



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

Optimalizace výkovku kulového čepu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR: Tomáš Ondris

VEDOUcí PRÁCE: Ing. František Tatíček, Ph.D.

STUDIJNÍ PROGRAM: B 2343 Výroba a ekonomika ve strojírenství

STUDIJNÍ OBOR: 2303R014 Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Praha 2022



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Ondris** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **466462**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojírenského inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Optimalizace výkovku kulového čepu

Název bakalářské práce anglicky:

Spherical join forging optimization

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznámení s problematikou zaměřenou na zápuťkové kování
- 2) Charakteristika vytipovaného dílu, návrh postupu výroby výkovku
- 3) Ověření postupu výroby pomocí numerické simulace
- 4) Závěrečné zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

ASM Handbook 14A
ČSN 42 9030
Další literatura na doporučení vedoucího práce

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. František Tatiček, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **25.04.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: **15.08.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2022**

Ing. František Tatiček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolářik, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Františka Tatíčka PhD., a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Tímto děkuji svému vedoucímu bakalářské práce panu Františku Tatíčkoví za skvělé vedení, rady a připomínky, dále děkuji zaměstnavateli a celé firmě PBK-ZK za umožnění vypracování bakalářské práce v souvislosti se zaměstnáním a děkuji i za veškerou podporu při studiu. Děkuji také rodičům za pomoc s financováním studia, po překročení standardní doby studia.

Anotace

Název diplomové práce:	Optimalizace výkovku kulového čepu
Autor práce:	Tomáš Ondris
Vedoucí práce:	Ing. František Tatíček, Ph.D.
Akademický rok:	2021/2022
Vysoká škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	12133 – Ústav strojírenské technologie
Vedoucí ústavu:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
Rozsah práce:	67 stránek, 10 tabulek, 53 obrázků
Klíčová slova:	Zápustkové kování, optimalizace, simulace, výkovek
Abstrakt:	Cílem práce je na základě teorie, norem a simulací procesu, navrhnout kroky k optimalizaci výroby výkovku kulového čepu.

Annotation

Title of the final thesis:	Spherical joint forging optimization
Author:	Tomáš Ondris
Supervisor:	Ing. František Tatíček, Ph.D.
Academic year:	2021/2022
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12133 – Department of Manufacturing Technology
Head of department:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
Extent:	67 pages, 10 tables, 53 pictures
Keywords:	Closed die forging, optimalization, simulation, forging
Abstract:	The aim of the work is to propose steps to optimize the production of ball pin forgings based on theory, standards and process simulations.

Obsah

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE	12
2. TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ	13
2.1 Základní rozdělení tváření	13
2.2 Volné kování	13
2.2.1 Nástroje pro volné kování	17
2.2.2 Tvářecí stroje pro volné kování	17
2.3 Zápustkové kování	19
2.3.1 Dělení materiálu pro zápustkové kování	20
2.3.2 Ohřev materiálu pro zápustkové kování.....	20
2.3.3 Nástroje zápustkového kování	23
2.3.4 Stroje pro zápustkové kování	24
2.3.5 Úprava zápustkových výkovků	25
2.3.6 Vady zápustkových výkovků a jejich příčiny.....	26
3 ROZBOR A POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU	27
3.1 Představení řešeného výkovku.....	27
3.2 Popis stávajícího technologického postupu	28
3.3 Technologické možnosti společnosti PBK-ZK	28
3.4 Volba velikosti bucharu	29
3.5 Volba velikosti ostříhovacího lisu	32
3.6 Konstrukce výkovku	34
3.6.1 Dělicí rovina	34
3.6.2 Přídavky na obrábění	35
3.6.3 Technologické přídavky.....	37
3.6.4 Úkosy.....	37

3.6.5	Poloměry zaoblení	39
3.6.6	Odchytky rozměrů a tvarů	43
3.6.7	Výronková drážka	43
3.7	Technologická příprava výroby.....	46
3.7.1	Návrh polotovaru.....	46
3.7.2	Návrh ideálního předkovku	49
3.7.3	Stanovení přibližné doby ohřevu.....	52
4	Numerická simulace procesu	53
4.1	Simulace stávajícího stavu.....	53
4.2	Simulace nového návrhu předkovku	58
5.	ZÁVĚR	59
	Bibliografie.....	60
	Seznam tabulek.....	62
	Seznam obrázků	63
	Přílohy	65

Seznam zkratk

Zkratka:

Vysvětlení:

DT	Dotvářecí teplota
DTT	Dolní tvářecí teplota
HB	Tvrдость podle Brinella
HTT	Horní tvářecí teplota
PTT	Počáteční tvářecí teplota
SW	Software
TP	Technologický postup

Seznam použité symboliky

A	[kJ]	rázová práce
a_0	[mm]	počáteční hodnota strany čtvercového průřezu polotovaru
A_1	[-]	eutektoidní přímka v rovnovážném diagramu
A_3	[-]	křivka označující teplotu překrytalizace tuhého roztoku austenitu
A_{cm}	[-]	křivka označující změnu rozpustnosti uhlíku v austenitu
A_n	[kJ]	rázová práce pro nekruhový výkovek
$a_{stř}$	[mm]	střední strana ideálního předkovku
d_0	[mm]	počáteční hodnota kruhového průřezu polotovaru
d_1	[mm]	rozměr zvoleného kruhového průřezu
d_{ob}	[mm]	průměr obrysu ideálního předkovku v příslušném řezu
$d_{stř}$	[mm]	střední průměr ideálního předkovku
F	[N]	střižná síla
F_D	[cm ²]	průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu
$F_{výr}$	[cm ²]	plocha průřezu výronkové drážky
h	[mm]	výška můstku výronkové drážky
h_{ob}	[cm ²]	plocha ideálního předkovku v řezu v měřítku n
k_1	[-]	součinitel materiálové povahy
k_2	[-]	opravný součinitel pro ohřev při různém uložení v peci
l_0	[mm]	počáteční vypočtená délka polotovaru
l_1	[mm]	rozměr délky polotovaru
m	[kg]	hmotnost
n	[-]	měřítko
O_v	[mm]	obvod výkovku
R_m	[Mpa]	mez pevnosti v tahu
s	[mm]	šířka můstku
S_{ip}	[cm ²]	plocha ideálního předkovku v řezu výkovkem
$S_{stř}$	[cm ²]	střední průřez ideálního předkovku
$S_{výk}$	[cm ²]	plocha výkovku v řezu
$S_{výr}$	[cm ²]	plocha výronkové drážky v řezu

s_z	[mm]	šířka zásobníku
t_s	[°C]	teplota na křivce solidu
V	[m ³]	objem
V_1	[cm ³]	přepočítaný objem polotovaru
V_{ip}	[cm ³]	objem ideálního předkovku
V_{pol}	[cm ³]	objem polotovaru
$V_{výk}$	[cm ³]	objem výkovku
$V_{výr}$	[cm ³]	objem výronku
δ	[%]	propal vlivem ohřevu
ρ	[kg/m ³]	hustota
σ_s	[MPa]	pevnost oceli za kovací teploty
τ	[hod]	doba ohřevu

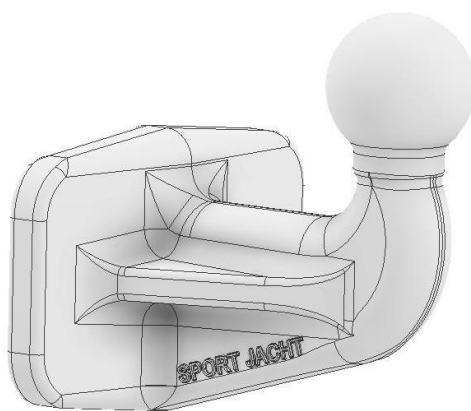
1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

Při realizaci výrobního procesu může docházet k výrobním problémům. Některé jsme schopni předvídat, některé mohou být neočekávané. Z hlediska stability výroby se můžeme nacházet na hranici stability, drobná změna v podmínkách procesu může znamenat výrobní problémy. Těmto problémům můžeme předcházet při dodržení pravidel technologičnosti konstrukce. Avšak tato pravidla mohou vést k neúměrnému zvyšování výrobních nákladů.

Z diskuse ve firmě PBK bylo vytipováno několik dílů, které vykazují výrobní nestabilitu. Z diskutovaných dílů byl vybrán výkovek kulového čepu.

Hlavním cílem práce bude najít hospodárnější způsob kování pomocí simulačního softwaru. Součástí práce bude analýza současného stavu, ve smyslu popisu technologického postupu a technologických možností kovárny. Dále bude provedeno zhodnocení tvaru výkovku z hlediska doporučení norem pro konstrukci výkovků. Poznatky z rozboru současného stavu včetně simulace by pak měli být základem pro další kroky k optimalizaci.

Pro optimalizaci výroby výkovku existují dva hlavní důvody. Prvním z nich je vada typu nedokovaný výkovek, to znamená chybějící materiál ve tvaru výkovku. Dalším důvodem k optimalizaci je spotřeba materiálu, která je z důvodu tvarové složitosti a zjednodušení procesu kování příliš vysoká, množství odpadu je vyšší než samotná hmotnost výkovku. Předpokládá se, že výsledkem práce budou návrhy k hospodárnějšímu kování výkovku kulového čepu.



Obrázek 1: Model výkovku kulového čepu

2. TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ

Technologie tváření zahrnuje procesy, kdy se výrobek utváří působením vnějších sil. Zásadním cílem technologie tváření je dosáhnout požadovaného tvaru, aniž by byla porušena soudržnost materiálu. Tvářený materiál musí mít schopnost snášet plastickou deformaci. [5]

Technologie tváření zahrnuje několik strojírenských technologií, které jsou většinou děleny dle teploty, nebo dle převládajícího průběhu plastického přetváření.

2.1 Základní rozdělení tváření

Rozdělení uváděné v literatuře bývá dle teploty výchozího materiálu a dle převládajícího průběhu plastického přetváření.

Tváření dle teploty se pak rozděluje na tváření za studena, za polo-ohřevu a tváření za tepla. Teplota, která rozděluje tvářecí procesy, se nazývá rekrytalizační teplota. Tváření za studena zahrnuje nejčastěji tváření tenkých profilů plechu, jejich stříhání, ohýbání, tažení. Při tomto tváření dochází k deformačnímu zpevnění, probíhá při teplotách nižších než teplota rekrytalizace. Tváření za tepla je běžné pro tváření součástí, u kterých je pro trvalou deformaci kovu nutné ohřevem snížit přetvárný odpor materiálu. Tváření za tepla probíhá při teplotách výrazně nad teplotou rekrytalizace. Tváření za poloohřevu se považuje za kompromis mezi tvářením za tepla a za studena. Dochází k deformačnímu zpevnění jako u tváření za studena, ale přetvárný odpor se sníží ohřevem těsně pod teplotu rekrytalizace.

Dle převládajícího průběhu plastického přetváření se tváření dělí na plošné a objemové. Do plošného tváření se řadí stříhání, ohýbání, tažení výrobků z plechů apod. Mezi objemové tváření se pak řadí volné kování, zápustkové kování, válcování, protlačování, tažení. [4][5][16]. Pro účely této práce bude kladena pozornost především na volné a zápustkové kování.

2.2 Volné kování

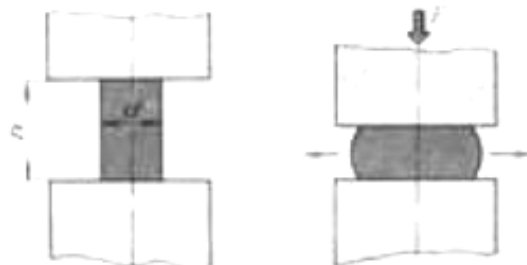
Technologie volného kování se používá zejména pro výrobu hutních polotovary, které se používají pro další zpracování, pro kusovou a malosériovou výrobu, kde se nevyplatí použít zápustky a pro výrobu těžkých výkovků, které nelze vyrábět na bucharech a lisech. Volným kováním lze strojně kovat výkovky až do hmotnosti okolo 300 000 kg. Pro výkovky nad 500 kg,

keré již nelze kovat zápuskovým kováním, je volné kování jediným možným způsobem kování.

Volné kování se používá také pro přípravu předkovku z výchozího polotovaru, který se následně kove v zápusce.

Volné kování je charakteristické tím, že se mění vždy jen omezená část materiálu, konečný tvar se dělá postupně a provádí se pomocí jednoduchých univerzálních nástrojů tvářením za tepla. Tvar nástrojů není svázán s konečným tvarem výkovku. Tvarová složitost výkovků volného kování je obecně malá. Pro volné kování se používají zpravidla rovná nebo jednoduchá tvarová kovadla. Mezi základní operace volného kování se řadí pěchování, prodlužování, osazování, přesazování, ohýbání, děrování, sekání, nakrucování. [2][5][8]

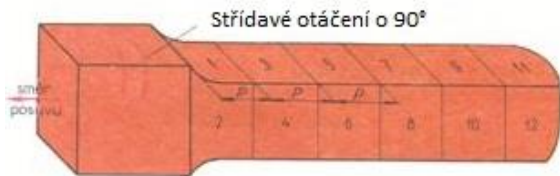
Pěchování je stlačování kovu ve směru jeho hlavní osy, přičemž průřez kolmý k ose se zvětšuje. Pro pěchování je nutné, aby byl výchozí materiál rovnoměrně prohřátý, obvykle na horní tvářecí teplotu. Rovněž je třeba zajistit rovnoběžnost čelních ploch a kolmost polotovaru k ose kovadel a štíhlost polotovaru nesmí být velká, aby nedošlo k ohybu. Poměr výšky a průměru by měl být max. 2,5. [2][5][14]



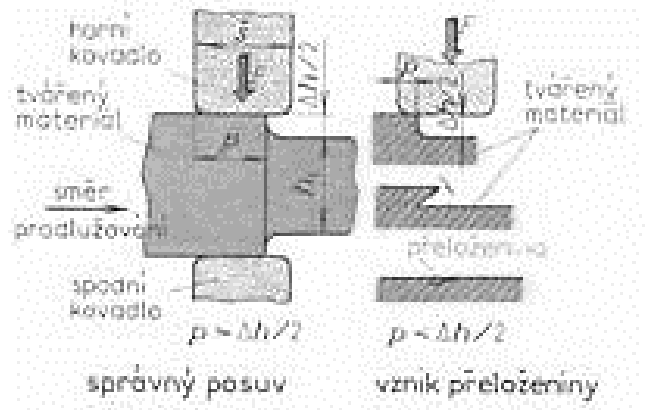
Obrázek 2: pěchování [14]

Na obrázku 2 je vidět, jak se změní tvar tyče o průměru d . Vlivem tření mezi polotovarem a kovadlem vzniká soudečkovitý tvar polotovaru, přičemž míra soudečkovatění je závislá na hodnotě tření mezi polotovarem a nástrojem.

Prodlužování je oproti pěchování deformace ve směru kolmém k hlavní ose polotovaru. Účelem prodlužování je prodloužit výkovek zmenšováním jeho příčného průřezu. Aby se omezilo rozšiřování materiálu v příčném směru, je nutno jím u plochých kovadel obracet o 90° . Nebo otáčet při prodlužování v úhlových kovadlech. Rychlejšího prodlužování lze dosáhnout v úhlových kovadlech. [5]



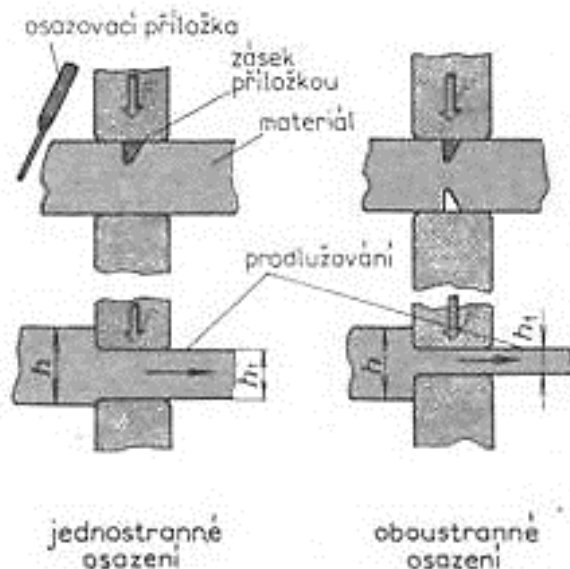
Obrázek 3: Prodlužování tyče [14]



Obrázek 4: Prodlužování, správný a špatný posuv [14]

Obr. 3 ilustruje posuv a otáčení s výkovkem. Obr. 4 ukazuje správnou velikost záběru, která má mít vzdálenost posuvu větší, než je hloubka osazení. Z obrázku je vidět, že pokud bude posuv menší, než je hloubka osazení, potom se může stát, že roh se zmáčkne a tím vznikne přeložka. [14]

Osazování a prosazování jsou operace, při které se získává menší průřez jen ve vymezené délce tvářeného polotovaru. Vlastnímu osazení předchází vytvoření záseku v délce odpovídající potřebné osazované části. [5] Osazování a prosazování může být buď jednostranné, nebo oboustranné. [14]

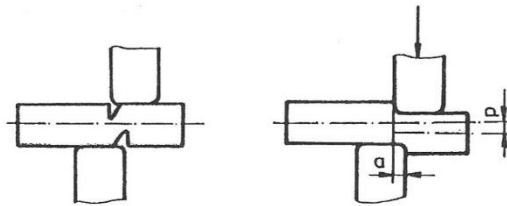


Obrázek 5: Osazování jednostranné a oboustranné [14]

Na obr. 5 jsou znázorněny operace osazování, s použitím osazovací příložky. Jejich funkce je vyznačit na začátku operace hloubku a délku osazení.

Operace prosazování se liší od osazování tím, že se provádí celou šířkou kovádla a osazení vzniknou na obou stranách tyče.

Přesazování je posunutí osy o určitou hodnotu oproti původní poloze, přičemž posunutá osa zůstává rovnoběžná s osou původní. [5] Přesazování se uplatňuje především při kování, klik klikových hřídelí a podobně tvarovaných výkovků. [16]



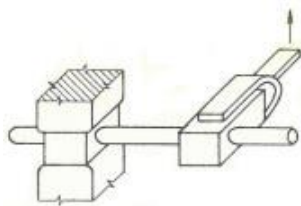
Obrázek 6: Přesazování [15]

Na Obr.6 je znázorněna operace přesazení, kovádla musí být vůči sobě posunuta.

Ohýbání je proces, při kterém se zakřivuje podélná osa polotovaru. Ohýbání je důležitou doplňkovou operací při výrobě háků, kotev, třmenů, táhel pák apod. Při ohýbání může dojít vlivem tlakových napětí k zvrásnění na vnitřní straně ohýbaného výkovku a vlivem tahových napětí na vnější straně ohýbané části mohou vzniknout povrchové praskliny. Tvar ohybu se v místě průřezu mění, což je zvláště patrné u čtvercových průřezů. Při ohýbání se používají zvláštní přípravky, umožňující provést ohyb výkovku do žádaného tvaru. Případně se může provést ohyb kladivem přes hranu kovádliny nebo kovádla. [2][4]

Děrování je operace, při které se získá výkovek s průchozí nebo neprůchozí dírou. Vhodné pro předkování různých kol, prstenců a kroužků. [16]

Zkrucování je pootočení části výkovku vzhledem k jiné části výkovku. Někdy může být nezbytnou doplňkovou operací při dokončování klikových hřídelů, vidlic a dalších výkovků, jejichž jednotlivé úseky se kovou jednodušším postupem v jedné rovině, a poté se zkroutí do požadované polohy. Postup zkrucování naznačuje obr. 7.

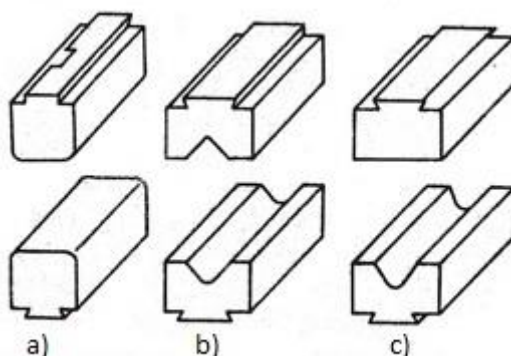


Obrázek 7: Zkrucování [16]

Po zahřátí na horní kovací teplotu je jedno rameno sevřeno mezi kovadla a volné sousední rameno se pootáčí prostřednictvím vidlice zavěšené na jeřábu. [15][16]

2.2.1 Nástroje pro volné kování

K základním nástrojům pro volné kování patří kovadla (Obr.8), hladící příložky, naznačovací příložky, sekáče, pěchovací desky, děrovací nástroje, prodlužovací a rozkovací trny.



Obrázek 8: Kovadla plochá, tvarová, kombinovaná. [16]

Pro uchycení polotovaru při volném kování se používají kovářské kleště různých velikostí. Pro těžší polotovary, asi do 10 tun se používají bezkolejové/kolové manipulátory. Z hlediska mechanizace lze také použít k manipulaci výkvočků kleště zavěšené na jeřábu. [7][16]

2.2.2 Tvářecí stroje pro volné kování

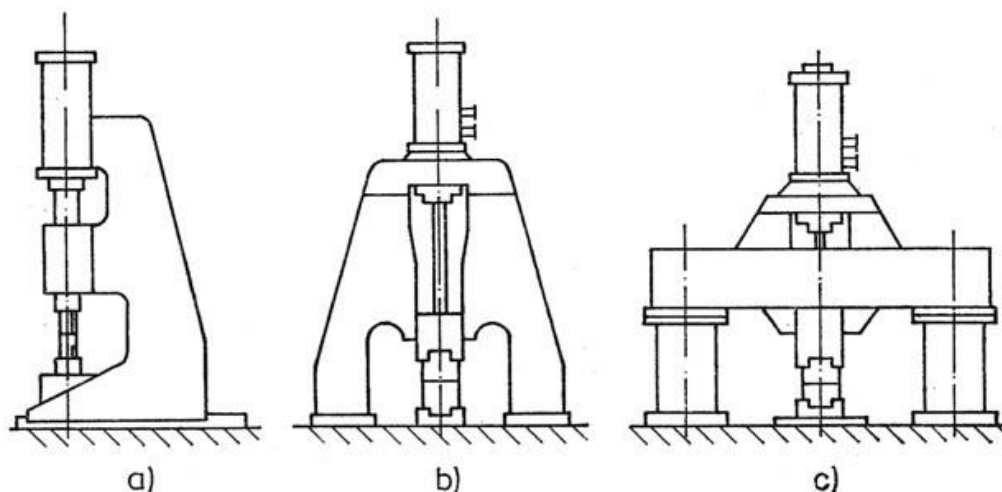
Tvářecí stroje pro volné kování mohou být buď buchary nebo hydraulické lisy.

Buchary pro volné kování se dělí na pružinové, kompresorové a parovzdušné. [7][16][17][20]

Pružinové buchary patří k nejjednodušším tvářecím strojům. Jsou poháněny od elektromotoru třecím převodem na setrvačnick a od klikového hřídele mechanickými pákami na beran. Nejčastěji se používají buchary s hmotností beranu 25 až 50 kg. Tyto buchary kovou s rychlostí 200 až 300 úderů za minutu. Tyto buchary jsou hospodárné a investičně nenáročné, uplatňují se při kování těch nejmenších, rychle chladnoucích výkvočků. [7][16][17]

Kompresorové buchary pohánějí beran stlačeným vzduchem, který se získává v kompresoru spojeném s pracovním válcem bucharu dvěma kanály, v nichž jsou uložena regulační šoupátka, ovládaná šlapadlem. Konstruují se ve dvojčinném provedení, kdy se stlačeného vzduchu využívá nejen ke zvedání beranu, ale též k urychlení volného pádu. Hmotnost beranu bývá od 40 do 1000 kg. Výhoda kompresorových bucharů je v tom, že tvoří ucelenou jednotku, která nepotřebuje zdroj páry nebo stlačeného vzduchu. [7][16][17]

Parovzdušné buchary jsou v kovárnách nejrozšířenější. Jsou poháněny stlačeným vzduchem nebo párou ze zdroje, který není součástí bucharu. Zdroj energie, pára nebo vzduch se přivádí k bucharu potrubím, a to buď z parních kotlů paroenergetických zařízení, nebo z kompresorů kompresorové stanice. Tyto buchary se také používají spíše jako dvojčinné. Hmotnost beranu bývá do 1500 kg u jednojstanových typů. U dvojstojanových a mostových konstrukcí i těžší. [7][16][17]



Obrázek 9: Konstrukce bucharů pro volné kování [16]

Na obr. 9 jsou různé druhy konstrukčních provedení bucharů pro volné kování.

a) jednojstanový buchar, b) dvojstojanový buchar, c) mostový buchar

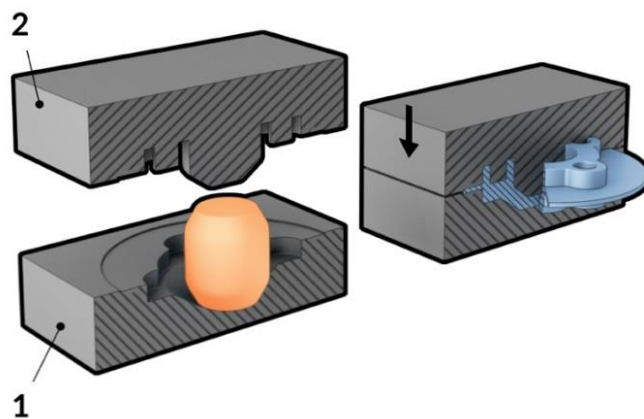
Schéma dvojčinného bucharu s popisem jeho částí je v příloze č.1.

Hydraulické lisy se používají pro výrobu velkých výkovků. U větších rozměrnějších výkovků už nelze bucharem dosáhnout dostatečného prokování v celém objemu, ale deformační účinek zasáhne pouze podpovrchové vrstvy. Z toho důvodu je výhodnější u rozměrnějších výkovků používat hydraulické lisy. [16]

Doba styku horního nástroje při kování na bucharech bývá 0,01 až 0,001 s a dopadová rychlost beranu bývá max. okolo 4,5 až 9 m·s⁻¹. U hydraulických lisů se maximální rychlost ve styku s polotovarem ustálí na 0,1 až 0,5 m·s⁻¹. Přičemž doba styku horního nástroje s výkovkem je 0,1 až 100 s. [16]

2.3 Zápustkové kování

Zápustkové kování se s výhodou používá, při střední a hromadné výrobě. Kusová výroba není vhodná právě z důvodu vyšších nákladů na výrobu složitějšího jednoúčelového nástroje. Oproti volnému kování má zápustkové kování výhodu v tom, že dosahuje větší přesnosti tvaru i rozměrů, stejnoměrnější jakosti a vysoké produktivity práce. Pracovní postup kování zápustkového výkovku se dle potřeby rozděluje na několik operací. Po ohřevu materiálu se vždy provádí předkování, a to proto, aby minimálně jedním pýchovacím úderem opadaly okraje po ohřevu. Předkování se provádí buď volným kováním, postupovým kováním, nebo na kovacích válcích. Po předkování následuje kování v dokončovací dutině. Po vykování požadovaného tvaru se provádí odstřížení přebytečného materiálu. U štíhlých a podlouhlých výkovků, které se mohly po ostřížení za tepla zkřivit se ještě provádí rovnání. [5][17][18]



Obrázek 10: Ilustrace zápustkového kování [19]

Na Obr. 8 je zobrazen spodní a horní díl zápustky v řezu. Vlevo s umístěným předkovkem a vpravo s vykováním výkovkem.

Při zápustkovém kování je ohřátý materiál na tvářecí teplotu nucen úderem u bucharů nebo stlačenou silou u lisů vyplňovat dutinu zápustky. Tvar dutin zápustek odpovídá tvaru výkovku. Tvar výkovku může být jednoduchý i velmi složitý. Nejběžnější je kování s výronkem za tepla, kde přebytečný materiál je odstraňován ve formě otřepu. V případě požadavku

vysoké přesnosti a dostatečné sériovosti se používají metody přesného kování. U metod přesného kování je kladen důraz na co nejmenší spotřebu vstupního materiálu, při velmi přesném kování se může kovat až zcela bez výronku. Hmotnost zápusťkových výkovek se obvykle pohybuje mezi 2 - 60 kg, méně obvykle až do 500 kg. [5][8]

2.3.1 Dělení materiálu pro zápusťkové kování

Tyče, sochory a bloky, které se dodávají v obchodních délkách 2 až 12 metrů je potřeba dělit na požadovanou délku, případně hmotnost. Dále se tyto polotovary připravují pro kování buď třískovým, nebo beztřískovým způsobem. Mezi beztřískové způsoby patří dělení materiálu stříháním nebo lámáním. Mezi nejčastěji používané třískové způsoby dělení materiálu se řadí řezání na pásových nebo kotoučových pilách, případně upichováním, nebo řezáním plamenem. [1][7]

Stříhání je jedním z nejpoužívanějších způsobů dělení materiálu. Stříhání na špalíky se provádí různými stříhacími přípravky umístěnými na lise, nebo na strojních nůžkách. Výhoda stříhání spočívá v nízkých nákladech, vysoké produktivitě, kdy nevzniká odpad ze stříhaného materiálu. Nevýhodou může být snížená jakost čelní plochy ustřiženého špalíku, či deformace materiálu na konci špalíku.

Pro volbu řezání pilami je rozhodující požadavek dobré kvality řezné plochy na úkor menší produktivity, vyšší nákladů a ztrát materiálu ve formě odpadu. Obecně platí, že polotovary, které jsou v první operaci tváření prodlužované, je lepší je stříhat. A polotovary, které se musí nejdříve pěchovat, je lepší řezat, kvůli požadavku na přesnost čela. Řezání se též využívá pro řezání konstrukčních ocelí o větším průřezu. [6][7]

Řezání kyslíkoacetylenovým plamenem se doporučuje u polotovarů větších průřezů v podmínkách malosériové výroby, takže pro zápusťkové kování není vhodný. [18]

2.3.2 Ohřev materiálu pro zápusťkové kování

Zápusťkové i volné kování se řadí do objemového tváření oceli za tepla. To znamená, že tvářený materiál musí být ohřát nad rekrytalizační teplotu. K ohřevu se používají buď plynové, nebo indukční pece.

Pro ohřev materiálu v zápusťkových kovárnách přicházejí v úvahu podle konstrukce pece karuselové, talířové, komorové pece průchozí, komorové pece a štěrbinové pece.

Hlavní dělení pecí spočívá v použití paliva. Ohřev lze provést buď v plynových pecích, kde se pro ohřev používá jako palivo zemní plyn. Nebo je pro ohřev možné využívat elektrické energie, kdy se pece se rozdělují na indukční nebo odporové.

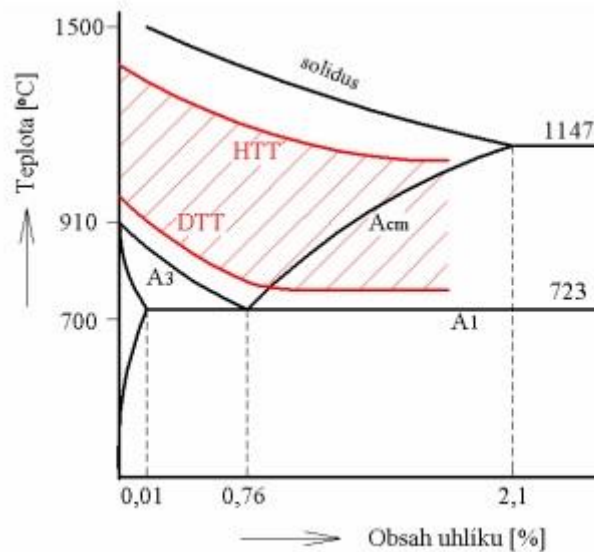
Indukční ohřev má jisté výhody, mezi něž patří menší propal $\delta = 0,5$ až 1 % oproti plynovým pecím které mají propal $\delta = 1$ až 3 %. Propal δ v procentech znamená, kolik procent materiálu ubude na jeden ohřev ve formě opalu, resp. okují. Předností indukčního ohřevu je jeho provozní spolehlivost, jednoduchá obsluha, i údržba, zkrácená doba ohřevu i její stejnoměrnost a stálost teploty. Zvláštní výhodou je poměrně jednoduchá automatizace ohřívacího pochodu a snadné spojení ohříváček a tvářecích strojů do ucelených, mechanizovaných a automatizovaných tvářecích výrobních linek s předem stanoveným časovým taktem výroby.

Oproti palivovým pecím mají indukční pece vysoké pořizovací náklady a malou přizpůsobivost pro výrobu členitých výkovek v malých sériích na několik operací, jejichž výroba vyžaduje více než jeden ohřev. Tyto nevýhody znamenají určité omezení použití indukčního ohřevu, proto plynové pece zůstávají stále hlavním zařízením pro kovárenský ohřev. [1][6][7]

Kovací teploty

Pro správnou tvárnost materiálu je třeba zajistit, aby byl materiál ohřát na dostatečně velkou teplotu, ale ne moc velkou, aby nedošlo k jeho znehodnocení spálením, rovněž nesmí mít při kování materiál nízkou teplotu, aby nedocházelo při kování ke vzniku trhlin, a aby se příliš rychle nesnižovala životnost zápustek.

Rozmezí kovacích teplot je dáno nejvyšší možnou teplotou, na kterou lze materiál ohřát, tzv. horní tvářecí teplota (HTT) a nejnižší přípustnou teplotou tváření, tzv. dolní tvářecí teplota (DTT). V tomto intervalu teplot jsou teploty tváření. Počáteční tvářecí teplota (PTT), je teplota, při níž se materiál začíná tvářet. A dotvářecí teplota (DT) je skutečná teplota na konci tváření. [2][6][7][16]



Obrázek 11: Tvářecí teploty v rovnovážném diagramu [6]

Obr.11 znázorňuje rozmezí tvářecích teplot.

Zjednodušeně lze psát, že

$$HTT = t_s - (150 \text{ až } 200) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.1)$$

Kde t_s je teplota solidu.

U podutektoidních ocelí se DTT nachází cca 50° nad A_3 , a u nadeutektoidních ocelí mezi A_1 a A_{cm} . [16]

Doba ohřevu

Doba ohřevu se stanovuje přibližně pomocí tabulek nebo diagramů nebo výpočtem. Doba závisí především na materiálových vlastnostech ohřivaného výrobku, jeho tvaru, a rozměrech i umístění v peci. Doba ohřevu má být co nejkratší, aby se dosáhlo co nejmenšího okujení a nejmenší spotřeby energie, ale zároveň natolik dlouhá, aby se dosáhlo rovnoměrného prohřátí a nejmenšího tepelného pnutí. [28]

Z jednoduchých vzorců empirické povahy se doporučuje vzorec podle Dobrochotova.

$$\tau = k_1 \cdot k_2 \cdot D \cdot \sqrt{D} \quad (2.2)$$

Kde k_1 je součinitel materiálové povahy. Pro konstrukční a nízkolegované oceli $k_1=10$, pro vysokouhlikové a vysokolegované oceli $k_1=20$.

Součinitel k_2 zahrnuje vliv uložení polotovaru v peci dle tab. D je strana nebo průměr ohřivaného polotovaru. [16]

způsob uložení	k_2	způsob uložení	k_2
	1,0		1,0
	1,0		1,4
	2,0		4,0
	1,4		2,2
	1,3		2,0
	1,7		1,8

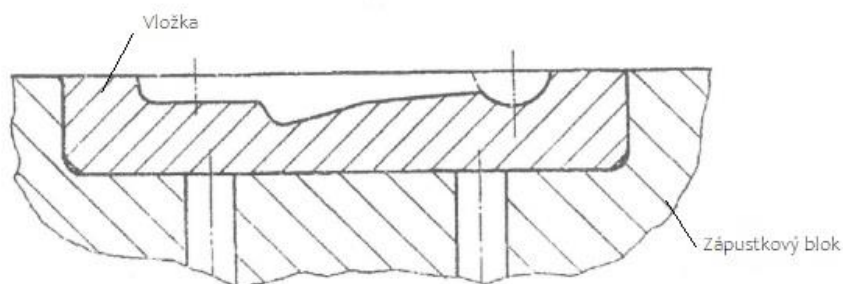
Tabulka 1: Opravné součinitele pro ohřev, při různém uložení v peci [16]

2.3.3 Nástroje zápusťkového kování

Pro zápusťkové kování se používá jed noučelových dvoudílných nástrojů, zápusťek, které jsou rozdílné podle toho, na který stroj jsou určeny. Směrnice pro konstrukci zápusťek jsou udány v normách ČSN 22 8306 zápusťky pro svislé kovací lisy, ČSN 22 8307 pro vodorovné kovací lisy, ČSN 22 8308 pro buchary a ČSN 22 8309 pro vřetenové lisy.

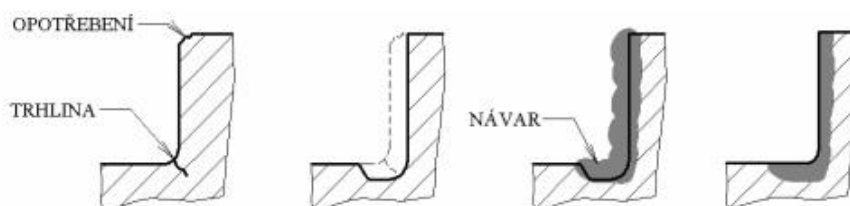
Materiál pro zápusťky se používá nástrojová ocel třídy 19. Mezi nejpoužívanější oceli zápusťek pro buchary se řadí 19 642, 19 665, 19 662 a 19650. Pro zápusťky na lisy pak 19 721, 19 552, 19 541, 19 662, 19 663. [21]

Pro větší zápusťkové bloky je hospodárnější použití zápusťek s vložkami. Vložky se vyrobí z jakostní zápusťkové oceli a držák zápusťky může být vyroben z běžné zápusťkové oceli nebo z jakostní konstrukční oceli. Vložky se do zápusťek lícují s přesahem H8/u7 a to za tepla nebo za studena. [6][10] Hospodárnější využití je pak především v tom, že vyrobit novou vložku je podstatně levnější než vyrábět novou celou zápusťku.



Obrázek 12: Zápusťková vložka [10]

Zápusťky se časem po kování v nich vlivem tepelného a rázového namáhání opotřebovávají a je nutná jejich oprava nebo výměna. V dutinách zápusťek se začnou objevovat trhlinky, které se vyskytují v místech největšího tlaku. Také postupně dochází ke zvrásnění povrchu či k vyboulení okrajových částí. Menší závady lze opravit přebroušením. Větší závady je nutné již opravit obrobením, pokud to dovoluje výška zápusťky. Alternativní způsob opravy je možný obrobením nebo vybroušením trhlinek a následným navařením a znovu obrobením, jak znázorněno na obr. 13.



Obrázek 13: Navařování zápusťek [6]

Jestliže se dutiny zápustek opravují navařením, je optimální, když přídavný materiál pro navaření odpovídá chemickému složení základního materiálu. [6][25]

2.3.4 Stroje pro zápustkové kování

Zápustkové výkovky je možno vyrábět na bucharech, na svislých klikových lisech, na vřetenových lisech nebo na vodorovných kovacích strojích. Každý z těchto strojů nachází v praxi jiné využití a omezení. Každý typ stroje také vyžaduje jiný přístup ke konstrukci zápustek, ke konstrukci výkovku i technologickému postupu.

Zápustkové kování na bucharech patří k nejrozšířenějším způsobům zápustkového kování. Uplatňuje se při výrobě malých a středních sérií. Na bucharech lze kovat součásti tvarově různorodé, výškově velmi členité, vidlicovité, se štíhlými žebry a vysokými výstupky. Buchary pro zápustkové kování se dělí na padací, parovzdušné dvojčinné a protiběžné.

Zápustkové kování na vřetenových lisech se uplatňuje zejména v malosériové výrobě s pestrým a proměnlivým výrobním programem, kde nahrazují řadu jiných, vesměs jednoúčelových strojů. Na těchto strojích byla úspěšně zvládnuta technologie kování ozubených kol, a to jak s ozubením na hotovo, tak s nepatrným přídavkem na obrábění. Pracovní postup se podřizuje kování v jednodutinové zápustce jedním úderem. Větší počet úderů by byl neproduktivní a rychle by snižoval životnost spodního nástroje, kvůli delšímu styku a chladnutí výkovku. Výkovky, jejichž tvar vyžaduje jiný postup, se vyrábí na vhodnějších tvářecích strojích.

Zápustkové kování na svislých klikových lisech je odlišné od kování pod buchary anebo pod vřetenovými lisami. Klikové kovací lisy pracují klidným tlakem. Nevýhodou u těchto strojů je, že okuje, opadají hůře než na bucharu, což může způsobovat jejich nežádoucí zatlačení do povrchu výkovku. Proto se musí okuje odstraňovat anebo ohřívat materiál tak, aby množství vzniklých okují bylo co nejmenší, čehož lze dosáhnout např. indukčním ohřevem. Na těchto strojích musí být výkovek v dokončovací dutině vykovan na jeden zdvih.

Zápustkové kování na vodorovných kovacích strojích je v podstatě kování na klikových lisech s horizontálním pohybem nástroje, které mají navíc ještě pomocnou svěrací čelist, jímž se výchozí polotovár sevře a poté se jeho volná část kove. Na těchto strojích se zásadně kove v třídlých zápustkách se dvěma na sebe kolmými dělicími rovinami. Výhodou jsou velmi malé technologické přídavky na osově souměrné součásti. Ale jsou zde zvýšené nároky na rozměrovou přesnost výchozího polotovaru a nutnost indukčního ohřevu. [7][16][18][26]

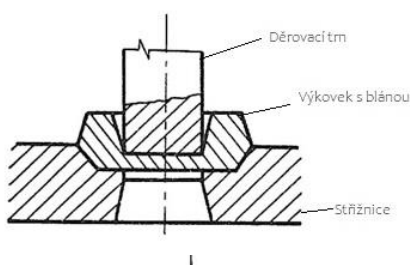
Volba velikosti stroje pro zápustkové kování

Velikost kovacího stroje je u bucharů závislá na stanovení potřebné rázové práce. U lisů pak na stanovení potřebné kovací síly.

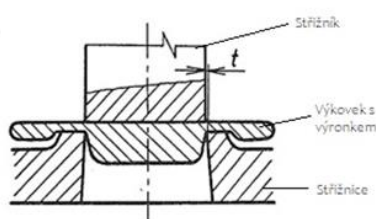
Pro určení kovacích sil pro lisy, či potřebné rázové práce pro buchary jsou dány vzorce k výpočtu v normách pro konstrukci zápustek. Pro svislé kovací lisy ČSN 22 8306, pro vodorovné kovací lisy ČSN 22 8307, pro buchary ČSN 22 8308, pro vřetenové lisy ČSN 22 8309.

2.3.5 Úprava zápustkových výkovků

Po vykování výkovku v dokončovací dutině je v závislosti na technologickém postupu a požadavcích, zapotřebí provést další úpravy pro dosažení finálního tvaru výkovku. Mezi tyto operace patří ostřížení výronku, děrování blány, rovnání a kalibrování. Výronek se musí od výkovku vždy ostříhnout. (Obr. 14) K tomu se používají nástroje upnuté na ostřihovacích lisech. U výkovků s otvorem se v zápustce nekove otvor, ale vytvoří se blána, která se následně odstříhne. Pro odstřížení výronku a blány se můžou buď použít dva přípravky zvlášť anebo lze ostřihovací nástroj konstruovat tak, že výronek i blána se ostříhnou v jednom zdvihu po sobě. [1][3][6][21]



Obrázek 14: Děrování výkovku



Obrázek 15: Ostřížení výronku

Síla F potřebná pro ostřížení výkovku se spočítá z velikosti stříhané plochy S . Pevnost materiálu ve stříhu je 0,8 pevnosti v tahu. Jelikož jde o ostřížení výronků, kde střížník pouze tlačí na výkovek, je síla 1,7krát větší. Z důvodu bezpečnosti se počítá, tloušťka výronku dvojnásobná. [3][7] Vztah pro výpočet velikosti střížné síly:

$$F = 1,7 \cdot 0,8 \cdot \sigma_s \cdot O_v \cdot 2h = 2,7 \cdot \sigma_s \cdot O_v \cdot h \quad (2.1)$$

F [N] - střížná síla σ_s [MPa] – pevnost oceli za kovací teploty

O_v [mm] - obvod výkovku h [mm] – tloušťka výronku

Určité výkovky, zejména podlouhlé s tenčím průřezem se po ostřížení zdeformují, z toho důvodu se provádí po ostřížení ještě rovnání za tepla. U malých výkovků se provádí

rovnání i za studena. Výkovky se také mohou deformovat při vyjímání zápustek, zvláště pokud v ní uvízne. Rovná se buď v dokončovací dutině, nebo ve zvláštní rovnací zápustce upnuté na ostříhovacím lisu. [3][18]

2.3.6 Vady zápustkových výkovků a jejich příčiny

Tabulka 2: Vady zápustkových výkovků [7]

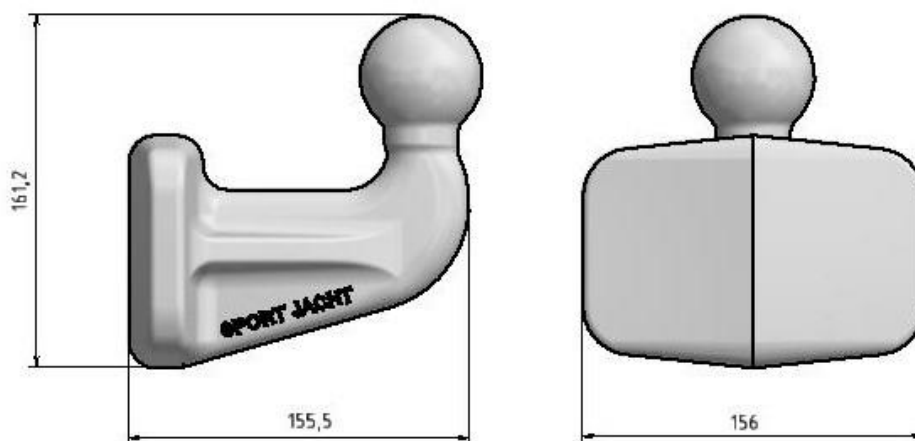
Vady zápustkových výkovků	
Druhy vad	Příčina vady
Zakované okuje	Špatně očištěný polotovár nebo zápustky, nedostatečné odstranění okují při předkování.
Otlučeniny	Mechanická poškození povrchu způsobená při vyjímání (vytloukání) uvízlých výkovků ze zápustek, při manipulaci, během ochlazování, stříhání apod.
Nedokovaný výkovek	Je ovlivněn konstrukcí zápustky, dávkováním výchozího materiálu, teplotou výkovku, velikostí stroje, mazáním.
Přesazení výkovku	Přesazení spodní části výkovku vzhledem k dělicí rovině zápustky.
Přeložky	Vzniká tečením tvářeného materiálu v malém zaoblení přechodu. ^[8] Také vlivem nerovnoměrného rozložení teploty výchozího materiálu. ^[13] Nebo zavalení výronku z první operace. ^[7]
Otřep	Zbytek výronku po ostřížení. Jeho velikost je ovlivněna tvarem a rozměry kovací zápustky.
Prohnutí	Odchýlení os a ploch výkovků od jejich správné polohy. Prohnutí vzniká zvláště u tvarově složitých výkovků a u výkovků s větší délkou při ochlazování, ostříhování a odstraňuje se rovnáním.
Trhliny	Trhliny vznikají porušením plasticity materiálu, můžou nastat vlivem nadměrné velikosti úderu bucharu na malou plochu výkovku.

3 ROZBOR A POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU

Hospodárnost kování a stabilita výrobního procesu je dána do velké míry tím, na jakých strojích se vyrábí, jak jsou dodrženy směrnice návrhu výkovku dle norem, správně navrženým polotovarem pro kování, ohřevem na vhodné tvářecí teploty i mazáním zápustek.

3.1 Představení řešeného výkovku

Kulový čep je vyráběn z přířezu kruhové tyče o průměru 130 mm a délce 134 mm. Vsázková hmotnost je 14 kg a hmotnost výkovku je 5,7 kg. Z toho vyplývá, že 8,3kg materiálu je odpadní hmotnost. Jedním z důvodů optimalizace procesu kování výkovku kulového čepu je právě velká odpadní hmotnost materiálu. Dalším důvodem je vada chybějícího materiálu po vykování v rozích nejvzdálenějších od dělicí roviny.



Obrázek 16: Základní rozměry výkovku kulového čepu

Na obrázku 16 jsou základní rozměry výkovku.

Materiál, ze kterého je výkovek vyráběn, je ocel 13 240. Chemické složení materiálu a jeho mechanické vlastnosti jsou uvedeny v materiálovém listě, viz příloha č. 3. Výkovek se dále obrábí a je příslušenstvím k tažnému zařízení, foto viz příloha č. 2.

3.2 Popis stávajícího technologického postupu

Dle technologického postupu, dále jen TP, se nejdříve musí uříznout tyče o hmotnosti 14,00 až 14,2 kg. Kusy se musí označit číslem zakázky, počtem kusů a tavnou, tak aby nedošlo k záměně.

Před začátkem výroby se kontroluje nářadí, jestli má správné značení, není opotřebované, a kontroluje se také nářadí na stříhání. Pokud je nářadí v pořádku, může se upnout na stroj. Zápustky se předehřívají na teplotu 250-300°. Přířezy kruhových špalíků se ohřejí v průběžné plynové peci tak aby tvářecí teplota byla 1150 °C (+50 °C). Doba ohřevu se odhadem stanoví dle tabulky nebo diagramu, tak aby byl materiál prohřát v celém průřezu. Výkovky se musí na několika prvních kusech na začátku výroby proměřit a zkontrolovat, předně na celkový tvar, zda výkovek tvarově vyhovující. Dále na přesazení, které ověří správné upnutí zápustek, a na rozměry ve směru s rázem, které ukážou, zda je např. potřeba dát o jednu ránu navíc pro dokování. Pak se kontroluje průběžně dle potřeby a vždy na začátku nové směny. Po vykování se nechávají výkovky volně chladnout na vzduchu. Provede se celková vizuální kontrola, neshodné výkovky se vyřadí na opravu nebo do šrotu a shodné výkovky se tepelně zpracovávají zušlechťením na pevnost R_m 800-900 MPa. Po tepelném zpracování se provádí měření tvrdosti. Tvrdost musí být 244-275 HB. Pokud je tvrdost v pořádku, výkovky se pak tryskají v bubnovém tryskači. Poté se výkovky znovu kontrolují. Dle TP se změří také poslední výkovek ze série na rozměry kolmé i vodorovné s dělicí rovinou, a spolu s tím se zkontroluje i stav zápustky. Pokud je to třeba, povrchové vady se na výkovicích mohou opravovat broušením do určité hloubky dle ČSN 42 0271 - Výkovky ocelové zápustkové. Nakonec se výkovky připraví k expedici a podle dodacích podmínek se vystaví atest s potvrzením o shodě výkovků s objednávkou, čímž se také zkontroluje i dodržení všech předchozích bodů v TP.

3.3 Technologické možnosti společnosti PBK-ZK

Ve společnosti PBK-ZK jsou ke kování zápustkových výkovků tři protiběžné buchary. V současné době je možné výrobu realizovat na protiběžném pásovém bucharu Beche13 s hmotností horního beranu 12t, nebo na pneumaticko-hydrálním protiběžným bucharu Beche16 s hmotností horního beranu 25t. Každý kovací buchar má k sobě přiřazený předkovací buchar, pec pro ohřev materiálu a lis pro ostřížení výronku.

Kovací soubor s bucharem Beche13 používá jako předkovací stroj jednojstanový buchar s hmotností beranu 1500 kg a ostříhvací lis LKO500. V kovacím souboru s bucharem Beche16 je předkovací buchar dvojstojanový s hmotností beranu 1700 kg a ostříhvací lis LUD800. Protiběžný pásový buchar Beche20 má v kovacím souboru předkovací buchar s hmotností beranu 2000 kg a ostříhvací lis LKO500. Dle přílohy 4, lze na bucharech předkovávat výkovky až o tloušťce 500 mm a na nejmenším předkovacím bucharu až do tloušťky 450 mm. Pro manipulaci s těžkými výkovky se používají kolové manipulátory o nosnosti 500,700 a 1000 kg. Nejtěžší výkovky se kovou až do 160 kg.



Obrázek 18: Jednostojanové kladivo 1500 kg



Obrázek 17: Protiběžný buchar pásový Beche 13

3.4 Volba velikosti bucharu

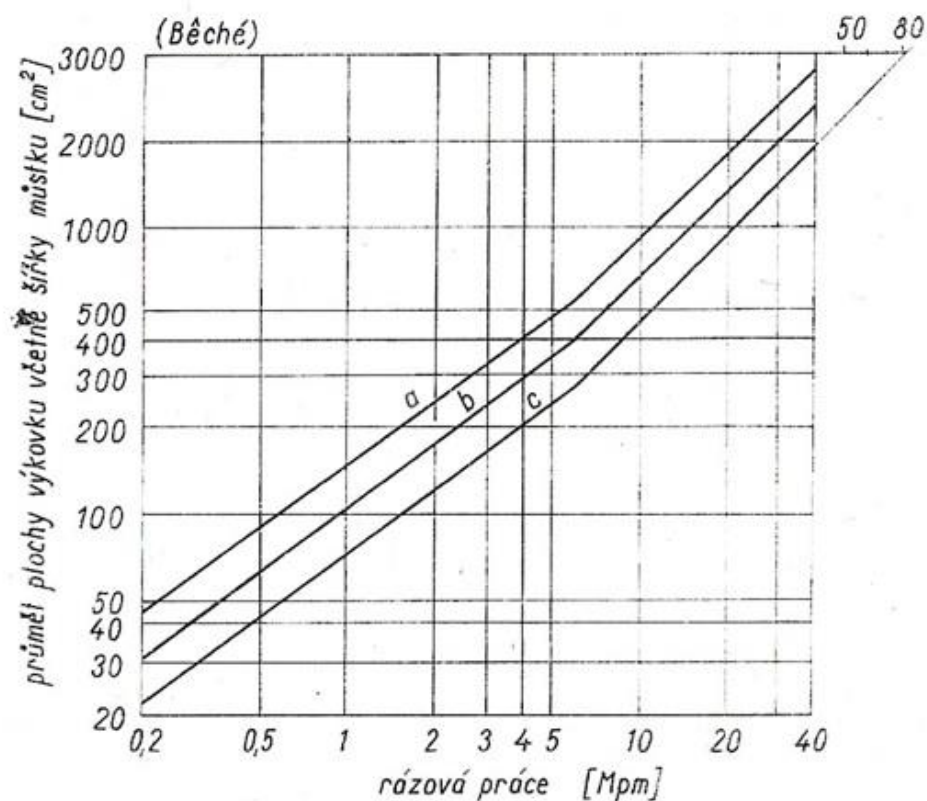
Volba velikosti bucharu vždy závisí na technologických možnostech firmy. Buchary jsou charakteristické svojí hmotností beranu a rázovou prací.

Počítání rázové práce čili úderové energie je velmi nepřesné. Rázová práce je závislá na velmi mnoha činitelích, které mají vliv na přetvárný odpor, mezi něž patří přetvárný odpor, energie bucharu a jeho hnací médium i tvar předkovku.

Přetvárný odpor, je při práci za tepla citlivě závislý na odchylkách ve složení a na teplotě. Energie bucharu je sotva přesně známá a kolísá značně například s tlakem hnacího

prostředku (páry nebo vzduchu). Značný vliv na energii potřebnou k vykování určitého výkovku má tvar předkovku. Tato skutečnost není zahrnuta v žádném výpočtu, a přece může až o 100 % ovlivnit výsledek. Například kolo prstencového tvaru se může kovat z plného předkovku nebo z předkovaného věnce. V druhém případě je potřeba pro vykování zhruba jen poloviční energie. Správně předkovaný předkovek vyžaduje pro dohotovení v zápustce poměrně malou energii oproti hrubému a nepromyšlenému tvaru předkovku. Ovšem buchar má do určité míry možnost zvýšením počtu úderů zvýšit celkovou přetvárnou práci.

Vzhledem k velkému množství činitelů ovlivňujících přesnost výpočtu se dává přednost přibližnému určování potřebné rázové práce z nomogramů.[24] Vztah pro výpočet rázové práce bucharu je uveden v normě ČSN 22 8308, a použití se vztahuje na poslední úder, kdy je potřebná rázová práce největší. Nomogram pro buchary z literatury od profesora Františka Drastíka [24] je na Obr.19.



Obrázek 19: Nomogram potřebné rázové práce [24]

V nomogramu jsou tři křivky, rozsah mezi křivkami a-b platí pro jednoduché výkovky a poměrně tlustostěnné výkovky s velkým zaoblením hran. Křivka b platí pro výkovky střední obtížnosti, a rozsah mezi křivkami b-c platí pro obtížné výkovky s velkými požadavky na stoupavost materiálu. Zleva se odečítá plocha výkovku v dělicí rovině a započítává se i část

plochy výronkové drážky, v literatuře [24] je uvedeno přičítání plochy můstku. Je to tak správně, protože v zásobníku se při správně provedeném kování už kov nestlačuje, ale pouze do zásobníku vytéká a tvoří výronek.

Rázová práce se dnes běžně také udává v kilojoulech [kJ]. Tedy jednotky Mpm – Megapondmetr je nutno převést. $1\text{Mpm} = 1000\text{ kpm} = 9806,65\text{ Nm} = 9,807\text{ kJ}$. Přibližně lze tedy z diagramu odečítat kJ, jako desetinásobek 1 Mpm.

Podle odečtené rázové práce se pak dosadí do vztahu pro výpočet beranu, který uvádí také norma ČSN 22 8308. Vztahy jsou v následující tabulce.

Tabulka 3: Výpočet hmotnosti beranu [10]

Výkovek	Buchar	
	jednočinný	dvojčinný
kruhový	$m = \frac{A}{1,1}$	$m = \frac{A}{1,8 - 2,8}$
nekruhový	$m = \frac{A_n}{1,1}$	$m = \frac{A_n}{1,8 - 2,8}$

Přesný koeficient (1,8—2,8) se stanoví podle pasportu a stavu stroje (opravy válce zvětšují činnou plochu pístu).

Na výkovku kulového čepu byla odečtena plocha v dělicí rovině $F_D = 15\,132\text{ mm}^2$. K tomu je potřeba uvažovat plochu výronkové drážky. Dle současného modelu zápustky bylo odečteno, že plocha můstku je 5741 mm^2 . Celkově tedy odečítaná plocha z nomogramu bude **20873 mm²**. S převedením a zaokrouhlením se z nomogramu odečte rázová práce od plochy něco málo nad 200 cm^2 , do oblasti mezi křivky b-c. A odečte se, že potřebná rázová práce na jeden úder by měla mít 30 až 40 kJ.

Když je přibližně určena rázová práce na poslední úder, lze přikročit k výpočtu hmotnosti beranu. Vztah uvedený v tabulce 3, říká, že hmotnost beranu se pro dvojčinné buchary spočte dle vztahu:

$$m = \frac{A_n}{1,8 - 2,8} \tag{3.1}$$

Po dosazení za A_n a volbě koeficientu, například 2,2 vychází, že hmotnost beranu by měla být někde okolo vypočtené hodnoty.

$$m = \frac{35}{2,2} = 15,9\text{ t.}$$

Po zvolení středních hodnot, to vypadá, že by bylo možné kovat výkovek na bucharu s hmotností beranu 13 tun, přesto se kove na bucharu s hmotností beranu 25 tun. Důvodem může být vyšší vsázková hmotnost.

3.5 Volba velikosti ostřihovacího lisu

Síla pro ostřihování výronku se vypočítá dle vzorce:

$$F_s = 2,7 \cdot \sigma_s \cdot O_v \cdot h \quad (3.2)$$

Kde

F_s [N] - střížná síla σ_s [MPa] - mez pevnosti v tahu za kovací teploty

O_v [mm] - obvod výkovku h [mm] – tloušťka výronku (výška můstku)

Pro stanovení σ_s se se z materiálového listu, v příloze č. 3, odečte pevnost v tahu R_m . Pro válcované tyče za tepla v rozměru od 40 do 100 mm musí mít materiál pevnost za studena 780 až 930 MPa. Následně se z normy ČSN 22 8308 odečte pevnost oceli za teploty asi 800 °C, což je přibližná teplota výkovku v místě stříhu.

Dle tabulky 3 volím pevnost materiálu pro stříhání 17 kp/mm², s přibližným převodem na 170 MPa.

Tabulka 4: Pevnost oceli za kovací teploty [10]

T °C	Pevnost oceli σ_{pt} kp/mm ²				Ložiskový materiál
	40	60	80	100	
	Pevnost oceli za kovací teploty				
1300	1,4	2,0	2,4	3,0	—
1200	1,8	2,2	3,6	5,0	—
1100	2,2	3,6	5,1	6,8	3,5
1000	3,0	5,4	7,5	10,9	6,0
900	4,5	7,5	11,5	15,9	9,0
800	6,6	11,1	15,5	23,0	14,0
700	9,5	15,0	25,0	33,0	—

Přesnější hodnoty jednotlivých materiálů jsou v materiálových listech

Obvod výkovku byl změřen na 617,22 mm.

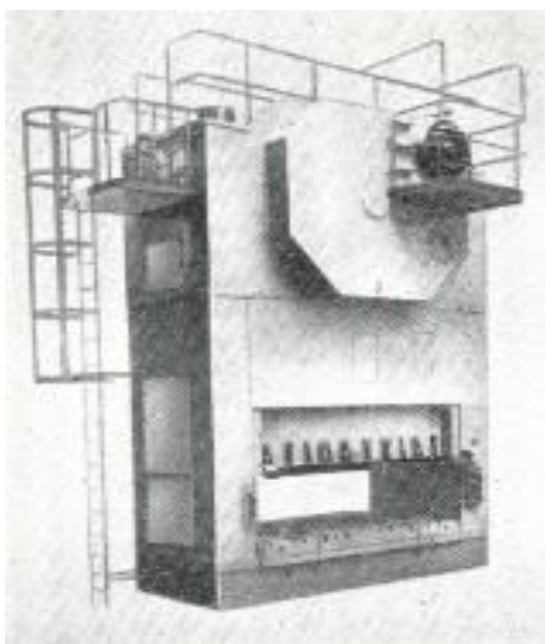
Tloušťka výronku je vlastně výška můstku, která je navržena na 3 mm.

$$F_s = 2,7[-] \cdot 170 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \cdot 617[mm] \cdot 3[mm] = 849609 N \cong 850 kN$$

Pro ostřížení je možné dle technologických možností použít dvoubodový klikový lis LUD 800 s jmenovitou silou 800 Megapond, což je po převodu na Newton jednotky 7845,32 kN.

Nebo se může použít klikový ostříhovací lis s jmenovitou silou 500 Mp, což je po převodu 4903.325 kN. Z uvedeného je vidět, že oba lisy pro ostřížení jsou silově dostačující.

Při kování na bucharu Beche 16, je pro ostřížení použit klikový ostříhovací lis LUD 800. Pokud by se ukázalo, že výkovek je možné kovat i na bucharu Beche 13, ostříhovací lis LKO 500 bude v kovacím souboru pro ostřížení silově dostačující. Výhodou lisu LUD 800, je že má poměrně velkou upínací plochu, tak že na něm lze mít zároveň přípravky pro ohyb i pro stříhání.



Obrázek 21: Dvoubodový klikový lis LUD 800[9]



Obrázek 20: Ostříhovací lis LUD 800/315 v provozu

Tabulka 5: Základní parametry lisu LUD800/315 [9]

Jmenovitá síla	800 Mp
Průchod	3150 mm
Zdvih beranu	315 mm
Počet zdvihů/min.	9
Pracovní dráha	54 mm
Upínací plocha beranu	3080 x 1400 mm
Upínací plocha stolu	3080 x 1700 mm

Lis je určen i pro běžné tvářecí operace, ale hlavní využití má v silově náročném stříhání. [9]

3.6 Konstrukce výkovku

Aby bylo hospodárné a realizovatelné výkovek vyrábět, je nutné držet se určitých zásad, které mohou vycházet ať už z norem nebo zkušeností a tradic daného závodu. Při konstrukci výkovku se musí řešit, jaké budou přídatky na obrábění, kde bude nejvýhodnější umístění dělicí roviny, jaké bude mít výkovek úkosy, poloměry zaoblení, technologické přídatky a také jaké budou odchylky rozměrů.

3.6.1 Dělicí rovina

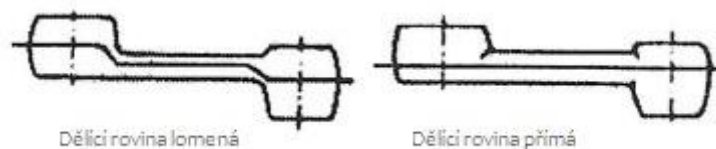
Dělicí rovinou se rozumí plocha, která rozděluje zápustku na jednotlivé díly tak, aby bylo možné výkovek vyjmout z dutiny zápustky. Poloha dělicí plochy vzhledem k výkovku může být dle ČSN 42 9002 buď ve směru hlavní osy výkovku, nebo kolmo na hlavní osu výkovku. V obou případech se výkovky dále rozlišují na výkovky vůči dělicí ploše souměrné a výkovky nesouměrné. Detailní rozdělení výkovků dle tvarového druhu, třídy, skupiny a podskupiny je popsáno v ČSN 42 9002.

Při volbě polohy a tvaru dělicí plochy je třeba brát v úvahu snadné vyjímání výkovku, příznivé plnění dutiny, minimalizace spotřeby kovu, co nejmenší hloubku dutiny, příznivý průběh vláken, cenu zápustky a ostříhovadla i plochy pro upnutí na obrábění. [8]

Obecné zásady pro volbu dělicích ploch jsou:

- Dělicí plocha by měla výkovek dělit ve všech částech, pokud možno na dvě výškové části a současně by měla být, pokud možno přímá.
- Tvar dělicí plochy bude odpovídat tvarové složitosti výkovku.
- Může být výhodnější, když směr vláken po kování bude sledovat směr maximálního tahového napětí při provozním namáhání výkovku.
- Dělicí plocha by měla být umístěna takovým způsobem, aby usnadňovala tok materiálu a nedocházelo ke vzniku přeložek.
- Umístění dělicí plochy by mělo být voleno tak, aby usnadňovalo upnutí výkovku pro následné obrábění.

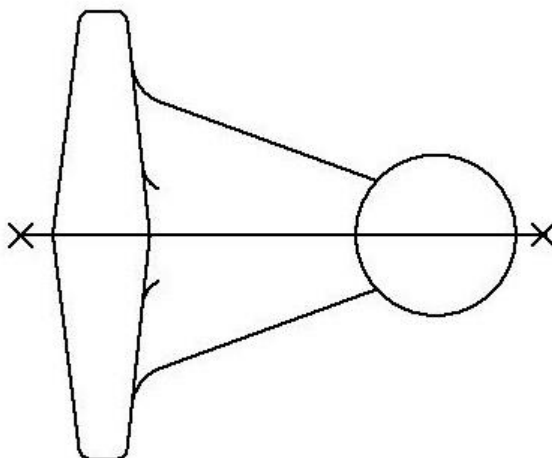
Některé typy výkovku dovolují určitou variabilitu volby dělicí roviny, a u některých je tato volba zase omezena tvarem výkovku.



Obrázek 22: Volba dělicí roviny [8]

Na obrázku 22 je vidět, že lze zvolit na jednom typu výkovku dělicí roviny buď lomenou, nebo rovinnou. U lomené dělicí roviny to znamená v tomto případě příznivější tok materiálu a usměrnění vláken a tím i úsporu materiálu celkově, ale za cenu složitější výroby zápustky a také složitější přípravy na ostřížení. [8]

V případě volby dělicí roviny kulového čepu, je variabilita volby omezena tvarem výrobku. Dělicí rovina byla zvolena, jak je vidět na obrázku:



Obrázek 23: Dělicí rovina výkovku kulového čepu

3.6.2 Přídavky na obrábění

Všechny obráběné plochy výkovku se kovou s přídavkem na obrábění.

Přídavky na obrábění se dávají proto, že výkovky kované v zápustkách nedosahují rozměrové přesnosti, ani kvality povrchu funkčních ploch hotové součásti.

Přídavky na obrábění jsou nutné z hlediska požadované rozměrové přesnosti, tvarové přesnosti, a pro dosažení požadované kvality povrchu výkovku. [8]

Přídavky na obrábění jsou určeny dle ČSN 42 9030, hodnoty uvedené v tabulce se vztahují k obráběné ploše. Pokud se navrhuje přídavek na obrobení průměru nebo obrobení po obvodu, je nutno tuto hodnotu zdvojnásobit. Norma pak rozlišuje přídavky na obvyklé

provedení ČSN 42 9030.1, přesné provedení ČSN 429030.2, a velmi přesné provedení ČSN 42 9030.3, anebo podle dohody ČSN 429030.9. Čím přesnější provedení je, tím menší přídávky se zvolí. [11] Výkovek má být navržen pro obvyklé provedení.

Pro kování ocelových zápustkových výkovek uvádí norma ČSN 42 9030 v informační příloze 5 stupňů tvářitelnosti ocelí. Čím je číslo vyšší, tím je tvářitelnost horší. Hodnoty uvedené v tabulkách normy platí do stupně tvářitelnosti 3, pro stupeň tvářitelnosti 4 je nutné hodnoty zvýšit o 20 % a pro stupeň 5 zvýšit o 40 %. Materiál 13240 je ve stupni tvářitelnosti 1, takže se hodnoty nezvyšují.

Výkovek kulového čepu má být kován v obvyklém provedení. Přídávky na obrábění pro obvyklé provedení jsou uvedeny v tabulce. Aby mohly být odečteny přídávky na obrábění, je nutné nejdřív určit největší výšku hotového výrobku a střední hodnotu šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu. Střední hodnota se určí jako průměr.

Tabulka 6: přídávky na obrábění pro obvykle provedení [11]

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

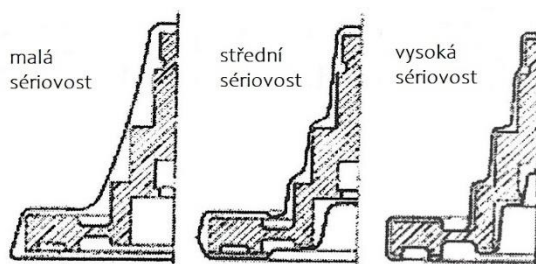
Největší výška hotového výrobku bude ve sloupci od 100 do 160 mm. Střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu bude také v rozmezí 100 až 160 mm. Od společnosti SPORT JACHT Praha, s.r.o. nebyl z praktických důvodů v době ověřování výkresu obrobku k dispozici, ale byla poskytnuta informace, že se čep obrábí na průměr 50 mm. Na fotce v příloze č. 2 je vidět co se obrábí. Průměr čepu na výkrese výkovku je 56 mm. Přídavek na poloměr by měl být zdvojnásobený, to znamená, že do výkresu výkovku jsou přídávky na obrábění určeny ve shodě s ČSN 42 9030.1 na 3 mm.

3.6.3 Technologické přídávky

Technologické přídávky jsou obecně dané charakterem použité technologie. Pokud je tvar výkovku příliš složitý a není možné dosáhnout vykování všech detailů, pak se zaplní materiálem. Technologické přídávky lze odstranit obráběním nebo dokončovacími tvářecími operacemi, například děrováním.

Podle terminologie ČSN 42 9030 se technologickými přídávky rozumí takové přídávky, jimiž se doplňuje tvar výkovku na tvar vhodný pro kování, přičemž se jedná o úkosy, rádiusy, blány a tloušťky stěny.

Přídávky mohou rovněž zůstat a tvořit část hotové součásti ve formě úkosů, přechodů apod. Velikost a počet technologických přídávků může být ovlivněna zvolenou technologií kování, tj. tvářecím strojem, teplotou kování, zvoleným postupem kování, počtem tvářecích operací. [8]

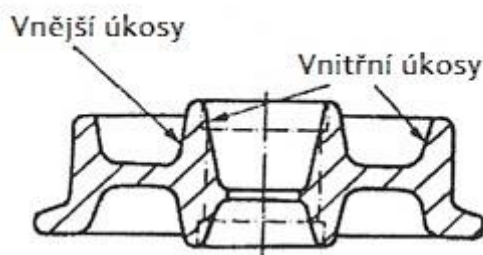


Obrázek 24: Technologické přídávky [8]

Z ilustračního obrázku lze vidět, jak stupňovitá součást může mít větší technologické přídávky při malé sériovosti. Při větší sériovosti pak technologické přídávky mohou klesat s hmotností výkovku, ale za cenu složitějšího nářadí a sofistikovanějšího technologického postupu.

3.6.4 Úkosy

Úkosy se dělají obvykle na svislých plochách ve směru rázu. Umožňují vyjmutí výkovku z dutiny, ale znamenají materiál navíc. Úkosy se rozlišují na vnější a vnitřní. U vnějšího úkosu vzniká při chladnutí vůle mezi výkovkem a stěnou dutiny zápustky. Vnitřní úkos je ten, u kterého je výkovek přitlačován ke stěně zápustky. [8] Vnější a vnitřní úkosy jsou ilustrovány na následujícím obrázku:



Obrázek 25: Vnější a vnitřní úkosy

Pro volbu velikosti úkosů platí následující pravidla:

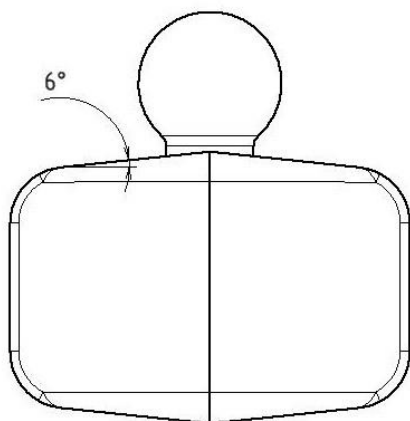
- Lisy mohou mít nižší hodnoty úkosů, pokud jsou opatřeny vyhazovači, které pomůžou mechanicky výkovek vyhodit ze zápustky. Na bucharech vyhazovače nebývají, proto musí mít větší úkosy, aby výkovek v zápustce neupíval během kování.
- V případě hluboké dutiny se volí menší hodnoty úkosů než pro mělkou dutinu.
- Pro předkovací dutiny se obvykle volí větší hodnoty úkosů než pro dokončovací dutinu.
- Při větší sériovosti s vysokými požadavky na přesnost lze hodnoty úkosů snižovat, případně použít i bezúkosové kování, ale za cenu složitějšího postupu anebo složitější konstrukce nástroje.
- Volba velikostí úkosů je předmětem dohody mezi výrobcem výkovek a jejich odběratelem. Horní hranice stanovuje výrobce pro usnadnění výroby a dolní hranici stanovuje zákazník pro nižší hmotnost a menší nároky na obrábění. Velikosti úkosů se běžně udávají v hodnotách 0°, 1°, 3°, 5°, 7° a 10° a jsou obsaženy v normách ČSN 42 9030, DIN 9005 a DIN 7523.

Výkovek kulového čepu má pouze vnější úkosy.

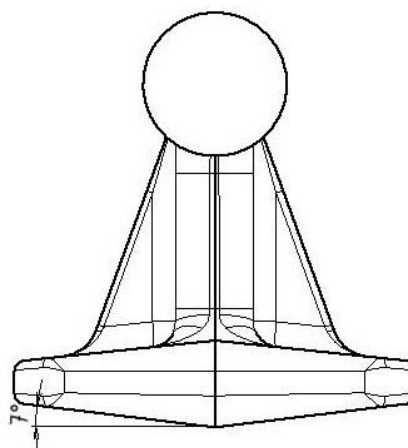
Tabulka 7: Hodnoty úkosů dle ČSN 42 9030 [11]

	vnější	vnitřní
Zápustkové výkovky se běžně vyrábějí s úkosy	3°	7°
Vzhledem k rozdílné úrovni technologického zařízení výrobců výkovek se dovolují úkosy – pro buchary a lisy bez vyhazovače	7°	10°
– lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
– vodorovné kovací stroje	0 až 5°	0 až 5°

Poznámka: Hodnoty úkosů obvyklého provedení jsou hodnoty, ke kterým se porovnává provedení se sníženou hmotností.



Obrázek 26: úkos 6°



Obrázek 27: úkos 7°

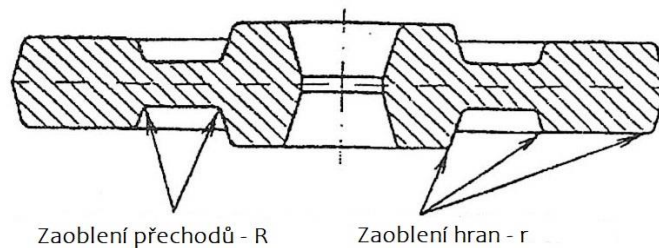
Na obrázcích výše jsou zobrazeny úkosy výkovku kulového čepu.

Norma dovoluje vnější úkosy pro zápuskové výkovky kované na bucharech 7°. S tím, že je uvedeno, že běžně se zápuskové úkosy dělají s vnějšími úkosy i 3°. V tomto ohledu není norma závazným předpisem, ale dává pouze doporučení a nechává každému konstruktérovi určitý prostor pro volbu, protože pro každý jednotlivý výkovek mohou být vhodnější jiné úkosy. Platí zde úměra, že čím menší úkosy jsou, tím větší je riziko ulpívání výkovku v zápusce, což může vést k výrobním problémům a nesnadnému vyjímání. Oproti tomu velké úkosy zvyšují hmotnost výkovku a zvětšují přídatky na obrábění. Platí také pravidlo, že mělčí dutiny mohou mít úkosy menší, ale hlubší dutiny by měly mít úkosy větší.[8] Tím, že je dutina zápusky poměrně hluboká, je úhel 7° dobře odůvodnitelný. Úhel 6° je dle normy také v pořádku. Ostatní nekótované úhly, ty se týkají pouze výztužných žebor, mají předepsaný úhel 1:10. Z výkresu bylo odečteno, že úhel má na žeboru 5,43° na šířku, a 2,06° na délku. Z hlediska menší hloubky žebra v dutině, než má plocha spodní desky výkovku, se dá předpokládat, že ulpívání výkovku v zápusce by se stávat nemělo.

3.6.5 Poloměry zaoblení

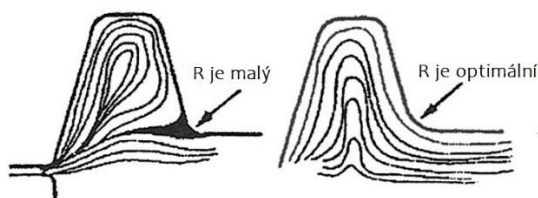
Poloměry zaoblení se definují jako vnější, dle ČSN 42 9030 s označením „r“ pro zaoblení hran, kdy stýkající úhel dvou ploch je větší než 180°.

Vnitřní zaoblení s označením „R“ je, kdy zaoblení přechodů má stýkající úhel mezi dvěma plochami menší než 180°.



Obrázek 28: Zaoblení přechodů a hran [8]

Poloměry zaoblení mají vliv na způsob toku materiálu v dutině zápusťky a její zaplňování. Jestliže budou vnější poloměry hran r na výkovku příliš malé, budou vyžadovány větší tlaky na zaplnění dutiny zápusťky a tím pádem větší celková kovací síla. To prakticky znamená větší potřebný počet úderů pro vykování, což může vést k nutnosti dalších přehřevů na kovací teplotu. Jestliže budou vnitřní poloměry R příliš malé, mohou mít za následek vznik přeložek.

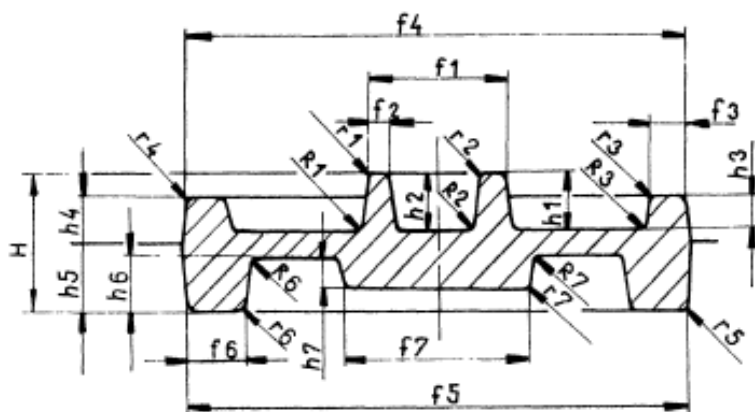


Obrázek 29: Vliv zaoblení na vznik přeložky [8]

Na obrázku 33 je ukázáno, jak kvůli menšímu poloměru zaoblení vznikne přeložka, vedle toho je větší poloměr zaoblení bez vzniku přeložky.

Správné poloměry zaoblení navíc zvyšují odolnost výkovků proti mechanickému namáhání, neboť redukuje velikost napětí v oblasti koncentrace napětí, ke které dochází v oblasti ostrých přechodů.

Na výkovku se stanovují poloměry zaoblení a přechodů dle ČSN 429030. Norma nespécifikuje poloměry zaoblení pro přesné a velmi přesné provedení, tak jako u přídavek na obrábění, ale pro všechny provedení jsou doporučeny stejné hodnoty.



Obrázek 30: Stanovení velikost poloměrů zaoblění [11]

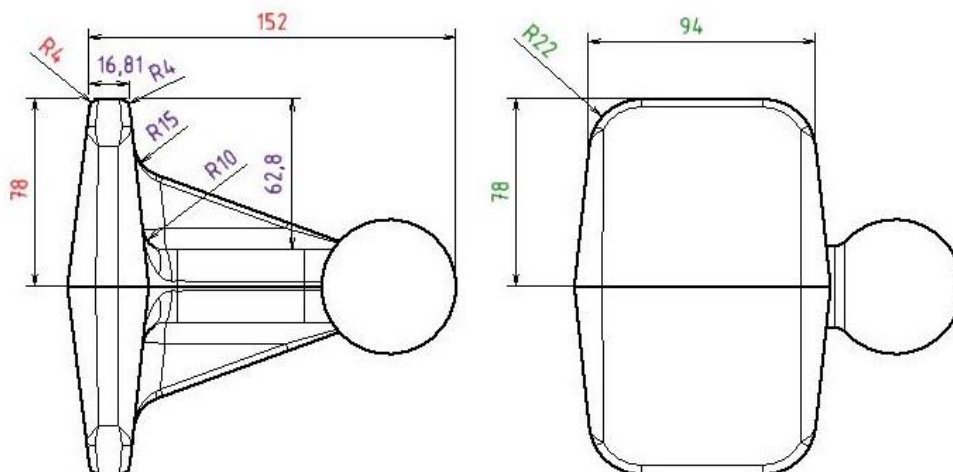
Tabulka 8: Velikost zaoblění hran a přechodů [11]

Rozměry v mm

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

Poloměry zaoblění se stanovují tak, že každý jeden poloměr má k sobě přidruženou výšku (hloubku) a šířku. Tak například pro r_5 z obrázku 31, je nějaká hloubka h_5 a nějaká šířka f_5 . Tyto rozměry se odečtou z výkresu výkovku a následně se v tabulce najde doporučené optimální zaoblění.

Po ověření poloměrů na výkovku kulového čepu bylo zjištěno, že poloměry zaoblění a hran nejsou stanoveny přesně dle ČSN 42 9030.



Obrázek 31: Poloměry zaoblení hran na výkovku kulového čepu

Například poloměr $r=4$ (červený) by měl být podle doporučení normy $r=5$, tedy větší, ale oproti tomu $r=22$ (zelené) by mělo být $r=5$, tedy podstatně menší. Zaoblení hrany $r=4$ (fialové) je ve shodě s doporučením normy. Zaoblení přechodu $R=10$ a $R=15$ mají dle doporučení normy mít $R=12$. Pokud by se však k $R15$, uvažovala hloubka až k dělicí rovině, poloměr může mít až $R=25$.

Z Obr. 32 můžeme vidět i to, že pokud by se zmenšilo zaoblení $r=22$, potom by na výkovku přibyla hmotnost. A kdyby se $r=4$ zvětšilo na $r=5$, znamenalo by to také zvětšení hmotnosti v případě, že by se musel rozšířit rozměr desky.

Z výrobního výkresu, který je z roku 1998, bylo zjištěno, že to byl požadavek výroby, změnit několik zaoblení, které zřejmě měly usnadňovat to, že se dutina zápusky snadněji zaplní tvářeným kovem. Tato úprava byla provedena v roce 1999 a od té doby, se výkovek vyrábí a prodává pořád stejně. S ohledem na tuto skutečnost, spolu s tím, že poloměry zaoblení jsou poměrně v pořádku, není úplně nezbytné doporučovat změny.

Nutno také dodat, že hodnoty uvedené v normách, ačkoliv jsou doporučovány, nejsou závazné, ani nezaručují bezvadnost, ale spíše orientačně pomáhají k tomu, aby na výkovku nevznikaly vady typu přeložek, aby bylo usnadněno tečení tvářeného materiálu v přechodech, a aby se zabránilo opotřebovávání zápusky vlivem malých poloměrů zaoblení hran. V konečném důsledku závisí hodnoty zaoblení na dohodě mezi konstrukcí a technologickou přípravou výroby, ale také na dohodě se zákazníkem.

3.6.6 Odchylky rozměrů a tvarů

Rozměry výkovku mohou kolísat vlastní podstatou kování. Výkovek je při kování ohřátý na tvářecí teplotu, při chladnutí se však rozměry výkovku smršťují. Změna rozměru závisí na součiniteli tepelné roztažnosti a na teplotě. Hmota na výkovku není rozdělena rovnoměrně, a proto není ani konečná kovací teplota rozdělena rovnoměrně, a tedy ani smrštění. S tím je také potřeba počítat při konstrukci výkovků. A také proto musí mít výkovek dovolené úchyly rozměrů.

Další změna rozměrů je dána opotřebením zápustek. Největší opotřebení bývá zpravidla v místech, kde dochází k intenzivnímu toku materiálu, jako jsou výstupky a poloměry zaoblení hran. Velikost opotřebení se pak liší v závislosti na teplotě i na typu kovacího stroje. Kolísání rozměrů ve směru rázu je ovlivněno dosednutím zápustek na sebe.

Pro stanovení mezních úchylek se nejčastěji používá norma ČSN 42 9030 nebo evropská norma ČSN EN 10243-1. Způsob stanovení dle těchto norem je od sebe navzájem poněkud odlišný. Společné vstupní údaje jsou, jakost kovaného materiálu (ČSN má pět stupňů tvářitelnosti, EN má stupně obtížnosti), stupeň přesnosti kování (ČSN rozlišuje tři stupně, EN rozlišuje dva stupně), největší rozměry výkovku, tvarová složitost výkovku (EN zavádí pojem členitost tvaru, uvažuje obalové těleso). Evropská norma bere v úvahu navíc typ kovacího stroje, hmotnost výkovku a tvar dělicí plochy. [8]

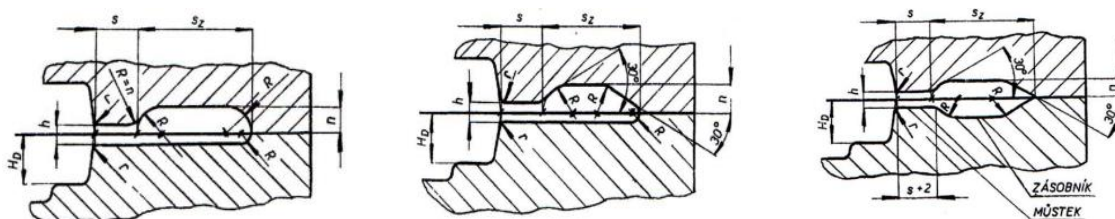
Na výkovku kulového čepu byly stanoveny úchyly dle ČSN 42 9030. Pro stanovení úchylek se nejdříve dle ČSN 42 9002 zařadí výkovek do tvarového druhu, tvarové skupiny a technologického hlediska kování. Následně se dle ČSN 42 9030 určí stupeň přesnosti a podle rozměrů pak mezní úchyly.[27]

Na výkovku kulového čepu byly stanoveny úchyly odpovídající stupni přesnosti 6 ve směru kolmo k rázu **+2,3; -1,1** a k přesnosti 7 pro rozměry ve směru rázu platí úchyly **+3,5 a -1,8**.

3.6.7 Výronková drážka

Výronková drážka je konstruovaná drážka v dělicí rovině zápustky. Do výronkové drážky odchází přebytečný materiál, který je dán rozdílem mezi hmotností polotovaru a výkovku, zmenšený o opal. Přebytečnému materiálu ve výronkové drážce se říká výronek. Ten bývá po vykování v zápustce odstřižen na lisu. Kromě toho, že je výronková drážka dutinou pro přebytečný materiál, má i tu funkci, že zabraňuje dalšímu vytékání materiálu ze zápustky, a

nutí tak vyplňovat dutinu záпустky. Výronková drážka se zpravidla dělí na dvě části – můstek a zásobník. Můstek plní funkci regulátoru tlaku a do zásobníku odtéká přebytečný materiál. Základní rozměry výronkových drážek jsou podle typu stroje v normách ČSN 22 8306 až ČSN 22 8309. Pro výronkové drážky na bucharech je normou ČSN 22 8308. Výronkové drážky se dělí podle typu na otevřené a uzavřené. Pro kování na bucharech se dle ČSN 22 8308, mohou použít tři od sebe mírně tvarově odlišné, konstrukce uzavřených výronkových drážek.



Obrázek 32: Tvary výronkových drážek dle 42 9030 [10]

Pro určení rozměrů výronkové drážky pro buchary se vypočítá výška můstku „h“ dle vzorce:

$$h = 0,012 - 0,015 \cdot \sqrt{F_D} \quad (3.3)$$

Dle normy ČSN 22 8308 se hodnota 0,12 použije pro největší výkovky a hodnota 0,15 pro malé výkovky. F_D je průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu.


Na výkovku kulového čepu byla změřena v dělicí rovině plocha $F_D = 15\,132 \text{ mm}^2$. Pro menší výkovek se zvolí hodnota 0,015 a po dosazení vyjde orientačně výška můstku, podle které se následně určí další rozměry výronkové drážky.

$$h = 0,015 \cdot \sqrt{15\,132} = 1,845$$

Pokud by se dosadilo z uvedeného rozsahu hodnota 0,014, výška můstku by vyšla

$$h = 0,014 \cdot \sqrt{15\,132} = 1,722$$

Tabulka 9: rozměry výronkové drážky [10]

Čís.	h	n	Pěchování			Protlačování					
						jednoduché			složené		
			s	s_z	$F_{výř}$	s	s_z	$F_{výř}$	s	s_z	$F_{výř}$
1	0,6	3	6	18	0,52	6	20	0,61	8	22	0,74
2	0,8	3	6	20	0,69	7	22	0,77	9	25	0,88
3	1,0	3	7	22	0,80	8	25	0,91	10	28	1,04
4	1,6	3,5	8	22	1,02	9	25	1,13	11	30	1,55
5	2,0	4	9	25	1,36	10	28	1,53	12	32	1,77
6	3,0	5	10	28	2,01	12	32	2,33	14	38	2,78
7	4,0	6	11	30	2,68	14	38	3,44	16	42	3,85
8	5,0	7	12	32	3,43	15	40	4,34	18	46	5,06
9	6,0	8	13	35	4,35	16	42	5,30	20	50	6,42
10	8,0	10	14	38	6,01	18	46	7,45	22	55	9,03
11	10,0	12	15	40	7,68	20	50	9,88	25	60	12,08

$F_{výř}$ platí pouze pro výronkovou drážku typ I. a II.

Výšku můstku je potřeba vybrat z tabulky dle uvedených hodnot. Podle vypočtené výšky lze zvolit můstek s výškou 2 mm nebo s výškou 1,6 mm. V teorii se uvádí, že menší výška můstku bude nutit materiál vlivem odporu téct do dutiny zápustky více než do zásobníku výronkové drážky. Vzhledem k tomu, že výkovek má poměrně hluboké dutiny, přičemž pravidelná a opakovaná vada je, že materiál nevyplní celou formu zápustky, by bylo možné doporučit výšku můstku 1,6 mm.

Výška můstku v současné zápustce je zvolena na hodnotu 3 mm s hloubkou zásobníku $n = 5$ mm. Větší výronková drážka může být, pokud se očekává její větší zaplnění materiálem, například při tvarově složitých výkovicích.[4] Což je i v případě výkovku kulového čepu, kdy výronková drážka má šířku zásobníku $s_z = 35$ mm. Šířka můstku už je dle tabulky na hodnotě $s = 10$ mm.

3.7 Technologická příprava výroby

V technologické přípravě výroby je potřeba stanovit návrh vstupního polotovaru, následně dělení polotovaru, a také kovací teploty, ty se určují dle materiálového listu. Doba ohřevu materiálu se určuje dle tabulek nebo diagramů, nebo se může použít vzorce uvedeného v kap.2.

3.7.1 Návrh polotovaru

Objem vsázkového materiálu se skládá z objemu výkovku, z objemu výronku a z objemu opalu, který polotovar ztratí při ohřevu. Počítá se dle vztahu [1]:

$$V_{pol} = (V_{výk} + V_{výr}) * \left(1 + \frac{\delta}{100}\right) \quad (3.4)$$

Objem výkovku lze určit třemi různými způsoby. První způsob je spočítat z výkresu výkovku, přes rozdělení na několik jednodušších objemových těles, které se sečtou a dají výsledný objem. Druhý způsob určení objemu výchozího polotovaru je, spočítat ho přes průřezový obrazec. Třetí způsob je podívat se, kolik je hmotnost výkovku v programu, ve kterém byl výkovek vymodelován. [13]

Objem výkovku jde dle programu autodesk Inventor

$$V_{výk.} = 742,276 \text{ cm}^3$$

Objem výronku se určí dle vztahu pro výkovky s výčnělky nebo s lomenou dělicí plochou [3][21]:

$$V_{výr} = 0,7 \cdot F_{výr} \cdot [O_v + 6 \cdot (s + s_z)] \quad (3.5)$$

$F_{výr}$ – plocha průřezu výronkové drážky

s – šířka můstku

O_v – obvod výkovku

s_z – šířka zásobníku

0,7 – procento zaplnění

Kromě obvodu výkovku se hodnoty odečtou z normy ČSN 22 8308, resp. z tabulky 9. Pro výšku můstku $h=3$ mm.

Po dosazení v cm, vyhází 70 % objemu výronkové drážky:

$$V_{výr} = 0,7 \cdot 2,01 \cdot [61,72 + 6 \cdot (1 + 3,5)] = 124,82 \text{ cm}^3$$

Procento opalu z ohřevu polotovaru se liší podle použití pece. Orientačně se lze řídit dle tabulky:

Tabulka 10: Závislost propalu běžných nelegovaných ocelí na způsobu ohřevu [1][3]

Ohřev v peci	Propal kovu δ (%)
Plynová komorová	2,5 až 3
Plynová průchozí	1 až 2,5
Elektrická pec	1 až 1,5
Vysokofrekvenční odporové ohřívací pece	0,5 až 1

Ohřev bude probíhat v plynové peci průběžné, proto se bude počítat s propalem asi **2 %**.

Po dosazení do vztahu pro výpočet objemu polotovaru vychází:

$$V_{pol} = (742,276 + 124,82) * \left(1 + \frac{2}{100}\right) = 902,80 \text{ cm}^3$$

Když je takto spočítaný objem, je možné spočítat rozměry výchozího polotovaru k ohřevu a kování.[1][3][21]

Pro čtvercové průřezy platí vztah:

$$a_0 = \sqrt[3]{\frac{V_{pol}}{m}} \quad (3.6)$$

A pro kruhové průřezy je vztah upraven o přepočítací koeficient:

$$d_0 = 1,08 \sqrt[3]{\frac{V_{pol}}{m}} \quad (3.7)$$

m – je hodnota pēchovacího poměru l/d . Podle teorie (Kap.2.2) má být pēchování max. 2,5 spodní hranice se v literatuře [3][21] uvádí na 1,5. Spodní hranice se uvádí kvůli dostatečnému prokování. Pokud bude ale výkovek prokován ještě v zāpustce, může být pēchovací poměr ještě menší.

Vstupní polotovar volím kruhovou tyč, na základě předpokladu vhodnějšího rozložení materiálu po napēchování. Po dosazení vychází:

$$d_0 = 1,08 \sqrt[3]{\frac{902,8}{1,5}} = 9,12 \text{ cm} = 91,2 \text{ mm}$$

Průřez tyče nelze volit libovolně, ale je třeba respektovat rozměry ve kterých se tyče standardně vyrábí. Tyto rozměry lze najít v normách. Aktuálně platí: ČSN EN 10060 Ocelové tyče kruhové válcované za tepla – Rozměry, mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru.

Dle normy lze průměr zaokrouhlit na 90 mm. Výška polotovaru se potom vypočítá podle vztahu:

$$l_0 = \frac{V_{pol}}{\pi \cdot d_0^2} \cdot 4 \quad (3.8)$$

Po dosazení vychází:

$$l_0 = \frac{902,8}{3,14 \cdot 9^2} \cdot 4 = 14,19 \text{ cm} = 141,9 \text{ mm}$$

Délku přířezu volím 140 mm. Pěchovací poměr m potom bude $140/90 = 1,55$.

Rozměry výchozího polotovaru budou **$d_1=90 \text{ mm}$** , **$l_1=140 \text{ mm}$** .

Objem polotovaru pak bude:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot l_1 \quad (3.9)$$

A po dosazení vychází:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 9^2}{4} \cdot 14 = \mathbf{890,641 \text{ cm}^3}$$

Hmotnost polotovaru pak bude:

$$m_1 = \rho \cdot V_1 \quad (3.10)$$

$$m_1 = 7850 \cdot 0,000890641 = 6,99 \text{ kg} \cong 7 \text{ kg}$$

Vypočtenou hmotnost 6,99 kg zaokrouhlím na 7 kg. Aktuálně je vsázková hmotnost dvakrát větší než vypočtená, tedy 14 kg s rozměry vsázky d130x134. Obvykle se větší váha neurčuje na začátku, ale přidává se až později právě z důvodu stabilizování výroby a minimalizaci neshodných kusů ve výrobě. Pomocí simulačního softwaru a navrhnutí tvaru předkovku bude vyzkoušeno, zdali bude možné snížit vstupní hmotnost, aniž by se při tom výroba dostala na hranici stability výrobnosti.

3.7.2 Návrh ideálního předkovku

Aby mohl materiál co nejlépe vyplnit dutinu zápustky bez přebytečného materiálu, je důležité přizpůsobit tvar předkovku, tak aby se ideálně co nejblíže podobal finálnímu tvaru výkovku.

Ideální předkovek dává konkrétní představu o rozdělení materiálu podél osy výkovku, a jak by měl být materiál rozdělen v předkovacích operacích. Ideální předkovek je myšlený předkovek s kruhovými průřezy s_{ip} , jejichž velikost je rovna příslušnému průřezu výkovku $s_{výk}$ s výronkem $s_{výr}$ v daném místě, podél osy výkovku. [3][4][13][21]

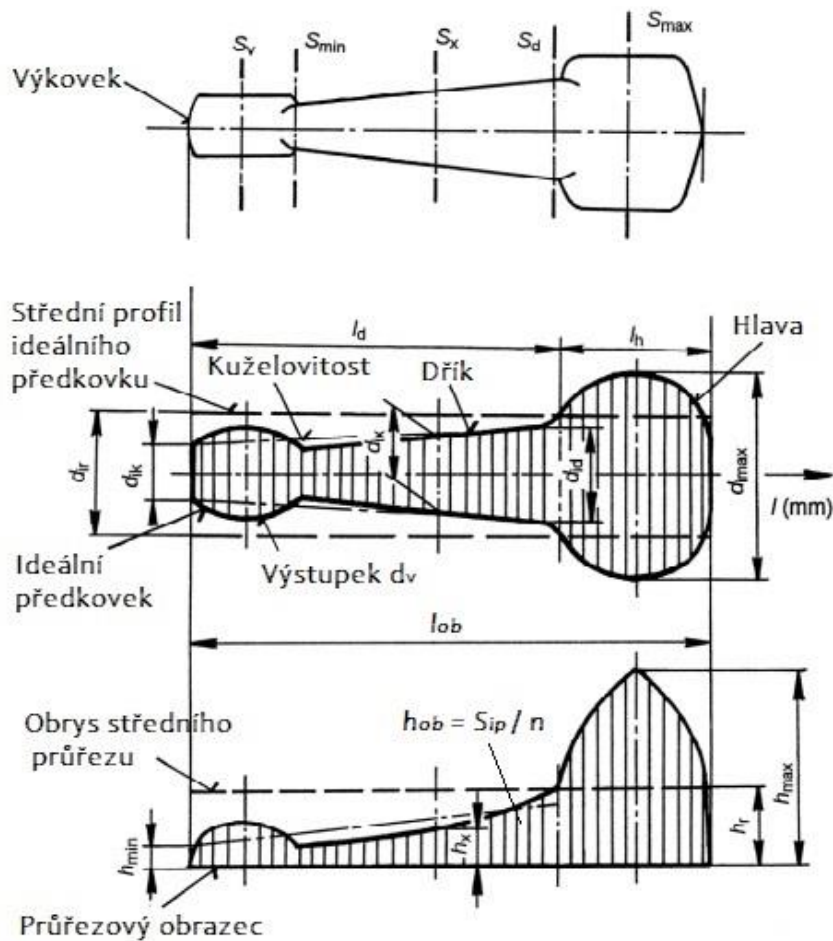
Jestliže se předpokládá zaplnění výronkové drážky ze 70 % pak platí vztah:

$$s_{ip} = s_{výk} + 1,4 \cdot s_{výr} \quad (3.11)$$

Průměr ideálního předkovku v libovolném místě se určí dle vztahu:

$$d_{ob} = 1,13 \cdot \sqrt{s_{ip}} \quad (3.12)$$

Vypočítá-li se řada charakteristických hodnot d_{ob} , a vynesou-li se tyto hodnoty na pořadnice vedené těmito průřezy a spojí-li se křivkou, získáme tvar ideálního předkovku.



Obrázek 33: Tvorba ideálního předkovku z průřezového obrazce [3]

Nanesou-li se hodnoty charakteristických průřezu s_{ip} v měřítku n jako pořadnice

$$h_{ob} = \frac{S_{ip}}{n} \quad (3.13)$$

a spojí-li se konce těchto pořadnic, dostaneme průřezový obrazec ideálního předkovku. Plocha pod touto křivkou je v měřítku n objemem ideálního předkovku.

$$V_{ip} = S_{ob} \cdot n \quad (3.14)$$

Z tohoto objemu lze pomocí délky výkovek spočítat střední průřez

$$S_{stř} = \frac{V_{ip}}{l_{ob}} \quad (3.15)$$

Střední průměr ideálního předkovku

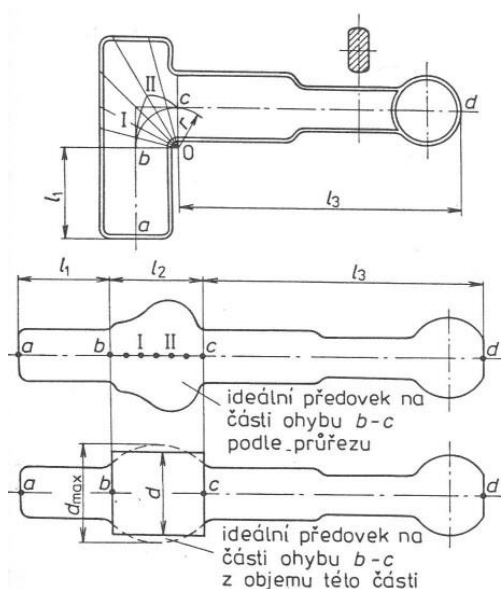
$$d_{stř} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{stř}} \quad (3.16)$$

V případě volby sochoru, tj. čtvercového průřezu se zaoblenými hranami se určí délka strany

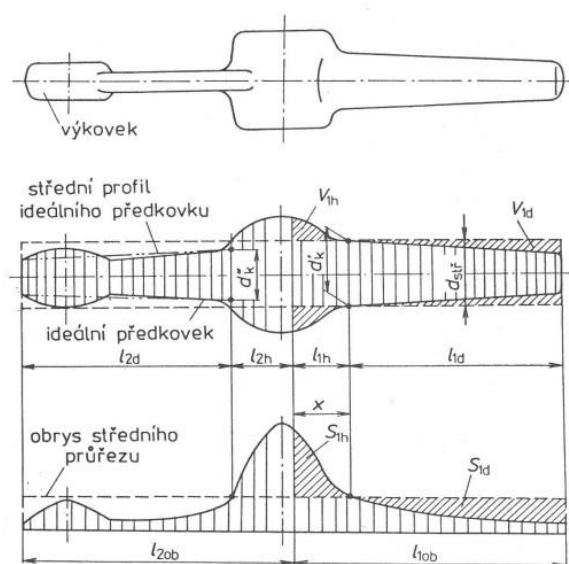
$$a_{stř} = 1,0375\sqrt{S_{stř}} \quad (3.17)$$

Vyjde-li ideální předkovek ostrohranný, je vhodné jej změnit na plynulý tvar. Objem předkovku však musí být zachován.

Pokud je výkovek ohnutý je potřeba nejdříve navrhnout ideální předkovek pro rozvinutý tvar. Řezy zahnutou součástí jsou vedeny, způsobem znázorněným na obrázku 36. Pokud tvar výkovku složitější je možné také ideální předkovek rozdělit na více elementárních částí, pro které se zvlášť vypočítá střední průřez a střední průměr ideálního předkovku. Tento způsob je znázorněn na obr. 37. [3][21]



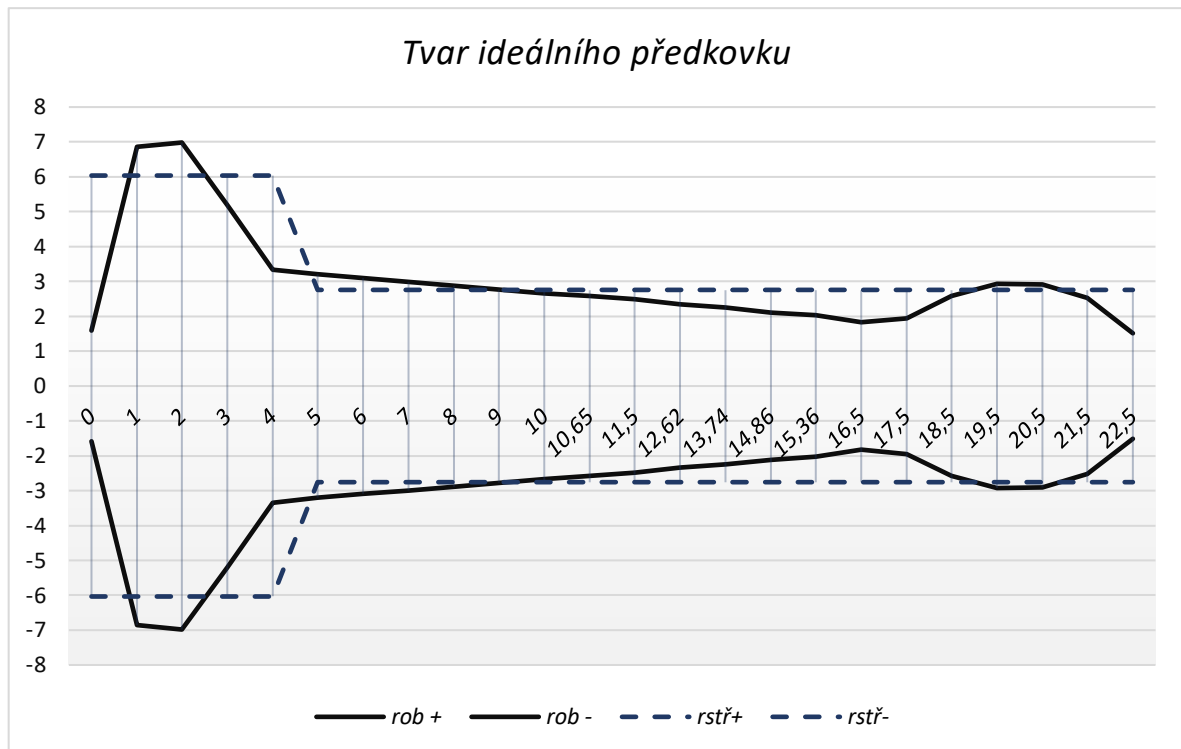
Obrázek 34: Řezy v ohnutém tvaru [3]



Obrázek 35: Rozdělení IP na dvě části [3]

Podle teorie se v prvním kroku povedou na výkovku kulového čepu řezy, z nichž se pak odečtou plochy v průřezu. Lze to udělat buď z výkresu nebo z modelu výkovku pomocí 3D modelovacího programu.

Řezy byly provedeny v programu Autodesk Inventor, přičemž v každém řezu byla jednotlivě změřena plocha a její hodnota zapsána do Excelu. K tomu se přičetla plocha výronkové drážky zaplněná ze 70 % v řezu a součet dává průřez ideálního předkovku S_{ip} (3.10). Z ideálního průřezu se pak stanovil průměr ideálního předkovku d_{ip} dle vzorce (3.11). Následně byla v Excelu vypočítána plocha pod křivkou S_{ip} . Tato plocha nám říká, jaký je objem ideálního polotovaru, ze kterého se potom stanovily hodnoty středního průřezu v jednotlivých řezech, podle (3.13). Z této plochy jsou pak stanoveny střední průměry dle (3.14)



Obrázek 36: Tvar ideálního předkovku kulového čepu v rozvinutém tvaru

Na obrázku jsou na vodorovné ose znázorněny vzdálenosti jednotlivých řezů od nuly. Na svislé ose jsou vyneseny poloměry obrysu ideálního předkovku. Ten byl následně zjednodušen středními hodnotami. Hodnoty byly počítány v cm. Z grafu nebo výsledků v Excelu se tedy snadno odečte, že střední průměr ideálního předkovku bude mít v první části 120 mm v délce asi 40 mm. A v druhé části ideální průměr asi 55 mm v délce 185 mm.

3.7.3 Stanovení přibližné doby ohřevu

Doba se stanovuje dle diagramu tabulek nebo dle vzorce.

Původně byl navržen polotovar $\varnothing 130$ v délce 134 mm, přepočtem na ideální objem, byl navržen polotovar na $\varnothing 90$ v délce 140 mm. Pro tyto polotovary se spočítá přibližná doba ohřevu dle uvedeného vztahu (2.2):

$$\tau = 10 \cdot 2 \cdot 0,13 \sqrt{0,13} = 0,93 \text{ hod.} = 55,8 \text{ min.} \text{ Pro polotovar o průměru } 130 \text{ mm.}$$

$$\tau = 10 \cdot 2 \cdot 0,09 \cdot \sqrt{0,09} = 0,54 \text{ hod} = 32,4 \text{ min.} \text{ Pro polotovar o průměru } 90 \text{ mm.}$$

Z uvedeného je vidět, že pro polotovar v průměru menší o 40 mm, je potřeba téměř poloviční doby ohřevu. I z tohoto hlediska, je vhodné uvažovat o hospodárnější výrobě.

4 Numerická simulace procesu

Na základě předchozího rozboru a popisu stávajícího stavu a poznatků teorie, vyplývají následující možnosti k vyzkoušení v simulaci.

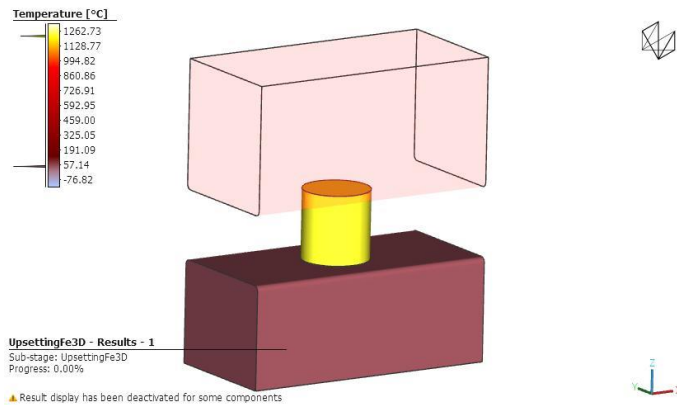
- Simulovat stávající stav a porovnat se skutečností.
- Simulace nového návrhu tvaru předkovku, s menší vstupní hmotností. Ideálním cílem je najít způsob kování na jedno ostřížení výronku a bez mezi-ohřevu po předkování.
- Doplnkově by mohlo být vyzkoušeno, jak by se chovalo tečení materiálu, při změně výšky můstku výronkové drážky.

Simulace budou provedeny v simulačním softwaru (SW) Simufact Forming verze 2021.1. SW obsahuje širokou škálu modulů pro tváření. [30] Pro tuto práci byly použity moduly pro zápuskové kování obecně, pro pěchování, pro stříhání a pro ohýbání.

4.1 Simulace stávajícího stavu

Výchozí materiál 13240, je ke kování určen rozměry $\varnothing 130 \times 134$ mm a váhou 14,00 kg, tvar předkovku není nijak definován. V praxi to v tomto případě znamená, že odpovědnost je na kovářích, aby si tvar předkovku uměly přizpůsobit tvaru zápusky, tak aby výkovek mohl být plně dokován.

Podmínky nastavení simulace napodobují kování na bucharu Beche16. Při pohánění beranu párou by byla rázová práce až 160 kJ, berany jsou však poháněny stlačeným vzduchem, proto byla rázová práce stanovena na 100 kJ. Hmotnost beranu horního je 24 t, spodní beran má 25 t. Tyto podmínky byly nastaveny v simulaci. Počáteční teplota tváření byla nastavena na 1220 °C, je to něco více než je zadáno v TP, ale je to z toho důvodu, že se předpokládá obtížné zaplňování hluboké dutiny a může to odpovídat i praxi. Obecně by ohřev neměl překročit teplotu 1250°C, abychom se nevystavovali riziku spálení oceli. SW má k dispozici samostatný modul pro ohřev, který lze zařadit do simulačního procesu, anebo lze teplotu přímo přiřadit k danému materiálu za předpokladu rovnoměrného ohřevu v celém průřezu. Co se týče jakosti materiálu, tak SW simufact má širokou databázi materiálů, které lze v simulaci přiřadit, nebo lze nadefinovat vlastní. Materiál 13240 (37MnSi5) přímo v databázi není, pro simulace byl přiřazen podobný materiál s obdobným chemickým složením, a zapadající také do prvního stupně tváritelnosti.

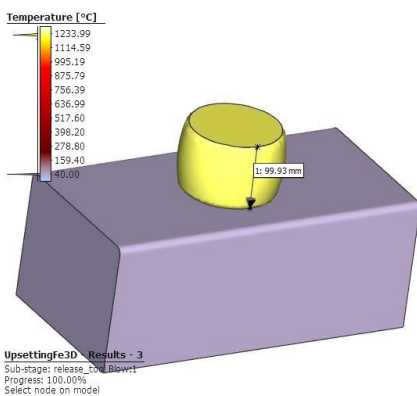


Obrázek 37: Vstupní ohřátý polotovár

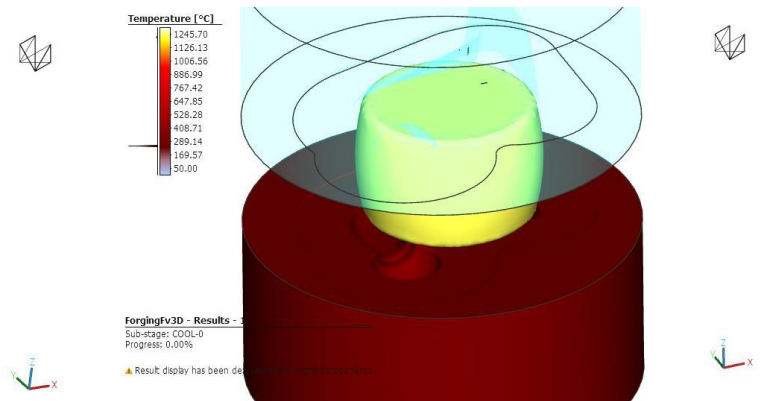
Vstupní ohřátý polotovár na Obr. 37 umístěný mezi kovádla, byl stejný, pro následující varianty č. 1 a 2.

Varianta č.1

Ohřátá tyč byla v simulaci pro první vyzkoušení napěchována na výšku 100 mm. Takto vykováný předkovek byl umístěn mezi zápustky:

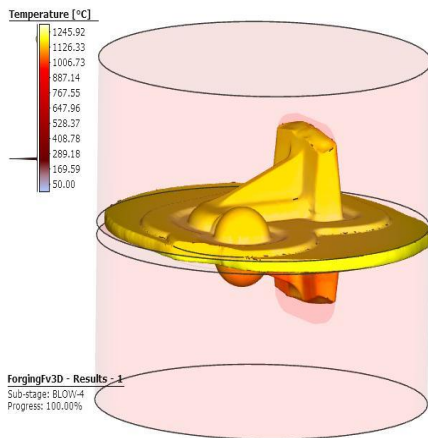


Obrázek 39: Tvar předkovku č.1 stávající velikost

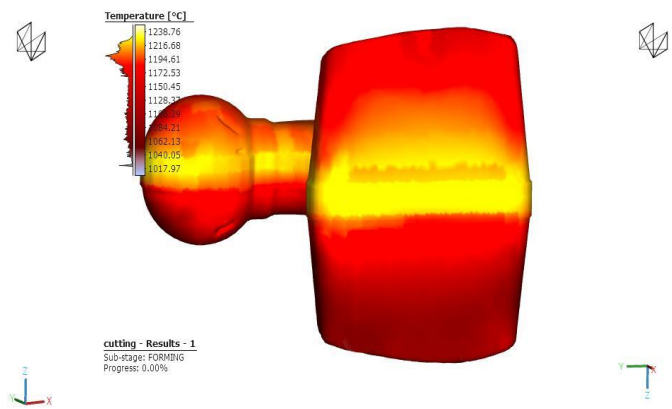


Obrázek 38: Umístění předkovku č.1 mezi zápustky

Výkovek byl při nastavených podmínkách vykován na čtvrtý úder do stavu na následujícím obrázku, kde je vidět jak ve spodní zápustce, chybí více materiálu než v horním, tím je ověřena teorie, že ve spodní zápustce, teče kov pomaleji, protože je delší dobu ve styku se zápustkou. Výkovek ve spodu rychleji chladne a nižší teplota výkovku znamená menší plasticitu. Dále je vidět, že materiál vytekl už za výronkovou drážku. Na kouli je navíc vidět prohlubeň.

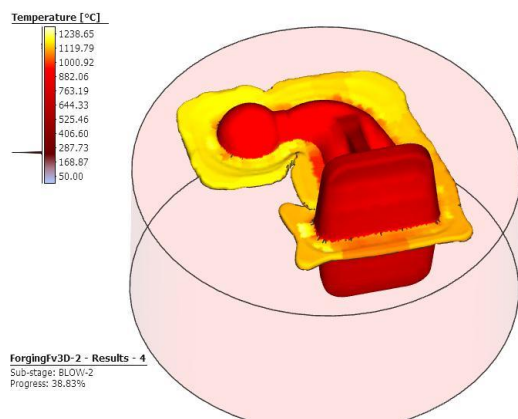


Obrázek 40: První vykování kusu č.1

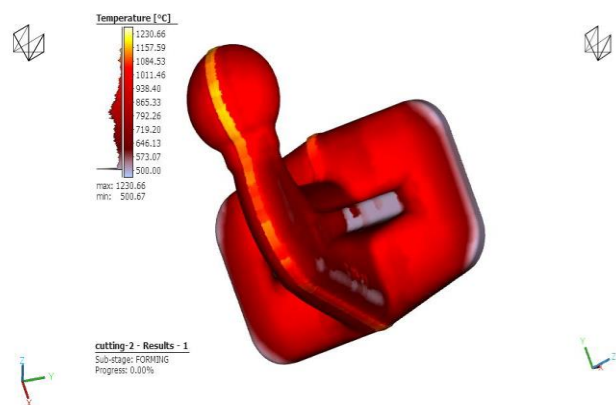


Obrázek 41: Ostřížený kus č.1 po prvním vykování

Výkovek ještě není dokovaný. Materiál, který vytekl až za výronkovou drážku byl ostřížen a ihned po prvním ostřížení, byl kus přesunut znovu ke kování.



Obrázek 43: Druhé kování kusu č.1



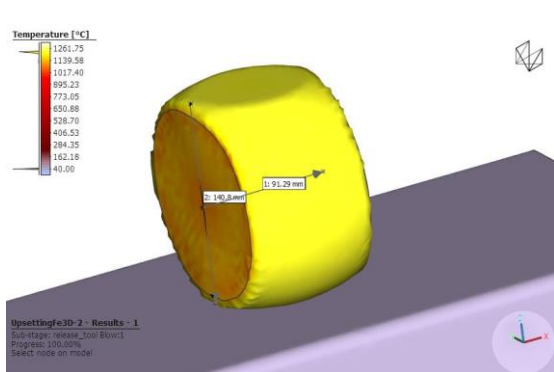
Obrázek 42: Kus č.1 po druhém kování a po stříhu

Při druhém kování, zaplnil přebytečný materiál téměř třičtvrtě výronkové drážky. Ideálně by to tak mělo být už při prvním kování. Z důvodu složitosti výkovku, je však obtížné toho dosáhnout. Výkovek byl zcela dokován tím, že na sebe zápustky dosedly.

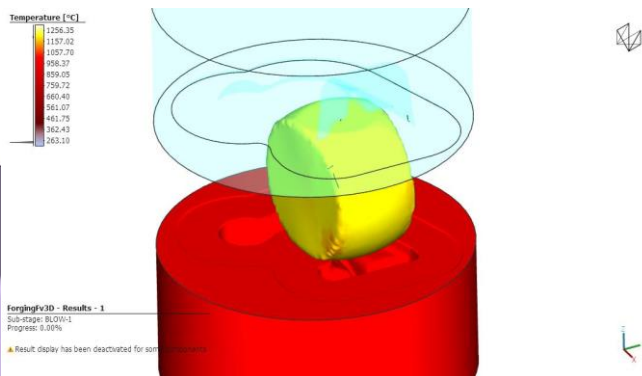
Po druhém vykování nejsou již vidět nevycházející tvary. Tomuto výsledku lze připsat vhodněji nastavené podmínky simulace, než ve skutečnosti mohou nastat. V praxi můžou mít na výsledek správného dokování další vlivy, jako jsou správné mazání a použití pilin, manipulace s výkovkem, nebo malá změna velikosti předkovku, stav stroje anebo kombinace zmíněného. Z tohoto důvodu byla simulace vyzkoušena také při nižší rázové práci 60kJ. Viz obr. 49 a 50.

Varianta č.2

Následně bylo vyzkoušeno umístění předkovku na stojato. Předkovek byl ze stejného polotovaru předkován na výšku 90 mm, poté byl otočen o 90° a jedním úderem byl pro lepší usazení v zápustce ještě napěchován.

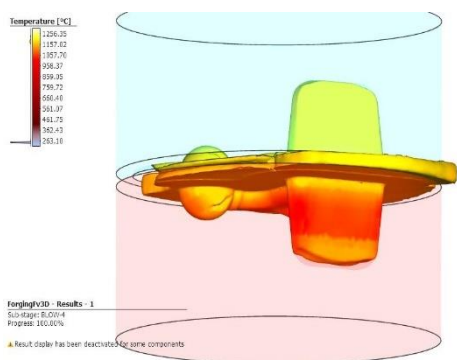


Obrázek 44: Předkovek č. 2

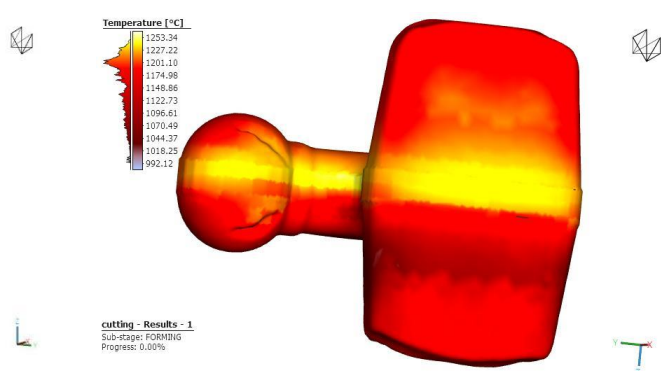


Obrázek 45: Umístění předkovku č. 2

Výsledek simulace byl za stejných podmínek jako u kování kusu č.1 podobný, ale hluboké dutiny jsou zaplněny materiálem více.



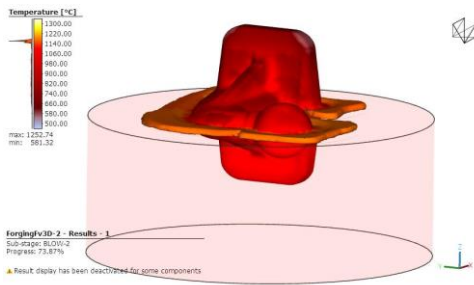
Obrázek 47: Kus č.2 po prvním kování



Obrázek 46: Kus č. 2 po prvním ostřížení

Chybějícího materiálu je o trochu více na kouli.

Z prvních dvou variant, které nejvíce mohou odpovídat současnému stavu kování, se podle simulace jeví výhodnější usazení předkovku na stojato.

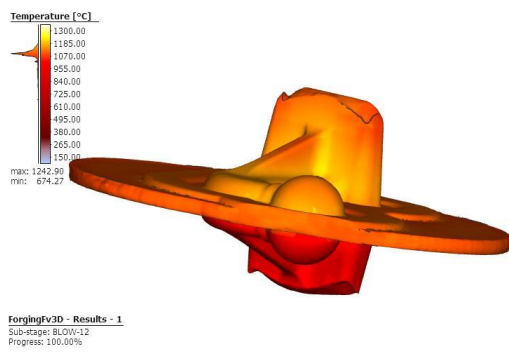


Obrázek 48: Kus č. 2 po druhém kování

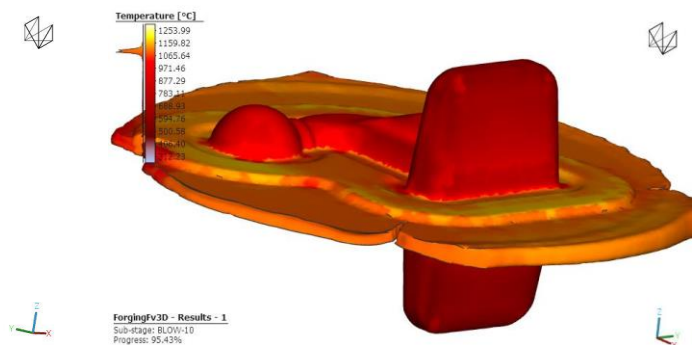


Obrázek 49: Kus č. 2 po druhém ostřížení

Umístění předkovku prvních dvou variant bylo vyzkoušeno také s větší a menší rázovou prací. Výsledky simulace s menší rázovou prací za stejných počátečních podmínek jsou znázorněny níže na obr. 49 a 50.



Obrázek 50: Varianta č. 1 při 60kJ



Obrázek 51: Varianta č. 2 při 60 kJ

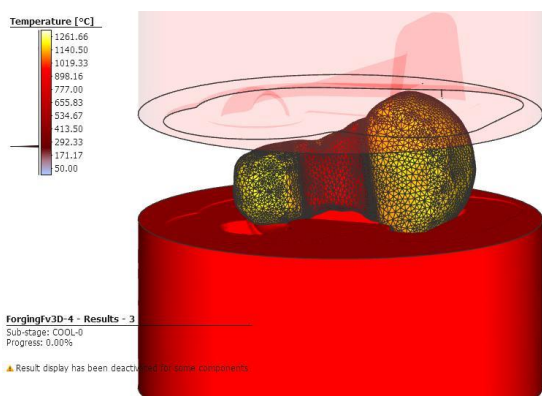
Menší rázová práce zvýraznila výhodu umístění předkovku na stojato, zatímco při vyzkoušení větší rázové práce (160kJ), byly rozdíly v dokování téměř vyrovnány. Z uvedeného vyplývá, že velikost rázové práce má podstatný vliv na vyplnění dutiny zápustek.

4.2 Simulace nového návrhu předkovku

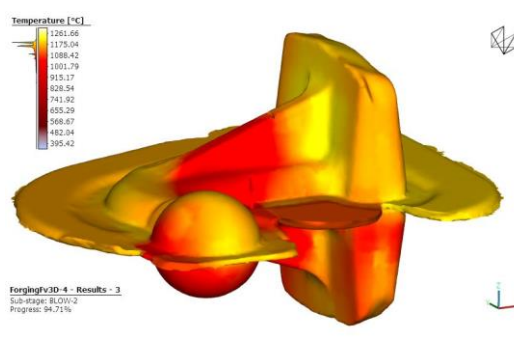
Nový návrh předkovku byl vyzkoušen z vypočítaných rozměrů výchozího polotovaru. S použitím získaných dat z průřezového obrazce. Vstupní podmínky simulace, teplota ohřátého polotovaru, hmotnosti beranu a rázová práce byly stejné jako u varianty č. 1 a 2.

Varianta č. 3

Výchozí polotovar měl 7 kg, průměr 90 mm, a délku 140 mm. Postupným předkováním a ohnutím byl polotovar předkován, jak znázorněno na obrázku níže.



Obrázek 53: Kus č.3 umístění předkovku



Obrázek 52: Kus č. 3 vykovaný s výronkem

Na obrázku vpravo je vidět, že materiál zcela nevyplnil zápustku. Navíc jsou vidět přeložky.

Výkovek by možná mohl být dokován při ještě lepším rozložení materiálu. Avšak vzhledem k tomu, že je potřeba zajistit také výrobní stabilitu, lze usoudit, že by bylo vhodné vstupní hmotnost polotovaru zvětšit. To pak také pravděpodobně bude znamenat dvojnásobek ostříhnutí výronku. Původní vsázková hmotnost byla 14 kg, nově vypočtená pak 7 kg. Pro další zkoušky k optimalizaci kování by mělo být vyzkoušeno několik vhodných tvarů předkovků s různě velikou hmotností.

5. ZÁVĚR

Pro řešení bakalářské práce jsem si vybral výkovek kulového čepu, protože se jedná o problematický výkovek, který vykazuje nejen nepravidelnou neshodovost, ale také vysokou hmotnost vstupního polotovaru.

V úvodní části práce se zabývám seznámením se s problematikou zápustkového a volného kování obecně, jde o obecnou teorii a přehled, který je nezbytný pro další zaměření se na praktickou část, včetně správného nastavení v simulaci.

Další část práce je zaměřena na rozbor a popis stávajícího stavu, přičemž v této části je představen výkovek, technologický postup a technologické možnosti firmy, kde se výkovek vyrábí. Na základě toho je potom udělán rozbor konstrukce výkovku dle platných směrnic a doporučení norem. Byl udělán také rozbor technologické přípravy výroby, přičemž byla aplikována teorie ideálního předkovku a odečtení středních rozměrů pro ideální předkovek. Výsledky z rozboru současného stavu jsou podkladem, pro další optimalizační návrhy.

V rámci numerické simulace byly vizualizovány výsledky současného stavu kování, přičemž byly vyzkoušeny dvě možnosti kování ze současného polotovaru o velké hmotnosti. Výsledky ukázaly, že vhodnější ustavení předkovku bude na stojato než na ležato. Tento rozdíl v ustavení vynikl zvláště při nastavení s nižší rázovou prací, kterou může zapříčinit například, stav stroje anebo další vlivy. Z těchto simulací bylo také vidět, že od určitého okamžiku, kdy je výkovek plně dokován teče materiál jenom do výronkové drážky.

Dále byl vyzkoušen předkovek, který byl postupným pýchováním a ohybem upraven do tvaru předkovku přibližující se ideálnímu tvaru. Výchozí pro mě byly rozměry získané z teorie návrhu ideálního předkovku pomocí průřezového obrazce. Výsledky však ukázaly, že tvar dutiny nebyl zcela vyplněn.

V této práci byly provedeny základní kroky k optimalizaci výrobního procesu kování výkovku kulového čepu, a snížení hmotnosti vstupního polotovaru, s tím že jsem došel k závěru, že by bylo třeba vyzkoušet ještě další předkovky, vhodnějších tvarů a větší hmotnosti než ta, která byla vypočítána, ale nižší než ta původní a z nich pak vybrat ten optimální. To by mohlo být dále provedeno rovněž pomocí simulace, anebo by se mohla udělat v kovárně váhová zkouška, která se dělá před začátkem nové výroby.

Bibliografie

- [1] ŠANOVEC, Jan a Jozef DRAGÚŇ. *Technologické cvičenia: Návrh technológie zápusťkového kovania pre 4. ročník SPŠ strojníckych*. preklad z českého originálu. Bratislava: SNTL, 1989. ISBN 80-05-00244-0.
- [2] PARMA, Ing. Alois. *Technologie tváření I: pro 3. ročník SOU*. Druhé, opravené vydání. Praha: SNTL, 1986. ISBN 04-414-86.
- [3] KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993. ISBN 80-01-01003-1.
- [4] BARTÁK, Jan. Analýza procesu kování háku čelistového výměňového závěru [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/123960>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.
- [5] NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy technologie I*. Praha: ČVUT, 2006. ISBN 978-80-01-03530-6.
- [6] KOPECKÝ, M. Výroba opěrného držáku objemovým tvářením. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 81 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Miloslav Kopřiva.
- [7] HAŠEK, Vladimír a kolektiv. *Kování*. Praha: SNTL, 1965. ISBN 04-233-65.
- [8] BEDNÁŘ, Bohumír, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Ladislav MICHÁLEK. *Technologičnost konstrukce I*. Praha: ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03268-X.
- [9] HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje*. Praha: SNTL, 1972. ISBN 04-220-72.
- [10] ČSN 22 8308. *Zápusťky pro buchary: směrnice pro konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1971.
- [11] ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápusťkové: Přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů*. Praha: Český normalizační institut, 1987.
- [12] RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: Základy výpočtů a konstrukce*. Druhé opr. vyd. Praha: SNTL/ALFA, 1982. ISBN 04-229-82.
- [13] ČADA, R. a kol. Týmová cvičení předmětu technologie tváření a slévání [online]. Ostrava, 2012, 136 s Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2718-6.pdf>

- [14] LENFELD, P. Technologie II: tváření kovů, zpracování plastů: Technologie objemového tváření – kování. [online]. Technická univerzita Liberec, fakulta strojní. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm
- [15] NOVOTNÝ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Bohumír BEDNÁŘ a Viktor KREIBICH. *Technologie I*. Praha: ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01420-7.
- [16] ŽÍDEK, Milan, Vladimír DĚDEK a Boris SOMMER. *Tváření oceli*. Praha: SNTL, 1988. ISBN 04-408-88.
- [17] KLOFÁČ, Jozef. *Tváření neželezných kovů: pro 4. ročník SPŠ hutnických*. Praha: SNTL, 1982. ISBN 04-402-82.
- [18] ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL, 1992. ISBN 04-410-91.
- [19] Closed die forging. In: *Www.manufacturingguide.com* [online]. [cit. 2022-07-27]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/closed-die-forging>
- [20] SEMIATIN, S.L. *ASM Handbook Volume 14A: Metalworking: Bulk Forming*. United States of America: ASM International, 2005. ISBN 978-0-87170-708-6.
- [21] ŠANOVEC, Jan. *Přípravky a obráběcí a tvářecí nástroje: Tvářecí nástroje II. díl*. Praha: ČVUT, 1984. ISBN 17-51.
- [22] Tažné zařízení. In: *Www.pbk-zk.cz* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.pbk.cz/manipulacni-technika/>
- [23] PŘÍSLUŠENSTVÍ Kulové čepy. In: *Www.tazna-zarizeni-praha.cz* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.tazna-zarizeni-praha.cz/tazne-zarizeni/prislusenstvi-kulove-cepy-prirubove-a-spojky-kz31-9611/>
- [24] DRASTÍK, František. *Výpočty z oboru kování a lisování*. Praha: SNTL, 1972. ISBN 04-227-72.
- [25] SUCHOPÁREK, Rudolf. *Základy zápusťkového kování oceli*. Revize 1962. Praha: SNTL, 1955. DT 621.73.034 : 669.14.
- [26] JAKHADE, Niles A. An Overview of Forging Processes with Their Defects [online]. 2014, [cit. 2022-04-04]. ISSN 2250-3153. Dostupné z: [An Overview of Forging Processes with Their Defects \(psu.edu\)](#).
- [27] ČSN 42 9002: *Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru*. Praha: Český normalizační institut, 1971.
- [28] KRÁL, Mirko, Jiří DUNOVSKÝ a Bohumír BEDNÁŘ. *Projektování výrobních procesů*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1989. ISBN 17-51.
- [29] ČSN EN 10060: *Ocelové tyče kruhové válcované za tepla - Rozměry, mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [30] *www.simufact.com* [online]. [cit. 2022-08-15]. Dostupné z: <https://www.simufact.com/>

Seznam tabulek

Tabulka 1: Opravné součinitele pro ohřev, při různém uložení v peci [16].....	22
Tabulka 2: Vady zápusťkových výkovků [7]	26
Tabulka 3: Výpočet hmotnosti beranu [10]	31
Tabulka 4: Pevnost oceli za kovací teploty [10]	32
Tabulka 5: Základní parametry lisuLUD800/315 [9].....	33
Tabulka 6: přídatky na obrábění pro obvykle provedení [11]	36
Tabulka 7: Hodnoty úkosů dle ČSN 42 9030 [11].....	38
Tabulka 8: Velikost zaoblení hran a přechodů [11].....	41
Tabulka 9: rozměry výronkové drážky [10].....	45
Tabulka 10: Závislost propalu běžných nelegovaných ocelí na způsobu ohřevu [1][3]	47

Seznam obrázků

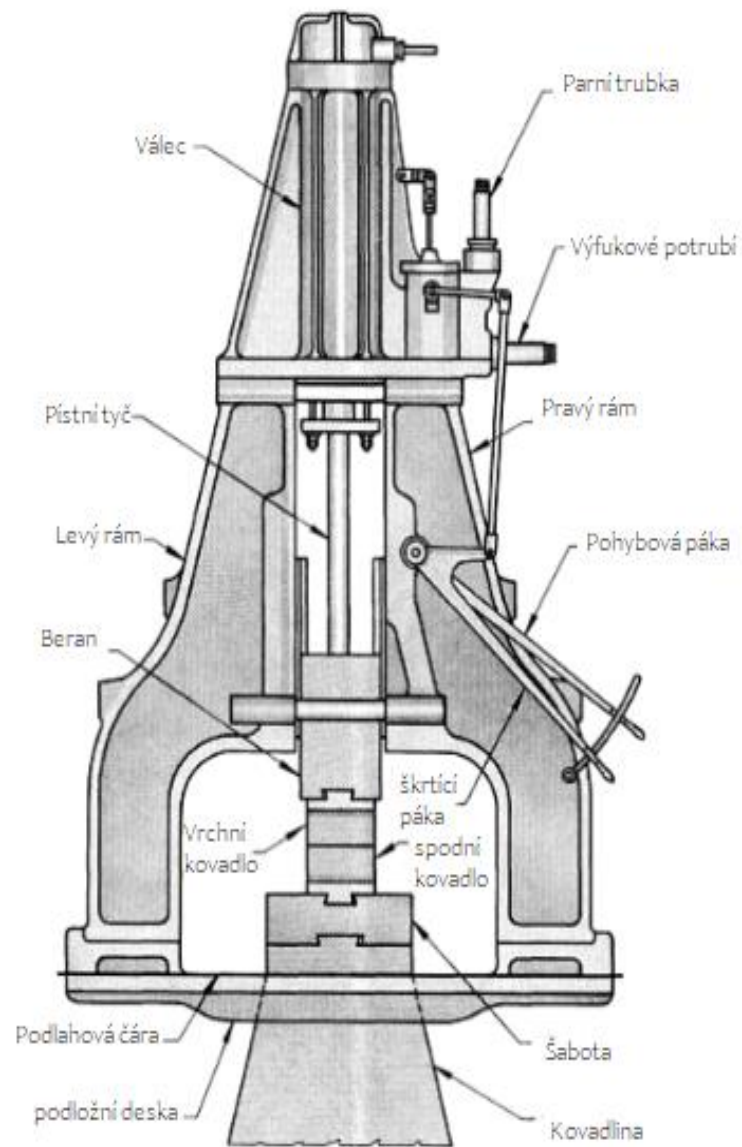
Obrázek 1: Model výkovku kulového čepu	12
Obrázek 2: pěchování [14]	14
Obrázek 3: Prodlužování tyče [14]	15
Obrázek 4: Prodlužování, správný a špatný posuv [14]	15
Obrázek 5: Osazování jednostranné a oboustranné [14]	15
Obrázek 6: Přesazování [15]	16
Obrázek 7: Zkrucování [16]	17
Obrázek 8: Kovadla plochá, tvarová, kombinovaná. [16]	17
Obrázek 9: Konstrukce bucharů pro volné kování [16]	18
Obrázek 10: Ilustrace zápustkového kování [19]	19
Obrázek 11: Tvářecí teploty v rovnovážném diagramu [6]	22
Obrázek 12: Zápustková vložka [10]	23
Obrázek 13: Navařování zápustek [6]	23
Obrázek 14: Děrování výkovku Obrázek 15: Ostřížení výronku	25
Obrázek 16: Základní rozměry výkovku kulového čepu	27
Obrázek 17: Protiběžný buchar pásový Beche 13	29
Obrázek 18: Jednostojanové kladivo 1500 kg	29
Obrázek 19: Nomogram potřebné rázové práce [24]	30
Obrázek 21: Dvoubodový klikový lis LUD 800[9]	33
Obrázek 20: Ostříhovací lis LUD 800/315 v provozu	33
Obrázek 22: Volba dělicí roviny [8]	35
Obrázek 23: Dělicí rovina výkovku kulového čepu	35
Obrázek 24: Technologické přídatky [8]	37
Obrázek 25: Vnější a vnitřní úkosy	38
Obrázek 26: úkos 6° Obrázek 27: úkos 7°	39
Obrázek 28: Zaoblení přechodů a hran [8]	40
<i>Obrázek 29: Vliv zaoblení na vznik přeložky [8]</i>	<i>40</i>
Obrázek 30: Stanovení velikost poloměrů zaoblení [11]	41
Obrázek 31: Poloměry zaoblení hran na výkovku kulového čepu	42
Obrázek 32: Tvary výronkových drážek dle 42 9030 [10]	44
Obrázek 33: Tvorba ideálního předkovku z průřezového obrazce [3]	50

Obrázek 34: Řezy v ohnutém tvaru [3] Obrázek 35: Rozdělení IP na dvě části [3]	51
Obrázek 36: Tvar ideálního předkovku kulového čepu v rozvinutém tvaru	52
Obrázek 37: Vstupní ohřátý polotovar	54
Obrázek 38: Umístění předkovku č.1 mezi zápustky	54
Obrázek 39:Tvar předkovku č.1 stávající velikost.....	54
Obrázek 40: První vykování kusu č.1.....	55
Obrázek 41: Ostřížený kus č.1 po prvním vykování	55
Obrázek 43: Druhé kování kusu č.1	55
Obrázek 42: Kus č.1 po druhém kování a po stříhu	55
Obrázek 44: Předkovek č. 2 Obrázek 45: Umístění předkovku č. 2	56
Obrázek 46: Kus č. 2 po prvním ostřížení	56
Obrázek 47: Kus č.2 po prvním kování.....	56
Obrázek 48: Kus č. 2 po druhém kování.....	57
Obrázek 49: Kus č. 2 po druhém ostřížení	57
Obrázek 50: Varianta č. 1 při 60kJ Obrázek 51: Varianta č. 2 při 60 kJ	57
Obrázek 52: Kus č.3 umístění předkovku	58
Obrázek 53: Kus č. 3 vykováný s výronkem.....	58

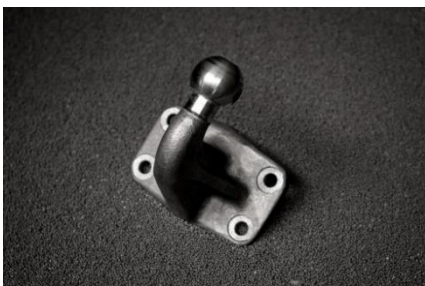
Přílohy

Příloha č. 1: schéma dvojčinného bucharu dvojstojanové konstrukce pro volné kování. [20]

(Popisky přeloženy do češtiny)



Příloha č. 2: fotky obrobku kulového čepu [22][23]



Příloha č. 3: Výtah z materiálové normy oceli 13 240 [4]

ČSN 41 3240		Mn-Si ocel k zušlechťování		OCEL			
STN 41 3240				13 240			
Chemické složení [hm. %]							
C	Mn	Si	P	S			
0,33–0,41	1,10–1,40	1,10–1,40	max 0,035	max 0,035			
Polotovary							
[1] předvalky	[5] pásy válcované za tepla						
[2] tyče válcované za tepla	[6] výkovky						
[3] tenké plechy válcované za tepla	[7] dráty tažené za studena						
[4] tlusté plechy válcované za tepla	[8] tyče tažené za studena						
Mechanické vlastnosti							
Polotovar	[2] [6] [7] [8]	[2]	[2] [6]	[3] [4]			
Rozměr t, d [mm]	–	40 ¹⁾	25 ¹⁾	1,0–10,0			
Stav	.3	.6	.7	.3			
Mez kluzu R_{e} nebo $R_{p0,2}$ [MPa] min	–	540	635	–			
Mez pevnosti R_{m} [MPa]	–	780–930	880–1030	max 760			
Tažnost A_5 [%] min	–	14	13	–			
Kontrakce Z [%] min	–	45	45	–			
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²]	–	49	39	–			
Tvrdost HB	max 217	239–285	269–317	max 217			
Modul pružnosti E [GPa]	206						
Modul pružnosti ve smyku G [GPa]	79						
Polotovar	[6]	[2]					
Rozměr t, d [mm]	≤ 300	≤ 16	16–40	40–100	100–240		
Stav	.6	.6					
Mez kluzu R_{e} nebo $R_{p0,2}$ [MPa] min	440	785	635	540	440		
Mez pevnosti R_{m} [MPa]	690–830	980–1180	880–1030	780–930	690–830		
Tažnost A_5 [%] podél min	13	11	12	14	15		
Kontrakce Z [%] min	–	35	40	45	50		
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min	podél 24,5	–					
Tvrdost HB	208–253	–					
Teplota [°C]	20	100	200	250	300	350	400
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	635	610	525	485	430	360	220
za zvýšených teplot	540	515	445	415	370	315	190

Příloha č. 4: Použití strojů pro volné kování [24]

Největší tloušťka kovaného čtyřhranu		Buchar kompresorový	Buchar parní	Hydraulický lis
Uhlíková ocel [mm]	Slitinová ocel [mm]	Hmotnost beranu [kg]	Hmotnost beranu [kg]	Síla [Mp]
120	60	100	100	—
140	80	200	200	—
160	100	—	300	—
180	120	—	400	—
200	140	300	500	—
220	150	—	600	—
250	160	400	800	300
300	200	500	1000	400
360	250	750	1500	500
400	280	1000	2000	600
450	340	1500	2500	800
500	375	2000	3000	—
600	400	—	3500	1000
650	450	—	4000	1200
800	550	—	5000	1500
1200	600	—	—	2000
1500	—	—	—	3000
1800	—	—	—	4000
2000	—	—	—	5000
2800	—	—	—	12000

Seznam příloh

- Příloha č.1 Schéma dvojčinného bucharu dvojstojanové konstrukce pro volné kování. [20]
- Příloha č.2 Fotky obrobku kulového čepu [22][23]
- Příloha č.3 Výtah z materiálové normy oceli 13 240 [4]
- Příloha č.4 Příloha č. 4: Použití strojů pro volné kování [24]