. Úkon - dokovat		
5	Stříhání		
	Stroj: Lis LDO 315 A/S	Střížná síla: 2,4 MN	
6	Tepelné zpracování		
	Druh: Normalizační žíhání	Žíhací teplota: 860 až 900 °C	

5 Technicko-ekonomické zhodnocení [20]

Technicko-ekonomické zhodnocení vychází z kalkulačních vzorců, kterými zjišťujeme náklady na výrobu dané součásti. Tyto náklady lze rozdělit na:

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

5.1 Výpočet pro vybrané technologie

Počet vyráběných kusů: 10000 ks

Hmotnost konečného výrobku: $m_c = 4,905$ kg

Cena 1 kg oceli ČSN 15231: $C_m = 23,15$ Kč·kg⁻¹

Výkupní cena vratného odpadu: $C_v = 3,6$ Kč·kg⁻¹

5.1.1 Náklady na výrobu obráběním

- Náklady na materiál

Rozměr polotovaru: Ø180 - 90 mm

Hmotnost polotovaru: $m_p = 17,98$ kg

Náklady na 1 ks: $N_{m1} = C_m \cdot m_p = 23,15 \cdot 17,98 = 416,24$ Kč (5.1)

Celkové náklady na materiál: $N_m = N_{m1} \cdot \text{poč.kusů} = 416,24 \cdot 100000 = 41624000$ Kč (5.2)

- Mzdy výrobních dělníků

Výrobní čas jedné součásti: $t_k = 12,3$ min

Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_v = 85$ Kč

Mzdy na 1 ks: $M_{v1} = \frac{t_k}{60} \cdot m_v = \frac{12,3}{60} \cdot 85 = 17,43$ Kč (5.3)

Celkové mzdy: $M_v = M_{v1} \cdot \text{poč.kusů} = 17,43 \cdot 100000 = 1743000$ Kč

- Vratný odpad

Odpad z jednoho kusu: $m_o = m_p - m_c = 17,98 - 4,905 = 13,075$ kg (5.4)

Hmotnost celkového odpadu: $m_{oc} = m_o \cdot \text{poč.kusů} = 13,075 \cdot 100000 = 1307500$ kg (5.5)

Cena vratného odpadu: $N_o = m_{oc} \cdot C_v = 1307500 \cdot 3,6 = 4707000$ Kč (5.6)

- Dílenská režie

Dílenská režie činí 650 % mezd výrobních dělníků.

$Dr = \frac{\% \text{mezd}}{100} \cdot M_v = \frac{650}{100} \cdot 1743000 = 11329500$ Kč (5.7)

- Podniková režie

Podniková režie činí 200 % mezd výrobních dělníků.

$Pr = \frac{\% \text{mezd}}{100} \cdot M_v = \frac{200}{100} \cdot 1743000 = 3486000$ Kč (5.8)

- Zvláštní náklady

Požizovací náklady nástrojů: $N_N = 24500$ Kč

5.1.1 Náklady na výrobu zápustkovým kováním

- Náklady na materiál
Tyto náklady určíme z vsázkové hmotnosti i s opalem.
Rozměr polotovaru: $\varnothing 80 - 190 \text{ mm}$
Hmotnost polotovaru: $m_p = 7,463 \text{ kg}$
Náklady na 1 ks: $N_{m1} = C_m \cdot m_p = 23,15 \cdot 7,463 = 172,77 \text{ Kč}$
Celkové náklady na materiál: $N_m = N_{m1} \cdot \text{poč.kusů} = 172,77 \cdot 100000 = 17277000 \text{ Kč}$
- Mzdy výrobních dělníků
Výrobní čas jedné součásti: $t_k = 4,6 \text{ min}$
Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_v = 85 \text{ Kč}$
Mzdy na 1 ks: $M_{v1} = \frac{t_k}{60} \cdot m_v = \frac{4,6}{60} \cdot 85 = 6,52 \text{ Kč}$
Celkové mzdy: $M_v = M_{v1} \cdot \text{poč.kusů} = 6,52 \cdot 100000 = 652000 \text{ Kč}$
- Vratný odpad
Odpad z jednoho kusu: $m_o = m_p - m_c = 7,463 - 4,905 = 2,558 \text{ kg}$
Hmotnost celkového odpadu: $m_{oc} = m_o \cdot \text{poč.kusů} = 2,558 \cdot 100000 = 255800 \text{ kg}$
Cena vratného odpadu: $N_o = m_{oc} \cdot C_v = 255800 \cdot 3,6 = 920880 \text{ Kč}$
- Dílenská režie
Dílenská režie činí 1000 % mezd výrobních dělníků.
 $D_r = \frac{\% \text{ mezd}}{100} \cdot M_v = \frac{1000}{100} \cdot 652000 = 6520000 \text{ Kč}$
- Podniková režie
Podniková režie činí 200 % mezd výrobních dělníků.
 $P_r = \frac{\% \text{ mezd}}{100} \cdot M_v = \frac{200}{100} \cdot 652000 = 1304000 \text{ Kč}$
- Zvláštní náklady
Náklady na zápustky: $N_z = 370000 \text{ Kč}$
Náklady na ostríhovací nástroj: $N_{os} = 130000 \text{ Kč}$
Celkové zvláštní náklady: $N_{czvl} = N_z + N_{os} = 370000 + 130000 = 500000 \text{ Kč} \quad (5.9)$

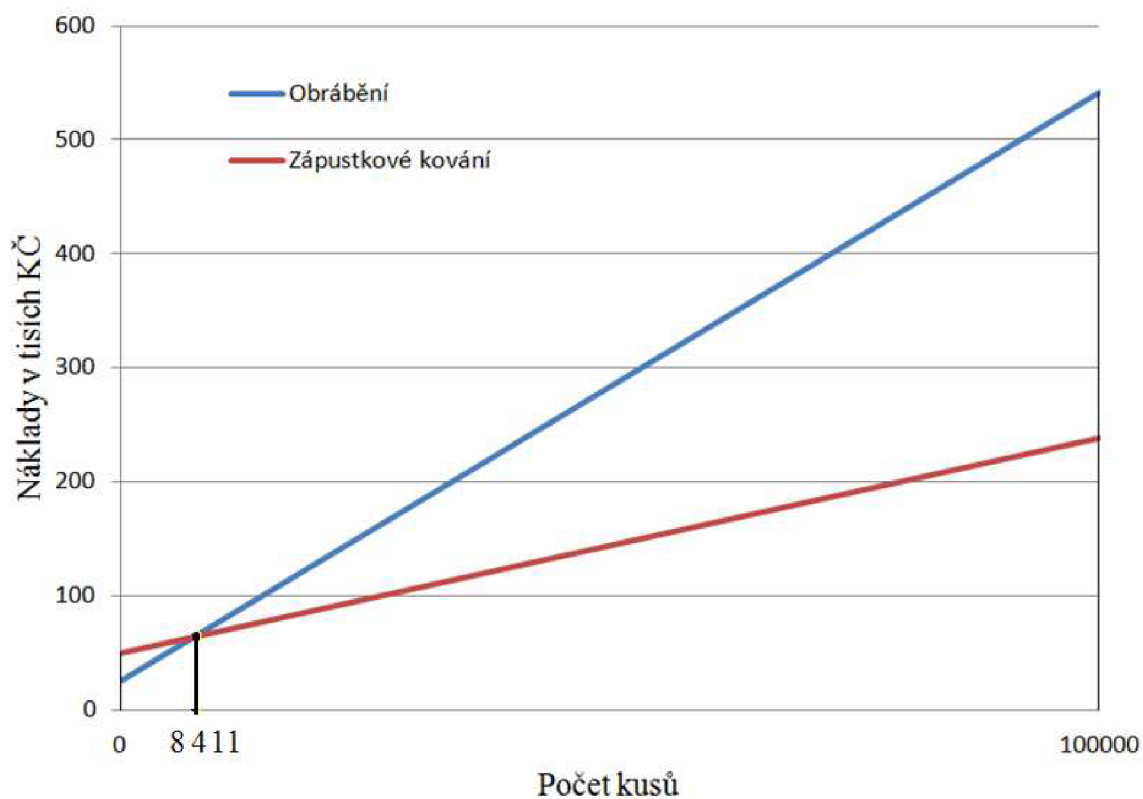
Tab. 5.1 Porovnání technicko-ekonomických ukazatelů

Technologie	Obrábění	Zápustkové kování
Počet kusů [ks]	100000	100000
Spotřeba materiálu [$\text{kg} \cdot \text{ks}^{-1}$]	17,98	7,463
Hmotnost odpadu [$\text{kg} \cdot \text{ks}^{-1}$]	13,075	2,558
Pracnost [$\text{min} \cdot \text{ks}^{-1}$]	12,3	4,6

Tab. 5.2 Porovnání nákladů pro tisíc kusů

Položka	Technologie		Úspory zápusťkového kování vůči obrábění v Kč
	Obrábění	Zápusťkové kování	
Materiál	41624000	17277000	24347000
Mzdy výrobních dělníků	1743000	652000	1091000
Díleňská režie	11329500	6520000	4809500
Podniková režie	3486000	1304000	2182000
Zvláštní náklady	24500	500000	-475500
Vratný odpad	-4707000	-920880	-3786120
Celkové náklady	54100000	25332120	28767880
Náklady na 1 ks	541	253,32	287,68

Graf závislosti nákladů na počtu kusů



Výroba součásti třískovým obráběním je výhodná pro výrobu série přibližně do 8500 kusů, nad touto hodnotou se vyplatí výroba zápusťkovým kovááním, kdy se nám vrátí počáteční investice do nástrojů.

6 Závěr

Zadáním bakalářské práce bylo navrhnout způsob výroby zadané součásti náboje kola dle výkresu BC-3-2015-1. Byla zvolena výroba pomocí zápustkového kování.

V první části byla zpracována literární studie, jež se zabývá zápustkovým kovááním. V této kapitole jsou rozebrány druhy tvářecích strojů, návrh a konstrukce kovacíh nástrojů včetně jejich údržby a druhy těchto nástrojů. Byla také zpracována studie na celkový návrh výkovku, od výkresu součásti, přes volbu přídavek, až po výkres samotného výkovku s patřičnými náležitostmi.

V další části byl vytvořen návrh řešení zadané součásti, podle předchozí literární studie. Bylo provedeno zařídění výkovku, zvoleny přídávky na obrábění a přídávky technologické. Jako další byla odečtena hmotnost a objem výkovku v programu Autodesk Inventor Professional 2014, ze které se následně vypočítala velikost výchozího polotovaru pro kování přičtením hmotnosti výronku a opalu. Výchozím polotovarem byla zvolena ocelová tyč Ø80 mm ČSN EN 10060, která bude dodávána v délce 6 m a dělena na pásové pile Bomar Proline 420.350 ANC. V této části byla rovněž stanovena potřebná kovací síla, a to třemi teoretickými výpočty a grafickým odečtením z nomogramu. Velikost kovací síly se pohybovala v rozmezí 11,7 až 13,4 MN, z těchto hodnot byl zvolen tvářecí stroj, a to svislý kovací lis LMZ 1600A. Dále byla vypočtena velikost střížné síly potřebné k ostřížení výronku a děrování blány v jedné operaci, střížná síla měla velikost přibližně 2,4 MN, proto byl zvolen lis LDO 315 A/S. Dále jsem volil druh ohřívacího agregátu. Zvolil jsem stroj ISOK 300, jedná se o indukční ohřívací zařízení. Ze zvolených strojů a vypočítaných hodnot jsem sestavil postupový list pro výrobu součásti.

Poslední část se zabývá technicko-ekonomickým zhodnocením výroby součásti kovááním a porovnáním ukazatelů s technologií výroby soustružením pro zadanou velikost série. Z tabulky 5.2 jsou patrné úspory jak v korunách tak procentuální. Celkové úspory pro sérii 100000 kusů činí 28767880 Kč oproti soustružení. Z grafu závislosti nákladů na počtu kusů je vidět vysoká návratnost při velkosériové výrobě, do počtu přibližně 8500 kusů je lepší vyrábět součást z hlediska nákladů soustružením, nad tuto hodnotu se vyplatí zápustkové kováání, při kterém navíc dochází ke zpevnění součásti, které je jedním z požadavků zadání.

Z vypočítaných hodnot a hodnot zvolených byly zkonstruovány výkresy výkovku, teplého ohřátého výkovku, pýchovací zápustky, předkovací zápustky a dokončovací zápustky. Na závěr byl vytvořen výkres sestavení kovacíh zápustek.

Technologie zápustkového kováání zajišťuje vysokou produktivitu a efektivitu práce a zlepšení mechanických vlastností tvářeného materiálu, avšak vzhledem k vysoké ceně jednoúčelových nástrojů se jedná o technologii vhodnou pro sériovou a velkosériovou výrobu. Zápustkové kováání má v budoucnu velký potenciál a bude mít nezastupitelné místo ve výrobním průmyslu.

Seznam použitých zdrojů

1. DRASTÍK, František. *Výpočty z oboru kování a lisování*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1972, 189 s.
2. DVOŘÁK, M.-GAJDO, F.-NOVOTNÝ, E.: *Technologie tváření. Plošné a objemové tváření*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2003, s.171. ISBN 80-214-2340-4
3. FROLEC, Ivo. *Kovářství*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 152 s. ISBN 80-247-0611-3.
4. *Metal Forming Mechanics and Metallurgy*. 3rd ed. Leiden: Cambridge University Press, 2007. ISBN 05-113-5453-3.
5. ŘASA, Jaroslav. *Strojírenská technologie 4: Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel. Zásady montáže*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2003, 505 s. ISBN 80-718-3284-7.
6. SUCHOPÁREK, Rudolf. *Základy zápusťkového kování oceli*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1956, 379 s.
7. RUDOLF, Bedřich. *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce*. Vyd. 2. Praha: SNTL, 1982, 407 s.
8. SVOBODA, Pavel. *Základy konstruování*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2011, 234 s. ISBN 978-80-7204-750-5.
9. RUDOLF, Bedřich. *Tvářecí stroje*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1979, 205 s.
10. BRJUCHANOV, A. N. *Zápusťkové kování: kování na bucharech*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1955, 248 s.
11. BRJUCHANOV, A. N. *Zápusťkové kování: kování na klikových lisech a vodorovných kovacíh nástrojích*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1956, 352 s.
12. VACH, Antonín. *Kování*. 1. vyd. Ostrava: Ediční středisko Vysoké školy báňské v Ostravě, 1956, 108 s.
13. ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápusťkové. Přídavky na obrábění mezní úchytky rozměrů a tvarů*. ÚNM PRAHA, 13. 10. 1986.
14. ČSN 22 8306. *Tvářecí nástroje. Zápusťky pro svisle kovací lisu. Technologické požadavky na konstrukci*. ÚNM PRAHA, 26. 11. 1990.
15. ČSN 22 8308. *Zápusťky pro buchary. Směrnice pro konstrukci*. ÚNM PRAHA, 7. 5. 1970.
16. ČSN 22 8306. *Zápusťky pro svislé kovací lisu. Směrnice pro konstrukci*. ÚNM PRAHA, 26. 11. 1990.

17. ČSN 42 9002. Rozdělení zápusťkových výkovek podle složitostí tvaru. ÚNM PRAHA, 15. 7. 1968.
18. ČSN 21 1413. Upínání zápusťek pro padací a parovzdušné buchary. ÚNM PRAHA, 17. 2. 1970.
19. ČSN 21 1420. Upínání zápusťek na svislých klikových kovacíh lisech. ÚNM PRAHA, 26. 2. 1970.
20. Feron. [Http://ferona.cz](http://ferona.cz) [online]. 2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://ferona.cz/cze/index.php>
21. GREGER, Miroslav. *Studijní opora: Kování* [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/633-Greger-Kovani.pdf>. Studijní opora. Vysoká škola Báňská.
22. Mechanics theory. [Https://ecourses.ou.edu](https://ecourses.ou.edu) [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: https://ecourses.ou.edu/cgi-bin/ebook.cgi?doc=&topic=me&chap_sec=09.2&page=theory
23. MOTOR JIKOV Slévárna a.s. [Http://www.motorjikov.com/](http://www.motorjikov.com/) [online]. 2013 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.motorjikov.com/media/fotogalerie/mjsl-divize-slevarna-litiny/>
24. Ozubení: Mechanické vlastnosti. [Http://www.ozubeni.cz](http://www.ozubeni.cz) [online]. 2011 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.ozubeni.cz/ozubeni/vlastnosti.html>
25. Rajmont [online]. 2010 [cit. 2010-03-29]. [Http://www.rajmont.cz](http://www.rajmont.cz). Dostupné z WWW: http://www.rajmont.cz/cache/2e8c7_Image_fotogalerie_dscn9332_resize800x500.jpg
26. Šmeral Brno a.s.: Stroje. [Http://www.smeral.cz](http://www.smeral.cz) [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZTvarBuch.html>
27. Šmeral Brno a.s.: Stroje. [Http://www.smeral.cz](http://www.smeral.cz) [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZTvarOst.html>
28. Šmeral Brno a.s.: Stroje. [Http://www.smeral.cz](http://www.smeral.cz) [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZTvarKov.html>
29. Technologie: Soustružení. *Sst1* [online]. 2014 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.sst1.estranky.cz/clanky/zakladni-pojmy.html>
30. Tumlikovo Metal Cutting Technologies: Technologie. *Tumlikovo* [online]. 2010 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/materialy/konstrukcni-oceli/oceli-tridy-15/>
31. Wikipedie. [Http://cs.wikipedia.org](http://cs.wikipedia.org) [online]. 2014 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Zápusťkové_kování

Seznam použitých symbolů

Symbol	Popis	Jednotky
A_i	Plocha pod křivkou	mm ²
b	Šířka můstku	mm
b_n	Šířka příslušné části výkovku	mm
b_z	Minimální šířka zásobníku	mm
C_m	Cena 1 kg oceli ČSN 15231	Kč
C_o	Součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teplot	-
C_v	Výkupní cena vratného odpadu	Kč
D	Největší průměr výkovku	mm
d	Největší průměr kolmo k rázu	mm
d_{BL}	Stříhaný průměr blány	mm
Dr	Dílenská režie	Kč
D_{VP}	Průměr polotovaru	mm
$D_{VÝR}$	Vnější průměr výronku	mm
$d_{VÝR}$	Stříhaný průměr výronku	mm
F_{BL}	Síla pro ostřížení blány	N
F_k	Kovací síla	N
F_n	Síla vznikající od normálových napětí	N
F_S	Celková střížná síla	N
F_t	Síla vznikající od tangenciálních napětí	N
$F_{VÝR}$	Síla pro ostřížení výronku	N
h	Největší výška součásti	mm
h_{BL}	Tloušťka blány	mm
h_n	výška příslušné části výkovku	mm
$h_{VÝR}$	Tloušťka výronku	mm
k_p	Základní přetvárný odpor	
l_{VP}	Výška polotovaru	mm
m_C	Hmotnost konečného výrobku	kg
m_{INV}	Hmotnost součásti dle programu Inventor	kg
m_M	Hmotnost můstku	kg
m_O	Odpad z jednoho kusu	kg
m_{OC}	Hmotnost celkového odpadu	kg
m_{OP}	Hmotnost opalu	kg
m_p	Hmotnost polotovaru	kg
m_v	Hodinová mzda výrobního dělníka	Kč
M_v	Celkové mzdy	Kč
M_{v1}	Mzdy na 1 ks	Kč
m_{VP}	Hmotnost výchozího polotovaru	kg

$m_{VÝK}$	Hmotnost výkovku	kg
$m_{VÝR}$	Hmotnost výronku	kg
$m_{ZÁS}$	Hmotnost v zásobníku	kg
n	Výška zásobníku od dělicí roviny	mm
N_{CZVL}	Celkové zvláštní náklady	Kč
N_m	Celkové náklady na materiál	Kč
N_{mI}	Náklady na 1 ks	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
o_{BL}	Stříhaná délka blány	mm
$o_{VÝR}$	Stříhaná délka výronku	mm
Pr	Podniková režie	Kč
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
S'	Celkový povrch bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápustky	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_{VP}	Objem polotovaru	mm ³
$V_{VÝK}$	Objem výkovku	mm ³
x_i	Vzdálenost těžiště v ose x	mm
%C	Obsah uhlíku ve tvářené oceli	%
%Mn	Obsah manganu ve tvářené oceli	%
η	Součinitel otupení nástroje	-
λ	Štíhlostní poměr	-
π	Ludolfovo číslo	-
ρ	Hustota oceli	g·cm ³
τ_s	Mez pevnosti ve stříhu	MPa
σ_K	Přetvárná pevnost oceli dle Elekunda	MPa
σ_n	Napětí v bodech výkovku	MPa

Seznam příloh

Příloha 1	NÁBOJ KOLA	č.v. BC-3-2015-1
Příloha 2	NÁBOJ KOLA VÝKOVEK	č.v. BC-3-2015-2
Příloha 3	TEPLÝ NEOSTŘIŽENÝ VÝKOVEK	č.v. BC-3-2015-3
Příloha 4	PĚCHOVACÍ ZÁPUSTKA	č.v. BC-2-2015-Z-1
Příloha 5	PŘEDKOVACÍ ZÁPUSTKA	č.v. BC-2-2015-Z-2
Příloha 6	DOKONČOVACÍ ZÁPUSTKA	č.v. BC-2-2015-Z-3
Příloha 7	KOVACÍ ZÁPUSTKY	č.v. BC-1-2015-1