



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA OKA

MANUFACTURING OF EYE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Skalník

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Petr Skalník
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
Akademický rok:	2016/17

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

Výroba oka

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby oka z oceli. Součástka je prostorového tvaru a bude vyráběna technologií zápustkového kování. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost oka,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj včetně základní výkresové dokumentace,
- provést technicko–ekonomické hodnocení.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

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

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

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

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

HÝSEK, Rudolf. Tvářecí stroje 1971. 1. vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1972.

HAŠEK, Vladimír. Kování. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s.

PRIMUS, František. Teorie objemového tváření. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1990. s. 250.

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

SKALNÍK Petr: Výroba oka

Práce se zabývá návrhem technologie výroby oka, které bude vyráběno zápusťkovým kovááním z nízkolegované oceli 13 242. Roční produkce je stanovena na 300 000 kusů. Na základě literární studie problematiky a výpočtů bude výkovek zhotoven pomocí bucharu, a to několika údery v dokončovací dutině. Vzhledem k výpočtům kovací práce je zvolen pneumaticko-hydraulický buchar KHZ – 2A o jmenovité energii 20 kJ. Zápusťka je vyrobena z nástrojové oceli 19 663 tepelně zpracované podle výkresové dokumentace. Technicko-ekonomické zhodnocení bylo zaměřeno na výpočet nákladů na materiál polotovaru (3 323 109,40 Kč) a ceny kovací nástrojů pro roční produkci (930 000 Kč).

Klíčová slova: Ocel 13 242, zápusťkové kováání, buchar KHZ – 2A, kovací práce, zápusťka

ABSTRACT

SKALNÍK Petr: Manufacturing of eye

The project follows up design of technology manufacturing of eye, which will be made by drop forging from low-alloyed steel 13 242. Yearly production is set on 300 000 pieces. Pursuant to of the literary pursuit problem and calculations will be the forging made on a hammer with several hits in the finishing hollow. Regarding to calculations of forging work is elected pneumatic-hydraulic power hammer KHZ – 2A with energy of 20 kJ. Die is made of tool steel 19 663 heat-worked according to drawing documentation. Technical and economical evaluation was aimed on a calculation of production expenses of semi-produced material (3 323 109,40 CZK) and on price of the forging machines for yearly production (930 000 CZK).

Keywords: 13 242 steel, drop forging, hammer KHZ – 2A, forging work, die

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SKALNÍK, Petr. *Výroba oka*. Brno, 2017. 43 s, 4 výkresů, 1 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, 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 24.5.2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za plnou podporu.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI	10
1.1 Variantní řešení	11
2 ZÁPUSTKOVÉ KOVANÍ	14
2.1 Návrh výkovku	16
2.2 Práce	18
2.3 Stroje	19
2.4 Nástroje – zápustky	20
2.4.1 Výronková drážka	20
2.4.2 Vedení a upínání	21
2.5 Technologičnost zápustkových výkovků	23
3 NÁVRH VÝROBY	24
4.1 Určení mezních úchylek	27
4.2 Tvar a velikost výronkové drážky	29
4.3 Polotovar	30
4.4 Volba stroje	32
4.5 Volba nástroje – zápustky	34
4.6 Odstřihování a děrování	38
4.7 Technologický postup	39
5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	41
6 ZÁVĚRY	43

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [2], [17], [18], [37], [41].

Mezi nejvýznamnější metody výroby se řadí objemové tváření za tepla, které podstatně ovlivňuje hospodárnost a produktivitu výroby strojírenského průmyslu. Jedná se o proces, při kterém je tvářený materiál ohříván nad teplotu rekrystalizace. Hlavním důvodem použití této technologie je odstranění hrubé lící struktury. Zhotovená součást má jiné mechanické vlastnosti než materiál polotovaru vlivem změny mikrostruktury a makrostruktury.

Objemové tváření za tepla, které je známo několik tisíc let, lze rozdělit na kování nebo válcování. Nejznámější z těchto metod je technologie kování, mezi jejíž přednosti patří příznivý průběh vláken, spotřeba materiálu, snadná obsluha stroje, přesnost výkovku a ekonomičnost provozu. Jedná se o způsob výroby, kdy se polotovar tváří za tepla, prostřednictvím úderů nebo klidně působící silou pomocí stroje – bucharu nebo lisu. Výsledná struktura materiálu je charakterizována stupněm prokovaní, jehož hodnota udává velikost odstraněné nestejnorodé hrubé lící struktury.

Zápustkové kování se používá v sériové a hromadné výrobě součástí z oceli nebo jiných tvárných slitin. Ohřátý materiál je tvarován uvnitř dutiny nástroje (zápustky), který má negativní tvar budoucího výkovku zvětšeného o smrštění materiálu vlivem chladnutí. Zhotovené součásti mají široký rozsah hmotností a tvarů. Příklady vyrobených výkovků lze vidět na obr. 1.

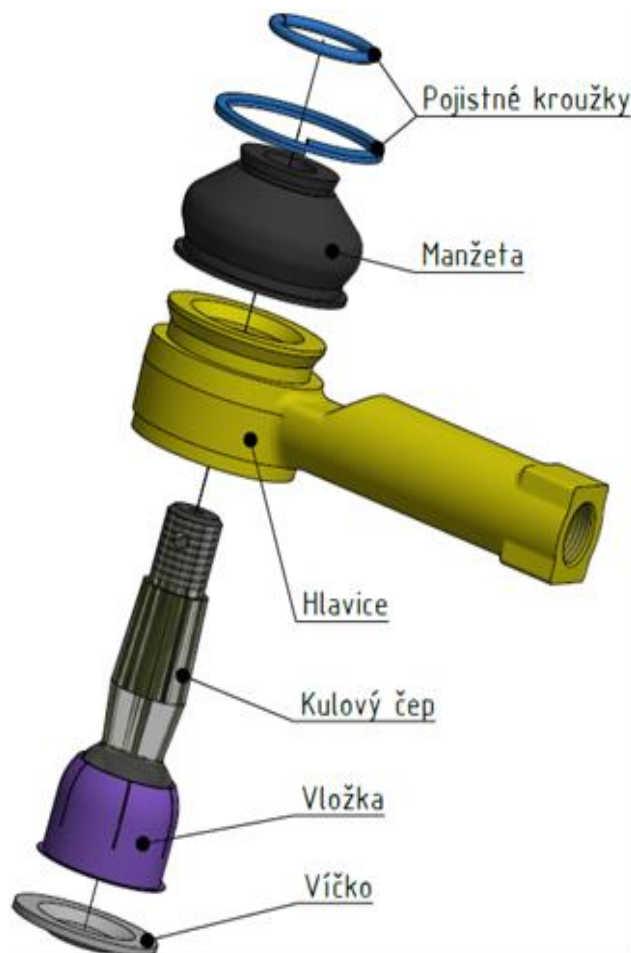


Obr. 1 Příklady výkovků vytvořených zápustkovým kováním [33], [44]

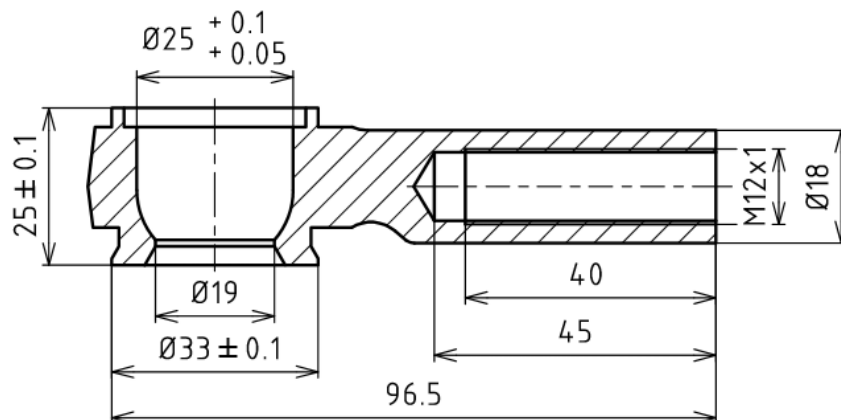
1 ROZBOR SOUČÁSTI [4], [11], [19], [34],

Řešená součástka je hlavice (obr. 2 žlutě) vnějšího kulového kloubu, který se používá u motorových vozidel pro výkyv předních kol, kdy je pevně našroubován k postranní řídicí tyči a prostřednictvím kuželové dosedací plochy zapadá do páky řízení. Kuželové dosedací plochy jsou upevněny pomocí korunkové matice M12x1,25 a pojištěny závlačkou 3,25x25. Celá sestava kloubu se skládá z hlavice, kulového čepu, protiprachové manžety, spodního víčka, polyetylenové vložky a pojistných kroužků. Spodní víčko je nalisováno do hlavice, ve které je kulový čep v polyetylenové vložce. Tento celek tvoří nerozebíratelný kulový kloub se třemi stupni volnosti (otáčení kolem tří os). Klouby mají trvalou mazací náplň, která je chráněna před prachovými částicemi manžetou připevněnou na hlavici a kulovém čepu pomocí pojistných kroužků.

Vyráběnou součást lze rozdělit na dva základní tvary, a to na pouzdro kulového čepu a průměr obsahující neprůchozí otvor se závitem pro spojení s řídicí tyčí. Osy obou částí jsou navzájem kolmé. Základní rozměry hlavice jsou znázorněny na obr. 3. Nepředepsané mezní úchytky rozměrů a geometrické tolerance vyráběné součásti jsou dle ČSN ISO 2768- mL. Pouzdro obsahuje průchozí otvor s kulovým zaoblením zabraňující pohybu kulového čepu. Na jedné straně vnějšího průměru pouzdra je zápich pro uchycení protiprachové manžety pomocí pojistného kroužku. Průměr kolmý na osu pouzdra obsahuje neprůchozí otvor se závitem M12x1.



Obr. 2 Sestava kulového kloubu



Obr. 3 Základní rozměry hlavice

Hlavice kulového kloubu je při jízdě motorového vozu dynamicky namáhána, a proto musí materiál prokazovat vyšší pevnost a odolnost proti opotřebení. Těmto vlastnostem vyhovují oceli třídy 13. Pro zadanou součást je zvolena nízkolegovaná ocel 13 242, která se používá pro středně namáhané strojní součásti a je velmi dobře tvárná. V zušlechtěném stavu se vyznačuje dobrou odolností proti opotřebení a prokalitelností. Obrobitelnost může být po tváření ztížena vlivem vysoké pevnosti, proto lze využít žihání na měkko. Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli je podrobně popsáno v tab.1 a 2.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli 13 242 [11]

Mechanické vlastnosti v zušlechtěném stavu				
R _m	R _e	A _{min}	Z _{min}	KV _{min}
[MPa]	[MPa]	[%]	[%]	[J]
900 - 1280	680 - 890	10 - 12	30 - 40	39

Tab. 2 Chemické složení oceli 13 242 [11]

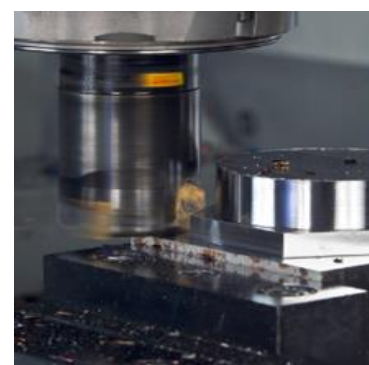
Prvek	C	Si	Mn	P	S	V
Chem. složení v hm. %	0,36 - 0,46	max. 0,4	1,5 - 2	max. 0,035	max. 0,035	0,1-0,15

Vzhledem k použití v prašném a korozním prostředí s vlivem soli se musí povrch součásti chránit pomocí povrchové úpravy. Vysokou hodnotu ochranného účinku splňuje zinkování společně s chromátováním. Jako vhodná povrchová vrstva pro danou součást se jeví tzv. žlutý chromát. Na povrch se chromát nanese na zinkový povlak, což vede ke zlepšení jeho vlastností a vyznačuje se tzv. samohojivým efektem – malé poškození této vrstvy se částečně regeneruje a tím plní vysokou ochranu povrchu. Žlutý chromát se vyznačuje značnou korozní odolností i proti parám organických sloučenin.

1.1 Variantní řešení [14], [17], [24], [26], [36], [38],

Pro výrobu zadané součásti lze použít více metod výroby. Důležité faktory pro volbu vhodné metody jsou tvar součásti, jakost povrchu, mechanické vlastnosti a roční produkce, která činí 300 000 kusů za rok. Z hlediska tvaru a přesnosti rozměrů součásti se hlavice musí vždy do-obrobit. V úvahu připadají:

- Třískové obrábění (obr. 4) – pracovní proces, při kterém je odebrán přebytečný materiál nástrojem z povrchové vrstvy polotovaru k získání požadovaného tvaru, rozměrové přesnosti a jakosti obrobených ploch konečné součásti. Obrábění dosahuje vysoké přesnosti povrchu, při speciálních dokončovacích obráběních se docílí přesnosti menší než IT 5. Chemické složení a fyzikální vlastnosti obráběného materiálu mají vliv na průběh obrábění a kvalitu výsledku procesu. Třískové obrábění se používá pro výrobu hotových součástí v kusové a malosériové výrobě. Ocel 13 242 je ve válcovaném stavu hůře obrobitelná vlivem zvýšené pevnosti. Neusměrněná vlákna nezaručují vyšší pevnost a odolnost proti opotřebení. Vzhledem k velkému množství odpadového materiálu je tato metoda ekonomicky nevhodná.



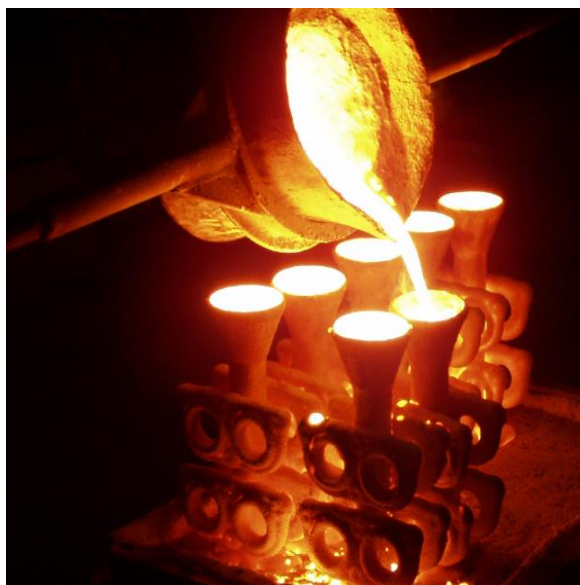
Obr. 4 Třískové obrábění [7]

- Svařování - je metoda, při které vznikne nerozebíratelné spojení kovů a jejich slitin za působení tepelné, mechanické nebo radiační energie. Na svařitelnost ocelí má největší vliv chemické složení. Pro vyrobení zadané součásti je zapotřebí svařit dva různé průměry, které jsou odděleny z tyčí, což vede k úspoře materiálu. Jako vhodná metoda svařování se pro výrobu zadané součásti jeví svařování v ochranné atmosféře MAG (obr. 5). Stykové plochy svařované součásti je nutno vhodně upravit. V okolí místa svaru vzniká tepelně ovlivněná oblast, která má negativní vliv na mechanické vlastnosti součásti. Problémem svarových spojů jsou vznikající defekty, jako jsou trhliny, vměstky, neprůvary, póry, bubliny a staženiny. Jelikož ocel 13 242 obsahuje větší množství uhlíku, je náchylnější ke vzniku trhlín za horka. Metoda je nevhodná zejména kvůli nízké produktivitě a špatné svařitelnosti oceli 13 242.



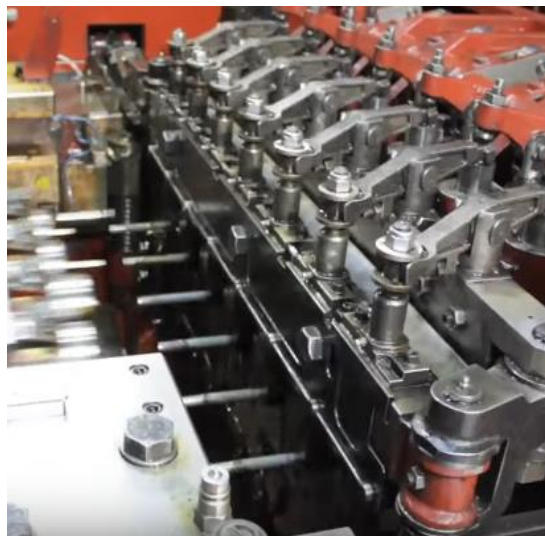
Obr. 5 Svařování MAG [27]

- Odlévání - je způsob výroby součástí, při kterém se roztavený kov nalije do formy, jejíž dutina má tvar a velikost budoucí součásti. Odlévání je vhodné pro složité tvary, které by nebylo možné vyrobít jinou technologií. Jako vhodný způsob odlévání pro výrobu zadané součásti se jeví metoda vytavitelného modelu, viz obr. 6. Při odlévání roztaveného kovu do nedělených forem vznikají odlitky s hladkým povrchem a dobrou rozměrovou přesností IT12 až IT13. Metoda je pro roční sériovost nevhodná z důvodu menší produktivity. Během odlévání a chladnutí oceli vznikají vady v odlitku (patří bubliny, staženiny, trhliny, praskliny a nezaběhnutí) způsobené špatně uspořádanou vtokovou soustavou a nestejnou tloušťkou stěn. Výsledný odlitek má hrubou lící strukturu, která nesplňuje požadovanou pevnost.



Obr. 6 Metoda vytavitelného modelu [39]

- Protlačování kovu za studena (obr. 7) – jedná se o progresivní technologii, která probíhá jako objemové tváření pod teplotou rekrytalizace. Metoda je vhodná z důvodu minimálního odpadu výchozího materiálu, snížení výrobních časů, produktivity výroby, zvýšení mechanických vlastností a nepřerušného průběhu vláken. Vyráběné součástky mají dobrou jakost povrchu a rozměrovou přesnost IT 7 až IT 8. Pro zadanou součást se tato metoda jeví jako velmi vhodná, protože dosahuje vysoké produktivity a zpevnění materiálu. Materiál 13 242 má ve válcovém stavu vyšší pevnost, což má za následek vysoký deformační odpor, který má negativní vliv na trvanlivost nástroje a vysoké nároky na samotné stroje způsobené velkými tvářecími silami.



Obr. 7 Protlačování za studena [16]

- Zápustkové kování – je tvarování materiálu v dutině zápustky za kovací teploty pomocí stroje – bucharu nebo lisu. Zápustka má tvar vyráběného předkovku s přídávky. Mezi přednosti této metody patří vysoká výrobnost, rozměrová přesnost, zhotovení tvarově složitých součástí, hospodárnost, snadná obsluha stroje a příznivý průběh vláken. Kování je značně energeticky náročné, protože se v dutině zápustky tváří celý objem výkovku najednou, viz obr. 8. Nástroj pro zápustkové kování je jednoúčelový, a tím i velice drahý. Tento způsob výroby součásti je vhodný pro zadanou roční sériovost a materiál součásti 13 242, který je dobře tvárný za tepla.



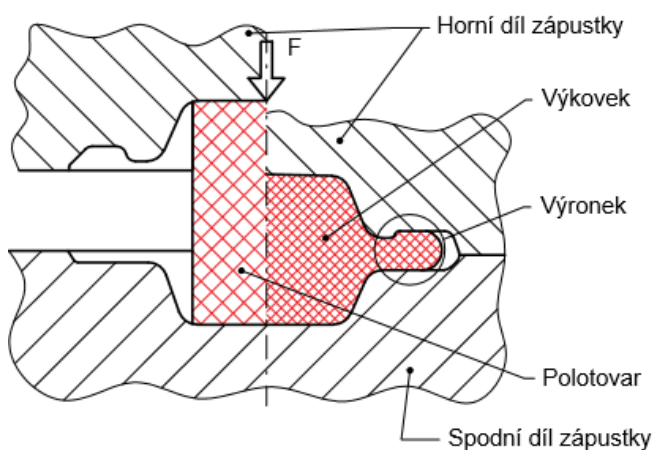
Obr. 8 Zápustkové kování [24]

Při porovnání výše popsaných technologií se jako nejvhodnější metoda výroby zadané součásti jeví zápustkové kování. Pro tento způsob výroby bude zaměřena jak teoretická, tak i praktická část práce.

Jiné metody nejsou vhodné použít z hlediska materiálu, který je špatně obrobiteľný i svařitelný. Zároveň produktivita ostatních způsobů výroby zadané součásti je neefektivní, z důvodu vyšších výrobních časů. Zápustkovým kováním se zajistí plynulý průběh vláken s dostačující pevností materiálu. Vzhledem ke tvaru součásti a vozovému parku podniku se vyráběná součást bude kovat pomocí bucharu. Pro získání finálního tvaru hlavice kulového čepu se bude vyrobený výkovek dokončovat pomocí třískového obrábění.

2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [13], [14], [17], [18], [21],

Technologie zápusťkového kování patří do objemového tváření za tepla. Jedná se o proces za kovací teploty, při kterém dochází k trvalé změně tvaru materiálu působením mechanické síly. Kováním se docílí výhodného uspořádání vláken, a tím se zlepšují mechanické vlastnosti. V řadě případů je metoda ekonomicky výhodná vzhledem k úspoře materiálu, zkrácení výrobních časů a možnosti zavedení automatizace.



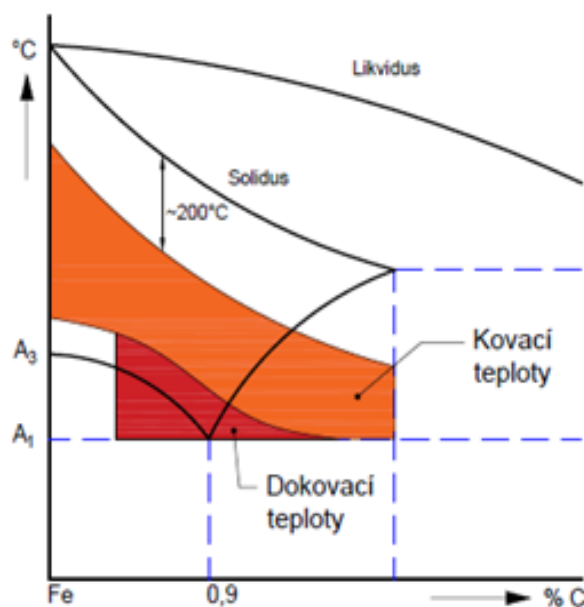
Obr. 9 Kování s výronkem [13]

polotovaru vlivem tolerancí hutních polotovárů, dělení a kovací teploty. Určitou nepřesností se vyznačuje i tvar zápusťky. Z těchto důvodů se dává do dutiny zápusťky polotovár o určitém přebytku objemu, který následně vyteče a vytvoří výronek. Po dokončení kování je výkovek protlačen přes otvor tvarové střížnice, přičemž dojde k odstrižení výronku.

Zpevnění materiálu vlivem deformace je zároveň provázeno ztrátou zpevnění způsobené rekrytalizací, takže výrobek není tvářením zpevněn. Se zvyšující teplotou klesá deformační odpor a zvyšuje se tvárnost, což má příznivý vliv na produktivitu, energetickou náročnost tváření a životnost tvářecích nástrojů.

Pro získání dobrého výrobku tvářeného za tepla je zapotřebí zvolit optimální tvářecí teploty. U uhlíkových ocelí je počáteční tvářecí teplota omezena křivkou solidu a to přibližně 200 až 300 °C pod uvedenou křivkou znázorněné na obr. 10. Po překročení těchto teplot se enormně tvoří opal a hrubé zrnko.

Spodní hranice tváření je omezena teplotou rekrytalizace, u podeutektických ocelí je tváření ukončeno nad teplotou A_{c3} a u nadeutektických ocelí je hranice eutektoidní teplota. Ohřevu na tvářecí teplotu je nutno dosáhnout za co nejkratší čas, aby nedošlo k ohrožení povrchové a vnitřní jakosti ohřívání součásti pro omezení vzniku opalu a oduhličení.



Obr. 10 Kovací teploty uhlíkových ocelí [13]

Při ohřevu polotovaru na kovací teplotu mohou vzniknout vady v materiálu. Mezi základní problémy patří:

- Oxidace a vznik okují – jsou nežádoucím jevem při ohřevu oceli v pecní atmosféře obsahující kyslík, vodní páru a oxid uhličitý. Největší podíl okují vzniká vlivem oxidace povrchové vrstvy ohřívaného tělesa při ohřevu v rozmezí kovacích teplot $850 \div 1250$ °C. Okuje na povrchu tvářeného polotovaru zhoršuje přesnost součásti a zvyšují tření, které vede ke zhoršení stavu napjatosti, a to má za následek rychlejší opotřebení nástroje.
- Oduhličení povrchové vrstvy – vzniká stejným způsobem jako oxidace vlivem vodní páry a oxidu uhličitého, což se projeví zhoršením vlastností povrchu součásti. Oduhličené povrchové vrstvy mají sníženou pevnost a tvrdost. Přísadový prvek chrom potlačuje aktivitu uhlíku v austenitu, a tím snižuje oduhličení. Opačnou reakci způsobují prvky molybden, wolfram a křemík.
- Přehřátí oceli – je následkem ohřátí oceli na velmi vysokou teplotu a setrvání na této teplotě delší čas. Za těchto podmínek nastává v oceli růst zrn a difuze síry, která je vyloučená převážně ve formě sirníku na hranice austenitických zrn. Přehřátí oceli má negativní vliv na tvářitelnost materiálu, zejména na vrubovou houževnatost, tažnost a kontrakci. Pro odstranění přehřátí oceli se používá překování s dostatečným stupněm prokování, nebo speciální difuzní žíhání.
- Spálení oceli – vzniká u oceli ohřáté na teplotu blízkou teplotě tavení. Austenitické hranice zrn se začnou vlivem vysoké teploty natavovat. Ze zrn začne do natavené hranice zrn difundovat síra společně s fosforem a rozpouštějí se v nich. Po ochlazení oceli se kolem zrn vytvoří sirníky a místa bohaté na fosfor. Spálená ocel je velmi křehká a má špatné mechanické vlastnosti. Spálení oceli nelze žádným způsobem opravit.

U zápusťkového kování se může použít více metod ohřevu materiálu. V úvahu připadají:

- Plynový ohřev – běžně se používá pro ohřátí materiálu na kovací teplotu. Hlavními přednostmi těchto pecí jsou dokonalé spalování plynů s malým přebytkem vzduchu, rovnoměrné rozložení teplot v pracovním prostoru pece, snadná kontrola, automatizace, možnost předeřevu topných plynů a snadná doprava. U pecí s přímým topením je materiál vystaven účinkům plamene a zplodinami hoření, což vede k vysoké oxidaci. Naopak u pecí s nepřímým topením je materiál chráněn před zplodinami hoření pomocí zvláštních skříní nebo pouzder uložených do pracovního prostoru pece. Plynové pece jsou komorové nebo průchozí.
- Odporový ohřev – vzniká tak, že vodičem prochází elektrický proud a pohybující se elektrony naráží do atomů vodiče, kterým předá část své kinetické energie. Rozkmitané atomy zvyšují teplotu vodiče. Tato metoda ohřevu patří mezi nejrychlejší metody ohřevu polotovarů malých tloušťek, jelikož teplo vzniká uprostřed ohřívaného polotovaru. Ohřev pomocí elektrického odporu je příznivý vzhledem k malému množství okují při ohřevu, přesnému dodržení horní tvářecí teploty, zlepšení pracovních podmínek, šetrnosti k životnímu prostředí a snadné automatizaci. Proud protéká topnými spirálami, které následně ohřívají vnitřní prostor pece.
- Indukční ohřev – se používá pro rychlý ohřev stejných kusů v hromadné výrobě. Ohřívaný materiál je kruhového nebo profilového průřezu a zpravidla kratších délek. Střídavý elektrický proud procházející vodičem vytváří kolem sebe magnetické pole, které mění svou velikost a směr. Po vložení elektricky vodivého tělesa do střídavého magnetického pole se v materiálu začne indukovat elektromotorické napětí, jenž zahřívá těleso. Z hospodárných důvodů a rovnoměrnosti ohřevu se volí pro různé průměry ohřívaného materiálu rozdílné kmitočty, viz tab. 3. Způsob je pro svoji rychlost a velmi malý vznik okují vhodný pro zápusťkové kování.

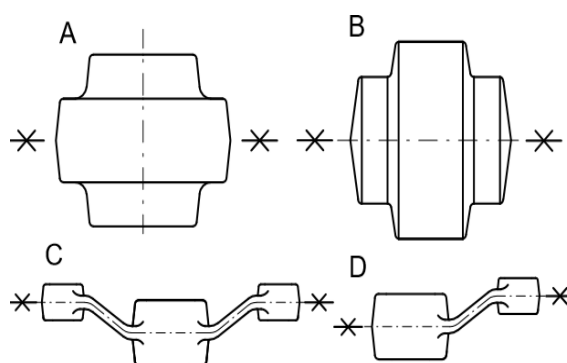
Tab. 3 Doporučené kmitočty pro různé průměry ocelových přířezů [13]

Kmitočet proudu [Hz]	600	1 000	2 000	4 000	10 000
Průměr ocelového přířezu [mm]	75 - 280	50 - 150	35 - 120	22 - 70	15 - 35

2.1 Návrh výkovku [1], [8], [13], [14], [15], [20], [29], [35]

Nejvhodnější tvar výkovku je určen podle několika základních pravidel a technologických postupů. Rozměry a tvar výkovku jsou závislé na výkresové dokumentaci hotové součásti, přičemž je důležitá vzájemná spolupráce konstruktéra a technologa. Při návrhu je třeba určit:

- Dělicí rovinu – je důležité zvolit nejdříve, jelikož má výrazný vliv na samotný návrh výkovku. Rozděluje zápustku na dva díly tak, aby bylo možné vyjmout výkovek. Dělicí rovina výrazně ovlivňuje tok materiálu v dutině. Poloha dělicí plochy vzhledem k výkovku může být kolmo na hlavní osu výkovku (obr. 11, A), nebo ve směru hlavní osy výkovku (obr. 11, B). Tvar dělicí roviny nemusí být vždy přímý, podle tvaru budoucího výkovku může být dělicí rovina lomená nebo zakřivená (obr. 11, C a D), a to buď v jednom směru, nebo i více. Při volbě dělicí roviny se i přihlíží k intenzivnějšímu toku kovu do horní části zápustky, k získání nejvhodnějšího průběhu vláken.



Obr. 11 Příklady dělicích rovin [15]

- Přídavky na obrábění – nutné dodržet pro získání požadované rozměrové přesnosti a drsnosti součásti. U zápustkového kování se rozměrová přesnost běžně pohybuje od IT16 do IT12. Ve výměnných případech se kove s přesností IT 9. Přídavky na obrábění ploch ocelových zápustkových výkovků se volí s obvyklou přesností nebo s přesnějším provedením podle rozměrů výrobku, viz tab. 4.

Tab. 4 Přídavky na obrábění ploch [35]

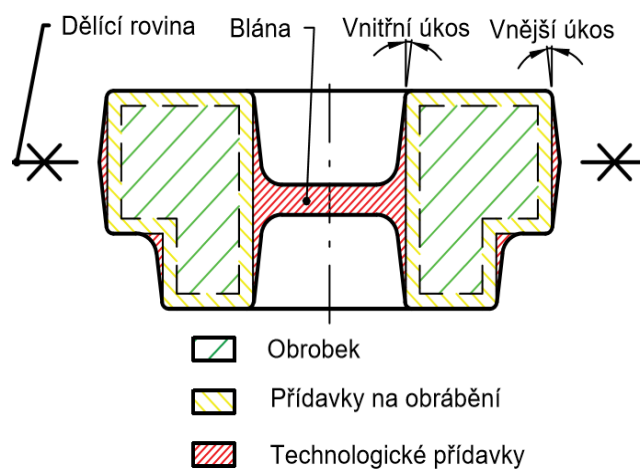
Střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu [mm]	Největší výška hotového výrobku [mm]											
			25		40		63		160		160	
	do 25		40		63		100		100		250	
Provedení: I - obvyklá přesnost, II - přesnější provedení												
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
do 25	1,5	1,3	1,5	1,3	2	1,8	2	1,8	2	1,8		
25 až 40	1,5	1,3	2	1,8	2	1,8	2	1,8	2,5	2,2	2,5	2,2
40 až 63	2	1,8	2	1,8	2	1,8	2,5	2,2	2,5	2,2	2,5	2,2
63 až 100	2	1,8	2	1,8	2,5	2,2	2,5	2,2	2,5	2,2	3	2,7
100 až 160	2	1,8	2,5	2,2	2,5	2,2	2,5	2,2	3	2,7	3,5	3,2
160 až 250	2,5	2,2	2,5	2,2	2,5	2,2	3	2,7	3,5	3,2	3,5	3,2
250 až 400	2,5	2,2	2,5	2,2	3	2,7	3,5	3,2	3,5	3,2	4	3,5
400 až 630	2,5	2,2	3	2,7	3,5	3,2	3,5	3,2	4	3,5	4,5	4
630 až 1000	3	2,7	3,5	3,2	3,5	3,2	4	3,5	4,5	4	5	4,5

- Technologické přídavky – používají se pro zjednodušení tvaru výkovku, zvláště ty části, které nelze vykovat, nebo by tvorba daného prvku byla neekonomická. Typickým příkladem je průchozí díra, kterou nelze zhotovit, a proto se používá blána (obr. 12), jenž se spolu s výronkem prostřihne. Tloušťka blány se určuje z rozměrů výkovku pomocí tab. 5.

Tab. 5 Nejmenší tloušťka blány a stěny výkovku [35]

Střední hodnota šířky a délky výkovku ve směru kolmo k rázu [mm]	Výška výkovku ve směru rázu [mm]						
	-	10	25	40	63	100	160
	do 10	25	40	63	100	160	250
	Minimální tloušťka blány a stěny						
do 40	4	5	6	7	9		
40 až 63	5	5	6	7	9	11	
63 až 100	5	6	7	9	11	13	15
100 až 160	6	7	9	11	13	15	17
160 až 250	8	9	11	13	15	17	20

- Úkosy – volí se na plochách rovnoběžných s pohybem zápustky za účelem snadného vyjmutí výkovku z dutiny nástroje. Úkosy vnějších stěn výkovku jsou menší oproti stěnám vnitřním, z důvodů smršťování materiálu, kdy u vnitřních ploch dochází ke svírání s dutinou zápustky. Velikost úkosů u zápustkových výkovků se liší podle použitého stroje (tab. 6). Běžně se u zápustkových výkovků používají vnější úkosy na stěnách 3° a vnitřní úkosy 7° .

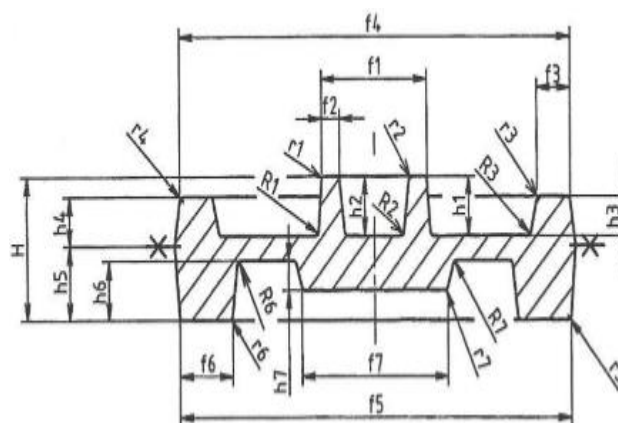


Obr. 12 Přídavky na výkovku [13]

Tab. 6 Úkosy u zápustkových výkovků [35]

Stroj použitý při výrobě výkovku	Úkos na stěně	
	vnější	vnitřní
buchar	7°	10°
lis bez vyhazovače	7°	10°
lis s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
vodorovný kovací stroj	0° až 5°	0° až 5°

- Zaoblení hran výkovku – se provádí s ohledem na vhodné zatékání kovu v zápustce. Ostré hrany v dutině způsobují rychlé opotřebení, koncentrátory napětí a prasknutí zápustky. Zaoblení vnitřních a vnějších hran jsou rozdílné. Pro určení samotného zaoblení je nutno znát poměr přilehlé výšky stěny (hloubky dutiny) a délku příslušející této hodnotě, které jsou určeny pomocí obr. 13. Z velikosti poměru a výšky stěny se podle tab. 7 určí zaoblení hran a přechodů výkovku.



Obr. 13 Zaoblení hran a přechodů výkovku [20]

Tab. 7 Zaoblení hran výkovku [35]

Vnitřní poloměr r a vnější poloměr R při poměru [mm]	h [mm]							
	-	25	40	63	100	160	250	
	do 25	40	63	100	160	250	400	
$h/f \leq 2$	r	2	3	4	5	8	12	20
	R	6	8	10	12	20	30	50
$2 < h/f \leq 4$	r	2	3	4	6	8	16	25
	R	8	10	12	20	25	45	75
$h/f > 4$	r	3	4	5	8	16	25	40
	R	10	12	20	25	40	65	100

2.2 Práce [13], [14], [15], [18],

Pro určení velikosti bucharu je nutné vypočítat přetvárnou práci posledního úderu, kdy je odpor kovaného materiálu proti deformaci největší. Potřebná práce posledního úderu pro kruhové výkovky se vypočítá podle ČSN 22 83 08 následujícím vztahem:

$$\circ A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_D}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_D^2) \cdot D_D \cdot \sigma_p \quad [J], \quad (2.1)$$

kde: D_D je průměr výkovku ($D_D \leq 60$ cm)

σ_p je přetvárný odpor za kovací teploty

U nekruhových výkovků se přetvárná práce zjistí vztahem:

$$\circ A_n = A \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_D}{B_{Ds}}}\right) \quad [J], \quad (2.2)$$

kde: L_D je délka výkovku [cm],

B_{Ds} je střední šířka výkovku [cm],

$$A \text{ je dle (2.1) za podmínky, že } D_D = D_{Dred} = 1,13 \cdot \sqrt{F_D}, \quad (2.3)$$

F_D – průmět plochy výkovku k ploše kolmé ke směru rázu [cm²]

Jiný způsob určení velikosti zápustkových bucharů se zjistí na základě součinu plochy průmětu výkovku včetně výronkového můstku a koeficientu měrné energie, který se u nízkolegovaných uhlíkových ocelí pohybuje v rozmezí 0,52 – 0,72 J.mm⁻². U lehkých a složitých výkovků je tento koeficient nejvyšší, z důvodu rychlého chladnutí materiálu, což vede k zvýšení přetvárného odporu.

Pro výpočet přetvárné práce platí, že:

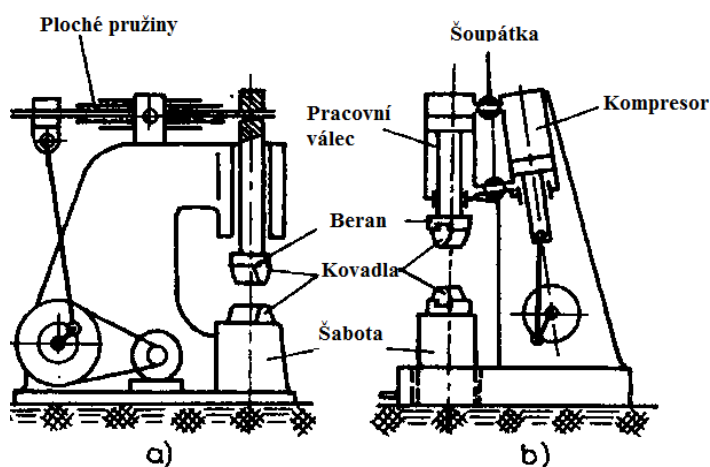
$$A_m = S_v \cdot a \quad (2.4)$$

kde: S_v – plocha průřezu výkovku včetně výronkového můstku kolmo k rázu [mm^2]
 a – koeficientu měrné energie [$\text{J} \cdot \text{mm}^{-2}$]

2.3 Stroje [13], [14], [15], [17], [21], [32],

U zápusťkového kování se nejčastěji tváří pomocí bucharů, které využívají pohybovou energii padajícího beranu způsobující úder na ohřátý materiál. Při volbě kovacího stroje pro výrobu zadané součásti se musí uvažovat zejména s počtem vyráběných kusů, rozměry součásti a kovací silou. Mezi základní typy bucharů používaných u zápusťkového kování patří:

- Pružinové buchary – slouží pro výrobu jednoduchých výkovků v kovárnách a údržbářských provozech. Pohyb beranu je vyvozen pomocí výstředníku přes táhlo a svazek plochých pružin, viz obr. 14a.



Obr. 14 Základní typy bucharů [25]

- Kompresorové buchary (obr. 14b) – využívají se pro malé a středně velké jednoduché výkovky. Stlačený vzduch pohybuje s beranem, jenž je umístěn v pracovním válci. Regulace vzduchu ve válcích je řízená pomocí dvou válcových šoupátek.

- Pneumaticko-hydraulické buchary se používají pro přesné zápusťkové kování výkovku za tepla v malosériové i hromadné výrobě. Výhody těchto bucharů jsou malá energetická náročnost, půdorysná plocha, nastavitelná výška a široká technologická využitelnost. Podle konstrukce je lze definovat jako svislé, nízkozdvíhové buchary s pohybem beranu urychleným stlačeným vzduchem a se současným protiběžným pohybem stojanu urychleným tlakovou kapalinou. Tento princip spojuje výhodné vlastnosti šabotových a protiběžných bucharů. Rázový účinek a přenos otřesů do okolí je velmi malý a je navíc pojištěn dalšími tlumícími prvky. energii dynamického rázu je možné nastavit a naprogramovat s protiběžným efektem pro eliminaci dynamického rázu do základu. Na pneumaticko-hydraulických bucharech, viz obr. 15, se kovájí zejména ploché výkovky, jako jsou ojnice nebo komunální nářadí v jedné dutině několika údery.

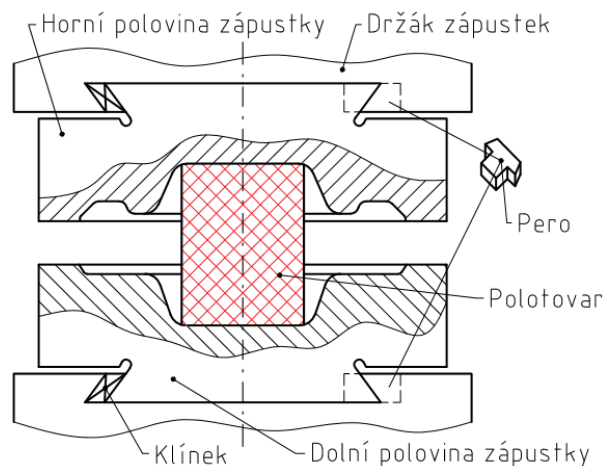


Obr. 15 Buchar KHZ 8A [32]

2.4 Nástroj – zápustky [15], [18], [23], [29], [35].

Pro vlastní konstrukci nástroje – zápustky (obr. 16) je nutno brát v úvahu její velikost a tvar, dále výkresovou dokumentaci výkovku, velikost série, výchozí polotovar, způsob namáhání, tvářecí zařízení a další parametry. Pro samotnou konstrukci je nejdůležitější vlastní proces kování.

Během tváření za tepla je zápustka namáhána tepelně i mechanicky. Velký měrný tlak způsobuje na dutině zápustky trvalé deformace. Při tváření materiál teče podél stěn zápustky, což vede ke vzniku smykového namáhání a plošného opotřebení způsobeného třením. Smykové namáhání a tepelné rázy způsobují tvorbu trhlin na povrchu dutiny zápustky. Pro snížení tepelných rázů se zápustky ohřívají na teplotu okolo 300 °C. Za těchto požadavků musí ocel pro zápustky splňovat vysokou tvrdost, pevnost za tepla, houževnatost, otěruvzdornost a necitlivost na kolísání teplot. Pro snadnou výrobu musí být materiál zápustky dobře obrobitelný. Běžně se pro výrobu zápustek používají chrommolybdenové, niklové nebo chromové nástrojové oceli, viz tab. 8. Drsnost povrchu zápustky má výrazný vliv na hodnotu přetvárného odporu a tok materiálu. Jednotlivé drsnosti ploch jsou podrobně popsány v tab. 9. Z hlediska funkce je nejdůležitější drsnost povrchu u dokončovací dutiny.



Obr. 16 Schéma zápustky pro buchar [18]

Tab. 8 Nástrojové oceli sloužící k výrobě zápustek [23]

Zápustka	Nástrojové oceli sloužící k výrobě zápustek dle ČSN
pro buchar	19 642, 19 650, 19 662, 19 663, 19 665

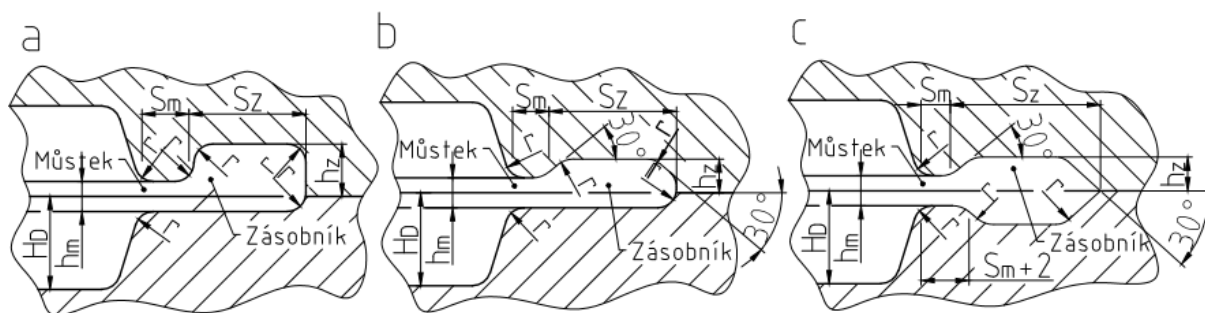
Tab. 9 Drsnost ploch zápustky [35]

Rozměry v μm			
Plocha	Ra	Plocha	Ra
Předkovací dutina	1,6 až 3,2	Upínací plochy	1,6 až 3,2
Dokončovací dutina	0,8 až 3,2	Zásobník	12,5
Pomocná dutina	3,2 až 6,3	Vedení	1,6
Výronkový můstek	0,8 až 3,2	Dosedací plochy	1,6 až 3,2

2.4.1 Výronková drážka [15], [18], [23], [29], [35].

Dutiny zápustek se rozdělují na otevřené u kování s výronkem, nebo uzavřené při kování bez výronku. Při kování s výronkem je v dělicí rovině obou polovin zápustky je malá mezera, kterou část kovu proteče a vytvoří tzv. výronek. Otevřené zápustky se používají z důvodů rozdílného objemu výchozího polotovaru, který je způsoben nepřesností dělení materiálu nebo úchylek tvaru hutního polotovaru. Nadbytečný objem materiálu vyteče do výronkové drážky a vytvoří výronek.

V dokončovací operaci je výkovek protlačen přes otvor tvarové střižnice, kdy dojde k odstřížení výronku. Rozměry výronkové drážky se určují na základě výšky můstku, který určí další hodnoty z tab. 10. Existuje více druhů výronkových drážek pro buchar (obr. 17), nejpoužívanější typ lze vidět na obr. 17a.



Obr. 17 Základní typy výronkových drážek pro buchar [23]

Tab.10 Výronková drážka zápustky pro buchar [35]

Můstek		Zásobník	
h_m	S_m	h_z	S_z
0,6 až 1	6 až 10	3	18 až 25
0,8 až 1,6	7 až 12	3,5	22 až 30
1 až 2,4	8 až 13	4	25 až 32
1,6 až 3,2	9 až 15	5	28 až 38
2,4 až 5	10 až 18	6	32 až 45

Výpočet výšky můstku:

$$h_m = (0,012 \text{ až } 0,015) \cdot \sqrt{S_v} \quad (2.5)$$

kde: S_v – plocha průmětu výkovku ve směru kolmém na směr rázu [mm²]

Velikost zaoblení výronkové drážky:

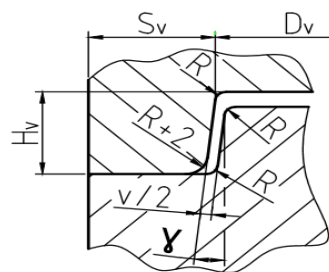
$$r = \frac{\sqrt{S_v}}{200} + 0,04 \cdot H_D \quad (2.6)$$

kde: S_v – plocha průmětu výkovku ve směru kolmém na směr rázu [mm²]
 H_D – vzdálenost mezi dnem výkovku a dělicí rovinou viz obr. 17 [mm]

2.4.2 Vedení a upínání [9], [10], [23], [29], [35],

Během kování na bucharu vedení stroje nezaručuje požadovanou přesnost rozměrů výkovku. Pro získání požadované přesnosti se používají vedení kruhové, podélné, příčné, křížové a pomocí vodících kolíků.

Kruhové vedení, které je na obr. 18, se používá u čtvercových a kruhových zápustek. Rozměry kruhového vedení se volí dle tab. 11. Výška vedení H_v je závislá na velikosti bucharu a tvaru výkovku. Ve výjimečných případech, jako jsou hluboké dutiny, se použije výška vedení H_v větší než 60 mm. Vůle a výrobní tolerance u tohoto typu vedení jsou uvedeny v ČSN 22 8308. Jestliže je vedení umístěno ve spodní části zápustky, je důležité v této části vyrobit vybrání pro snadnější manipulaci s předkovkem.

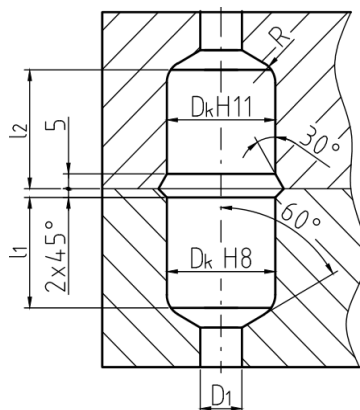


Obr. 18 Kruhové vedení [23]

Tab. 11 Rozměry kruhového vedení [23]

Hodnoty kruhového vedení			
H_v	S_v	γ	R
20 až 60 mm	30 až 90 mm	3° až 5°	4 až 8 mm

Podélné, příčné a křížové vedení se využívá u obdélníkových zápustek. Rozdíl mezi podélným a příčným vedením je, že podélné vedení vymezení přesazení v příčném směru, naopak příčné vedení vymezení přesazení v podélném směru. Křížové vedení je kombinací obou. Tyto typy vedení se používají málo vzhledem k velké pracnosti a vyšší spotřebě zápustkového materiálu. Výhodou však je dobré vedení a tím i kvalitní výkovek.



Obr. 20 Otvory pro zalisování vodících pouzder [10]

Vodící kolíky se nejvíce používají u podélných zápustek pro vymezení přesazení a zachycení tlaku. Nejčastěji se používají dva nebo čtyři kolíky, které se většinou umísťují v rozích dolní zápustky tak, aby na jejich spojnici ležel střed dutiny zápustky. Rozměry vodících kolíku a pouzder, obr. 19 a obr. 20, se určují v tabulkách dle ČSN 22 8308. Minimální vzdálenost kolíku od okraje se určuje podle následujícího vztahu:

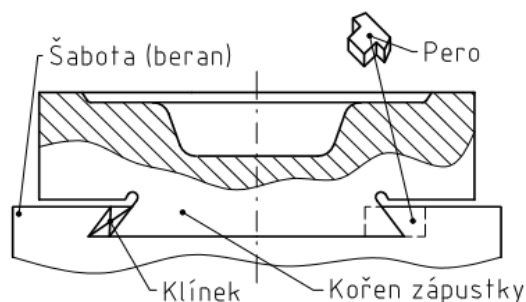
$$a_k = \frac{5}{6} \cdot d_k + 10$$

kde: d_k – průměr vodícího kolíku [mm]

(2.7)

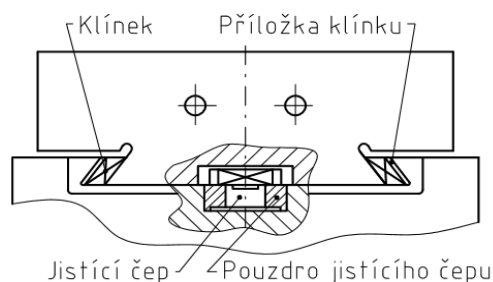
Upínání zápustek se mezi jednotlivými typy použitých bucharů liší na rozdíl od vedení, které je totožné u jednotlivých druhů strojů.

- Upínání zápustek parovzdušných a padacích bucharů – prování se u obou částí stejně pomocí kořene tvaru rybiny a rybinové drážky v šabotě a beranu. Pro boční zajištění polohy se používá klínek. Prostřednictvím pera je zápustka zajištěna proti axiálnímu posuvu. Pomocí normalizované příložky se vymezení vůle mezi perem a bucharem, případně šabotou. Polohu jednotlivých dílů lze vidět na obr. 21.

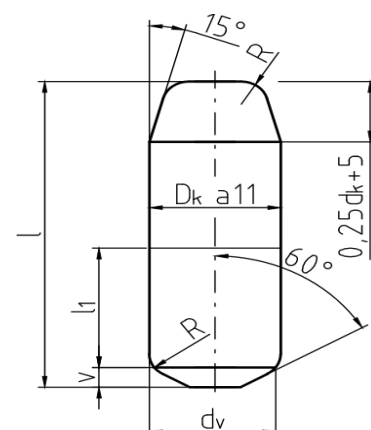


Obr. 21 Upínání pomocí klínku a pera [18]

- Upínání na protiběžných bucharech – je realizováno pomocí dvou klínů a jisticího čepu, který je vložen válcovou částí do otvoru ve středu kořene zápustky, viz obr. 22. Díky tomu je zápustka pevně zajištěna proti posunutí. V normě ČSN 21 1414 jsou uvedeny rozměry jednotlivých součástí pro zadaný typ upínání, jejíž rozměry jsou určeny na základě velikosti rázové práce.



Obr. 22 Upínání pomocí klínků a jisticího čepu [9]



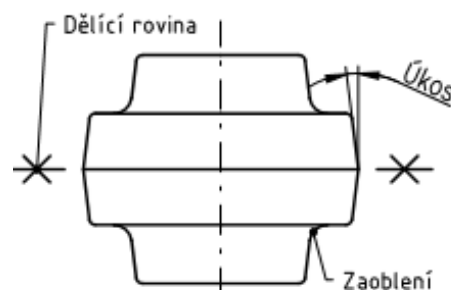
Obr. 19 Vodící kolíky pro zápustky bucharu [10]

2.5 Technologičnost zápusťkových výkovků [1], [13], [14], [15], [18], [23],

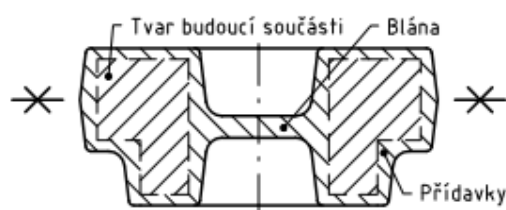
Zápusťkové výkovky se vyrábí v širokém rozsahu tvarů, které se prokazují vysokou homogenitou, pevností, životností a možností jemnozrnné struktury.

Pro zhotovení zápusťkového výkovku se musí dodržet několik základní pravidel výroby:

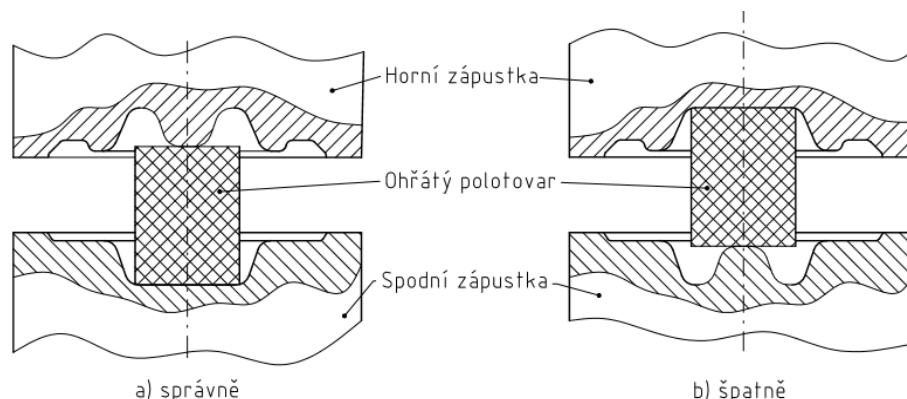
- Největší rozměr výkovku ve směru kolmém na ráz leží v dělicí rovině, viz obr. 23.
- U rozměrů přesahujících přesnost výroby zápusťkového kování budou použity přídavky na obrábění, kdy se požadovaný tvar do-obrobí.
- Ostré hrany jsou nahrazeny zaoblením, poněvadž by do rohu materiál nezatekl a zkracovala by se životnost nástroje. Malé zaoblení hran může mít za následek vznik přeložek.
- U ploch rovnoběžných se směrem je vytvořeno zkosení z důvodu vyjmutí výkovku ze zápusťky. Vnitřní úkosy mají větší hodnotu, protože mezi výkovkem a stěnou zápusťky vzniká sevření vlivem chlazení materiálu.
- Minimální tloušťku stěn prvků výkovku je třeba určit z důvodu vykování elementu bez vzniku vad.
- Průchozí otvor nelze prokovat, proto se využije kovací blána. Příklad použití kovací blány lze vidět na obr. 24.
- Stanovení technologických přídaveků se volí na základě složitosti součásti a počtu vyráběných kusů. Čím větší je tento počet, tím přesnější je tvar výkovku s budoucím výrobkem, což vede k úspoře materiálu, ale prodražuje výrobu nástroje.
- Větší výstupek bude směrem nahoru z důvodu lepšího plnění horní dutiny zápusťky.
- Ohřátý materiál je uložen do zápusťky tak, aby byla zajištěna jeho poloha proti posunutí. Správná poloha výkovku je na obr. 25a. Špatné provedení je na obr. 25b.



Obr. 23 Stanovení dělicí roviny [15]



Obr. 24 Kovací blána [13]



Obr. 25 Uložení polotovaru do zápusťky [15]

3 NÁVRH VÝROBY [1], [6], [8], [10], [13], [14], [15], [20], [35],

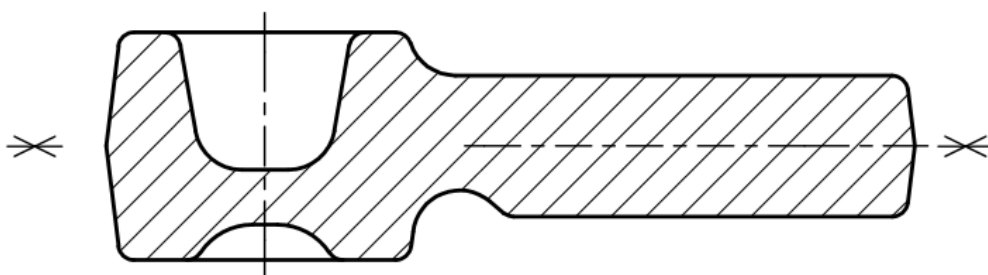
U samotného návrhu výkovku je důležité vycházet z budoucího tvaru hotové hlavice kulového kloubu (obr. 26). Její tvar lze rozdělit na dvě základní tělesa, a to na průměr s neprůchozím otvorem se závitem a pouzdra. Osy obou tvarů jsou na sebe navzájem kolmé. Materiál součásti je nízkolegovaná ocel 13 242, která je velmi dobře tvárná za tepla.

Vzhledem ke strojovému parku podniku a tvaru součásti se bude kovat pomocí bucharu. Typ stroje má vliv na materiál a konstrukci nástroje včetně výronkové drážky. Odlišný je i technologický postup výroby výkovku mezi, které patří přesnost výroby, hlučnost provozu, sériovost výroby, způsob ohřevu, opotřebení zápustky a možnost automatizace.

Rozměry s vyšším požadavkem na přesnost budou zvětšeny o přídavky na obrábění, kdy se po kování do-obrobí na požadovaný rozměr. Plochy, které se budou obrábět, jsou znázorněny na obr. 27. Patří do nich otvor pouzdra a částečně i vnější průměr (od čela pouzdra 6 mm a 3 mm). Dále je nutné vyvrtat neprůchozí otvor pro závit do průměru kolmého na osu pouzdra, který nelze vykovat.

Pro zhotovení zadaného výkovku je vzhledem k zaměření technologii důležité dodržet několik základních pravidel a technologických postupů. Budoucí výkovek musí obsahovat následující:

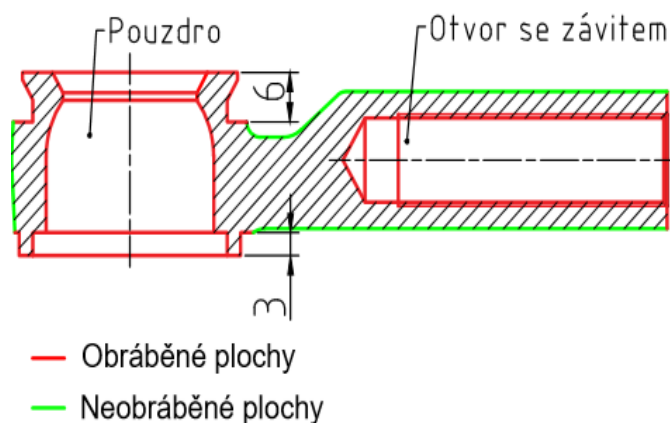
- Dělicí rovina - je zvolena přímá v ose průměru 18 mm, a zároveň kolmá na osu pouzdra kulového čepu, viz obr. 28. Z důvodu lepšího plnění horní zápustky se volí větší dutina pouzdra nahoru.



Obr. 28 Dělicí rovina vyráběné hlavice



Obr. 26 Hlavice kulového kloubu



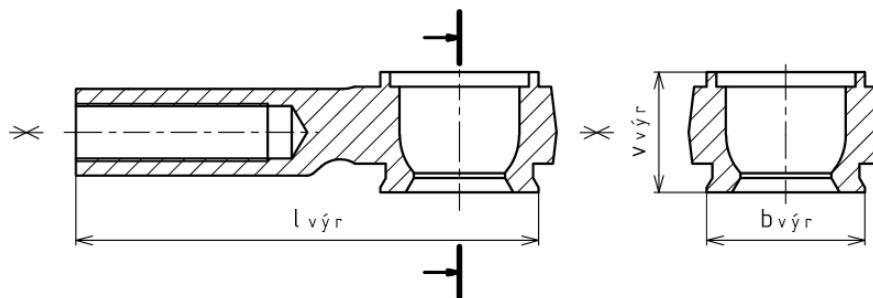
Obr. 27 Určení obráběných ploch

- Přídavky na obrábění – se stanoví na základě střední hodnoty z šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu a největší výšce hotové součásti. Tyto rozměry jsou znázorněny na obr. 27. Platí, že:

- střední hodnota výrobku: $x_{v\dot{y}r} = (l_{v\dot{y}r} + b_{v\dot{y}r}) / 2$ (3.1)
 $= (96,5+33) / 2 = 64,75 \text{ mm}$

kde: $l_{v\dot{y}r}$ – největší délka výrobku [mm]
 $b_{v\dot{y}r}$ – největší šířka výrobku [mm]

- výška výrobku: $v_{v\dot{y}r} = 25 \text{ mm}$ (3.2)



Obr. 29 Největší rozměry hotové hlavice

Na základě rozměrů hotového výrobku jsou zvoleny přídavky na obrábění z tab. 4 pro obvyklou přesnost 2 mm. Výkovek bude zvětšen o přídavky u vnějších i vnitřních rozměrů pouzdra a pro čelo čepu průměru 18 mm, kde se bude dokončovat třískovým obráběním, viz obr. 29.

- Úkosity – u rovnoběžných ploch s pohybem zápustky se volí podle tab. 6, z důvodu snadného vyjmutí výkovku ze zápustky. Kování bude realizováno na bucharu, u kterého platí:

- vnější úkosity – 7°
- vnitřní úkosity – 10°

- Technologické přídavky - se použijí pro zjednodušení vnějšího průměru pouzdra. Otvor v průměru kolmém na osu pouzdra bude zhotoven třískovým obráběním. Vzhledem k nezhotovení průchozího otvoru pouzdra kulového čepu je nutná blána, která je zvolená pomocí střední hodnoty z šířky a délky výkovku ve směru kolmo na ráz a největší výšce výkovku dle obr. 31.

- střední hodnota výkovku: $x_{v\dot{y}k} = (l_{v\dot{y}k} + b_{v\dot{y}k}) / 2$ (3.3)

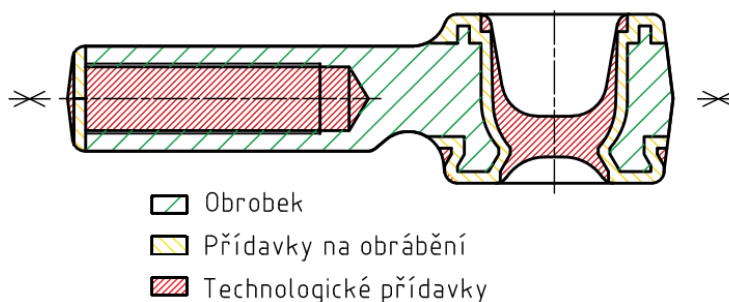
$$x_{v\dot{y}k} = (103,39+40,56) / 2 = 71,78 \text{ mm}$$

kde: $l_{v\dot{y}k}$ – největší délka výkovku v mm

$b_{v\dot{y}k}$ – největší šířka výkovku v mm

- výška výkovku: $v_{v\dot{y}k} = 29 \text{ mm}$ (3.4)

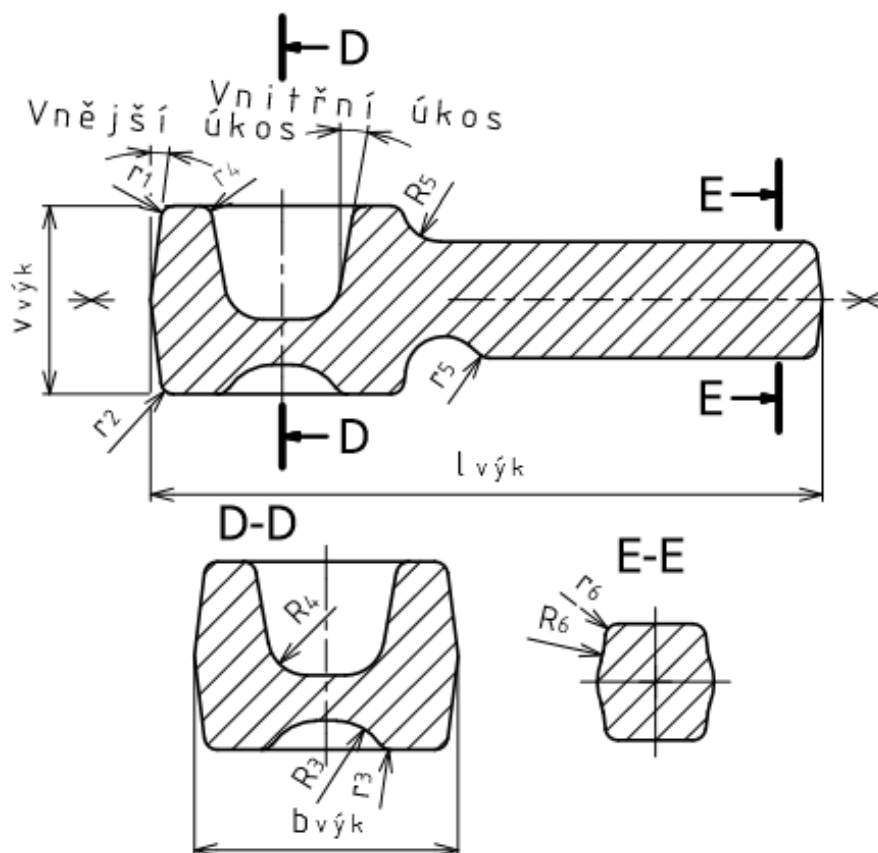
Podle tab. 5 je tloušťka blány 7 mm, jejíž střed je umístěn 6,5 mm pod dělicí rovinou. Všechny technologické přídavky jsou znázorněny na obr. 30.



Obr. 30 Rozložení přídavků

➤ Zaoblení hran – se provádí kvůli vhodnému zatečení kovu. Velikost zaoblení závisí na velikosti poměru přilehlých stěn. Pro lepší orientaci slouží obr. 13. Následné poměry jsou porovnány s tab. 7. Jednotlivé poloměry jsou znázorněny na obr. 31.

- Poměr - $\frac{h}{f}$ (3.5)
- $\frac{14,5}{37} = 0,392 \rightarrow r_{1,2} = 2 \text{ mm}$
- $\frac{9,705}{4,5} = 2,157 \rightarrow r_3 = 3 \text{ mm}, R_3 = 8 \text{ mm}$
- $\frac{9,705}{17,5} = 0,555 \rightarrow r_4 = 2 \text{ mm}, R_4 = 6 \text{ mm}$
- $\frac{9,53}{17,5} = 0,577 \rightarrow r_5 = 2 \text{ mm}, R_5 = 6 \text{ mm}$
- $\frac{5,181}{15} = 0,3454 \rightarrow r_6 = 2 \text{ mm}, R_6 = 6 \text{ mm}$



Obr. 31 Schéma hlavice kulového kloubu

3.1 Určení mezních úchylek [12], [13], [15], [23], [35].

Pro stanovení úchylek výkovku je nutné znát jeho rozměry a hmotnost. Dále je nutné určit druh oceli a ukazatel členitosti tvaru. Hmotnost výkovku – je 0,353 kg. Je stanovena pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2017 (obr. 32) pro kovanou ocel, která má hustotu 7 850 kg/m³. Tento program bude dále nazýván pouze Inventor 2017.

- Druh oceli – má vliv na stupeň obtížnosti kování, proto se ocel zařazuje do dvou základních skupin:
 - Skupina M 1 - ocel s obsahem legujících prvků pod 5 % a uhlíku pod 0,65 %.
 - Skupina M 2 - ocel s obsahem legujících prvků nad 5 % nebo uhlíku nad 0,65 %.

Ocel s vysokým obsah uhlíku a legujících prvků klade větší odpor při tváření a způsobují větší opotřebení nástroje než oceli s menším obsahem těchto prvků. Podle chemického složení materiálu 13 242 (tab. 2) je určen stupeň obtížnosti kování M 1.

- Ukazatel členitosti tvaru – porovnává výkovky z hlediska jejich složitosti. Členité a tenkostěnné součástky oproti jednoduchým dílům mají větší míru smršnění a vyšší kovací sílu, což vede k rychlejšímu opotřebení nástroje. Pro výpočet ukazatele členitosti platí, že:

$$S = \frac{m_{\text{výkovku}}}{m_{\text{obal. telesa}}} [-] \quad (3.6)$$

kde: $m_{\text{výkovku}}$ – hmotnost výkovku [kg]

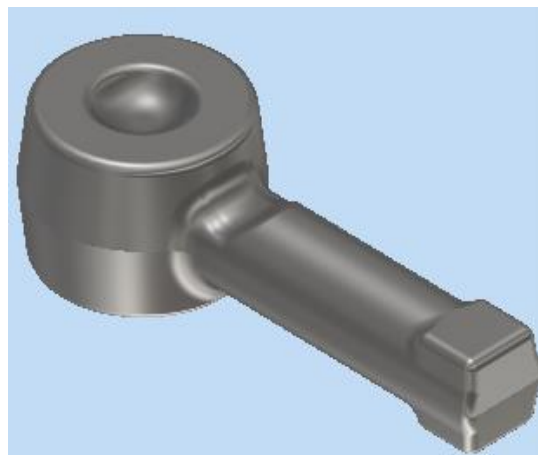
$m_{\text{obal. telesa}}$ – hmotnost obalového tělesa [kg]

U nerotačních součástí je obalové těleso nejmenší možný kvádr, který obklopí celý výkovek, viz obr. 33. Rozměry obalového tělesa u vyráběné součástky jsou 29 x 40,56 x 103,36 mm. Hmotnost obalového tělesa se určí podle vztahu:

$$m_{\text{obal. telesa}} = b \cdot h \cdot l \cdot \rho [kg] \quad (3.7)$$

$$m_{\text{obal. telesa}} = 4,056 \cdot 2,9 \cdot 10,336 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3}$$

$$m_{\text{obal. telesa}} = 0,954 \text{ kg}$$



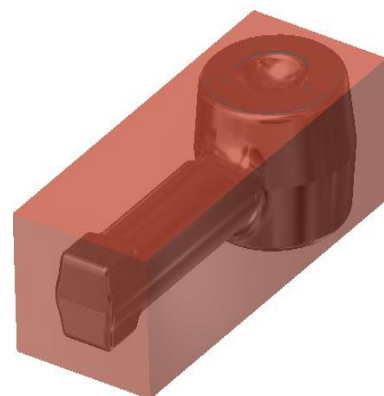
Materiál

Hustota Požadovaná přesnost

Obecné vlastnosti

		Těžště	
Hmotnost	<input type="text" value="0,353 kg"/>	X	<input type="text" value="0,000 mm"/>
Povrch	<input type="text" value="10029,828 mm^2"/>	Y	<input type="text" value="15,015 mm"/>
Objem	<input type="text" value="44989,619 mm^3"/>	Z	<input type="text" value="18,918 mm"/>

Obr. 32 Určení hmotnosti výkovku podle programu Inventor 2017



Obr. 33 Obalové těleso [12]

kde: b – největší šířka ve směru kolmém na ráz [mm]
 h – největší výška ve směru rázu [mm]
 l – největší délka ve směru kolmém na ráz [mm]
 ρ – hustota materiálu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

Konečný ukazatel členitosti tvaru se přidělí do jedné z následujících skupin:

- S 4 – do 0,16
- S 3 – 0,16 až 0,32
- S 2 – 0,32 až 0,63
- S 1 – 0,63 až 1

Výpočet ukazatele členitosti tvaru:

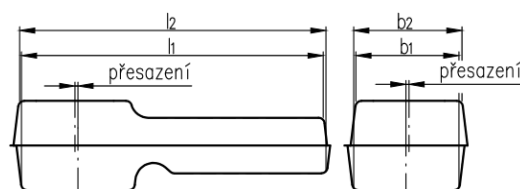
$$S = \frac{0,353}{0,954} = 0,371 \rightarrow \text{skupina S 2} \quad (3.8)$$

- Mezní úchytky délky, šířky a výšky zahrnují jak úchytky vnějších a vnitřních kovaných ploch, tak i úchytky roztečí k jedné ploše. Dle ČSN 10243-1 pro stupeň přesnosti 'F' jsou na základě tvaru dělicí roviny, druhu oceli, ukazatele členitosti tvaru určeny mezní úchytky pro jednotlivé rozměry pomocí tab. 12.

Tab. 12 Stanovení velikosti úchylek rozměrů výkovku [12]

Typ rozměru [mm]	Jmenovitý rozměr [mm]		
	0 až 32	32 až 100	100 až 160
Úchytky [mm]			
Vnější	$x_{-0,4}^{+0,8}$	$x_{-0,5}^{+0,9}$	$x_{-0,5}^{+1,1}$
Vnitřní	$x_{-0,8}^{+0,4}$	$x_{-0,9}^{+0,5}$	$x_{-1,1}^{+0,5}$

- Přesazení – určuje odchylky souososti mezi jakýmkoliv bodem na jedné straně dělicí roviny a odpovídajícím bodem na straně protilehlé ve směrech rovnoběžných s hlavní dělicí rovinou záпустky. Pomocí obr. 34 se vypočítá velikost přesazení podle následujících vztahů:



Obr. 34 Přesazení [12]

$$\text{přesazení} = \frac{l_2 - l_1}{2} = \frac{102,28 - 98,72}{2} = 1,78 \text{ mm} \quad (3.9)$$

$$\text{přesazení} = \frac{b_2 - b_1}{2} = \frac{36,78 - 33,22}{2} = 1,78 \text{ mm} \quad (3.10)$$

kde: l_1 – kratší délka měřená rovnoběžně s hlavní dělicí plochou
 l_2 – odpovídající větší délka měřená rovnoběžně s hlavní dělicí plochou
 b_1 – kratší šířka měřená rovnoběžně s hlavní dělicí plochou
 b_2 – odpovídající větší šířka měřená rovnoběžně s hlavní dělicí plochou

Úchytky přesazení jsou odlišné od ostatních a určují se podle ČSN 10243-1. Na základě hmotnosti výkovku jsou určeny úchytky přesazení $\pm 0,2$ mm.

- Úchytky otřepů (sestrižení) – jsou způsobené rozdílným odstřížením. Měří se od pomyslného průsečíku, v němž se potkají úkosy. Jsou určeny podle hmotnosti výkovku a činí $\pm 0,5$ mm.

- Úchytky přímosti a rovinnosti – se určují podle tab. 13 na základě největší délky nebo šířky. V případě vyráběného výkovku je největší délka 103,36 mm, z čehož platí, že rovinnost a přímost se rovná 0,7 mm pro stupeň přesnosti 'F'.

Tab. 13 Úchytky přímosti a rovinnosti [12]

Jmenovité rozměry [mm]							
nad		0	100	125	160	200	250
do		100	125	160	200	250	315
Úchytky [mm]							
Stupeň	F	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
	E	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8

- Odchytky zaoblení hran a přechodů – se určují na rozdíl od ostatních odchylek v procentech vzhledem k velikosti samotného zaoblení. Dle ČSN 10243-1 se úchytky rádiusů do 10 mm volí následovně:

- Zaoblení hrany $r_{-25\% \cdot r}^{+50\% \cdot r} \text{ mm}$ (3.11)

U poloměrů zaoblení hran menších jak 3 mm se nepoužívají záporné úchytky.

- Zaoblení přechodů $R_{-25\% \cdot R}^{+50\% \cdot R} \text{ mm}$ (3.12)

Po dosazení do zaoblení vyráběného výkovku:

- $r_{1,2,4,5,6} = 2_0^{+1} \text{ mm}$

- $r_3 = 3_{-0,75}^{+1,5} \text{ mm}$

- $R_3 = 8_{-2}^{+4} \text{ mm}$

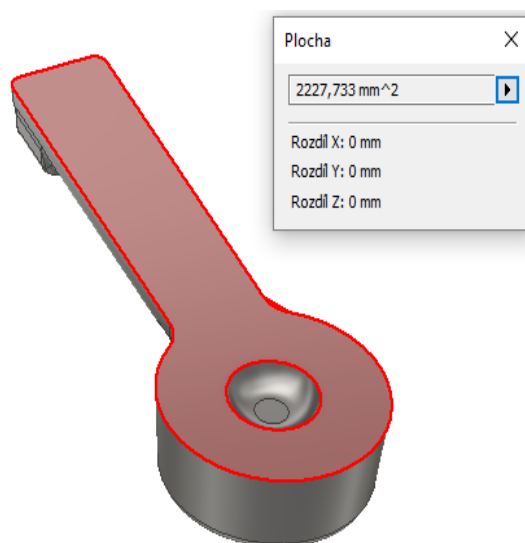
- $R_{4,5,6} = 6_{-1,5}^{+3} \text{ mm}$

3.2 Tvar a velikost výronkové drážky [15], [18], [23], [29], [35],

Pomocí Inventor 2017 (obr. 28) se zjistil průmět plochy výkovku do roviny kolmé ke směru rázu, jelikož souvisí s velikostí výronkové drážky. Vzhledem ke zvolenému typu stroje (buchar) je zvolena nejpoužívanější uzavřená výronková drážka (Obr. 36). Pro stanovení rozměrů výronkové drážky je nutné znát výšku můstku podle následujícího vztahu:

- $h_m = (0,012 \text{ až } 0,015) \cdot \sqrt{S_v}$
 $= 0,015 \cdot \sqrt{2227,733} = 0,708 \text{ mm}$

Hodnota 0,015 ve vzorci (2.5) je zvolena na základě malých rozměrů výkovku. Velikost můstku je zvolena nejbližší vyšší hodnota, pro kterou platí $h_m = 1 \text{ mm}$. Na obr. 39 jsou znázorněny ostatní rozměry výronkové drážky, které jsou určeny na základě velikosti můstku pomocí tab. 10.

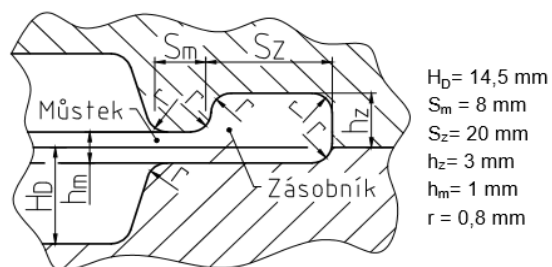


Obr. 35 Plocha průmětu výkovku do roviny kolmé ke směru rázu

Velmi důležité jsou hodnoty rádiusů hran a přechodů výronkové drážky. Pro samotný výpočet (2.6) je nutné znát vzdálenost mezi dnem výkovku a dělicí rovinou, která činí 14,5 mm. Platí, že:

$$\begin{aligned} r' &= \frac{\sqrt{S_v}}{200} + 0,04 \cdot H_D, \\ &= \frac{\sqrt{2227,733}}{200} + 0,04 \cdot 14,5 = 0,816 \text{ mm} \end{aligned}$$

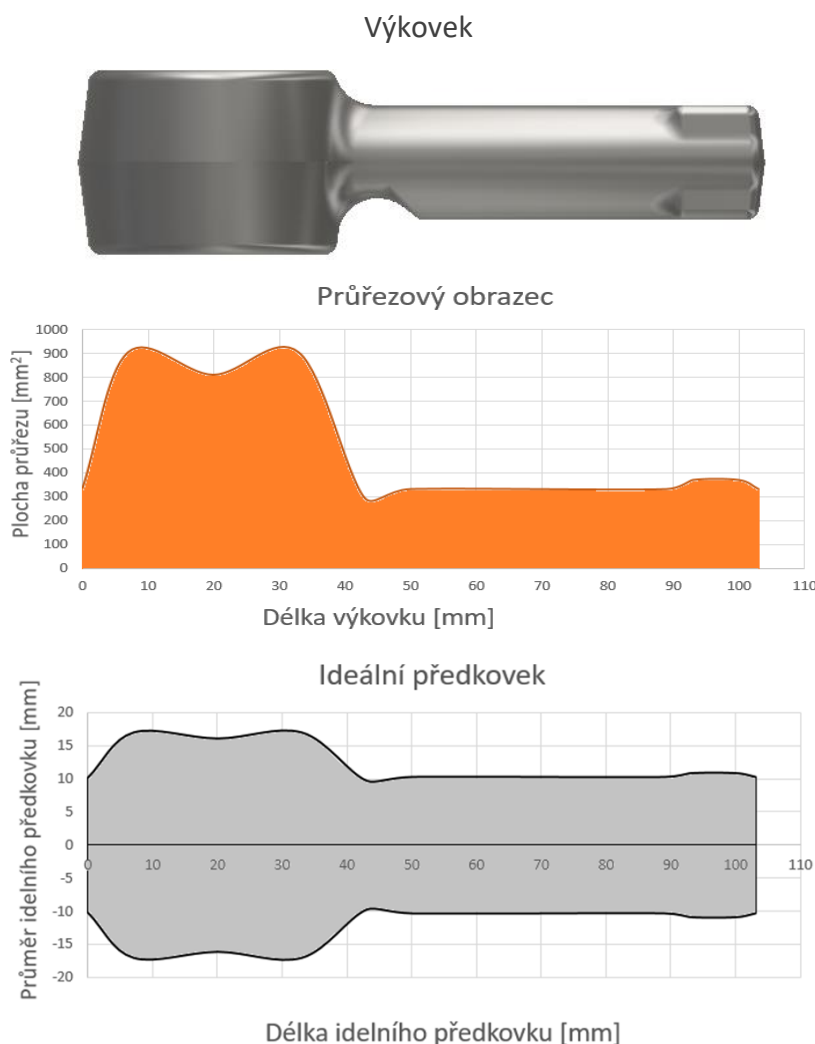
Z důvodu zvětšování zaoblení výronkové drážky způsobené opotřebováním zápustky při tváření je zvolen poloměr $r = 0,8$ mm.



Obr.36 Rozměry výronkové drážky [23]

3.3 Polotovár [2], [12] [13], [15], [18], [23],

Ideální předkovek se skládá z kruhových průřezů, jejichž velikosti se blíží příslušnému průřezu výkovku společně s výronkem. Pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2017 se zjistili jednotlivé průřezy, které se promítly do průřezového obrazce na obr. 37, ze kterého se následovně vypočítaly jednotlivé průměry ideálního předkovku prostřednictvím Excel 2016.



Obr. 37 Stanovení ideálního předkovku [23]

Výsledný tvar se následně zjednoduší. Z hlediska výroby se jeví vhodné příčné klínové válcování, kdy se budou kovat dva výkovky najednou, protože se zvýší produktivita výroby. Výhodou této varianty je i to, že výslednice sil vzniklých při kování bude procházet středem zápustky, což zvýší životnost stroje i nástroje.

Objem výchozího polotovaru se stanoví na základě objemů dvou výkovku (včetně blány) a celkového výronku pomocí vzorce:

$$V_o = (1 + \delta) \cdot (2 \cdot V_{\text{výk}} + V_{\text{výr}}) \quad (3.13)$$

kde: V_o – objem výchozího polotovaru

δ – opal

$V_{\text{výk}}$ – objem výkovku

$V_{\text{výr}}$ – objem výronku

- Množství opalu – se liší podle použitého ohřívacího zařízení. Polotovar bude zahříván na kovací teplotu pomocí indukční pece, jejíž velikost opalu činí 1 % celkového objemu výchozího polotovaru.
- Objem výronkové drážky – se zjistil opět pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2017. Na obr. 38 je určen celkový objem výkovku s výronkem 137,493,12 mm³. Plně zaplněná drážka se neuzivá. Pro zjištění hodnoty $V_{\text{výr}}$ je nutno celkový objem výronku vynásobit součinitelem zaplnění, který závisí na složitosti kovacího postupu. U výkovku s velkými rozdíly v průřezu, s použitím rozdělovací nebo rozdělovací a prodlužovací dutiny je velikost součinitele zaplnění výronkové drážky $\lambda = 0,5$. Platí, že:

$$\begin{aligned} V_{\text{výr}} &= (V_{\text{výr}+\text{výk}} - V_{\text{výk}}) \cdot \lambda \text{ [cm}^3\text{]} \quad (3.14) \\ &= (137,493 - 2 \cdot 44,99) \cdot 0,5 \\ &= 23,76 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

- Pomocí předchozích vztahů se stanoví celkový objem výchozího polotovaru podle následujícího vztahu:

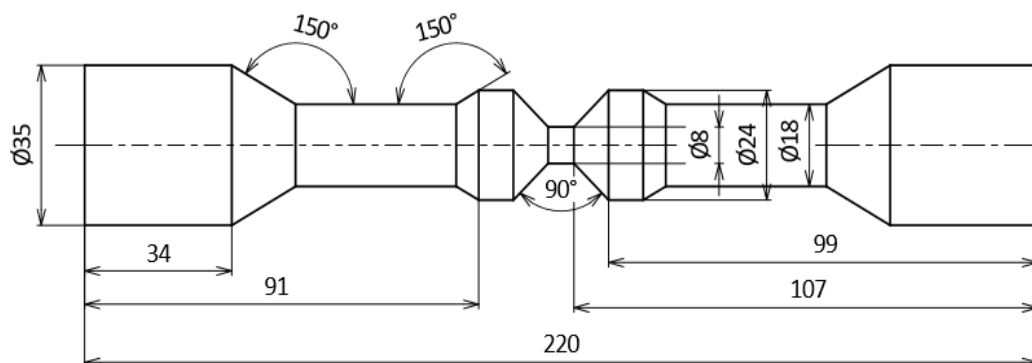
$$V_o = (1 + \delta) \cdot (2 \cdot V_{\text{výk}} + V_{\text{výr}}) = (1 + 0,01) \cdot (2 \cdot 44,990 + 23,76) = 114,877 \text{ cm}^3 \quad (3.15)$$

Upravený předkovek se základními rozměry je na obr. 39, jehož objem je 115,742 cm³, tvoří tak určitou zásobu materiálu.



Hustota	7,850 g/cm ³	Požadovaná přesnost	Velmi vysoké
Obecné vlastnosti			
<input type="checkbox"/> Zahrnout kosmetické svary			
Hmotnost	1,079 kg		
Povrch	55739,611 mm ²		
Objem	137493,120 mm ³		

Obr. 38 Objem výkovků s výronkem



Obr. 39 Zakladní rozměry předkovku

3.4 Volba stroje [13], [14], [15], [18], [21], [32],

Pro určení tvářecího stroje je zapotřebí znát průmět plochy výkovku k ploše kolmé ke směru rázu. Velikost průmětu se skládá z plochy výkovku (22,277 cm²) a plochy spojovacího můstku (1,96 cm²), zjištěné pomocí programu Inventor 2017. Výkovek bude kován při teplotě 1000 °C, při které je velikost přirozeného přetvárného odporu oceli 13 242 rovna 110 MPa. Existuje více způsobů určení potřebné energie.

- U první metody je nejprve nutné zjistit přetvárnou práci pro kruhové výkovek. Průměr se zredukuje pomocí vztahu (2.3):

$$\circ D_D = D_{Dred} = 1,13 \cdot \sqrt{F_D} = 1,13 \cdot \sqrt{2 \cdot 22,277 + 1,96} = 7,707 \text{ cm}$$

kde: F_D – průmět plochy výkovku k ploše kolmé ke směru rázu [cm²]

Potřebná práce posledního úderu pro kruhového výkovky se vypočítá podle ČSN 22 83 08 vztahem (2.1) následovně:

$$\begin{aligned} \circ A &= 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_D}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_D^2) \cdot D_D \cdot \sigma_p \text{ [J]} \\ &= 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot 7,707) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{7,707}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot 7,707^2) \cdot 7,707 \cdot 110 \\ &= 21\,948,62 \text{ J} \end{aligned}$$

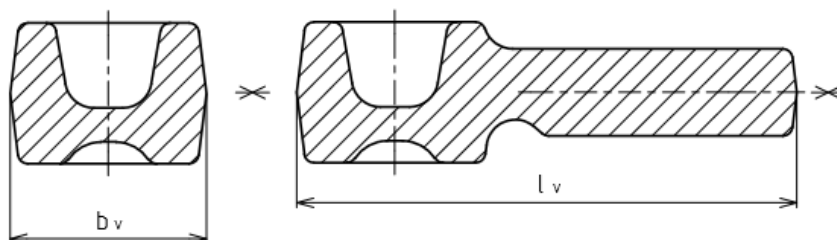
Dále se vypočítá délka a střední šířka dvou výkovků včetně velikosti spojovacího můstku, která činí 2 cm. Hodnoty jsou zjištěny za pomoci programu Inventor 2017 (obr. 40). Platí, že:

$$\circ L_D = 2 \cdot l_v + 2 = 2 \cdot 10,339 + 2 = 22,678 \text{ cm} \quad (3.16)$$

$$\circ B_D = (L_D + b_v) / 2 = (22,678 + 4,056) / 2 = 13,367 \text{ cm} \quad (3.17)$$

kde: $l_{výk}$ – největší délka výkovku [cm]

$b_{výk}$ – největší šířka výkovku [cm]



Obr. 40 Rozměry výkovku

Nyní se přetvárná práce pro kruhové výkovky dosadí do rovnice (2.2) pro nekruhové výkovky.

$$\begin{aligned} \circ A_n &= A \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_D}{B_{Ds}}} \right) [J] \\ &= 21\,948,62 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{22,678}{13,367}} \right) = 24\,807,48 J \end{aligned}$$

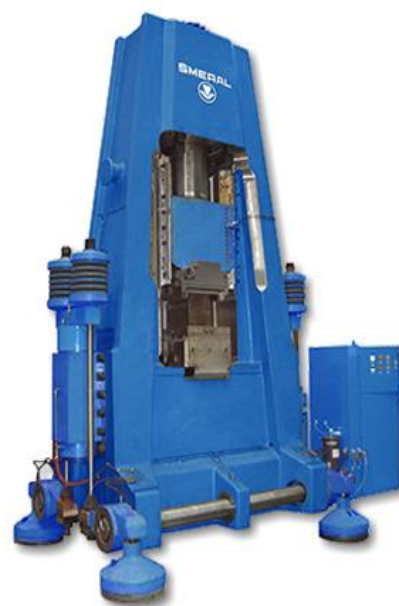
Celková přetvárná práce posledního úderu bucharu pro vyráběný výkovek je 24 807,48 J.

- Dalším způsobem zjištění velikosti bucharu se vypočítá pomocí koeficientu měrné energie dle (2.4). Zde je nutno znát plochy průmětu výkovku včetně výronkového můstku, která je určena programem Autodesk Inventor Professional 2017 a činí 7898 mm². Jelikož je součást lehká a její členitý tvar rychle chladne, což zvyšuje přetvárný odpor. Z tohoto důvodu je zvolen koeficient měrné energie na horní hranici, která je 0,72 J·mm⁻². Následně platí, že:

$$\circ A_m = S_v \cdot a = 7898 \cdot 0,72 = 5686,56 J$$

Hodnota přetvárné práce podle měrné energie vyšla 5 686,56 J.

Na základě výpočtů je zvolen pneumaticko-hydraulický buchar KHZ 2A (obr. 41) o jmenovité tvářecí energii 20 kJ, který postačí pro výrobu zadané součásti, jelikož při výpočtu přetvárné práce posledního úderu vzniká určitá nepřesnost při redukování nekruhového výkovku na kruhový. Stroj s větší rázovou energií by nebyl plně využit a zbytečně by zatěžoval zápustku, což by vedlo k nižší životnosti. Technické parametry bucharu jsou popsány v tab. 14.



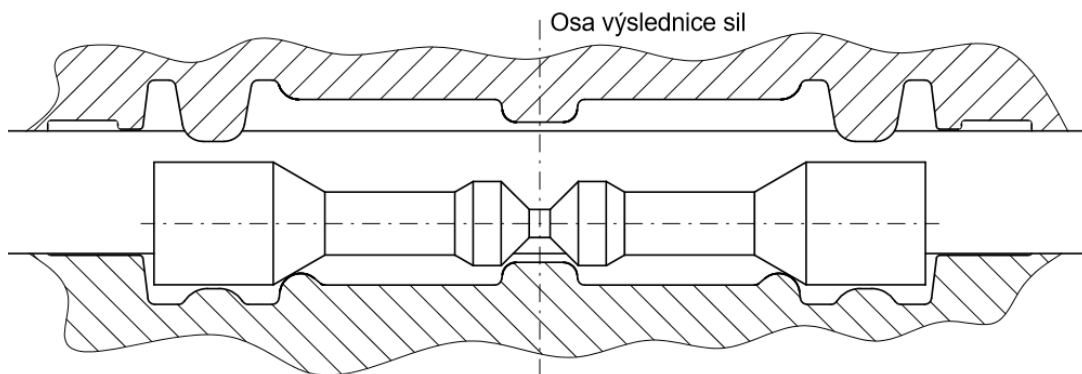
Obr. 41 Buchar KHZ 2A [32]

Tab. 14 Technické parametry bucharu KHZ 2A [32]

Tvářecí energie	20	kJ
Upínací prostor zápustek	250 x 440	mm
Nejmenší výška zápustek	250	mm
Max. zdvih beranu	400	mm
Počet zdvihů beranu	20	min ⁻¹
Celkový instalovaný výkon	30	kW
Rozměry stroje	3,1x3,1x2,3	m

3.5 Volba nástroje - zápustky [9], [10], [23], [29], [42],

Před samotnou volbou nástroje je nutné určit polohu vyráběného výkovku. Vzhledem k lepšímu plnění horní dutiny zápustky a lepší stabilitě uložení předkovku jsou zápustky poskládány podle obr. 42. Budoucí výkovek bude mít větší dutinu pouzdra směrem vzhůru.



Obr. 42 Uložení předkovku do zápustkové dutiny

Středem zápustky prochází jak osa stroje, tak i výslednice sil vzniklá během samotného kování, která je znázorněna na obr. 42.

Minimální vzdálenost dutiny od okraje je určena na základě hodnoty 'T' určené z nomogramu. Na tloušťku stěny má vliv hloubka dutiny, velikost zaoblení dna a bočních úkosů. Tyto hodnoty jsou určeny v příloze 1. Nomogram neobsahuje boční úhel menší jak 10° . Z tohoto důvodu je zaokrouhlo na hodnotu 10° , což bude tvořit i určitou bezpečnost. Velikost stěny se stanoví pomocí obr. 43. Platí, že:

- $H_D + 0,4 \cdot R$ (3.18)
- $14,5 + 0,4 \cdot 2 = 15,3 \text{ mm}$

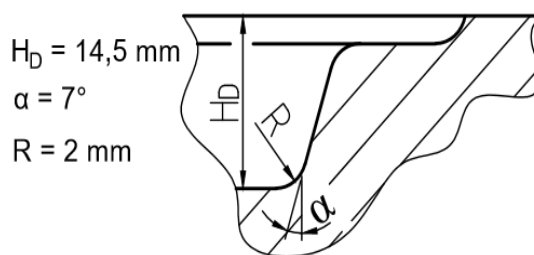
Z výsledných hodnot vynesných do nomogramu (obr. 34), kdy vzdálenost dutiny od okraje je rovna $T = 45 \text{ mm}$. Skutečná minimální velikost stěny od okraje je 52 mm .

Dle normy ČSN 22 8308 se minimální výška zápustky H_{\min} stanovuje na základě velikosti hloubky dutiny H_D . Tato hodnota se následně promítne do obr. 44, pro kterou platí $H_{\min} = 130 \text{ mm}$. Minimální výška zápustky je zvolena 250 mm , jelikož je dána výrobcem bucharu KHZ 2A. Tato velikost musí splňovat následující podmínku:

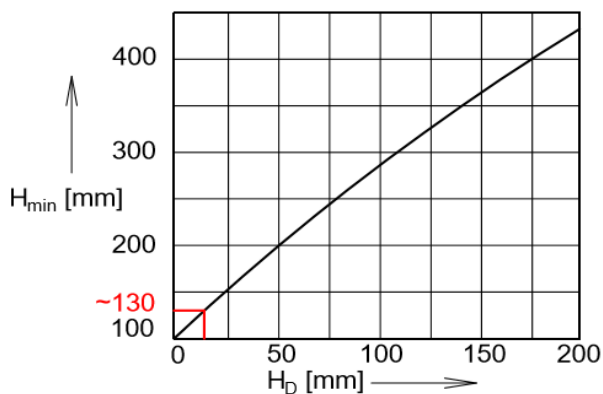
$$H_{\min} \leq H_{z\acute{a}p} \quad (3.19)$$

$$130 \text{ mm} < 250 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Zvolená výška zápustky 250 mm vyhovuje.



Obr. 43 Hodnoty pro stanovení tloušťky stěny zápustky [23]



Obr. 44 Minimální výška zápustky [23]

Rozměry zápustky jsou závislé na velikosti tvářecí práce příslušného stroje. Pro zajištění polohy zápustky do držáku se u pneumaticko-hydraulického bucharu používá jisticí čep a klínek, jelikož stojan stroje vykonává protiběžný pohyb. Na obr. 45 jsou znázorněny upínací rozměry zápustky, které jsou dle ČSN 21 1414 vypsány do tab. 15 pro buchar KHZ 2A.

Vedení zápustky – bude realizováno pomocí čtyř vodících kolíků, které vymezí vůli a zachytí tlak. Vzhledem k velikosti zápustky je zvolen průměr vodících kolíků $d_k = 20$ mm, jejichž poloha od stěn (obr. 46) bude vypočítána podle vztahu (2.7) následovně:

$$a_k = \frac{5}{6} \cdot d_k + 10 = \frac{5}{6} \cdot 18 + 10 = 25 \text{ mm}$$

Vodící kolíky budou umístěny v rozích ve vzdálenosti 25 mm od kraje zápustky.



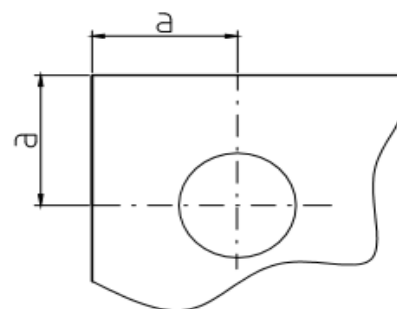
Obr. 45 Základní rozměry zápustky [9]

Tab. 15 Upínací rozměry zápustky bucharu KHZ 2A [9]

Tvářecí energie bucharu	Základní rozměry [mm]						
	a	h	h ₂	f	g	R	R ₁
20 kJ	200	52 ± 0,5	22	150	60	6	15

Materiál zápustek je nikl-chrom-molybden-vanadová ocel 19 663, která odolává teplotní únavě i prudkým teplotním změnám. Používá se u malých, středních i velkých zápustek s pevností nad 1 300 MPa pro buchary a kovací lis. Ocel je dobře obrobitelná v žíhaném stavu. Chemické složení materiálu je podrobně popsáno v tab. 16.

Drsnosti povrchu u jednotlivých ploch zápustky zvoleny dle tab. 17.



Obr. 46 Umístění vodících kolíků [23]

Tab. 16 Chemické složení nástrojové oceli 19 663 [42]

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Chem. složení v hm. %	0,5 - 0,6	0,3 - 0,6	0,5 - 0,9	max. 0,03	max. 0,03	0,9 - 1,3	0,3 - 0,5

Tab. 17 Drsnosti ploch vyráběné zápustky [35]

Plocha	Ra [μm]
Dokončovací dutina	0,8
Výronkový můstek	0,8
Upínací plochy	1,6
Zásobník	12,5
Vedení	1,6
Dosedací plochy	1,6

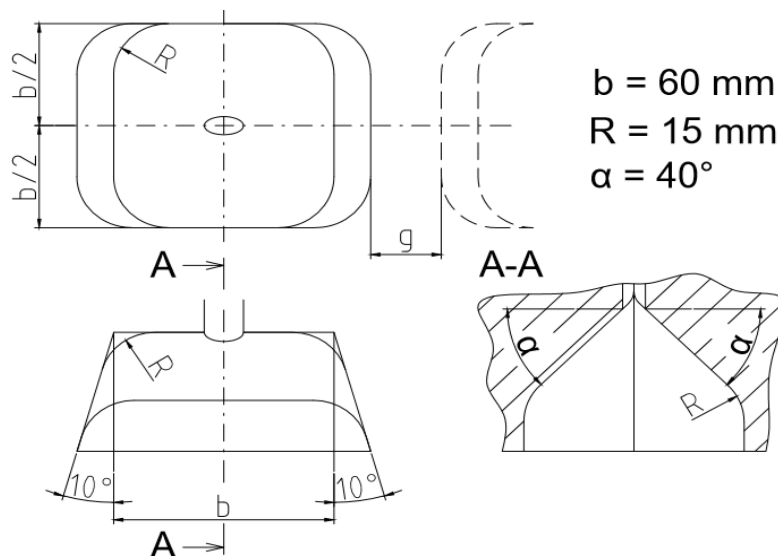
Rozměry zápustky budou zvětšeny o 1 % z důvodu smrštění materiálu vlivem chladnutí, s přihlédnutím na tvářený materiál a tvar budoucího výkovku. Mezní úchytky jednotlivých rozměrů dokončovací dutiny pro obvyklé provedení jsou sepsány v tab. 18.

Tab. 18 Mezní úchytky jednotlivých rozměrů dokončovací dutiny [10]

Jmenovité rozměry v mm	Mezní úchytky [mm]			
	\perp		\parallel	
	+	-	+	-
0 až 20	0,1	0,05	0,05	0,03
21 až 80	0,2	0,1	0,1	0,05
81 až 160	0,3	0,15	0,15	0,08
160 až 260	0,4	0,2	0,2	1

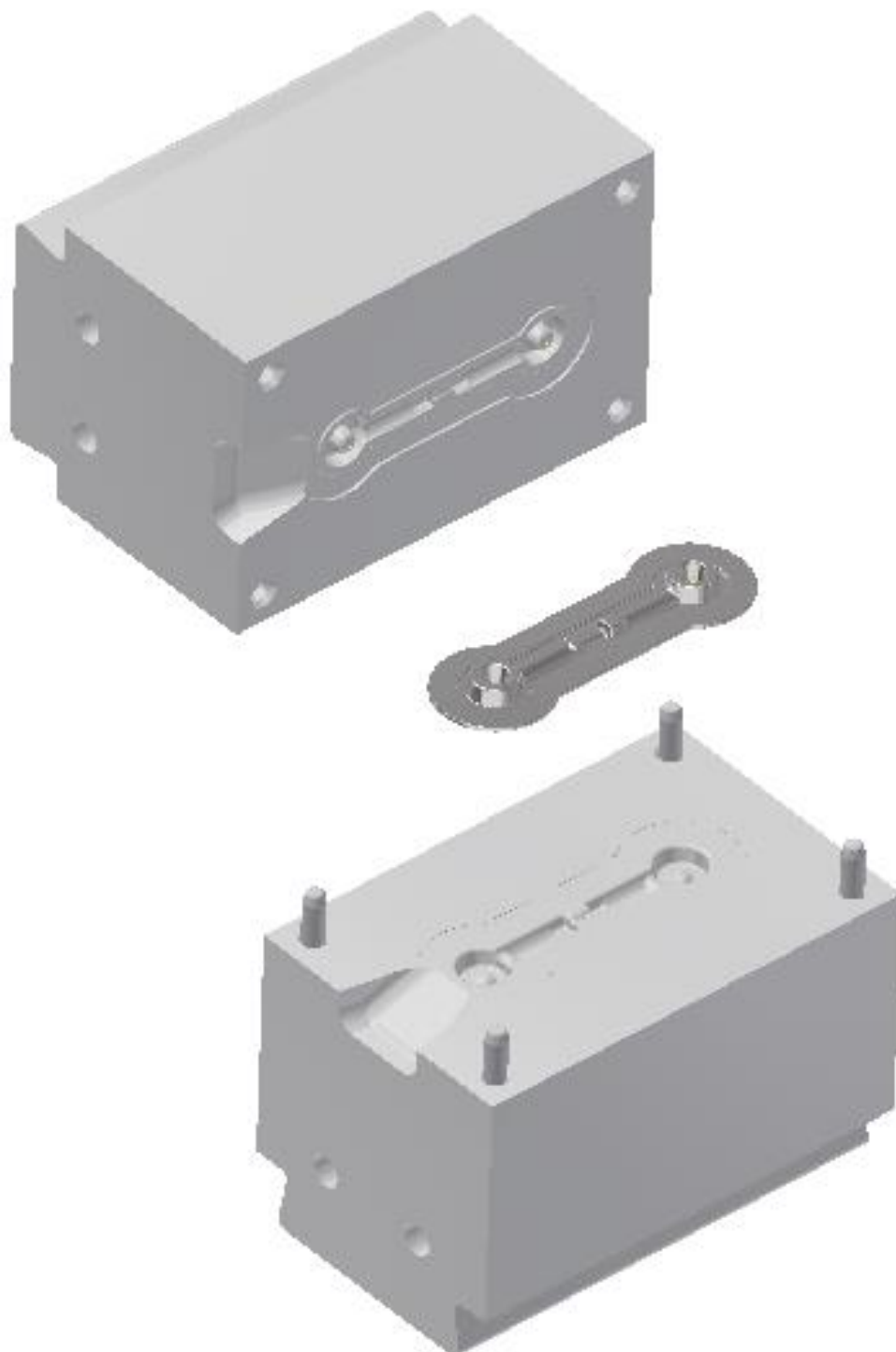
pozn.: \perp - kolmo na ráz, \parallel - ve směru rázu

Vybrání pro kleště – je nutné pro vyjmutí výkovku za výronek z dutiny zápustky při použití kleští. Rozměry vybrání jsou zvoleny na základě velikosti polotovaru na obr. 47.



Obr. 47 Vybrání pro kleště [23]

Vizualizace celé sestavy zápusky (obr. 48), včetně vodících kolíků a kovaného výkovku, která je zobrazena pomocí programu Inventor 2017. Horní díl zápusky je otočen o 90° pro zviditelnění dutiny.



Obr. 48 Vizualizace sestavy zápusky pomocí programu Inventor 2017

3.6 Odstrihování a děrování [11], [13], [14], [30].

Pomocí těchto operací se tvářený výkovek dokončuje, ostříhne se výronek nebo děruje průchozí otvor. To se provádí za studena, nebo za tepla na ostříhovacích lisech, které mají větší výrobnost než buchary. Odstrihování a děrování vyráběné hlavice se bude provádět za tepla. Výkovek bude přemístěn z bucharu přímo do ostříhovacího lisu. Vyšší teplota materiálu snižuje mez pevnosti v tahu, což zmenšuje střížnou sílu. Velikost stroje je určena na základě velikosti této síly.

Obvod odstřížku jednoho otvoru je 47,1 mm a tloušťka stříhané vrstvy je 11,7 mm. Hodnoty jsou zjištěny pomocí programu Inventor 2017. Mez pevnosti oceli 13 242 za teploty 750–800 °C činí 600 MPa. U děrování otvoru se vychází z následujícího vztahu:

$$\circ F_{SD} = 1,6 \cdot L_1 \cdot s_1 \cdot R_m \cdot 10^{-6} \quad [MN] \quad (3.20)$$

$$= 1,6 \cdot 2 \cdot 47,1 \cdot 11,7 \cdot 600 \cdot 10^{-6} = 1,058 \text{ MN}$$

kde: L_1 – obvod odstřížku po čáře od odstřížení vnitřního výronku (blány) [mm]

s_1 – tloušťka stříhané vrstvy vnitřního výronku (blány) [mm]

R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

Obvod střížné čáry vnějšího výronku jednoho výkovku činí 206,6 mm a tloušťka stříhané vrstvy je 2,39 mm, které jsou zjištěny pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2017. Při odstrihování vnějšího výronku se použije vztah:

$$\circ F_{SO} = 1,6 \cdot L \cdot s \cdot R_m \cdot 10^{-6} \quad [MN] \quad (3.21)$$

$$= 1,6 \cdot 2 \cdot 206,6 \cdot 2,39 \cdot 600 \cdot 10^{-6} = 0,948 \text{ MN}$$

kde: L – obvod odstřížku po čáře od odstřížení vnějšího výronku [mm]

s – tloušťka stříhané vrstvy vnějšího výronku [mm]

Na základě velikostí střížných sil je zvolen odstraňovací lis LKOA 200 (obr. 49) od výrobce Šmeral. Technické parametry lisu jsou sepsány do tab. 19.

Tab. 19 Technické parametry lisu LKOA 200 [30]

Tvářecí síla	2	MN
Upínací plocha stolu	1415 x 1000	mm
Upínací plocha beranu	1200 x 800	mm
Max. zdvih beranu	210	mm
Průchod	1420	mm
Sevření	585	mm
Počet zdvihů beranu	55	min ⁻¹
Celkový instalovaný výkon	18	kW
Rozměry stroje	4,1 x 2,3 x 2,2	m



Obr. 49 Ostříhovací lis LKOA 200 [30]

3.7 Technologický postup [22], [31], [40],

Pro určení technologického postupu výkovku je zapotřebí určit pomocné stroje, které slouží k přípravě polotovaru pro samotné kování, jenž bude prováděno na bucharu KHZ 2A (41). Následné odštíření a děrování zajistí odstraňovací lis LKOA 200 (obr. 48). Vzhledem k velikosti polotovaru jsou zvoleny následující pomocné stroje:

- Pásová pila na kov MBS 155K (obr. 50) – pro dělení polotovaru z tyče upnuté do rychloupínacího svěráku. Požadované rozměry jsou snadno nastavitelné pomocí délkových dorazů. Samotné řezání je rychlé, přesné a tiché. Technické parametry pily jsou sepsány do tab. 20.



Obr. 50 Pila MBS 155K [31]

Tab. 20 Technické parametry pily MBS 155K [31]

Řezná oblast α 0°	150	mm
Rozměry pilového pásu	1735 x 13 x 0,65	mm
Rozměry základny	1000 x 390	mm
Řezná rychlost	30 - 80	m.min-1
Příkon	1500	W

- Středofrekvenční ohřívač přířezů KSO 250/10-A30 – pro rychlý ohřev polotovaru kruhového průřezu, což vede k malému množství opalu. Mezi příslušenství tohoto typu ohřívače patří šikmý krokový dopravník s pneumatickou tlačnou, klešťový vytahovač, třídička přířezů a tyristorový měnič kmitočtu. Technické parametry ohřívače KSO 250/10-A30 (obr. 51) jsou vypsány do tab. 21.

Tab. 21 Technická data ohřívače KSO 250 [22]

Výkon	250	kW
Průměr přířezů ($\varnothing D$)	20 - 80	mm
Délka přířezů	1,2 D - 500	mm
Max. teplota ohřátého mat.	1250	°C
Kmitočet	2 - 6	kHz
Max. ohřáté množství	625	kg/h



Obr.51 Ohřívač KSO 250 [22]

- Stroj pro příčné klínové válcování ULS 70 RB (obr. 52) – pro výrobu vývalků za tepla. Předehřátý materiál kruhového průřezu je vložen mezi dva válce, které mají stejný smysl otáčení. Na těchto válcích jsou umístěny nástroje klínovitého tvaru, jejichž užší část vniká do tvářeného materiálu. Technické parametry jsou uvedeny v tab. 22.



Obr. 52 Stroj ULS 70 RB [40]

Tab.22 Technická data stroje ULS 70 RB [40]

Průměr vkládaného přířezů	35 - 80	mm
Max. délka přířezu	300	mm
Max. délka vývalku	550	mm
Doba pracovního cyklu	6,5	s
Rozměry stroje	3,2 x 2,9 x 2,3	m

Výroba hlavice se postupně zhotoví v řadě etap. Jednotlivé operace potřebné pro zhotovení vyráběného výkovku jsou sepsány do technologického postupu, viz tab. 23.

Tab. 23 Technologický postup výroby

Technologický postup		
Název součásti:	Číslo výkovku:	Číslo součásti:
Hlavice kulového kloubu	BP-02-170681	BP-01-170681
Operace	Název operace	
005	Dělení tyče	
	Stroj: Pásová pila na kov MBS 155K	Průměr: Ø 35
	Hmotnost přířezu: 0,909 kg	Délka: 120,3 ⁺¹ mm
010	Mezioperační kontrola	
	Kontrola délky přířezu s četností 5 %	
015	Ohřev polotovaru	
	Stroj: ohřívač KSO 250/10-A30	Teplota: 1150 ± 50 °C
020	Předkování	
	Stroj: ULS 70 pro příčné klínové válcování	Teplota: 1050 °C
025	Zápustkové kování	
	Stroj: Buchar KHZ 2A	Teplota: 1000 °C
030	Stříhání	
	Stroj: Ostříhovací lis LKOA 200	
035	Výstupní kontrola	
040	Balení	
045	Expedice	

4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [3], [5], [28], [43],

Celková cena vyráběné hlavice souvisí s řadou nákladů. Technicko – ekonomické zhodnocení se bude zabývat pouze náklady na materiál polotovaru a na výrobu kovacího nástroje – zápustky, jelikož nejsou známy režijní náklady firmy. Strojní zařízení jsou již součástí strojového parku, tudíž výdaje na pořízení nejsou uvedeny. Z těchto důvodů budou zjištěny následující náklady:

- Náklady na materiál polotovaru – se vypočítají z celkového počtu potřebných tyčí a ceny materiálu. Přířezy budou děleny pomocí pásové pily o tloušťce pilového pásu 0,65 mm z kruhové tyče $\varnothing 35 \times 6000$ – ČSN 42 5510 – 13 242.3. Cena za jeden kilogram oceli 13 242.3 činí 25 Kč. Dále se vypočítají vratné náklady ze železného šrotu. Třísky vzniklé dělením polotovaru se budou následně zpracovávat briketováním, jelikož se zvýší výkupní cena železného šrotu, která činí 4 Kč za jeden kilogram. Pro zjištění celkového množství odpadového materiálu je nutno znát hmotnost výkovku bez výronku a blány. Tato hodnota je 0,341 kg, která je zjištěna pomocí programu Inventor 2017. Třískové obrábění nebude realizováno ve firmě, z tohoto důvodu není součástí technicko – ekonomického zhodnocení. Celkové materiálové náklady jsou shrnuty v tab. 24.

Počet přířezů z jedné tyče:

$$\circ n_p = \frac{L_t}{L+U} = \frac{6000}{121,3+0,65} = 49,2 \text{ ks} \quad (4.1)$$

kde: L_t – celková délka tyče [mm]

L_p – maximální přípustná délka přířezu [mm]

U – tloušťka pilového pásu [mm]

Celkový počet přířezů z tyče o délce 6 m je 49 kusů, protože se výsledek zaokrouhlí na nejbližší nižší hodnotu.

Počet tyčí pro celou sérii:

$$\circ n_T = \frac{n_{rs}}{n_p \cdot n_{pv}} = \frac{300\,000}{49 \cdot 2} = 3061,2 \text{ ks} \quad (4.2)$$

kde: n_{rs} – počet vyráběných výkovků za rok

n_p – počet přířezů z jedné tyče

n_{pv} – počet výkovků z jednoho přířezu

Pro celou roční sérii je zapotřebí 3 062 ocelových tyčí o délce 6 m.

Hmotnost jedné tyče:

$$\circ m_t = L_t \cdot \frac{D_t^2 \cdot \pi}{4} \cdot \rho_o \cdot 10^{-9} = 6000 \cdot \frac{35^2 \cdot \pi}{4} \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = 45,316 \text{ kg} \quad (4.3)$$

kde: D_t – průměr tyče [mm]

ρ_o – hustota oceli [$\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3}$]

Pomocí hustoty oceli ($7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) je hmotnost šestimetrové tyče stanovena na 45,316 kg.

Přímé materiálové náklady pro celou sérii:

$$\circ N_{ps} = n_T \cdot m_t \cdot C = 3062 \cdot 45,316 \cdot 25 = 3\,468\,939,8 \text{ Kč} \quad (4.4)$$

kde: m_t – hmotnost tyče [mm]

C – cena za 1 kg oceli 13 242 [Kč]

Vratné náklady z odpadového materiálu

$$N_v = (m_t \cdot n_T - m_{\text{čv}} \cdot n_{rs}) \cdot C \quad [\text{Kč}] \quad (4.5)$$

$$= (45,316 \cdot 3062 - 0,341 \cdot 300000) \cdot 4 = 145\,830,4 \text{ Kč}$$

kde: C_o – cena železného šrotu [Kč]

$m_{\text{čv}}$ – hmotnost výkovku bez výronku a blány [kg]

Tab. 24 Materiálové náklady pro roční sérii

Náklady	Cena [Kč]
Přímé materiálové náklady	3 468 939,80
Náklady na vratný odpad	-145 830,40
Celkové materiálové náklady	3 323 109,40

- Náklady na pořízení kovacího nástroje (zápustky) – obsahující výdaje na výrobu třískovým obráběním a tepelné zpracování. Odhadované náklady na výrobu zápustky jsou znázorněny do tab. 25. Dalším důležitým aspektem je i cena nástrojové oceli 19 663, která činí 55 Kč za jeden kilogram. Životnost jedné zápustky je odhadnuta na 20 000 vyrobených výkovků.

Potřebný počet zápustek za rok

$$N_z = \frac{n_{se}}{z_z} = \frac{300000}{20000} = 15 \text{ ks}$$

kde: n_{rs} – roční série

Z_z – životnost zápustky

Tab. 25 Náklady na pořízení kovacího nástroje (zápustky)

Nástroj	Náklady [Kč]		
	Na materiál	Na výrobu	Celkem
Zápustka (horní + spodní)	22 000	40 000	62 000
Sada patnácti zápustek	330 000	600 000	930 000

Cílem technicko – ekonomického zhodnocení bylo zjistit náklady na materiál a cenu kovacího nástroje. Velikost přímých materiálových nákladů činí 3 468 939,80 Kč, z této hodnoty se následně odečtou vratné náklady (145 830,40 Kč) ze železného šrotu, který vznikne při dělení polotovaru, odstříhování výronku (blány) a nevyužitého konce tyče. Potom celkové materiálové výdaje činí 3 323 109,40 Kč. Dále se vypočítala cena nástroje – zápustky (62 000 Kč), v níž jsou započteny náklady na výrobu a materiál zápustky. Pro roční sérii je zapotřebí patnácti sad zápustek o celkové ceně 930 000 Kč. Do celkových výdajů na výrobu série zadané součásti, by se následně přičetly režijní náklady podniku.

5 ZÁVĚRY

Cílem bylo vypracovat návrh výroby oka, které je součástí kulového kloubu. Součást bude dynamicky namáhána, proto se bude vyrábět z nízkolegované oceli 13 242 v produkci 300 000 ks/rok. Z několika různých metod výroby byla zvolena technologie zápustkového kování, po které se následně výkovek do-obrobí. S ohledem na tvar součásti, strojový park podniku a roční produkci byl zvolen tvářecí stroj – buchar.

V návrhu výroby bylo dodrženo několik základních pravidel a výpočtů pro zhotovení požadovaného výkovku. Nejprve byla zvolena dělicí rovina v polovině výšky pouzdra. Rozměry přesahující přesnost zápustkového kování byly zvětšeny o přídavek na obrábění, který činí 2 mm. U ploch rovnoběžných s pohybem beranu byly zvoleny velikosti úkosů, a to u vnitřních 10° a vnějších 7°. Průchozí otvor pouzdra nelze prokovat, z tohoto důvodu zde byla umístěna kovací blána o tloušťce 7 mm ve vzdálenosti 6,5 mm pod dělicí rovinou. Zaoblení hran a přechodů byla vypočítána na základě přilehlých stěn pro lepší zatečení kovu. Dle normy ČSN 10243-1 byly na výkovku určeny úchytky délek, šířek, výšek, přesazení, otřepů, přímostí, rovinností a zaoblení hran i přechodů. Rozměry výronkové drážky byly stanoveny na základě velikosti můstku, která činí 1 mm.

Vzhledem ke tvaru výkovku byl určen předkovek kruhových průřezů, který byl vypočítán na základě průřezového obrazce. Ohřátý kov bude předkovan pomocí příčného klínového válcování. Z důvodu větší produktivity a rovnoměrnějšího zatížení zápustky se budou kovat dva výkovky proti sobě, jenž budou spolu spojeny můstkem. Objem polotovaru byl vypočítán na 114 877 mm³. Konečný předkovek má pak objem 115 742 mm³ a tvoří tak určitou zásobu materiálu.

Pomocí měrné energie byla vypočítána kovací práce, která vyšla 5 686,56 J. Na základě výpočtu byl zvolen pneumaticko-hydraulický buchar KHZ 2A (obr. 41) o jmenovité tvářecí energii 20 kJ. Pro tento stroj byl následně zkonstruován kovací nástroj – zápustka. Poté byla navržena kovací linka, která se skládá z pásové pily na kov MBS 155K, středofrekvenčního ohříváče přířezů KSO 250/10-A30, stroje pro příčné klínové válcování ULS 70 RB, bucharu KHZ 2A a ostříhovací lisu LKOA 200.

V technicko – ekonomickém zhodnocení se na základě výpočtů zjistily celkové náklady na materiál, které činí 3 323 109,40 Kč. Následně se odhadla cena kovacího nástroje ve výši 62 000 Kč. Pro celou roční sérii se náklady na nástroj rovnají 930 000 Kč, kdy je zapotřebí 15 sad zápustek.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BEDNÁŘ, Bohumír, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Ladislav MICHÁLEK, 2005. Technologičnost konstrukce I. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-010-3268-X.
2. BENEŠOVÁ, Soňa a Vladimír BERNÁŠEK, 2014. Technologie tváření [online]. 2014. Západočeská univerzita v Plzni: Univerzitní knihovna – oddělení vydavatelství a tiskových služeb [cit. 2017-05-21]. ISBN ISBN 978-80-261-0449-0. Dostupné z: <http://zcu.cz/pracoviste/vyd/On-line.html>
3. Briketování kovových odpadů, 2013. Odpady [online]. Profi Press [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/briketovani-kovovych-odpadu/>
4. CEDRYCH, Mario René, 1998. Automobily Škoda Felicia. 3. rozš. vyd. Praha: Grada. ISBN 8071697184.
5. Ceník železa, 2017. Alba waste [online]. ALBA WASTE a.s [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://kovosrot-alba.cz/cenik-zeleza>
6. ČADA, Radek, 2008. Postup údržby I. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita. ISBN 978-80-248-1506-0.
7. Čelní frézování rohu, In: Sandvik Coromant [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/shoulder_milling/shoulder_face_milling
8. ČERMÁK, Jan, 2004. Zadání technologického postupu výkovku [online]. In: ČERMÁK, Jan. ČVUT, odbor tváření slévání a svařování, s. 11 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/Uploads/vykovek-zadani.pdf>
9. ČSN 21 1414, Tvářecí stroje. Upínání zápustek pro protiběžné buchary, 1971. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření.
10. ČSN 22 8308, Zápustky pro buchary. Směrnice pro konstrukci, 1971. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření.
11. ČSN 41 3242, Ocel 13 242 Mn-V, 1978. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření.
12. ČSN EN 10243-1, Ocelové zápustkové výkovky – Mezní úchytky rozměrů. Část 1, Výkovky kované na bucharech a svislých kovacích lisech, 2003. Praha: Český normalizační institut.
13. DVOŘÁK, Milan, 2001. Technologie. II. Brno: CERM, 238 s. : il. ISBN 8021420324.
14. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ, 2007. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 9788021434257.
15. ELFMARK, Jiří, 1992. Tváření kovů. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury. Technický průvodce. ISBN 8003006511.

16. Espytes: Production of fixing elements by cold forming, 2012. In: Youtube [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=j-H-WYFwK7k>
17. FABÍK, Richard, 2012. Tváření kovů: učební text: studijní materiály pro studijní program Metalurgické inženýrství Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita. ISBN 978-80-248-2572-4.
18. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA, 2006. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 8021423749.
19. Galvanické zinkování, 2009. Massag [online]. Bílovec [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.massag.com/cz/produkty/povrchove-upravy/galvanicke-zinkovani/>
20. HAŠEK, Vladimír, 1965. Kování. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury.
21. HÝSEK, Rudolf, 1972. Tvářecí stroje 1971. Praha: SNTL. Řada strojírenské literatury.
22. Kompaktní středofrekvenční ohříváče přířezů typové řady KSO do 630 kW, 2012. Roboterm [online]. Chotěboř [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.roboterm.cz/produkty/indukcni-ohrivace/ohrivace-prirezu/kompaktni-ohrivace-prirezu-kso-do-630-kw>
23. KOTOUČ, Jiří, 1993. Tvářecí nástroje. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 8001010031.
24. Kování zápusťkových výkovků, 2012. In: Ostroj [online]. Opava [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.ostroj.cz/kovani-zapustkovych-vykovku>
25. Kování, 2015. M. L. gear Designs [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1504/kovani>
26. KUBÍČEK, Jaroslav, Technologie svařování [online]. VUT, ÚST, odbor svařování a PÚ [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_svarovani__5te_etv_etv-k__kubicek.pdf
27. MAG - welding, 2017. In: Safe welding [online]. Vreden [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://safe-welding.com/mag-welding-common-despite-high-emissions-of-welding-fumes/>
28. Nákup a prodej konstrukčních ocelí, 2010. Tes Bojkovice s.r.o [online]. Bojkovice [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.tes-bojkovice.cz/zelezo/>
29. NOVOTNÝ, Karel, 1992. Tvářecí nástroje. Brno: Vysoké učení technické. ISBN 80-214-0401-9.
30. Odstříhovací lisy, Šmeral [online]. Brno [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/ostrihovaci_lisy.html
31. Pásová pila na kov MBS 155. Bow [online]. První Hanácká BOW spol. s r.o., 2017 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.bow.cz/produkt/3630152-pasova-pila-na-kov-mbs-155-k/>

32. Pneumaticko-hydraulické buchary, Šmeral [online]. Brno [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/buchary.html>
33. Reference, 2017. Mokov [online]. Jihlava [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://mokov.com/reference>
34. ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL, 2004. Strojnické tabulky pro školu a praxi. Praha: Scientia. ISBN 8071833126.
35. ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL, 2007. Strojnické tabulky: pro školu a praxi. Praha: Scientia. ISBN 9788086960203.
36. Řezné podmínky při obrábění [online], 2001. In: . Katedra obrábění a montáže, TU v Liberci, s. 6 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_rp.pdf
37. SEMERÁK, Gustav, 1979. Umělecké kovářství a zámečnictví. 2. dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. Řada stavební literatury.
38. Slévání [online], SPS Vítkovice [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/ZAV/ZAV3-Slevani1_GEI.pdf
39. Slévárna přesného lití, In: Moravia Tech [online]. Brno [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.moraviatech.cz/24820-slevarna-presneho-liti>
40. Stroje pro příčné klínové válcování, Šmeral [online]. Brno [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/pkv.html>
41. Technologie objemového tváření – kování, Technologie II [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm
42. Typy vad, příčiny jejich vzniku a hodnocení, 2012. ANB [online]. Plzeň [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=384>
43. W.Nr. 1.2714, JKZ [online]. Bučovice [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/pro-prace-za-tepla/w-nr-12714/>
44. Zápustkové výkovky, 2017. Unex [online]. Olomouc [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.unex.cz/cs/odlitky-a-vykovky/zapustkove-vykovky>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Přetvárná práce posledního úderu kruhového výkovku	[J]
a	Koeficient měrné energie	[J.mm ⁻²]
a _k	Vzdálenost kolíku od okraj	[mm]
A _m	Přetvárná práce podle měrné energie	[J]
A _n	Přetvárná práce posledního úderu nekruhového výkovku	[J]
b	Největší šířka ve směru kolmém na ráz	[mm]
b ₁	Kratší šířka měřená rovnoběžně s hlavní dělicí plochou	[mm]
b ₂	Odpovídající větší šířka měřená rovnoběžně s hlavní dělicí plochou	[mm]
B _D	Střední šířka výkovku	[cm]
b _{výk}	Největší šířka výkovku	[mm]
b _{výr}	Největší šířka výrobku	[mm]
C	Cena za 1 kg oceli 13 242	[Kč]
C _o	Cena za 1 kg železného šrotu	[Kč]
D _D	Průměr výkovku	[mm]
d _k	průměr vodícího kolíku	[mm]
D _{red}	Redukovaný průměr výkovku	[mm]
D _t	Průměr tyče	[mm]
F	Stupeň přesnosti	[-]
F _D	Průmět plochy výkovku k ploše kolmé ke směru rázu	[cm ²]
F _{SD}	Střížná síla při děrování	[MN]
F _{SO}	Střížná síla při odstříhování	[MN]
h	Největší výška ve směru rázu	[mm]
H _D	Vzdálenost dna výkovku od dělicí roviny	[mm]
h _m	Výšky můstku	[mm]
H _{min}	Minimální výška zápustky	[mm]
H _v	Výška vedení	[mm]
H _{záp}	Skutečná výška zápustky	[mm]
l	Největší délka ve směru kolmém na ráz	[mm]
L	Obvod odstřížku po čáře od odstřížení vnějšího výronku	[mm]
l ₁	Kratší délka měřená rovnoběžně s hlavní dělicí plochou	[mm]
L ₁	Obvod odstřížku po čáře od odstřížení vnitřního výronku (blány)	[mm]
l ₂	Odpovídající větší délka měřená rovnoběžně s hlavní dělicí plochou	[mm]
L _D	Délka výkovku	[cm]
L _p	Maximální přípustná délka přířezu	[mm]
L _t	Celková délka tyče	[mm]
l _{výk}	Největší délka výkovku	[mm]
l _{výr}	Největší délka výrobku	[mm]
m _{év}	Hmotnost výkovku bez výronku a blány	[kg]
m _{obal. telesa}	Hmotnost obalového tělesa	[kg]
m _{výkovku}	Hmotnost výkovku	[kg]
n _p	Počet přířezů z jedné tyče	[-]
n _{pv}	Počet výkovků z jednoho přířezu	[-]
n _{rs}	Počet vyráběných výkovků za rok	[-]
n _{se}	Roční série	[-]
n _T	Počet tyčí pro celou sérii	[-]
N _v	Vratné náklady z odpadového materiálu	[Kč]
N _Z	Potřebný počet zápustek za rok	[-]
r	Zaoblení výronkové drážky	[mm]
R _m	Mez pevnosti v tahu	[mm]
S	Ukazatel členitosti	[-]
s	Tloušťka stříhané vrstvy vnějšího výronku	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
s_1	Tloušťka stříhané vrstvy vnitřního výronku (blány)	[mm]
S_v	Plocha průmětu výkovku včetně výronkového můstku kolmo k rázu	[mm ²]
T	Minimální tloušťka stěny zápustky	[mm]
U	Tloušťka pilového pásu	[mm]
V_o	Objem výchozího polotovaru	[cm ³]
V_o	Objem polotovaru	[cm ³]
$v_{výk}$	Výška výkovku	[mm]
$V_{výk}$	Objem výkovku	[cm ³]
$v_{výr}$	Výška výrobku	[mm]
$V_{výr}$	Objem výronku	[cm ³]
$x_{výk}$	Střední hodnota výkovku	[mm]
$x_{výr}$	Střední hodnota výrobku	[mm]
Zz	Životnost zápustky	[-]
δ	opal	[%]
λ	součinitele zaplnění výronkové drážky	[-]
ρ	hustota materiálu	[kg.m ⁻³]
ρ_o	hustota oceli	[kg.m ⁻³]
σ_p	přetvárný odpor za kovací teploty	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výkovků vytvořených zápusťkovým kováním [33], [44],.....	9
Obr. 2 Sestava kulového kloubu	10
Obr. 3 Základní rozměry hlavice	10
Obr. 4 Třískové obrábění [7]	11
Obr. 5 Svařování MAG [27]	12
Obr. 6 Metoda vytavitelného modelu [39].....	12
Obr. 7 Protlačování za studena [16].....	13
Obr. 8 Zápusťkové kování [24]	13
Obr. 9 Kování s výronkem [13]	14
Obr. 10 Kovací teploty uhlíkových ocelí [13]	14
Obr. 11 Příklady dělicích rovin [15]	16
Obr. 12 Přídavky na výkovku [13]	17
Obr. 13 Zaoblení hran a přechodů výkovku [20].....	18
Obr. 14 Základní typy bucharů [25]	19
Obr. 15 Buchar KHZ 8A [32]	19
Obr. 16 Schéma zápusťky pro buchar [18]	20
Obr. 17 Základní typy výronkových drážek [23]	21
Obr. 18 Kruhové vedení [23].....	21
Obr. 19 Vodící kolíky pro zápusťky bucharu [10]	22
Obr. 20 Otvory pro zalisování vodících pouzder [10]	22
Obr. 21 Upínání pomocí klínku a pera [18].....	22
Obr. 22 Upínání pomocí klínku a jistícího čepu [9]	22
Obr. 23 Stanovení dělicí roviny [15]	23
Obr. 24 Kovací blána [13]	23
Obr. 25 Uložení polotovaru do zápusťky [15]	23
Obr. 26 Hlavice kulového kloubu.....	24
Obr. 27 Určení obráběných ploch.....	24
Obr. 28 Dělicí rovina vyráběné hlavice	24
Obr. 29 Největší rozměry hotové hlavice	25
Obr. 30 Rozložení přídavků.....	25
Obr. 31 Schéma hlavice kulového kloubu	26
Obr. 32 Určení hmotnosti výkovku podle programu Inventor 2017	27
Obr. 33 Obalové těleso [12].....	27
Obr. 34 Přesazení [12]	28
Obr. 35 Plocha průřezu výkovku do roviny kolmé ke směru rázu	29
Obr. 36 Rozměry výronkové drážky [23]	30
Obr. 37 Stanovení ideálního předkovku [23].....	30
Obr. 38 Objem výkovků s výronkem.....	31
Obr. 39 Základní rozměry předkovku.....	32
Obr. 40 Rozměry výkovků.....	32
Obr. 41 Buchar KHZ 2A [32].....	33
Obr. 42 Uložení předkovku do zápusťkové dutiny	34
Obr. 43 Hodnoty pro stanovení tloušťky stěny zápusťky [23].....	34
Obr. 44 Minimální výška zápusťky [23]	34
Obr. 45 Základní rozměry zápusťky [9].....	35
Obr. 46 Umístění vodících kolíků [23].....	35
Obr. 47 Vybrání pro kleště [23].....	36
Obr. 48 Vizualizace sestavy zápusťky pomocí programu Inventor 2017	37

Obr. 49 Odstřihovací lis LKOA 200 [30]	38
Obr. 50 Pila MBS 155K [31]	39
Obr. 51 Ohříváč KSO 250/10-A30 [22]	39
Obr. 52 Stroj ULS 70 RB [40]	39

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli 13 242 [11]	11
Tab. 2 Chemické složení oceli 13 242 [11]	11
Tab. 3 Doporučené kmitočty pro různé průměry ocelových přířezů [13]	16
Tab. 4 Přídavky na obrábění ploch [35]	16
Tab. 5 Nejmenší tloušťka blány a stěny výkovku [35]	17
Tab. 6 Úkosy u zápusťkových výkovků [35]	17
Tab. 7 Zaoblení hran výkovku [35]	18
Tab. 8 Nastrojové oceli sloužící k výrobě zápusťek [23]	20
Tab. 9 Drsnost ploch zápusťky [35]	20
Tab. 10 Výronková drážka zápusťky pro buchar [35]	21
Tab. 11 Rozměry kruhového vedení [23]	21
Tab. 12 Stanovení velikosti úchylek rozměrů výkovku [12]	28
Tab. 13 Úchytky přímosti a rovinnosti [12]	29
Tab. 14 Technické parametry bucharu KHZ 2A [32]	33
Tab. 15 Upínací rozměry zápusťky bucharu KHZ 2A [9]	35
Tab. 16 Chemické složení nástrojové oceli 19 663 [42]	35
Tab. 17 Drsnosti ploch vyráběné zápusťky [35]	36
Tab. 18 Mezní úchytky jednotlivých rozměrů dokončovací dutiny [10]	36
Tab. 19 Technické parametry lisu LKOA 200 [30]	38
Tab. 20 Technické parametry pily MBS 155K [31]	39
Tab. 21 Technická data ohříváče KSO 250 [22]	39
Tab. 22 Technická data stroje ULS 70 RB [40]	40
Tab. 23 Technologický postup výroby	40
Tab. 24 Materiálové náklady pro roční sérii	42
Tab. 25 Náklady na pořízení kovacího nástroje (zápusťky)	42

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Nomogram pro určení hodnoty T [23]

SEZNAM VÝKRESŮ

Hlavice	BP-01-170681
Výkovek oka	BP-02-170681
Předkovek	BP-03-170681
Zápusťka	BP-04-170681

Příloha 1 Nomogram pro určení hodnoty T [23]

