



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ŘETĚZOVÉHO KOLA

PRODUCTION OF CHAIN WHEEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Haltmar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Vojtěch Haltmar
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
Akademický rok:	2018/19

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

Výroba řetězového kola

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na výrobu řetězového kola, které je součástí převodového ústrojí stavebního stroje. Jedná se o dvouřadé řetězové kolo s nábojem, vyrobené z konstrukční oceli. Účelem práce je prověřit výrobní možnosti a na podkladě provedené analýzy navrhnout a zpracovat postup výroby řešené součásti.

Cíle bakalářské práce:

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

Seznam doporučené literatury:

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

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

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

LIDMILA, Zdeněk. (2008): Teorie a technologie tváření II. Brno: Univerzita obrany, 2008. 106 s. ISBN 978-80-7213-580-2.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

HALTMAR Vojtěch: Výroba řetězového kola.

Bakalářská práce se zabývá návrhem výroby řetězového kola zápustkovým kovááním. Kolo je vyrobeno z oceli jakosti C45 a je součástí převodového ústrojí stavebního stroje. Na základě požadovaných mechanických vlastností součásti a výrobní série, která činí 20 000 ks za rok, je pro výrobu navrženo zápustkové kováání na tři operace. Polotovarem pro výrobu je přístřih o průměru 50 mm a délce 100 mm. Tvářecím strojem pro výrobu je svislý kovací lis LMZ 1600 P/SH o jmenovité síle 16 MN. K odstranění výronku a blány slouží ostříhovací lis LKOA 200 o jmenovité síle 2 MN. Kovací zápustky jsou vyrobeny z nástrojové oceli ČSN 19 650 a jsou zpracovány dle výkresové dokumentace. Závěr práce pojednává o porovnání výroby řetězového kola obráběním a zápustkovým kovááním, přičemž při využití technologie zápustkového kováání dochází k úspoře 42 Kč na jeden kus.

Klíčová slova: Ocel C45, objemové tváření, výkovek, tvářecí síla, zápustka

ABSTRACT

HALTMAR Vojtěch: Production of chain wheel.

This bachelor's thesis deals with the production of chain wheel using the method of die forging. The wheel is made of C45 steel and is a part of the transmission of construction machinery. Based on the required mechanical properties of the component and batch production which amounts 20,000 pieces per year, three operations die forging is proposed for the production. An intermediate good for the production of the wheel is a cylindrical block with a 50 mm diameter and length of 100 mm. The forming machine for the production is vertical forging press LMZ 1600 P/SH with the nominal force of 16 MN. The trimming press LKOA 200 with the nominal force of 2 MN is used to remove the excess material. Forging dies are produced from tool steel ČSN 19 650 and are based on the technical drawings. The thesis also compares the production of chain wheel by machining and die forging concluding that the use of die forging method saves an amount of 42 CZK per piece.

Keywords: C45 steel, volume forming, forging, forming force, die

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HALTMAR, Vojtěch. *Výroba řetězového kola* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-22].
Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116384>. Bakalářská práce.
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
Vedoucí práce Zdeněk Lidmila.

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 23.5.2019

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji svému vedoucímu práce doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále děkuji své manželce Kláře Haltmarové a blízké rodině za obrovskou podporu během celé doby studia na vysoké škole.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	10
1 ROZBOR SOUČÁSTI.....	11
1.1 Volba výrobní technologie.....	12
2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ.....	14
2.1 Ohřev na kovací teplotu	15
2.2 Stroje pro zápusťkové kování.....	16
2.2.1 Buchary.....	16
2.2.2 Svislé klikové lisy	17
2.3 Návrh výkovku	17
2.3.1 Poloha dělicí roviny	18
2.3.2 Přídavky na obrábění	18
2.3.3 Přídavky technologické.....	18
2.3.4 Rozdělení dle tvarové složitosti	22
2.3.5 Úchylky rozměrů a tvarů	22
2.4 Konstrukce zápuštěk	24
2.4.1 Upínání zápuštěk.....	24
2.4.2 Výronková drážka	24
2.4.3 Vyhazovače.....	25
2.4.4 Vedení zápuštěk.....	26
2.5 Výpočet kovací síly	26
2.5.1 Výpočet z nomogramu	26
2.5.2 Výpočet podle Storoževa	26
2.5.3 Výpočet podle Brjuchanov – Rebelského	27
2.5.4 Výpočet podle Tomlenova	27
3 VÝROBA ŘETĚZOVÉHO KOLA	28
3.1 Návrh výkovku	28
3.2 Parametry výronkové drážky	30
3.3 Návrh a ohřev polotovaru	31
3.4 Výpočet kovací síly	32
3.5 Výpočet střižné síly	35
3.6 Volba strojů.....	35
3.7 Konstrukce zápuštěk	37
3.8 Technologický postup	38
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	39
4.1 Náklady na výrobu obráběním	39
4.2 Náklady na výrobu zápusťkovým kovááním a obráběním	40
4.3 Porovnání nákladů	42
5 ZÁVĚRY	43

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3]

Tvářením ocelí či jiných neželezných kovových materiálů se rozumí výrobní proces, při kterém působením vnějších sil dochází k cíleným plastickým deformacím za účelem změny tvaru polotovaru na výrobek finální podoby. Tento jev doprovází fyzikální změny struktury materiálu, což se projeví zvýšením mechanických vlastností. Tváření je tzv. bezodpadová technologie, vyznačuje se maximálním využitím materiálu a vysokou produktivitou, která je rovněž výsledkem vysokého stupně mechanizace a automatizace.

Značný význam v oblasti tváření mají technologie válcování a kování, které se řadí do kategorie objemového tváření za tepla, poněvadž probíhají nad teplotou rekrystalizace. Při samotném kování mění výrobek svůj tvar díky působení tvářecích sil vyvolaných buď úderem na bucharu nebo postupným zvětšováním tlaku na kovací lisu. Pro sériovou výrobu je nejvhodnější zápustkové kování, jelikož touto metodou lze vyrobít velké množství tvarově stejných dílů při dosažení vysoké rozměrové přesnosti.

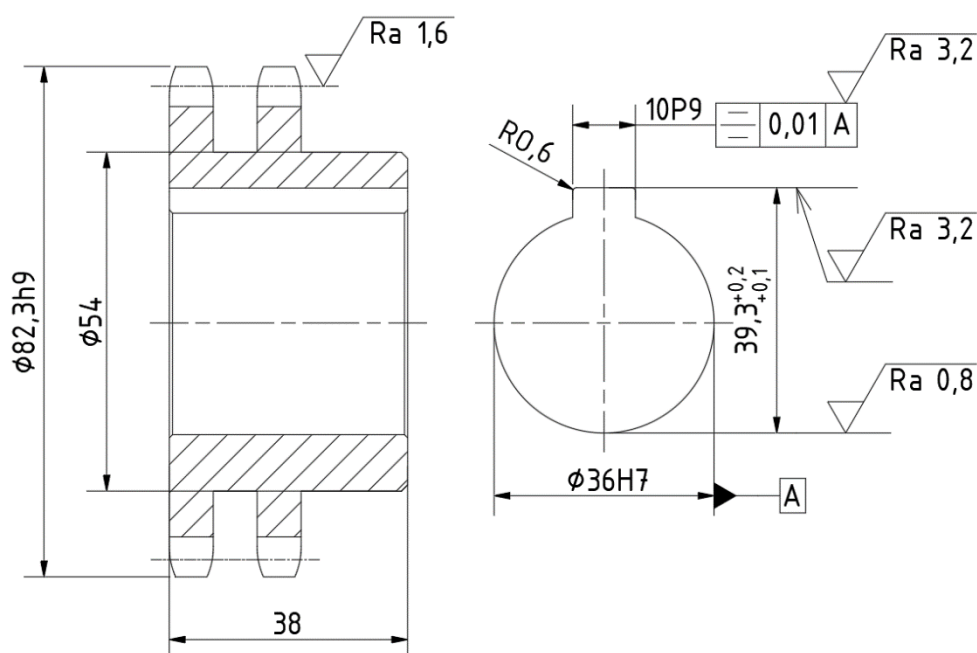
Při zápustkovém kování probíhá tváření materiálu přímo v dutině zápustky, což je většinou dvoudílný kovový nástroj. Tvar a rozměry dutiny jsou shodné s tvarem výkovku, pouze jsou zvětšeny o hodnotu smrštění. Technologický proces zápustkového kování zpravidla sestává z předehřevu na kovací teplotu, předkovací operace, kování do dutiny zápustky a finální ostřížení výrobku. Příklady kovaných součástí jsou znázorněny na obr. 1.



Obr. 1 Výrobky zhotovené zápustkovým kovááním [4], [5], [6]

1 ROZBOR SOUČÁSTI [7], [8]

Řešenou součástí je řetězové kolo (BP_2019_001), které je součástí převodového ústrojí stavebního stroje. Jedná se o dvouřadé řetězové kolo s nábojem a drážkou pro pero, s jehož pomocí je od hřídele přenášén kroučící moment přes řetěz na poháněné kolo. Vyráběný díl je rotační válcová součást o průměru 82,3 mm v toleranci h9 a výšce 38 mm s pastorkem o průměru 36 mm v H7 obsahujícím drážku o šířce 10 mm v P9. Výška náboje včetně drážky činí 39,3 mm a má toleranci $+0,2$ / $-0,1$ mm. Součást je nutné zhotovit v daném stupni přesnosti, aby byl zajištěn správný chod stroje. Na výkrese jsou dále předepsány drsnosti povrchu ozubení a pastorku včetně drážky a rovněž i geometrická tolerance polohy, která se týká souměrnosti a nesmí přesáhnout hodnotu 0,01 mm. Nepředepsané tolerance rozměrů budou stanoveny dle ČSN ISO 2768 – mK. Náčres řetězového kola je představen na obr. 2. Výrobní série pro ozubené kolo činí 20 000 ks.rok⁻¹.



Obr. 2 Náčres řetězového kola

Na součást jsou kladeny vyšší pevnostní požadavky v důsledku namáhání zubů kola na ohyb, a proto byla jako materiál pro výrobu zvolena ocel C45, jejímž ekvivalentem je ocel 12 050, která je vhodná pro celou škálu strojních součástí, jakými jsou například hřídele strojů, větší ozubená kola, šneky, ojnice, písty nebo šrouby. V tab. 1. jsou uvedeny základní mechanické vlastnosti a chemické složení této oceli. Jedná se o nelegovanou uhlíkovou ocel, která je dobře obrobitelná a má výbornou tvarovou stabilitu při tepelném zpracování, je tedy vhodná ke zušlechťování a povrchovému kalení.

Tab. 1 Přehled vlastností oceli C45 [7], [8]

Materiál	ČSN 12 050 / 1.1191 / C45				
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti R _m [MPa]	Mez kluzu R _e [MPa]		Tažnost A [%]	
	630-780	370		17	
Chemické složení	Uhlík C [%]	Mangan Mn [%]	Křemík Si [%]	Fosfor P [%]	Síra S [%]
	0,42-0,50	0,50-0,80	max. 0,40	max. 0,030	max. 0,035

1.1 Volba výrobní technologie [1], [3], [9], [10], [11], [12], [13], [14]

Zadanou součást je možné vyrobit hned několika různými způsoby. Nanejvýš důležité je zajistit optimální způsob výroby, aby dané řetězové kolo splňovalo požadované mechanické vlastnosti. Dalším faktorem ve výrobě je ekonomické hledisko, které jde ruku v ruce s energetickou náročností procesu. Nehledě na způsob výroby základního tvaru řetězového kola bude pro dosažení tvarové shody a požadovaného stupně přesnosti následně nutné pokračovat obráběním součásti. Základní tvar dílce lze zhotovit:

- Pomocí Rapid Prototyping – tato technologie se zabývá rychlým zhotovením prototypové součásti nebo fyzického modelu z počítačových dat získaných metodami Reverse Engineering nebo vytvořených pomocí systémů CAD. Součást je vyráběna postupným přidáváním materiálu konstantní tloušťky v jednotlivých vrstvách. Tímto způsobem se mohou vyrobit i tvarově velmi složité díly, například s dutými prostory, šikmými i vodorovnými stěnami nebo žebry. Na obr. 3 lze vidět několik dílců s ozubením, které byly vyrobeny za pomoci reverzního inženýrství.

I přestože Rapid Prototyping umožňuje vyrobit požadovaný model v relativně krátkém čase, pro sériovou výrobu je nevhodný. Dalším nepříznivým faktorem je používaný materiál, který svými vlastnostmi neodpovídá zvolené oceli a nebyl by schopen zajistit požadované mechanické vlastnosti tělesa.



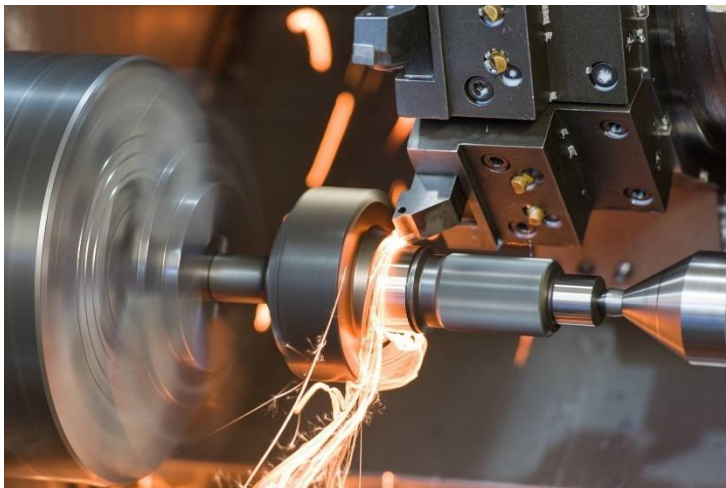
Obr. 3 Výrobky zhotovené metodou Rapid Prototyping [11]

- Odléváním – neboli litím roztaveného kovu (obr. 4), nejčastěji do trvalých forem. Tato metoda je vhodná zejména pro hromadnou výrobu tvarově složitých součástí, včetně součástí s vnitřními dutinami. U odlévaných dílů nedochází k deformačnímu zpevnění materiálu a vytvoření vláknité struktury. Při chladnutí naopak vzniká heterogenní struktura, která způsobuje rozdílné mechanické vlastnosti na povrchu a uvnitř součásti. Vyráběné ozubené kolo by zcela jistě postrádalo potřebnou pevnost a houževnatost. Dalšími nevýhodami jsou vysoká pořizovací cena forem a v neposlední řadě i celková energetická náročnost procesu. Zvolená ocel C45 je navíc pro odlévané součásti nevhodná.



Obr. 4 Odlévání oceli [12]

- Obráběním – při konvenčním obrábění je dosahováno požadovaných tvarů a přesností vnikáním rezného nástroje do obrobku a odstraňováním přebytečného materiálu pomocí bříty za vzniku odpadu ve formě třísek (obr. 5). Touto technologií lze dosáhnout vysoké přesnosti a jakosti povrchu, která je u zadané součásti vyžadována. Záporem obráběcího procesu je přerušování vláken v materiálu v místě přechodů, což má za následek nižší pevnost, a tedy nedostatečné mechanické vlastnosti výrobku. Dalším nežádoucím prvkem je vznik velkého množství odpadu, tudíž se tato technologie využívá spíše v kusové výrobě a při dokončovacích operacích.



Obr. 5 Obrábění [13]

- Zápustkovým kovááním – to se řadí k technologiím objemového tváření a uskutečňuje se zpravidla za tepla, předehřátý polotovár se zde tvaruje pomocí působení vnějších sil v dutině zápustky (obr. 6). Tato technologie je vhodná pro sériovou výrobu díky vysoké produktivitě, velké úspoře materiálu, výborným vlastnostem tvářeného materiálu a dosažení vysokého stupně geometrické i rozměrové přesnosti. Hlavní výhodou jsou výborné mechanické vlastnosti, jelikož prokovááním materiálu se vytváří homogenní struktura s ideálním průběhem vláken, která kopírují obrys součásti. Výsledný výrobek se vykazuje vyšší životností a vyšší odolností vůči cyklickému namáhání, než by tomu bylo například u odlitku. Nevýhodou kovacího procesu je vznik okují, vysoká energetická náročnost a náklady na výrobu zápustek, které ale na druhou stranu vydrží i několik stovek tisíc cyklů, než je zapotřebí jejich výměny.



Obr. 6 Zápustkové kováání [14]

Ze zmíněných možných způsobů výroby zadané součásti se jako nejvhodnější jeví technologie zápustkového kováání. Jelikož je dané kolo zařazeno do sériové výroby, kováání v zápustkách vyhovuje jak z hlediska vysoké produktivity a úspory materiálu, tak i z hlediska dosažení potřebných mechanických vlastností.

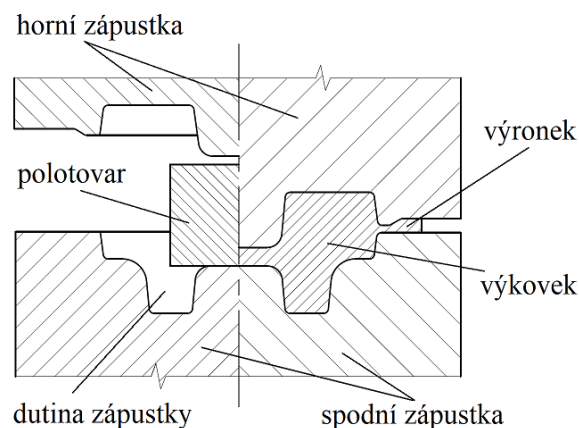
2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [1], [2], [3], [9], [15], [16], [17]

Zápustkové kování se řadí mezi technologie objemového tváření, ve většině případů se uskutečňuje za kovací teploty. Polotovar zahřátý na kovací teplotu se vkládá do dutiny spodní části zápustky a je tvářen buďto úderem beranu bucharu nebo klidným tlakovým působením na lisu prostřednictvím horní části zápustky (obr. 7).

Hlavní předností metody je velká produktivita výroby, vysoká výkonnost procesu a nepříliš náročná obsluha kovacích strojů, proto je využívána hlavně pro hromadnou produkci. Zápustkovým kovááním je dosahováno přesných rozměrů a vysokého stupně prokovaní, což se projevuje zvýšením mechanických vlastností materiálu. Tuto skutečnost lze pozorovat na průběhu vláken, která jsou tvarově shodná s obrysem součásti. Tvářením se deformuje tvar primárních krystalů ve struktuře, ty se zplošťují a prodlužují ve směru toku materiálu. Vměstky, které mají nižší teplotu tuhnutí než železo, zůstávají na hranicích zrn v nedeformovaném stavu. Při značném stupni prokovaní již vměstky tvoří souvislé plošné útvary, které se po vybroušení a naleptání struktury jeví jako vlákna. Průběh vláken je vyobrazen na obr. 8.

Objem polotovaru musí být větší než objem výkovku, aby byla dutina zápustky náležitě vyplněna. Přebytný materiál je vytlačován do výronkové drážky, která je umístěna po obvodu dutiny zápustky. Vytváří tak výronek, který je odstraněn na ostříhovacím lise.

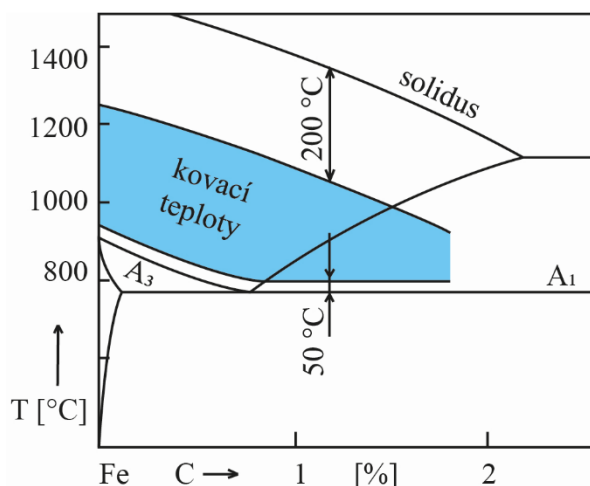
Základem pro ideální tvárnost oceli je dodržení určitých kovacích teplot, resp. určitého teplotního intervalu. Horní kovací teplota oceli je vymezena křivkou, která leží přibližně 200 °C pod teplotou solidu, spodní kovací teplotu určuje křivka ležící zhruba 50 °C nad teplotami A₃ a A₁, což je ideální dokovací teplota (obr. 9). S vyšší teplotou se úměrně snižuje zpevnění a deformační odpor. Cílem je kovat při takové teplotě, kdy je deformační odpor pro tvářecí proces dostačující, ale zároveň při chladnutí po poslední dokovací operaci nedochází ke hrubnutí zrn oceli. Je-li to zapotřebí, je možné použít normalizační žihání, při kterém se zrna zjemňují. Při dodržení těchto zásad se zkracují kovací časy, zápustky jsou méně namáhány a jejich životnost se prodlužuje, tím pádem je možné vyrobít větší počet výkovků z jedné zápustky, než je zapotřebí její výměny.



Obr. 7 Schéma zápustkového kování [17]



Obr. 8 Průběh vláken v oceli [3]



Obr. 9 Kovací teploty uhlíkových ocelí [9]

2.1 Ohřev na kovací teplotu [1], [9], [15], [18], [19], [20]

Ohřev na kovací teplotu by měl probíhat tak, aby byl materiál ohřát rovnoměrně v celém svém objemu v co nejkratším možném čase bez ohrožení povrchové a vnitřní jakosti ohřívaného materiálu při omezení, nebo dokonce úplném potlačení doprovodných jevů ohřevu. Pro ohřev polotovaru při zápusťkovém kování lze vybrat jeden z několika možných způsobů:

- Ohřev v plynové peci – ohřev probíhá při spalování směsi plynného paliva a předehřátého vzduchu. Poměr jednotlivých složek přiváděných do hořáků je možné regulovat dle potřeby za účelem vzniku oxidačního, redukčního nebo neutrálního plamene. Jako palivo se nejčastěji využívá zemní a koksárenský plyn. Z konstrukčního hlediska lze plynové pece pro ohřev materiálu v zápusťkových kovárnách rozdělit na komorové, karuselové, talířové a štěrbinové. Negativem plynových pecí je přímý kontakt ohřívaného materiálu s volným kyslíkem, což se projevuje vznikem okují (oxidy FeO , Fe_2O_3 a Fe_3O_4 , které se tvoří při teplotě nad $700\text{ }^\circ\text{C}$). Pecní atmosféra významně ovlivňuje množství vzniku okují, proto se používá ochranných plynů, které tvorbě okují zamezují.
- Ohřev v elektrické odporové peci – dělí se dále na zařízení s přímým průchodem proudu a na zařízení s nepřímým ohřevem. Přímý ohřev je vhodný výhradně pro štíhlé a dlouhé polotovary jako jsou například tyče, dráty, trubky nebo pásy. Elektrický proud se zavádí přímo do ohřívaného tělesa, ve kterém se generuje teplo díky působení ohmického odporu. Výhodou je velká rychlost ohřevu a malá spotřeba energie. Při ohřívání v odporové peci s nepřímým ohřevem dochází k průchodu střídavého proudu topnými články umístěnými v pecním prostoru, ze kterých sálá teplo ohřívající uložený polotovar. Výhodou je snadné ovládání teploty pomocí regulace elektrického příkonu a možnost vytvoření ochranné pecní atmosféry zamezující vzniku opalu.
- Ohřev v elektrické indukční peci – využívají elektromagnetické indukce. Kovový polotovar je vložen dovnitř cívky, jejímž vinutím protéká střídavý proud (obr. 10). V předmětu se vlivem působení střídavého magnetického pole indukují vířivé proudy, které vytvářejí teplo zahřívající polotovar. Hloubka vniku závisí na kmitočtu proudu induktoru, obvykle se pohybuje v rozmezí 50 až 20 000 Hz. U větších průměrů se užívá nižšího kmitočtu a naopak. Účinnost ohřevu závisí nejvíce na poměru vnitřního průměru cívky induktoru k průměru vloženého tělesa, při zvětšování poměru účinnost klesá, jelikož se vazba magnetického pole induktoru s tělesem zmenšuje. Proto není vhodné používat indukční ohřev pro velký rozsah průměrů vsázky. Velkým kladem této metody jsou minimální teplotní ztráty, rovnoměrné prohřátí, stabilní udržování potřebné teploty a snížení ztráty materiálu způsobené opalem.



Obr. 10 Indukční ohřev [20]

2.2 Stroje pro zápusťkové kování [1], [9], [15], [21], [22], [23], [24], [25]

Volba tvářecího stroje se volí na základě tvaru výkovku, jeho hmotnosti a požadované výrobní sérii. Určitou roli hraje i materiál, ze kterého je výkovek zhotovován, nároky na přesnost a možnost mechanizace a automatizace. Pro kování v zápusťkách se používají svislé a vodorovné klikové kovací lisy, lisy vřetenové a buchary. Vřetenové lisy se používají převážně pro kování barevných kovů, vodorovné kovací stroje pro rotační výkovky jednoduchých tvarů. Pro kování ocelí se nejvíce používají svislé klikové lisy a buchary. Pro drobné výkovky, tvarově složité součásti a díly velkých hmotností se volí kování na bucharech, pro součásti malých výšek a velkých průměrů se spíše užívají kovací lisy.

Dané kovací zařízení musí splňovat nejenom požadavky na tvar, rozměry a přesnost součásti, výrobní náklady, možnosti upínání a velikost pracovního prostoru, ale i silové a energetické parametry. Buchar pracuje dynamickými údery, tudíž kritériem pro volbu je rázová práce, kterou je schopen dodat. Lisy pracují na principu postupného zvětšování tvářecí síly, vhodný lis je volen podle maximální síly, kterou je schopen vyvinout.

2.2.1 Buchary [1], [9], [15], [21], [24], [25]

Přetvárné práce je u bucharu dosahováno přeměnou kinetické energie padacího nebo urychleného beranu na tvářený materiál, který je uložen na nepohyblivé pracovní ploše neboli šabotě. Výhodou při tváření na bucharech je lepší vyplňování horní zápusťky vlivem setrvačných sil, proto je vhodné složitější část výkovku umístit do horní dutiny. Důležitým krokem technologického postupu je předkování, kdy je materiál příčně i podélně rozdělován tak, aby při dokončovací operaci nedocházelo k nežádoucímu přemístování materiálu v podélné ose. Kování je prováděno zpravidla v jedné zápusťce, opakovanými údery beranu je materiál tvarován tak, aby dokonale vyplnil dutinu zápusťky. Ideální předkovek je stanoven na základě průřezového obrazce výkovkem. Šabota je u bucharů pro zápusťkové kování samostatná nebo spojena pevně s konstrukcí stroje.

Při kování na bucharech se nevyužívá vyhazovačů, konstrukce zápusťkových výkovků pro buchary musí počítat se zvětšenými úkosy pro snadnější vyjmutí výkovku. Zápusťky pro buchary jsou výhradně uzavřené, upínají se pomocí rybinových drážek, klínů a per. Kromě klasických padacích bucharů existují i buchary protiúderové, které nemají šabotu. Místo šaboty je ve stroji spodní beran pohybující se současně proti hornímu. Poháněny jsou buď oba berany nebo jen jeden z nich, přičemž ten druhý je propojen kinematickou vazbou k prvnímu.

Dle dopadové rychlosti beranu se stroje dělí na buchary s běžnou rychlostí, která obvykle činí kolem $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a na buchary se zvýšenou rychlostí, která dosahuje až k $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejpoužívanějšími typy bucharů dle konstrukce jsou mechanické, hydraulické, pneumatické nebo kombinované, které spojují více typů bucharů dohromady.



Obr. 11 Pneumaticko-hydraulický buchar KHZ 4A firmy Šmeral Brno a.s. [25]

2.2.2 Svislé klikové lisy [1], [9], [15], [23], [25]

Princip zápusťkového kování na lisech spočívá v postupném zvyšování tvářecí síly působící na materiál v dutině zápusťky. Rychlost beranu se pohybuje od $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ do $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, čímž je zřejmý rozdíl v pracovní rychlosti bucharu a klikového lisu. Pohyb beranu vychází z klikového mechanismu lisu, spodní poloha beranu se tedy nemění, horní díl zápusťky má přesně stanovenou dolní polohu, tehdy je dosaženo maxima tvářecí síly. Čela zápusťek na sebe nedosedají, kování se provádí v otevřených zápusťkách. Dutina se zaplňuje jediným zdvihem kovacího lisu, výronková drážka v dokovací zápusťce je vždy otevřená. Součástí kovacích lisů bývají vyhazovače, které umožňují snížit hodnotu úkosů na výkovku, přičemž je dosaženo větší úspory materiálu.

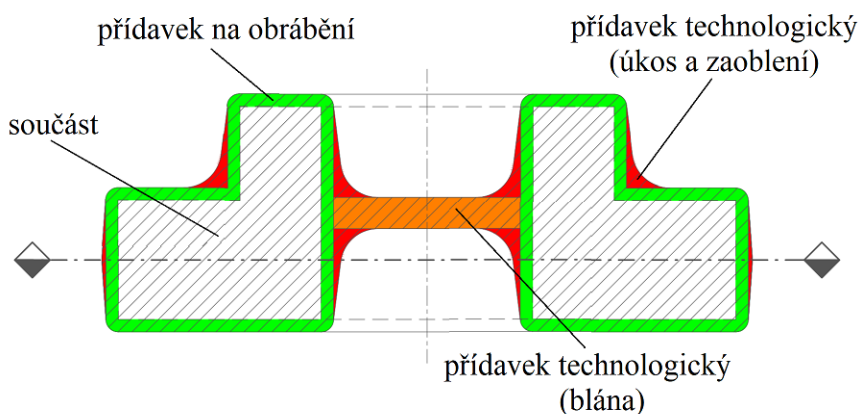
Kování probíhá v několika zápusťkách, zpravidla na tři operace, kdy v první operaci nastává pēchování polotovaru za účelem odstranění okují vznikajících ohřevem a zamezení jejich zakování do výkovku. Druhá operace přibližuje finální tvar výkovku, třetí operace je dokončovací a probíhá v dutině zápusťky, která je umístěna ve svislé ose lisu. Velkou výhodou kování na lisech je produktivita výroby a prokování součástí v celém jejím objemu.



Obr. 12 Svislý kovací lis LMZ 1000 P/SH firmy Šmeral Brno a.s. [25]

2.3 Návrh výkovku [1], [9], [15], [17], [21], [22], [24], [26], [27], [28], [29]

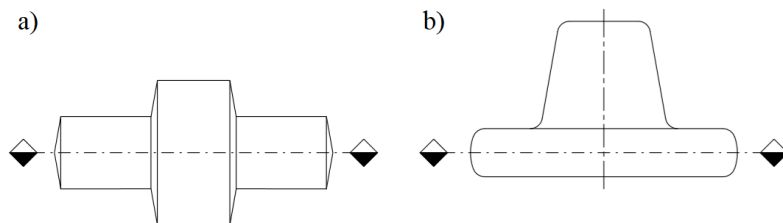
Zápusťkovým kováním je dosaženo efektivního způsobu výroby, jsou-li dodrženy stěžejní technologické zásady. Návrh výkresu výkovku se řídí především velikostí, tvarem, hmotností a složitostí součástí. Prvním krokem je volba dělicí roviny, což je hraniční plocha horní a spodní zápusťky. Následuje předepsání technologických přídaveků ve formě úkosů a zaoblení hran, které umožňují snadnější vyjmutí výkovku. Jmenovité rozměry hotových součástí, u kterých je třeba zajistit dodržení předepsané přesnosti rozměrů a požadovanou kvalitu povrchu, se zvětšují o přídávky na obrábění. Plochy, které není třeba obrábět, zůstávají bez přídaveků. Průchozí otvory jsou zápusťkovým kováním nezhotovitelné, řeší se vhodným umístěním kovací blány, která se následně odstraní. Náčrt výkovku včetně dělicí roviny a přídaveků lze vidět na obr. 13.



Obr. 13 Přídávky výkovku [17]

2.3.1 Poloha dělicí roviny [15], [21], [22], [24]

Jedná se o plochu, ve které je situován výronek. Na její poloze závisí tok materiálu v dutině zápustky a výsledné rozložení vláken ve výkovku. V případě symetrických výkovků se dělicí plocha umísťuje do roviny symetrie a to buď rovnoběžně (obr. 14a) nebo kolmo (obr. 14b) k hlavní ose výkovku. U nesymetrických výkovků je snahou umístit plochu tak, aby větší část kovaného dílu spočívala v horní zápustce. Poloha dělicí roviny by měla umožnit co nejlepší ostřížení výronku. Nejčastěji se umísťuje do poloviny výšky největšího průměru výkovku, aby bylo vyjímání ze zápustkové dutiny co nejsnazší a zároveň bylo uspořeno co nejvíce materiálu.



Obr. 14 Umístění dělicí roviny [24]

2.3.2 Přídavky na obrábění [1], [9], [15], [21], [26]

Povrch výkovků je vždy znehodnocen a přídavek na obrábění dává prostor co nejvíce nedokonalostí odstranit. Drsnost povrchu výkovku je dána hlavně způsobem ohřevu a kvalitou povrchu zápustky. Velikost přídavku na obrábění určují povrchové vady, jakými jsou např. okuje, šupiny, trhliny a přeložky. Obráběním se má odstranit rovněž i povrchová vrstva oduhličené oceli. Z ekonomického hlediska by nemělo smysl obrábět všechny plochy výkovku. Obrábí se ty plochy na součásti, které vyžadují vysokou rozměrovou přesnost a dobrou jakost povrchu. Velikost přídavku na obrábění se stanovuje na základě největších rozměrů výkovku ve směru rázu a směru k rázu kolmém dle normy ČSN 42 9030 (tab. 2).

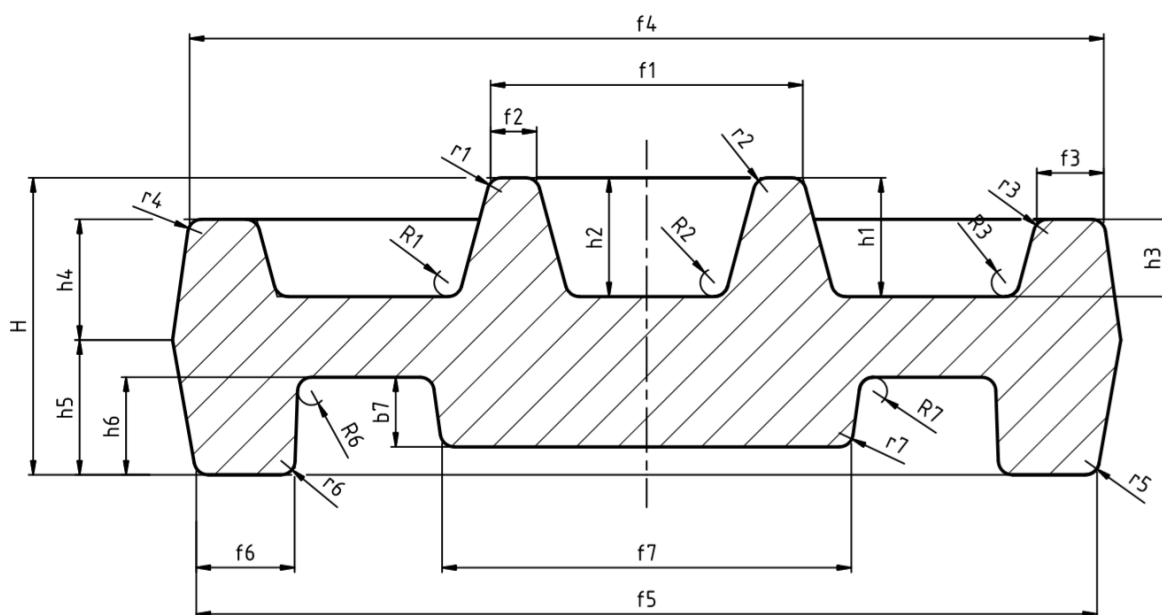
Tab. 2 Přídavky na obrábění ploch pro obvyklé provedení [26]

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

2.3.3 Přídavky technologické [1], [9], [15], [26], [27]

Ne každá součást je svým tvarem vhodná k zápustkovému kování. Technologické přídavky umožňují doplnit tvar složitějších součástí a proměnit je tak na z technologického hlediska vyrobitelné díly, jejichž produkce bude kvalitní a ekonomicky výhodná. Norma ČSN 42 9030 zmiňuje tyto přídavky:

- Zaoblení hran a přechodů – zabezpečuje správné zatékání materiálu do zápustkových dutin a zároveň zabraňuje porušení vláken v materiálu. Poloměr zaoblení má pozitivní vliv na snížení koncentrace napětí v zápustkách a tedy zvýšení jejich životnosti. S vyšší hodnotou zaoblení klesá pravděpodobnost vzniku nežádoucích přeložek. Vnitřní rádiusy přechodů jsou obvykle zhruba třikrát větší než vnější rádiusy hran, přesné rozměry zaoblení a přechodů se určují z poměru výšky k šířce pro každou plochu zvlášť dle obr. 15 a tab. 3.



Obr. 15 Zaoblení hran a přechodů [26]

Tab. 3 Zaoblení hran a přechodů [26]

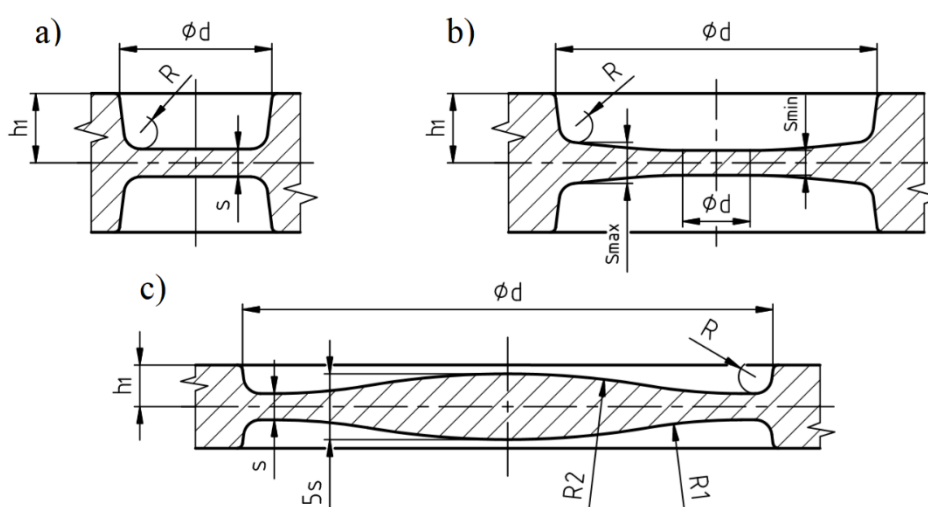
výška (hloubka) h [mm]		poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru [mm]					
		$\frac{h}{f}$ do 2		$\frac{h}{f}$ přes 2 do 4		$\frac{h}{f}$ přes 4	
přes	do	r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	16	40
160	250	12	30	16	45	25	65
250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

- Úkosity – přidávají se na plochy kolmé k dělicí rovině a slouží k jednoduššímu vyjmutí výkovku ze zápustky. Na vnitřních plochách se úkosity konstruují větší, než na stranách vnějších a to z důvodu smršťování materiálu, které činí sejmutí výkovku z trnu složitějším. Menší hodnoty úkosů se volí za použití vyhazovačů, které vytažení usnadňují. Velikosti úkosů stanovuje norma ČSN 42 9030 v tab. 4 dle použitého kovacího zařízení.

Tab. 4 Velikost úkosů [26]

úkosy zápusťkových výkovků na plochách	vnějších	vnitřních
běžně používané úkosy pro zápusťkové kování	3°	7°
dovolené úkosy pro buchary a lisы bez vyhazovače	7°	10°
úkosy pro lisы s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
úkosy pro vodorovné kovací stroje	0° až 5°	0° až 5°

- Kovací blána – je přepážka, jež zůstává v otvoru při jeho předkování. V případě, že jsou otvory příliš malé, nepředkovávají se, ale jsou kovány s technologickým přídatkem, který otvor vyplňuje. Otvory větších průměrů jsou předkovány v podobě tenké kovací blány, obr. 16a.



Obr. 16 Tvar blány v předkovaném otvoru [15]

Tloušťka blány s se vypočítá ze vztahu:

$$s = 0,45 \cdot \sqrt{d - 0,25 \cdot h_1 - 5} + 0,6 \cdot \sqrt{h_1} \quad [\text{mm}] \quad (2.1)$$

kde d – největší průměr otvoru [mm],
 h_1 – polovina výšky otvoru [mm].

Je-li $(d - 1,25R) > 26$, je vhodné zvolit blánu s úkosem do středu podle obr. 16b. Tloušťka blány s se určuje stejným vztahem jako pro blánu na obr. 16a, přičemž $s_{\min} = 0,65s$, $s_{\max} = 1,35s$. Pro nízké výkovky velkých průměrů je doporučen tvar blány dle obr. 16c. Kovací blána tohoto typu částečně plní funkci výronku. Poloměr $R_1 = 5h$, poloměr R_2 se určuje z již daných rozměrů.

Tloušťka blány se v tomto případě vypočítá ze vztahu:

$$s = 0,4 \cdot \sqrt{d} \quad [\text{mm}] \quad (2.2)$$

- Nejmenší tloušťka dna, stěn a žeber – je zapotřebí důkladné kontroly jejich rozměrů z hlediska teplotních rozdílů. Příliš slabé stěny výkovku způsobují prudší ochlazování materiálu, což zhoršuje zatékání do úzkých dutin a zároveň zvyšuje potřebnou energii. Chladný kovaný materiál v místě žeber vydírá stěny zápusťky a snižuje tak její životnost.

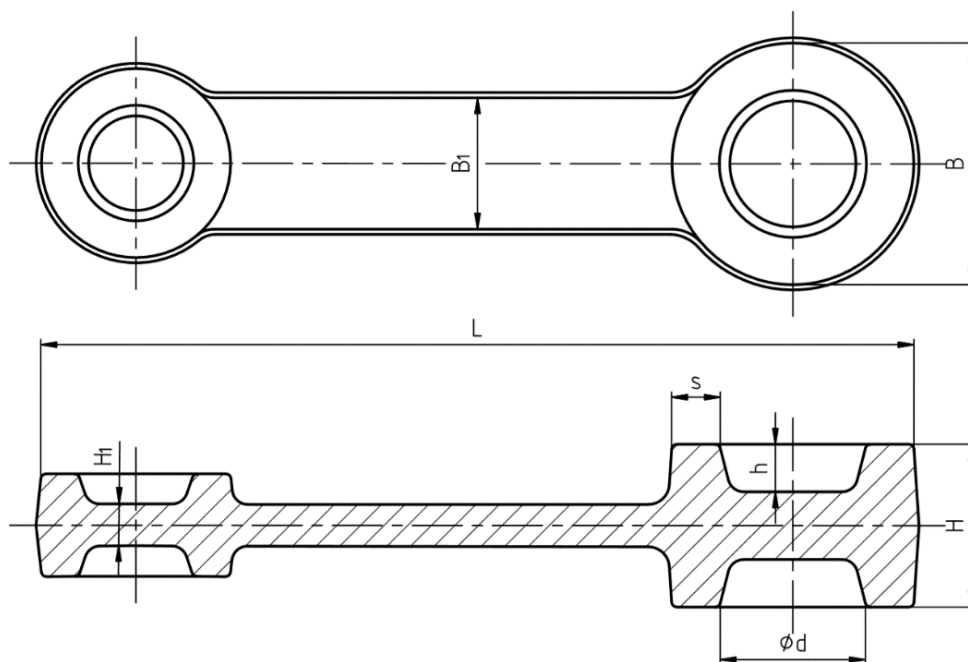
U ocelových výkovků se doporučuje minimální tloušťka stěny s_s podle vztahu:

$$s_s = 0,158 \cdot \sqrt{L \cdot h} \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

kde L – největší délka výkovku ve směru kolmo k rázu [mm],

h – výška stěny nebo žebra na výkovku [mm].

Nejmenší rozměry tloušťky dna, blány, disku a stěny výkovku stanovuje také norma ČSN 42 9030, viz obr. 17 a tab. 5.



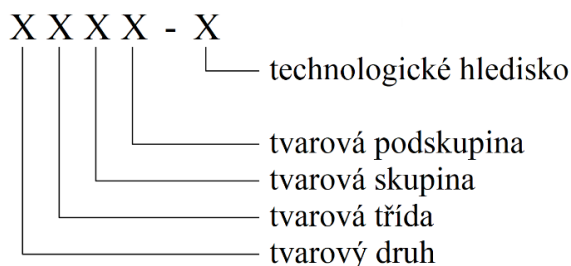
Obr. 17 Nejmenší rozměry výkovku [26]

Tab. 5 Nejmenší tloušťka dna, blány, disku H_1 a stěny s výkovku [26]

největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu – B, D [mm]		největší výška výkovku H [mm]							
		před	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 [mm]							
	40	4	5	6	7	9			
40	63	5	5	6	7	9	11		
63	100	5	6	7	9	11	13	15	
100	160	6	7	9	11	13	15	17	20
160	250	8	9	11	13	15	17	20	25
250	400	10	13	15	17	20	25	30	35
400	630			20	25	30	35	40	50
630	1000			25	30	35	40	50	60

2.3.4 Rozdělení dle tvarové složitosti [28]

Zápusťkový výkovek je označován pěticiferným číselným kódem podle pěti skupin tvarové složitosti, které stanovuje norma ČSN 42 9002 (Příloha 1: Rozdělení dle tvarové složitosti). Skupiny rozdělení výkovku a jejich pořadí jsou vyznačeny na obr. 18.



Obr. 18 Rozdělení výkovku podle tvarové složitosti [28]

2.3.5 Úchytky rozměrů a tvarů [1], [15], [21], [26], [28], [29]

Všechny hodnoty rozměrů výkovku mají předepsané tolerance, které stanovuje norma ČSN 42 9030 podle stupně přesnosti a největších rozměrů součástí. Stanovené úchytky jsou stejné pro všechny rozměry na výkovku. Stupeň přesnosti výkovku je dán složitostí tvaru, jehož určení je popsáno v kapitole 2.3.4. Přehled mezních úchylek a tolerancí je obsažen v příloze 2: Mezní úchytky a tolerance rozměrů. Velikost tolerancí určuje to, je-li daný rozměr ve směru nebo kolmo k rázu beranu. U nerotačních tvarů je největší rozměr výrobku ve směru kolmo k rázu definován střední hodnotou součtu největší šířky a délky výkovku. Rozlišuje se rozdíl mezi běžným, přesným a velmi přesným provedením. Norma uvádí hodnoty tolerancí pro vnější rozměry výkovku (tab. 6), vnitřní rozměry mají hodnoty tolerancí obráceně. V tab. 7 jsou uvedeny mezní úchytky zaoblení hran a přechodů.

Tab. 6 Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení [26]

tvarový druh	tvarová třída	tvarová skupina	tvarová podskupina	technologické hledisko	stupeň přesnosti pro provedení					
					1		2		3	
					obvyklé		přesné		velmi přesné	
					⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥
4; 6; 7	*	1; 5	*	1 až 2	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 6; 7			5	6	4	5	3	4
		4; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	1; 5	*	3; 4; 5	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 4			5	6	4	5	3	4
		6; 7; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	*	*	6; 7; 8; 9	6	7	5	6	4	5
	6 až 8				7	7	6	6	5	5
8	1 až 8	1; 2; 3; 4	*	*	6	7	5	6	4	5
		5; 6			7	7	6	6	5	5
8	9	1; 2	*	*	6	7	5	6	4	5
		3; 4; 5; 6; 7			7	7	6	6	5	5
9; 0	*	1; 2; 3; 4	*	*	6	6	5	5	4	4
		5; 6; 7; 8			7	7	6	6	5	5

Tab. 7 Mezní úchylnky zaoblení přechodů R a hran r [26]

poloměr zaoblení [mm]		mezní úchylnky [mm]			
přes	do	. R		. r	
	10	+0,50		+0,25	
		-0,25		-0,50	
10	32	+0,40		+0,20	
		-0,20		-0,40	
32	100	+0,30		+0,15	
		-0,15		-0,30	
100		+0,25		+0,10	
		-0,10		-0,25	

Dalším způsobem je stanovení mezních úchylnok rozměrů na základě hmotnosti výkovku, obtížnosti kování a složitosti tvaru dle normy ČSN EN 10243-1. Stupeň obtížnosti kování v závislosti na tvarové složitosti je dán ukazatelem členitosti tvaru S, který se určí dle vztahu: což je poměr objemu výkovku k objemu jeho obalového tělesa:

$$S = \frac{V_v}{V_0} [-] \quad (2.4)$$

kde V_v – objem výkovku [mm³],
 V_0 – objem obalového tělesa [mm³].

Obalovým tělesem se rozumí jednoduchý tvar válce nebo kvádra, jehož rozměry jsou dány největšími rozměry výkovku. Čím větší je rozdíl mezi V_v a V_0 , tím větší je členitost výkovku a tedy i složitější kování z důvodu přesouvání většího množství materiálu. Z takto získaného ukazatele se následně určí stupeň obtížnosti kování, viz tab. 8.

Tab. 8 Určení tvarového stupně obtížnosti kování [15]

stupeň obtížnosti kování	ukazatel členitosti tvaru S
1	0,63 až 1
2	0,32 až 0,63
3	0,16 až 0,32
4	do 0,16

Tolerance rozměrů zápustkového výkovku obsahují všechny odchylky od jmenovitého rozměru. Mohou jimi být neúplná zaplnění dutiny zápustky, výšková nedokování dílce, nerovnoměrná smrštění výkovku při chladnutí nebo drobné vady na povrchu výkovku. Toto může být způsobeno nízkou kovací teplotou nebo nevhodně zvoleným polotovarem.

Zápustky se nejvíce opotřebovávají v místech největšího přemístování materiálu (v místě žebíř a členitých výstupků) a to může vést ke vzniku vad na plochách zápustek, které se projevují nepřesnostmi rozměrů výkovku. Povrchovou vadou je také zakování okují do tělesa výkovku, ty zdrsňují povrch a zhoršují kvalitu výrobku. Nebezpečí vniku okují hrozí při kování na lisech, u bucharů, které pracují rázem, okuje mnohem lépe opadávají.

Norma ČSN 42 9030 stanovuje maximální dovolené přesazení, otřep, sestřižení, jehly a průhyb. Dovolené přesazení je rozměr, o který mohou být body jedné strany dělicí plochy přesazené oproti odpovídajícím bodům na druhé straně dělicí plochy v rovnoběžném směru s hlavní dělicí plochou. Otřep je definován jako zbytek vytečeného materiálu mezi rozdělené části nástroje zůstávající na výkovku. Dovolené sestřižení je přípustná stopa po ostříhovacím nástroji, která vznikla odebráním přídavků. Jehlou se rozumí ostří, které může vzniknout na okraji střížné plochy. Dovoleno průhyb je přípustný úchylka střední přímky výkovku od roviny.

2.4 Konstrukce zápustek [1], [9], [16], [30], [31]

Zápustka je nástroj využívaný při zápustkovém kování. Skládá se ze spodního dílu umístěného v pracovní ploše stolu a horního dílu, který je upevněn na beranu lisu. Tvar dutiny zápustky je negativem vyráběného dílu, jehož rozměry jsou zvětšeny o hodnotu smrštění, která činí přibližně 1 až 2 %. Dutina zápustky je zaplňována vždy jedním zdvihem lisu, podle počtu zápustkových dutin se určí počet zdvihů, které jsou zapotřebí ke zhotovení výkovku.

Zápustkové kování probíhá nejčastěji na tři operace, zápustky je tedy možné rozdělit na předkovací, kovací a dokončovací (eventuálně kalibrovací). Výroba zápustek probíhá třískovým opracováním bloků z nástrojové oceli.

Zápustky jsou vystavovány vysokému mechanickému a tepelnému namáhání, proto je u nich vyžadována vysoká tvrdost, odolnost proti otěru, nízká tepelná roztažnost, dobrá obrobitelnost a prokalitelnost. Nejpoužívanějšími materiály pro výrobu zápustek jsou nástrojové oceli pro práci za tepla, např. ČSN 19 541, ČSN 19 650 nebo ČSN 19 723 (jejich přehled se nachází v normě ČSN 22 8306) volené v závislosti na členitosti a namáhání zápustky.

Při vzájemném doteku polotovaru a dutin zápustky vzniká vysoké napětí, které způsobuje plastickou deformaci. Otěr zápustky a tření mezi zápustkou a polotovarem lze snížit použitím maziv, která rovněž zápustku ochlazují a zabraňují zakovávání okrajů do povrchu jejích dutin. Nejčastěji se jako mazivo používá grafit v roztoku oleje nebo mazací pasty.

2.4.1 Upínání zápustek [1], [15], [23]

Zápustkové vložky se do kovacího lisu upínají pomocí držáků, které se upínají k pracovní desce stolu a na beran lisu. Zápustkové vložky jsou k držákům připevněny upínkami pomocí šroubového spojení. Z jedné strany se zápustková vložka opírá o lištu s osazením, z druhé strany ji svírá zkosená upínka. Přesnost vedení spodní zápustky oproti horní je zajištěna vodíci sloupky. Ty jsou zalisované ve spodním bloku držáku a jsou vedeny do horního bloku pomocí vodících pouzder. Standardně se navrhuje držáky pro tři páry zápustkových vložek, přičemž každá z vložek je upnuta samostatně. Součástí držáku je mechanismus přenášející vyhadzovací sílu od vyhadzovačů stroje k zápustkovým vložkám. Šířku držáků omezuje plocha pracovního prostoru, maximální výška zápustek v držácích je dána sevřením tvářecího stroje.

2.4.2 Výronková drážka [1], [15], [30]

Součástí konstrukce dokovacích zápustek je správná volba výronkové drážky, která se umísťuje do dělicí roviny a při kování na lisech je vždy otevřená. Kovací lis má stabilní velikost zdvihu, poloha dolní úvratě je konstantní. Zápustkové vložky se nesmí při sevření lisu dotýkat, a proto musí být mezi spodní a horní zápustkou mezera, která závisí na odpružení materiálu a svou výškou h se shoduje s minimální výškou výronkové drážky. Tato část výronkové drážky je označována jako můstek a jeho hlavní funkcí je regulovat tlak v dutině zápustky. Součástí výronkové drážky je kromě můstku i zásobník, který slouží k zachycení přebytečného materiálu vytečeného ze zápustkové dutiny. Na obr. 19a je vyobrazen obvyklý tvar výronkové drážky, na obr. 19b je typ drážky používaný při velké vzdálenosti dutiny od okraje zápustky. Tyto a ostatní používané typy drážek jsou shrnuty v ČSN 22 8306.

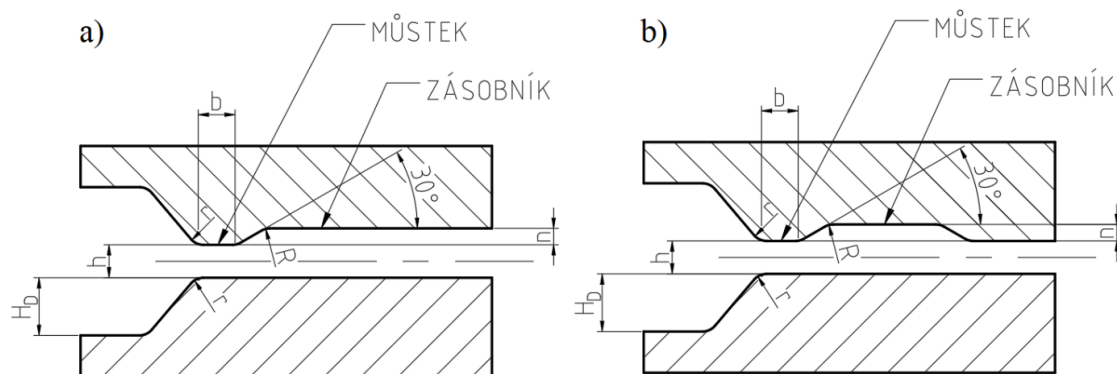
Šířka můstku se počítá dle vztahu:

$$b = 3 \cdot h \text{ [mm]} \quad (2.5)$$

kde: h – výška můstku [mm].

Hloubka zásobníku je stanovena dle vztahu:

$$n = 0,4 \cdot h + 2 \text{ [mm]} \quad (2.6)$$



Obr. 19 Typy výronkových drážek [30]

Poloměr zaoblení přechodu tvaru dutiny zápustky R_{dr} do dělicí roviny určuje vztah:

$$R_{dr} = \frac{\sqrt{S_v}}{200} + 0,04 \cdot H_D \text{ [mm]} \quad (2.7)$$

kde: S_v – průmět plochy výkovku bez výronku [cm^2],
 H_D – hloubka dutiny spodní zápustky [mm].

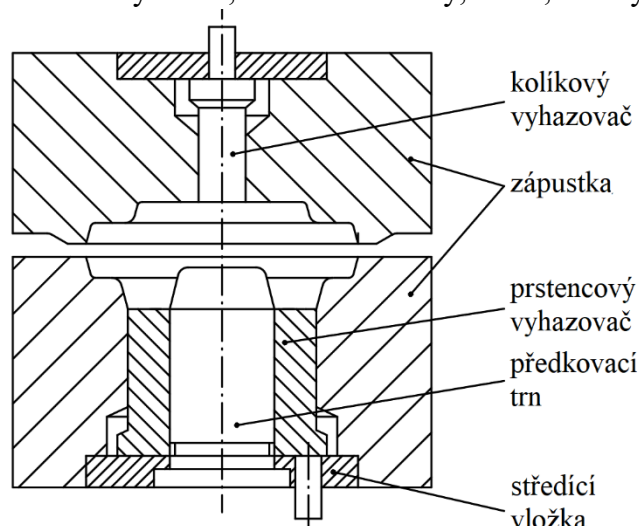
Objem výronku je získán ze vzorce:

$$V_{výr} = o \cdot \left[b \cdot h + \left(n + \frac{h}{2} \right) \cdot b_v \right] \text{ [mm}^3\text{]} \quad (2.8)$$

kde: o – obvod výkovku bez výronku v dělicí rovině [mm],
 b – šířka můstku [mm],
 n – hloubka zásobníku [mm],
 b_v – šířka otřepu v zásobníku [mm].

2.4.3 Vyhazovače [30]

Průvodním jevem zápustkového kování je ulpívání výkovků v zápustkových dutinách. Při konstrukci zápustek je nutné zhodnotit členitost výkovku, hloubku dutiny, tření, úkosy a mazání zápustek a rozhodnout, zda bude použito nucené vyhazování, jehož činnost se pojí s pohybem beranu. Podle tvaru stykové plochy vyhazovače s výkovkem se rozlišují vyhazovače prstencové, kolíkové a vložkové (obr. 20). Prstencové vyhazovače jsou používány pro výkovky s nábojem, kde hrozí nebezpečí protržení blány výkovku kolíkovým vyhazovačem. Vhodnou konstrukcí vyhazovače je možné zvýšit životnost zápustky. Rozměry a pohybové charakteristiky vyhazovačů určuje norma ČSN 22 8306.



Obr. 20 Konstrukce vyhazovače [30]

2.4.4 Vedení zápustek [30]

Vedení horní zápustky oproti spodní zajišťuje použitý držák. Kde tento způsob nevyhovuje z hlediska požadované přesnosti, tam se používá podélné vedení, kruhové vedení nebo zámky. Princip podélného vedení spočívá v tom, že v jedné ze zápustek je zhotovené vybrání materiálu, které zápustkám umožňuje do sebe zapadnout. U kruhového vedení se jeho vnější část zhotovuje zpravidla v horní části zápustky, ovšem může zde být zalisována i vodící skruž. Zámky jsou nejvíce používány u výkovků s lomenou dělicí plochou, aby zachytily tangenciální složky kovací síly vznikající rozkladem sil na šikmých plochách.

2.5 Výpočet kovací síly [9], [30], [31]

Pro správnou volbu kovacího lisu je potřeba znát velikost tvářecí síly. Ta se dá stanovit hned několika různými způsoby – nejčastěji z nomogramu dle normy ČSN 22 8306 nebo z výpočtů podle Storoževa, Brjuchanov – Rebelského nebo Tomlenova, z nichž posledním ze zmíněných postupů je dosaženo nejpřesnějších výsledků. Výsledná síla je pouze přibližná, její velikost odpovídá tvářecí síle v poslední dokončovací operaci, kdy je hodnota potřebné kovací síly největší.

2.5.1 Výpočet z nomogramu [30]

První způsob, jak zjistit potřebnou tvářecí sílu, je uveden v normě ČSN 22 8306. Kovací síla se určuje se na základě průmětu výkovku s můstkem do dělicí roviny S_{VM} , materiálu výkovku, stupně tvarové složitosti a kovací teploty během poslední operace, která stanovuje základní přetvárný odpor k_p (tab. 9).

Tab. 9 Základní přetvárný odpor k_p pro teploty kování [30]

materiál podle ČSN	základní přetvárný odpor k_p pro kovací teplotu ve °C						
	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
12 050	149	128	108	91	80	71	68

Průmět plochy výkovku s můstkem do dělicí roviny S_{VM} se spočítá dle vztahu:

$$S_{VM} = \frac{\pi \cdot D_C^2}{4} \text{ [cm}^2\text{]} \quad (2.9)$$

kde: D_C – průměr výkovku s můstkem [mm].

Průměr výkovku s můstkem D_C se určí vztahem:

$$D_C = D_V + 2 \cdot b \text{ [mm]} \quad (2.10)$$

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

2.5.2 Výpočet podle Storoževa [9]

Tvářecí síla podle Storoževa F_S se určí ze vztahu:

$$F_S = k_p \cdot \left[\left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h} \right) \cdot S_{výr} + \left(1,5 + \frac{b}{h} + 0,1 \cdot \frac{D_V}{h} \right) \cdot S_V \right] \text{ [N]} \quad (2.11)$$

kde: $S_{výr}$ – průmět plochy výronku v šířce můstku do dělicí roviny [mm²].

$S_{výr}$ se spočítá následovně:

$$S_{výr} = \frac{\pi \cdot D_C^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_V^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.12)$$

2.5.3 Výpočet podle Brjuchanov – Rebelského [9], [31]

Tvářecí síla podle Brjuchanov – Rebelského F_{BR} se určí ze vztahu:

$$F_{BR} = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_V) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_V}\right)^2 \cdot k_p \cdot S_V \quad [\text{N}] \quad (2.13)$$

2.5.4 Výpočet podle Tomlenova [9], [30]

Kovací síla se zde spočítá jako součet sil vnikajících od normálových a tangenciálních napětí. Pro výpočet normálové složky napětí je třeba stanovit napětí v jednotlivých bodech průřezu výkovku a určit velikosti a těžiště průřezových ploch. Tangenciální složka napětí je určena na základě povrchu bočních stěn výkovku v horní zápustce.

Napětí v bodě 0 σ_0 je dáno vztahem:

$$\sigma_0 = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 \quad [\text{MPa}] \quad (2.14)$$

kde: R_{mT} – pevnost materiálu za kovací teploty [MPa] (z tab. 10),

C_0 – součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teplot [-].

Napětí v bodě průřezu σ_n je dáno vztahem:

$$\sigma_n = \sigma_{n-1} + R_{mT} \cdot \frac{b_n}{h_n} \cdot C_0 \quad [\text{MPa}] \quad (2.15)$$

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

b_n – šířka průřezu [mm],

h_n – výška průřezu [mm].

Tab. 10 Pevnost R_{mT} oceli 12 050 za kovacích teplot [30]

materiál podle ČSN	optimální tvářecí teploty kování [°C]	střední deformační rychlost [s ⁻¹]	teplota tváření [°C]					
			pevnost materiálu za kovací teploty [MPa]					
			800	900	950	1000	1100	1200
12 050	1150 - 800	0,02	130	80	67	56	41	26,5

Síla vznikající od normálových napětí F_n je dána vztahem:

$$F_n = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n A_i \cdot x_i \quad [\text{N}] \quad (2.16)$$

kde: A_i – velikost plochy pod křivkou napětí [MPa.mm],

x_i – vzdálenost těžiště plochy od osy výkovku [mm].

Síla vznikající od tangenciálních napětí F_t je dána vztahem:

$$F_t = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^m \Delta S'_j \quad [\text{N}] \quad (2.17)$$

kde: S' – povrch bočních stěn dutiny v pohybující se zápustce [mm²].

Výsledná tvářecí síla podle Tomlenova F_T se stanoví součtem obou složek napětí:

$$F_T = F_n + F_t \quad [\text{N}] \quad (2.18)$$

3 VÝROBA ŘETĚZOVÉHO KOLA [26], [28]

Vyráběnou součástí je řetězové kolo z oceli C45. Model tohoto kola lze vidět na obr. 21. Polotovarem pro zhotovení je výkovek (BP_2019_002, obr. 22), který vychází z výkresu součástí a je navíc opatřen technologickými přídávky a přídávky na obrábění. Součástí projektování výroby je jak návrh samotného výkrovku, tak i návrh polotovaru, jeho ohřev, výpočet kovací síly, volba strojů a konstrukce zápustek.



Obr. 21 Model řetězového kola

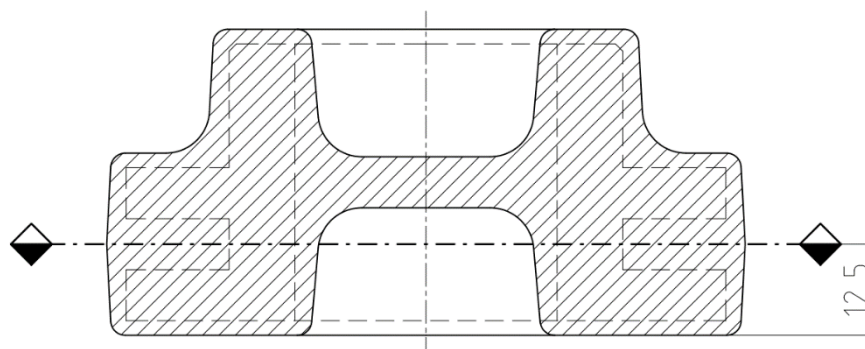


Obr. 22 Model výkrovku

3.1 Návrh výkrovku [26], [28]

Návrh zápustkového výkrovku je nezbytnou součástí postupu výroby. Skládá se z těchto kroků:

- Volba dělicí roviny – dělicí rovina by měla zajistit co nejsnadnější ostřížení výronku, proto byla umístěna do poloviny výšky největšího průměru, tj. 12,5 mm od základny výkrovku. Její poloha je znázorněna na obr. 23.



Obr. 23 Poloha dělicí roviny

- Volba přídávků na obrábění – jejich velikost se stanovuje dle normy ČSN 22 9030 na základě největších rozměrů součásti.

Největší průměr součásti kolmo k rázu $d_s = 82,3$ mm

Největší výška součásti $h_s = 38$ mm

Stanovený přídavek na obrábění součásti jsou 2 mm.

- Volba technologických přídavek – volí se dle normy ČSN 42 9030. Zaoblení hran a přechodů se určuje za použití obr. 15 a tab. 3. Výsledné hodnoty jsou stanoveny podle poměru rozměru výšky h ku rozměru stěny výkovku f .

Stanovený poloměr zaoblení hran $r = 2 \text{ mm}$

Stanovený poloměr zaoblení přechodů $R = 6 \text{ mm}$

Velikost úkosů je volena s ohledem na kovací stroj (přehled v tab. 4). Součást bude kována na svislém klikovém kovacím lise s vyhazovačem, tudíž je možné volit nižší hodnoty úkosů, než by bylo třeba při kování na lisu bez vyhazovače nebo bucharu.

Stanovená hodnota vnějších úkosů $= 3^\circ$

Stanovená hodnota vnitřních úkosů $= 5^\circ$

Otvor se při výrobě dané součásti nepředkovává, vyplňuje jej kovací blána, jejíž tvar je shodný s kovací blánou na obr. 16a. Tloušťka blány se vypočítá dle vztahu (2.1).

Největší průměr otvoru $d = 32 \text{ mm}$

Polovina výšky otvoru $h_1 = 19 \text{ mm}$

$$s = 0,45\sqrt{32 - 0,25 \cdot 19 - 5} + 0,6\sqrt{19} = 4,74 \text{ mm}$$

Bez ohledu na získaný výsledek je nutné ověřit minimální dovolené rozměry výkovku dle tab. 5 a případně provést korekci vypočteného rozměru blány tak, aby splňoval danou podmínku.

Největší průměr výkovku ve směru kolmo k rázu $D = 86,3 \text{ mm}$

Největší výška výkovku $H = 38 \text{ mm}$

Rozměr kovací blány byl upraven tak, aby splňoval nejmenší dovolenou tloušťku a byl stanoven na $s = 7 \text{ mm}$.

- Volba úchylek rozměrů a tvarů – prvním krokem je zařazení výkovku dle tvarové složitosti. Vychází se z normy ČSN 42 9002:

Tvarový druh: 5 – výkovky kruhového průřezu duté

Tvarová třída: 3 – jednostranně osazené

Tvarová skupina: 5 – výkovek dutý

Tvarová podskupina: 0 – bez přesahu

Technologické hledisko: 4 – výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu nesouměrné

Výsledné označení výkovku: 5 3 5 0 - 4

Přesnost rozměrů byla stanovena dle normy ČSN 42 9030 s pomocí tab. 6. Výsledkem pro obvyklou přesnost provedení je IT5. Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku pro tento stupeň přesnosti byly získány z tab. 7.

Mezní úchytky: + 1,1 mm

- 0,5 mm

Výsledná tolerance: 1,6 mm

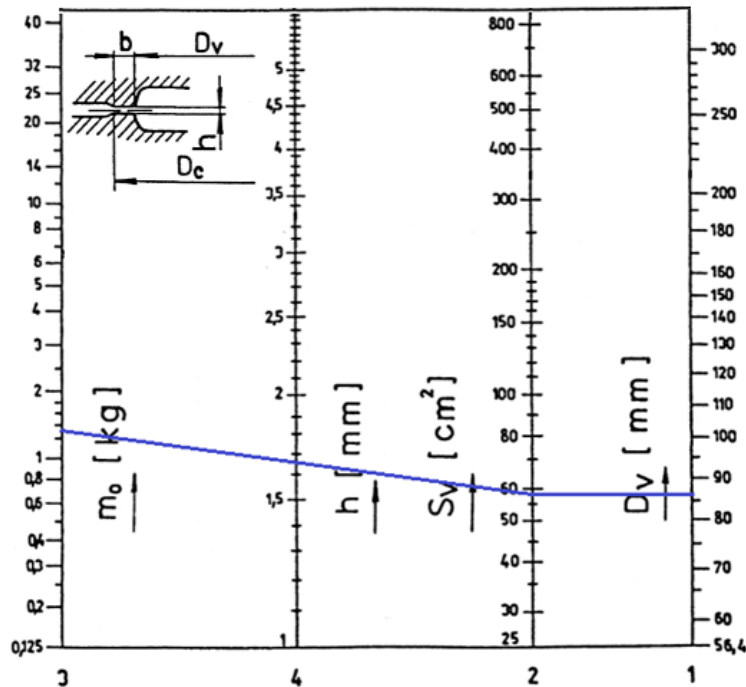
Mezní úchytky zaoblení přechodů a hran zobrazuje tab. 8. Výsledná hodnota vznikne po vynásobení dané úchytky rozměrem zaoblení.

Mezní úchytky pro zaoblení přechodů R:	+ 3,0 mm
	- 1,5 mm
Mezní úchytky pro zaoblení hran r:	+ 0,5 mm
	- 1,0 mm

3.2 Parametry výronkové drážky [30]

Jako první je třeba určit výšku můstku h . Ta se stanovuje nomogramem (obr. 24) podle normy ČSN 22 8306 s pomocí hmotnosti výkovku m_v a obsahu plochy výkovku bez výronku v dělicí rovině S_v . Hmotnost výkovku byla přesně zjištěna z modelu výkovku v programu Autodesk Inventor 2019 a činí 1,349 kg. Výpočet S_v stanovuje vztah:

$$S_v = \frac{\pi \cdot D_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot 86,3^2}{4} = 5894 \text{ mm}^2 = 58,49 \text{ cm}^2 \quad (3.1)$$



Obr. 24 Nomogram pro stanovení výšky můstku [30]

Výška můstku h má dle nomogramu velikost 1,66 mm, výsledná výška můstku byla stanovena na 1,7 mm.

Šířka můstku (dle vztahu 2.5):

$$b = 3 \cdot 1,7 = 5,1 \text{ mm}$$

Šířka můstku byla výpočtem stanovena na 5,1 mm.

Hloubka zásobníku (dle vztahu 2.6):

$$n = 0,4 \cdot 1,7 + 2 = 2,68 \text{ mm}$$

Hloubka zásobníku byla výpočtem stanovena na 2,68 mm, výsledná hloubka zásobníku bude mít 2,7 mm.

Poloměr zaoblení přechodu tvaru dutiny zápustky do dělicí roviny (dle vztahu 2.7):

$$R_{dr} = \frac{\sqrt{58,49}}{200} + 0,04 \cdot 10,5 = 0,46 \text{ mm}$$

Poloměr zaoblení přechodu tvaru dutiny zápustky do dělicí roviny byl výpočtem stanoven na 0,46 mm, výsledný poloměr byl zvýšen na 0,5 mm.

3.3 Návrh a ohřev polotovaru [7], [9], [17], [33]

Výchozí polotovar je volen na základě objemu výkovku včetně ztrátového materiálu, jež se skládá z objemu výronku a objemu opalu. Objem výkovku bez výronku $V_{výk}$ byl získán s pomocí softwaru Autodesk Inventor 2019 na základě hmotnosti výkovku a hustoty oceli ($\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$), činí $171807,70 \text{ mm}^3$.

Objem výronku $V_{výr}$ se počítá dle vztahu (2.8) (pro výkovky do 2 kg: $b_v = 15 \text{ mm}$):

$$V_{výr} = 271,12 \cdot \left[5,1 \cdot 1,7 + \left(2,7 + \frac{1,7}{2} \right) \cdot 15 \right] = 16787,75 \text{ mm}^3$$

Objem opalu V_{opal} činí zhruba 1 % z objemu výkovku včetně výronku, je-li k ohřevu použito indukční pece. Objem opalu se tedy určí dle vzorce:

$$V_{opal} = 0,01 \cdot (V_{výk} + V_{výr}) \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.2)$$

$$V_{opal} = 0,01 \cdot (171807,70 + 16787,75) = 1885,95 \text{ mm}^3$$

Objem výchozího polotovaru je dán součtem objemu výkovku, výronku a opalu:

$$V_{pol} = V_{výk} + V_{výr} + V_{opal} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.3)$$

$$V_{pol} = 171807,70 + 16787,75 + 1885,95 = 190481,40 \text{ mm}^3$$

Rozměry polotovaru musí respektovat pēchovací pravidlo neboli štíhlostní poměr ($\lambda = 1,5$ až 2,8), který je dán poměrem délky polotovaru k jeho průřezu, poněvadž v počátku pēchovací operace hrozí ztráta vzpěrné stability a poškození výkovku i kovacího nástroje. Vztah pro štíhlostní poměr λ :

$$\lambda = \frac{L_{pol}}{D_{pol}} \text{ [-]} \quad (3.4)$$

kde: L_{pol} – délka polotovaru [mm],

D_{pol} – průměr polotovaru [mm].

Průměr polotovaru D_{pol} lze vyjádřit vztahem (za štíhlostní poměr bude dosazeno $\lambda = 2$):

$$D_{pol} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{pol}}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{190481,40}{2}} = 49,32 \text{ mm} \quad (3.5)$$

Výchozí tyč bude vybrána z normalizovaných polotovarů a její průměr D_{pol} bude činit 50 mm.

Délku polotovaru L_{pol} lze vyjádřit vztahem:

$$L_{pol} = \frac{4 \cdot V_{pol}}{\pi \cdot D_{pol}^2} = \frac{4 \cdot 190481,40}{\pi \cdot 50^2} = 97,01 \text{ mm} \quad (3.6)$$

Výchozí tyč bude vybrána z normalizovaných polotovarů a její délka L_{pol} bude činit 100 mm.

Kontrola štíhlostního poměru:

$$\lambda = \frac{100}{50} = 2 \rightarrow \text{zvolené parametry polotovaru vyhovují}$$

Tyčový polotovar o průměru 50 mm bude řezán na pásové pile na délku 100 mm s úchylkou $\pm 0,5$ mm pro střední třídu přesnosti dle normy ČSN 2768-1.

Hmotnost polotovaru m_{pk} je dána vztahem:

$$m_{pk} = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D_{pol}^2}{4} \cdot L_{pol} = 7850 \cdot \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} \cdot 0,1 = 1,541 \text{ kg} \quad (3.7)$$

kde: ρ – měrná hmotnost materiálu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], pro ocel: $\rho = 7850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Doporučené kovací teploty pro ocel C45 jsou v rozmezí 850 až 1150 °C. Polotovar o hmotnosti 1,54 kg bude ohříván na teplotu 1130 ± 20 °C.

3.4 Výpočet kovací síly [9], [30]

Výpočet z nomogramu

Průmět plochy výkovku s můstkem do dělicí roviny:	$S_{VM} = 73,14 \text{ cm}^2$
Materiál výkovku:	ocel C45
Kovací teplota během poslední operace:	900 °C
Přetvárný odpor materiálu:	$k_p = 149 \text{ MPa}$ (tab. 9)
Stupeň tvarové složitosti:	II

Průměr výkovku s můstkem D_C se určí vztahem (2.10):

$$D_C = 86,3 + 2 \cdot 5,1 = 96,5 \text{ mm}$$

Průmět plochy výkovku s můstkem do dělicí roviny S_{VM} se spočítá dle vztahu (2.9):

$$S_{VM} = \frac{\pi \cdot 96,5^2}{4} = 7313,82 \text{ mm}^2 = 73,14 \text{ cm}^2$$

S pomocí nomogramu v příloze 3: Nomogram pro stanovení kovací síly byla kovací síla stanovena na 7 MN.

Výpočet podle Storoževa

$S_{výr}$ se spočítá dle vztahu (2.12):

$$S_{výr} = \frac{\pi \cdot 96,5^2}{4} - \frac{\pi \cdot 86,3^2}{4} = 1464,42 \text{ mm}^2$$

Tvářecí síla podle Storoževa F_S se určí ze vztahu (2.11):

$$F_S = 149 \cdot \left[\left(1,5 + \frac{5,1}{2 \cdot 1,7} \right) \cdot 1464,42 + \left(1,5 + \frac{5,1}{1,7} + 0,1 \cdot \frac{86,3}{1,7} \right) \cdot 5894 \right]$$

$$F_S = 9064709,70 \text{ N} = 9,1 \text{ MN}$$

Kovací síla dle Storoževa byla stanovena na 9,1 MN.

Výpočet podle Brjuchanov – Rebelského

Tvářecí síla podle Brjuchanov – Rebelského F_{BR} se určí ze vztahu (2.13):

$$F_{BR} = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 86,3) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{86,3}\right)^2 \cdot 149 \cdot 5849 = 11298134,06 \text{ N}$$

$$F_{BR} = 11,3 \text{ MN}$$

Kovací síla dle Brjuchanov – Rebelského vztahu byla stanovena na 11,3 MN.

Výpočet podle Tomlenova

Součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teplot se pro ocelové výkovky do hmotnosti 5 kg a teplotě výronku mezi 750 a 850 °C volí 4 až 5 → zvoleno $C_0 = 4,5$.

Teplota oceli během poslední operace činí 900 °C, $R_{mT} = 80 \text{ MPa}$.

Hodnoty šířky a výšky každého průřezu byly stanoveny softwarem Autodesk AutoCAD 2019. V tomto programu byly stanoveny i plochy jednotlivých průřezů výkovku včetně jejich těžišť (tab. 11). Nárůst normálových napětí v jednotlivých průřezích výkovku je znázorněn na obr. 25.

Výpočet napětí v jednotlivých bodech průřezu výkovku:

$$\sigma_0 = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 = 1,285 \cdot 80 \cdot 4,5 = 462,60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_0 + R_{mT} \cdot \frac{b_1}{h_1} \cdot C_0 = 462,60 + 80 \cdot \frac{5,76}{1,7} \cdot 4,5 = 1682,36 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \sigma_1 + R_{mT} \cdot \frac{b_2}{h_2} \cdot C_0 = 1682,36 + 80 \cdot \frac{14,22}{25} \cdot 4,5 = 1887,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = \sigma_2 + R_{mT} \cdot \frac{b_3}{h_3} \cdot C_0 = 1887,13 + 80 \cdot \frac{13}{42} \cdot 4,5 = 1998,56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4 = \sigma_3 + R_{mT} \cdot \frac{b_4}{h_4} \cdot C_0 = 1998,56 + 80 \cdot \frac{16}{7} \cdot 4,5 = 2821,42 \text{ MPa}$$

Síla vznikající od normálových napětí F_n je dána vztahem (2.16):

$$F_n = 2 \cdot \pi \cdot 2046910,26 = 12861116,47 \text{ N}$$

Tab. 11 Plochy a těžiště pod křivkou napětí [30]

plocha	A_i [MPa · mm]	x_i [mm]	$A_i \cdot x_i$ [N]
I	2628,3	46,04	121006,93
II	3490,8	44,66	155899,13
III	23893,8	36,11	862805,12
IV	1469,7	33,74	49587,68
V	24531,0	22,50	551947,50
VI	725,4	20,34	14754,64
VII	31977,6	8,00	255820,80
VIII	6583,2	5,33	35088,46
$\sum_{i=1}^n A_i \cdot x_i$			2046910,26

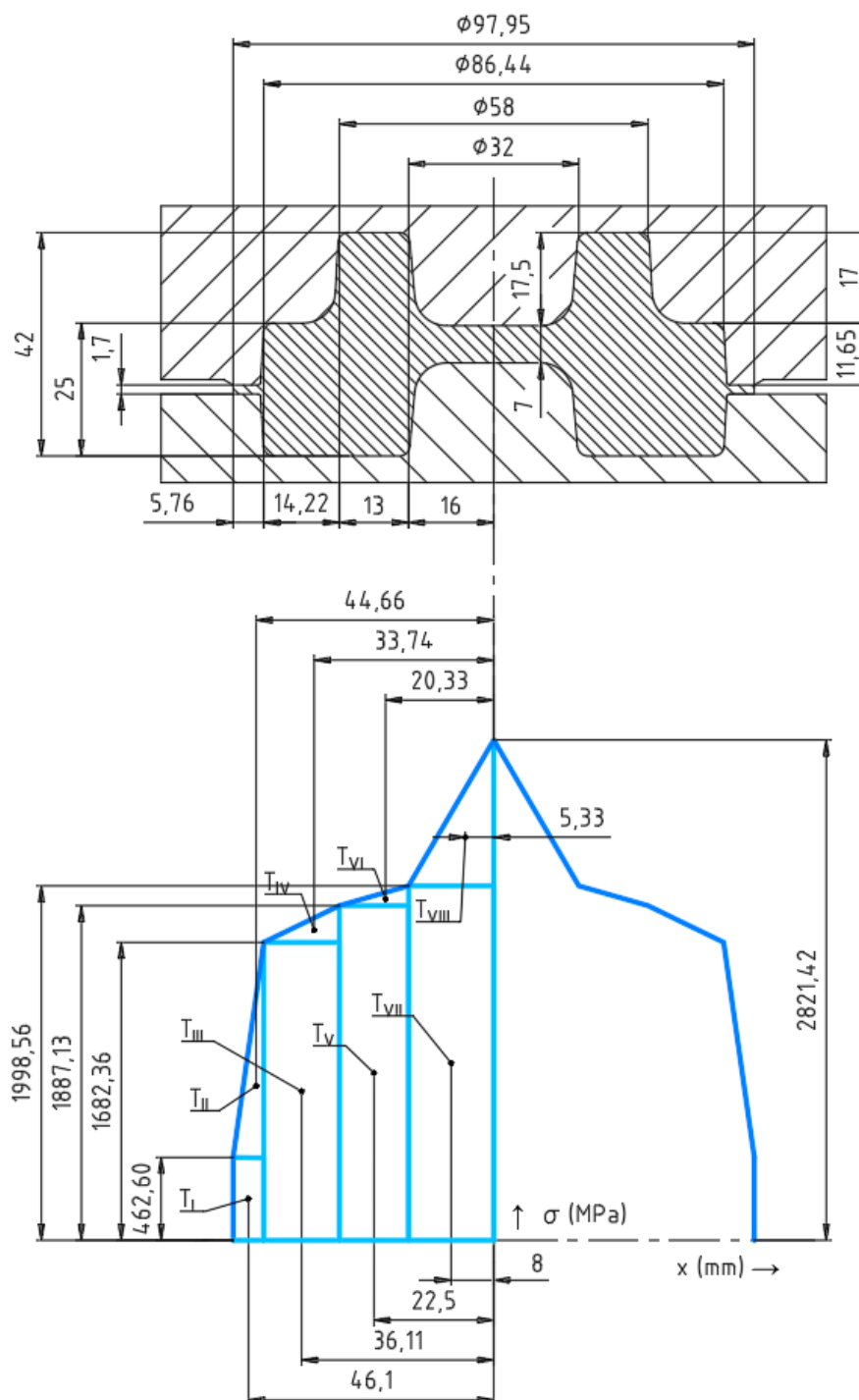
Síla vznikající od tangenciálních napětí F_t je dána vztahem (2.17):

$$F_t = \frac{48}{2} \cdot \pi \cdot (11,65 \cdot 86,3 + 17 \cdot 58 + 17,5 \cdot 32) = 192370,65 \text{ N}$$

Výsledná tvářecí síla podle Tomlenova F_T se stanoví součtem obou složek napětí dle (2.18):

$$F_T = 12861116,47 + 192370,65 = 13053487,12 \text{ N} = 13 \text{ MN}$$

Kovací síla dle Storoževa byla stanovena na 13 MN.



Obr. 25 Grafické znázornění nárůstu normálových napětí v jednotlivých průřezích výkovku

3.4.5 Porovnání vypočtených sil

Výsledné kovací síly stanovené jednotlivými metodami jsou shrnuté v tab. 12. Tvářecí síla kovacího stroje musí být minimálně stejně vysoká jako nejvyšší vypočtená síla, což je 7,9 MN.

Tab. 12 Přehled výsledných tvářecích sil

metoda pro stanovení kovací síly	velikost kovací síly [MN]
dle nomogramu v ČSN 22 8306	7,0
dle Brjuchanov - Rebelského	9,1
dle Storoževa	11,3
dle Tomlenova	13,0

3.5 Výpočet střížné síly [27]

Výkovek po poslední kovací operaci v dokončovací záпустce obsahuje výronek a blánu, které je třeba odstranit. To se nejčastěji provádí na ostříhovacím lise. Ostříhnout výronek i děrovat blánu je možné zároveň v jedné operaci, přičemž ostříhovací nástroj vyžaduje vyšší nároky z hlediska konstrukce, než když se výronek i blána odstraňují postupně.

Střížná síla pro ostříhnutí výronku za dokovací teploty F_{sv} se stanoví dle vztahu:

$$F_{sv} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_{mst} \cdot o \cdot 2 \cdot h \quad [\text{N}] \quad (3.8)$$

kde: R_{mst} – pevnost materiálu ve stříhu při dokončovací teplotě [MPa]

(pro ocel 12 050: $R_{mst} = 130$ MPa),

o – největší obvod výkovku bez výronku [mm].

$$o = 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_V}{2} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{86,3}{2} = 271,12 \text{ mm} \quad (3.9)$$

$$F_{sv} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 130 \cdot 271,12 \cdot 2 \cdot 1,7 = 162975,65 \text{ N} = 162,98 \text{ kN}$$

Střížná síla pro děrování blány F_{sb} se vypočítá dle vztahu:

$$F_{sb} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_{mst} \cdot o_b \cdot s \quad [\text{N}] \quad (3.10)$$

kde: o_b – obvod kovací blány [mm].

$$F_{sb} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 130 \cdot 100,53 \cdot 7 = 124415,93 \text{ N} = 124,42 \text{ kN}$$

3.6 Volba strojů [25], [34], [35], [36]

Dělení tyčového materiálu bude probíhat stříháním za použití strojních nůžek na polotovary TNS 63 o jmenovité síle 2,5 MN, které jsou na obr. 26. Parametry strojních nůžek znázorňuje tab. 13.

Tab. 13 Parametry strojních nůžek TNS 63 [34]

jmenovitá síla	MN	2,5
min. průměr tyče	mm	35
rozsah stříhaných délek	mm	0,8d - 500
maximální délka tyčí	mm	6000
rozměry nůžek v × š × h	m	2,6 × 8,4 × 3,1



Obr. 26 TNS 63 [34]

Polotovary pro zápuskové kování bude ohříván v kompaktním středofrekvenčním ohřivači KSO 250/4 - A25 o výkonu 250 kW dodávaným firmou Roboterm Chotěboř, který lze vidět na obr. 27. Jeho parametry jsou v tab. 14.

Tab. 14 Parametry ohřivače KSO 250/4 - A25 [35]

průměr přístřihů	mm	20 - 50
délka přístřihů	mm	30 - 300
maximální ohřáté množství	kg.h ⁻¹	500
výstupní teplota přístřihů	°C	Max. 1300
vstupní napětí	V	3 × 400
frekvence	kHz	1 - 4
výkon	kW	250



Obr. 27 KSO 250/4 - A25 [35]

Na základě výpočtů kovací síly byl pro výrobu součástí zvolen svislý kovací lis LZK 1600 P/SH od firmy Šmeral Brno a.s. o jmenovité síle 16 MN, který lze vidět na obr. 28. Parametry tvářecího stroje zobrazuje tab. 15.

Tab. 15 Parametry svislého kovacího lisu LZK 1600 P/SH [25]

tvářecí síla	MN	16
sevření	mm	800
průchod	mm	1290
upínací plocha stolu	mm	1240 × 1150
upínací plocha beranu	mm	1160 × 1035
hydraulické přestavení beranu	mm	10
zdvih/počet zdvihů	mm/min ⁻¹	270/85
celkový instalovaný výkon	kW	85
rozměry stroje v × š × h	m	5,8 × 3,2 × 3,7



Obr. 28 LZK 1600 P/SH [25]

V závislosti na vypočtené velikosti síly na ostřížení výronku a síly na děrování blány byl pro tyto dokončovací operace výkovku zvolen svislý kovací lis LKOA od firmy Šmeral Brno a.s. o jmenovité síle 2 MN, který lze vidět na obr. 29. Parametry tvářecího stroje znázorňuje tab. 16.

Tab. 16 Parametry ostřihovacího lisu LKOA 200 [36]

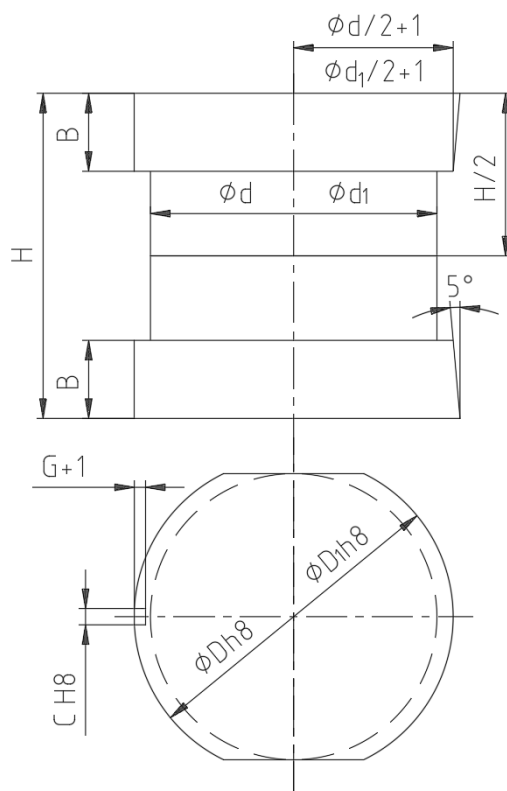
tvářecí síla	MN	2
sevření	mm	585
průchod	mm	1420
upínací plocha stolu	mm	1415 × 1000
upínací plocha beranu	mm	1200 × 800
přestavování beranu	mm	100
zdvih/počet zdvihů	mm/min ⁻¹	210/55
celkový instalovaný výkon	kW	18 kW
rozměry stroje v × š × h	m	4,1 × 2,3 × 2,2



Obr. 29 LKOA 200 [36]

3.7 Konstrukce zápustek [30], [37]

V závislosti na použitém tvářecím stroji byly navrženy příslušné kovací zápustky. Jejich tvar společně s rozměry znázorňuje obr. 30. Přehled parametrů kovací linky ukazuje tab. 17. Pro výrobu zápustek bude použita nástrojová ocel ČSN 19 650. V dokovací operaci bude využito tří kolíkových vyhazovačů, které budou umístěny na roztečné kružnici po 120°. Jejich konkrétní rozměry stanovuje norma ČSN 22 8306.



Obr. 30 Rozměry zápustek [37]

Tab. 17 Parametry kovací linky [37]

L I N K A	Ohřev [$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$]		1400
	Předkovací stroj		UL 35
	Kovací stroj		LZK 1600 P/SH
	Ostříhovací stroj		LKOA 200
	Hmotnost výkovku [kg]		1,35
	Průměr polotovaru [mm]		50
	Označení		QLZK 1600
U P Í N A Č	Dokovací zápustka	D_1 [mm]	275
		d_1 [mm]	250
	Předkovací zápustka	D [mm]	245
		d [mm]	220
	H [mm]		250
	B [mm]		60
	C [mm]		16
G [mm]		9	

3.8 Technologický postup

Technologický postup kování je uveden v tab. 18.

Tab. 18 Technologický postup kování

TECHNOLOGICKÝ POSTUP				
název výkovku: ŘETĚZOVÉ KOLO - VÝKOVEK	číslo výkresu výkovku: A3_BP_2019_02	název součásti: řetězové kolo	číslo výkresu součásti: A3_BP_2019_01	
č. operace	název operace			
1	TŘÍSKOVÉ DĚLENÍ			
	materiál: C45	profil: Ø50 mm	ČSN materiálu: 42 5510	
	stroj: TNS 63	délka: 100 ± 0,3 mm	hmotnost přístřihu: 1,54 kg	
2	KONTROLA			
	kontrola hmotnosti a jakosti přístřihů s četností 10 %			
3	KOVÁNÍ V KOVACÍ LINCE			
	A	INDUKČNÍ OHŘEV		
		stroj: KSO 250/4 - A25	teplota: 1130 ± 20 °C	
	B	KOVÁNÍ		
		stroj: LZK 1600 P/SH	síla: 13 MN	teplota: 1100 ± 20 °C
		1. operace: pēchování		
		2. operace: předkování		
3. operace: dokování				
C	OSTŘIŽENÍ			
	stroj: LKO A 200	síla: 0,16 MN	hmotnost výkovku: 1,35 kg	
4	TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ			
	druh operace: normalizační žihání	teplota: 840 – 870 °C		
5	KONTROLA TVRDOSTI			
	požadovaná tvrdost: 55 HRC			

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [38], [39]

Technicko – ekonomické zhodnocení má za úkol vyčíslení nákladů na výrobu řetězového kola obráběním a výrobu toho stejného dílu zápusťkovým kováním a následně tyto dvě metody porovnat a zjistit jejich výhodnost a zisk.

Počet vyráběných kusů:	$Q = 20\,000 \text{ ks.rok}^{-1}$
Hmotnost polotovaru pro kování ($\varnothing 50-100$):	$m_{pk} = 1,541 \text{ kg}$
Hmotnost výkovku:	$m_v = 1,349 \text{ kg}$
Hmotnost polotovaru pro obrábění ($\varnothing 90-40$):	$m_{po} = 1,998 \text{ kg}$
Hmotnost obrobeného dílce:	$m_D = 0,586 \text{ kg}$
Cena 1 kg oceli C45:	$c_{mat} = 44,87 \text{ Kč}$
Výkupní cena ocelového odpadu:	$c_{oo} = 3,80 \text{ Kč.kg}^{-1}$
Výkupní cena třískového odpadu:	$c_{to} = 1,80 \text{ Kč.kg}^{-1}$
Výrobní čas jedné součásti při výrobě obráběním:	$t_o = 23,5 \text{ min}$
Výrobní čas jedné součásti při výrobě kováním:	$t_k = 5,7 \text{ min}$
Výrobní čas jedné součásti při dokončování obráběním:	$t_{do} = 12,8 \text{ min}$
Hodinová mzda výrobního dělníka:	$M_{vd} = 88,10 \text{ Kč}$

4.1 Náklady na výrobu obráběním

- **Materiálové náklady**

Náklady na jeden kus polotovaru N_p :

$$N_p = c_{mat} \cdot m_{po} = 44,87 \cdot 1,998 = 89,65 \text{ Kč} \quad (4.1)$$

Náklady na celou sérii N_s :

$$N_s = N_p \cdot Q = 89,65 \cdot 20000 = 1793005,20 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

- **Mzdy výrobních dělníků**

Mzda výrobního dělníka pro jeden kus M_k :

$$M_k = \frac{t_o}{60} \cdot M_{vd} = \frac{23,5}{60} \cdot 88,10 = 34,51 \text{ Kč} \quad (4.3)$$

Mzda výrobního dělníka pro celou sérii M_s :

$$M_s = M_k \cdot Q = 34,51 \cdot 20000 = 690166,67 \text{ Kč} \quad (4.4)$$

- **Vratný odpad**

Odpad z jednoho kusu o_k :

$$o_k = m_{po} - m_D = 1,998 - 0,586 = 1,412 \text{ kg} \quad (4.5)$$

Odpad z celé série o_s :

$$o_s = o_k \cdot Q = 1,412 \cdot 20000 = 28240 \text{ kg} \quad (4.6)$$

Zisk z vratného třískového odpadu z_o :

$$z_o = o_s \cdot c_{to} = 28240 \cdot 1,80 = 50832,00 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

- **Dílenská režie**

Dílenská režie pro obrábění činí 650 % mezd výrobních dělníků.

Dílenská režie D_r :

$$D_r = \frac{650}{100} \cdot M_s = \frac{650}{100} \cdot 690116,67 = 4485758,33 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

- **Podniková režie**

Podniková režie pro obrábění činí 200 % mezd výrobních dělníků.

Podniková režie P_r :

$$P_r = \frac{200}{100} \cdot M_s = \frac{200}{100} \cdot 690116,67 = 1380233,34 \text{ Kč} \quad (4.9)$$

- **Zvláštní náklady**

Do zvláštních nákladů N_z jsou zahrnuty náklady na nákup obráběcích nástrojů, pomocných náradí a provozních kapalin.

$$N_z = 52000 \text{ Kč}$$

4.2 Náklady na výrobu zápusťkovým kováním a obráběním

- **Materiálové náklady**

Náklady na jeden kus polotovaru N_p :

$$N_p = c_{mat} \cdot m_{pk} = 44,87 \cdot 1,541 = 69,14 \text{ Kč} \quad (4.10)$$

Náklady na celou sérii N_s :

$$N_s = 69,14 \cdot 20000 = 1382893,40 \text{ Kč}$$

- **Mzdy výrobních dělníků pro kování**

Mzda výrobního dělníka pro jeden kus M_k :

$$M_k = \frac{t_k}{60} \cdot M_{vd} = \frac{5,7}{60} \cdot 88,10 = 8,37 \text{ Kč}$$

Mzdy výrobního dělníka pro celou sérii M_s :

$$M_s = 8,37 \cdot 20000 = 167390,00 \text{ Kč}$$

- **Mzdy výrobních dělníků pro obrábění (dokončování)**

Mzda výrobního dělníka pro jeden kus M_k :

$$M_k = \frac{t_{do}}{60} \cdot M_{vd} = \frac{12,8}{60} \cdot 88,10 = 18,79 \text{ Kč}$$

Mzdy výrobního dělníka pro celou sérii M_s :

$$M_s = 18,79 \cdot 20000 = 375893,33 \text{ Kč}$$

- **Celkové mzdy**

Celková mzda M_c je dána součtem kovací a obráběcí mzdy:

$$M_c = 167390 + 375893,33 = 543283,33 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

- **Vratný odpad z kování**

Odpad z jednoho kusu o_k :

$$o_k = 1,541 - 1,349 = 0,192 \text{ kg}$$

Odpad z celé série o_s :

$$o_s = 0,192 \cdot 20000 = 3840 \text{ kg}$$

Zisk z vratného odpadu po kování z_o :

$$z_o = o_s \cdot c_{oo} = 3840 \cdot 3,80 = 14592,00 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

- **Vratný odpad z obrábění (dokončování)**

Odpad z jednoho kusu o_k :

$$o_k = 1,349 - 0,586 = 0,763 \text{ kg}$$

Odpad z celé série o_s :

$$o_s = 0,763 \cdot 20000 = 15260 \text{ kg}$$

Zisk z vratného odpadu po kování z_o :

$$z_o = 15260 \cdot 1,80 = 27468,00 \text{ Kč}$$

- **Celkový odpad**

Celkový odpad o_c je dán součtem odpadu z kování a odpadu z obrábění.

$$o_c = 3840 + 15260 = 19100 \text{ kg} \quad (4.13)$$

- **Celkový zisk z odpadu**

Celkový zisk z odpadu z_c je dán součtem zisku z odpadu po kování a odpadu po obrábění.

$$z_c = 14592 + 27468 = 42060,00 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

- **Dílenská režie pro kování**

Dílenská režie pro kování činí 1000 % mezd výrobních dělníků.

Dílenská režie D_r :

$$D_r = \frac{1000}{100} \cdot M_s = \frac{1000}{100} \cdot 167390 = 1673900,00 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

- **Dílenská režie pro obrábění (dokončování)**

Dílenská režie D_r :

$$D_r = \frac{650}{100} \cdot 375893,33 = 2443306,65 \text{ Kč}$$

- **Celková dílenská režie**

Celková dílenská režie D_{cr} je dána součtem dílenské režie pro kování i obrábění:

$$D_{cr} = 1673900 + 2443306,65 = 4117206,65 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

- **Podniková režie pro kování**

Podniková režie pro kování činí 200 % mezd výrobních dělníků.

Podniková režie P_r :

$$P_r = \frac{200}{100} \cdot 167390 = 334780,00 \text{ Kč}$$

- **Podniková režie pro obrábění (dokončování)**

Podniková režie D_r :

$$P_r = \frac{200}{100} \cdot 375893,33 = 751786,66 \text{ Kč}$$

- **Celková podniková režie**

Celková podniková režie P_{cr} je dána součtem podnikové režie pro kování i obrábění:

$$P_{cr} = 334780 + 751786,66 = 1086566,66 \text{ Kč} \quad (4.17)$$

- **Zvláštní náklady**

Do zvláštních nákladů N_z jsou zahrnuty náklady na výrobu zápustek a nákup obráběcích, ostříhovacích a děrovacích nástrojů.

$$N_z = 420000 \text{ Kč}$$

4.3 Porovnání nákladů

Srovnání technicko – ekonomických ukazatelů přibližuje tab. 19.

Tab. 19 Srovnání technicko – ekonomických ukazatelů

technologie	obrábění	zápustkové kování
Počet vyráběných dílů [ks]	20 000	20 000
spotřeba materiálu [kg.ks ⁻¹]	1,998	1,541
hmotnost odpadu[kg]	28 240	19 100
Pracnost [min.ks ⁻¹]	23,5	18,5

Tab. 20 Přehled nákladů na výrobu řetězového kola

typ nákladů	náklady [Kč]		úspory zápustkového kování [Kč]
	obrábění	zápustkové kování	
materiál	1 793 005,20	1 382 893,40	410 111,80
mzdy výrobních dělníků	690 116,67	543 283,33	146 833,34
vratný odpad	- 50 832,00	- 42 060,00	8 772,00
dílenská režie	4 485 758,33	4 117 206,65	368 551,68
podniková režie	1 380 233,34	1 086 566,66	293 666,68
zvláštní	52 000,00	420 000,00	- 368 000,00
celkové	8 350 281,54	7 507 890,04	842 391,50
na jeden kus	417,50	375,40	42,10

Z tab. 20 lze pozorovat náklady na výrobu součásti technologií třískového obrábění a výrobu technologií zápustkového kování. Při kování v zápustkách dochází k větší úspoře materiálu a ke zkrácení výrobních časů. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena nástrojů, proto je tato technologie vhodná výhradně pro série o velikosti několika desítek tisíc kusů za rok.

5 ZÁVĚRY

Vyráběnou součástí je řetězové kolo, které je součástí převodového ústrojí stavebního stroje. Cílem bylo analyzovat možné způsoby výroby této součásti, z nichž nejvýhodnější výrobní variantou je zápusťkové kování. Řetězové kolo je vyráběno z oceli C45, která se vyznačuje dobrou obrobiteľnosťou a výbornou tvarovou stabilitou při tepelném zpracování.

Součástí návrhu výkovku byla volba dělicí roviny, přídatků na obrábění i přídatků technologických. Mezní úchytky rozměrů a tvarů byly určeny na základě zařídění výkovku dle tvarové složitosti. Polotovarem pro výrobu zápusťkovým kovááním je přístřih o průměru 50 mm a délce 100 mm, který je získán stříháním na strojních nůžkách TNS 63. Přístřih o hmotnosti 1,54 kg bude ohříván v kompaktním středofrekvenčním ohříváči KSO 250/4 - A25 o výkonu 250 kW. Kovací síla byla stanovena čtyřmi různými způsoby, z nichž nepřesnější je výpočet podle Tomlenova. Její velikost při dokončovací operaci činí 13 MN.

Tvářecím strojem pro výrobu byl zvolen svislý kovací lis LMZ 1600 P/SH o jmenovité síle 16 MN. Kovací proces se skládá ze tří operací – pýchování, předkování a dokování. Přebytkový materiál vytečený do výronkové drážky a technologický přídatok v podobě blány budou odstraněny na ostřihovacím lise LKOA 200 o jmenovité síle 2 MN. Výkovek bude tepelně zpracován normalizačním žiháním pro zajištění jemnozrnné mikrostruktury a zlepšení mechanických vlastností. Kovací zápusťky budou vyrobeny z nástrojové oceli ČSN 19 650 a jejich konstrukce vychází z volby kovacího stroje. Součástí dokovací zápusťky budou tři kolíkové vyhazovače, jejichž rozměry stanovuje norma ČSN 22 8306. Pro výkres součásti a kovací nástroje byla zpracována náležitá výkresová dokumentace.

Posledním bodem bylo porovnání výroby řetězového kola obráběním a zápusťkovým kovááním. Podstatnými ekonomicko – technickými ukazateli jsou náklady na výrobu nebo nákup nástrojů, materiálové náklady, mzdy výrobních dělníků a dílenské a podnikové režie. Při výrobní sérii 20 000 ks ročně dochází při výrobě zápusťkovým kovááním k úspoře až 842 392 Kč. Kování je vhodné zejména pro dosažení deformačního zpevnění materiálu, kterého nelze dosáhnout jinými výrobními postupy.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [40]

1. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1965, 730 s. ISBN 04-223-65.
2. Digitální učební materiály – Ruční tváření plechů. *Coptel* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=38835&revision=-1&instance=2>
3. LENFELD, Petr. *Technologie II* [online]. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009 [cit. 2019-04-05]. ISBN 978-80-7372-466-5. Dostupné z: www.digitalniknihovna.cz/mzk/view/uuid:e5ff7880-eca9-11e3-a2c6005056827e51?page=uuid:ba694fd0-ff4f-11e3-9806-005056825209
4. Forging Services. *Arc United Corporation* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.arcunited.com/forging.html>
5. Metal Hardware. *MadeinChina.com* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: https://es.made-in-china.com/co_hshengmic1015/image_Casting-Parts-Forging-Parts-Steel-Casting-Forging-Product-Die-Casting-Products_eyhyoiug_BZhQnMKtLcqk.html
6. Forged Components. *Everbright Machinery* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: https://es.made-in-china.com/co_hshengmic1015/image_Casting-Parts-Forging-Parts-Steel-Casting-Forging-Product-Die-Casting-Products_eyhyoiug_BZhQnMKtLcqk.html
7. Přehled vlastností oceli C45. *Bolzano* [online]. 2019 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-c45>
8. ČSN 12 050. *JKZ Bučovice, a.s.* [online]. 2019 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/konstrukcni-oceli/csn-12-050-11191-c45/>
9. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
10. SEDLÁK, J. a PÍŠA, Z. *Rapid Prototyping master modelů pomocí CAD/CAM systémů*. In Mezinárodní vědecká konference 2005. Ostrava: VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 07.09.2005-09.09.2005. 30 s. ISBN: 80-248-0895-1.
11. Top Tips for Saving Money with Rapid Prototyping. *Electronic Design* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.electronicdesign.com/automotive/top-tips-saving-money-rapid-prototyping>
12. Odlewnia Zeliwa. *Picswe* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://picswe.net/pics/odlewnia-zeliwa-35.html>

13. Precision Machining. *Las Vegas Machine and Fabrication* [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://lasvegasmachineandfab.com/precision-machining-las-vegas/#prettyPhoto>
14. Global Forging Market. *Forging* [online]. 2016 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.forgingmagazine.com/forging-industry-reports/global-forging-market-2016-2020-report-released>
15. LIDMILA, Zdeněk, 2008. *Teorie a technologie tváření II*. Brno: Univerzita obrany. ISBN 978-80-7213-580-2.
16. GAJDOŠ, František. *Technologie tváření kovů* [online]. 43 s. [cit. 2019-04-14]. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/5te_technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf
17. DVOŘÁK, Milan 2001. *Technologie. II*. Brno: CERM, 238 s. ISBN 802-214-203-14.
18. HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNÍČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepelná Technika* [online]. Praha: České Vysoké Učení Technické v Praze, 2011, 266 s. [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/cvut-3-elektrotepelnna.pdf>
19. Roboterm Chotěboř [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.roboterm.cz/>
20. Induction Heating. *Ibertronix* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://ibertronix.com/en/aplications/induction-heating>
21. ČERMÁK, Jan. *Technologický postup zápusťkového kování: Podklady pro předmět Projekt 1 – část kování* [online]. 2. opravené. vyd. Praha: ČVUT v Praze – odbor tváření slévání a svařování, 2004 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/Uploads/vykovek-zadani.pdf>
22. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření. Studijní opory pro kombinované studium* [online]. Brno: Vysoké Učení Technické v Brně, 2006 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/cvut-3-elektrotepelnna.pdf>
23. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
24. ČADA, Radek, Jakub MACHÁLEK a Barbora FRODLOVÁ. *Týmová cvičení předmětu Technologie tváření a slévání: návody do cvičení předmětu "Technologie tváření a slévání"*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN ISBN978-80-248-2718-6.
25. Šmeral [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/index.html>

26. ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápusťkové: Přídavky na obrábění, mezní úchylky rozměrů a tvarů*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986, 22 s. MDT 621.73.043.
27. LIDMILA, Zdeněk, *Přípravky a nástroje: Prezentace*
28. ČSN 42 9002. *Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1968, 36 s. DT 669-134:621.73.043.
29. ČSN EN 10243-1. *Ocelové zápusťkové výkovky – Mezní úchylky rozměrů – Část 1: Výkovky kované na bucharech a svislých kovacíh lisech*. Praha: Český normalizační institut, 2003, 40 s.
30. ČSN 22 8306. *Zápusťky pro svislé kovací lisy*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1990, 39 s. MDT 669.35-4.
31. BRJUCHAROV, Andrej Nikolajevič a A. V. REBEL'SKIJ. *Zápusťkové kování: konstrukce a výpočet nástrojů: určeno pro kovárenské techniky a studující*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956. 352 s. ISBN 56/III-4(B3).
32. ČERMÁK, Jan. *Základy konstrukce zápusťek: Podklady pro předmět Projekt 2 – část kování* [online]. 2. opravené. vyd. Praha: ČVUT v Praze – odbor tváření slévání a svařování, 2004 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://members.marticonet.sk/jkuba/Prierezoblas%C5%A5ou/zaklady_konstrukce_za_pustek.pdf
33. Prodej a dělení hutních materiálů. *Kondor* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/deleni-tycoveho-materialu/t-155/>
34. Dělička tyčového materiálu za studena. *Katalog obráběcích a tvářecích strojů* [online]. Ústav strojírenské technologie VUT. Brno [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/stns63_1.html
35. Indukce. *Roboterm Chotěboř* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.roboterm.cz/reference/indukcni-ohrivace/kso-do-630-kw/kompaktni-stredofrekvencni-ohrivac-kso-250/4-a25>
36. Ostříhovací lisy. *Šmeral* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/ostrihovaci_lisy.html
37. LIDMILA, Zdeněk, *Technologické procesy: Podklady do cvičení*
38. Ocel kruhová za tepla – C45.0. *Kondor* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/ocel-kruhova-za-tepla-c450/c-1547/>
39. Cena železa a železného šrotu. *Barko* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.druhotnesuroviny.cz/cenik-kovu/cenik-zeleza-zelezneho-srotu.htm>
40. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost	[%]
A _i	velikost plochy pod křivkou napětí	[MPa.mm]
B	šířka výkovku	[mm]
b	šířka můstku	[mm]
b _n	šířka průřezu	[mm]
b _v	šířka otřepu v zásobníku	[mm]
C ₀	součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku	[-]
c _{mat}	cena 1 kg oceli C45	[Kč]
c _{oo}	výkupní cena ocelového odpadu	[Kč.kg ⁻¹]
c _{to}	výkupní cena třískového odpadu	[Kč.kg ⁻¹]
D	největší průměr výkovku ve směru kolmo k rázu	[mm]
D _C	průměr výkovku s můstkem	[mm]
D _{cr}	celková dílenská režie	[%]
D _{pol}	průměr polotovaru	[mm]
D _r	dílenská režie	[%]
D _v	průměr výkovku bez výronku v dělicí rovině	[mm]
d	největší průměr otvoru	[mm]
d _s	největší průměr součásti kolmo k rázu	[mm]
F _{BR}	tvářecí síla podle Brjuchanov – Rebelského	[N]
F _n	síla od normálových napětí	[N]
F _S	tvářecí síla podle Storoževa	[N]
F _{sb}	střížná síla pro děrování blány	[N]
F _{sv}	střížná síla pro ostříhnutí výronku za dokovací teploty	[N]
F _T	tvářecí síla podle Tomlenova	[N]
F _t	síla od tangenciálních napětí	[N]
f	šířka části výkovku	[mm]
H	největší výška výkovku	[mm]
H ₁	nejmenší tloušťka dna, blány, disku	[mm]
H _D	hloubka dutiny spodní zápustky	[mm]
h	výška můstku, stěny nebo žebra	[mm]
h ₁	polovina výšky otvoru	[mm]
h _n	výška průřezu	[mm]
h _s	největší výška součásti	[mm]
k _p	základní přetvárný odpor	[MPa]
L	délka výkovku	[mm]
L _{pol}	délka polotovaru	[mm]
M _c	celková mzda	[Kč]
M _k	mzda výrobního dělníka pro jeden kus	[Kč]
M _s	mzda výrobního dělníka pro sérii	[Kč]
M _{vd}	hodinová mzda výrobního dělníka	[Kč]
m _D	hmotnost obrobeného dílce	[kg]
m _{pk}	hmotnost polotovaru pro kování	[kg]
m _{po}	hmotnost polotovaru pro obrábění	[kg]
m _v	hmotnosti výkovku	[kg]
N _p	náklady na jeden kus polotovaru	[Kč]
N _s	náklady na sérii	[Kč]
N _z	zvláštní náklady	[Kč]
n	hloubka zásobníku	[mm]
o	obvod výkovku bez výronku v dělicí rovině	[mm]
O _b	obvod kovací blány	[mm]
O _c	celkový odpadu	[kg]
O _k	odpad z jednoho kusu	[kg]

O_s	odpad z celé série	[kg]
P_{cr}	celková podniková režie	[%]
P_r	podniková režie	[%]
Q	počet vyráběných kusů	[ks.rok ⁻¹]
R	poloměr zaoblení přechodů	[mm]
R_1	poloměr kružnice	[mm]
R_2	poloměr kružnice	[mm]
R_{dr}	poloměr zaoblení přechodu tvaru dutiny zápustky	[mm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{mst}	pevnost materiálu ve stříhu při dokončovací teplotě	[MPa]
R_{mT}	pevnost materiálu za kovací teploty	[MPa]
r	poloměr zaoblení hran	[mm]
S	ukazatel členitosti tvaru	[-]
S'	povrch bočních stěn dutiny v pohybující se zápustce	[mm ²]
S_v	obsah plochy výkovku bez výronku	[cm ²]
S_{VM}	průmět plochy výkovku s můstkem do dělicí roviny	[cm ²]
$S_{výr}$	průmět plochy výronku v šířce můstku do dělicí roviny	[mm ²]
s	tloušťka blány	[mm]
s_{max}	maximální tloušťka blány	[mm]
s_{min}	minimální tloušťka blány	[mm]
t_{do}	výrobní čas jedné součásti při dokončování obráběním	[min]
t_o	výrobní čas jedné součásti při výrobě obráběním	[min]
t_k	výrobní čas jedné součásti při výrobě kování	[min]
V_o	objem obalového tělesa	[mm ³]
V_{opal}	objem opalu	[mm ³]
V_{pol}	objem polotovaru	[mm ³]
V_v	objem výkovku	[mm ³]
$V_{výk}$	objem výkovku bez výronku	[mm ³]
$V_{výr}$	objem výronku	[mm ³]
x_i	vzdálenost těžiště plochy od osy výkovku	[mm]
Z_c	celkový zisk	[Kč]
Z_o	zisk z vratného třískového odpadu	[Kč]
λ	štíhlostní poměr	[-]
σ	napětí v bodě 0	[MPa]
σ_{n-1}	napětí v předchozím bodě průřezu	[MPa]
ρ	měrná hmotnost materiálu	[kg.m ⁻³]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Výrobky zhotovené zápustkovým kováním [4], [5], [6]	8
Obr. 2 Nákres řetězového kola	9
Obr. 3 Výrobky zhotovené metodou Rapid Prototyping [11]	10
Obr. 4 Odlévání oceli [12]	10
Obr. 5 Obrábění [13]	11
Obr. 6 Zápustkové kování [14]	11
Obr. 7 Schéma zápustkového kování [17]	12
Obr. 8 Průběh vláken v oceli [3]	12
Obr. 9 Kovací teploty uhlíkových ocelí [9]	12
Obr. 10 Indukční ohřev [20]	13
Obr. 11 Pneumaticko-hydraulický buchar KHZ 4A firmy Šmeral Brno a.s. [25]	14
Obr. 12 Svislý kovací lis LMZ 1000 P/SH firmy Šmeral Brno a.s. [25]	15
Obr. 13 Přídavky výkovku [17]	15
Obr. 14 Umístění dělicí roviny [24]	16
Obr. 15 Zaoblení hran a přechodů [26]	17
Obr. 16 Tvar blány v předkovaném otvoru [15]	18
Obr. 17 Nejmenší rozměry výkovku [26]	19
Obr. 18 Rozdělení výkovku dle tvarové složitosti [28]	20
Obr. 19 Typy výronkových drážek [30]	23
Obr. 20 Konstrukce vyhazovače [30]	23
Obr. 21 Model řetězového kola	26
Obr. 22 Model výkovku	26
Obr. 23 Poloha dělicí roviny	26
Obr. 24 Nomogram pro stanovení výšky můstku [30]	28
Obr. 25 Grafické znázornění nárůstu normálových napětí v průřezech výkovku	32
Obr. 26 TNS 63 [34]	33
Obr. 27 KSO 250/4 – A25 [35]	34
Obr. 28 LZK 1600 P/SH [25]	34
Obr. 29 LKOA 200 [36]	34
Obr. 30 Rozměry zápustek [37]	35

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přehled vlastností oceli C45 [7], [8]	9
Tab. 2 Přídavky na obrábění ploch pro obvyklé provedení [26]	16
Tab. 3 Zaoblení hran a přechodů [26].....	17
Tab. 4 Velikost úkosů [26]	18
Tab. 5 Nejmenší tloušťka dna, blány, disku H_1 a stěny s výkovku [26].....	19
Tab. 6 Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení [26]	20
Tab. 7 Mezní úchytky zaoblení přechodů R a hran r [26]	21
Tab. 8 Určení tvarového stupně obtížnosti kování [15].....	21
Tab. 9 Základní přetvárný odpor k_p pro teploty kování [30]	24
Tab. 10 Pevnost R_{mT} oceli 12 050 za kovacíh teplot [30].....	25
Tab. 11 Plochy a těžiště pod křivkou napětí [30]	31
Tab. 12 Přehled výsledných tvářecích sil	33
Tab. 13 Parametry strojních nůžek TNS 63 [34]	33
Tab. 14 Parametry ohřívače KSO 250/4 – A25 [35]	34
Tab. 15 Parametry svislého kovacího lisu LZK 1600 P/SH [25]	34
Tab. 16 Parametry ostříhovacího lisu LKOA 200 [36]	34
Tab. 17 Parametry kovací linky [37]	35
Tab. 18 Technologický postup kování.....	36
Tab. 19 Srovnání technicko – ekonomických ukazatelů	40
Tab. 20 Přehled nákladů na výrobu řetězového kola.....	40

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Rozdělení výkovku dle tvarové složitosti [22]
- Příloha 2 Mezní úchytky a tolerance rozměrů [20]
- Příloha 3 Nomogram pro určení kovací síly [24]
- Příloha 4 Schéma postupu kování

SEZNAM VÝKRESŮ

ŘETĚZOVÉ KOLO	BP_2019_001
ŘETĚZOVÉ KOLO - VÝKOVEK	BP_2019_002
DOKONČOVACÍ ZÁPUSTKA	BP_2019_003
KOVACÍ ZÁPUSTKY	BP_2019_004