



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY PASTORKU

PRODUCTION OF PINION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Oleksandra Matsiuk

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Oleksandra Matsiuk**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

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:

Návrh výroby pastorku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost pastorku,
- 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,
- zhotovit výkres nástroje.

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, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

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

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

HAŠEK, Vladimír. Kování. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

MATSIUK Oleksandra: Návrh výroby pastorku.

Práce se zabývá návrhem výroby pastorku – menší rotační součásti s ozubením z oceli 14 220. Po provedení analýzy vhodných metod výroby, byla zvolena technologie zápustkového kování na bucharu v jedné dutině. Na základě výpočtů byl navržen polotovar – přířez o délce 151,8 mm a průměru 63 mm a kovací stroj – buchar KHZ 4A s tvářecí energií 50 kJ, pomocí norem byla konstruována zápustka. Pro kompletní proces výroby byly navrženy i stroje pro pomocné operace – pásová pila, indukční ohříváč, ostříhovací lis a bubnový tryskač.

Klíčová slova: Ocel 14 220, kování, buchar, pastorek, jednodutinová zápustka

ABSTRACT

MATSIUK Oleksandra: Production of pinion.

The bachelor's thesis deals with the design of the production of pinion – small gear made of steel 14 220. After analyzing all possible production methods, the technology of die forging on a hammer in the single-die was chosen. Based on a literature study of the issue and relevant calculations, a semi-finished product with a length of 151,8 mm and a diameter of 63 mm was designed. Hammer KHZ 4A with forming energy of 50 kJ was chosen. A single-die was constructed on the basis of valid state standards. Auxiliary machines were also chosen for production – band saw, induction heater, shearing press and drum blaster.

Keywords: 14 220 steel, forging, hammer, pinion, single-die

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATSIUK, Oleksandra. *Návrh výroby pastorku* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-20].

Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124925>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26.6.2020

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ	10
1.1 Variantní řešení	11
2 TECHNOLOGIE ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ	14
2.1 Ohřev	14
2.1.1 Průvodní jevy ohřevu	15
2.1.2 Ohřívací zařízení	16
2.2 Stroje	17
2.3 Nástroje	18
2.3.1 Konstrukce výkovku	20
2.3.2 Mazání a ohřev zápustek	21
2.3.3 Ostřížení a tepelné zpracování výkovku	22
3. NÁVRH VÝROBY	24
3.1 Návrh výkovku	24
3.1.1 Určení úchylek rozměrů a tvarů	26
3.1.2 Výronková drážka	28
3.2 Volba polotovaru	29
3.2.1 Dělení polotovaru	30
3.3 Volba bucharu	32
3.4 Volba pomocného zařízení	32
3.5 Návrh nástroje	34
3.5.1 Konstrukce zápušky a upínacích prvků	35
3.5.2 Volba materiálu a technologie výroby zápustek	38
3.6 Technologický postup	39
4. ZÁVĚRY	40
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5]

Všechny předměty, které se v moderním světě používají, jsou produkty zhotovené výrobními technologiemi. Důležitou roli při tom hrají kovy, které jsou nezbytné a vyskytují se v mnoha odvětvích průmyslu. Každá metoda zpracování kovů má své výhody a oblasti použití. Hlavními jsou odlévání, svařování, obrábění a tváření.

Tváření je jedním z nejvýznamnějších a nejstarších způsobů zpracování kovu. Je to proces změny tvaru výrobku pod vlivem tvářecích sil zpravidla bez porušení, proto je materiálově úsporný (má využití materiálu až 95 %). Existují různé metody, které se rozlišují podle teploty procesu, stupně deformace, působení vnějších sil a tepelného efektu. Každá z nich má společné výhody – produktivitu práce, dobré mechanické vlastnosti, kvalitní povrch a tak dále.

Z hlediska působení vnějších sil se tváření rozděluje na plošné a objemové. Plošné se zabývá hlavně zpracováním plechů a zahrnuje technologii ohýbání, tažení a stříhání. U objemového dochází k deformaci ve všech směrech objemu materialu, jsou to metody válcování, protlačování a kování.

Kování je tvarování polotovaru za poloohřevu nebo vysokých teplot. Zápustkové kování je vhodné pro menší a složitější výkovky s přísnějšími požadavky na pevnost a geometrickou přesnost a využívá speciální jednoúčelové nástroje – zápustky. Příklady součástí zhotovených zápustkovým kováním jsou na obrázku 1.

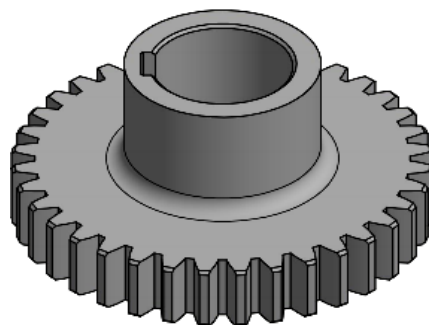


Obr. 1 Příklady kovaných součástí [1], [2], [3], [4], [5]

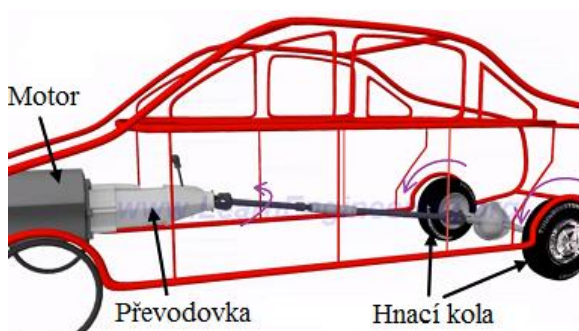
1 ROZBOR ZADÁNÍ [6], [7], [8], [9]

Řešenou součástí je pastorek zpětného chodu (obr. 2), který je přítomen v každé manuální převodovce. Funkcí je přenos krouticího momentu z motoru na kola (obr. 3), samotný mechanismus se skládá z hnací a hnané hřídele, na nichž jsou nasazena ozubená kola, která se mohou v záběru ocitnout v různých kombinacích, čímž se docílí změny otáček. Pastorek, který je na obr. 4 znázorněn modrou barvou, se nachází na hřídeli a vchází do záběru, jen když je zařazen zpětný chod.

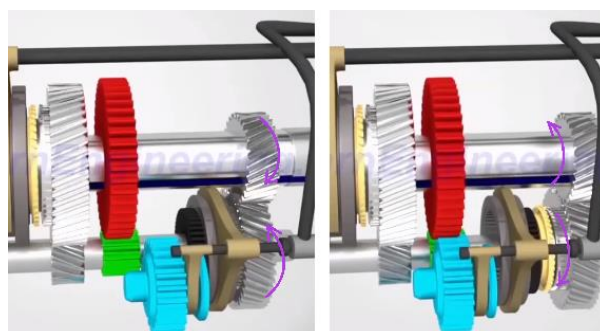
Pro pohyb automobilu dopředu musí hnací a hnaná hřídel točit určitým směrem. Při zařazení zpětného chodu se pastorek přemístí po hřídeli, vejde do záběru a točí hřídel v opačném směru. Výsledkem pak je jízda pozpátku. Schematické znázornění funkce je na obrázku 4.



Obr. 2 Model pastorku



Obr. 3 Přenášení krouticího momentu [6]



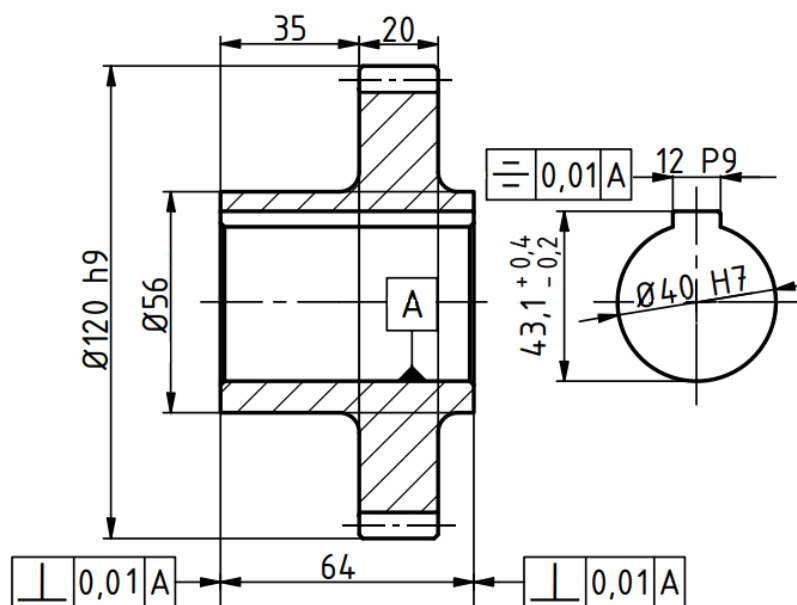
Obr. 4 Způsob otáčení hnané hřídele před a po zařazení zpětného chodu [6]

Pastorek bude vyráběn v sérii 100 000 kusů za rok. Je to symetrická rotační součást s čelním přímým ozubením, její výška je 64 mm a vnější průměr 120 mm. Je tvořena nábojem obsahujícím drážku o šířce 12 mm a ozubeným věncem s šířkou 20 mm a parametry $z = 38$ a $m = 3$. Jak je vidět, modul ozubení je poměrně malý, což znamená, že součást vyžaduje

použití přesnější technologie výroby. Pastorek má předepsané geometrické tolerance (obr. 5), což též vypovídá o náročnosti výroby.

Aby byla životnost součásti při přenášení značného zatížení větší, musí mít výrobek dobrou pevnost, tvrdost a odolnost proti opotřebení. Zlepšení těchto parametrů lze docílit tepelným zpracováním.

Ozubená kola a pastorky jsou specifické součásti a při volbě materiálu je nutno brát v úvahu hlavně ozubení –



Obr. 5 Tvar a rozměry pastorku

jakou technologií se bude vyrábět a jaké zatížení bude muset přenášet. Kombinací oceli s určitým složením a tepelným zpracováním lze získat materiál s ideálními vlastnostmi pro konkrétní součást. U ozubených kol se běžně používají konstrukční oceli tříd 12–16.

Vzhledem k tomu, že funkcí pastorku je přenášení vysokého radiálního zatížení a že jsou na něho kladeny poměrně vysoké požadavky, volba oceli třídy 12 a 13 by nebyla spolehlivá, u 13. třídy je zakázáno cementování. Materiály 15. a 16. třídy obsahují nikl, molybden a wolfram – prvky, které sice podstatně zvyšují takové materiálové vlastnosti, jako jsou odolnost proti opotřebení a korozi, žírupevnost či řezivost, ale mají poměrně vysokou cenu.

Bylo rozhodnuto vybrat některou z ocelí třídy 14. Jsou to chromové oceli s nízkým obsahem legur, které dosahují výborných vlastností.

Vhodná by byla například ocel 14 100, která je dobře tvářitelná za tepla a obrobitelná ve stavu žíhaném na měkko. Dalším vhodným materiálem by mohla být ocel 14 340, která má dobré technologické vlastnosti, kromě toho je určena k nitrídování a používá se pro namáhané součásti s největší povrchovou tvrdostí, ale je drahá. Nejvhodnější volbou z hlediska poměru ceny a jakosti se jeví cementační ocel 14 220 (také se používá název 16MnCr5 a ČSN 41 4220).

Jedná se o nízkolegovanou ušlechtilou mangan-chromovou ocel k cementování, která je tepelně zpracovatelná, svařitelná, dobře tvářitelná za studena po žíhání na měkko a za tepla v rozmezí teplot 1100–900 °C. Ve feriticko-perlitickém stavu má i vhodnou obrobitelnost, obzvlášť při zvýšeném obsahu síry. Mez kluzu je $R_{e\min} = 490$ MPa, pevnost v tahu pak $R_{m\min} = 685$ MPa. Ve stavu zušlechtném se hodí na značně namáhané součásti menších průřezů – ozubená kola, hřídele, čepy. Chemické složení a doporučené teploty pro tepelné zpracování jsou uvedeny níže v tabulkách 1 a 2, podrobnější přehled vlastností oceli je v příloze 1.

Tab. 1 Chemické složení oceli 16MnCr5 [9]

16MnCr5	C	Si max.	Mn	P max.	S max.	Cr
% hmotnosti	0,14–0,19	0,40	1,00–1,30	0,035	0,035	0,80–1,10

Tab. 2 Tepelné zpracování oceli 16MnCr5 [9]

Druh	Normalizační žíhání	Žíhání na měkko	Cementace	Kalení na jádro	Kalení na povrch	Popouštění
Teplota [°C]	880	650 až 700	880 až 980	860 až 900	780 až 820	150 až 200

1.1 Variantní řešení [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18]

Vzhledem k tomu, že daný pastorek má malý modul ozubení, lze požadovanou přesnost rozměrů zajistit ve většině případů jenom třískovým obráběním. Proto bude následující analýza provedena s ohledem na to, že ozubení se bude vyrábět zvlášť.

Pro výrobu zadané součásti existuje několik možných technologií, každá má své výhody a nevýhody:

- Přímé laserové spékání kovů (obr. 6) – jedná se o aditivní technologii, která vyhotovuje součásti podle modelů sestavených v CAD systémech. Laser, pohybující se po naprogramované dráze, nataví vrstvu prášku na posuvné podložce, ta se posune o krok dolů, pak se nanese a roztaví další vrstva a tak dále, dokud se nevytvoří celý díl.

Výroba zabere hodně času, což není praktické pro velké série, a je vhodná spíš pro složité tvary, které jinými metodami vyrobit nelze – pastorek takovou součástí není. Zařízení a pořizovací náklady jsou velké, materiál musí být ve formě jemného prášku, což znamená i zvýšené náklady na jeho získání. Součásti vyrobené tímto způsobem z uhlíkových ocelí vykazují náchylnost ke vzniku trhlin, vhodnost materiálu 16MnCr5 pro danou technologii zatím není dokonale prozkoumaná. Výhodami jsou úsporné využití materiálu, vysoká přesnost a možnost vyrobit ozubení.



Obr. 6 Přímé laserové spékání [10]

- Svařování – jedná se o metodu spojení dvou oddělených elementů pomocí svarového spoje (obr. 7) působením tepla nebo tlaku. Pastorek by bylo možno vyrobit svařováním dvou dílů – výpalku (kotouče s otvorem) a náboje. Potřeba přípravy dvou polotovarů podstatně ovlivňuje jak náklady na výrobu, tak i pracovní čas – z hlediska sériovosti výroby je daná metoda nevhodná. Ocel 16MnCr5 je ke svařování vhodná, problém by ale nastal ve svarovém spoji, kde při ohřevu dochází k natavování a míchání kovů – to má za následek vznik defektů a změnu struktury i vlastností kovů v místě svaru a tepelně ovlivněné oblasti, což ohrožuje pevnost pastorku. U součásti je předepsán požadavek kolmosti, jejíž dodržení není při použití technologie svařování možné.



Obr. 7 Svarový spoj [12]

- Soustružení (obr. 8) – jedná se o proces změny tvaru rotačních ploch pomocí řezných nástrojů, přičemž obrobek se upíná ve stroji a rotuje kolem své osy, nástroj koná posuv a odebírá vrstvu materiálu ve formě třísky. Pro obrábění by bylo nutné danou ocel zpracovat na feriticko-perlitickou strukturu. Při volbě této metody by byl zadán pastorek vyhotoven soustružením vnějších a vnitřních průměrů. Obráběním by se dal zajistit stupeň přesnosti až IT5 a drsnost až Ra 0,2. Součást má velký rozdíl průměrů a to znamená, že výsledkem použití dané metody bude nejen kvalitní výrobek, ale i velké množství odpadu, nevhodné využití nástrojů a k tomu velká časová náročnost, což vzhledem k sériovosti výroby není efektivní.



Obr. 8 Soustružení [13]

- Odlévání (obr. 9) – jedná se o lití roztaveného kovu do formy, po ztuhnutí odlitek zachovává její tvar. Metoda je vhodná pro tvarově složité součásti, ale pastorek má jednodušší tvar, proto je pro něj výroba forem zbytečně komplikovaná. Kromě toho materiál 16MnCr5 není vhodný pro odlévání. Zřejmě by šlo použít ocel na odlitky s podobným chemickým složením – třeba G42CrMo4, ale daná součást musí mít dobré mechanické vlastnosti. Struktura materiálu po odlití bohužel nebude stejnorodá – při tuhnutí vznikají hrubá zrna a vady v materiálu. To pro vlastnosti pastorku není vhodné – pro jejich zlepšení se musí provést tepelné zpracování. Co se týká sériovosti výroby, daná metoda je kvůli pomalému tuhnutí kovu a časové náročnosti nevhodná.



Obr. 9 Odlévání [14]

- Protlačování – jedná se o metodu objemového tváření za studena, při kterém se polotovár vtlačuje průtlačníkem do dutiny průtlačnice (obr. 10). Danou součást lze vyhotovit stranovým protlačováním, u něhož se materiál při zaplnění tvarové dutiny nástroje pohybuje ve směru kolmém k jeho ose. Pastorek vyrobený takovým způsobem by měl vysokou přesnost (IT8 až IT7), dobré mechanické vlastnosti a vyhovoval by kladeným geometrickým a pevnostním požadavkům. Protlačování je charakteristické nízkou odpadovostí, vysokou produktivitou práce i možností automatizace, což je výhodou pro sériovou výrobu. Kromě toho je zde možnost rovnou vyhotovit ozubení s malým modulem, ale materiál pastorku má velký přetvárný odpor, což znamená, že potřebuje specifický lis, kterým každá firma nedisponuje. Při volbě protlačování se vyskytne problém přípravy polotovaru – mezi materiálem a nástrojem působí velké třecí síly, proto se musí použít fosfátování a mazání povrchu.



Obr. 10 Průtlačnice [16]

- Zápustkové kování (obr. 11) – jedná se o metodu, při níž se ohřátý polotovár vkládá do zápustky a vlivem síly, kterou působí beran lisu nebo bucharu, se mění tvar. Materiál pastorku je vhodný ke tváření za tepla. Výkovky jsou charakteristické jemnou vláknitou strukturou, což má významný vliv na pevnost. Kováním lze dosáhnout přesnosti IT12 a konstrukce zápustky zajišťuje dodržení požadované geometrické tolerance. Kromě toho je výroba pastorku kovááním vhodná i z hlediska sériovosti – proces je rychlý a nástroje sice mají vysokou cenu, ale jejich životnost je počítána v tisících kusů.



Obr. 11 Zápustkový výkovek [17]

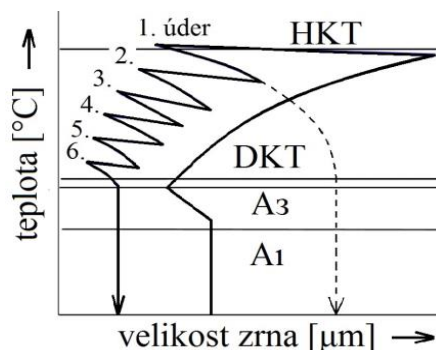
Z množství metod se jeví jako nejvhodnější zápustkové kování. Oproti jiným možnostem je vhodné pro velkou sérii a zároveň je díky němu možné vyhotovit kvalitní součást, která splňuje všechny požadavky – dosažení dostačující geometrické a rozměrové přesnosti a vysoké pevnosti.

Pro zápustkové kování se používají lisy (působí silou a hodí se pro materiál s úzkým intervalem kováčích teplot, velkosériovou výrobu a vyšší přesnost) nebo buchary (působí na materiál energií pádu a volí se, když jde o velké součásti (nad 50 kilogramů), kusovou nebo malosériovou výrobu či výkovky s velkými změnami průřezů a tenkými žebry).

Vzhledem k sériovosti, rozměru a tvaru součástí je zvoleno zápustkové kování na bucharu – na danou technologii bude zaměřena teoretická a praktická část práce.

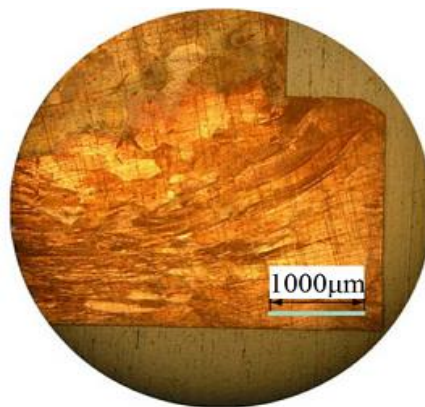
2 TECHNOLOGIE ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ [19], [20], [21], [22]

Kování je charakteristické nízkou odpadovostí – využitím materiálu až 80 %, možností vyrábět součásti libovolných tvarů, životností nástrojů až 10 000 kusů a značnou produktivitou práce – výrobnost činí 10 – 100 ks.hod⁻¹. Běžná hmotnost zápusťkového výkovku představuje 0,5 – 30 kg, ale může dosahovat i 3500 kg, přesnost pak bývá do IT12. Výrobky nabývají vysokých pevnostních charakteristik v důsledku změn v makrostruktuře a mikrostruktuře. Na obrázku 12 je ukázán průběh zjemnění zrna, které se zvětšuje s rostoucí teplotou, v prvním úderu se pak z důvodu přetvoření shromažďuje v polotovaru teplo, které se rozevřením zápusťky uvolní, a zrno se zvětšuje až do následujícího rázu – proto je jejich minimální počet pro úspěšné tváření roven třem.



Obr. 12 Zjemnění zrna [19]

Změny v makrostruktuře jsou zapříčiněny vznikem vláknitosti. Usměrněná vlákna (obr. 13) se v oceli tvoří po tváření materiálů, ve kterých jsou přítomny vměstky síry a fosforu umístěné většinou na hranicích zrn. Tyto prvky tuhnou pomaleji než železo, čímž se tvoří obálka primárních zrn, která se tvářením prodlouží ve směru deformace, a po rekrystalizaci z nich vznikne nová, jemnější struktura. Vměstky však nerekrystalizují – zůstanou v prodlouženém tvaru a utvoří vlákna. Taková struktura zlepšuje mechanické vlastnosti, ale také anizotropii. To znamená, že vlastnosti materiálu se budou v každém směru lišit. Vlákna se tvoří kolmo ke směru působení síly, proto je při konstrukci zápusťky nutné postupovat s ohledem na to, jaký směr zatížení bude mít součást v provozu.



Obr. 13 Vlákna ve výkovku [20]

Polotovary jsou zhotovené válcováním za tepla, sou to čtvercové a kruhové bloky a tyče nebo dráty a tlustostěnné trubky. Polotovary jsou obvykle dodávány ve větších délkách a následně se dělí na menší kusy, jejichž rozměr odpovídá vypočtenému rozměru polotovaru (s výjimkou těch případů, kde dělení musí proběhnout přímo při práci na tvářecím stroji). Existují tři způsoby dělení tyčových polotovarů:

- Řezání – uskutečňuje se na pilách rámových, kotoučových či pásových. V místě průřezu vždy vzniká materiálový odpad – prořez, jehož šířka se rovná šířce nástrojů. Je vhodné pro neželezné kovy a slitiny, vysokouhlíkové a legované oceli s pevností do 900 MPa.
- Stříhání – provádí se na nůžkách, v místě rozdělení nevzniká odpad, ale střížná plocha není tak kvalitní jak po řezání. Stříhá se na výstředníkových a klikových lisech. Pro zvýšení jakosti střížné plochy se tyč při stříhání zakrucuje.
- Lámání – je založeno na ohybu tělesa se zářezem, v němž vzniká výrazná koncentrace napětí, čímž poklesne plasticita a dojde k porušení soudržnosti kovů. Lomová plocha není rovná. Takto se dělí tyče velkých tloušťek na lisech.

2.1 Ohřev [21], [23]

Pro zlepšení tvárnosti a snížení přetvárného odporu se polovar musí ohřívat. Dělá se to i z důvodu snížení energetické náročnosti procesu a zvýšení životnosti nástroje, kromě toho krátkodobý ohřev způsobuje zlepšení struktury materiálu – zjemnění a homogenizaci zrn.

Pro úspěšné tváření se polovar musí ohřát na nejvyšší přípustnou teplotu, aby měl co

nejvyšší tvářitelnost a lépe zaplnil zápustku. Při ohřevu nad horní hranice kovací teploty se ocel nevratně poškodí. V průběhu kování polotovaru ztrácí teplo a nesmí se ochladit pod dolní hranici kovací teploty, jinak dojde k nedokování a porušení nástroje.

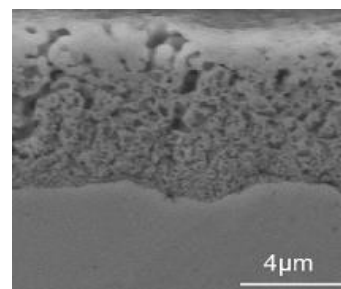
Důležitou roli přitom hraje i čas ohřevu – jeho prodleva snižuje jakost oceli a způsobuje hrubnutí zrna, zkrácení doby ohřevu minimalizuje negativní jevy, ale může mít za následek vznik tepelných pnutí, která jsou způsobena zvětšením objemu vnější vrstvy materiálu vlivem vysoké teploty povrchu a snahou nedostatečně ohřátého jádra se tomu bránit. V povrchu součástí vznikají tlaková a v jádře tahová tepelná pnutí, proto optimální doba ohřevu musí zajistit dosažení požadované teploty a zároveň rovnoměrného prohrátí s minimálním oduhličením a oxidací.

Doba ohřevu souvisí s rychlostí procesu. Ta zase závisí především na rozměru polotovaru a jeho tepelné vodivosti. Platí, že čím vyšší je rychlost ohřevu, tím větší tepelná pnutí v materiálu vznikají. Zabránit tomu lze pomocí předehřevu.

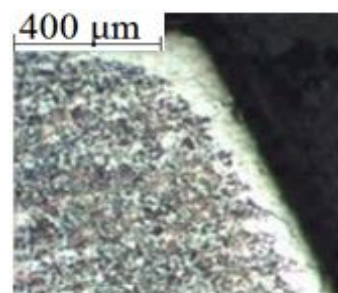
2.1.1 Průvodní jevy ohřevu [23], [24], [25], [26]

Při ohřívání vznikají ve větší nebo menší míře jevy, které mají negativní vliv na proces a uskutečňují se v důsledku chemických reakcí mezi ohřívaným polotovarem a okolní atmosférou.

- Opal – je ztráta části materiálu polotovaru, která je zapříčiněná přítomností kyslíku v pecní atmosféře vyvolávající oxidaci povrchu a nastává při ohřevu nad 700 °C. Tvořící se oxidy se nazývají okuje (obr. 14), odpadají od základního materiálu a lepí se na pecní nístěj, čímž zkracují její životnost. Také se mohou vtlačit do polotovaru a poškodit jeho povrch nebo nástroj, ve kterém bude polotovar zpracován. Ztráty činí až 4 % oceli a jejich množství závisí na době a teplotě ohřevu, chemickém složení materiálu, pecní atmosféře a způsobu pohybu polotovarů v peci. Zabránit vzniku okují nebo ho částečně eliminovat lze použitím ochranné atmosféry nebo ohřevem v elektrickém ohřívacím zařízení – indukčním nebo odporovém. Také je možné okuje odstranit mechanickým nebo chemickým čištěním – mořením.
- Oduhličení (obr. 15) – vzniká současně s oxidací, přičemž za vyšších teplot převládá oxidace a za nižších oduhličení. Při reakci CO_2 a H_2O uhlík difuzně proniká z vnitřku polotovaru ven a spaluje se na povrchové vrstvě materiálu, následkem čeho je snížení pevnosti a povrchové tvrdosti, což není na závadu v případech, kde se součást musí obrábět. Oduhličení závisí na pecní atmosféře, obsahu uhlíku a také na přítomnosti přísadových prvků zvyšujících jeho aktivitu v austenitu (Si, W, Mo). Zabránit oduhličení lze, stejně jako oxidaci, použitím elektrického ohřívacího zařízení nebo ochranné atmosféry. Kromě toho existuje možnost znovu nasytit povrch uhlíkem pomocí cementace.
- Přehřátí – je trvalé znehodnocení materiálu, které nastává po ohřevu nad HKT a probíhá ve dvou stádiích – bez ovlivnění a s ovlivněním hranic zrn. První stádium je charakterizováno hrubnutím zrna a vznikem jehlicovité struktury, která snižuje houževnatost, což lze napravit normalizačním žiháním. Ve druhém stadiu se síra rozpouští v oceli a pak se vylučuje na hranicích zrn



Obr. 14 Zokujení [24]



Obr. 15 Oduhličení [25]



Obr. 16 Spálený povrch oceli [26]

v podobě sulfidů, následkem čehož je snížení plastických vlastností oceli.

- Spálení (obr. 16) – je nevratné poškození materiálu v důsledku natavení hranic zrn, kde se zároveň se sírou v oceli rozpouští i fosfor.

2.1.2 Ohřívací zařízení [18], [21], [23], [27], [28], [29], [30]

Požadovanou teplotu polotovarů pro zápusťkové kování lze zajistit dvěma způsoby ohřevu:

- Plynový – uskutečňuje se pomocí hořáků v pecním prostředí, do něhož jsou polotovary vloženy. Mezi nejpožívanější druhy pecí patří:

- Komorové (obr. 17) – slouží pro ohřev polotovarů o hmotnosti od desetin kilogramu do stovek tun. Pece s pevnou nístějí jsou vhodné pro kusovou nebo malosériovou výrobu, pece s pohyblivou nístějí pak pro velkosériovou. Pro tento druh zařízení je podstatná tepelná izolace – jsou zde kladeny vysoké požadavky na vyzdívku. Nevýhoda je v tom, že ohřev a průchod materiálu není kontinuální.



Obr. 17 Komorová pec [27]

- Karuselové (obr. 18) – mají tvar mezikruží a jsou na rozdíl od komorových průchozí – polotovar se v nich pohybuje na rotační nístějí, což zajišťuje rovnoměrný ohřev. Zakládací a vyjímací dveře jsou vedle sebe, což představuje výhodu v usnadnění obsluhy. Vyzdívka je tvořena segmenty a skládá se z vrstvy šamotu nebo magnezitu a izolačního prostředku. Nevýhodou je púdorysně nepříznivě zastavěný prostor.



Obr. 18 Karuselová pec [28]

- Průběžné narážecí (obr. 19) – jsou průchozí, a proto vhodnější pro zápusťkové kování ve větších sériích. Mají pevnou nístěj, ale pohyb materiálu je mechanizovaný, podávací zařízení je umístěno mimo pracovní prostor. Nejsou zde dveře a materiál se vyjímá otvorem v přední nebo boční stěně. Provedení bývá s rovnou nístějí, kde se materiál umístí napříč, nebo s vodicími drážkami, do kterých se polotovar ukládá podélně. Při ohřevu se polotovary pohybují působením pneumatických válců. Čím delší je prostor pece, tím rovnoměrnější je teplota ohřevu. Vyzdívka se vyrábí ze šamotu a chrommagnezitu ve větší tloušťce, protože musí snížit kolísání teploty v pecním prostoru.



Obr. 19 Narážecí pec s rovnou nístějí [29]

- Elektrický – teplo se generuje bezprostředně v polotovaru působením elektrické energie. Používají se dva základní druhy elektrického ohřevu:

- Odporový přímý – teplo vzniká na základě ohmického odporu materiálu. Je vhodný pouze pro štíhlé polotovary, do nichž se proud zavádí pomocí elektrod připevněných ke koncům. Zařízení pro ohřev je poměrně jednoduché. Nevýhodami jsou nákladná mechanizace, nároky na čistotu, pravidelnost tvaru konců polotovarů a malý rozsah použitelnosti kvůli nestabilnímu odběru energie.
- Indukční – vodivý polotovar se vloží do dutiny cívky, kterou protéká střídavý elektrický proud vhodné frekvence, indukují se v něm vířivé proudy a je zahříván na základě svého ohmického odporu. Je používán pro polotovary

kratších délek a jednoduchých nečlenitých tvarů, především pro sériovou výrobu. Je také vhodný k automatizaci – lze vytvořit postupné tvářecí linky. Na druhou stranu se nehodí pro malosériovou výrobu s různým pracovním taktům, kde se vyžaduje víc než jeden ohřev.

Cívka (obr. 20) je tvořena měděnou trubkou, kterou protéká chladicí voda. Polotovary se vkládají do zásobníku a pak jsou v určitých intervalech podávány do cívky pneumatickým podavačem. Zasunutím nového studeného kusu se všechny polotovary posunou a z druhého konce je odebírán ohřátý díl.



Obr. 20 Měděná cívka s ohřátým polotovarem [30]

Zařízení pro indukční ohřev jsou axiální – magnetické silokřivky u nich probíhají rovnoběžně s osou ohříváného polotovaru – a transversální, kde silokřivky probíhají kolmo k ose polotovaru. Z hlediska rovnoměrnosti ohřevu se volí kmitočty zařízení v závislosti na průměru materiálu podle tabulky 3.

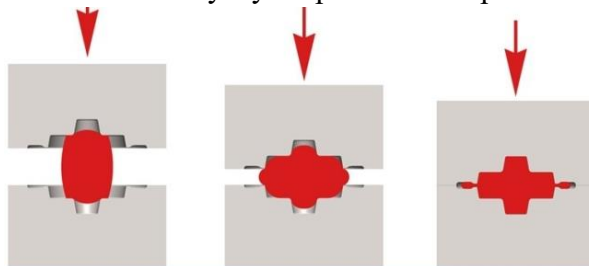
Tab. 3 Frekvence pro různé průměry ocelových přířezů [18]

Kmitočet [Hz]	50	600	1 000	2 000	4 000	10 000
Průměr [mm]	200-800	75-280	50-150	35-120	22-70	15-35

Mezi výhody metody indukčního ohřevu patří plynulost výroby, vysoký výkon, rychlost, skutečnost, že zařízení není tak masivní jako u plynového ohřevu, a šestkrát nižší zokoujení, což minimalizuje poškození tvářecích nástrojů a umožňuje snížení přídavek. Nevýhodami tohoto druhu ohřevu jsou vysoké pořizovací náklady a také nevhodnost pro členité výkovky.

2.2 Stroje [18], [21], [23], [31]

Kování na bucharu je deformace ohřátého kovu působením energie jednotlivých rázů. Výkovek je zhotoven v dutině nástroje, který se skládá z horní a dolní části. Při tváření horní část zápustky připevněná k beranu stroje se zvedá do určité výšky a po uvolnění padá svou vahou rychlostí až 9 m.s^{-1} na polotovaz vložený do dolní části zápustky upevněné na šabotě stroje, což způsobuje zaplnění nástrojové dutiny (obr. 21). Na bucharu se mohou vyrábět jak drobné výkovky, tak i díly značných hmotností, kovou se především součásti tvarově složité, vysoké, s velkými změnami průřezu či s žebry a výstupky.



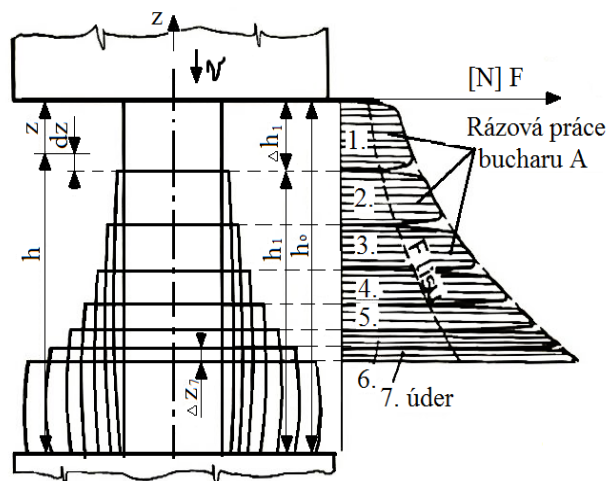
Obr. 21 Zaplnění dutiny [31]

Rázový charakter kování podporuje uvolňování okujů z povrchu výkovku – nejsou vtlačovány do polotovaru nebo nástroje jako u lisu, usměrňuje tok kovu do horního dílu zápustky, který se zaplňuje lépe než dolní, protože doba jeho styku s polotovarem je velice krátká (do tisícín sekund), a má nižší deformační odpor, proto je použití bucharů vhodné pro členité výkovky a pro pevnější materiály, pro něž je stanovena vysoká teplota kování – žárupevné a korozivzdorné oceli. Základní druhy bucharů jsou:

- Padací – u nich je energie tvořena volným pádem beranu s hmotností do 2500 kg, který se zvedá pomocí řemenice poháněné elektromotorem. Jejich úderová četnost dosahuje 70 min^{-1} a jsou vhodné pro jednodutinové kování polotovazů jednoduchých tvarů.
- Dvojčinné nebo parovzdušné – mají hmotnost beranu až 25 000 kg a úderovou četností až 100 min^{-1} jsou opatřeny pneumatickým zařízením, které nejen zvedá beran, ale i urychluje jeho dopad. Používají se pro postupové kování.

- Protiběžné – u nich je místo šaboty spodní beran, který je uveden do pohybu současně s horním, a má úderovou četnost 50 min^{-1} . Vzhledem k tomu, že se berany pohybují proti sobě, energie rázu dosahuje podstatně větších hodnot – až 1000 kJ. Jsou používány pro kování nejtěžších polotovarů v jedné dutině.

Existuje množství modelů bucharů každého druhu a liší se podle velikosti, hmotnosti beranu a práce, které jsou schopné dosáhnout. Volba vhodného stroje se provádí na základě deformační práce potřebné na poslední úder (obr. 22), který je nejvíc energeticky náročný, neboť v průběhu deformace se tvar polotovaru mění, teplota a plastičnost klesají a přetvárný odpor roste. Rázová práce bucharu se porovná s deformační prací potřebnou pro kování jednoho výkovku a na základě toho se rozhodne o vhodnosti daného stroje. Jeden ze způsobů výpočtu potřebné přetvárné práce pro kruhový výkovek se provádí podle:



Obr. 22 Velikost práce bucharu [18]

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

kde: A – práce posledního úderu [J]

D_v – průměr výkovku včetně výronku [cm]

$$D_v = D + 2 \cdot S, \quad (2.2)$$

kde: D – průměr výkovku [cm]

S – délka můstku [cm]

σ_s – pevnost materiálu za kovací teploty [MPa], určuje se podle tabulky 4

Tab. 4 Pevnost materiálu za kovací teploty [18]

σ_s [MPa]	T [°C]	1300	1200	1100	1000	900	800	700
Rm [MPa]	400	14	18	22	30	45	66	95
	600	20	22	16	54	75	111	150
	800	24	36	51	75	115	155	250
	1000	30	50	68	109	159	230	330

2.3 Nástroje [18], [23], [32], [33], [34]

Oceli pro zápustky bucharů jsou rázově namáhány, proto je u nich požadována pevnost 1200 až 1400 MPa a houževnatost 30 až 40 J·cm⁻². Materiál zápustek musí mít vysokou životnost a vykazovat odolnost proti:

- tepelné únavě – což chrání nástroj před prasknutím a rychlým opotřebením,
- popouštění za vyšších teplot – neboť to má podstatný vliv na stabilitu mechanických a plastických vlastností,
- opotřebení za vysokých teplot – opotřebená zápustka snižuje kvalitu povrchu a přesnost výkovku.

Jednodutinové zápustky se používají pro malosériovou výrobu a pro tvarově složité, velké a těžké součásti, u kterých není vícedutinové kování možné z důvodu složité manipulace. Takové polotovary se musí předkovávat pomocí volného kování nebo na kovacích válcích a pak se kovou v jediné dokovávací zápustce několika úderů. Obvykle je v nich kován jeden výkovek, avšak u menších kusů je účelnější kovat několik dílů najednou, což má výhodu v úspoře materiálu a zároveň lepším využití stroje.

A technical diagram showing a cross-section of a multi-layered assembly. It features several cylindrical components, possibly pins or vias, passing through different layers. Dashed lines indicate internal connections or hidden components. The assembly is shown in a perspective view, highlighting the layered construction and the placement of various electronic components.

Zápustka může být otevřená nebo uzavřená. V prvním případě se jedná o kování s výronkem – dutina zápustky se celá zaplní a přebytečný materiál vyteče do výronkové drážky, která je u bucharu uzavřená, umístěná po obvodu dokovací dutiny a slouží pro regulaci tlaku a zachycení materiálu.

Tab. 5 Vůle mezi spodní a horní zápusťkou [23]

Váha beranu [t]	do 1,5	1,5–3	3–6	nad 6
Vůle h [mm]	2	3	4	5

Při konstruování uzavřené dutiny je třeba dbát na způsob vyjmutí výkovku – jestli je jeho větší část situována v horní části, je vyjmutí usnadněno působením vlastní váhy výkovku.

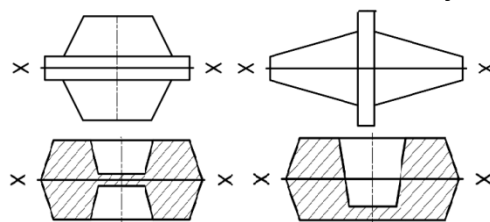
Připevnění zápuštěk k šabotě a beranu je normalizováno, a jak je ukázáno na obrázku 25, uskutečňuje se pomocí rybin a rybinových drážek, do

kterých jsou vloženy klíny na jedné straně a pera na protilehlé. Klín zabezpečující boční upevnění má podélný úkos $0^\circ 35'$ a nerovnoběžné stěny – jedna má úkos 10° , druhá 12° . Pero vložené do speciální drážky kolmo na rybinu, která má odpovídající vybrání, zajišťuje zápustku proti axiálnímu posunutí. Jestliže nástroj nemá dostatečnou výšku, například při jeho upnutí z menšího na větší buchar, vkládá se do přechodových držáků, však princip upevnění je stejný.

2.3.1 Konstrukce výkovku [18], [22], [34], [35]

Vzhledem k tomu, že tvar zápustkové dutiny je definován tvarem výkovku, nejdříve se provede konstruování výkovku s ohledem na technologické možnosti kování, které jsou určeny následujícími faktory:

- Dělicí rovina – její poloha (obr. 26) se doporučuje volit v rovině největších vzájemně kolmých ploch a musí být rovnoběžná s hlavní osou nebo kolmá na ni. U tenkých polotovarů musí být v ose polotovaru, u silných kolmá na ni. Při určení polohy je třeba si také uvědomit, že záleží nejen na tvaru, ale i na úspoře materiálu, proto se doporučuje rovinu volit pokud možno tak, aby dělila výkovek na dvě výškově stejné části, aby se zmenšilo množství použité nástrojové oceli na vnějších úkosech.

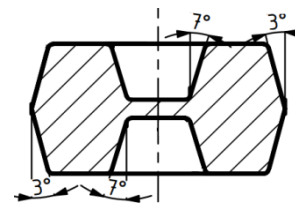


Obr. 26 Příklady polohy dělicí roviny [22]

- Přídavky:
 - Na obrábění – umísťují se tam, kde je nutné doobrábění, zejména u ploch s předepsanou rozměrovou přesností nebo u vadných – zokujených a oduhličených ploch. Stanoví se podle ČSN 42 9030 na základě největších rozměrů výkovku.
 - Na smrštění – u běžných ocelí dosahuje 1–1,3 %, zápustka má rozměry o tuto hodnotu větší.
 - Technologické – upravují součásti, aby bylo možné jejich kvalitní kování. Zahrnují i přídavky na tvarovou složitost, které se týkají zjednodušení tvarů členitých s vybráním kolmo k rázu nebo s vysokým vybráním.

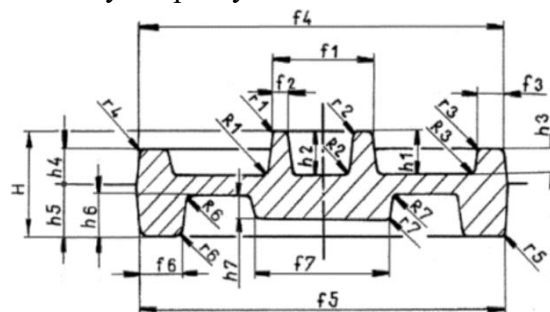
K technologickým přídavkům náleží:

- Úkosity (obr. 27) – jsou nutné pro snadnější vyjmutí polotovaru. Vnitřní úkosity se z důvodu smršťování výkovku volí větší než vnější, velikost úkosů se liší v závislosti na použitém stroji, u bucharových zápustek s běžnou přesností jsou vnější úkosity 3° , vnitřní 7° .



Obr. 27 Úkosity [22]

- Zesílení podlimitních tlouštěk dna a stěn – v příliš tenkých místech polotovaru se materiál vychlazuje rychleji, čímž se zvětšuje přetvárný odpor, proto je u součástí s tenkými prvky definována minimální tloušťka, která se stanoví v závislosti na rozměrech výkovku.
- Zaoblení hran (obr. 28) – je nezbytné pro zaplnění celé dutiny zápustky, proto se každý roh na součásti nahradí zaoblením, což umožní zatečení materiálu.



Obr. 28 Zaoblení hran [35]

Příliš malé zaoblení může způsobit neúplné zaplnění a opotřebení hran zápustky a zkrácení její životnosti.

- Předkování otvorů – otvory se v zápustkovém kování nahrazují blánou, jejíž tloušťka a tvar záleží na rozměrech součásti. Například u běžných výkovků je blána rovinná a její tloušťka se spočítá podle:

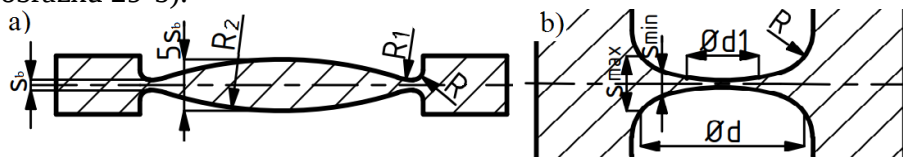
$$S_b = 0,45 \cdot \sqrt{D_o - 0,25 \cdot h_v - 5} + 0,6 \cdot \sqrt{h_v}, \quad (2.3)$$

kde: D_o – průměr otvoru [mm]

h_v – vzdálenost od dělicí roviny do vrcholu otvoru [mm]

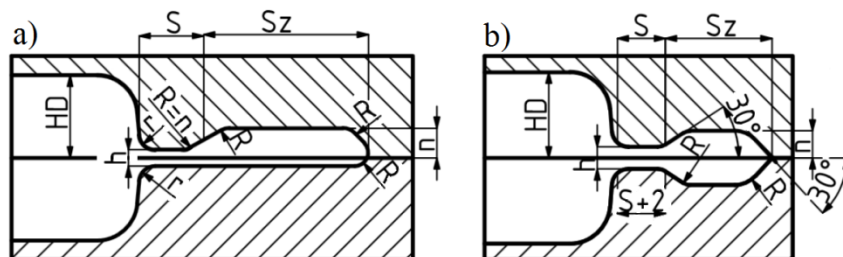
S_b – tloušťka blány [mm]

U nízkých výkovků se doporučuje tvar blány podle obrázku 29-a), přičemž v daném případě může plnit funkci výronku a shromažďovat přebytečný materiál. U velkých průměrů je s úkosem do středu podle obrázku 29-b).



Obr. 29 Nestandardní blány [34]

- Výronková drážka – její geometrie je specifikována můstkem, který je hlavním regulátorem tlaku v dutině, a zásobníkem, který zachytí přebytečný materiál. U běžných výkovků se nachází obvykle v horním dílu, jak je ukázáno na obr. 30-a). Pokud se jedná o velké a složitější součásti, drážka se zvětšuje jako na obr. 30-b), protože i přebytek materiálu je větší.



Obr. 30 Výronkové drážky [34]

2.3.2 Mazání a ohřev zápustek [18], [23]

Mazivo tvoří na pracovním povrchu zápustky izolační vrstvu, která se zabráňuje tření a přestupu tepla do nástroje, zlepšuje tok materiálu, zvyšuje životnost zápustek a usnadňuje vyjmutí výkovku. Mazací prostředky se volí podle stupně legování nástrojové oceli a nesmí se rozkládat při vysokých teplotách a tlacích, jinak se částice jejich tuhých zbytků mohou zakovat do výkovku. Pro zápustkové kování se používají následující druhy maziv:

- Grafít dispergovaný v kapalině – má lamelární strukturu a dobrou přilnavost, díky které se výborně lepí na porézní povrch kovu. Prostředek se nanáší rozprašováním. Výhodou je tenkost vrstvy – 10–5 μm , velká termická stabilita a tepelná vodivost.
- Kapalná maziva – představují oleje, které se vypařují při 200 °C. Plyny vznikající vypařováním mají dobrý oddělovací účinek.
- Konzistentní maziva – jsou mýdla a tuky, které po vypaření nechají na povrchu tuhé zbytky. Vhodné jsou spíše pro kusovou nebo malosériovou výrobu, protože se nanáší na povrch ručně.

- Sklo – nanáší se na polotovary ve formě vaty nebo folie a zabraňuje vzniku okují. Po kování se z výkovku odstraní pomocí pískování nebo oklepání. Nevýhoda spočívá v tom, že jeho zbytky tuhnou v zápustkové dutině.
- Piliny – používají se pro hluboké zápustky – plyny a vodní pára vznikající jejich spálením podporují snadné uvolnění výkovku.

Předehřev zápustek je stanoven na 200 – 300 °C a provádí se bezprostředně před kováním, popřípadě i v průběhu kování (pokud je výkovek tak malý, že množství jeho tepla nestačí na udržení daných teplot), a je obzvláště důležitý pro zápustky z wolframových ocelí, protože po tepelném zpracování je u nich snížena houževnatost, a také pro nástroje, jejichž tvar je členitý a má ostré záhyby či vruby – u těchto zápustek je nejvyšší náchylnost k praskání. Kromě toho má předehřev následující výhody:

- zpomaluje se chladnutí výkovku – tváření je účinnější a zároveň se méně opotřebovává zápustka,
- snižuje se rozdíl teplot mezi povrchem a jádrem nástroje,
- snižují se tepelná pnutí.

Předehřev může být buď místní – hořákem nebo horkým ocelovým blokem, který se provádí přímo ve stroji s nevýhodou nerovnoměrného prohřátí, nebo celkový na pískovém roštu, v peci či indukční. Při volbě tohoto způsobu se komplikuje manipulace s materiálem – je nutné přemístit horkou zápustku a upevnit ji na stroj.

2.3.3 Ostřížení a tepelné zpracování výkovku [21], [22], [23]

Po kování v otevřených zápustkách je potřeba z výrobku odstranit výronek, popřípadě i blánu, což se uskuteční pomocí operace ostříhování nebo děrování, a to za tepla nebo za studena. Ostříhování za studena se zpravidla provádí u materiálů, jejichž obsah uhlíku nepřekračuje 0,5 %, stříhání za tepla se používá pro větší a složitější výkovky z důvodu zmenšení tlaku a možnosti využít nabytého tepla pro rovnání.

K ostříhování a děrování se používají mechanické a hydraulické lisy. Stanovení vhodné síly stroje závisí na rozměrech výronku a pevnosti materiálu:

$$F_s = 1,7 \cdot 0,8 \cdot \sigma_s \cdot o \cdot 2 \cdot tl \text{ N} \quad (2.4)$$

kde: F_s – střížná síla [N]

o – stříhaný obvod [mm]

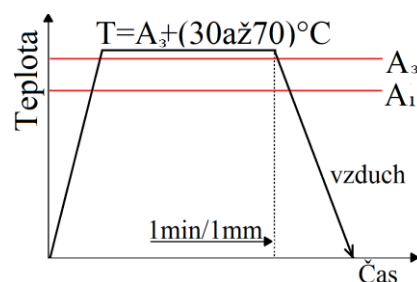
tl – stříhaná tloušťka [mm]

V případech, kdy je mezi střížníkem a střížnicí malá vůle (při tloušťkách do 0,5 mm u operací za studena a do 1 mm za tepla), výronek nemůže sám spadnout ze střížníku a nástroj se doplňuje stěračem.

Po ostřížení výkovku se provádí úprava vlastností materiálu tepelným zpracováním, které odstraňuje deformační zpevnění, zlepšuje obrobitelnost, homogenizuje strukturu a odstraňuje vnitřní pnutí:

- Žihání:

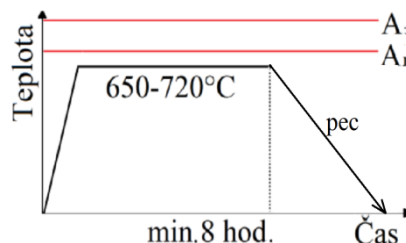
- Normalizační žihání (obr. 31) – je nejehospodárnější druh tepelného zpracování, vhodné pro nízko- a středněuhlíkové konstrukční oceli s malým obsahem legur. Odstraňuje nestejnoměrnosti struktury, způsobuje rovnoměrnou krystalizaci, která zaručuje stabilitu mechanických vlastností, a hlavně zlepšuje obrobitelnost. Provádí se při teplotě vyšší, než je teplota přeměny, o 30 až 70 °C v závislosti na rozměru



Obr. 31 Normalizační žihání [22]

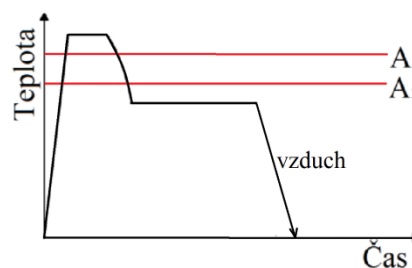
výkovků. Výdrž na normalizační teplotě je obvykle dost krátká – 5 až 20 minut, výjimečně může dosahovat 3 hodin, v závislosti na rozměru výrobku a druhu oceli. Pro ohřev jsou vhodné průběžné pece, chlazení probíhá na vzduchu.

- Žihání na měkko (obr. 32) – je dlouhodobá tepelná operace. Provádí se pod eutektoidní teplotou – u běžných ocelí mezi 650 až 720 °C po dobu 8 hodin, v průběhu čehož se lamelární perlit přemění na globulární. Žihá se ve vozových a komorových pecích, v nichž se rovněž i ochlazuje. Žihání na měkko je zpravidla používáno jen pro oceli s velkým obsahem legur, občas také v kombinaci s žiháním normalizačním, po kterém některé slitinové oceli vykazují příliš vysokou tvrdost, jež se pak snižuje a tím se zlepšuje obrobitelnost.



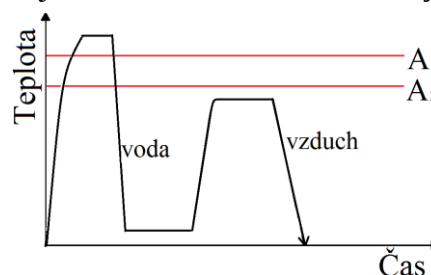
Obr. 32 Žihání na měkko [22]

- Izotermické žihání (obr. 33) – se výkovek ohřívá nad teplotu přeměny, kde se krátce podrží, a pak se ochlazuje na vzduchu, dokud neklesne na teplotu izotermické přeměny. Tam se udržuje, dokud přeměna neskončí. Správný postup procesu lze zjistit pomocí diagramu izotermického rozpadu, který je specifický pro každou ocel. Provádí se u středněuhlíkových konstrukčních ocelí v případech, kde by se jinak použila kombinace dvou předchozích metod. Je ekonomicky výhodné u ocelí, u kterých výdrž v oblasti perlitické přeměny trvá méně než několik hodin.



Obr. 33 Izotermické žihání [22]

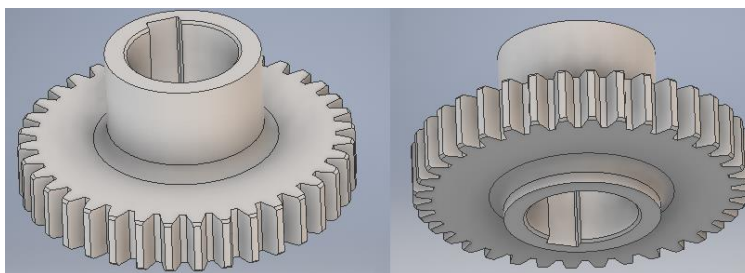
- Zušlechťování (obr. 34) – se skládá z kalení a popouštění. Kalení znamená ohřev na teplotu přeměny s krátkou výdrží, po kterém následuje prudké ochlazování ve vodě, oleji nebo na vzduchu, což vede ke zvýšení pevnosti a dosažení maximální tvrdosti. Vlivem vysoké teploty vzniká v oceli vnitřní pnutí a riziko tvorby trhlin, proto je druhou fází zušlechťování popouštění, které stabilizuje strukturu materiálu, snižuje pnutí a upravuje mechanické vlastnosti. Se zvyšující se teplotou popouštění klesá tvrdost a pevnost a stoupá tažnost. Při kalení se výkovek ohřívá v lázních nebo pecích, v druhém případě vyskytne problém průvodních jevů ohřevu. Zařízení na popouštění musí být přesné, neboť zvýšení teploty může mít za následek snížení pevnosti. Ochlazování probíhá na vzduchu nebo u oceli s obsahem chromu v oleji či vodě.



Obr. 34 Zušlechťování [22]

3. NÁVRH VÝROBY [7], [8], [9]

Jedná se o kování ocelového pastorku (obr. 35) – rotační oboustranně osazené součásti poměrně jednoduchého tvaru, tvořené ozubeným věncem a nábojem s vnitřní drážkou. Výška je stanovena na 64 mm, vnější průměr na 120 mm, vnitřní na 40 mm. Ozubení o šířce 20 mm má parametry $z = 38$ a $m = 3$. Vzhledem k tomu, že malý modul a drážku vykovat nelze, budou tyto prvky zanedbané. U součásti se předpokládá přenášení značného zatížení, proto je požadována dobrá pevnost, tvrdost a odolnost proti opotřebení.

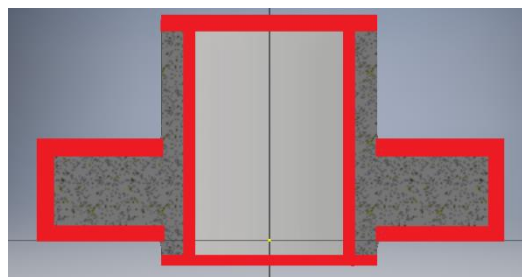


Obr. 35 Pasrorek

Výkovek bude vyráběn z oceli 16MnCr5 v sérii 100 000 kusů za rok na bucharu v jednodutinové zápustce, z čehož se bude vycházet při jeho konstruování.

3.1 Návrh výkovku [33], [34], [36]

Pro zjištění tvaru a rozměrů hotového výkovku bude použita norma ČSN 42 9030, na základě které budou provedeny úpravy součásti z hlediska technologičnosti. Ale nejdříve se musí určit základní parametry, které se skládají z rozměrů hotového dílu a z přídavků na obrábění. Ty jsou předepsány u ploch označených na obrázku 36 – čel, ozubení a vnitřního průměru a určí se na základě největších rozměrů hotové součásti – průměru 120 mm a výšky 64 mm podle tabulky 6.



Obr. 36 Přídavky na obrábění

Tab. 6 Přídavky na obrábění [36]

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

Každá obráběná plocha bude navýšená o hodnotu 2,5 mm, což zvětší výšku součásti na 69 mm, největší průměr na 125 mm a průměr otvoru se zmenší na 35 mm.

Dalším krokem je zesílení podlimitních tlouštěk stěn a blány – jejich minimální hodnota se určí podle tabulky 7 na základě největšího průměru a největší výšky výkovku.

Tab. 8 Velikost zaoblení hran [36]

Zaoblení hran výkovku		h [mm]						
		-	25	40	63	100	160	250
		do 25	40	63	100	160	250	400
$\frac{h}{f} \leq 2$	r	2	3	4	5	8	12	20
	R	6	8	10	12	20	30	50
$2 \leq \frac{h}{f} \leq 4$	r	2	3	4	6	8	16	25
	R	8	10	12	20	25	45	75
$\frac{h}{f} \geq 4$	r	3	4	5	8	16	25	40
	R	10	12	20	25	40	65	100

Vzorový výpočet pro určení poloměru r_1 :

$$\frac{h_1}{f_1} = \frac{12,5}{125} = 0,1, 0,1 < 2 \rightarrow \text{z tabulky 8 plyne, že } r_1 = 2 \text{ mm} \quad (3.1)$$

h – výška tvarového prvku [mm]

f – šířka tvarového prvku [mm]

Další hodnoty jsou představeny v tabulce 9.

Tab. 9 Velikosti zaoblení hran r_i a R_i pro zadaný výkovek [36]

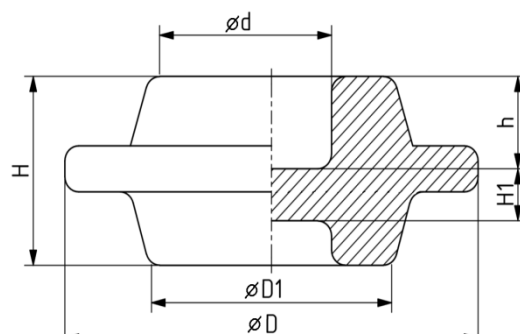
i	Šířka f_i [mm]	Výška h_i [mm]	Poměr $\frac{h_i}{f_i}$	Vnitřní poloměr R_i [mm]	Vnější poloměr r_i [mm]
1	125	12,5	0,1	-	2
2	61	35	0,57	8	3
3	13	28	2,15	10	3
4	61	9	0,14	6	2

3.1.1 Určení úchylek rozměrů a tvarů [33], [34], [36], [37]

Mezní úchytky a tolerance přesnosti rozměrů výkovku se stanoví z ČSN 42 9030 na základě jeho největších rozměrů a stupně přesnosti. Ten se zjistí po zařazení tvaru výkovku do oborového číselníku – součást se značí pěti číslicemi, které představují tvarový druh, tvarovou třídu, tvarovou skupinu, tvarovou podskupinu a technologické hledisko kování. Zjistit zařazení lze pomocí ČSN 42 9002, podle níž výkovek je:

- dutý s kruhovým průřezem – druh 5,
- oboustranně osazený – třída 4,
- vyhovuje podmínkám:
 - $H \leq D$ ($69 \text{ mm} \leq 125 \text{ mm}$),
 - $H > 2 \cdot H_1$ ($69 \text{ mm} > 26 \text{ mm}$), viz obr. 39 – skupina 2,
- nepřesahuje mezní hodnoty:
 - $H_{\max} = 5 \cdot D$ ($69 \text{ mm} < 625 \text{ mm}$),
 - $H_{\max} = 10 \cdot H_1$ ($69 \text{ mm} < 130 \text{ mm}$),
 - $D_{\max} = 4 \cdot D_1$ ($125 \text{ mm} < 244 \text{ mm}$), viz obr. 39 – podskupina 0,
- s dělicí plochou kolmou na hlavní osu – technologické hledisko 3.

Podle získaného zařazení 5420.3 se z tabulky 10 určí stupeň přesnosti výkovku.



Obr. 39 Výkovek kruhového průřezu dutý [37]

Tab. 10 Vybrané stupně přesnosti pro kování [36]

Tvarový druh	Tvarová třída	Tvarová skupina	Tvarová podskupina	Technologické hledisko	Stupeň přesnosti pro provedení			
					obvyklé		přesné	
					⊥	∥	⊥	∥
4;5;6;7	1 až 5 9	1;5	*	3;4;5	5	5	4	4
		2;3;4			5	6	4	5
		6;7;8			6	7	5	6

Výkovek bude kován v obvyklém provedení a má stupeň přesnosti 5 pro rozměry kolmé k rázu a 6 pro rovnoběžné. Pro zjištění mezních úchylek se použijí tabulky 11 a 12.

Tab. 11 Vybrané mezní úchylky a tolerance rozměru výkovku pro stupeň přesnosti 5 [36]

Největší průměr výkovku ve směru kolmo k rázu [mm]		Rozměr výkovku ve směru rázu [mm]						
			25	40	63	100	160	250
		do 25	40	63	100	160	250	400
přes 100 do 160	mezní	+1,1	+1,2	+1,3	+1,4	+1,5	+1,6	+1,8
	úchylky	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9
	tolerance	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,7

Tab. 12 Vybrané mezní úchylky a tolerance rozměru výkovku pro stupeň přesnosti 6 [36]

Největší průměr výkovku ve směru kolmo k rázu [mm]		Rozměr výkovku ve směru rázu [mm]						
			25	40	63	100	160	250
		do 25	40	63	100	160	250	400
přes 100 do 160	mezní	+1,9	+1,9	+2,0	+2,1	+2,3	+2,5	+2,7
	úchylky	-0,9	-1,0	-1,0	-1,1	-1,1	-1,2	-1,4
	tolerance	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,7	4,1

Co se týká poloměrů přechodu daného výkovku, jejich velikost nepřesahuje 10 mm a mezní úchylky se určí pomocí tabulky 13.

Tab. 13 Vybrané mezní úchylky poloměrů zaoblení přechodu a hran výkovku [36]

poloměrů zaoblení [mm]		Mezní úchylky [mm]	
přes	do	R	r
0	10	+0,50 -0,25	+0,25 -0,50

Přiřazení úchylek poloměrům spočívá v jejich násobení skutečnými velikostmi poloměrů, například pro R_2 platí:

$$R_2 = R_2^{+0,50 \cdot R_2}_{-0,25 \cdot R_2} \text{ mm} \rightarrow R_2 = 8^{+0,50 \cdot 8}_{-0,25 \cdot 8} = 8^{+4}_{-2} \text{ mm} \quad (3.2)$$

Jestliže rozměr nepřesahuje 2 mm, dolní úchylka se nepředpisuje. Všechny poloměry jsou uvedeny v tabulce 14.

Tab. 14 Mezní úchylky poloměrů zaoblení přechodu a hran výkovku

r_1	R_2	r_2	R_3	r_3	R_4	r_4
$2^{+0,5}$	8^{+4}_{-2}	$3^{+0,75}_{-1,5}$	$10^{+5}_{-2,5}$	$3^{+0,75}_{-1,5}$	$6^{+3}_{-1,5}$	$2^{+0,5}$

3.1.2 Výronková drážka [21], [34]

Výronková drážka výkovku se bude nacházet v dělicí rovině po obvodu největšího průměru, což je 125 mm. Její tvar bude odpovídat obrázku 30-a). Pro stanovení jejích rozměrů je třeba určit následující parametry:

- Poloměr přechodu tvaru do dělicí roviny se stanoví podle:

$$r = \frac{\sqrt{F_D}}{200} + 0,04 \cdot H_D = \frac{\sqrt{12271,9}}{200} + 0,04 \cdot 12,5 = 1,05 \text{ mm}, \quad (3.3)$$

kde: F_D – plocha průmětu výkovku v rovině kolmé ke směru rázu [mm^2]

$$F_D = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 125^2}{4} = 12271,9 \text{ mm}^2 \quad (3.4)$$

H_D – hloubka dutiny vedle výronkové drážky [mm], podle obrázku 37

$H_D = 12,5 \text{ mm}$

Vzhledem k opotřebení a snazší úpravě zápustkové dutiny bylo zvoleno $r = 1 \text{ mm}$.

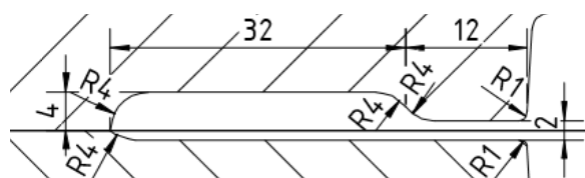
- Výšku můstku:

$$h_m = (0,012 \text{ až } 0,015) \cdot \sqrt{F_D} = 0,015 \cdot \sqrt{12271,9} = 1,66 \text{ mm} \quad (3.5)$$

kde: součinitel z rozsahu byl zvolen 0,015. 0,012 se volí u velkých výkovků, 0,015 – u malých.

Aby nedošlo k ochlazení materiálu, zaokrouhlí se vypočtená hodnota nahoru a zvolí se výška můstku 2 mm.

Ostatní rozměry a plocha průřezu drážky se stanoví z tabulky 15 na základě výšky můstku a způsobu zaplnění dutiny. Při kování daného výkovku je to složité protlačování. Výsledný tvar a rozměry výronkové drážky jsou na obrázku 40.

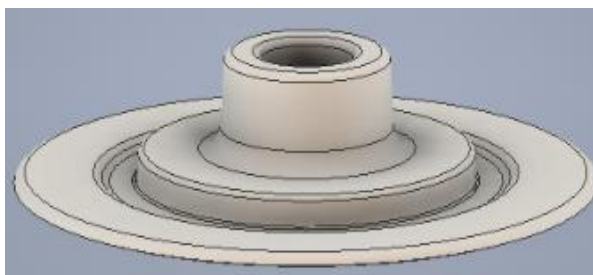


Obr. 40 Rozměry výronkové drážky

Tab. 15 Vybrané parametry výronkové drážky [21]

h_m [mm]	n [mm]	Pěchování			Protlačování					
		S [mm]	Sv [mm]	Svýř [mm ²]	Jednoduché			Složité		
					S [mm]	Sv [mm]	Svýř [mm ²]	S [mm]	Sv [mm]	Svýř [mm ²]
1,6	3,5	8	22	1,02	9	25	1,13	11	30	1,55
2	4	9	25	1,36	10	28	1,53	12	32	1,77
3	5	10	28	2,01	12	32	2,33	14	38	2,78
4	6	11	30	2,68	14	38	3,44	16	42	3,85

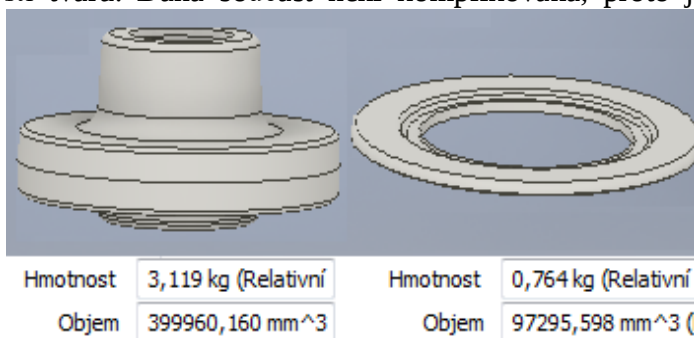
Po zesílení tlouštěk stěn a blány, přiřazení vhodných poloměrů přechodů, volbě tvaru výronkové drážky a úkosů lze konstatovat, že součást je technologičnosti kování vyhovující. Na základě toho, že do tvaru a rozměrů součásti byly vneseny výše uvedené změny, byl v programu Inventor 2019 vytvořen model představený na obrázku 41, který se použije pro další výpočty.



Obr. 41 Model výkovku

3.2 Volba polotovaru [21], [38]

Rozměr polotovaru se spočítá na základě objemu výkovku, opalu a výronku. Vzhledem k tomu, že výronková drážka nebude celá vyplněna materiálem, volí se procento jejího zaplnění mezi 60–80 % podle složitosti tvaru. Daná součást není komplikovaná, proto je zvolena hodnota 70 %. Pro výpočet objemu výronku a výkovku byl využit Inventor 2019 – program dovoluje po zkonstruování celé součásti rozdělení na jednotlivé prvky a výpočet objemu pro každý zvlášť. Modelu byl přiřazen materiál, podle čehož byly spočítány parametry, výsledky jsou znázorněny na obrázku 42. Objem polotovaru se pak stanoví:



Obr. 42 Objem výkovku a výronku

$$V_p = V_{výk} + 0,7 \cdot V_{výr} + V_o = 399960,16 + 0,7 \cdot 97295,6 + 4972,56 \quad (3.6)$$

$$= 473039,64 \text{ mm}^3,$$

kde: V_o – objem opalu [mm³], závisí na způsobu ohřevu polotovaru, pro daný výkovek je určen indukční ohřev, pro nějž jsou ztráty stanoveny v rozmezí 0,5 – 1 %. Pro uvedený objem výronku a výkovku se opal stanoví:

$$V_o = (V_{výk} + V_{výr}) \cdot 0,01 = (399960,16 + 97295,6) \cdot 0,01 \quad (3.7)$$

$$= 4972,56 \text{ mm}^3$$

kde: $V_{výk}$ – objem výkovku [mm³]

$V_{výr}$ – objem výronku [mm³]

Dalším krokem je výpočet délky a průměru polotovaru. Vzhledem k tomu, že kování má pěchovací charakter, musí se zachovat štíhlostní poměr λ , který se pro úspěšné tváření musí nacházet v rozmezí $1,5 < \lambda < 2,8$. Pokud polotovar nevyhovuje této podmínce, dojde k jeho vybočení a ztrátě stability:

$$\lambda = \frac{l_p}{d_p}, \quad (3.8)$$

kde: d_p – průměr polotovaru [mm]

l_p – délka polotovaru [mm]

Pro výpočet průměru polotovaru se použije vzorec:

$$d_p = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_p}{\lambda}}, \quad (3.9)$$

Pak nejmenší a největší použitelný průměr se bude rovnat:

$$d_{p_{min}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{473039,64}{2,8}} = 59,7 \text{ mm},$$

$$d_{p_{max}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{473039,64}{1,5}} = 73,5 \text{ mm}$$

Společnost Bogner Edelstahl Czech Republic s.r.o. poskytuje tyčové polotovary s průměry v rozsahu 16 až 600 mm o délkách 3 až 6 m. Vypočteným hodnotám vyhovují tyče o průměrech 60, 63, 65 a 70 mm.

Pro zvolení nejvhodnější varianty je třeba spočítat procentuální využití tyčí uvedených rozměrů, vzorový výpočet je uváděn pro tyč s průměrem 60 mm a délkou 3000 mm:

$$p = \frac{n_{ks} \cdot l_p}{Lt} \cdot 100 = \frac{17 \cdot 167,3}{3000} \cdot 100 = 94,80 \% , \quad (3.10)$$

kde: l_p – spočítá se na základě průměru:

$$l_p = \frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot d_p^2} = \frac{4 \cdot 473039,64}{\pi \cdot 60^2} = 167,3 \text{ mm} \quad (3.11)$$

n_{ks} – skutečný počet kusů z jedné tyče [ks], který vznikne zaokrouhlením hodnoty spočítané podle:

$$n_{ks} = \frac{Lt}{l_p} = \frac{3000}{167,3} = 17,9 \text{ počet kusů z jedné tyče je 17 ks} \quad (3.12)$$

kde: Lt – délka tyče [mm]

p – procento využití [%]

Výsledky výpočtů všech variant byly zaneseny do tabulky 16.

Tab. 16 Výpočet parametrů polotovaru

Průměr polotovaru d_p [mm]	Délka polotovaru l_p [mm]	Délka tyče Lt [mm]	Počet kusů n_{ks} [ks]	Skutečný počet kusů n_{ks} [ks]	Procento využití p [%]
60	167,3	3000	17,93	17	94,80
		4000	23,91	23	96,20
		5000	29,89	29	97,03
		6000	35,86	35	97,59
63	151,8	3000	19,77	19	96,11
		4000	26,36	26	98,64
		5000	32,95	32	97,12
		6000	39,54	39	98,64
65	142,6	3000	21,04	21	99,79
		4000	28,06	28	99,79
		5000	35,07	35	99,79
		6000	42,09	42	99,79
70	122,9	3000	24,41	24	98,33
		4000	32,54	32	98,33
		5000	40,68	40	98,33
		6000	48,81	48	98,33

Nejvýhodnější varianta z hlediska úspory materiálu je tyč o průměru 65 mm libovolné délky. Při délce polotovaru 142,6 mm lze vyhotovit 36 špalíků s využitím 99,79 %.

3.2.1 Dělení polotovaru [39], [40]

Vzhledem k sériovosti výroby a dříve uvedenému využití materiálu by bylo vhodné použít bezodpadovou metodu stříhání, ale většina zařízení má maximální průměr stříhu 40 mm, což pro danou součást nestačí. Je však možné operace provést na multifunkčním tvářecím stroji Hydraulic Ironworker Q35Y-30 (obr. 43) společnosti Nanjing Harsle Machine Tool Co Ltd, který umožňuje kromě stříhání profilu s tloušťkou do 65 mm i děrování a ohýbání kovu. Nicméně takový univerzální stroj se hodí spíše do kusové



Obr. 43 Hydraulic Ironworker [39]

a malosériové výroby – nepředpokládá se u něho automatizace stříhání, kromě toho má další, pro danou výrobu zbytečné zařízení, takže nebude efektivně využíván.

Alternativou je třískové dělení polotovaru, ale v tomto případě je nutno počítat s odpadem materiálu na prořez. Na druhou stranu řezaný polotovar má rovnější povrch a kolmý řez, kromě toho se zmenší náklady na obsluhu stroje, neboť u pil je možnost automatizace procesu. Například automatická pásová pila Pegas 230 × 280 A-CNC-R, která je vybavená programovatelným automatem PLC Mitsubishi FX5U-32MCNC, těmto požadavkům vyhovuje – má automatické podávání a upnutí polotovaru.

Materiálové ztráty na prořez, jehož rozměr je roven tloušťce pásu, jsou stanoveny na 0,9 mm. Kromě toho je u daného způsobu dělení nutné řešit upínání – tyč při automatickém řezu musí být upnutá ve stroji minimálně za 120 mm, ale z důvodu zmenšení odpadu by se tyč při řezání předposledního kusu měla upnout v délce rovné vypočtené délce polotovaru.

Pro zjištění nejvhodnější varianty budou spočítány délky odpadu a získá se největší úspora materiálu. Vzorový výpočet pro tyč s průměrem 60 mm a délkou 3000 mm:

$$l_{od} = [Lt - l_p \cdot n_{ks}] - [0,9 \cdot (n_{ks} - 1)] \quad (3.13)$$

$$= [3000 - 167,3 \cdot 17] - [0,9 \cdot (17 - 1)] = 141,5 \text{ mm},$$

kde: l_{od} – délka odpadu [mm]

Procentuální využití se pak spočítá podle:

$$p = \frac{Lt - l_{od}}{Lt} \cdot 100 = \frac{3000 - 141,5}{3000} \cdot 100 = 95,28 \% , \quad (3.14)$$

Ostatní výsledky jsou v tabulce 17.

Tab. 17 Výpočet parametrů řezaného polotovaru

d_p [mm]	l_p [mm]	Lt [mm]	n_{ks} [ks]	Délka nevyužitého konce tyče [mm]	Ztráty na prořez [mm]	Délka odpadu l_{zb} [mm]	p [%]
60	167,3	3000	17	155,9	14,4	141,5	95,28
		4000	23	152,1	19,8	132,3	96,69
		5000	29	148,3	25,2	123,1	97,54
		6000	35	144,5	30,6	113,9	98,10
63	151,8	3000	19	115,8	16,2	99,6	96,68
		4000	26	53,2	22,5	30,7	99,23
		5000	32	142,4	27,9	114,5	97,71
		6000	39	79,8	34,2	45,6	99,24
65	142,6	3000	21	5,4	18	-12,6	100,42
		4000	28	7,2	24,3	-17,1	100,43
		5000	35	9	30,6	-21,6	100,43
		6000	42	10,8	36,9	-26,1	100,44
70	122,9	3000	24	50,4	20,7	29,7	99,01
		4000	32	67,2	27,9	39,3	99,02
		5000	40	84	35,1	48,9	99,02
		6000	48	100,8	42,3	58,5	99,03

Z výpočtů plyne, že neekonomičtější varianta je šestimetrová tyč o průměru 63 mm dělená na špalíky o délce 151,8 mm. Procento jejího využití je vyšší než u polotovaru spočítaného prvním způsobem a je stanoveno na 99,24 %.

Po přezkoumání výhod a nevýhod obou metod pro výrobu daného pastorku v podmínkách velké série bylo rozhodnuto zvolit řezaný polotovar.

3.3 Volba bucharu [18], [41]

Pro volbu vhodného bucharu je třeba vědět, jakou hodnotu má práce posledního úderu, a pro její určení je zase zapotřebí znát pevnost oceli 14 220 za kovací teploty v rozmezí 1100 – 900 °C. Vzhledem k tomu, že během tváření polotovar ztrácí teplo byla zvolena teplota 900 °C. Z tabulky 4 se volí $\sigma_s = 115$ MPa. Průměr výkovku se podle vztahu (2.2) rovná:

$$D_v = D + 2 \cdot S = (12,5 + 2 \cdot 1,2) = 14,9 \text{ cm}$$

Pak se práce výpočte podle vzorce (2.1):

$$\begin{aligned} A &= 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_v) \cdot \left[1,1 + \frac{2}{D_v}\right]^2 \cdot \\ &\quad (0,75 + 0,001 \cdot D_v^2) \cdot D_v \cdot \sigma_s \\ &= 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot 14,9) \cdot \left[1,1 + \frac{2}{14,9}\right]^2 \cdot \\ &\quad (0,75 + 0,001 \cdot 14,9^2) \cdot 14,9 \cdot 115 \\ &= 42266,3 \text{ J} \end{aligned}$$

Dané velikosti práce vyhovuje pneumaticko-hydraulický buchar KHZ-4A od firmy Šmeral s tvářecí energií 50 kJ, který je vhodný pro kování tvarově jednoduchých součástí v jedné dutině s rychlostí 18 úderů za minutu. Buchar je znázorněn na obrázku 44 a jeho parametry jsou uvedeny v tabulce 18.

Tab. 18 Technické údaje KHZ 4A [41]

Tvářecí energie [kJ]	50
Upínací plocha zápustek [mm]	300×570
Nejmenší výška zápustek [mm]	350
Max. zdvih beranu [mm]	500
Počet zdvihů beranu [min ⁻¹]	18
Celkový instalovaný výkon [kW]	55
V×Š×H [m]	3,6×3,1×2,3



Obr. 44 KHZ 4A [41]

3.4 Volba pomocného zařízení [41], [43],[44], [45]

Nezbytné je zvolit i pomocné stroje, které se zúčastní různých etap výroby výkovku – dělení polotovaru, ohřevu, ostřížení a čištění výkovků:

- Dělení polotovaru se uskuteční na automatické pásové pile Pegas 230 × 280 A-CNC-R, znázorněné na obrázku 45 která je vybavená programovatelným automatem PLC Mitsubishi FX5U-32MCNC, těmto požadavkům vyhovuje – má automatické podávání a upnutí polotovaru. Popis parametru je v tabulce 19.

Tab. 19 Parametry pily [41]

Pohon pilového pásu [kW]	1,5
Řezná rychlost [mm·min ⁻¹]	20-100
Rozměr pilového pásu [mm]	2720x27x0,9
Elektrické zapojení [V]	3x400V
Délka×Šířka×Výška [mm]	2305×2260×1780
Výška stolu [mm]	800
Hmotnost [kg]	780



Obr. 45 Pegas 230x280 A-CNC-R [41]

- Pro ohřev přířezu bude použito zařízení od společnosti Roboterm spol. s.r.o. – středofrekvenční indukční ohříváč SOP 630/2,5-C55 (obr. 46), opatřený programovatelným automatem od firmy Siemens. Ohříváč poskytuje možnost automatického zakládání studených dílů, které pak z vibračního zásobníku správně orientované vystupují na dopravník, odkud jsou do induktoru zasunuty podavačem. Ohřátý přířez je vytažen kladkou oddělující částečně slepené přířezy na řetězový výstupní dopravník. Teplota je snímána bezdotykovým měřičem teploty UPF IV. Dle její výše je regulován výkon ohříváče a je řízena funkce třídičky ohřátých kusů – pokud je přířez ohřátý nesprávně, je klapkou usměrněn mezi přehřáté, respektive nedohřáté díly. Parametry ohřevu (žádaná teplota, výkon, meze teploty apod.) se nastavují na komunikačním panelu, na kterém se také formou textu zobrazí veškeré poruchy ohříváče. Parametry zařízení jsou popsány v tabulce 20.

Tab. 20 Parametry SOP 630/2,5-C55 [47]

Ohříváný materiál		Magnetická ocel
Rozměry přířezů	Ø D [mm]	40 - 90
	délka l [mm]	1,2D - 510
Maximální ohřáté množství oceli [kg/h]		1500
Výstupní teplota ohříváných přířezů [°C]		max. 1250
Výkon [kW]		630
Frekvence [kHz]		0,85 - 2,5



Obr. 46 SOP 630/2,5-C55 [47]

- Po kování v otevřené zápustce je nutno odstranit výronek a blánu. Tato operace se vzhledem k jednoduchosti tvaru výkovku a jeho rozměrům bude provádět za studena. Ostříhovací stroj se zvolí na základě střížné síly, která se spočítá pomocí vzorce (2.4) pro děrování a ostříhování, neboť blána a výronek se budou oddělovat zvlášť:

$$\begin{aligned}
 F_{sd} &= 1,7 \cdot 0,8 \cdot \sigma_s \cdot o_b \cdot 2 \cdot S_b \\
 &= 1,7 \cdot 0,8 \cdot 685 \cdot 109,9 \cdot 2 \cdot 13 \\
 &= 2663407 \text{ N,} \\
 \text{kde: } F_{sd} &\text{ – síla potřebná pro děrování [N]} \\
 o_b &\text{ – obvod blány [mm],} \\
 o_b &= \pi \cdot d_b = \pi \cdot 35 \quad (3.15) \\
 &= 109,9 \text{ mm} \\
 \text{kde: } d_b &\text{ – průměr blány [mm],}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{so} &= 1,7 \cdot 0,8 \cdot \sigma_s \cdot o_v \cdot 2 \cdot t_v \\
 &= 1,7 \cdot 0,8 \cdot 685 \cdot 392,7 \cdot 2 \cdot 2 \\
 &= 1463357,28 \text{ N} \\
 \text{kde: } F_{so} &\text{ – síla potřebná pro stříhání [N]} \\
 o_v &\text{ – obvod výronku [mm],} \\
 o_v &= \pi \cdot d_v = \pi \cdot 125 \quad (3.16) \\
 &= 392,7 \text{ mm} \\
 \text{kde: } d_v &\text{ – průměr výronku [mm],} \\
 t_v &\text{ – tloušťka výronku [mm]}
 \end{aligned}$$

Síla potřebná na děrování stanovena na 2663,4 kN je větší, podle toho byl vybrán lis LDO 315 A/S (obr. 47). Technické parametry jsou v tabulce 21.



Obr. 47 LDO 315 A/S [44]

Tab. 21 Technické údaje LDO 315 A/S [44]

Tvářecí síla [kN]	3150
Sevření [mm]	600
Průchod [mm]	1400
Upínací plocha stolu [mm]	1380x950
Upínací plocha beranu [mm]	1380x950
Přestavování beranu [mm]	140
Zdvih/počet zdvihů [min^{-1}]	200/44
Celkový výkon [kW]	36
V×Š×H [m]	5,0×2,6×2,5

- Na závěr je nutno výkovek očistit a odstranit z povrchu okuje pro usnadnění obrábění. K tomu se použije bubnový tryskač Airblast TB Line (obr. 48), který je vhodný pro součásti menších rozměrů. Vsázka se vkládá do pracovního prostoru uvnitř vyloženého otěruvzdorným materiálem, který je tvořen na kladkách se pohybujícím pásem a má tvar koryta. Pohybem pásu jsou výkovky otáčeny a míchány tak, že jsou z každé strany opracovány abrazivem stříkaným metacím kolem, jež je umístěno v horní části stroje. Technické údaje jsou v tabulce 22.

Tab. 22 Parametry tryskače Airblast TB 326 [45]

Produktivita [T / h]	0,6 – 1,2
Nakládací hmotnost [kg]	200
Max. hmotnost jednoho kusu [kg]	10
Průměr válce [mm]	650
Kapacita [m ³]	0,15
Kapacitní výkonový objem [kg/min]	100
Objem odsávaného vzduchu [m ³ /h]	2200
Příkon [kW]	12,6
Rozměry [cm]	368x165x580
Celková hmotnost [kg]	2340



Obr. 48 Bubnový tryskač Airblast TB Line [45]

3.5 Návrh nástroje [21], [23]

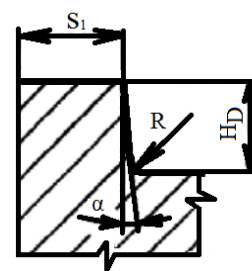
Důležitým krokem je stanovení množství dutin zápustky. Vzhledem k velikosti série 100 000 kusů je nutno brát v potaz opotřebení nástroje, hlavně tepelné ovlivnění, které snižuje pevnost zápustek a podporuje deformace dutiny. Proto by se mohla použít třídutinová zápustka a výkovek by se koval ve třech operacích – zvýšilo by to životnost zápustky a tím přesnost výrobku. Na druhou stranu má součást poměrně malé rozměry a po každém přemístění do nové dutiny by ztrácela větší množství tepla, což by ve značné míře zvýšilo přetvárný odpor součásti. Také konstruování takového nástroje by bylo mnohem náročnější a vyžadovalo by větší náklady na materiál, výrobu a údržbu – ohřev, mazání atd.

Proto místo toho bude použita zápustka jednodutinová – sice bude podrobována většímu namáhání a bude její životnost kratší, ale spotřebuje se na ně méně materiálu, má jednodušší konstrukci a menší rozměry než vícedutinová, což usnadní manipulaci s nástrojem. Mezi výhody použití jednodutinové zápustky patří také to, že není potřeba přemísťovat polotovary mezi dutinami v průběhu kování – stačí jen dát materiál do nástroje a po ukončení vyjmout.

3.5.1 Konstrukce zápustky a upínacích prvků [21], [23], [41], [46], [47], [48], [49], [50]

Stanovení rozměrů zápustky ovlivňují následující faktory:

- Rozměr a tvar výkovku a výronku – zápustková dutina má stejné rozměry a tvar jako hotová součást, ale rozměry přesahující 10 mm musí být zvětšeny o 1 % z důvodu smrštění.
- Minimální vzdálenost dutiny od okraje – získá se pomocí normogramu v příloze 2 na základě následujících parametrů (obr. 49):
 - poloměru zaoblení R – podle obrázku 38 a tabulky 9 to odpovídá rádiu r_1 , který je roven 2 mm,
 - vnějšího úkosu dutiny α – pro danou součást se tato hodnota rovná 3° ,
 - hloubky dutiny H_D – podle obrázku 37 $H_D = 12,5$ mm.



Obr. 49 Minimální vzdálenost dutiny od okraje [21]

Odečtení z normogramu proběhne pomocí hodnoty T , která se určí podle:

$$H_D + 0,4 \cdot R = 12,5 + 0,4 \cdot 2 = 13,3, \quad (3.17)$$

kde: R – poloměru zaoblení [mm]

z normogramu se odečte hodnota $s_1 = 39$ mm.

- Nejmenší výška zápustky – stanoví se na základě hloubky největší dutiny, což v daném případě bude 47,5 mm (obr. 37) podle diagramu na obrázku 50. Minimální výška zápustky se rovná 169 mm.
- Velikost dosedací plochy – volí se s ohledem na hmotnost beranu. Vzhledem k tomu, že se zápustka může v dosedací ploše napěchovat, což ohrozí přesnost výroby výškového rozměru výkovku, na každou tunu hmotnosti beranu spočítané podle následujícího vztahu musí mít dosedací plochy aspoň 300 cm^2 .

$$m_b = \frac{A}{(18 \text{ až } 28)} = \frac{42266,3}{28} \quad (3.18)$$

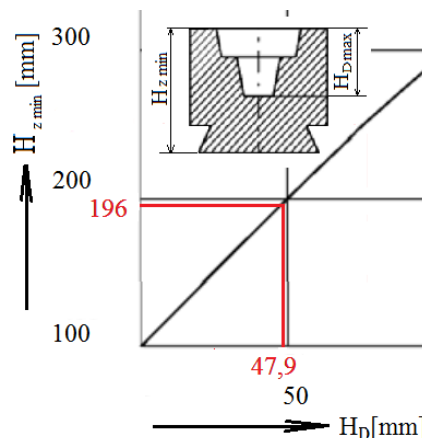
$$= 1509,5 \text{ kg}$$

kde: m_b – hmotnost beranu [kg]

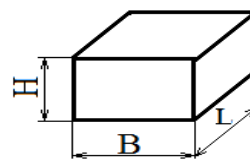
součinitel z rozsahu byl zvolen 28. 18 se volí, když stroj není v dobrém stavu, 28 – když je nový.

Dosedací plocha nesmí být menší než 350 cm^2 .

Na základě výpočtů bude zvolen zápustkový blok. Podle ČSN 21 1410 byly vybrány jeho rozměry $B = 350$ mm, $L = 300$ mm, $H = 250$ mm (obr. 51). Polotovary musí vyhovovat podmínkám uvedeným v předchozích informacích – minimální vzdálenost dutiny od okraje stanoví 39 mm, výška zápustky je větší než 169 mm.



Obr. 50 Stanovení minimální výšky zápustky [21]



Obr. 51 Rozměry bloku [47]

Dosedací plocha výhovuje podmínce:

$$S_d \geq 350 \text{ cm}^2 \rightarrow 693,7 \text{ cm}^2 \geq 350 \text{ cm}^2 \quad (3.19)$$

kde: S_d – obsah dosedací plochy [cm^2]

$$S_d = \left(B \cdot L - \frac{\pi \cdot D_d^2}{4} \right) \cdot 0,01 = \left(350 \cdot 300 - \frac{\pi \cdot 213^2}{4} \right) \cdot 0,01 \quad (3.20)$$

$$= 693,7 \text{ cm}^2$$

kde: B – šířka bloku [mm]

D_d – průměr zápustkové dutiny v dělicí ploše [mm]

$$D_d = D + 2 \cdot (S + S_v) \quad (3.21)$$

$$= 125 + 2 \cdot (12 + 32) = 213 \text{ mm},$$

L – délka bloku [mm]

Úpinací prvky pro pneumaticko-hydraulický buchar se volí z ČSN 21 1413. Podle normy se zápustky musí upevnit pomocí rybin u kořenů zápustek, dvou per, které jí zajistí proti axiálnímu posunutí a dvou klínů zabezpečujících boční upevnění podle obrázku 25. Stroj KHZ 4A má úpinací plochu zápustek 300×570 mm a nejmenší výšku zápustek 350 mm. Vybrané bloky těmto omezením výhovují, proto není potřeba používat přechodové držáky. Parametry kořenů (obr. 52) a per (obr. 53) jsou určeny z ČSN 21 1413, klínu – z ČSN 21 1417 a jsou uvedeny v tabulkách 23, 24 a 25.

Tab. 23 Kořen 300 ČSN 21 1413 [48]

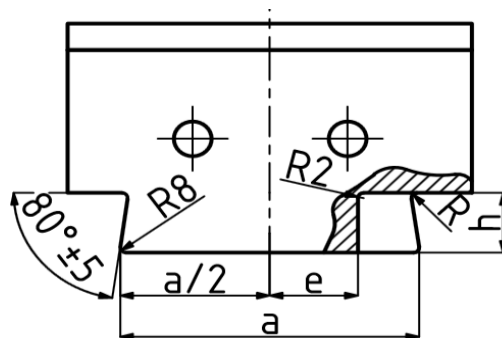
a h12 [mm]	h±0,5 [mm]	e [mm]	k H11 [mm]	R [mm]
300	63	90	65	8

Tab. 24 Klín H (S) 50×450 ČSN 21 1417 [49]

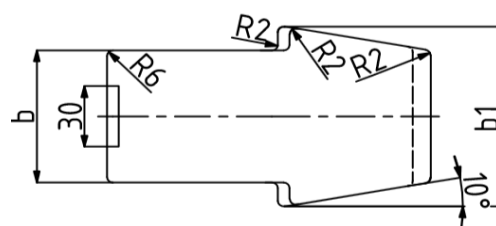
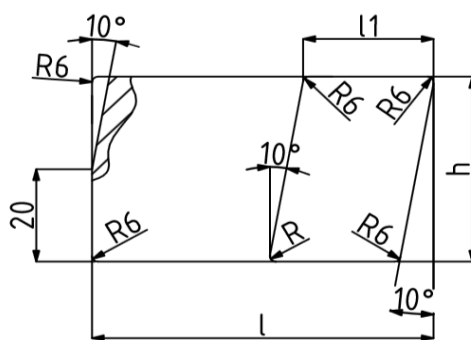
v [mm]	L [mm]	S [mm]	A [kJ]
50	450	36	do 20

Tab. 25 Pero 50 ČSN 21 1413 [48]

h [mm]	b -0,1 [mm]	b1±0,1 [mm]	l [mm]	l2 [mm]	R [mm]
50	55	75	75	30	8



Obr. 52 Kořen zápustky [48]



Obr. 53 Pero [48]

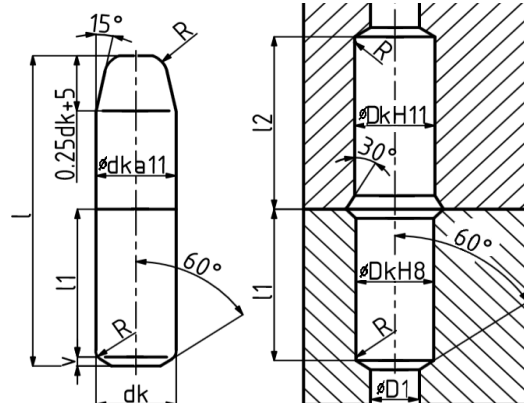
Vedení zápustky bude uskutečněno čtyřmi vodicími kolíky (obr. 54), omezujícími přesazení výkovku a zachytávajícími tlaky, kterými je namáháno vedení stroje. Jejich parametry jsou zvoleny z ČSN 22 8308, rozměry vybraných kolíků jsou zaneseny do tabulky 26. V rozích obou nástrojů budou vyvrtány příslušné otvory. Kolíky se zalisují do dolní zápustky ve vzdálenosti od okraje:

$$c = \frac{5}{6} \cdot d_k + 10 \quad (3.22)$$

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

kde: c – minimální vzdálenosti vodicího kolíku od okraje [mm]

d_k – jeho průměr [mm]



Obr. 54 Vodicí kolík [46]

Tab. 26 Parametry vodicích kolíků [46]

d_k [mm]	přesah [mm]	l [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	D_1 [mm]	v [mm]	R [mm]
18	0,02 až 0,04	70	30	45	9	2,5	3

V blocích se musí vyvrtat v každém čele 2 otvory pro dopravní kolíky, pomocí kterých se bude provádět manipulace s nástrojem. Údaje o rozměrech otvorů a jejich poloze lze najít v ČSN 21 1416 – podle obrázku 55 vzdálenost kolíků od osy zápustky a od sebe navzájem závisí na rozměrech kořene a spočítá se podle:

$$w = \frac{a}{4} = \frac{300}{4} = 75 \text{ mm}, \quad (3.23)$$

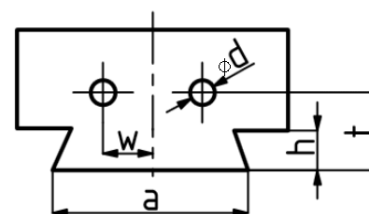
kde: a – šířka kořene zápustky [mm]

w – vzdálenost otvorů od osy nástroje [mm]

$$t = h_k \cdot 1,5 = 63 \cdot 1,5 = 94,5 \text{ mm},$$

kde: h_k – výška kořene zápustky [mm]

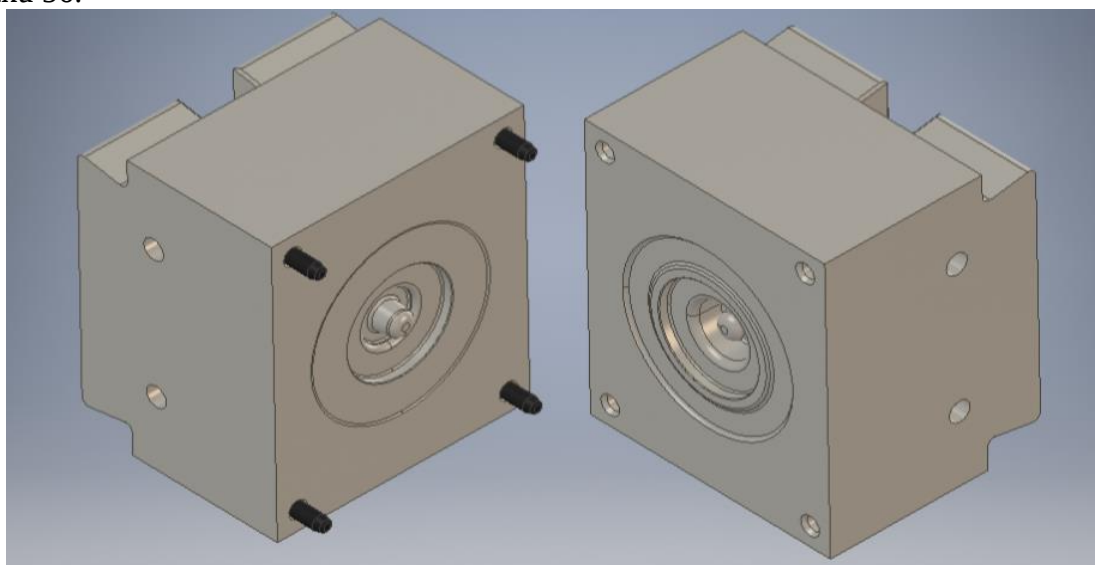
t – vzdálenost otvorů od sebe [mm]



Obr. 55 Otvory pro dopravní kolíky [50]

Vzhledem k tomu, že váha nástroje nepřesahuje 2 000 kg, průměr kolíku se volí 25 mm, délka otvoru se bude rovnat 50 mm a průměr 26 mm.

Na základě předchozích řešení byly vytvořeny modely zápustek, které jsou znázorněny na obrázku 56.



Obr. 56 Modely zápustek

3.5.2 Volba materiálu a technologie výroby zápustek [33], [46]

Vzhledem k dynamickému charakteru namáhání musí tvrdost materiálu pro zápustku bucharu ležet v rozmezí 38 - 45 HRC – vyšší hodnota snižuje odolnost proti tepelné únavě a zvyšuje náchylnost k praskání. Vzhledem k dané velikosti série bude vhodné použít na nástroj legovanou ocel, neboť je pevnější a je schopná vydržet větší počet úderů.

Vyhovujícím materiálem se jeví ČSN 41 9541 – je to chrom-molybden-vanadová ocel, která je vhodná pro zápustky menších rozměrů, je schopná přenášet velké dynamické namáhání a má dobré plastické vlastnosti i odolnost proti tepelné únavě – lze zde totiž používat mazací prvky na bázi vody. Chemické složení je v tabulce 27.

Tab. 27 Chemické složení oceli 19 541 [33]

19 541	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V
% hmotnost	0,27-0,37	0,2-0,5	0,3-0,7	0,03	0,03	2,7-3,5	2,7-3,5	0,5-0,8

Nástroje z oceli 19 541 se zpravidla kalí do oleje z 1000 až 1500 °C a po vychladnutí se popouštějí, nebo se po tepelném zpracování počká, až teplota v lázni klesne na 100 °C, a zápustka se dochládí na vzduchu. Ochlazování v oleji má ovšem lepší výsledek – dosáhne se tak větší vrubové houževnatosti nástroje. Pro snížení deformace se může použít termální kalení do lázně o teplotě 450 až 500 °C.

Zápustková dutina bude vyráběna technologií obrábění. Má relativně malé rozměry – nehrozí jí zborcení za vysokých teplot, proto se nejdříve kompletně strojně obrobí v žíhaném stavu a pak se provede požadované tepelné zpracování, po němž následují už jen povrchové úpravy. Mezní úchytky rozměrů dutiny a drsnost povrchů zápustky a jejích konstrukčních prvků jsou předepsány v ČSN 22 8308 a jsou zaneseny do tabulek 28 a 29. Na konci výroby je nezbytné označit nástroj jako nebezpečný.

Tab. 28 Vybrané mezní úchytky dutiny zápustky [46]

Jmenovité rozměry [mm]	Obvyklé provedení			
	⊥			
	+	-	+	-
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
161 až 260	0,4	0,2	0,2	0,1

Tab. 29 Vybrané drsnosti povrchu konstrukčních prvků [46]

Dutina	0,8 až 3,2
Můstek	0,8 až 3,2
Dosedací plochy	1,6 až 3,2
Upínací plochy	1,6 až 3,2
Zásobník	12,5
Otvory pro dopravní kolíky	12,5
Vodicí a spojovací plocha vodicího kolíku	1,6
Dosedací plocha vodicího kolíku	12,5

3.6 Technologický postup [41], [42] [43], [44], [45]

Po provedení všech potřebných výpočtů, návrhu nástroje a sestavení výkresové dokumentace se zpravidla provádí počítačová simulace výrobního procesu, která znázorňuje chování materiálu při tváření a potvrzuje správnost předchozích konstruktérských řešení. Pokud simulace proběhla úspěšně lze přistoupit k výrobě, pokud ne – musí se návrh zdokonalit.

Výroba součásti začíná dělením tyčového polotovaru o průměru 63 mm, který se pak kování maximálně přiblíží k výslednému tvaru pastorku. Byl sestaven technologický postup, který je uveden v tabulce 30.

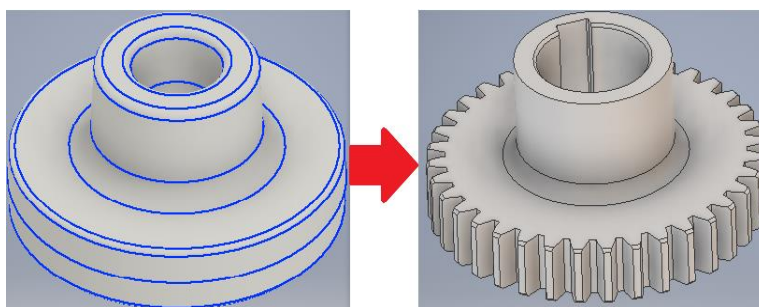
Tab. 30 Technologický postup výroby pastorku

Číslo operace	Popis práce v operaci	Název stroje, zařízení, pracoviště
005	Dělit polotovar $\varnothing$ 63 na délku $151,8^{+0,1}_0$ mm	Automatická pásová pila Pegas 230x280 A-CNC-R
010	Ohřát na teplotu 1100 °C	Středofrekvenční indukční ohřívač SOP 630/2,5-C55
015	Kovat v zápustce	Buchar KHZ 4A
020	Ostříhnout výronek a blánu	Lis LDO 315A/S
025	Otryskat	Bubnový tryskač Airblast TB 326
030	Kontrolovat vizuálně a rozměry četností 20 %	Kontrolní stůl KS01
035	Balit	Balící stůl B01
040	Expedice	Sklad S01

Výroba pastorku ale touto etapou nekončí – po expedici se výkovky dodají do obrobny, kde budou provedeny následující operace (obr. 57):

- zarovnání čel,
- soustružení průměrů 125 mm a 40 mm,
- obrázení drážky,
- frézování ozubení.

Nakonec se u pastorku provede cementace a kalení povrchu.



Obr. 57 Obrobený pastorek

4. ZÁVĚRY

Cílem bylo navrhnout technologii výroby ocelového pastorku, který je součástí automobilové manuální převodovky a umožňuje zpětný chod vozidla. Je to symetrická rotační součást s čelním přímým ozubením, která je v provozu podrobována velkému zatížení, proto pro ni byla vybrána ocel 16MnCr5. Výrobní série je stanovena na 100 000 kusů za rok.

Po přezkoumání výhod a nevýhod všech dostupných variant zhotovení pastorku bylo rozhodnuto, že součást bude vyráběna technologií zápusťkového kování na bucharu, která vyhovuje nejen přesnostním a pevnostním požadavkům, ale i velikosti série. Vzhledem k malému modulu ozubení, které kování vyrobit nelze, rozhodlo se, že zuby kola se budou zhotovovat dodatečně obráběním.

Při konstruování výkovku byly k součásti zvoleny přídavky na obrábění 2,5 mm na funkčních plochách. Z hlediska zlepšení technologičnosti byl upraven i tvar součásti – zesílila se tloušťka stěny výkovku na 13 mm, ostré rohy se nahradily poloměry přechodu, v otvoru se umístila kovací blána o tloušťce 13 mm, dělicí rovina se zvolila uprostřed největšího průměru součásti, vnějším a vnitřním vertikálním plochám se přiřadili úkosy, byl určen tvar a rozměry výronkové drážky.

Na základě těchto údajů byl spočítan objem výkovku a bylo stanoveno, že polotovarem pro výrobu pastorku bude ocelový přířez o délce 151,8 mm a průměru 63 mm, řezaný z šestimetrové tyče pomocí automatické pásové pily Pegas 230 × 280 A-CNC-R.

Následně byla vypočtena práce potřebná ke kování, která byla stanovena na 42266,3 J, na základě čehož byl zvolen buchar KHZ 4A a byla zkonstruována jednodutinová zápusťka.

Pro ohřev polotovarů byl zvolen středofrekvenční indukční ohřívač SOP 630/2,5-C55, pro ostřížení výronku a blány lis LDO 315 A/S a pro čištění výkovků bubnový tryskač Airblast TB Line.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [51]

1. Lunati Crankshafts. In: *Chevyhardcore* [online]. chevyhardcore: Power Automedia, 2014 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.chevyhardcore.com/tech-stories/engine/lunati-crankshaft-tech/>
2. C-hák výkovek. In: *Interfrost* [online]. Prostějov: Interfrost, 2020 [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.interforst.cz/det/c-hak-vykovek>
3. Posuvné pouzdro. In: *UNEX* [online]. Ostrava: UNEX, c2016-2020 [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <https://www.unex.cz/cs/odlitky-a-vykovky/zapustkove-vykovky>
4. Forged Gear. In: *Kaidwell* [online]. Hunan: Kaidwell, 2014 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <http://www.kaidwell.com/html/product/2014-3-19/339.html>
5. Ojnice kliky. In: *Quad-ATV* [online]. Rapotín: Ctyrkolky-atv, 2018 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.ctyrkolky-atv.cz/nahradni-dily/76318-ojnice-kliky-pro-motor-honda-gx390.html>
6. Manual Transmission. In: *Learn Engineering* [online]. Delhi: Learn Engineering, 2015 [cit. 2019-12-24]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=wCu9W9xNwtI>
7. BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. *Části strojů*. 5. přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. Technický průvodce. ISBN 80-030-0426-8.
8. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-838-0.
9. Přehled vlastností oceli. In: *Bolzano* [online]. Kladno: Bolzano, c2019
10. [cit. 2019-12-23]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-cementovani-podle-en-10084/prehled-vlastnosti-oceli-16mn-cr5>
11. ROKICKI, Pawel, Bogdan KOZIK, Grzegorz BUDZIK, et al. Manufacturing of aircraft engine transmission gear with SLS (DMLS) method. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal* [online]. Emerald Group Publishing Limited, 2016, 88(3), 397-403 [cit. 2020-03-18]. DOI: 10.1108/AEAT-05-2015-0137. ISSN 1748-8842. Dostupné z: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/AEAT-05-2015-0137/full/pdf?title=manufacturing-of-aircraft-engine-transmission-gear-with-sls-dmls-method>
12. SCHMITT, Matthias, Georg SCHLICK, Christian SEIDEL a Gunther REINHART. Examination of the processability of 16MnCr5 by means of laser powder bed fusion. *Procedia CIRP* [online]. Elsevier B.V, 2018, 74, 76-81 [cit. 2020-03-18]. DOI: 10.1016/j.procir.2018.08.041. ISSN 2212-8271.
13. Svařování. In: *Svařování železných i neželezných kovů* [online]. Frýdek – Místek: PRIAM, 2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.priam.cz/svarovani/>
14. Torno CNC Lealde. In: *Talleresarjube* [online]. Cantabria: Talleresarjube, 2020 [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://talleresarjube.com/servicios/mecanizado-fabricacion-reparacion/item/torno-de-control-numeric-cnc>
15. Odlévání. In: *Knife* [online]. -: knife, 2009 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.knife.cz/Default.aspx?tabid=54&g=posts&t=1120>
16. G42CrMo4. In: *Slevarnachomutov* [online]. Chomutov: Slevarnachomutov, 2020 [cit. 2020-01-18]. Dostupné z: <http://www.slevarnachomutov.cz/produkty-a-sluzby/odlitky/nizkolegovane/>

17. Aluminium Extrusion Die. In: *Chinaaluprofile* [online]. Shanghai: ConstMart, 2020 [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <http://www.chinaaluprofile.com/aluminium-extrusion-die/>
18. Forging. In: *Forgingmagazine* [online]. Cleveland: Endeavor Business Media, 2020 [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.forgingmagazine.com/forming/article/21923428/bharat-forge-expands-in-us-with-tennessee-acquisition>
19. 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.
20. PODANÝ, Kamil. CTT - Technologie tváření: přednáška. Brno, 2017.
21. CHEN, Chang-cheng. Grain-size effect on the forging formability of mini gears. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology [online]. London: Springer London, 2015, 79(5-8), 863-871 [cit. 2020-03-03]. DOI: 10.1007/s00170-015-6883-y. ISSN 0268-3768. Dostupné z: https://search.proquest.com/docview/2262262666?rfr_id=info_3Axri_2Fsid_3Aprimo
22. ELFMARK, Jiří, Alois FARLÍK, Bohumil POČTA, Jiří KOTOUČ, Jozef RADA, Boris SOMMER, Miroslav ZAPOTIL a Milan ŽÍDEK. *Tváření kovů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1992, 524 s. ISBN 80-03-00651-1.
23. LIDMILA, Zdeněk. *ETR - Technologické procesy: přednáška*. Brno, 2018
24. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.
25. GUAN, Chuang, Jun LI, Ning TAN, Yong-quan HE a Shu-guang ZHANG. Reduction of oxide scale on hot-rolled steel by hydrogen at low temperature. International Journal of Hydrogen Energy [online]. Elsevier, 2014, 39(27), 15116-15124 [cit. 2020-03-07]. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.07.024. ISSN 0360-3199. Dostupné z: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S036031991401979X>
26. MATIJA, Zorc, Nagode ALEŠ, Bizjak MILAN a Zorc BORUT. Decarburization of the Carbon Steel C45 During Annealing in Air. *Materials and Geoenvironment* [online]. Sciencedo, 2018, 65(4), 167-178 [cit. 2020-03-07]. DOI: 10.2478/rmzmag-2019-0005. ISSN 14087073. Dostupné z: <https://doaj.org/article/ba783f4ea94c403b93aa3f2576b11261>
27. FABÍK, Richard. Spálený povrch. In: *Tváření kovů* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TVKB/Tvareni_20kovu.pdf
28. Car bottom forging furnace. In: *Baettenhausen: Industrial heat technology and electrical engineering* [online]. Wetzlar: Bättenhausen, c2020 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <http://www.baettenhausen.de/en/bereichsmenue/heat-technology/bogie-hearth-furnace/forging-furnace.html>
29. LUKÁČ, Ladislav. Karuselová pec. In: *People.tuke.sk* [online]. Košice: Technická univerzita v Košiciach, c2006 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: http://people.tuke.sk/ladislav.lukac/texty/karuselove_20pece.pdf
30. Narážecí pec. In: *Technická univerzita v Liberci* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, - [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
31. Cívka. In: *Germanflux- NOHA* [online]. Waldbrunn: Germanflux- NOHA, c2020 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://www.germanflux-noha.de/en>

32. Downwards movement of top die. In: *Anyang forging Press Machinery* [online]. Anyang: Anyang Forging Press (Group) Machinery Industry Co., c2017 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <http://www.anyanghammer.com/news/2017-09-02/50.html>
33. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. 1. vyd. Brno: Dům techniky, 1994, 229 s.
34. 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.
35. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
36. 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.
37. ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápusťkové. Přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů*. Praha: Český normalizační institut, 1987, 24 s. Třídící znak 429030.
38. ČSN 42 9002. *Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru*. Praha: Český normalizační institut, 1987, 36 s. Třídící znak 429002.
39. Konstrukční ocel - kovaná válcovaná. *Bogner* [online]. Žebrák: Bogner Edelstahl Czech Republic, 2020 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: http://www.bogner.cz/16-konstrukcni-ocel-valcovana-kovana.html?podskupina=Kruhov_C3_A1&rozmer_a=&delka=&jakost=&din=&csn=14220&tepelne_zpracovani=&norma=#produkty
40. Hydraulic Ironworker. In: *Harsle* [online]. Nanjing: Nanjing Harsle Machine Tool Co, 2019 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://cs.harsle.com/Q35Y-Multifunk_C4_8Dn_C3_AD-Hydraulic-hutn_C3_ADk-pd71811277.html
41. 230x280 A-CNC-R. In: *Pasové pily na kov* [online]. Slavkov u Brna: Pegas Gonda, 2020 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.pegas-gonda.cz/cs/image/ProductImage/imagePreview/259/230x280-a-cnc-r.png>
42. KHZ 4A. *Šmeral* [online]. Brno: Šmeral Brno, 2020 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/54/khz-4a>
43. Středofrekvenční indukční ohříváč SOP 630/2,5-C55, výkonové řady 630 kW. *ROBOTERM Chotěboř* [online]. Chotěboř: ROBOTERM spol. s r.o., c2012 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <http://www.pizzerie-f.rte.cz/reference/indukcni-ohrivace/sop-do-630-kw/stredofrekvencni-indukcni-ohrivac-sop-630/2,5-c55-20170713>
44. LDO 315 A/S. *Šmeral* [online]. Brno: Šmeral Brno, c2000-2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/36/ldo-315-a-s>
45. Bubnový tryskač Airblast TB Line. *Gamin* [online]. Ostrava: Gamin, c2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.gamin.cz/airblast-tb-line/>
46. ČSN 22 8308. Zápusťky pro buchary. Směrnice pro konstrukci. 1. Praha: Český normalizační institut, 1971, 20 s. Třídící znak 228308
47. ČSN 21 1410. *Tvářecí stroje. Upínání zápusťek. Základní ustanovení*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1971, 8 s. Třídící znak 211410.
48. ČSN 21 1413. *Tvářecí stroje. Upínání zápusťek pro padací a parovzdušné buchary*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1971, 12 s. Třídící znak 211413.

49. ČSN 21 1417. *Tvářecí stroje. Klíny pro padací, parovzdušné a protiběžné buchary*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1971, 4 s. Třídící znak 211417.
50. ČSN 21 1416. *Tvářecí stroje. Dopravní kolíky a díry pro dopravní kolíky pro zápustky a držáky*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1971, 4 s. Třídící znak 211416
51. *CITACE PRO: Generátor citací* [online]. Brno: Ústřední knihovna VUT v Brně a Citace.com, c2012-2020 [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Legenda	Jednotka
A	Práce posledního úderu	J
a	Šířka kořene zápustky	mm
B	Šířka bloku	mm
c	Minimalní vzdálenosti vodicího kolíku od okraje	mm
D	Průměr výkovku	cm
Dd	Průměr zápustkové dutiny v dělicí ploše s přídavkem na smrštění	mm
dk	Průměr vodicího kolíku	mm
dp	Průměr polotovaru	mm
Do	Průměr otvoru výkovku	mm
Dv	Průměr výkovku včetně výronku	mm
dv	Průměr výronku	mm
db	Průměr blány	mm
F _D	Plocha průmětu výkovku v rovině kolmé ke směru rázu	mm ²
f	Šířka tvarového prvku	mm
F _s	Střížná síla	N
F _{sd}	Síla potřebná pro děrování	N
F _{so}	Síla potřebná pro stříhání	N
H _D	Hloubka dutiny	mm
h	Výška tvarového prvku	mm
hk	Výška kořene zápustky	mm
hm	Výška můstku	mm
hv	Vzdálenost od dělicí roviny do vrcholu otvoru	mm
L	Délka bloku	mm
lod	Délka odpadu	mm
lp	Délka polotovaru	mm
Lt	délka tyče	mm
mb	Hmot ost beranu	kg
nks	Skutečný počet kusů z jedné tyče	ks
o	Stříhaný obvod	mm
ob	Obvod blány	mm
ov	Obvod výronku	mm
p	Procento využití	%
R	Vnitřní poloměr přechodu tvaru	mm
r	Vnější poloměr přechodu tvaru	mm
S	Délka můstku	cm
Sb	Tloušťka blány [mm]	mm
Sd	Obsah dosedací plochy	cm ²
tl	Stříhaná tloušťka [mm]	mm
t	Vzdálenost otvorů dopravních kolíků od sebe	mm
tv	Tloušťka výronku	mm
Vo	Objem opalu	mm ³
Vp	Objem polotovaru	mm ³
V _{vyk}	Objem výkovku	mm ³
V _{vyr}	Objem výronku	mm ³
w	Vzdálenost otvorů od osy nástroje	mm
λ	Štíhlost	-
σ _s	Pevnost materiálu za kováčí teploty	MPa

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady kovaných součástí [1], [2], [3], [4], [5]	9
Obr. 2 Model pastorku	10
Obr. 3 Přenášení krouticího momentu [6]	10
Obr. 4 Způsob otáčení hnané hřídele před a po zařazení zpětného chodu [6]	10
Obr. 5 Tvar a rozměry pastorku	10
Obr. 6 Přímé laserové spékání [10]	12
Obr. 7 Svarový spoj [12]	12
Obr. 8 Soustružení [13]	12
Obr. 9 Odlévání [14]	12
Obr. 10 Průtlačnice [16]	13
Obr. 11 Zápustkový výkovek [17]	13
Obr. 12 Zjemnění zrna [19]	14
Obr. 13 Vlákna ve výkovku [20]	14
Obr. 14 Zokujení [24]	15
Obr. 15 Oduhličení [25]	15
Obr. 16 Spálený povrch oceli [26]	15
Obr. 17 Komorová pec [27]	16
Obr. 18 Karuselová pec [28]	16
Obr. 19 Narážecí pec s rovnou nístějí [29]	16
Obr. 20 Měděná cívka s ohřátým polotovarem [30]	17
Obr. 21 Zaplnění dutiny [31]	17
Obr. 22 Znázornění velikosti práce bucharu [18]	18
Obr. 23 Rozmístění dutin v postupové zápustce [18]	19
Obr. 24 Uzavřená zápustka [23]	19
Obr. 25 Upevnění zápustky [34]	19
Obr. 26 Příklady polohy dělicí roviny [22]	20
Obr. 27 Úkosy [22]	20
Obr. 28 Zaoblení hran [35]	20
Obr. 30 Výronkové drážky [34]	21
Obr. 29 Nestandardní blány [34]	21
Obr. 31 Normalizační žíhání [22]	22
Obr. 32 Žíhání na měkko [22]	23
Obr. 33 Izotermické žíhání [22]	23
Obr. 34 Zušlechťování [22]	23
Obr. 35 Pasrorek	24
Obr. 36 Přidavky na obrábění	24
Obr. 37 Rozměry výkovku	25
Obr. 38 Zaoblení hran výkovku	25
Obr. 39 Výkovek kruhového průřezu dutý [37]	26
Obr. 40 Rozměry výronkové drážky	28
Obr. 41 Model výkovku	28
Obr. 42 Objem výkovku a výronku	29
Obr. 43 Hydraulický Ironworker [39]	30
Obr. 44 KHZ 4A [41]	32
Obr. 45 Pegas 230x280 A-CNC-R [40]	32
Obr. 46 SOP 630/2,5-C55 [47]	33
Obr. 47 LDO 315 A/S [48]	33
Obr. 48 Bubnový tryskač Airblast TB Line [49]	34
Obr. 49 Minimální vzdálenost dutiny od okraje [21]	35
Obr. 50 Stanovení minimální výšky zápustky [21]	35
Obr. 51 Rozměry bloku [43]	35
Obr. 52 Kořen zápustky [44]	36
Obr. 53 Pero [44]	36
Obr. 54 Vodicí kolík [42]	37

Obr. 55 Otvory pro dopravní kolíky [46]	37
Obr. 56 Modely zápustek	37
Obr. 57 Obrobený pastorek	39

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení oceli 16MnCr5 [9]	11
Tab. 2 Tepelné zpracování oceli 16MnCr5 [9]	11
Tab. 3 Frekvence pro různé průměry ocelových přířezů [18]	17
Tab. 4 Pevnost materiálu za kovací teploty [18]	18
Tab. 5 Vůle mezi spodní a horní zápustkou [23]	19
Tab. 6 Přídavky na obrábění [36]	24
Tab. 7 Minimální tloušťka blány a stěn [36]	25
Tab. 8 Velikost zaoblení hran [36]	26
Tab. 9 Velikosti zaoblení hran r_i a R_i pro zadaný výkovek [36]	26
Tab. 10 Vybrané stupně přesnosti pro kování [36]	27
Tab. 11 Vybrané mezní úchytky a tolerance rozměru výkovku pro stupeň přesnosti 5 [36]	27
Tab. 12 Vybrané mezní úchytky a tolerance rozměru výkovku pro stupeň přesnosti 6 [36]	27
Tab. 13 Vybrané mezní úchytky poloměrů zaoblení přechodu a hran výkovku [36]	27
Tab. 14 Mezní úchytky poloměrů zaoblení přechodu a hran výkovku	27
Tab. 15 Vybrané parametry výronkové dražky [21]	28
Tab. 16 Výpočet parametrů polotovaru	30
Tab. 18 Výpočet parametrů řezaného polotovaru	31
Tab. 19 Technické údaje KHZ 4A [41]	32
Tab. 17 Parametry pily [40]	32
Tab. 27 Technické údaje SOP 630/2,5-C55 [47]	33
Tab. 28 Technické údaje LDO 315 A/S [48]	34
Tab. 29 Parametry tryskače Airblast TB 326 [49]	34
Tab. 20 Kořen 300 ČSN 21 1413 [44]	36
Tab. 21 Klín H (S) 50×450 ČSN 21 1417 [45]	36
Tab. 22 Péro 50 ČSN 21 1413 [44]	36
Tab. 23 Parametry vodicích kolíků [42]	37
Tab. 24 Chemické složení oceli 19 541 [32]	38
Tab. 25 Vybrané mezní úchytky dutiny zápustky [42]	38
Tab. 26 Vybrané drsnosti povrchu konstrukčních prvků [42]	38
Tab. 30 Technnologický postop výroby pastorku	39

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Přehled vlastností oceli 16MnCr5 [9]
Příloha č. 2 Nomogram pro určení hodnoty T [21]

SEZNAM VÝKRESŮ

PASTOREK	BP-01-19004
VÝKOVEK PASTORKU	BP-02-19004
HORNÍ ZÁPUSTKA	BP-03-19004
SPODNÍ ZÁPUSTKA	BP-04-19004

Přehled vlastností oceli 16MnCr5 (16MnCrS5)										1.7131 (1.7139)					
Druh oceli	Nizkolegovaná ušlechtilá mangan-chromová ocel k cementování														
TDP	ČSN EN 10084														
Dřívější označení	16MnCr5 (16MnCrS5) podle DIN 17210, 14 220 podle ČSN														
Charakteristika	Nejčastěji používaná cementační ocel pro středně namáhané díly strojů a motorových vozidel. Prokaluje do hloubky ca 30 mm. Ve stavu kaleném a popuštěném je použitelná pro průměry do ca 35 mm. Je svařitelná a vhodně tepelně zpracovaná též dobře tvaritelná za studena. Přísadou bору (0,0008 až 0,0050%) se docílí zvýšené houževnatosti cementované vrstvy.														
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C	Si max.	Mn	P max.	S ¹⁾ max.	Cr	Mo	Ni	Al						
	0,14-0,19	0,40	1,00 – 1,30	0,035	0,035	0,80 – 1,10	-	-	Při kontrolované velikosti austenitického zrna 0,015-0,050 (informativně; není uvedeno v normě).						
Dovolené odchylky od složení tavby ve výrobku ⁴⁾	± 0,02	+ 0,03	± 0,04	+ 0,005	+ 0,005	± 0,05	-	-							
Mechanické vlastnosti v jádře referenčního vzorku po kalení a popuštění při 150-200 °C (uvedené hodnoty nejsou součástí EN 10084) ²⁾	Průměr v mm		Re min. MPa		Rm MPa		A min %		Z min %		KCU min. J.cm ⁻²				
	d ≤ 11		735		1030 – 1375		8		-		25				
	11<d ≤ 25		540		785 – 1080		9		-		30				
	25 <d ≤ 40		490		685 - 930		10		-		30				
Hodnoty tvrdosti HB pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost (S)		Žiháno na měkko (A)			Zpracováno na rozmezí tvrdosti (TH)			Zpracováno na feriticko-perlitickou strukturu (FP)						
	max. 255		max. 207			156 - 207			140 - 187						
	Stav po válcování		Stav po normalizaci			Žiháno na globulární cementit (vhodné pro tvárění za studena)									
	ca 250 ⁵⁾		ca 220 ⁵⁾			max. 178 ⁵⁾									
Prokalitelnost	Druh	Meze	Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm												
			Tvrdost v HRC												
			1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40
	H	max.	47	46	44	41	39	37	35	33	31	30	29	28	27
		min.	39	36	31	28	24	21	-	-	-	-	-	-	-
	HH	max.	47	46	44	41	39	37	35	33	31	30	29	28	27
		min.	42	39	35	32	29	26	24	22	20	-	-	-	-
HL	max.	44	43	40	37	34	32	30	28	26	25	24	23	22	
	min.	39	36	31	28	24	21	-	-	-	-	-	-	-	

Pásky prokalitelnosti

— H HH max
— H HL min
— HH min
— HL max

Popouštěcí křivka (referenční vzorek pr.10 mm)

— Rm
— Rp0,2

Technologické vlastnosti								
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tvárění za tepla : 1100 až 900 °C							
Tepelné zpracování	Normalizační žihání °C	Žihání na měkko °C	Isotermické žihání	Teplota cementace °C ^{a)}	Teplota kalení na jádro °C ^{b)}	Teplota kalení na povrch °C ^{b)}	Teplota popouštění °C ^{c)}	Teplota kalení pro Jominyho zkoušku °C
	880	650 až 700	850 až 950 650 1 hod.	880 až 980	860 – 900 olej, (voda)	780 až 820 olej, (voda)	150 až 200	870 (prodleva ca 0,5 h)
Uvedené podmínky jsou doporučené. ^{a)} při jednoduchém kalení se ocel kalí z teploty cementace nebo nižší (závisí na tvaru výrobku) ^{b)} druh ochlazovacího prostředku závisí na př. na tvaru výrobku a na podmínkách ochlazování. ^{c)} doba popouštění minimálně 1 hod.								
Obrobitelnost	Pro dobrou obrobitelnost je výhodný stav FP. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 16MnCrS5 se zvýšeným obsahem S.							
Stříhatelnost	Ocel 16MnCr5 je stříhatelná za studena i ve stavu po válcování.							

¹⁾ Obsah síry u oceli 16MnCrS5 je 0,020 až 0,040% s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

²⁾ Prokazují se na referenčním vzorku uvedených průměrů. Slouží k průkazu dosažitelnosti mechanických hodnot v jádře po kalení a popuštění. Údaje jsou převzaty z literatury.

Re – mez kluzu, Rm – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční měřená délka Lo = 5,65√So), Z – kontrakce, KCU – nárazová práce, zkušební těleso s U – vrubem (průměr ze tří zjištěných hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% střední hodnoty).

³⁾ pro ocel objednanou bez požadavku na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.

⁴⁾ ± znamená, že u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí rozboru tavby, ale nikoli obě současně.

⁵⁾ Uvedené údaje jsou informativní a nejsou součástí EN 10084

