



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KOLA

PRODUCTION OF GEAR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Roman Havlíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Roman Havlíček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

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

Výroba kola

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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

Seznam doporučené literatury:

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

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

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

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

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

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

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

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

HAVLÍČEK Roman: Výroba kola.

Práce se zabývá návrhem technologie výroby řetězového kola hřeblového dopravníku z legované konstrukční oceli 14 220. Po zvážení všech možností výroby bylo zvoleno zápuskové kování. Na základě zhodnocení technologičnosti byly provedeny úpravy tvarů, zvoleny přídavky a mezní úchytky rozměrů. Z objemu výkovku kola se určil polotovar o průměru 150 mm a délce 106 mm. Na základě sériovosti, strojního parku podniku a velikosti výkovku byl zvolen jako tvářecí stroj buchar KHZ 16A s jmenovitou energií 160 kJ. Podle norem byla pro výkovek zkonstruována jednodutinová zápuska. Pro ostříhování výronku a blány byl zvolen lis LKOA 200. K bucharu a lisu se určily doplňkové stroje zajišťující výrobu a sestavil se technologický postup. Na závěr bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení výroby, kde se vypočítaly náklady na materiálové zajištění výroby, které činí 2 566 045,3 Kč, a náklady na výrobu zápusky ve výši 187 000 Kč.

Klíčová slova: Ocel 14 220, zápuskové kování, kování kola, buchar KHZ 16A, buchar

ABSTRACT

HAVLÍČEK Roman: Production of wheel.

The thesis deals with the design of production technology of the chain wheel used in the scraper conveyor made of 14 220 steel. After considering all production options, die forging was selected. On the basis of chosen technology, shape adjustments, additions and dimensional tolerances were made. From the volume of the forged wheel, a semi-finished product with a diameter of 150 mm and a length of 106 mm was determined. Based on the scale of series, the machinery equipment of the company and the size of the forged piece, the KHZ 16A hammer, with a nominal energy of 160 kJ, was chosen as a forming machine. According to the standards, a single-die dies were designed for the forging. The LKOA 200 press was chosen to cut off the flash and the membranes. Additional machines for manufacturing were chosen and technological standard was compiled. At the end costs of the material for production amounting to 2 566 045,3 CZK and the cost of production of die in the amount of 187 000 CZK were calculated.

Key words: 14 220 Steel, die forging, wheel forging, hammer KHZ 16A, hammer

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAVLÍČEK, Roman. *Výroba kola*. Brno, 2018. 43s, 5 výkresů, 4 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 24. 5. 2018

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině, všem přátelům a Zdeničce, za to že mě plně podporovali.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI.....	10
1.1 Volba technologie výroby.....	12
2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ	14
2.1 Návrh výkovku.....	16
2.2 Výpočet práce.....	19
2.3 Buchary	20
2.4 Zápustky	21
2.4.1 Předehřev a mazání zápustek	22
2.4.2 Vedení	23
2.4.3 Upínání zápustek	24
2.4.4 Výronková drážka	25
2.5 Technologičnost výkovků.....	26
3 NÁVRH VÝROBY	27
3.1 Tolerance výkovku	29
3.2 Tvar a velikost výronkové drážky.....	31
3.3 Polotovar	32
3.4 Volba bucharu	33
3.5 Konstrukce nástroje	35
3.6 Ostřížení výkovku.....	38
3.7 Technologický postup.....	39
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	41
5 ZÁVĚRY.....	43

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3],

Tváření patří mezi nejrozšířenější technologie výroby. Při současných tendencích snižování nákladů a zvyšování výkonů jeho význam roste, především pak objemového tváření za tepla. To se dělí na technologii válcování a univerzálnější kování.

Během kovacího procesu výrobek mění svůj tvar, údery nebo působením klidné síly pomocí tvářecího stroje – bucharu nebo lisu, nad teplotu rekrystalizace. Mezi přednosti této technologie patří především produktivita, nízká spotřeba materiálu, snadná automatizace, přesnost a také zlepšení mechanických vlastností kovaného materiálu. V neposlední řadě má kování pozitivní vliv na makrostrukturu a mikrostrukturu. Dělíme jej na volné, to probíhá na kovadlině nebo pomocí univerzálních kovacích podložek, a na zápustkové.

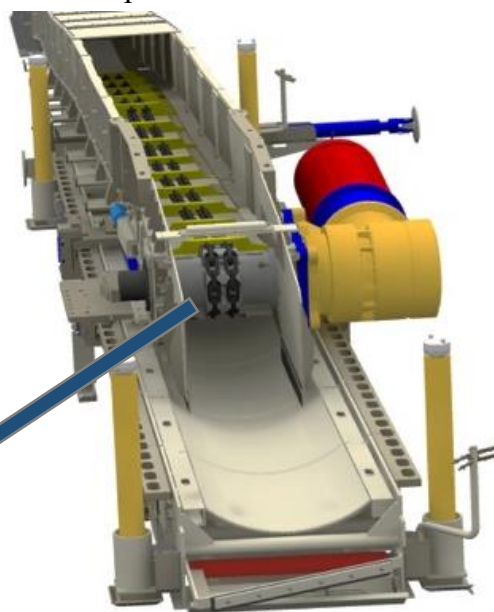
Zápustkové kování probíhá vtačováním ohřátého polotovaru, nejčastěji přířezu, do dutiny v kovové, většinou dvojdílné formě - zápustce. Metoda je vhodná k výrobě velkého množství tvarově stejných výkovků. Hlavní předností je velká produktivita, snadná obsluha a automatizace. Možnost použití této technologie je však omezena maximálními rozměry a hmotností výkovku. Příklady výkovků zhotovených zápustkovým kovááním jsou znázorněny na obr. 1.



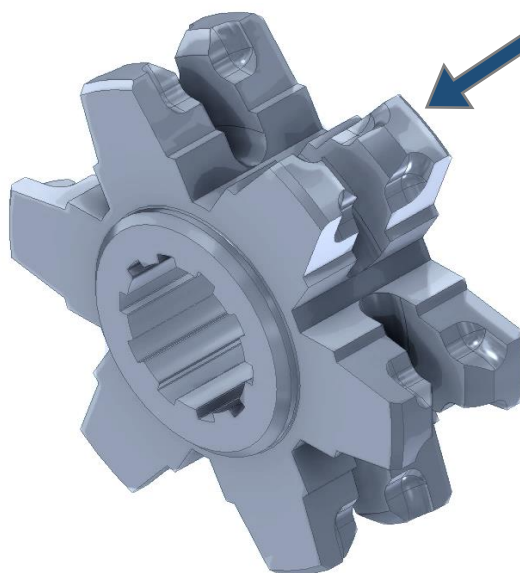
Obr. 1 Ukázky zápustkových výkovků [4], [5]

1 ROZBOR SOUČÁSTI [6], [7], [9], [10], [11], [12], [13],

Řešenou součástí je hnací kolo porubového hřeblového dopravníku (obr. 2), což je důlní zařízení zajišťující odvod rubaniny z místa těžby. Trať dopravníku se skládá ze žlabu, řetězového pásma s hřebly, poháněcí a vratné stanice. V žlabu obíhají dva řetězy vysoké pevnosti, na nichž jsou upevněna hřebla, která při pohybu řetězu hrnou rubaninu ve žlabu po kluznici. Na konci kluznice se přepravovaný materiál přesune na jiné přepravní zařízení, obvykle sběrný hřeblový dopravník, a následně se přemístí do důlních vozíků. Dopravník se nejčastěji používá pro přepravu neabrazivních materiálů, jako je například uhlí, s maximálním sklonem 30° a to především v těžkých důlních podmínkách.



Obr. 2 Hřeblový dopravník [8]



Obr. 3 3D model kola

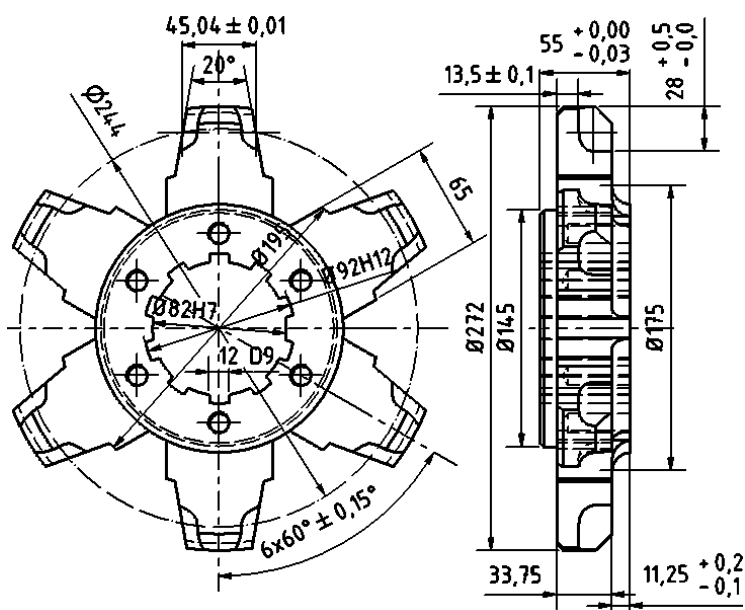
Řetězy porubového dopravníku jsou poháněny čtyřmi řetězovými koly. Ty jsou umístěny ve dvojici na poháněcí a vratné stanici. Jde o kola pro kalibrované krátkočlánkové svařované řetězy odpovídající normě ČSN 01 4805. Kola mají 6 zubů opatřených drážkou pro články řetězu 18 x 63 mm dle ČSN 02 3222. Boky zubů jsou zesíleny osazením. Největší průměr činí 272 mm, šířka 110 mm. Středem kola prochází otvor kruhového průřezu o průměru 82 mm. Ten je opatřen rovnobokým drážkováním 10 x 82 x 92 mm podle normy ČSN 01 4942. Přes drážky se bude přenášet krouticí moment z hřídele na kolo. Model kola vytvořený v programu Inventor 2016 je znázorněn na obrázku č. 3. Hmotnost by měla činit přibližně 19 kg. Velikost výrobní série bude 2 500 ks.

Na součásti se nachází několik tvarových prvků, které je třeba vyrobit v určitém stupni přesnosti, aby byla zajištěna její funkčnost. Jde především o rozměry drážek zubů a drážkování otvoru pro hřídel. Menší průměr drážek $\varnothing 82$ mm je v toleranci H7, větší průměr $\varnothing 92$ mm v H12 a šířka drážek 12 mm má být vyrobena v toleranci D9. Hloubka drážky pro řetězy o velikosti 28 mm má být vyrobena v rozmezí odchylek ${}^{+0,5}_{-0}$ mm, šířka drážky 22,5 mm má toleranci ${}^{+0,2}_{-0,1}$ mm. Vzdálenost mezi poloměrem a osou v drážce 25,5 mm je tolerovaná symetrickou odchylkou $\pm 0,1$ mm. Zvýšená pozornost bude muset být věnována výrobě roztečí zubů 60°, ty jsou tolerovány symetrickou odchylkou $\pm 0^{\circ}15'$. Na výkrese je také předepsána tolerance šířky kola $110^{+0}_{-0,06}$ mm a rovnoběžnost osazení na obou stranách kola. Nepředepsané tolerance rozměrů budou tolerovány podle ČSN ISO 2768 - mK.

Z důvodů zjednodušení výroby a většího využití materialu bylo po konzultaci s konstrukčním oddělením rozhodnuto o změně konstrukce kola. To se bude skládat ze dvou symetrických dílů spojených mechanicky pomocí šroubů. Rozměry a vybrané tolerance jsou znázorněny na obr. 4. Půjde o 6 šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M12. Na hřídeli budou nalisovány 4 díly těchto kol. Z tohoto důvodu vzrůstá sériovost na 5 000 ks. Na funkci součásti tato úprava nebude mít žádný vliv, ale dosáhne se úspory času a materiálu, protože se nebude muset obrábět mezizubová mezera.

U kola se předpokládá střední dynamické namáhání a schopnost pracovat v těžkých provozních podmínkách. Okolní prostředí je prašné s vysokou vlhkostí vzduchu, s nebezpečím koroze, teploty mohou dosahovat až 40 °C. Proto bude celá součást kalena v oleji na 54 HRC a drážky pro zuby budou cementovány na hodnotu 60 HRC pro zvýšení oteruvzdornosti. Materiál, který splňuje vysoké nároky na mechanické a technologické vlastnosti, může být jak kalen, tak cementován je ušlechtilá konstrukční chrom-manganová ocel třídy 14 XXX.

Tyto oceli jsou legovány chromem, popřípadě chromem a manganem, či křemíkem. Jsou to jedny z nejpoužívanějších slitinových ocelí, které umožňují dosažení velmi dobrých vlastností bez použití nedostatkových a drahých prvků. Při jejich výrobě se klade důraz na mikročistotu materiálu. Sleduje se především tvar a velikost nekovových vměstků, zejména siřníků a oxidů.



Obr. 4 Schéma kola se základními rozměry

Z této třídy byla zvolena ocel 14 220, která splňuje všechny mechanické požadavky a má dobré technologické vlastnosti. Značení podle evropské normy je 16MnCr5. Materiál se vyznačuje dobrou tvářitelností za tepla, po žihání na měkko i za studena. Obrobitelnost je dobrá a svařitelnost podmíněně zaručená. Používá se pro strojní součásti zušlechtné do průměru 35 mm, cementované díly s velkou pevností v jádře, např. hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy a zubové spojky. Chemické složení je popsáno v tabulce 1. Mechanické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tab. 1 Chemické složení oceli 14 220 [11]

Chemické složení oceli ČSN 14 220						
Značka oceli	Chemické složení v %					
	C	Mn	Si	Cr	P max.	S max.
ČSN 14 220	0,14-0,19	1,10-1,40	0,17-0,37	0,80-1,10	0,035	0,035

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 14 220 [11]

Mechanické vlastnosti oceli ČSN 14 220					
R _{p0,2}	R _m	A _{5min}	HV _{min}	Z _{min}	E
[MPa]	[MPa]	[%]	[-]	[%]	[GPa]
588	785	10	30	49	206

1.1 Volba technologie výroby [1], [14], [16], [17], [18], [19], [21], [22], [24],

Vhodná technologie výroby se volí tak, aby bylo dosaženo co nejlepšího poměru mezi výslednými vlastnostmi součásti a ekonomičností její výroby. Vzhledem k složitému tvaru a požadovanému stupni přesnosti bude nutno kolo dokončovat obráběním. Technologie výroby, která bude předcházet obráběcí operaci, bude volena mezi následujícími:

- Řezání plazmou – je založeno na tepelných a dynamických účincích plazmatu, které po zapálení elektrického oblouku vylétá vysokou rychlostí z hořáku (obr. 5). Plazma je ionizovaný plyn složený z iontů a elektronů, který vzniká odtržením elektronů z elektronového obalu atomu. Řezaný materiál je taven a odfukován. Vzniká tak poměrně široká spára se zaoblenými hranami a minimem strusky. Při vyřezávání kola by se jako polotovar použila deska o tloušťce 55 mm a poté se doobrobila, nebo by se kolo složilo z více disků. Ty by se následně mechanicky spojily. Při této tloušťce je zaručena dostatečná kvalita řezu. Výhodou je vysoká produktivita, snadná automatizace a vysoká rychlost řezání. Nevýhodou je vnesené teplo a s tím související široká tepelně ovlivněná oblast, hlučný provoz a vznik škodlivých plynů. Ačkoliv je tato metoda produktivní a flexibilně reaguje na změnu výroby, nezajistila by vhodné mechanické vlastnosti a vyžadovala by více obráběcích operací. Nevýhodou by byl také odpadový materiál ve formě prořezu.
- Řezáním vodním paprskem – zajišťuje hladký a velice přesný řez. Princip této metody spočívá ve využití kinetické energie vysokotlakého a vysokorychlostního vodního paprsku. Proces řezání je znázorněn na obr. 6. Používá se paprsek s abrazivem nebo bez něj. Největší výhodou této metody je skutečnost, že řezaný materiál není silově namáhán a řez je bez tepelně ovlivněné oblasti. Tloušťka řezaného materiálu může být až 500 mm. Z tohoto pohledu se nabízí dvě stejné varianty výroby jako u řezání plazmou. Na rozdíl od této metody by zde ale nevznikla tepelně ovlivněná oblast. I když jde o progresivní metodu, kolo by nevykazovalo požadované mechanické vlastnosti. Metoda je také nevhodná vzhledem k nedostatečnému využití materiálu.



Obr. 5 Řezání plazmou [15]



Obr. 6 Řezání vodním paprskem [17]

- Odlévání – je technologií, pomocí které se předměty vyrábí litím roztaveného kovu do forem (obr. 7) Struktura odlitků je hrubá a nevykazuje tak dobré mechanické vlastnosti jako struktura vzniklá tvářením. Odlévání tekutého kovu umožňuje vytvářet složité odlitky s různými tloušťkami stěn a s komplikovanými vnitřními dutinami. Sériovost se může pohybovat od kusové výroby po hromadnou s produkcí v mnohatisícových sériích. Slévatelnost oceli 14 220 se nikterak neliší od slévatelnosti dalších legovaných ocelí.



Obr. 7 Odlévání [20]

Největším problémem je velká změna objemu při tuhnutí a tím spojené riziko vzniku staženin a pnutí. Výroba zadané součásti by mohla probíhat technologií lití do netrvalých forem. Z použití této metody by vyplynul výhodný nízký objem materiálu odstraňovaného obráběním. Nevhodnou pro součást by však byla hrubá lící struktura bez zpevnění a vláken.

- Třískové obrábění – je technologický proces, kterým se vytváří povrch obrobku určitého tvaru, rozměru a jakosti odebráním částic materiálu mechanickými účinky. Moderní CNC stroje umožňují přesnou a produktivní výrobu tvarově složitých součástí (obr. 8). Dosahovaná přesnost může být až IT 5 a drsnost povrchu až Ra 0,2. Nevýhodou této technologie je nízké využití materiálu. Ocel 14 220 je poměrně dobře obrobitelná, pro lepší obrobitelnost se ale doporučuje zušlechtit jí na $690 \div 880$ MPa. Obrábění nemá pozitivní vliv na výsledné mechanické vlastnosti obráběné součásti. Výroba kola pouze touto metodou by byla neekonomická, z hlediska využití materiálu a strojního času především kvůli objemu výrobní série. Vzhledem k tvaru, požadované přesnosti a drsnosti povrchu bude obrábění použito v dokončovacích pracích.

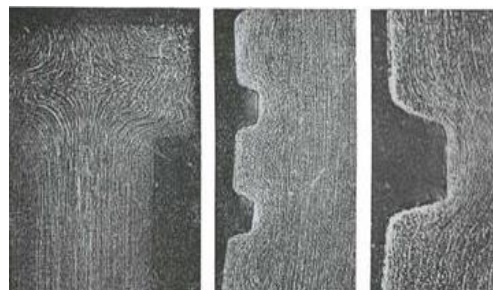


Obr. 8 Třískové obrábění [23]

- Zápustkové kování – patří mezi objemové tváření za tepla, kde ohřátý polotovár získává tvar údery, nebo působením klidné síly v zápustce. Kováním v zápustce (obr. 9) se dosahuje oproti volnému kování větší přesnosti, jakosti povrchu, produktivity a úspore materiálu. Tato metoda je velmi výhodná v sériové výrobě. Hlavní výhodnou součástí zpracovávaných kováním je kromě produktivity také prokování a vznik vláken. Vlákna vznikají díky přítomnosti vměstků na hranicích zrn. Při tváření se primární zrna deformují a zplošťují se. Rekrystalizací se primárním zrnům vrátí jejich původní tvar, avšak vměstky díky nízké difuzní rychlosti zůstávají v deformovaném tvaru. Po opakování tohoto procesu začnou vměstky tvořit souvislé plošné útvary, které se po vybroušení jeví jako vlákna (obr. 10). Ocel 14 220 je vhodná pro tváření za tepla, a proto se často v kovárnách zpracovává. Kolo vyrobené touto metodou by splňovalo vysoké nároky na mechanické vlastnosti. Hmotnost odpadového materiálu je vůči ostatním porovnávaným metodám menší.



Obr. 9 Zápustkové kování [25]



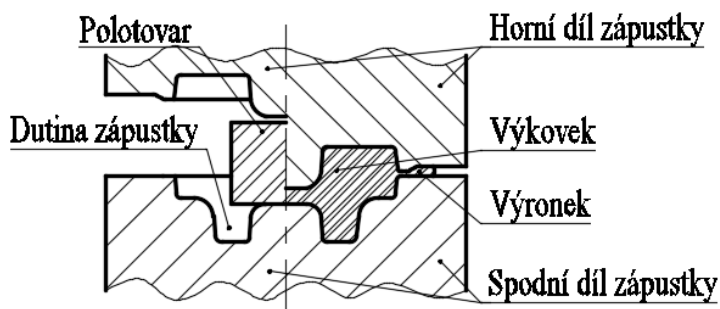
Obr. 10 Vlákničitá struktura po kování [1]

Po zvážení všech výrobních technologií se jako nejvhodnější jeví zápustkové kování na bucharách, které jsou početně zastoupeny ve strojním parku podniku. Ostatní technologie nevyhovují z hlediska nedostatečného využití materiálu, efektivní výroby, drahých nástrojů nebo nezajištění vhodných mechanických vlastností součástí. Na tento způsob výroby se zaměří teoretická i praktická část této bakalářské práce.

2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [1], [2], [3], [26], [27],

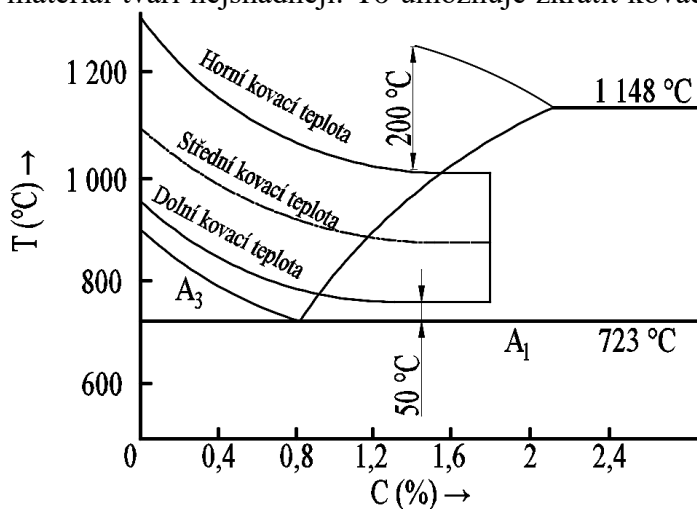
Zápustkové kování patří mezi technologie objemového tváření za tepla. Jedná se o produktivní metodu schopnou vytvářet přesné výkovky s minimálními přídávky, což zvyšuje využití materiálu. Další výhodou je možnost automatizace výroby. Díky těmto vlastnostem se zápustkovým kovááním zpracovávají především součásti v hromadné a sériové výrobě.

Pod pojmem zápustkové kování se rozumí tváření ohřátého materiálu v zápustkách. Postup je vyobrazen na obrázku č. 11. Polotovar se silovým působením nebo úderem tvaruje a vyplňuje dutinu zápustky, což je dutina v zpravidla ocelovém bloku, která má tvar hotového výkovku. Její rozměry však musí být zvětšeny o smrštění kovu při chladnutí. Obvod dutiny se opatřuje výronkovou drážkou. Do této drážky se má po úplném vyplnění dutiny zápustky vytlačit přebytečný kov. Konstrukce drážky má velký vliv na konečnou kvalitu výkovku.



Obr. 11 Kování v zápustce [27]

Před kovááním se provádí ohřev na kovací teplotu, respektive teplotní interval, viz obr. 12, z důvodů snížení zpevnění a odporu proti deformaci. Zpravidla se kove za nejvyšších přípustných teplot, protože při nich se materiál tváří nejsnadněji. To umožňuje zkrátit kovací časy, snižuje se namáhání zápustek a zvyšuje se jejich životnost. Prodleva na těchto vysokých teplotách by však neměla být zbytečně dlouhá, protože se zvyšuje riziko zhrubnutí zrna a jiných vad vznikajících při ohřevu. Při zápustkovém kovááním se kove za vyšších teplot, než při kováání volném. Horní kovací teplota je vymezena křivkou solidu (leží přibližně 200 až 300 °C pod touto křivkou), spodní pak teplotami A_3 a A_1 (přibližně 50 °C nad těmito teplotami).



Obr. 12 Kovací teploty uhlíkových ocelí [28]

Ohřev polotovaru je složitá operace. Při nevhodně zvoleném postupu nebo způsobu ohřevu mohou vzniknout tyto vady:

- Přehřátí oceli – způsobuje, že síra obsažená v oceli převážně ve formě MnS a FeS se při velmi vysoké teplotě ohřevu rozpouští a difunduje na hranice austenitických zrn. Při následném ochlazování dochází opět k vylučování síry, tentokrát však na hranicích zrn a v mnohem vyšší koncentraci. Zde pak vznikají tvrdé a křehké sirníky, které mají negativní vliv na mechanické vlastnosti. Značný vliv na přehřátí oceli má způsob dezoxidace. Nejnáchylnější k přehřátí jsou oceli vyráběné zásaditým pochodem, zvláště pak legované niklové oceli. Teplota, při které dochází k přehřátí, je závislá na velkém množství faktorů, proto se musí určovat pro každou ocel zvlášť. Pro odstranění přehřátí se používá speciální difuzní žíhání, nebo několikanásobné překování.

- Spálení oceli – je vada způsobená ohřevem na teplotu tavení. Po dosažení této teploty se začnou natavovat hranice austenitických zrn, do taveniny začne difundovat síra a fosfor. Po ochlazení oceli je na hranicích zrn možné pozorovat jak vyloučené siričky, tak místa bohatá na fosfor a někdy dokonce vyloučené fosfidy. K natavování nedochází jen na hranicích zrn, takto postižená místa se nalézají i v mezidendritických prostorách nebo mezi vlákny tvářené oceli. Mechanické vlastnosti spálené oceli jsou zhoršeny a ocel je podstatně křehčí. Náprava spálené oceli není možná, dosahuje se jen mírného zlepšení mechanických vlastností.
- Oxidace a vznik okují – je spojen s působením pecní atmosféry. Vlivem kyslíku, oxidu uhličitého a vodní páry se na povrchu výkovku tvoří oxidy FeO , Fe_3O_4 a Fe_2O_3 . Jejich výskyt a případná tloušťka závisí na chemickém složení materiálu, teplotě, době ohřevu a pecní atmosféře. Přítomnost okují na povrchu výkovku působí velice nepříznivě a to především při zápusťkovém kování. Okuje zvyšují opotřebení zápusťky, nežádoucí změnu rozměru a jakosti povrchu, protože často dochází k jejich zakování.
- Oduhličení povrchu – probíhá současně se vznikem okují. Zasahuje však do větší hloubky a ovlivňuje i vrstvu materiálu nepoškozeného okujemi. Oduhličení je následek působení oxidační atmosféry v peci a závisí hlavně na teplotě ohřevu a obsahu uhlíku. Jde mu poměrně snadno předjít. Je nutné ho eliminovat především u přesných zápusťkových výkovků, kovaných bez přídavku na obrábění. Oduhličena povrchová vrstva nedosahuje při tepelném zpracování požadovaných hodnot tvrdosti.

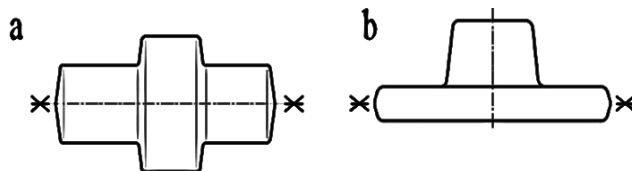
Při ohřevu pro zápusťkové kování se může volit hned mezi několika způsoby ohřevu:

- Plynové pece – pracují na principu spalování plyných paliv. Jde o oxidační proces, při kterém se palivo smíšené s okysličovadlem ohřívá na zápalnou teplotu. Pokud je dosaženo správného poměru mezi palivem a okysličovadlem, dojde k zažehnutí plamene v hořáku. Jako palivo se používá vysokopecní, zemní nebo koksárenský plyn. Teplota v celém prostoru pece je stejná a snadno regulovatelná. Nevýhoda tohoto způsobu ohřevu spočívá v přímém kontaktu materiálu se zplodinami, který je přímo vystaven účinkům hořáku. Tyto problémy lze odstranit pomocí ochranných atmosfér, nátěrů, ohřevem v lázni nebo použitím pouzder.
- Odporové pece – se dělí na zařízení pro přímý a nepřímý ohřev. Při přímém ohřevu vzniká teplo bezprostředně v ohřivaném předmětu na základě ohmického odporu. Doba ohřevu je tím kratší, čím je intenzita přiváděného proudu větší. Ohřev bývá nejintenzivnější ve středu ohřivaného objektu, proto se snižuje riziko vzniku okují na minimum. Nevýhodou je nebezpečí lokálního spálení materiálu, především u povrchových nerovností v místě styku ohřivaného materiálu a elektrod. Nepřímý ohřev probíhá přenosem tepla z topných těles, ty jsou zahřívány průchodem elektrického proudu. Následkem přenosu je zvýšené tepelné namáhání povrchu ohřivaného předmětu. Oba druhy odporových pecí se vyznačují vysokou rychlostí ohřevu a tepelnou setrvačností.
- Indukční pece – jsou vhodné pro rychlý a bezokujový ohřev, ocelových nebo profilových přířezů kratší délky. Používají se především v sériové výrobě. Při indukčním ohřevu vzniká teplo účinkem indukovaných vířivých proudů přímo v ohřivaném předmětu na základě jeho ohmického odporu. Předností těchto pecí jsou nízké tepelné ztráty, přesné dodržení kovací teploty a rovnoměrné prohřátí. Velikost frekvence značně ovlivňuje spotřebu proudu i délku ohřevu, volí se v závislosti na průměru přířezu.

2.1 Návrh výkovku [1], [24], [29], [30], [31], [32], [33], [34],

Aby zadaná součást mohla být efektivně vyráběna technologií zápusťkového kování, je třeba její tvar upravit podle technologických zásad. Při úpravě se bere zřetel na základní tvar součásti, hmotnost, požadovanou přesnost a sériovost. Výsledkem tohoto procesu je pak výkres výkovku. Aby bylo možné jej vytvořit, je třeba určit:

- Dělicí rovina – plocha, která rozděluje díly zápusťek tak, aby z nich bylo možné vyjmout výkovek. Určuje se jako první, protože na její poloze závisí další technologické volby. Určení polohy této roviny ovlivňuje především tok materiálu v zápusťce a konečné usměrnění vláken v součásti. Její poloha vzhledem k výkovku může být rovnoběžná s hlavní osou výkovku (obr. 13a) nebo kolmá na hlavní osu (obr. 13b).



Obr. 13 Ukázky dělicích rovin [29]

- Přídavky – zvětšují rozměry výkovků (obr. 14) tak aby byla zajištěna požadovaná kvalita ploch a přesnost rozměrů při splnění požadavků na ekonomičnost výroby. U zápusťkových výkovků rozlišujeme:
 - Technologické přídavky – zjednodušují tvar součásti tak, aby bylo možné ji ekonomicky a kvalitně vykovat. Některé z těchto přídavků je po vykování nutné odstranit, například blány u předkovaných děr. Jiné na součásti mohou zůstat, protože neovlivňují její funkčnost, například zesílená žebra a úkosy. Velikost přídavků můžeme ovlivnit vhodnou volbou tvářecího stroje. Určují se podle normy ČSN 42 9030, viz tab. 3.

Tab. 3 Minimální tloušťka blány a stěn [30]

Střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu [mm]	Největší výška hotového výkovku H [mm]						
	-	10	25	40	63	100	160
do 10	25	40	63	100	160	250	
	Minimální tloušťka blány a stěn [mm]						
do 40	4	5	6	7	9	-	-
40 až 63	5	5	6	7	9	11	-
63 až 100	5	6	7	9	11	13	15
100 až 160	6	7	9	11	13	15	17
160 až 250	8	9	11	13	15	17	20
250 až 400	10	13	15	17	20	25	30

- Přídavky na tvarovou složitost – jsou zvláštním druhem technologických přídavků. Upravují tvary součástky, které nejsou vhodné ke kování. Jde obvykle o některé příliš členité plochy nebo úzká a hluboká vybrání, dále to jsou dutiny a vybrání ve směru kolmém k pohybu beranu, které není možné běžným kováním vyrobit a musí být vyplněny přídavkem. Tyto přídavky snižují využití materiálu, a proto se používají v co nejmenší míře.
- Přídavky na obrábění – se na výkovek umísťují tam, kde je nutné z hlediska požadované přesnosti a kvality plochy obrábět, protože technologie zápusťkového kování většinou nedosahuje požadovaných hodnot. Musí být dostatečně velké, aby jejich obrobením došlo také k odstranění porušené vrstvy materiálu. Ta může obsahovat trhliny, okuje nebo oduhlíčenou vrstvu. Zároveň nesmí být zbytečně velké, aby nezvyšovaly objem nevyužitého materiálu. Určují se podle normy ČSN 42 9030, viz tab. 4.

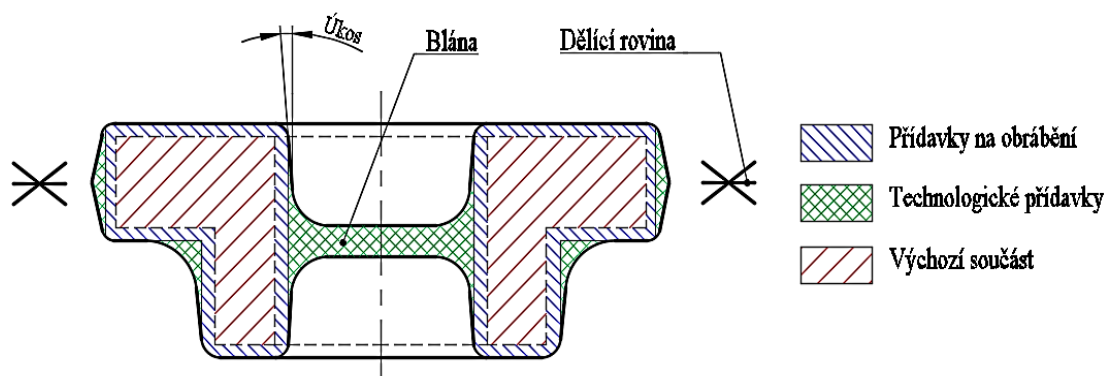
Tab. 4 Přidavky na obrábění [30]

Střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu [mm]	Největší výška hotového výrobku [mm]									
	-		25		40		63		160	
	do 25		40		63		100		100	
	Provedení: 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

- Úkosity – bočních ploch jsou umísťovány na všechny plochy kolmé na dělicí rovinu (obr. 14). Slouží k usnadnění vyjímání výkovku z dutiny zápustky. Jejich velikost se liší podle tvaru výkovku a druhu použitého tvářecího stroje. Úkosity pro výkovky kované na bucharu bývají větší než na lisech, to se ale může v budoucnu změnit díky bucharům s vyhazovači. Vnitřní úkosity jsou pak větší z důvodu smršťování kovu při ochlazování. Velikosti úkosů pro kování na bucharu jsou vypsány v tab. 5.

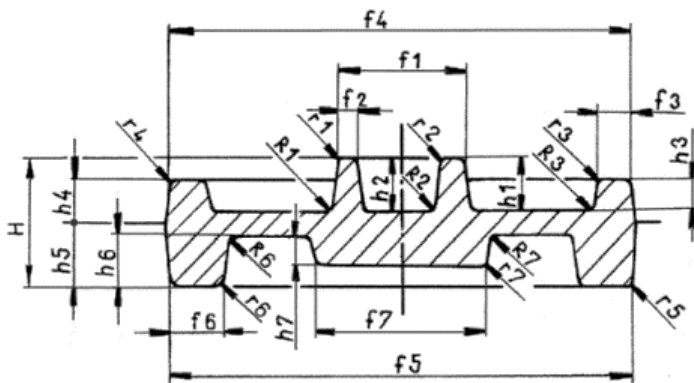
Tab. 5 Velikost úkosů [30]

Stroj: Buchar	Úkosity na stěně	
	vnější	vnitřní
Maximální přípustné	7°	10°
Běžně používané	3°	7°



Obr. 14 Přidavky a ukosity na výkovku [27]

- Zaoblení hran – se provádí z důvodu možného nezatečení kovu do ostrých přechodů ploch výkovku. Snižují také koncentraci napětí na hranách výkovku a tím zvyšují odolnost vůči mechanickému namáhání. Poloměr zaoblení má vliv i na tváření kovu v dutině a její vyplňování. Menší zaoblení může například způsobit přeložky, nezatečení kovu do hran a způsobuje také větší opotřebování zápustek. Nejmenší možný poloměr zaoblení se volí v závislosti na stroji a poměru výšky k šířce dané plochy podle tab. 6 a obr. 15.

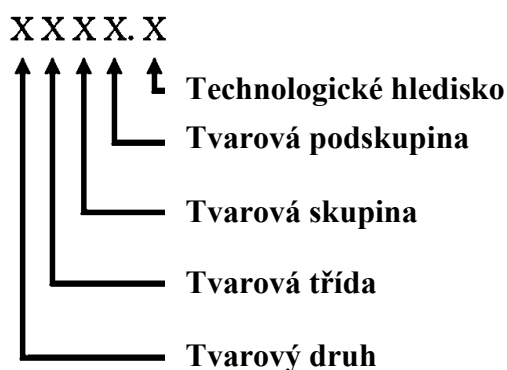


Obr. 15 Vnější a vnitřní poloměry zaoblení [29]

Tab. 6 Velikost zaoblení hran [30]

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
$\frac{h}{f} > 4$	r	3	4	5	8	16	25	40
	R	10	12	20	25	40	65	100

- Tolerance výkovku – se stanovují podle stupně přesnosti, největšího rozměru výkovku ve směru rázu a největšího kolmého rozměru výkovku na směr rázu. Stupeň přesnosti se volí podle oborového číselníku předepsaného normou ČSN 42 9002 a požadované přesnosti výroby. Podle číselníku se výkovky označí pětimístným kódem. Názvy jednotlivých pozic jsou uvedeny na obr. 16. Požadovaná přesnost výroby se nepředepisuje vyšší, než je skutečně potřeba. Volí se mezi běžným provedením, přesným provedením a zvláště přesným provedením. Čím je tvar výkovku složitější, tím obtížnější je dodržení přesných rozměrů z důvodu opotřebení zápustky, výrobních tolerancí zápustky, dodržení stejné teploty ve výkovku a nebezpečí nedokonalého zaplnění dutiny zápustky. Z těchto důvodů je zřejmé, že čím je výkovek složitější, tím větší tolerance jsou u jeho výroby přípustné.



Obr. 16 Zatřídění výkovků podle složitosti tvaru [34]

2.2 Výpočet práce [2], [24], [26],

Při určování velikosti zápustkového bucharu je třeba provést výpočet deformační práce posledního úderu, kdy je odpor proti změně tvaru největší. Poté je třeba ji porovnat s rázovou prací posuzovaného bucharu. Z tohoto porovnání vyplyne, zda je buchar vhodný. Deformační práce posledního úderu bucharu se vypočítá ze vztahu:

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

kde: D – sevřený průměr výkovku ($D \leq 60$ cm) [cm],
 σ_s – pevnost oceli za dané kovací teploty [MPa].

Při pýchování válcového tělesa s počáteční výškou 'ho' o 'dz' za předpokladu konstantního objemu a neměnného středního přetvárného odporu pro kovací teplotu platí:

$$dA = F \cdot dz = S_v \cdot \sigma_{ps} \cdot dz = V \cdot \sigma_{ps} \cdot \frac{dz}{z} \quad [\text{J}], \quad (2.2)$$

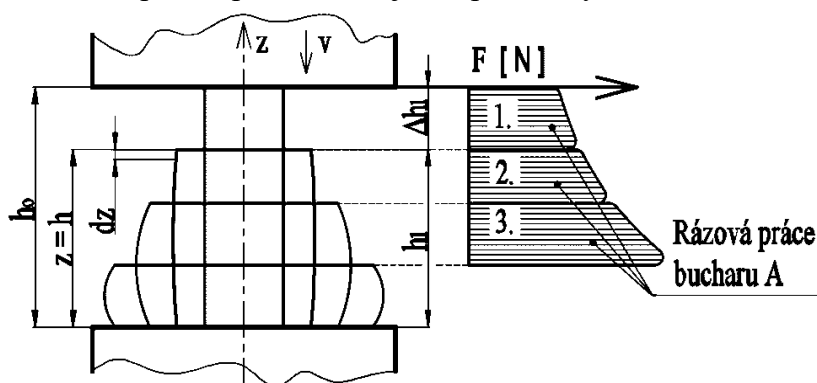
kde: F – velikost kovací síly [N],
 dz – změna výšky výkovku po úderu [mm],
 S_v – průřez výkovku [mm^2],
 σ_{ps} – střední přetvárný odpor za dané kovací teploty [MPa],
 V – objem výkovku [mm^3],
 z – výška výkovku [mm].

Pak se práce potřebná k pýchování z výšky 'ho' na výšku 'h = z' určí vztahem:

$$A = V \cdot \sigma_{ps} \int_{h_0}^h \frac{dz}{z} = \frac{1}{1000} \cdot V \cdot \sigma_{ps} \cdot \ln \frac{h_0}{h} \quad [\text{J}], \quad (2.3)$$

Velikost práce je určena plochou ohraničenou křivkou průběhu přetvárné síly. Křivky přetvárné síly získáme derivací křivky přetvárné práce. Na obr. 17 lze pozorovat, že při konkrétním bucharu s rázovou prací „A“ síla s každým úderem roste a největší bude při posledním úderu. To je způsobeno tím že zápustka působí na největší plochu výkovku.

Pokud se porovná velikost přetvárné práce na bucharu s prací lisu, dojde se k závěru, že práce na bucharu je větší. To je způsobeno nutností překonávat pružnou deformaci při každém úderu a větší rychlostí deformace, a s tím související zvýšení přetvárného odporu. Nezanedbatelné jsou také ztráty zvětšené o pasivní odpor při opakovaných úderech.



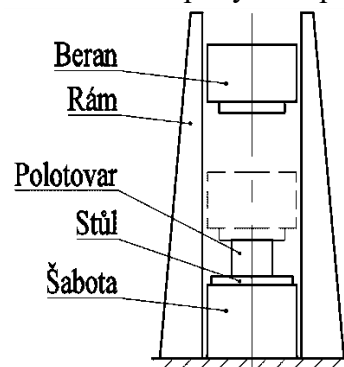
Obr. 17 Grafické znázornění průběhu kovací síly a přetvárné práce [2]

2.3 Buchary [1], [33], [35], [36], [37], [39],

Mezi buchary (obr. 18) se řadí všechny tvářecí stroje, u nichž se přetvárná práce získá přeměnou kinetické energie padajícího nebo urychleného beranu, který působí na tvářený materiál uložený na stole (šabotě). Materiál se tváří postupně několika údery. Největší výhodou je, že okuje působením rázu opadávají a nezamačkávají se tak do povrchu jako u lisu. Neprokovávají sice celý objem výkovku, ale výborně tváří kov ve směru pohybu zápustky. Buchary mohou být rozděleny podle několika hledisek. Především podle konstrukce a principu pohonu stroje. Dále rozlišujeme buchary se šabotou a protiúderové. Šabota je ocelový blok, do něhož se upevňují pevné části nástroje. U strojů pro zápustkové kování je šabota většinou spojena se stojany, což zajišťuje lepší vedení. Protiběžné buchary mají místo šaboty spodní beran.

Pokud je beran urychlován přídatnou pneumatickou, hydraulickou, nebo mechanickou silou, je takový buchar označován jako dvojčinný. Pohony těchto strojů konají práci jak při zdvihání beranu tak při jeho spouštění. Podle principu použitého k pohonu beranu se buchary rozdělují na:

- Padací buchary – jsou tvářecí stroje, u nichž je beran zvednut do určité výšky a po uvolnění padá urychlen svojí vahou na tvářený materiál. Dělí se na řemenové a deskové. Řemenové buchary (obr. 19) zvedají beran pomocí řemenů, ty jsou poháněny elektromotorem přes řemenici. Potřebná třecí síla je vyvinutá přítlačnou kladkou tlačící řemeny na řemenici. Po jejím uvolnění dochází k spuštění beranu. Deskové buchary mají beran zvedaný zpravidla dřevěnou deskou sevřenou mezi dvěma kladkami. Kladky jsou přítlačovány pákovým mechanismem spřaženým s beranem.
- Protiběžné buchary – mají místo šaboty spodní beran, který se pohybuje proti hornímu. Pracují tak, že do pracovního válce se střídavě šoupátkem vpouští hnací medium pod a nad píst, který je odlit z jednoho kusu spolu s beranem. Ocelové pásy jsou vedeny přes kladky a zvedají spodní beran proti hornímu. Spodní bývá těžší a při zpětném pohybu zvedá horní beran do výchozí pozice. U malých bucharů je poháněn pouze jeden beran, který je s druhým spojen kinematickou vazbou. U velkých bucharů má horní i dolní beran vlastní pohon. Takový buchar je tedy sestaven ze dvou samostatných bucharů působících proti sobě.
- Kompresorové buchary – jsou vhodné pro kování malých a středních výkovků. Ve stojanu se nachází pracovní a kompresorový válec. V pracovním válci se pohybuje píst pevně spojen s beranem lisu. Píst v kompresorovém válci je poháněn elektromotorem prostřednictvím klikového mechanismu. Rozvod a regulaci vzduchu obstarávají dvě šoupátka, ovládaná nožním pedálem nebo pákou.

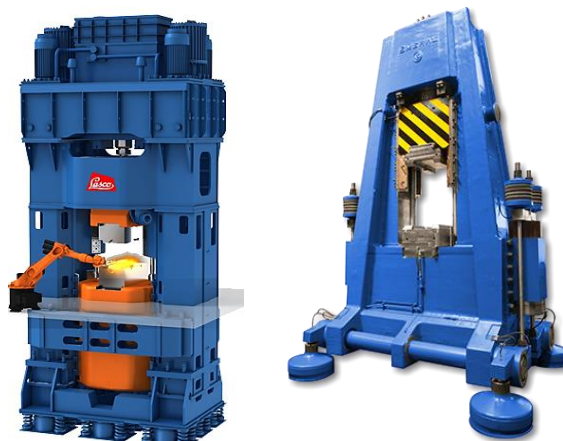


Obr. 18 Konstrukce bucharu [36]



Obr. 19 Padací buchar [38]

- Hydraulické buchary – (obr. 20) jsou neúčinnější ze všech bucharů, jejich účinnost je až 75%. Nositelem energie je zde kapalina. Nejpoužívanější kapalinami bývají emulze, nebo minerální oleje. Provedení bucharu je buď jednočinné, nebo dvojčinné. U jednočinných se používá stejný princip jako u padacího bucharu. Kapalina zde slouží pouze k vyzvednutí beranu do pracovní polohy. U dvojčinného je pracovní i zpětný pohyb vyvozen hydraulickým zařízením. Jejich nevýhodou je rozměrnost hnacích agregátů.
- Pneumaticko-hydraulické buchary – využívají k urychlování beranu stlačený vzduch. Ten při pohybu dolů vhná tlakovou kapalinu k hydraulickým válcům, které zvedají stojan proti pohybu beranu. Energie odrazu stojanu je eliminována kapalinou v hydraulickém rozvodu a změní se na tlakovou sloužící ke zvednutí beranu do výchozí pozice. Tento typ tak spojuje vlastnosti šabotových a protiběžných bucharů. Jeho ovládání je elektrohydraulické, vše je řízeno mikroprocesorem. Pneumaticko-hydraulické buchary (obr. 20) se používají pro kování zejména plochých a tenkých výkovků v jedné dutině několika úderů.

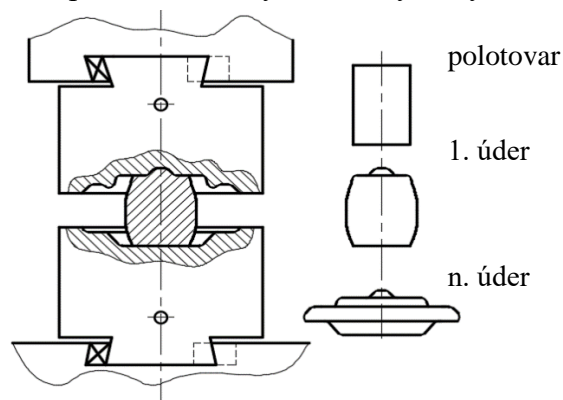


Obr. 20 Hydraulický a pneumaticko-hydraulický buchar [33], [39]

2.4 Zápustky [1], [2], [27], [40], [41], [42],

Zápustky mají zásadní vliv na vlastnosti výkovku. Při jejich konstrukci se vychází z výkresu výkovku, materiálu výkovku, použitého bucharu a dalších faktorů. Dělí se na jednodutinové a vícedutinové zápustky. Obecně se při konstrukci zápustek počítá s lepším vyplňováním horní dutiny zápustky, proto je vhodné do ní umístit tvarově složitější část výkovku.

Kování v jednodutinových zápustkách (obr. 21) se používá u velkých a těžkých výkovků, které nelze kovat v postupových dutinách z důvodu složité manipulace, dále pro tvarově složité součásti, malé série výkovků nebo výkovky, které se předkovávají na zvláštním zařízení. V zápustkovém bloku se nachází pouze jedna dokončovací dutina. Výkovek se tvaruje několika úderů právě v této dutině. Použití této technologie je podmíněno strojním vybavením, charakterem výkovku a velikostí série. Aby byl pak buchar rovnoměrně vytížen a nečekal na předkovek, musí mít předkovací stroj přibližně stejný hodinový výkon. Potom je možné obě operace provést na jeden ohřev.



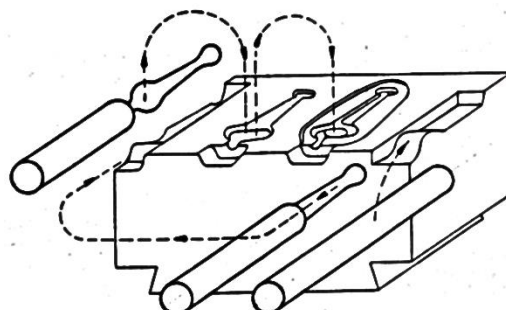
Obr. 21 Jednodutinová zápustka [3]

Vícedutinové zápustky se používají při velkosériové výrobě a tam, kde nelze všechny operace umístit do jedné dutiny. Výkovky jsou v nich kovány v několika za sebou jdoucích operacích na jednom, nebo více strojích. Tyto stroje se pak sdružují do linek, které jsou velice efektivní. Postupové zápustky obsahují předkovací dutiny a dokončovací dutinu. Předkovací dutiny slouží k co nejoptimálnějšímu předkování polotovaru. Princip kování v těchto

zápustkách je znázorněn na obrázku č. 22. Při konstrukci tohoto druhu zápustek je snaha umístit'ovací dutinu do osy stroje. Kování v těchto zápustkách může být provedeno na jeden ohřev. Dosahuje se větší úspory materiálu předkováním ve speciálních dutinách a využití stroje bývá obecně lepší. Vícedutinové zápustky jsou ale složitější, a tudíž i dražší.

Při kování jsou zápustky vystaveny jednak mechanickému, tak i tepelnému namáhání. Kromě toho dochází v dutinách též k otěru, což vede ke změnám rozměru výkovku a snížení kvality jejich povrchu. Periodickým střídáním teplot vzniká v zápustce pnutí, které vede ke vzniku trhlin.

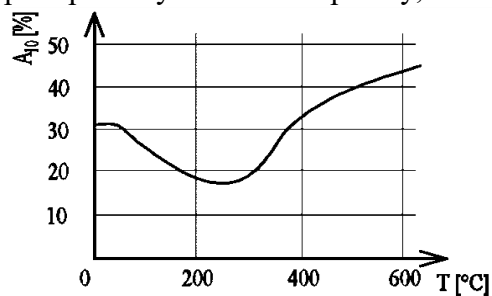
Pro výrobu zápustek se používají oceli pro práci za tepla splňující vysoké nároky na pevnost v tlaku a houževnatost. Konečná volba materiálu je dána pevností za zvýšených teplot, prokalitelností a ekonomickým hlediskem. K výrobě zápustek se nejčastěji používají chrom-niklové oceli 19 650, 19 662, 19 663 nebo chrom-molybden-vanadová ocel 19 552. Jsou to oceli houževnaté a málo náchylné k praskání. Jejich nevýhodou je poměrně nízká popouštěcí teplota ($450 \div 500 \text{ }^\circ\text{C}$), také se nehodí na složité výkovky. Podobné vlastnosti má i ocel 19 642, která má větší obsah niklu, což zajišťuje větší prokalitelnost a hoževnatost. Díky tomu se hodí pro velké bucharové zápustky. Pro malé a složité zápustky s dobrou odolností se používají wolframové oceli třídy 19 721 a 19 723. Ty jsou však citlivé na teplotní rázy a mohou popraskat. Na menší nástroje s mělkými dutinami se používají i oceli 19 132, 19 191, 19 221. Povrchové upravy (např. nitridování) se na zápustkách většinou neprovádějí, protože zvyšují nebezpečí popraskání povrchové vrstvy při rázovém namáhání.



Obr. 22 Princip kování ve vícedutinových zápustkách [26]

2.4.1 Předehřev a mazání zápustek [1], [43], [44],

Pro zvýšení houževnatosti zápustek se provádí jejich předehřev, protože s rostoucí teplotou roste i houževnatost. Dále se zpomaluje rychlost přestupu tepla z výkovku do zápustky, takže výkovek pomaleji chladne. V neposlední řadě ohřev zajišťuje rovnoměrné rozložení teplot v zápustce a zabraňuje tak vzniku tepelných trhlin. Teplota zápustek by měla být přibližně $250 \text{ }^\circ\text{C}$. Po překročení této teploty dochází k růstu lamel cementitu na hranici austenitických zrn, což se projeví zvýšením křehkosti. Tento jev lze pozorovat až do $400 \text{ }^\circ\text{C}$, viz obr. 23. Tomuto celému tepelnému intervalu se přezdívá oblast modrého žaru a při předehřevu zápustek je vyvíjena snaha se mu vyhnout.



Obr. 23 Popouštěcí křehkost [34]

Samotný ohřev zápustek se může provádět několika způsoby. Pro dosažení rovnoměrně prohřáté zápustky se používají peci (obr. 24). Nevýhoda této metody spočívá ve ztížené manipulaci s horkou zápustkou a její následné upnutí. Jednodušší je ohřev pomocí plynových hořáků. Tato varianta ale nezajistí rovnoměrné prohřátí. Předehřev se provádí vždy na začátku směny, během přestávek, nebo střídání směn. Doporučuje se i během kování, pokud pracovní cyklus není dostatečně intenzivní.



Obr. 24 Elektrická vozová pec pro předehřev zápustek [45]

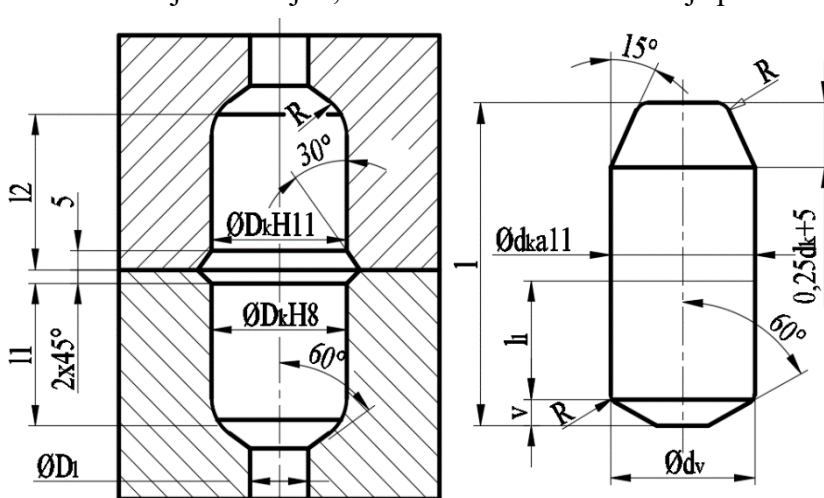
Maziva se v kovacím procesu používají především pro snížení tření mezi tvářeným materiálem a zápustkou, zabránění uplývání okují v dutině zápustky a omezení opotřebování zápustky. Dříve se používaly piliny, dnes se jedná spíše o tuhá maziva, popřípadě kapalné mazací látky s příměsí minerálních a přírodních olejů. V praxi se také osvědčily vodnaté grafitové suspenze, které se nanáší postříkem na zápustku.

2.4.2 Vedení [1], [40], [41],

Při kování na bucharech, kdy vedení stroje nezajišťuje zhotovení výkovků požadované přesnosti, se umísťují na zápustky pomocné tvarové prvky. Tyto prvky mají za úkol přesně vést zápustky a zajistit jejich sousost, to se provádí několika způsoby. Mezi běžně používané patří vodící kolíky, obvodové vedení, obdélníkové vedení, křížové vedení a boční vedení.

Kolíky se na zápustkový blok umísťují ve dvojici, nebo ve čtveřici. Zamezují přesazení výkovku, a zachycují tlaky,

kterými je namáháno vedení stroje. Jejich rozložení má zajišťovat, aby průřez jejich spojnic ležel ve středu dutiny zápustky. Tento způsob vedení je nevhodný pro postupové zápustky z hlediska manipulace a rozložení dutin, proto se používá pouze u zápustek jednodutinových. Kolíky a díry pro jejich zalisování jsou zobrazeny na obr. 25. Rozmísťují se do rohů spodní zápustky.



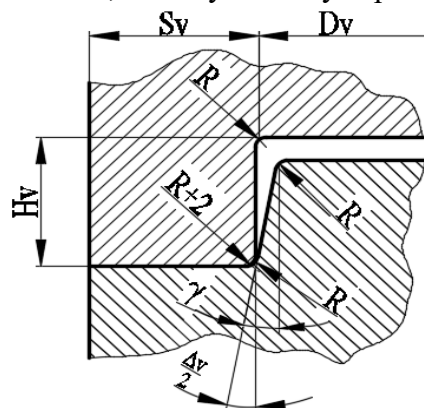
Obr. 25 Vodící kolík a díra pro kolík [41]

Nejmenší povolená vzdálenost otvorů od hrany zápustky se vypočítá ze vztahu:

$$a = \frac{5}{6} \cdot d_k + 10 \quad [\text{mm}], \quad (2.4)$$

kde: d_k – průměr vodícího kolíku [mm].

Obvodové středění se doporučuje u výkovků rotačních tvarů, tvarů symetrických podle obou vodorovných os nebo u dutin vyráběných soustružením. Výška vedení H_v závisí na tvaru výkovku a velikosti bucharu. Šířka vedení S_v se u čtvercových zápustek rovná výšce H_v . Pro kruhové zápustky se S_v rovná $1,5 \times H_v$. V případech, kdy má výkovek složitější tvar, se zhotovuje v obvodovém vedení vybrání pro páčidlo pro snadnější uvolnění výkovku. Stejně tak se ve spodní zápustce umísťuje vybrání pro manipulační kleště. Příklad provedení obvodového vedení je na obr. 26. Doporučené hodnoty rozměrů jsou uvedeny v tabulce č. 7.

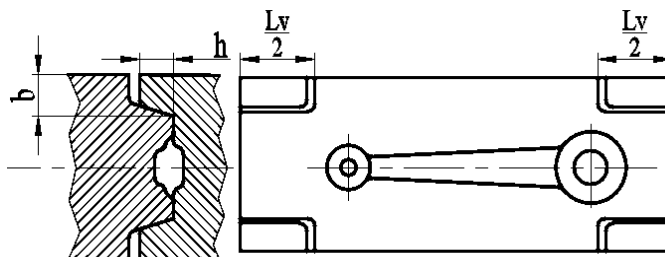


Obr. 26 Příklad obvodového vedení [40]

Tab. 7 Doporučené rozměry obv. vedení [41]

H_v	γ	R	S_v
20÷60 mm	3÷5°	4÷8 mm	1,5× H_v

Podélné, příčné a křížové vedení se používá u zápustek obdélníkových tvarů. Podélné vedení slouží pro vymezení přesazení v příčném směru, příčné vedení se používá pro vymezení přesazení v podélném směru, křížové vedení pak vymezuje přesazení v obou směrech. Schéma křížového vedení je na obr. 27. Vůle a výrobní tolerance se volí z tabulky č. 8, která platí i pro kruhové a obvodové vedení.



Obr. 27 Schéma křížového vedení [40]

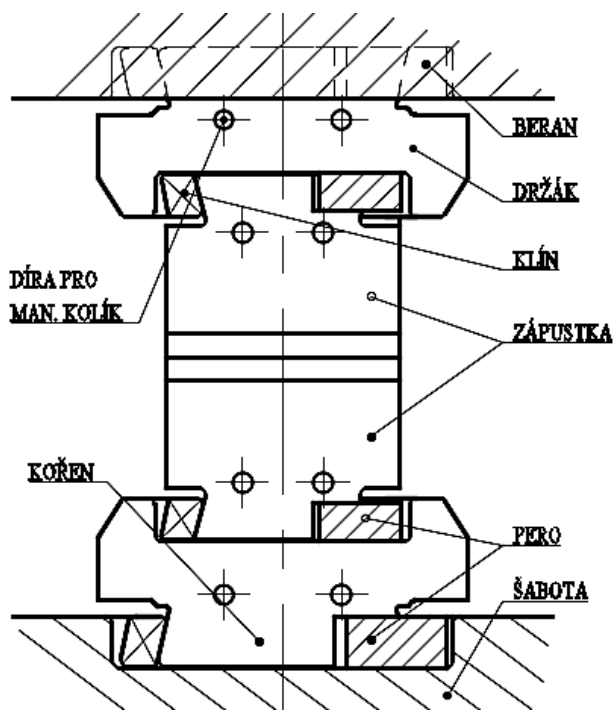
Tab. 8 Tolerance vedení zápustek [41]

$D_v (L_v)$	Δv	Tolerance
Do 300	0,4	+ 0,2
301 ÷ 600	0,8	+ 0,3
601 ÷ 1000	1,6	+ 0,5
1001 ÷ 1500	2,4	+ 0,8

V případech, kdy je vedení vyhotoveno v horní zápustce a spodní zápustka se nadměrně ohřívá, se doporučuje volit větší tolerance. Jak vedení kruhové, tak i příčné, popřípadě křížové se používají poměrně málo, hlavně pro velkou pracnost a vyšší spotřebu zápustkového materiálu. Tyto druhy vedení však zajistí přesnou souosost zápustek a zamezí tak přesezení.

2.4.3 Upínání zápustek [1], [40], [41], [46], [47],

Upínání zápustek na buchar je normalizováno. Spodní i horní zápustka se upíná stejně a to pomocí rybiny a upínací rybinové drážky v šabotě nebo beranu bucharu. Boční zajištění se provádí klínem. U padacích a parovzdušných bucharů axiálnímu posunutí v drážce brání pero vložené do boční drážky. K vymezení vůle mezi perem a beranem (šabotou) se používají normalizované příložky. Klín je umístěn naproti peru a ve výjimečných případech dokonce na obě strany. Jeho podélné zkosení má hodnotu 1:100 ($0^\circ 35'$). U bucharů protiběžných axiálnímu posunu brání čep umístěný ve středu rybinové drážky, který je osazením zasazen do kořene zápustky. Klíny se do rybiny zatlučkají kladivem, pneumatickým kladivem a u velkých zápustek například i sochorem rozhoupaným na jeřábu. V případě, kdy se upínají malé a nízké zápustky na velké buchary, je zapotřebí použít držáků. Takový způsob upnutí je znázorněn na obr. 28. Velikost kořene se určuje podle tvářecí energie bucharu z norem ČSN 21 1413 a ČSN 21 1414 společně s rozměry per, příložek, klínů a držáků.



Obr. 28 Upínání zápustek s držáky pro padací buchary [46]

Pro usnadnění manipulace jsou zápustky opatřeny otvory pro manipulační kolíky. Obvykle se umisťují čtyři dolu a nahoru. Průměr a délka kolíku se určují dle maximálního dovoleného zatížení. Jejich rozmístění je závislé především na rozměrech kořene zápustky a provádí se podle obr. 29 a vztahů:

Výpočet vzdálenosti děr od osy zápustky:

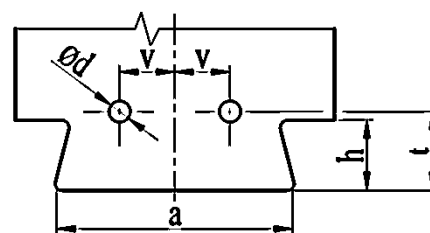
$$v = \frac{a_k}{4} \quad [\text{mm}], \quad (2.5)$$

kde: a_k – šířka kořene zápustky [mm].

Výpočet vzdálenosti děr od paty kořene:

$$t = h_k \cdot 1,5 \quad [\text{mm}], \quad (2.6)$$

kde: h_k – výška kořene zápustky [mm].



Obr. 29 Rozmístění manipulačních kolíků [41]

2.4.4 Výronková drážka [1], [2], [29], [40], [41],

Výronková drážka je mezera nacházející se v dělicí rovině dokončovací dutiny. Drážka se skládá ze dvou částí, můstku a zásobníku. Můstek plní funkci regulátoru toku kovu v dutině zápustky. Zpravidla platí, že čím je výkovek tvarově složitější, tím větší odpor musí výronková drážka klást proti vtékání materiálu. Toho se dosahuje snížením výšky můstku. Do zásobníku přes můstek vniká přebytečný materiál, ten poté ztuhne a vytvoří výronek. Jeho obsah je dán nepřesností a technologií dělení polotovaru.

U bucharu se používá uzavřená výronková drážka. Za výronkovou drážkou se nachází takzvané vytloukací plochy. Ty slouží k ustavení výškových rozměrů výkovku a absorpci zbytkové energie posledního uderu bucharu.

Volí se mezi třemi základními typy *a*, *b* a *c*, které jsou vyobrazeny na obr. 30. Běžně se používají typy *a* a *b*. Typ *c* se používá pro složité výkovky, u kterých se předpokládá přebytek materiálu. Po kovací operaci se výronek odstříhne na ohraňovacím lisu. Rozměry drážky jsou uvedeny v tab. 9.

Výpočet výšky můstku:

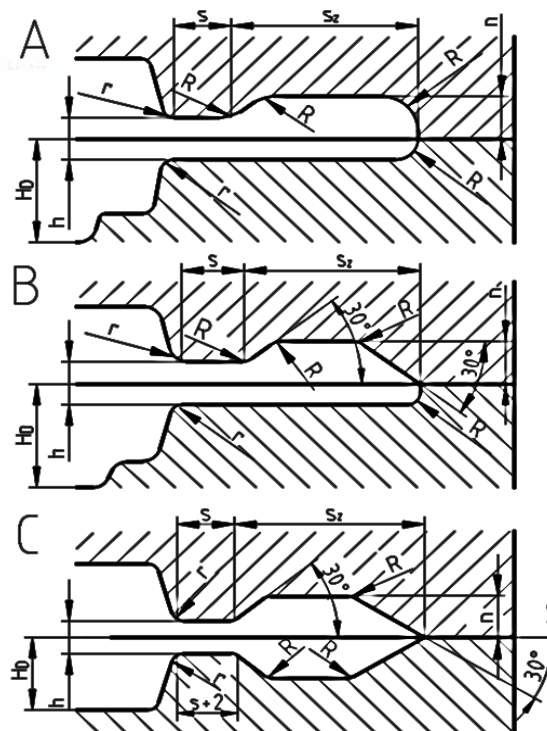
$$h_m = (0,015 \div 0,012) \cdot \sqrt{F_D} \quad [\text{mm}], \quad (2.7)$$

kde: F_D – plocha průřezu výkovku do roviny kolmé k rázu [mm²],
– Konstanta 0,012 ÷ 0,015 se volí podle velikosti výkovku.

Výpočet zaoblení u hrany můstku:

$$r = \frac{\sqrt{F_D}}{200} + 0,04 \cdot H_D \quad [\text{mm}], \quad (2.8)$$

kde: H_D – hloubka dutiny zápustky [mm].



Obr. 30 Tvary výronkové drážky [29]

Tab. 9 Vybrané rozměry výronkové drážky [40]

h _m	n	Pěchování			Protlačování					
					Jednoduché			Složené		
		S	S _Z	F _{výr}	S	S _Z	F _{výr}	S	S _Z	F _{výr}
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

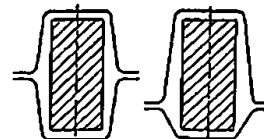
2.5 Technologičnost výkovků [1], [41], [48]

Zápustkové výkovky se vyrábí v širokém spektru tvarů pro různá odvětví průmyslu. Vyžaduje se od nich homogenita, dobré mechanické vlastnosti, ale i jemnozrnná struktura a dlouhá životnost. Konstrukce výkovků je pevně svázána s technologií výroby. Při návrhu jeho tvaru se tak musí dodržovat určitá pravidla – technologičnost výkovku. Tu lze definovat jako tvar, který lze bezchybně vykovat s ohledem na:

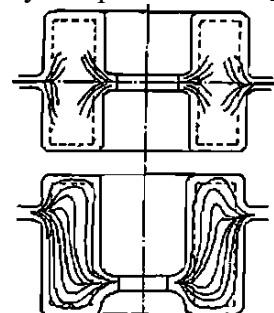
- funkční požadavky (tvar, vlastnosti, požadavky zákazníka),
- výrobní požadavky (sériovost, vybavení kovárny),
- ekonomické požadavky (cena).

Při konstrukci výkovku je nutné brát ohled na další pravidla, která upravují tvar a tedy i technologičnost výkovků. Mají zajistit aby:

- Dělicí rovina by měla být pokud možno přímá a současně by měla rozdělovat výkovek na dvě výškově stejné části. Díky tomu se mohou použít menší zápustkové bloky a usnadní se opracování dutiny. Také se dosáhne úspory materiálu díky stejným délkám úkosů (obr. 31). Dutina nad dělicí rovinou je lépe zaplňována kovem díky energii padajícího beranu, umisťují se proto do ní složitější tvarové prvky.
- Rozměry s přesností větší než je přesnost zápustkového kování se zvětší/zmenší o přírůstky na obrábění. Tyto plochy se následně obrobí. Velikost těchto přírůstků závislí na tvaru a rozměrech výkovku.
- Technologické přírůstky jsou dány charakterem použité technologie. Pokud je tvar součásti příliš členitý, zjednoduší se právě technologické přírůstky. Velikost přírůstků nejvíce ovlivňuje sériovost výroby. Se zvyšujícím se počtem vyráběných kusů, roste shodnost výkovku s budoucím výrobkem. Mezi tyto přírůstky také patří úkosy usnadňující vyjímání výkovků z dutiny, či blána v předkovávaných otvorech. Ty se předkovávají pouze, je-li jejich průměr větší než 10 mm.
- Blána, která se umisťuje do předkovávaných dutin ovlivňuje tok materiálu v dutině. U hlubokých dutin hrozí, že kov bude vytékat do výronkové drážky a nebude zaplňovat horní dutinu, jestliže střed blány leží v dělicí rovině, viz obr. 32. V tom případě se doporučuje umístit blánu mimo dělicí rovinu.
- Na výkovku se nesmí nacházet žádné ostré hrany, proto jsou všechny plochy na výkovku spojeny zakřivenými plochami v řezu definovanými poloměry. Pokud jsou rádiusy moc malé, dochází k nebezpečné koncentraci napětí a může také dojít ke vzniku přeložek.
- Ohřátý materiál by měl být do zápustky vkládán tak, aby nedošlo k jeho posunutí.



Obr. 31 Vliv umístění dělicí roviny na spotřebu mat. [48]



Obr. 32 Směr tečení kovu u různých poloh blány [48]

3 NÁVRH VÝROBY [24], [29], [30], [32], [41], [49],

Při konstrukci výkovku se vychází ze sériovosti, tvaru, materiálu a rozměrů součásti. Jde o polovinu řetězového kola, viz obr. 33. Příčný průřez je převážně kruhový. Maximální průměr je 272 mm, šířka 55 mm. Středem prochází díra s drážkováním o průměru 82 mm. Kolo má 6 zubů opatřených drážkou pro řetěz. Šířka zubu je přibližně 65 mm. Materiálem bude ocel 14 220. Velikost série byla stanovena na 5 000 ks.

Vzhledem ke strojnímu vybavení podniku a velikosti série se bude součást kovat na bucharu. Tato skutečnost bude mít vliv na materiál a konstrukci nástroje včetně výronkové drážky, upínání a vedení nástroje. Stejně tak bude mít použití bucharu vliv na samotný technologický postup, přesnost výroby a volbu doplňkových zařízení v lince.

Protože zápusťovým kováním se nedosáhne požadované přesnosti rozměrů a kvality ploch, bude se muset několik ploch doobrobit. Jde o boční plochy, kterými bude kolo ustaveno, díru s drážkováním a drážky pro řetěz. Z tohoto důvodu se rozměry, které se budou obrábět, zvětší o přírůstek na obrábění. Obráběné plochy jsou naznačeny na obr. 34.

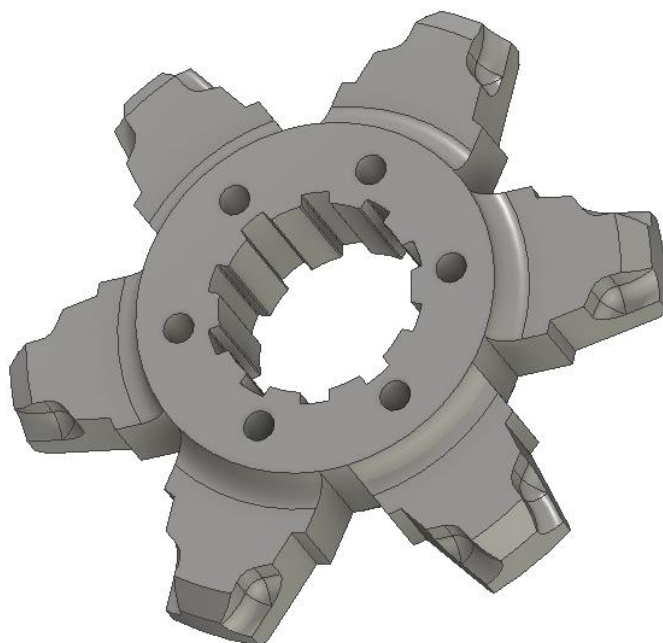
Aby mohlo být kolo vyráběno technologií zápusťového kování, je třeba jeho konstrukci upravit dle normy ČSN 42 9030 a určit:

- Dělicí rovinu – ta je umístěna kolmo na osu kola ve vzdálenosti 31,5 mm od horního osazení. Je umístěna tak, aby se drážka pro řetěz nacházela v horní polovině zápusťky, kde dochází k lepšímu vyplňování dutiny, viz obr. 35.

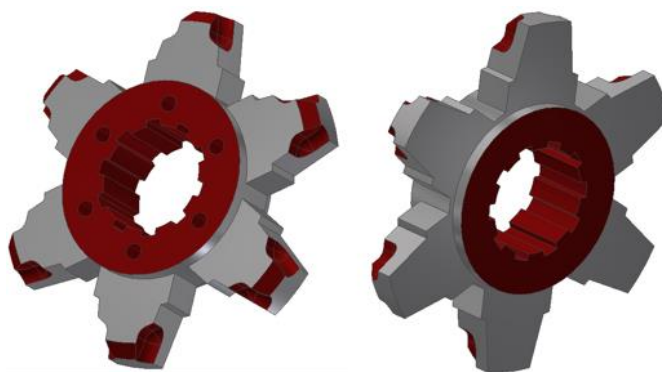


Obr. 35 Umístění dělící roviny

- Přídatky na obrábění – jsou stejné pro všechny obráběné plochy součásti a určí se pomocí největšího rozměru kolmého k rázu a výšky součásti. Tyto rozměry jsou znázorněny na obr. 36. Pro výrobek kola platí:
 - největší rozměr výrobku kolmý k rázu: $x_{výr} = 272 \text{ mm}$
 - výška výrobku: $v_{výr} = 55 \text{ mm}$

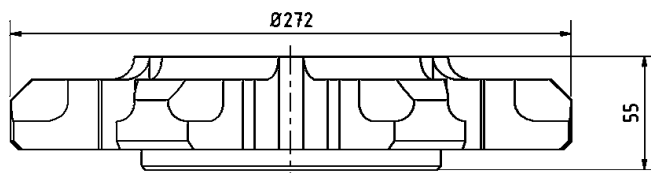


Obr. 33 Model poloviny řetězového kola



Obr. 34 Zobrazení obráběných ploch

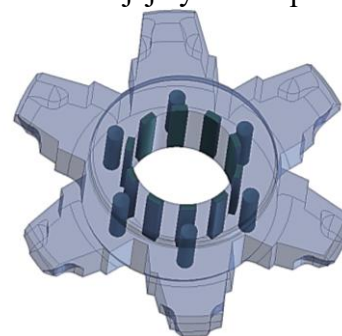
Na základě rozměrů hotového výrobku byla zvolena velikost přídatku z tabulky č. 4 pro obvyklou přesnost. Velikost přídatku je 3 mm. O tuto hodnotu se zvětší všechny obráběné plochy. Tím se zvětší výška výkovku na 61 mm. Průměr průchozí díry se zmenšil na 76 mm. Stejně tak se zmenšily rozměry drážek pro řetěz.



Obr. 36 Největší rozměry kola

- Úkosity – se umísťují na plochy kolmé k dělicí rovině z důvodu ulehčení vyjímání výkovku ze zápustky. Jejich velikost se určí z tab. 5. Pro kování bude použit buchar, proto pro výkovek platí:
 - vnitřní úkosity – 7°
 - vnější úkosity – 3°

- Technologické přídatky – upraví tvar kola tak, aby bylo možné jej vyrobit zápustkovým kovááním. Díry pro šrouby se nepředkovávají stejně jako drážkování v díře, proto se tyto prvky vyplní přídatkem. Vzhledem k tomu, že není možné zhotovit průchozí otvor, bude nutné umístit blánu do díry ve středu kola. Její tloušťka se určí z tabulky č. 3 na základě největší výšky a průměru výkovku:

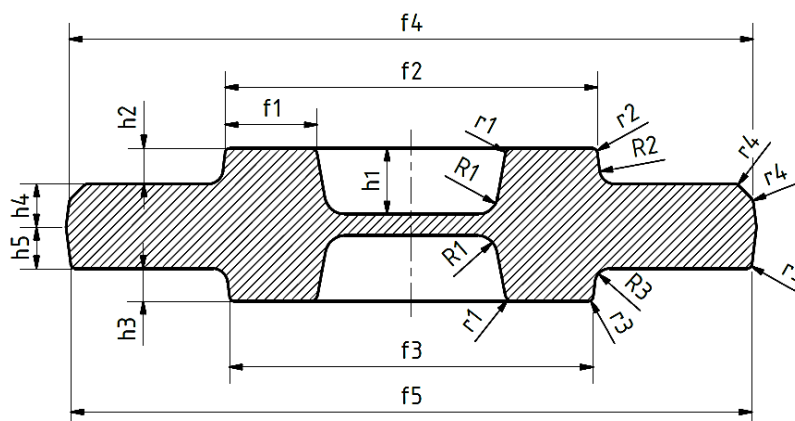


Obr. 37 Přídatky na tvarovou složitost

- největší výška 61 mm
 - největší průměr 276 mm

Tloušťka blány podle tab. 3 je 17 mm. Její střed se nachází na dělicí rovině. Ostatní přídatky na tvar. složitosti jsou tmavě naznačeny na obr. 37.

- Zaoblení hran – snižuje namáhání zápustky a zlepšuje zatékání kovu. Velikost zaoblení se vypočítá z poměru přilehlých stran. Ty jsou znázorněny na obr. 38. Jednotlivé velikosti poloměrů se pak odečítají z tab. 6.



Obr. 38 Zaoblené hrany na výkovku

Výpočet velikosti rádiusů:

$$\text{Poměr} - \frac{h_1}{f_1} = \frac{26,25}{36,9} = 0,711 \rightarrow \text{z tabulky se volí } r_1=3, R_1=8 \quad (3.1)$$

kde: h – výška plochy kolmé k dělicí rovině [mm],
 f – délka plochy rovnoběžné s dělicí rovinou [mm],

$$\text{Poměr} - \frac{h_2}{f_2} = \frac{14,25}{148,8} = 0,096 \rightarrow \text{z tabulky se volí } r_2 = 2, R_2 = 6$$

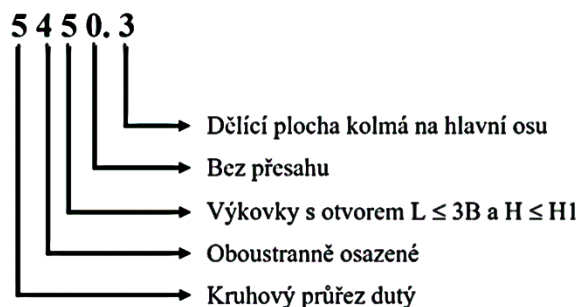
$$\text{Poměr} - \frac{h_3}{f_3} = \frac{13}{145,4} = 0,089 \rightarrow \text{z tabulky se volí } r_3 = 2, R_3 = 6$$

$$\text{Poměr} - \frac{h_4}{f_4} = \frac{17,2}{273,6} = 0,063 \rightarrow \text{z tabulky se volí } r_4 = 2$$

$$\text{Poměr} - \frac{h_5}{f_5} = \frac{16,6}{272,4} = 0,061 \rightarrow \text{z tabulky se volí } r_5 = 2$$

3.1 Tolerance výkovku [24], [29], [34], [49]

Mezní úchytky jsou maximální přípustné odchylky rozměrů od jmenovitých rozměrů výkovku. Protože má výkovek převážně kruhový průřez, jejich velikost se stanovuje na základě zatřídění výkovku dle oborového číselníku z ČSN 42 9002, který je obsahem přílohy č. 1, a požadované přesnosti výroby. Výsledný kód výkovku je uveden na obr. 39, podle něj se učí stupeň přesnosti rozměrů kolmých a rovnoběžných s dělicí rovinou podle tabulky č. 10.



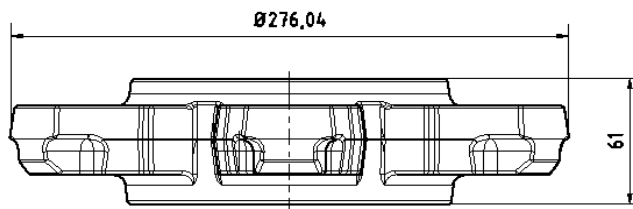
Tab. 10 Rozdělení výkovků [29]

Obr. 39 Zatřídění výkovku kola [34]

Rozdělení podle ČSN 42 9002					Stupeň přesnosti pro provedení					
Tvar. druh	Tvar. třída	Tvar. skupina	Tvar. podskupina	Technolog. hledisko	Obvyklé		Přesné		Velmi přesné	
					⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥
4, 6, 7	1 až 9	1, 5	0 až 9	1 až 2	5	5	4	4	3	3
		2, 3, 6, 7			5	6	4	5	3	4
		4, 8			6	7	5	6	4	5
4, 5, 6, 7	1 až 5, 9	1, 5	0 až 9	3, 4, 5	5	5	4	4	3	3
		2, 3, 4			5	6	4	5	3	4
		6, 7, 8			6	7	5	6	4	5
4, 5, 6,	1 až 5,	1 až 8	0 až 9	6, 7, 8, 9	6	7	5	6	4	5
4, 5, 6,	6 až 8	1 až 8	0 až 9	6, 7, 8, 9	7	7	6	6	5	5
8	1 až 8	1, 2, 3, 4	0 až 9	1 až 9	6	7	5	6	4	5
8	1 až 8	5, 6	0 až 9	1 až 9	7	7	6	6	5	5
8	9	1, 2	0 až 9	1 až 9	6	7	5	6	4	5
8	9	3,4,5,6,7	0 až 9	1 až 9	7	7	6	6	5	5
9, 0	1 až 9	1, 2, 3, 4	0 až 9	1 až 9	6	6	5	5	4	4
9, 0	1 až 9	5,6,7,8	0 až 9	1 až 9	7	7	6	6	5	5

Ze zařídění podle tab. 10 bylo určeno, že přesnost provedení rozměrů výkovků se bude řídit stupněm pět. Ten platí pro rozměry kolmé i rovnoběžné s dělicí rovinou. Z toho vyplývají:

- Mezní úchytky rozměrů – se stanoví na základě největších rozměrů ve směru rázu a v rovině kolmé na směr rázu (obr. 40) z tab. 11. U výkovku kola platí stejná třída přesnosti jak pro rozměry kolmé, tak rovnoběžné s dělicí rovinou. Mezní úchytky vnějších rozměrů stačí přepsat, u vnitřních se po odečtení musí změnit znaménko.



Obr. 40 Rozměry výkovku s přídávky

Tab. 11 Tolerance pro 5. stupeň přesnosti [29]

Největší průměr výkovku (D) ve směru kolmém k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		Od 0	25	40	63	100	160	250	400
Do 25		40	63	100	160	250	400	630	
Přes 250 Do 400	Mezní úchytky	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 - 0,8	+1,8 -0,9	+1,9 -1,0	+2,1 -1,0	+2,3 -1,1	+2,6 -1,3
	tolerance	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,9

- Mezní úchytky poloměrů – zaoblení přechodů a hran se určí podle normy ČSN 42 9030, viz tab. 12. Hodnoty v tabulce se vynásobí skutečnými hodnotami rádiusů. Jejich velikost je odlišná pro vnější a vnitřní rádiusy. Pro poloměry menší jak 2 mm se záporné úchytky nepředepisují.

Tab. 12 Mezní úchytky poloměrů zaoblení [49]

Poloměr zaoblení (mm)		Mezní úchytky (mm)	
Přes	do	· R	· r
0	10	+0,50 -0,25	+0,25 -0,50
10	32	+0,40 -0,20	+0,20 -0,40

Mezní úchytky pro poloměry zaoblení do 10 mm se volí následovně:

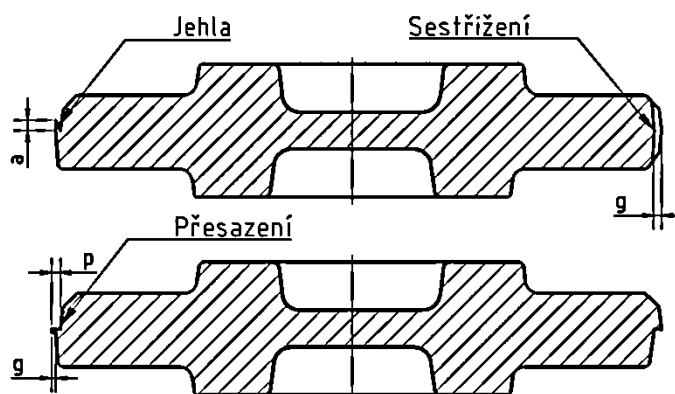
$$\begin{aligned} R &= R \begin{matrix} +50 \\ -25 \end{matrix} \cdot R \\ r &= r \begin{matrix} +25 \\ -50 \end{matrix} \cdot r \end{aligned} \quad (3.2)$$

Po dosazení pak pro rádiusy na výkovku platí:

$$\begin{aligned} R_1 &= 8 \begin{matrix} +4 \\ -2 \end{matrix} \text{ mm} \\ r_1 &= 3 \begin{matrix} +0,75 \\ -1,5 \end{matrix} \text{ mm} \\ R_3 &= R_2 = 6 \begin{matrix} +3 \\ -1,5 \end{matrix} \text{ mm} \\ r_2 &= r_3 = r_4 = r_5 = 2 \begin{matrix} +0,5 \\ -0 \end{matrix} \text{ mm} \end{aligned}$$

- Déle se určuje:
 - Dovolené přesazení – je maximální rozměr, o který mohou být body výkovku přesazeny oproti odpovídajícím bodům na druhé straně dělicí roviny ve směru rovnoběžném s dělicí rovinou.

- Otřep a sestřižení – je zbytek materiálu vytečeného do dělicí roviny nástroje, kde následně ztuhl a zůstal na výkovku. Dovolené sestřižení je největší přípustná stopa ostříhovacího nástroje na výkovku, která narušuje jeho povrch a odebírá tak technologické a obráběcí přídavky.
- Jehla – je ostří, které vzniká na okraji střížné plochy. Jeho přípustná velikost je rovna velikosti plusové mezní úchylice pro daný výkovek.



Obr. 41 Naznačené přesazení, sestřižení a jehla na výkovku

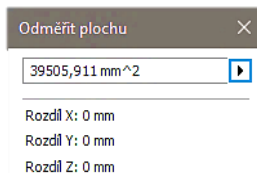
Vady jsou znázorněny na obr. 41. Maximální dovolené rozměry těchto nežádoucích jevů jsou rovny minusové mezní úchylice stanovené pro daný výkovek z tab. 11. Platí tedy:

$$p = g \leq -0,8 \text{ mm}$$

$$a_{\text{jeh}} \leq 1,8 \text{ mm}$$

3.2 Tvar a velikost výronkové drážky [29], [32], [40], [41],

Při kování na bucharu se používá uzavřená výronková drážka. Jelikož se u výkovku kola nepředpokládá zvlášť zvýšený přebytek materiálu, bude použita výronková drážka typu a , podle obr. 30. Při výpočtu výšky můstku výronkové drážky se vychází z plochy výkovku v dělicí rovině a konstanty lišící se podle velikosti výkovku. Průmět plochy byl v programu Inventor 2016 stanoven na 39 505,911 mm², viz obr. 42. Byla zvolena konstanta 0,014, jelikož jde o středně velký výkovek. Výpočet výšky můstku se provádí podle vztahu (2.7):



Obr. 42 Výpočet plochy výkovku

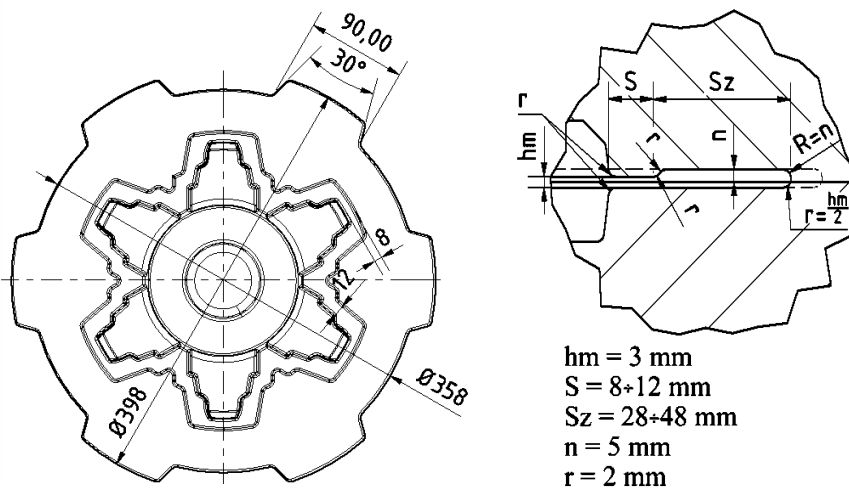
$$h_m = (0,014) \cdot \sqrt{F_D} = 0,014 \cdot \sqrt{39505,911} = 2,78 \text{ mm}$$

Skutečná výška můstku se volí podle nejbližší vyšší hodnoty z tab. 9, což je v tomto případě $h_m = 3 \text{ mm}$. Podle výšky můstku se pak určí i ostatní rozměry výronkové drážky, kromě poloměrů zaoblení. Pro jejich určení se užívá vztah. (2.8):

$$r = \frac{\sqrt{F_D}}{200} + 0,04 \cdot H_D = \frac{\sqrt{39505,911}}{200} + 0,04 \cdot 29,5 = 2,2 \text{ mm}$$

S ohledem na možnou renovaci poloměrů po opotřebení zápustky se volí se rádiusy velikosti 2 mm.

Po zvolení strategie kování bylo nutné tvar výronkové drážky upravit. Protože se bude kovat z přířezu bez předkování v jednodutinové zápustce a obvod výkovku v dělicí rovině je členitý, musí se počítat s přebytkem kovu v mezizubové mezeře. Z tohoto důvodu zde bude zásobník drážky prodloužen o 20 mm. Upravena byla také délka můstku z důvodu regulace toku kovu v dutině. Kolem zubové mezery byl můstek prodloužen o 2 mm, aby docházelo k pomalejšímu uniku kovu do drážky. Na konci kola je můstek naopak zkrácený na 8 mm. Výsledný tvar výronkové drážky s rozměry je vyobrazen na obr. 43.



Obr. 43 Rozměry výronkové drážky

3.3 Polotovár [1], [2], [24], [29], [40], [50], [51],

Rozměry polotovaru se určí z objemu výkovku. K němu se musí připočítat objem výronku a objem opalu. Vztah pro výpočet objemu polotovaru je pak:

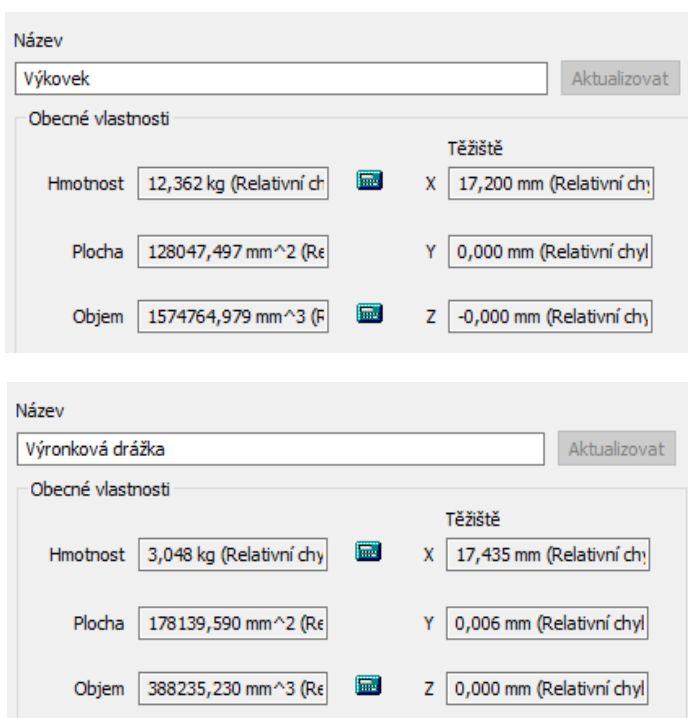
$$V_o = (1 + \delta) \cdot (V_{\text{výk}} + V_{\text{výr}} \cdot 0,7) \quad [\text{mm}^3], \quad (3.3)$$

kde: δ – opal [-],

$V_{\text{výk}}$ – objem výkovku [mm^3],

$V_{\text{výr}}$ – objem výronku [mm^3].

- Objem opalu je určen na základě tvářeného materiálu a způsobu ohřevu. Pro výkovek kola bude použit indukční průběhový ohříváč přířezů. Při použití těchto zařízení se u ocelí počítá se ztrátou 0,5 ÷ 1 % materiálu.
- Objem výkovku a výronku se určí pomocí programu Inventor 2016 (obr. 44). Kov vytlačovaný z dutiny zápustky nesmí zaplnit celou výronkovou drážku. Při výpočtech se tak běžně uvažuje s 50 ÷ 70 % zaplnění tvářeným kovem podle složitosti tvaru výkovku. Jelikož se počítá s rozsáhlým zaplněním výronkové drážky v mezizubových mezerách, bude se uvažovat 70% varianta.



Obr. 44 Výpočet objemů v programu Inventor 2016

Ze vztahu (3.3) a výše uvedených údajů plyne, že objem výchozího polotovaru bude roven:

$$V_o = (1 + \delta) \cdot (V_{\text{výk}} + V_{\text{výr}} \cdot 0,7) = (1 + 0,01) \cdot (1\,574\,764,9 + 388\,235,2 \cdot 0,7)$$

$$V_o = 1\,864\,994,8 \text{ mm}^3$$

Vlastní rozměry polotovaru se musí přizpůsobit pravidlu pěchování. To znamená, že musí být zachován určitý štíhlostní poměr λ mezi výškou polotovaru a jeho průměrem. Pokud je polotovar štíhlejší, nekontrolovatelně by se mohl vyhnout z osy v počáteční fázi pěchování. Nejdříve se vypočítá nejmenší možný průměr polotovaru, a to ze vzorce:

$$D_o = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_o}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{1\,864\,994,8}{1,8}} = 109,28 \text{ mm}, \quad (3.4)$$

kde: λ – štíhlostní poměr (1,5 ÷ 2,8) [-]. Štíhlostní poměr byl zvolen na spodní hranici a to 1,8.

Z vypočítaného průměru polotovaru se vychází při volbě skutečného průměru polotovaru. Ten musí být shodný s průměrem běžně vyráběným dle rozměrové normy, a musí zajišťovat jednoznačné uložení polotovaru v dutině spodní zápustky. Po zvážení možností byla zvolena tyč kruhového průřezu válcovaná za tepla o průměru 150 mm, rozměrové normy ČSN EN 10060. Údaje o polotovaru od společnosti Ferona jsou uvedeny v tab. 13

Tab. 13 Údaje o polotovaru [50]

Materiál	-	14 220.0 / 16Mn5Cr
Rozměrová norma	-	ČSN EN 10060
Jmenovitý průměr	mm	150
Běžná délka tyčí	m	6
Hmotnost	kg/m	139
Plocha průřezu	cm ²	177
Mezní úchytky při normální přesnosti	mm	± 2

Následně se určí délka polotovaru:

$$L = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_o^2} = \frac{4 \cdot 1\,864\,994,8}{\pi \cdot 150^2} = 105,53 \text{ mm} \rightarrow \text{zvolena délka } 106 \text{ mm}, \quad (3.5)$$

kde: D_o – skutečný průměr výchozího polotovaru [mm].

Jako polotovar byla zvolena tyč kruhového průřezu o průměru 150 mm a délce 106 mm. Materiál se bude objednávat v běžně dostupné délce 6 m a poté bude dělen třískovým obráběním.

3.4 Volba bucharu [26], [32], [39], [52]

Při volbě stroje se vychází z deformační práce posledního úderu bucharu. Pro její určení je třeba znát sevřený průměr výkovku a pevnost oceli za kovací teploty. Sevřený průměr se získá součtem průměru výkovku a dvojnásobku délky můstku, jeho velikost u výkovku kola je 292 mm. Minimální doporučená kovací teplota pro ocel 14 220 je 800 °C, vzhledem k členitosti tvaru se kolo bude kovat v rozmezí teplot 1 200 až 950 °C. Z těchto hodnot se určí pevnost oceli pomocí tabulky 14.

Tab. 14 Přetvárné odpory za kovacích teplot pro ocel 14 220 [52]

Materiál podle ČSN	Kovací teplota (°C)						
	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
	Přetvárná pevnost σ_s (MPa) za kovací teploty						
14 220	184	159	139	121	106	91	76

Práce se pak vypočítá ze vzorce (2.1):

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

$$A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot 29,2) \cdot \left[1,1 + \frac{2}{29,2}\right]^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot 29,2^2) \cdot 29,2 \cdot 159 = 156,17 \text{ kJ}$$

Tvar výkovku je sice kruhového charakteru, avšak v dělicí rovině je jeho plocha členitá. Z tohoto důvodu mohla při výpočtu práce vzniknout chyba. Proto bude proveden kontrolní výpočet pomocí vzorce firmy LASCO. K určení práce touto metodou je třeba znát hmotnost výkovku, a jeho materiál. Váha 12,36 Kg byla určena programem Inventor. Protože materiál výkovku je slitinová ocel, výsledek se musí vynásobit součinitelem 1,4. Práce posledního úderu se pak určí:

$$A = (15,67 \cdot G_o^{0,780}) \cdot k_m = (15,67 \cdot 12,4^{0,78}) \cdot 1,4 = 152,4 \text{ kJ} \quad (3.6)$$

Kde: G_o – hmotnost výkovku [kg],
 k_m – materiálový koeficient ($0,9 \div 3,6$) [$J \cdot mm^2$]. Protože materiál výkovku je slitinová ocel, zvolil se součinitel 1,4.



Obr. 45 Buchar řady KHZ [39]

Na základě porovnání vypočtených hodnot a jednotlivých bucharů v provozu podniku byl zvolen pneumaticko-hydraulický buchar KHZ 16A. Tento stroj disponuje tvářecí energií o velikosti 160 kJ a je schopen provést 14 zdvihů za minutu. Buchar je znázorněn na obr. 45. Jeho technické parametry jsou vypsány v tabulce 15.

Tab. 15 Parametry bucharu KHZ 16A [39]

KHZ 16A		
Tvářecí energie	kJ	160
Počet zdvihů beranu	min ⁻¹	14
Maximální zdvih	mm	800
Minimální výška zápustky	mm	500
Upínací plocha zápustek	mm	460 x 1000
Celkový instalovaný výkon	kW	160
Rozměry stroje v x š x b	m	4,5 x 4,5 x 3,5

Následně se ještě musí určit hmotnost beranu dle normy ČSN 22 8308. K tomu slouží vztah:

$$m = \frac{A}{18 \div 28} \quad (3.7)$$

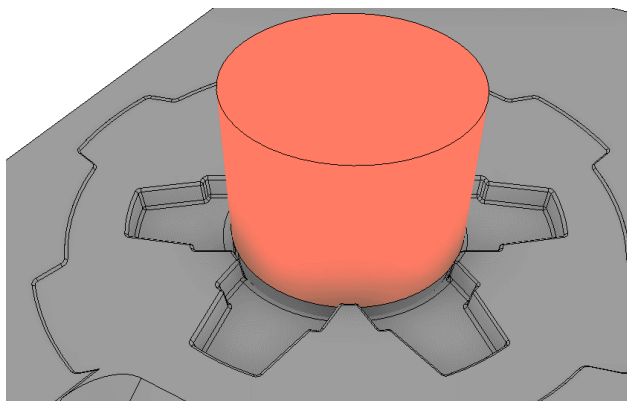
Kde: m – hmotnost beranu [kg],
 A – práce posledního úderu [J],
 $18 \div 28$ – konstanta závisící na stavu stroje [-]. Protože byl stroj zakoupen teprve nedávno a je v dobrém stavu, byl zvolen koeficient 25.

Hmotnost beranu pak bude:

$$m = \frac{A}{25} = \frac{156 \text{ kJ}}{25} = 6 \text{ 246,4 kg}$$

3.5 Konstrukce nástroje [2], [39], [40], [41], [42], [47], [53], [54],

Jak bylo uvedeno dříve, konstruktér musí při konstrukci zápustky vycházet z několika faktorů. Nejdříve však musí určit, zda se výkovek bude kovat v jednodutinové, nebo vícedutinové zápustce. Vzhledem k sériovosti a tvaru výkovku bylo zvoleno kování v jednodutinové zápustce, správné založení polotovaru se bude zajišťovat průměrem 151 mm (obr. 46). Jediná dokončovací dutina bude v zápustce umístěna tak, aby její střed ležel v ose stroje, tedy v místě kudy prochází výslednice kovací sil. Rozměry dutiny je nutné zvětšit o velikost smrštění kovu. U oceli se běžně počítá se zvětšením rozměrů o 1% jejich velikosti. Vnější rozměry zápustky jsou omezeny upínacími možnostmi použitého bucharu.



Obr. 46 Polotovaru založený ve spodní zápustce

Minimální vzdálenost dutiny od hrany zápustky se stanovuje podle hodnoty T . Tato hodnota se odečítá z nomogramu, viz příloha č. 2. Na její velikost má vliv hloubka dutiny H_D , velikost poloměru zaoblení R a úhel úkosů α , viz obr. 47. Pro lepší přesnost byla hodnota z nomogramu odečtena pomocí programu AutoCad 2016. Protože nomogram neobsahuje hodnoty úkosů menší jak 10° , je nutné počítat s touto hodnotou. Vstupní hodnota se určí ze vztahu:

$$H_D + 0,4 \cdot R \quad (3.8)$$

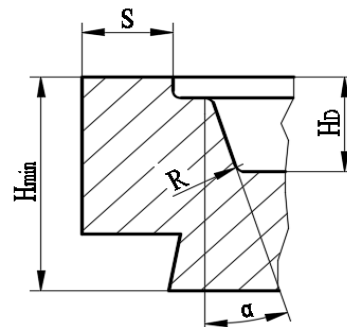
$$29,9 + 0,4 \cdot 3 = 30,2 \text{ mm}$$

$$H_D = 29,9 \text{ mm}$$

$$R = 3 \text{ mm}$$

$$\alpha = 3^\circ$$

$$T = 62 \text{ mm}$$



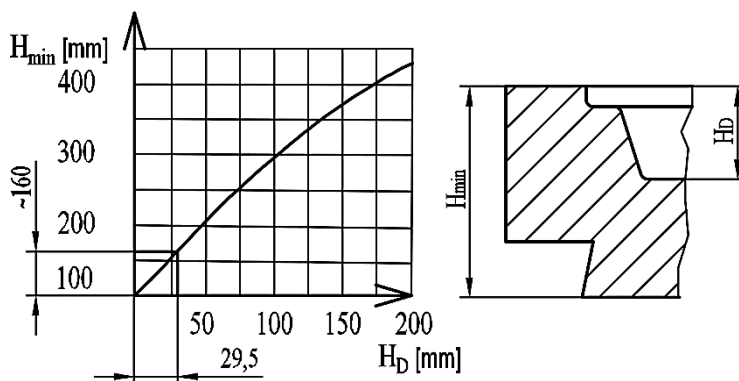
Obr. 47 Minimální vzdálenost dutiny od hrany [41]

Z nomogramu bylo odečteno, že $T = 62 \text{ mm}$. Pak platí, že minimální vzdálenost dutiny od okraje musí být větší než 62 mm .

Nejmenší možnou výšku zápustky omezuje použitý stroj. Musí se ale porovnat s výškou vypočítanou podle ČSN 22 8308, na základě hloubky dutiny. Hloubka se promítne do vodorovné osy grafu na obr. 48 a podle křivky se odečte minimální výška zápustky H_{\min} . Pro hloubku dutiny $H_D = 29,5 \text{ mm}$ platí, že výška zápustky musí být minimálně 160 mm . Při porovnání výšky předepsané výrobcem a vypočítané podle normy musí platit:

$$H_{\min} \leq H_{\text{záp}} \quad (3.9)$$

$$160 \leq 500 \rightarrow \text{splňuje}$$

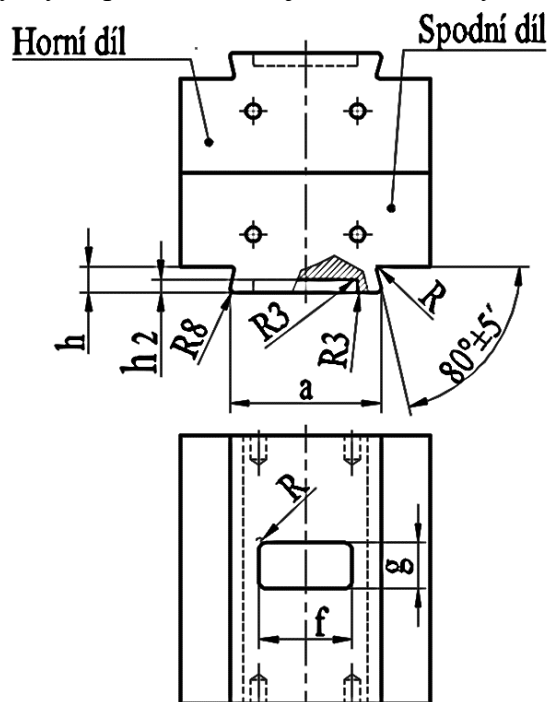


Obr. 48 Určení minimální výšky zápustky [42]

Aby nedocházelo k pěchování zápustek na styčných plochách a zajistila se tak výšková tolerance výkovku, musí tyto plochy disponovat alespoň 300 cm² na 1 t hmotnosti beranu. Při hmotnosti beranu 6,2 t tak tyto plochy musí mít obsah přinejmenším 1 860 cm².

Doporučené rozměry zápustkových bloků se volí z ČSN 21 1410 a to tak, aby byly splněny dříve uvedené podmínky. Na jejich základě byl zvolen zápustkový blok o šířce 460 mm, délce 700 mm a výšce 500 mm. Minimální vzdálenost dutiny od hrany zápustky je 90 mm a obsah dosedacích ploch je víc než 1 970 cm².

Rozměry upínacích prvků jsou uvedeny v ČSN 21 1414 a závisejí na jmenovité tvářecí energii bucharu. Ta je u bucharu KHZ rovna 160 kJ. Protože jde o protiběžný buchar, k zajištění polohy se používá klínek a jistící čep. Jejich provedení a rozměry jsou uvedeny v tab. 16. Rozměry upínací části jsou vypsány v tab. 17. Kořen zápustky je i s rozměry znázorněn na obr. 49.



Obr. 49 Upínací prvky zápustky [48]

Tab. 16 Rozměry upínacích prvků [47]

Energie bucharu (J)	Kořeny zápustek	Šířka upínací drážky	Klín ČSN 21 1417 (h x S x L)	Příložky klínů (h ₁ x t x l)	Pouzdro čepu ø d	Jistící čep ø d
160 000	400	522	80 x 50 x 1750	78 x t x 1600	120	120

Tab. 17 Hodnoty rozměrů upínací části zápustky [47]

Energie bucharu (J)	a	h±0,5	H ₂	f	g	R	R1	Držák
160 000	400	83	37	225	90	8	20	400 x $\frac{347}{461}$

Pro manipulaci se zápustkou se do každého bloku vyvrtají 4 díry pro manipulační kolíky. Jelikož je váha zápustky menší než 2 000 kg, použijí se kolíky o průměru 25 mm. Jejich umístění na zápustce se provede podle obr. 29. Velikosti rozměrů se pak určí na základě vztahů (2.5) a (2.6):

$$v = \frac{a_k}{4} = \frac{400}{4} = 100 \text{ mm}$$

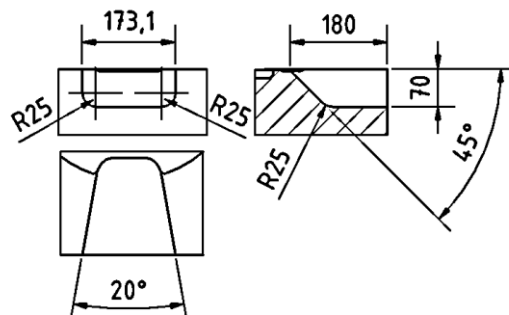
$$t = 83 \cdot 1,5 = 124,5 \text{ mm}$$

Vedení zápustky bude realizováno pomocí čtyř vodicích kolíků. Podle velikosti zápustky byl zvolen průměr 42 mm. Na jeho základě se určí další rozměry kolíků a vypočítá se minimální vzdálenost od hrany zápustky podle vztahu (2.4):

$$a = \frac{5}{6} \cdot d_k + 10 = \frac{5}{6} \cdot 42 + 10 = 45 \text{ mm}$$

Aby bylo možné výkovek z dutiny vyjmout, je nutné zhotovit vybrání pro kleště. Rozměry se volí na základě velikosti polotovaru. V tabulce je jako největší průměr polotovaru uvažován $\varnothing 110$ mm, proto byly převzaty hodnoty pro tento průměr. Vybrání je i s rozměry vyobrazeno na obr. 50.

Zápustky budou vyrobeny z ocele 19 552. Jde o chrom-molybden-vanadová oceli s velmi dobrou prokalitelností, vysokou pevností za tepla a velmi dobrou houževnatostí. Dále vykazují velmi dobrou odolnost proti vzniku trhlinek tepelné únavy a malou citlivost na prudké změny teploty. Jsou dobře tvárné za tepla a dobře obrobitelné ve stavu žíhaném na měkko. Používají se pro formy na tlakové lití slitin hliníku a nástroje pro tváření za tepla, tj. velmi namáhané malé a středně velké zápustky a vložky velkých zápustek. Jejich chemické složení je uvedeno v tab. 18.

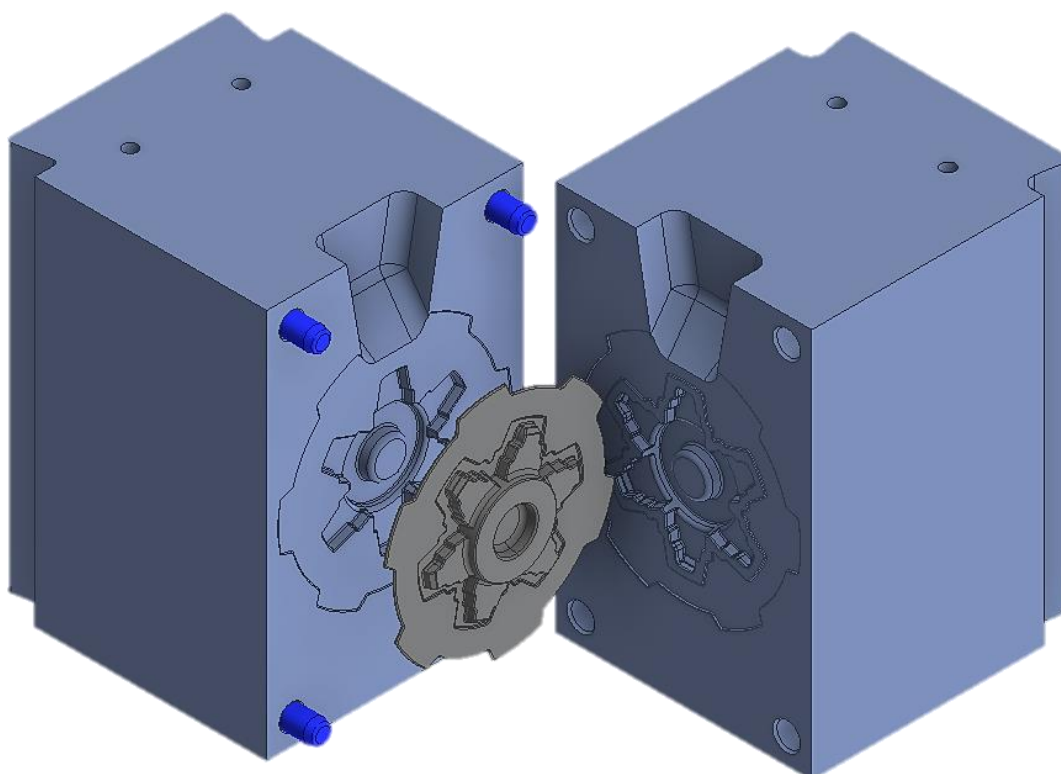


Obr. 50 Vybrání pro kleště [41]

Tab. 18 Chemické složení oceli 19 552 [53]

Značka oceli	Chemické složení oceli ČSN 19 552					
	Chemické složení v %					
	C	Mn	Si	Cr	P max.	S max.
ČSN 19 552	0,32-0,42	0,20-0,50	0,80-1,20	4,50-4,50	0,030	0,030

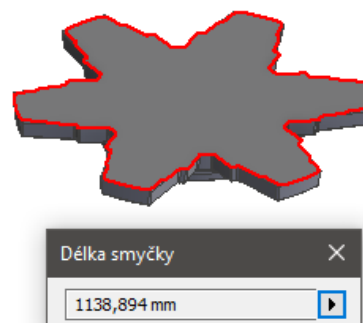
Drsnost opracování všech ploch bucharových zápustek udává norma ČSN 22 8308. Z hlediska funkce zápustky je nejdůležitější dodržení předepsané drsnosti v dokončovací dutině zápustky. Větší drsnost by mohla nepříznivě ovlivnit tok materiálu v dutině. Všechny drsnosti zápustky jsou spolu s mezními úchylkami rozměrů dutiny uvedeny v příloze č. 4. Výslednou podobu zápustek i s výkovkem, znázorňuje vizualizace na obrázku 51.



Obr. 51 Vizualizace zápustek s výkovkem

3.6 Ostřížení výkovku [26], [40], [41], [55].

Po vykování se provádí střížení výronku a blány v otvoru, a to buď za tepla, nebo za studena na ostříhovacích lisech. Ostříhování výkovku kola se bude provádět ihned po kování, tedy za tepla kvůli složitému obvodu výkovku. Za vyšší teploty je mez pevnosti materiálu menší, což snižuje velikost střížné síly. Pro ocel 14 220 se z nomogramu přiloženém v příloze č. 3 odečetla mez pevnosti v tahu $R_m = 111 \text{ MPa}$ při teplotě 800 °C . Velikost lisu se určí právě na základě velikosti střížné síly. Ta se určí z meze pevnosti, délky stříhu a tloušťky stříhaného materiálu. Délka stříhu $1138,89 \text{ mm}$ byla zjištěna pomocí programu Inventor 2016, viz obr. 52. Výška stříhaného materiálu se uvažuje jako dvojnásobná z hlediska bezpečnosti. U ostříhování výronku se vychází ze vztahu:



Obr. 52 Obvod vystříhnutého výkovku

$$F_{SV} = 1,7 \cdot L_S \cdot 2s \cdot R_m \cdot 0,8 \quad [\text{N}] \quad (3.10)$$

$$= 1,7 \cdot 1138,89 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 111 \cdot 0,8 = 1\,581\,741 \text{ N} = 1,032 \text{ MN},$$

kde: F_{SV} – obvodová střížná síla [N],
 L_S – délka stříhu [mm],
 s – tloušťka stříhané vrstvy [mm],
 R_m – mez pevnosti za dané teploty [MPa].

Ostříhování blány v předkované dutině bude probíhat během druhého zdvihu lisu. Délka stříhu 213 mm a výška stříhu 22 mm byly taktéž určeny pomocí programu Inventor. Velikost střížné síly se pak rovná:

$$F_{SV} = 1,7 \cdot L_S \cdot 2s \cdot R_{m800} \cdot 0,8 \quad [\text{N}]$$

$$= 1,7 \cdot 213,63 \cdot 2 \cdot 17 \cdot 111 \cdot 0,8 = 1\,418\,981 \text{ N} = 1,09 \text{ MN},$$

Protože se bude ostříhování provádět na dva zdvihy, nebudou se síly sčítat. Na základě velikosti těchto střížných sil byl zvolen ostříhovací lis LKOA 200 firmy Šmeral (obr. 53). Parametry lisu jsou uvedeny v tab. 19.

Tab. 19 Vlastnosti ostříhovacího lisu [55]

Tvářecí síla	2 000	kN
Sevření	585	mm
Průchod	1 420	mm
Upínací plocha stolu	1 415 x 1 000	mm
Upínací plocha beranu	1 200 x 800	mm
Počet zdvihu za minutu	55	min ⁻¹
Celkový výkon	18	kW
Rozměry (V x B x h)	4,1 x 2,3 x 2,2	m



Obr. 53 Lis LKOA 200 [55]

3.7 Technologický postup [31], [32], [56], [57], [58], [59],

Pro zajištění všech operací potřebných pro výrobu výkovku je třeba zvolit vhodné stroje pro další operace. K ostřížení výronku a blány bude sloužit ostříhovací lis LKOA 200 firmy Šmeral, který byl zvolen v předchozí kapitole. K přípravě polotovaru pro kování a jeho následnému zpracování bude potřeba zajistit:

- Dělení materiálu – bude probíhat třískovým obráběním, na pásové pile Pegas Gonda 230x280 SH-LR (obr. 54). Jde o poloautomatickou pásovou pilu, kde pracovní pohyb ramene je zajištěn hydraulickým pístem. Obsluha nezasahuje do procesu řezu, pouze posouvá řezaný materiál. Pila je určena ke kolmému i uhlovému dělení polotovarů. Díky robustní konstrukci se hodí i k dělení plných průřezů. Technické parametry pily jsou vypsány v tab. 20.



Obr. 54 Pásová pila Pegas [56]

Tab. 20 Parametry pásové pily [56]

Max. řezná oblast při kolmém řezu	150	mm
Rozsah řezných rychlostí	35 ÷ 70	m · min ⁻¹
Napájení	1,1	kW
Rozměry (L x B x V)	2340 x 1050 x 1370	mm
Pilový pás	2720 x 27 x 0,9	mm

- Ohřev přířezů – bude zajištěn středofrekvenčním indukčním ohříváčem KSO 1200/1,2-C50 (obr. 55) od firmy ROBOTERM. Tyto ohříváče jsou určeny pro indukční ohřev ocelových přířezů kruhového nebo čtvercového průřezu na kovací teplotu. Skládají se ze tří modulů – vstupního, pracovního a výstupního. Teplota ohřátých polotovarů je snímána bezdotykovým měřičem teploty UPF V. Dle výše teploty je regulován výkon a je řízena funkce třídičky přířezů. Parametry ohřevu se nastavují na dotykové obrazovce, na ní se také zobrazují hlášení o průběhu ohřevu. Parametry ohříváče jsou vypsány v tab. 21.



Obr. 55 Indukční ohříváč KSO 1200/1,2-C50 [57]

Tab. 21 Parametry Indukčního ohříváče [57]

Výkon	1200	kW	
Maximální výstupní teplota přířezů	1 300	°C	
Maximální ohřáté množství přířezů	3 000	Kg · h ⁻¹	
Rozměry přířezů	∅	80 - 160	mm
	L	1,1 · D - 500	mm

- Otryskání výkovku – se provádí jako čistící operace výrobku, a proto se umísťuje až na konec výrobního procesu. V tomto případě bude otryskání provedeno v automatickém bubnovém tryskači SAF Praha B8,5x10 R/SK. Ten je vhodný pro velkosériovou i malosériovou výrobu a zajišťuje očištění všech stran výkovku během jedné operace. Bubnový tryskač je znázorněn na obr. 56 a jeho parametry jsou uvedeny v tab. 22.



Obr. 56 Bubnový tryskač stroj [59]

Tab. 22 Parametry bubnového tryskače [58]

Objem bubnu	230	dm ³
Max. hmotnost kusu/vsázky	20 / 450	kg
Výkon	21	kW
Rozměry (l x b x v)	4,2 x 1,9 x 4,5	m
Rozměry komory	850 x 1000	mm

Veškeré operace potřebné k zhotovení výkovku kola se srozumitelně a stručně zapíší do technologického postupu, viz tab. 23.

Tab. 23 Technologický postup

VUT FSI UST	Technologický postup	Název sestavy: Dopravník	Název podsestavy: Vratná stanice	Název součásti: Řetězové kolo
		Číslo výkresu: BP-2018-02	Polotovár: ø150 - ČSN EN 10060 – 14 220	
		Vypracoval: Havlíček Roman	Kontroloval:	
Č. operce:	Popis činnosti:	Pracoviště / stroj		
005	Dělit materiál ø150 na délku L = 106 ^{+0,1} ₋₀ mm	Pegas Gonda pásová pila 230x280 SH-LR		
010	Kontrolovat délky přířezu, četnost 10%	Stanoviště kontroly SK01		
015	Ohřát přířez na kovací teplotu, T = 1 200 ± 20 °C	Indukční středofrekvenční ohříváč KSO 1200/1,2-C50		
020	Zápustkové kování, Za teploty T = 1200 až 950 °C	Buchar KHZ 16A – Nástroje: Zápustky		
025	Kontrolovat rozměry výkovků, četnost 10%	Stanoviště kontroly SK02		
030	Ostříhnout výronek a blánu	Ostříhovací lis LKOA 200		
040	Otryskat výkovek	Bubnový tryskač SAF Praha B8,5x10 R/SK		
045	Vizuálně kontrolovat po otryskání četnost 5%	Stanoviště kontroly SK03		
050	Balit	Balení EX01		
055	Expedice	Výdej EX02		

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ [50], [51], [60], [61],

Cena výroby kola se odvíjí od vícero faktorů. Protože nejsou známy režijní náklady firmy a veškeré vybavení potřebné k výrobě kola je již součástí firemního parku, budou se v technicko-ekonomickém zhodnocení počítat pouze náklady na materiál a výrobu zápustek:

- Náklady na materiál – se zjistí z celkového množství spotřebovaného materiálu, ceny materiálu a zisků z vráceného odpadu. Kolo se bude vyrábět z tyče kruhového průřezu $\varnothing 150$ - ČSN EN 10060 – 14 220 o délce 6 m. Dělení materiálu bude probíhat pilovým pásem o tloušťce 0,9 mm na pile Pegas Gonda 230x280 SH-LR, na délku 106 mm. Nejdříve se určí počet přířezů z jedné tyče:

$$n_p = \frac{L_t}{L_{Pmax} + U} = \frac{6\,000}{106,1 + 0,9} = 56,07 \text{ ks}, \quad (4.1)$$

kde: L_t - délka tyče [mm],
 L_{Pmax} - maximální délka přířezu [mm],
 U - šířka pilového pásu [mm].

Z jedné tyče o délce 6 000 mm se získá 56 ks přířezů, protože se výsledek musí zaokrouhlovat na nejbližší nižší celé číslo.

Počet tyčí potřebných k zajištění výroby se určí ze vztahu:

$$n_T = \frac{n_{ser}}{n_p} = \frac{5\,000}{56} = 89,28 \text{ ks}, \quad (4.2)$$

kde: n_{ser} - velikost série [ks].

Pro zajištění materiálu na celou sérii bude třeba nakoupit 90 ks tyčí. Podle tab. 13 výrobce udává váhu tyče 81,5 kg/m. Cena oceli 14 220 je 37,79 Kč za 1 kg. Celková cena materiálu se tak určí podle vztahu:

$$N_{mat} = n_T \cdot L_t \cdot m_{metr} \cdot C_{kg} = 90 \cdot 6 \cdot 139 \cdot 37,79 = 2\,836\,517,4 \text{ Kč}, \quad (4.3)$$

kde: N_{mat} - náklady na nákup materiálu [Kč],
 m_{metr} - váha 1 metru tyče [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$],
 C_{kg} - cena oceli za 1 kg [$\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$].

Celková suma, kterou bude nutné vyhradit na nákup materiálu, je 2 836 517,4 Kč. Z této částky je však nutné odečíst prostředky získané prodejem odpadního materiálu. Výkupní cena pro nový lehký odpad, jako je ostřížený výronek, blána nebo nevyužitý konec tyče o váze 1 kg, je 5,5 Kč. Odpad vzniklý dělením tyčí je v porovnání se zbytkem zanedbatelný. Váha neostříženého a ostříženého výkovku byla zjištěna pomocí programu Inventor 2016.

Cena vratného materiálu z konce tyčí se vypočítá:

$$N_{Vtyč} = \{L_t - [(U + L_{Pmax}) \cdot n_p]\} \cdot \rho \cdot C_V \cdot n_T \text{ [Kč]}, \quad (4.4)$$

$$= \{6 - [(0,009 + 0,1061) \cdot 56]\} \cdot 2850 \cdot 5,5 \cdot 90 = 11\,286 \text{ Kč},$$

kde: ρ - hustota oceli [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
 C_V - výkupní cena vratného materiálu [$\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$].

Cena vratného materiálu z ostřížené blány a výronku se vypočítá ze vztahu:

$$N_{Vvýk} = [V_{blán} + (V_{výr} \cdot 0,7)] \cdot \rho \cdot C_V \cdot n_{ser} \text{ [Kč]}, \quad (4.5)$$

$$= [5,91 \cdot 10^{-5} + (3,88 \cdot 10^{-7} \cdot 0,7)] \cdot 2850 \cdot 5,5 \cdot 5\,000 = 259\,186,1 \text{ Kč},$$

kde: $V_{blán}$ - objem blány [mm^3].

Celkem se prodejem odpadního materiálu získá:

$$N_{\text{Vcel}} = N_{\text{Vtyč}} + N_{\text{Vvýk}} = 11\,286 + 259\,186,1 = 270\,472,1 \text{ Kč}, \quad (4.6)$$

Náklady spojené s materiálem, včetně ceny materiálu pro jeden výkovek, jsou uvedeny v tab. 24.

Tab. 24 Náklady na materiál

Položka	Částka [Kč]
Náklady na materiál	2 836 517,4
Zisk z odpadového materiálu	270 472,1
Celkem	2 566 045,3
Cena materiálu na jeden kus	513,2

- Náklady na obrábění nástroje – se skládají z nákladů na programování stroje a strojního času. Výroba zápustky by probíhalo v kooperaci s firmou Hettich ČR. Programování pracovní strategie pro CNC centrum by trvalo 4 h při ceně 900 Kč/h. Doba hrubovacích operací byla stanovena na 3 h, dokončovací operace by trvaly 18 h. Cena 1 hodiny obráběcích operací je přibližně 850 Kč. Cena obrábění obou zápustek pak bude:

$$N_{\text{obr}} = 2 \cdot [t_{\text{prog}} \cdot C_{\text{prog}} + (t_{\text{hrub}} + t_{\text{dok}}) \cdot C_{\text{obr}}] = 2 \cdot [4 \cdot 900 + (3 + 18) \cdot 850] = 42\,900 \text{ Kč}, \quad (4.7)$$

kde: t_{prog} – doba programování [h],

C_{prog} – cenová sazba za hodinu programování [Kč/h],

t_{hrub} – doba hrubovacích operací [h],

t_{dok} – doba dokončovacích operací [h],

C_{obr} – cenová sazba za hodinu obrábění na CNC centru [Kč/h].

- Náklady na tepelné zpracování - i s dopravou zápustek ke kooperaci jsou 18 000 Kč. Jeden kilogram oceli 19 552 při objednávaném množství a na základě předchozích objednávek u dodavatelské firmy vyjde na 50 Kč/kg. Při přibližné váze polotovaru pro jednu zápustku 1 300 Kg bude celková cena zápustek:

$$N_{\text{Záp}} = N_{\text{obr}} + N_{\text{TZ}} + m_{\text{záp}} \cdot C_{\text{ZM}} = 42\,900 + 15\,000 + 2\,600 \cdot 50 = 187\,900 \text{ Kč}, \quad (4.8)$$

kde: N_{TZ} – náklady na tepelné zpracování [Kč],

$m_{\text{záp}}$ – váha polotovaru zápustky [kg],

C_{ZM} – cena zápustkového materiálu [Kč · kg⁻¹].

Tab. 25 Náklady spojené s výrobou zápustek

Položka	Částka [Kč]
Obrábění zápustek	42 900
Teplé zpracování	15 000
Materiál na výrobu zápustek	130 000
Celkem	187 000

V technicko-ekonomickém hodnocení byl vypočten potřebný počet tyčí pro zajištění výroby, z něj se poté určily přímé náklady ve výši 2 836 517,4 Kč. Od těchto nákladů se odečetl zisk za prodej odpadního nákladu ve výši 270 472,1 Kč.

Dále se určila pořizovací cena zápustek ve výši 187 000 Kč, viz tab. 25. Velikost výrobní série je nízká, proto bude stačit pouze jedna sada zápustek. K těmto vypočteným výdajům se posléze přičtou režijní náklady podniku.

5 ZÁVĚRY

Záměrem této práce bylo vypracovat návrh výroby řetězového kola důlního dopravníku. Součást z ušlechtilé konstrukční oceli 14 220 bude dynamicky namáhána v těžkých provozních podmínkách. S ohledem na to bylo z několika technologií výroby zvoleno zápustkové kování, které je produktivní a zároveň zajistí zlepšení mechanických vlastností. Součást bude vyráběna v sérii 5 000 ks a po kování se následně doobrobí. Vzhledem k sériovosti a strojnímu parku podniku byl zvolen jako tvářecí stroj buchar.

Tvar kola byl upraven podle platných norem, pravidel a výpočtů. Byla zvolena dělicí rovina tak, aby nad ní ležely složité tvarové prvky, pro lepší stoupavost materiálu. Určily se přídatky na obrábění o velikosti 3 mm. Byla zvolena velikost úkosů 3° pro vnější a 7° pro vnitřní plochy kolmé k dělicí rovině. Do díry procházející osou kola byla v dělicí rovině umístěna blána o tloušťce 17 mm. Určily se velikosti poloměrů zaoblení a mezní úchytky rozměrů a tvarů na základě zařazení kola do oborového číselníku. Následně se zvolil tvar a rozměry výronkové drážky pro vypočítanou výšku můstku 3 mm.

Podle objemu výrovku, kovu ve výronkové drážce a objemu materiálu ztraceného opalem byly vypočítány rozměry polotovaru, tím bude kruhový přířez \varnothing 150 mm rozměrové normy ČSN EN 10060 o délce 106 mm.

Pomocí vypočítané velikosti tvářecí energie potřebné k poslednímu uderu bucharu, která vyšla 156,2 kJ, byl jako tvářecí stroj zvolen pneumaticko-hydraulický buchar KHZ 16A firmy Šmeral. Buchar disponuje jmenovitou tvářecí energií 160 kJ, což bude víc než dostatečné vzhledem k tomu, že při výpočtu potřebné energie vznikla určitá rezerva. Podle jmenovité energie bucharu byla zkonstruována zápustka dle normy ČSN 21 1414.

K zajištění všech operací pro výrobu polotovaru a úpravu výkovku byly zvoleny pomocné stroje. Materiál bude dělen na pásové pile Pegas Gonda 230x280 SH-LR, nadělené přířezy se budou ohřívat v indukčním ohříváči KSO 1200/1,2-C50 od firmy ROBOTERM. Po vykování se výkovky ostříhnou na lisu LKOA 200, normalizačně vyžihají a otryskají v bubnovém tryskači SAF Praha B8,5x10 R/SK.

V technicko-ekonomickém zhodnocení se vypočítaly náklady na materiálové zajištění výroby, které činí 2 566 045,3Kč a náklady na výrobu zápustky, což je částka 187 000 Kč.

Vhodnost navržených postupů a konstrukcí bude před začátkem výroby, nutné ověřit numerickou simulací a vzorkováním nástroje.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [62]

1. HAŠEK, Vladimír. *Kování: Pomůcka pro studenty vysokých a odborných škol*. 1 vyd. Praha: Statní nakladatelství technické literatury, 1980. 730 s.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA, *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 217s. ISBN 80-214-2374-9
3. LENFELD, Petr. *Technologie II* [online]. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009 [cit. 2018-05-09]. ISBN 978-80-7372-466-5. Dostupné z: www.digitalniknihovna.cz/mzk/view/uuid:e5ff7880-eca9-11e3-a2c6-005056827e51?page=uuid:ba694fd0-ff4f-11e3-9806-005056825209
4. Zápustkové výkovky: Ukázka produkce. In: *Unex: Odlitky a výkovky* [online]. Uničov: UNEX, c2016-2018 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: www.unex.cz/cs/odlitky-a-vykovky/zapustkove-vykovky
5. Ukázka výrobků: Fotogalerie. In: *Uniforge: Zápustkové výkovky* [online]. Varnsdorf: UNIFORGE, c2018 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: www.uniforge.cz/fotogaleriecs?oid=5467990&nid=15753&action=detail&id=1
6. POLÁK, Jaromír. *Dopravní a manipulační zařízení II*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2003. [cit. 2018-05-010]. ISBN 80-248-0493-X. Dostupné z: http://www.342.vsb.cz/pol25/Polak_DaMZ_2_NP.pdf
7. Porubové hřeblové dopravníky: Výrobní program. *TM Machinery* [online]. Ratiškovice: T Machinery, c2011 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://www.tmachinery.cz/cs/vyrobní-program/dopravníky>
8. Beam stage loaders: Process lines and equipment. In: *GWARANT: Grupa Kapitałowa* [online]. Katowice: GWARANT Grupa Kapitałowa, 2018 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://www.gwarantgk.pl/?pid=98&prid=151>
9. ČSN 01 4805 (014805) *Řetězová kola pro svařované řetězy kalibrované krátkočlankové a dlouhočlankové. Výpočet a konstrukce profilu zubu*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1971.
10. ČSN 02 3222 (023222) *Svařované řetězy zkoušené dlouhočlankové kalibrované, jakost 24 a 30. Rozměry a technické požadavky*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1984.
11. Přehled vlastností oceli 16MnCr5: Nízkolegovaná ušlechtilá mangan-chromová ocel k cementování. *Bolzano: Ocel v pohybu* [online]. Kladno: Bohdan Bolzano, c2018 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ ocel /EN_10084/MOP_16MnCr5.pdf
12. Konstrukční oceli: Nízkolegované konstrukční oceli třídy 14, jejich složení a tepelné zpracování. *Tumlikovo: Metal cutting technologies* [online]. TumliKOVO, c2010 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/nizkolegovane-konstrukcni-oceli-tridy-14-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
13. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-7204-636-2.
14. Dělení materiálu: Plazmové řezání, řezání plazmou, plazmové zdroje, plasma. *Schinkmann* [online]. Kosmonosy: Schinkmann, c1991-2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/plazma>

15. Řezání plasmou na strojích pierce 3000: Technologické vybavení. In: *GKR Holding: GKR Steel* [online]. Praha: GKR HOLDING, c2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.gkr.cz/gkr-steel>
16. Plazma přednosti a nevýhody: Všeobecné přednosti a nevýhody jednotlivých způsobů dělení. *PLASMACZ: Nejen hutní materiál* [online]. Tábor: PLASMACZ, c2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.plazmacz.cz/plazma-prednosti-a-nevyhody/>
17. Řezání vodním paprskem. In: *KBS: zakázková výroba z nerezů* [online]. Pelhřimov: KBS spol, 2016 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.ksb-pel.cz/187-rezani-vodnim-paprskem.html>
18. Jak funguje vodní paprsek. In: *Flow: Defining waterjet* [online]. Brno: Flow waterjet Europe, c2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.flowwaterjet.cz/Prectete-si-vice/Jak-funguje-vodni-paprsek.aspx#basics>
19. ŠENBERGER, Jaroslav. *Metalurgie oceli na odlitky*. Brno: VUTIUM, c2008. ISBN 978-80-214-3632-9.
20. KRUŽÍK, Jan. Odlévání zlata do formy: Jak se v Česku vyrábí zlatá cihla. In: *Technet: Věda a vesmír* [online]. Praha: MAFRA, 2013 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: https://technet.idnes.cz/foto.aspx?r=tec_reportaze&c=A121203_114227_tec_reportaze_kuz&foto=TOP486aae__MG_2706.jpg
21. ROUČKA, Jaromír. O slévárenství. *Odbor slévárenství: Ústav strojírenské technologie* [online]. Brno: FSI VUT v Brně, ÚST odbor slévárenství, 2014 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/uvod/o-slevarenstvi>
22. HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění 1. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno: VUT, Fakulta strojírenského inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2003, 138 s. [cit. 2018 05 10]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
23. CNC Machining. In: *Essen Aluminium* [online]. Belgaum: Essen Aluminium, c2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://essenaluminium.com/services/best-top-cnc-machining-products-manufacturers-in-india/>
24. GAJDOŠ, František. *Teorie tváření – Návodů do cvičení. Vysoké učení technické v Brně. 1. vyd. ISBN 80-214-1032-9. Brno. Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1989, 60 s.*
25. Closed Die Forging: Products. In: *Unitech Engineering* [online]. New Delhi: Unitech Engineering, c2007-2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.unitechengineeringindia.com/closed-die-forging.html>
26. DVOŘÁK, Milan František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169s ISBN 978-80-214-3425-7*
27. DVOŘÁK, Milan 2001. *Technologie. II. Brno: CERM, 238s. ISBN 802-214-203-14*
28. HLUCHÝ, M., KOLOUCH, J., PAŇÁK, R. *Strojírenská technologie 2 –1. díl. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1998. 316 s. ISBN 80-7183-117-4.*
29. 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 978-80-248-2718-6.

30. ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL, 2004. Strojírenské tabulky pro školu a praxi. Praha: Scientia. ISBN 8071833126
31. ČERMÁK, Jan. *Technologický postup zápusťkového kování: Podklady pro předmět Projekt 1 – část kování* [online]. 2. opravené. vyd. Praha: ČVUT v Praze -odbor tváření slévání a svařování, 2004 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/Uploads/vykovek-zadani.pdf>
32. BLAŠČÍK, František a Karol POLÁK. Teória tvárenia: celoštátna vysokoškolská učebnice pre strojnícke fakulty vysokých škôl. 2. vyd. Bratislava: Alfa, 1987. Edícia strojárskkej literatúry.
33. *Die Forging Hammers: Machines for solid metal forming* [online]. Coburg: LASCO Umformtechnik, 2012 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: http://www.lasco.de/umformtechnik/media/archive2/technische_informationen/Hydraulische_Schmiedehammer_2012_E.pdf
34. ČSN 42 9002 (42002) *Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1971.
35. HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje 1971*. 1. vyd. Praha SNTL – Nakladatelství technické literatury 1972.
36. STRÁNSKÝ, L. *Stroje a nástroje používané ve tváření*. Brno: Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství, 2010. 28s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
37. RUDOLF, Bedřich; KOPECKÝ, Miloslav. *Tvářecí stroje: Základy výpočtů a konstrukce*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1979. 408 s.
38. Friction drop hammer: Product range. In: *RATTAN Hammers* [online]. Mundian Khurd: RATTAN HAMMERS, c2004-2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.hammersindia.com/products/friction-drop-hammer.html>
39. Pneumaticko-hydraulické buchary: Výrobní program. *Šmeral Brno a.s. Šmeral Brno a.s.: Výrobce tvářecích strojů* [online]. Brno: Šmeral Brno, c2017 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/buchary.html>
40. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186s. ISBN 80-214-0401-9
41. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
42. FREMUND, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli (odborná kniha)*. 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230s.
43. MAÁR, Karol. *Kovanie*. 1. vyd. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 1991. ISBN: 80-7099-073-2
44. *MOLYDUVAL speciální maziva: Fina oleje* [online]. České Budějovice: DECKENBACH, c2018 [cit. 2018 – 05 - 10]. Dostupné z: http://www.finaoleje.cz/files/produkty/molyduval/spec_maziva_pro_tvareni_kovu.pdf
45. Vozové pece. In: *CLASIC* [online]. Řevnice: CLASIC CZ, c1996-2017 [cit. 2018- 05- 10]. Dostupné z: https://www.clasic.cz/index.php/cz/?option=com_sppagebuilder&view=page&id=16
46. ČSN 21 1413 (211413) *Tvářecí stroje. Upínání zápusťek pro padací a parovzdušné buchary*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1971.

47. ČSN 21 1414 (211414) *Tvářecí stroje. Upínání Zápustek pro protiběžné buchary*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1971.
48. BEDNÁŘ, Bohumír. *Technologičnost konstrukce I*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03268-X.
49. ČSN 429030 (429030) *Výkovky ocelové zápusťkové. Přídavky na obrábění, mezní úchylky rozměrů a tvarů*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1987.
50. Tyč ocelová kruhová válcovaná za tepla, EN 11 600: 16MNCR5.0. *Ferona* [online]. Praha: FERONA, c2017 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/22595/tyc-ocelova-kruhova-valcovana-za-tepla-en-10060-prumer-150>
51. Ocel kruhová 150mm: 14220, 16MNCR5.0. *KONDOR: Hutní materiály* [online]. Praha: KONDOR, c2013 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: www.kondor.cz/ocel-kruhova-150mm/d-78546/
52. ČSN 22 8306 (229306) *Tvářecí nástroje. Zápustky pro svislé kovací lisy. Technické požadavky na konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1991
53. ČSN 41 9552 (419552) *Ocel 19 552 Cr-Mo-Si-V*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1971.
54. ČSN 22 8308 (228308) *Zápustky pro buchary. Směrnice pro konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1971.
55. Ostříhovací lisy: LKOA 200. *Šmeral* [online]. Brno: Šmeral Brno, c2017 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/ostrihovaci_lisy.html
56. Poloautomatické pásové pily 250x315 SH-LR. *PEGAS GONDA: Pásové pily na kov* [online]. Slavkov u Brna: PEGAS-GONDA, 2018 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: www.pegas-gonda.cz/cs/product/13/250x315-sh-lr-poloautomaticka-pasova-pila-na-kov-pegas-250x315-sh-lr
57. Kompaktní středofrekvenční ohříváč KSO 1200/1,2-C50, výkonové řady 1200 kW. Ohříváče přířezů. *ROBOTERM Chotěboř* [online]. Chotěboř: ROBOTERM, c2012 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: www.roboterm.cz/reference/indukcni-ohrivace/kso-nad-630-kw/kompaktni-stredofrekvencni-ohrivac-kso-1200/1,2-c50-20170912
58. Automatické tryskací stroje – bubnové tryskače: Technické parametry - standardní typy. *S.A.F Praha* [online]. Praha: S.A.F. Praha, c2008 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: www.saf.cz/cs/sortiment/tryskaci-stroje-s-metacimi-koly/bubnove-tryskace/
59. CM - TRYSKACÍ STROJE BUBNOVÉ: Produkty. In: *ALBA precision* [online]. Brno - Tuřany: ALBA precision, 2018 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: www.albaprecision.cz/cz/portal/produkty/cm/tryskaci-stroje-bubnove/
60. Ceník železa: Ceníky. *ALBA waste* [online]. Praha: ALBA WASTE, c2018 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://kovosrot-alba.cz/cenik-zeleza>
61. Informace poskytl Ing. Jiří POKORNÝ, vedoucí odborného výcviku firmy Hettich k. s., Žďár nad Sázavou 30. 4. 2018.
62. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2018 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Značka	Legenda	Jednotka
a	Nejmenší povolená vzdálenost kolíků od hrany zápustky	[mm]
A	Práce	[J]
A _{min}	Minimální přípustná tažnost	[%]
a _{jeh}	Maximální dovolená délka jehly	[mm]
a _k	Šířka kořene zápustky	[mm]
C _{kg}	Cena 1 kg oceli	[Kč · kg ⁻¹]
C _{mat}	Cena materiálu	[Kč]
C _{obr}	Cenová sazba na CNC centrum	[Kč · h ⁻¹]
C _{prog}	Cena programování	[Kč · h ⁻¹]
C _v	Výkupní cena vratného materiálu	[Kč · kg ⁻¹]
C _{ZM}	Cena zápustkového materiálu	[Kč · kg ⁻¹]
D	Sevřený průměr výkovku ($D \leq 60$ cm)	[cm]
d _k	Průměr vodícího kolíku	[mm]
D _o	Skutečný průměr polotovaru	[mm]
D _{o'}	Vypočítaný průměr polotovaru	[mm]
dz	Změna výšky výkovku po úderu	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[GPa]
F	Velikost kovací síly	[N]
f	Délka plochy rovnoběžné s dělicí rovinou	[mm]
F _D	Plocha průmětu výkovku do roviny kolmé k rázu	[mm ²]
F _{SV}	Obvodová střižná síla	[N]
g	Maximální dovolená velikost sestřižení	[mm]
G _o	Váha výkovku	[kg]
h	Výška plochy kolmé k dělicí rovině	[mm]
H _D	Hloubka dutiny zápustky	[mm]
h _k	Výška kořene zápustky	[mm]
h _m	Výška můstku	[mm]
H _{min}	Minimální výška zápustky	[mm]
h _o	Počáteční výška pěchované tělesa	[mm]
H _v	Výška vedení zápustek	[mm]
k _m	Materiálový koeficient	[-]
L	Délka polotovaru	[mm]
L _{Pmax}	Maximální délka přířezu	[mm]
LS	Délka stříhu	[mm]
L _T	Délka tyče	[mm]
m	Hmotnost beranu bucharu	[kg]
m _{metr}	Váha jednoho metru tyče	[kg]
m _{záp}	Hmotnost polotovaru zápustky	[kg]
N _{mat}	Náklady na materiál	[Kč]
N _{obr}	Náklady na obrábění	[Kč]
n	Výška zásobníku výronkové drážky	[mm]
n _p	Počet přířezů z jedné tyče	[ks]
n _{ser}	Velikost výrobní série	[ks]
n _T	Počet tyčí	[ks]
N _{TZ}	Náklady na tepelné zpracování	[Kč]
N _{Vcel}	Celkový zisk z odpadního materiálu	[Kč]
N _{Vtyč}	Cena vratného materiálu z konce tyčí	[Kč]
N _{Vvýk}	Cena vratného materiálu z výronku a blány	[Kč]

N_{zap}	Cena zápusťky	[Kč]
p	Maximální dovolená velikost přesazení	[mm]
R	Vnější poloměr zaoblení	[mm]
r	Vnitřní poloměr zaoblení	[mm]
R_m	Mez pevnosti za dané teploty	[MPa]
$R_{p0,2}$	Mez kluzu	[MPa]
S	Délka můstku výronkové drážky	[mm]
s	Tloušťka stříhané vrstvy	[mm]
S_D	Plocha průmětu sevřeného výkovku do roviny kolmé k rázu	[mm ²]
S_v	Průřez výkovku	[mm ²]
S_v	Šířka obvodového vedení	[mm]
S_z	Délka zásobníku výronkové drážky	[mm]
t	Vzdálenost děr od paty zápusťky	[mm]
T	Minimální vzdálenost dutiny od hrany zápusťky	[mm]
t_{dok}	Doba dokončovacích operací	[h]
t_{hrub}	Doba hrubovacích operací	[h]
t_{prog}	Doba programování	[h]
U	Šířka pilového pásu	[mm]
V	Objem výkovku	[mm ³]
v	Vzdálenost děr od osy zápusťky	[mm]
$V_{blán}$	Objem blány	[mm ³]
V_o	Výchozí objem výkovku	[mm ³]
$V_{výk}$	Objem výkovku	[mm]
$v_{výr}$	Výška výrobku	[mm]
$V_{výr}$	Objem výronku	[mm]
$x_{výr}$	Největší rozměr výrobku kolmý k rázu	[mm]
Z_{min}	Minimální přípustné zúžení	[%]

Značka	Legenda	Jednotka
α	Úhel úkosů	[°]
γ	Úhel náběhu obvodového vedení	[°]
δ	Opal	[-]
λ	Štíhlostní poměr	[-]
ρ	Hustota oceli	[kg · m ⁻³]
σ_s	Přetvárná pevnost oceli za dané kovací teploty	[MPa]
σ_{SP}	Střední přetvárný odpor za dané kovací teploty	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ukázky zápustkových výkovků [4], [5].....	9
Obr. 2 Hřeblový dopravník [8].....	10
Obr. 3 3D model kola.....	10
Obr. 4 Schéma kola se základními rozměry.....	11
Obr. 5 Řezání plazmou [15].....	12
Obr. 6 Řezání vodním paprskem [17].....	12
Obr. 7 Odlévání [20].....	12
Obr. 8 Třískové obrábění [23].....	13
Obr. 9 Zápustkové kování [25].....	13
Obr. 10 Vlákniatá struktura po kování [1].....	13
Obr. 11 Kování v zápustce [27].....	14
Obr. 12 Kovací teploty uhlíkových ocelí [28].....	14
Obr. 13 Ukázky dělicích rovin [29].....	16
Obr. 14 Přidávky a ukosy na výkovku [27].....	17
Obr. 15 Vnější a vnitřní poloměry zaoblení [29].....	18
Obr. 16 Zatřídění výkovků podle složitosti tvaru [34].....	18
Obr. 17 Grafické znázornění průběhu kovací síly a přetvárné práce [2].....	19
Obr. 18 Konstrukce bucharu [36].....	20
Obr. 19 Padací buchar [38].....	20
Obr. 20 Hydraulický a pneumaticko-hydraulický buchar [33], [39].....	21
Obr. 21 Jednodutinová zápustka [3].....	21
Obr. 22 Princip kování ve vícedutinových zápustkách [26].....	22
Obr. 23 Popouštěcí křehkost [34].....	22
Obr. 24 Elektrická vozová pec pro předehřev zápustek [45].....	22
Obr. 25 Vodící kolík a díra pro kolík [41].....	23
Obr. 26 Příklad obvodového vedení [40].....	23
Obr. 27 Schéma křížového vedení [40].....	24
Obr. 28 Upínání zápustek s držáky pro padací buchary [46].....	24
Obr. 29 Rozmístění manipulačních kolíků [41].....	25
Obr. 30 Tvary výronkové drážky [29].....	25
Obr. 31 Vliv umístění dělicí roviny na spotřebu mat. [48].....	26
Obr. 32 Směr tečení kovu u různých poloh blány [48].....	26
Obr. 33 Model poloviny řetězového kola.....	27
Obr. 34 Zobrazení obráběných ploch.....	27
Obr. 35 Umístění dělicí roviny.....	27
Obr. 36 Největší rozměry kola.....	28
Obr. 37 Přidávky na tvarovou složitost.....	28
Obr. 38 Zaoblené hrany na výkovku.....	28
Obr. 39 Zatřídění výkovku kola [34].....	29
Obr. 40 Rozměry výkovku s přidávkou.....	30
Obr. 41 Naznačené přesazení, sestřížení a.....	31
Obr. 42 Výpočet plochy výkovku.....	31
Obr. 43 Rozměry výronkové drážky.....	32
Obr. 44 Výpočet objemů v programu Inventor 2016.....	32
Obr. 45 Buchar řady KHZ [39].....	34
Obr. 46 Polotovár založený ve spodní zápustce.....	35
Obr. 47 Minimální vzdálenost dutiny od hrany [41].....	35
Obr. 48 Určení minimální výšky zápustky [42].....	35
Obr. 49 Upínací prvky zápustky [48].....	36

Obr. 50 Vybrání pro kleště [41]	37
Obr. 51 Vizualizace zápustek s výkovkem	37
Obr. 52 Obvod vystřihnutého výkovku.....	38
Obr. 53 Lis LKOA 200 [55].....	38
Obr. 54 Pásová pila Pegas [56]	39
Obr. 55 Indukční ohřívač KSO 1200/1,2-C50 [57]	39
Obr. 56 Bubnový tryskací stroj [59]	40

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení oceli 14 220 [11].....	11
Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 14 220 [11]	11
Tab. 3 Minimální tloušťka blány a stěn [30].....	16
Tab. 4 Přídavky na obrábění [30].....	17
Tab. 5 Velikost úkosů [30].....	17
Tab. 6 Velikost zaoblení hran [30].....	18
Tab. 7 Doporučené rozměry obv. vedení [41]	23
Tab. 8 Tolerance vedení zápustek [41]	24
Tab. 9 Vybrané rozměry výronkové drážky [40].....	26
Tab. 10 Rozdělení výkovků [29].....	29
Tab. 11 Tolerance pro 5. stupeň přesnosti [29].....	30
Tab. 12 Mezní úchytky poloměrů zaoblení [49].....	30
Tab. 13 Údaje o polotovaru [50]	33
Tab. 14 Přetvárné odpory za kovacíh teplot pro ocel 14 220 [52]	33
Tab. 15 Parametry bucharu KHZ 16A [39]	34
Tab. 16 Rozměry upínacích prvků [47]	36
Tab. 17 Hodnoty rozměrů upínací části zápustky [47]	36
Tab. 18 Chemické složení oceli 19 552 [53].....	37
Tab. 19 Vlastnosti ostříhovacího lisu [55]	38
Tab. 20 Parametry pásové pily [56]	39
Tab. 21 Parametry Indukčního ohřívače [57]	39
Tab. 22 Parametry bubnového tryskače [58]	40
Tab. 23 Technologický postup	40
Tab. 24 Náklady na materiál	42
Tab. 25 Náklady spojené s výrobou zápustek	42

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1 Číselník pro zařazení tvaru výkovku [29]
Příloha č. 2 Nomogram pro určení hodnoty T [40]
Příloha č. 3 Nomogram pro určení pevnosti za zvýšené teploty [40]
Příloha č. 4 Mezní úchytky rozměrů dutiny a drsnosti jejích ploch [54]

SEZNAM VÝKRESŮ

Řetězové kolo	BP-2018-182693-00
Dělené kolo	BP-2018-182693-01
Výkovek kola	BP-2018-182693-02
Horní zápustka	BP-2018-182693-03
Spodní zápustka	BP-2018-182693-04

Příloha 1 Číselník k zatřídění tvaru výkovku [29]

Podle ČSN 42 9002 se výkovky označují číselně ve tvaru XXXX-X ve významu a)b)c)d)-e)

První číslice v číselném označení výkovku určuje *tvarový druh* (Xxxx-x):

- 4 výkovky kruhového průřezu plné,
- 5 výkovky kruhového průřezu duté,
- 6 výkovky hranolovitých tvarů plné i duté,
- 7 výkovky kombinovaných tvarů plné i duté,
- 8 výkovky s ohnutou osou,
- 9 výkovky složitých tvarů s přímou dělicí plochou,
- 0 výkovky s lomenou dělicí plochou.

Druhá číslice v číselném označení výkovku určuje *tvarovou třídu* (xXxx-x).

Výkovky tvarového druhu 4, 5, 6, 7 a 8 se rozdělují do následujících *tvarových tříd*:

- 1 konstantní průřez,
- 2 kuželovité (jehlanovité, klinovité),
- 3 jednostranně osazené,
- 4 oboustranně osazené,
- 5 osazené s kuzelem (jehlanem, klinem),
- 6 prosazené,
- 7 kombinované,
- 8 kombinované s kuzelem (jehlanem, klinem),
- 9 členité (u tvarového druhu 8 – výkovky háků),
- 0 neosazeno.

Třetí číslice v číselném označení výkovku určuje *tvarovou skupinu* (xxXx-x).

Výkovky, zařazené do jednotlivých tvarových tříd, jsou čísla 1 až 8 dále tříděny podle štíhlostních a jiných tvarových poměrů.

Výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu (technologické hledisko 3, 4, 5) a výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech (technologické hledisko 6, 7, 8) jsou děleny na *výkovky plné* (označené čísly 1 až 4) a na *výkovky duté* (označené čísly 5 až 8):

- 1 výkovky plné $H \leq B$ a $H \leq 2H_1$,
- 2 výkovky plné $H \leq B$ a $H > 2H_1$,
- 3 výkovky plné $H > B$ a $B \leq 2B_1$,
- 4 výkovky plné $H > B$ a $B > 2B_1$,
- 5 výkovky duté $H \leq B$ a $H \leq 2H_1$,
- 6 výkovky duté $H \leq B$ a $H > 2H_1$,
- 7 výkovky duté $H > B$ a $B \leq 2B_1$,
- 8 výkovky duté $H > B$ a $B > 2B_1$.

kde je H – největší výška výkovku ve směru rázu (mm),

B – největší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu (mm),

H_1 – nejmenší výška výkovku ve směru rázu, nejmenší tloušťka blány nebo dna výkovku (mm),

B_1 – nejmenší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu (mm),

Čtvrtá číslice v číselném označení výkovku určuje *tvarovou podskupinu* (xxxX-x).

Zápuskové výkovky, které *přesahují stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých veličin*, se označují podle jednotlivých vzájemných poměrů čísly 1 až 9. Zápuskové výkovky, které *nepřesahují stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých veličin*, se označují číslem 0.

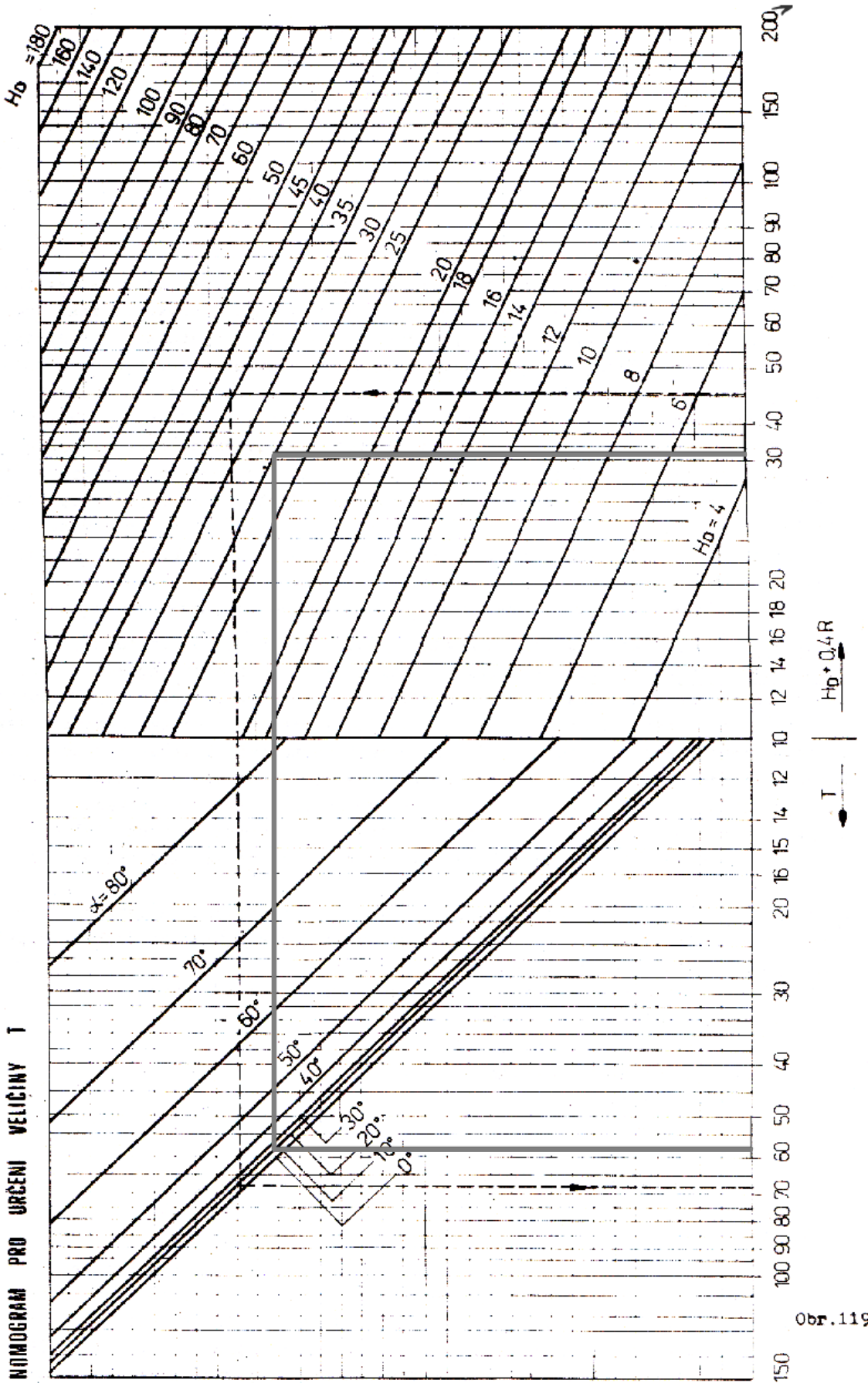
- 1 přesah v poměru $L : B$ (D) nebo $H : B$ (D),
- 2 přesah v poměru $H : H_1$ ($D : D_1$),
- 3 přesah v poměru $B : B_1$,
- 4 přesah v poměru $F : F_1$,
- 5 přesah v hloubce dutiny $h : d$ nebo úhlu listů lopatek β ,
- 6 přesah v tloušťce dna nebo blány H_1 ,
- 7 přesah v tloušťce stěny s nebo velikosti rozvidlení $l : b$,
- 8 přesah v zaoblení přechodů a hran R, r ,
- 9 kombinace několika přesahů,
- 0 bez přesahu.

kde je D – největší průměr výkovku (mm),
 D_1 – nejmenší průměr výkovku, průměr výchozího materiálu u výkovků zhotovených na vodorovném kovacím lisu (mm),
 F – největší plocha průřezu výkovku ($B \times H$) (mm),
 F_1 – nejmenší plocha průřezu výkovku ($B_1 \times H_1$) (mm),
 h – největší hloubka dutiny výkovku (mm),
 d – největší průměr dutiny výkovku (mm),
 l – největší délka rozvidlení (mm),
 b – největší šířka rozvidlení (mm),
 R – poloměr zaoblení přechodů (mm),

Pátá číslice v číselném označení výkovku určuje *technologické hledisko* (xxxx-X):

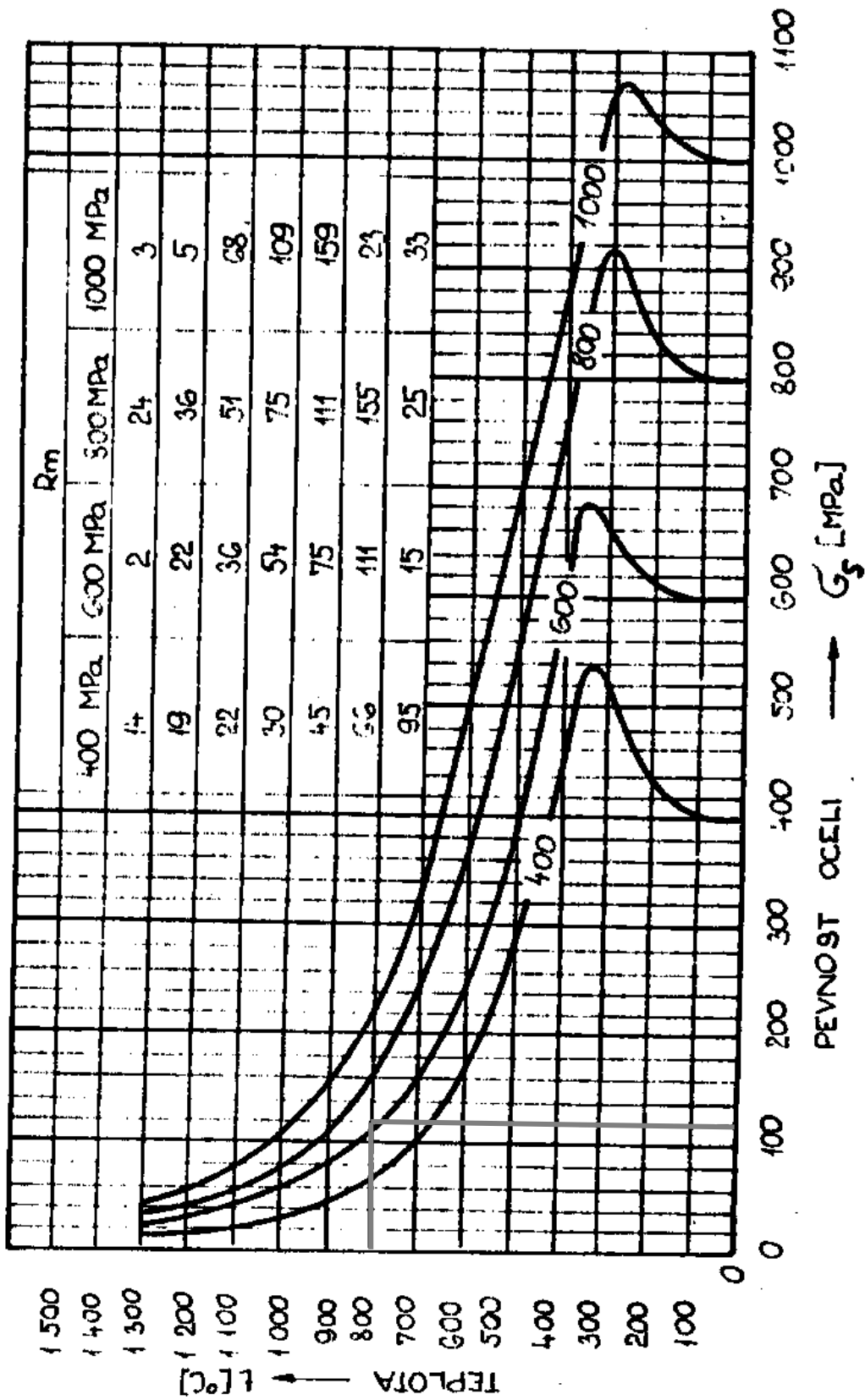
- 1 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy **souměrné**,
- 2 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy **nesouměrné**,
- 3 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu **souměrné**,
- 4 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu **nesouměrné**,
- 5 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu s **ozubením**,
- 6 výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech **souměrné**,
- 7 výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech **nesouměrné**,
- 8 výkovky zhotovené na vodorovných kovacích lisech s **ozubením**,
- 9 výkovky s více dělicími plochami,
- 0 neobsazeno.

Příloha 2 Nomogram pro určení hodnoty T [40]



Obr.119

Příloha 3 Nomogram pro určení pevnosti za zvýšené teploty [40]



Příloha 4 Mezní úchytky rozměrů dutiny a drsnosti jejích ploch [54]

Drsnosti ploch zápustky

Prvek	Ra
Dokončovací dutina	0,8 ÷ 3,2
Dosedací plochy	3,2
Mústek výr. drážky	0,8 ÷ 3,2
Zásobník výr. drážky	12,5
Vnější plochy	12,5 a víc
Vedení zápustky	1,6
Otvory pro manipulační kolíky	12,5

Mezní úchytky rozměrů zápustky

Jmenovité rozměry (mm)	Obvyklé mezní úchytky			
	⊥			
	+	-	+	-
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
261 až 360	0,5	0,25	0,25	0,13