

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ**

**PRÁCE**

**Neckař**

**Marek**

**2022**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Neckář** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **492622**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Optimalizace výkovku korunové hřídele**

Název bakalářské práce anglicky:

**Crown shaft forging optimization**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznámení s problematikou zaměřenou na zápusťkové kování
2. Charakteristika vytípaného 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. Lukáš Chrástanský, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS**

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **21.04.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: **15.08.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2022**

Ing. Lukáš Chrástanský, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

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

doc. Ing. Miroslav Španiel, C.Sc.  
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

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a optimalizací technologie zápustkového kování výkovku korunové hřídele za účelem eliminace výrobních vad, jež se u tohoto výkovku při reálném kování vyskytují. Tento výkovek korunové hřídele se vyrábí v kovárně PBK ZK s.r.o. Teoretická část práce popisuje základní dělení technologie tváření a tvářecích strojů určených především pro zápustkové kování. Experimentální část je zaměřena na ověření návrhu výkovku. Následně je provedena simulace dle parametrů použitých v procesu zápustkového kování. Na základě výsledku simulací je prováděna optimalizace výkovku korunové hřídele. Výsledkem práce je návrh změn v kovací procesy za pomoci simulačního programu. Výsledkem je rovněž kontrola, zda vznikají či nevznikají u výkovku výrobní vady po úpravě jednotlivých parametrů, které ovlivňují finální výkovek. Pro návrh jednotlivých změn jsou provedeny simulace kovacího procesu v simulačním programu Simufact Forming 2021.1.

### Klíčová slova:

objemové tváření, zápustkové kování, optimalizace kovacího procesu, numerická simulace, Simufact Forming 2021.1

## Abstract

This bachelor thesis deals with the design and optimization of die forging of crown shaft in order to eliminate manufacturing defects that occur at this forging during real forging process. This forging of crown shaft is produced in forging shop PBK ZK s.r.o. The theoretical part of the thesis describes the basic division of forming technology and forming machines designed primarily for die forging. The experimental part is focused on verifying the design of the forging. Subsequently, a simulation is performed according to the parameters used in the die forging process. Based on the result of the simulations, the optimization of crown shaft forging is carried out. The result of this thesis is a proposal of changes in the forging process with the help of a simulation program. The result is also to check whether or not manufacturing defects arise in the forging after adjusting the individual parameters that affect the final forging. To design individual changes simulations of the forging process are performed in simulation program Simufact Forming 2021.1.

## Keywords:

volume forming, die forging, optimization of the forging process, numerical simulation, Simufact forming 2021.1

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma Optimalizace výkovku korunové hřídele vypracoval samostatně a veškeré literární prameny a zdroje informací, které jsem použil, cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

Dále prohlašuji, že 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 .....

.....  
Jméno, Příjmení

## Poděkování

Tímto děkuji panu Ing. Lukáši Chrástanskému, Ph.D. za cenné rady a připomínky při tvorbě této bakalářské práce. Rovněž bych chtěl poděkovat panu Ing. Františkovi Tatíčkovi, Ph.D. za přínosné konzultace v průběhu tvorby této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat společnosti PBK ZK s.r.o. za poskytnuté materiály a konzultace, z nichž celá práce vycházela.

## Obsah

1. Úvod .....	9
2. Zvolená součást .....	11
2.1 Možnosti výroby.....	11
3. Objemové tváření .....	14
3.1 Rozdělení technologií tváření .....	15
3.1.1 Volné kování.....	17
3.1.2 Zápustkové kování.....	18
4. Tvářecí stroje .....	20
4.1 Buchary .....	20
4.2 Lisy.....	22
5. Návrh výkovku.....	24
5.1 Kontrola rozměrů výkovku.....	24
5.2 Návrh rozměrů výronkové drážky .....	28
5.3 Stanovení polotovaru .....	29
5.4 Dělení vstupního materiálu .....	30
5.5 Ohřev materiálu .....	31
5.6 Stanovení rozměrů předkovku.....	32
5.7 Proces kování .....	33
6. Numerická simulace procesu zápustkového kování.....	38
6.1 Nastavení simulace .....	39
6.2 Vyhodnocení výsledků prvotních simulací .....	43
7. Optimalizace simulace .....	44
7.1 Návrhy předkovků .....	45
7.2 Parametry simulace.....	46
7.3 Průběh optimalizované simulace .....	48
Závěr.....	54

<b>Použité zdroje.....</b>	<b>57</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>60</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>62</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>63</b>



## 1. Úvod

Výroba zápustkového výkovku je závislá na návrhu výkovku a také na návrhu výrobního postupu, na jejichž základě je pak nutné vyhotovit zápustku tvořenou jednotlivými dutinami. Kvalitu vyrobeného výkovku ovlivňuje také řada parametrů reálného výrobního procesu.

Pro návrh výroby a jeho ověření je v dnešní době možné používat numerické simulace, které umožní odhalit či upozornit na možná riziková místa v návrhu výrobního procesu.

Tato práce se zabývá problematikou zápustkového kování a následnou optimalizací postupů, návrhů a jiných faktorů ovlivňujících výsledný výkovek s cílem eliminace chyb tak, aby kovací proces proběhl dle svého návrhu.

U zvoleného výkovku korunové hřídele se opakovaně objevují problémy zápustkového kování, a výkovky tak nesplňují dané požadavky. Cílem této práce je tedy ověřit správnost navrženého technologického postupu či úpravu již zvolených parametrů výkovku, metod a dalších hledisek zápustkového kování tak, aby výkovek splňoval požadavky zákazníka a vyhovoval všem normám.

Díky rychlému vývoji počítačových programů je v dnešní době možné simulovat procesy kování a upravovat je tak, aby od počátku výroby vyhovovaly všem předem stanoveným podmínkám. Kování jako takové je svým principem výroby stejné několik set let, ale díky simulačním programům je jej možné lépe optimalizovat bez větších nákladů a v kratších časech před zavedením do výroby.

Tato práce se zabývá možností optimalizace pomocí simulačních programů. Jedná se o nízkonákladový proces, jak docílit co nejlepších výsledků. Za pomoci programu a vyškoleného zaměstnance je tak možné před samotným kováním vždy výkovek nechat nasimulovat v systému, a ušetřit tím tak náklady spojené se zavedením výroby špatně navrhnutého výkovku.

Práce se skládá z několika částí. První, teoretická část, popisuje metody objemového tváření a stroje pro něj používané. Důležitou částí kovacího procesu je návrh správných parametrů výkovku jako např. přídavky, úkosy, velikosti zaoblení a další. Správné navržení těchto parametrů je podstatné pro výrobu výkovku bez vad. Tato problematika je řešena v druhé, experimentální části. Dále je v této části práce řešen konkrétní výkovek a jeho optimalizace tak, aby byl proces kování co nejjednodušší a technologicky správný.

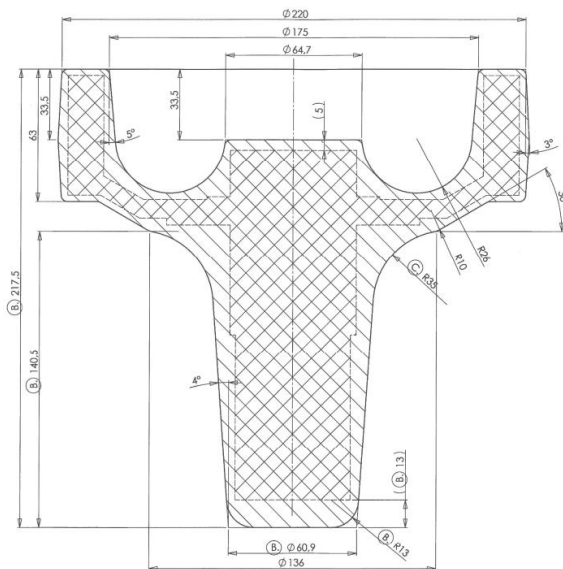
Výsledkem práce je optimalizace postupu výroby výkovku. Korunová hřídel byla vybrána po konzultaci s vedením kovárny PBK ZK s.r.o. jakožto výkovek, u kterého se často objevují nedostatky a musí se tedy po kování ještě značně upravovat a opravovat. Pokud by se v kovárně zavedl systém návrhu výkovku a návrhu výrobního postupu ověřovaný například numerickou simulací, před zavedením nového výkovku do výroby by mohl být nejprve takto zkontrolován. Následně, pokud by to bylo nutné, by byl upraven. Poté by již výkovek neměl vykazovat žádné problémy při kování a jeho zavedení do výroby by tak bylo výrazně jednodušší, rychlejší a patrně méně nákladné.

## 2. Zvolená součást

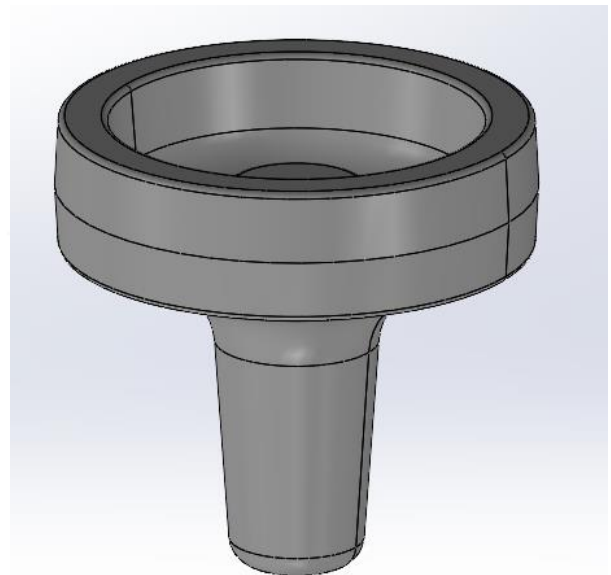
Zvolená součást pro tuto bakalářskou práci se nazývá korunová hřídel. Byla vybrána na základě domluvy s kovárnou PBK ZK s.r.o. Jedná se o příklad součásti, u které byly zjištěny výrobní problémy – vznikají výrobní vady. Materiálem součásti je ocel 16MnCr5.

Z počátku se jednalo o problém se správným zabíháním do dutiny zápustky a také s tvořením přeložek ve spodní kuželové části výkovku v tzv. špičce viz Obrázek č. 1 a 2. Výkres součásti je uveden v Příloze č.1

Po vykování je následně v rámci výrobního postupu součást obrobena a používá se jako výstupní hřídel přidavné převodovky.



Obrázek č. 1 – Výkres zvolené součásti



Obrázek č. 2 – Model zvolené součásti

### 2.1 Možnosti výroby

Vzhledem ke tvaru a rozměru součásti přichází v úvahu několik možností její výroby, avšak některé nejsou pro tento typ součásti zcela vhodné. Níže jsou některé tyto možnosti výroby popsány:

Technologie svařování – tato metoda není pro tento typ součásti vhodná, součást by nedosahovala požadovaných vlastností. Konkrétně lze předpokládat nízkou produktivitu práce a špatné mechanické vlastnosti součásti.

Technologie obrábění – s ohledem na počet vyráběných kusů není tato metoda vhodná z hlediska spotřeby materiálu a dlouhých výrobních časů.

Následující metody jsou pro zvolený typ součásti vhodnější:

### **Slévání:**

Tato technologie spočívá v nalití roztaveného materiálu (nejčastěji oceli nebo litiny) do předem vyhotovené formy (Obrázek č. 3), která odpovídá tvaru odlitku. Dle materiálu použitého při slévání se liší teplota tavení, na níž je závislá teplota lití. Při lící teplotě je materiál v tekutém stavu nalit do formy a následně ponechán ke ztuhnutí. Po částečném vychladnutí je vyjmut z formy.

Pro správné plnění formy je důležitá tekutost použitého materiálu a rovněž jeho zabíhavost, aby došlo k úplnému zaplnění formy. K plnění formy je využita vtoková soustava, která se skládá z kanálků, vtokových zářezů, odstruskovače, lících kanálků a lící jamky. Úkolem vtokové soustavy je usměrnit proud taveniny z lící pánve do vtokových kanálků, za účelem dosažení optimální rychlosti plnění formy. Důležitou část při odlévání hrají nálitky, jež slouží k vyrovnání objemu materiálu při tuhnutí.

Formy pro slévání se dělí na dva hlavní typy, a to na trvalé a netrvalé formy. Netrvalé formy jsou méně nákladné, a proto se používají především pro malosériovou výrobu. Jsou vyráběny z pískovací směsi. Po odlití a ztuhnutí slévané součásti je forma rozbita a formovací směs znovu použita pro výrobu dalších forem. Trvalé formy jsou nejčastěji vytvářeny z kovových slitin a používají se pro velkosériovou výrobu tak, aby se pořizovací cena trvalé formy co nejvíce snížila [1] [2].



Obrázek č. 3 – Slévání [3]

### **Zápustkové kování:**

Tento proces výroby součásti je značně odlišný od výroby za pomoci technologie slévání. Pro zápustkové kování (Obrázek č. 4) se používají zápustky, které jsou vyrobeny z nástrojové oceli. Mechanismus výroby součástí funguje tak, že za pomoci vnějších sil vytvořených lisou nebo buchary, se zahřátý polotovar tvaruje dle tvaru zápustky.

Tato metoda se používá převážně pro sériovou výrobu, jelikož pořizovací cena zápustky je velice vysoká. Výhodou této metody je výroba relativně přesných výkovek, které jsou následně tepelně upraveny a zbaveny přídavků na obrábění. Proces zápustkového kování je rovněž dobře automatizovatelný [4].

Zápustkové kování je podrobněji popsáno v kapitole 3.1.2 Zápustkové kování.



Obrázek č. 4 – Zápustkové kování ve firmě PBK ZK s.r.o.

Vzhledem k požadovaným vlastnostem součásti, kterých chceme docílit, bude nejuhodnější zápustkové kování. Je tomu tak z důvodu, že se jedná o relativně jednoduchý tvar výkovku a náklady na pořízení zápustek tak nejsou nikterak enormní.

### 3. Objemové tváření

Při zpracování kovových materiálů za pomoci tváření se využívá jejich plasticita neboli schopnost přetváření. Schopnost přetváření znamená, že při zpracování nedojde k porušení základního materiálu, ale pouze ke změně tvaru na požadovaný tvar dle způsobu tváření za pomoci působení vnějších sil.

Výsledkem tváření chceme docílit:

- změnu tvaru a rozměrů
- fyzikálních změn materiálu

Plastická deformace:

U tvářeného tělesa je potřeba působením vnějších sil vyvolat takový stav napjatosti, aby byla překročena mez kluzu daného materiálu. Tím vznikne trvalá deformace daných rozměrů, aniž by došlo k porušení soudružnosti [5].

Popis procesu kování:

Kování je druh plastické deformace, kdy se kov přetržitě tváří za pomoci pohybujícího se nástroje. Kov tak dostává svůj finální tvar a mění se jeho mikrostruktury, makrostruktury a dosahuje vysokých mechanických vlastností [6] [7].

### 3.1 Rozdělení technologií tváření

Technologie tváření je možné rozdělit z hlediska směru deformace, teploty, způsobu výroby, použitých tvářecích strojů a dalších hledisek.

#### **Rozdělení z hlediska směru deformace:**

Podle toho, zda body tvářeného tělesa ležící v jednotlivých rovinách zůstanou v těchto rovinách, nebo se dostanou do jiné roviny, rozdělujeme tváření na tváření plošné a objemové [6].

#### Mezi technologie plošného tváření řadíme:

- Lisování plechů
- Ohýbání
- Tažení
- Stříhání

#### Mezi technologie objemového tváření řadíme:

- Válcování
- Kování
- Tažení
- Protlačování
- Speciální metody [6]

Tváření je dále možné rozdělit podle tvářecí teploty, a to na tváření za studena a za tepla. Tváření za studena se vyznačuje tím, že v průběhu procesu nepřekročíme teplotu rekrytalizace, pro tváření za tepla se teplota tvářeného materiálu pohybuje nad teplotou rekrytalizace.



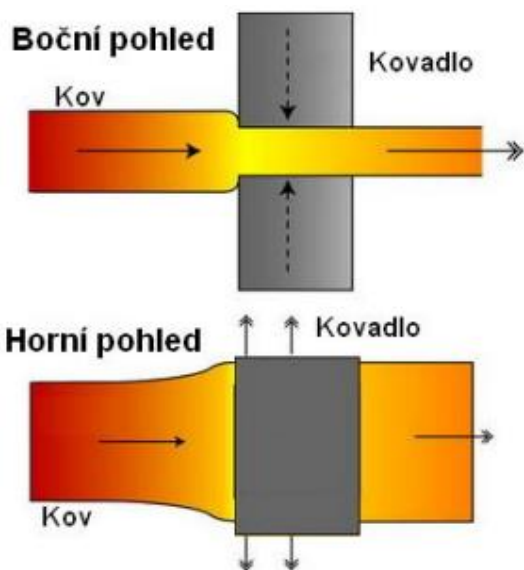


### 3.1.1 Volné kování

Volným kovááním se za pomoci nástrojů nazývaných kovádla vytvářejí tvarově jednoduché výkovky o hmotnosti až 200 t, v extrémních případech mohou být i větší. Volně kované výkovky se vyznačují nerovným, silně zokujeným povrchem. Tento typ kování se používá hlavně pro malosériovou výrobu o velkých rozměrech finálního výkovku. Základem volného kování jsou velké přídavky na obrábění. Jelikož není možné dosáhnout volným kovááním finálního výrobku, je vždy nutné výkovek následně obrobit na požadované rozměry s určenými tolerancemi a úchytkami [6].

Volné kování se provádí za pomoci bucharu či lisu a tvarově jednoduchého nástroje připevněného k beranu. Může se jednat o jednoduchá či různě tvarovaná kovádla pro dosažení požadovaného tvaru. Tvar kovádla se mění podle daného výkovku, vždy se ale jedná o různě tvarovaná kovádla, která napomáhají správnému tváření.

Na Obrázku č. 6 je zobrazeno schéma protahování za pomoci bucharu s kovádlem.



Obrázek č. 6 – Schéma protahování [6]



Obrázek č. 7 – Kovací kladivo ve firmě PBK ZK s.r.o.

Výhody a nevýhody ve srovnání s technologií zápustkového kování:

**Výhody:**

- Vhodné pro malé série
- Využití jako předkovací operace
- Nižší náklady na pořízení nástrojů
- Vhodnější využití pro jednoduché výkovky
- Výkovky značných velikostí a hmotností

**Nevýhody:**

- Především kusová a malosériová výroba oproti zápustkovému kování
- Nevhodné pro výkovky složitých tvarů
- Velké přídavky na obrábění
- Potřeba kvalifikovaného kováře [10]

### 3.1.2 Zápustkové kování

Zápustkové kování rozdělujeme na kování v otevřené nebo uzavřené zápustce.

**Kování v otevřené zápustce:**

Při zápustkovém kování do otevřené zápustky probíhá proces tváření za pomoci dvou dutin zápustek. Probíhá za kovacíh teplot, při kterých dochází k trvalé změně tvaru materiálu vlivem působení vnějších sil. Tlakovou silou lisu nebo úderu bucharu dochází ke změně tvaru materiálu podle tvaru dutiny zápustek.

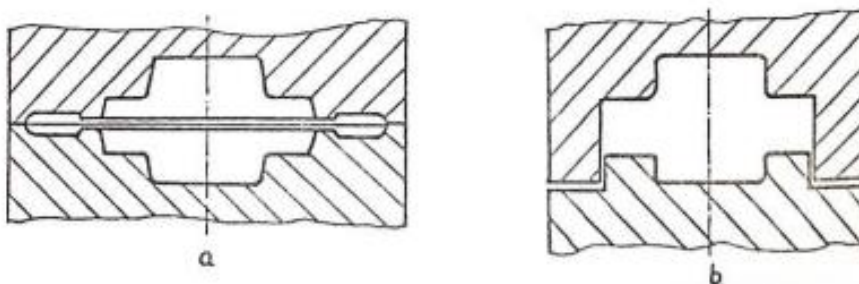
Zápustky jsou tvořeny spodní a vrchní částí a po okrajích zápustky je takzvaná výronková drážka, která umožňuje přetečení materiálu po úplném vyplnění dutiny. Na výronek připadá 8-15 % tvářeného materiálu. Kdyby neměl přebytečný materiál možnost výstupu z dutiny zápustky, nebylo by možné správně výkovek přetvořit do požadovaných rozměrů. Z toho důvodu se při zápustkovém kování vždy pracuje s větším množstvím materiálu, než je pro daný výkovek nutné. Zápustky jsou tvořeny s přídávky na obrábění tak, jak doporučuje norma o přídavicích pro návrh výkovku.

Důležitým faktorem kování v zápustkách je také teplota zápustky. Ta se udržuje okolo 200–300 °C. Předehřev zápustek se realizuje pomocí plynového nebo indukčního ohřevu. Zápustky je nutné předehřívát z důvodu přestupu tepla mezi kovaným materiálem a materiálem zápustky. Kdyby byl přestup tvářeného materiálu příliš vysoký, mohlo by

docházet k rychlému poklesu teploty tvářeného materiálu. Po kování několika výkovků by stejně došlo přestupem tepla mezi kovaným materiálem a zápustkou, ke zvýšení teploty zápustky. První kované kusy by byly vyráběny za jiných podmínek. Příliš vysoká teplota zápustek by vedla k jejich rychlejšímu opotřebení či jejímu poškození [11] [12].

#### **Kování v uzavřené zápustce:**

Uzavřená zápustka nemá na rozdíl od té otevřené výronkovou drážku. Kov totiž přesně vyplní dutinu zápustky a drážka proto není nutná. Tato technologie patří mezi technologie označované jako přesné či bezvýronkové kování. Výhodou tohoto typu kování je kování výkovku s použitím menších přídavků na obrábění a také menších úkosů. Kování je však náročnější, jelikož polotovar musí mít velice přesný objem jako je dutina zápustky. Uzavřené zápustky tedy nemusí dosahovat takové životnosti jako otevřené zápustky a jsou i náročnější na přesnou výrobu. Touto technologií je snižována spotřeba materiálu a jsou rovněž výrazně snižovány také doby potřebné na obrábění. Na Obrázku č. 8 je zobrazena otevřená a uzavřená zápustka [11] [12].



Obrázek č. 8 – a) Otevřená zápustka b) Uzavřená zápustka [13]

Výhody a nevýhody ve srovnání s technologií volného kování:

**Výhody:**

- Využití pro velkosériovou výrobu
- Nižší přídavky na obrábění
- Jednodušší automatizace výroby
- Dobrá využitelnost materiálu
- Vyšší pevnost

**Nevýhody:**

- Kování výkovků menších rozměrů oproti volnému kování

- Vyšší náklady na výrobu nástrojů
- Výsledná kvalita výkovku závislá na správně vykovaném předkovku
- Nutnost správného určení množství spotřebovaného materiálu pro ideální zaplnění zápusťky

## 4. Tvářecí stroje

Pro zápusťkové či volné kování se používají buchary nebo lisy. Podle daného výkovku se volí jeden z nich, nebo ve výjimečných případech mohou být použity pro různé operace postupně oba stroje. Volba stroje záleží převážně na sortimentu, který se bude vyrábět. Obecně jsou buchary použity pro zápusťkové kování vhodnější pro méně sériovou výrobu, jelikož zápusťky dosahují menších životností z důvodů úderů použitých pro kování. Lisy jsou lepší pro větší série a dosahují větší životnosti nástrojů, díky klidnějšímu průběhu operace kování. Lisy se také často používají pro ostřížení výronku.

### 4.1 Buchary

Buchar je strojní zařízení, které pracuje na principu přeměny kinetické energie beranu, buď volně padacího, nebo urychleného. Během několika pracovních zdvihů je dosaženo požadovaného tvaru výkovku. U jednoduchého padacího bucharu je vrchní část beranu zvedána za pomoci řemenu, řetězu nebo pístu. Beran je vyzvednut do určité výšky dle potřebné práce pro kování, a poté za pomoci gravitace a své vysoké hmotnosti dopadá velkou energií na kovaný materiál. U urychleného bucharu je princip takřka stejný, pouze s tím rozdílem, že je mu dodávána větší rychlost za pomoci páry, studeného stlačeného vzduchu nebo horkého stlačeného vzduchu.

Dále můžeme buchary rozdělit také na bezšabotové (protiběžné) a šabotové. Pevná pracovní část bucharu neboli šabota je využita u šabotových bucharů. U protiběžných bucharů (Obrázek č. 9) je šabota vyměněna za spodní beran, který se pohybuje současně s horním beranem jen v opačném směru tak, aby bylo možné dosáhnout velké kovací energie. Poháněny mohou být oba berany současně, nebo může být poháněn pouze jeden a druhý beran s ním tak je pouze v kinematické vazbě. Provedení protiběžných bucharů může být svislé nebo vodorovné. Tento typ bucharů je vhodný a nejčastěji používaný pro zápusťkové kování velkých výkovků.

Buchary je možné dále rozlišit podle dopadové rychlosti beranu na buchary s běžnou rychlostí a buchary se zvýšenou a velkou rychlostí. U bucharů s běžnou rychlostí je rychlost  $v = 4$  až  $8 \text{ m.s}^{-1}$  a u bucharů se zvýšenou nebo velkou rychlostí pak  $v = 20$  až  $60 \text{ m.s}^{-1}$  [14] [15].

**Rozdělení bucharů dle přenosu energie použité při pohonu beranu:**

- **Mechanické** – k přenosu energie z elektromotoru na beran bucharu dochází pomocí přenosových mechanismů. Pod mechanické buchary spadají např. pružinové a třecí buchary. U pružinových bucharů dochází k přenosu pomocí listové pružiny. Třecí buchary používají třecí pohon, kdy řemen slouží jako spojovací a zdvihací člen mezi poháněnou kladkou a přítlačnou kladkou, kde vznikají třecí síly potřebné pro zdvih beranu.
- **Hydraulické** – nositelem energie je kapalina – nejčastěji olej, voda nebo emulze, které energii přemění na kinetickou energii beranu.
- **Elektromagnetické** – jako zdroj energie je použit elektromagnet. Používají se pro lehké kování.
- **Plynové** – nositelem energie je plyn, nejčastěji dusík. Plyn se přemění v kinetickou energii, jež pohybuje beranem.
- **Kombinované** – kombinují některé z předchozích variant [16] [17].



Obrázek č. 9 – Protiběžný buchar BÉCHÉ 16 ve firmě PBK ZK s.r.o.

Název stroje: BĚCHÉ DG 16

Tabulka č. 1 – Parametry bucharu použitého pro analyzovanou součást [18]

Pracovní kapacita [kJ]	Počet úderů [ $min^{-1}$ ]	Max. zdvih beranu [mm]	Hloubka spodního beranu [mm]	Šířka vedení [mm]	Max. výška nástroje [mm]	Celková hmotnost [t]
160	45	710	1600	1200	630	148

Jedná se o pneumacko-hydraulický protiběžný buchar. Tento buchar byl zvolen na základě tvaru a rozměrů výkovku a také z kapacitních důvodů kovárny.

## 4.2 Lisy

U kování při použití lisu se materiál přetvařuje pomocí přenosu tlaku během jednoho stlačovacího pohybu. Nejedná se tedy o několik po sobě jdoucích kovací úderů, ale pouze o kontinuální stlačování. Lisy se rozdělují na dva hlavní typy, a to na mechanické a hydraulické. Rychlost beranu je značně nižší než u bucharů. Rychlost beranu je  $v = 0,01$  až  $2 m \cdot s^{-1}$ . Konstrukce lisů je z pravidla buď dvousloupová, nebo čtyřsloupová. Čtyřsloupová konstrukce se využívá u větších lisů, kde je třeba dosáhnout vyšší kovací síly a dodržet požadovanou přesnost procesu.

**Lisy se rozdělují podle typu a druhu použitého pohonu:**

Mechanické lisy:

- Klikové kovací lisy – za pomoci otáčení klikového hřídele, na kterém je uložena ojnice, dochází k přeměně rotačního pohybu na pohyb přímočarý.
- Vřetenové lisy – pracují na základě nashromážděné kinetické energie v roztočeném vřetenu a setrvačnicku. Pomocí matice a vřetena se převádí otáčivý pohyb na pohyb přímočarý.
- Kolenové lisy – dosahují až 5x větší síly než klikové lisy [14] [15] [19].
- Ostřihovací lisy

Příklad ostřihovacího kovacího lisu (pracujícím na principu klikového lisu) využívaného k ostřihování výronku je zobrazen na Obrázku č. 10.





Obrázek č. 10 – Ostřihovací lis Šmeral LKO 500 ve firmě PBK ZK s.r.o.

Název stroje: LKO 500

Tabulka č. 2 – Parametry ostřihovacího lisu použitého pro ostřížení výronku [17]

Jmenovitá síla [t]	Počet zdvihů [ $min^{-1}$ ]	Zdvih beranu [mm]	Pracovní dráha [mm]	Maximální střížná plocha materiálu [ $mm^2$ ]	Sevření H [mm]	Celková hmotnost [t]
500	18	250	4,5	12 500	550	32

Ostřihovací lis LKO 500 od výrobce Šmeral. Tento lis je v kovárně používán v kovacím souboru společně s bucharem BĚCHÉ DG 16.

#### Hydraulické lisy:

- Používají se zejména pro kování rozměrově velkých výkovků (například pro volné kování). Jako pohon je využit hydraulický olej, který je pomocí čerpadla stlačován a vytváří tak pohyb pístu [14] [15] [19].
- Hydraulické lisy je možné využít pro velkou škálu výrobních procesů, dosahují také větších pracovních sil oproti mechanickým lisům [19].
- Ve srovnání s mechanickými lisy jsou však pomalejší a nákladnější na provoz [19].





ČSN 42 9030.1 – obvyklé provedení

ČSN 42 9030.2 – přesné provedení

ČSN 42 9030.3 – velmi přesné provedení

ČSN 42 9030.9 – provedení podle dohody

Pro zvolený výkovek se používají dvě přesnosti provedení, a to ČSN 42 9030.1 - obvyklé provedení a ČSN 42 9030.9 - provedení dle dohody. Jelikož nejsou na finální výkovek kladeny požadavky, které by neodpovídaly obvyklému provedení a provedení dle dohody, zvolené třídy přesností jsou správné a může se tak započít kontrola navržených rozměrů [20].

#### **Přídavky na obrábění:**

Jedná se o vrstvu materiálu, která je po vykování odebrána ve formě třísky. Přídavky na obrábění se určují jednotně pro všechny rozměry hotového výrobku, velikost přídavků je ovlivněna rozměrem ve směru kolmo k rázu a podle největší výšky hotového výrobku.

Pro zvolený výkovek odpovídají dle normy ČSN 42 9030.1 přídavky na obrábění hodnotě 3,5 mm. Na výkresu výkovku jsou však stanoveny přídavky na obrábění 3 mm. Tato hodnota je nižší než doporučení dané normou, ale lze předpokládat, že tato skutečnost neovlivňuje značně výrobu výkovku jako takového, a proto je možné tento rozdíl zanedbat. V ideálním případě by měl být výkovek přehodnocen a upraven podle informací z normy [20].

#### **Přídavky technologické:**

Tyto přídavky upravují rozměry výkovku tak, aby byl technologicky vhodný ke kování. Navrhují se dle rozměrů finálního výrobku, aby byl výkovek vyrobitelný. Přídavky technologické jsou:

- zaoblení hran a přechodů
- tloušťka dna blány a stěny výkovku
- boční úkosy

#### **Zaoblení hran a přechodů:**

Přídavky hran a přechodů jsou důležité pro správné zatékání kovu a slouží ke snížení opotřebení zápustky. Pokud by měl výkovek moc malé zaoblení, nedojde ke správnému zatečení kovu, a může tak být ovlivněno zaplnění dutiny zápustky. Použití příliš malých

zaoblení na výkovku není vhodné, jelikož tak mohou vznikat vady. Velké zaoblení by znamenalo velkou ztrátu materiálu, a proto se volí tak, aby bylo dostačující, ale zároveň aby nedocházelo ke značné ztrátě materiálu.

Pro vybraný výkovek dle hloubky dutiny  $H$  a šířky stěny výkovku v odpovídajícím místě, se podle tabulky z normy ČSN 42 9030 zvolí správné zaoblení a velikosti přechodů hran.

Z tabulky z prvního sloupce pro  $\frac{h}{f}$  do 2 mm a výšky  $H$  do 40 mm bylo pro vnitřní minimální zaoblení určeno  $r = 3$  mm a pro vnější minimální zaoblení  $R = 8$  mm. Tyto hodnoty odpovídají hodnotám stanoveným konstruktérem. Neokótované rádiusy  $R3$  rovněž vyhovují zjištěným hodnotám [20] [21].

#### **Minimální tloušťka dna blány a stěny výkovku:**

Minimální rozměr tloušťky stěny pro zvolenou součást o daných rozměrech je dle tabulky z normy ČSN 42 9030 o velikosti 20 mm. Z výkresu výkovku je patrné, že minimální rozměr stěny je 22,5 mm. Odpovídá tedy normě, a je takto v pořádku. U výkovků, které obsahují otvory, je není možné vykovat procesem zápusťkového kování. V místě otvoru je ponechána pouze tenká část materiálu nazývaná blánou, jež je následně děrována. Zvolený výkovek žádné otvory neobsahuje, proto nemusíme minimální tloušťku blány navrhovat či kontrolovat [20] [21].

#### **Technologické úkosy:**

Úkosy jsou velice důležité pro snadné vyjmutí výkovku z dutiny zápusťky. Pokud jsou zvoleny špatně, může docházet k zachycení výkovku v dutině zápusťky a k následnému poničení výkovku nesprávným vyjmutím. Pokud je úkos příliš malý, zhoršuje se tím vyjmutí z dutiny zápusťky. Pokud je příliš velký, zvětšuje se množství materiálu, který bude muset být obroben. Z toho důvodu je důležité zvolit rozměry úkosů co nejlépe, aby nenastala ani jedna z výše uvedených situací.

Dle tabulky z normy ČSN 42 9030 pro buchary a lisy bez vyhazovače jsou vnější úkosy stanoveny na  $7^\circ$  a vnitřní úkosy na  $10^\circ$ . Z výkresu výkovku je patrné, že tyto úkosy nejsou dodrženy, vnitřní úkosy jsou zvoleny na  $3^\circ$  a vnější na  $5^\circ$ . Tyto hodnoty velikostí úkosů dle normy tak nejsou dostačující. Z informací zjištěných po kování daného výkovku je patrné, že výkovky zůstávají zachyceny v dutině zápusťky a občasně dochází k problematice při vyjmutí výkovku. Ideálním řešením by bylo zvětšit úkosy a hodnoty dle tabulky z normy ČSN 42 9030. Úkosy nemají přímý vliv na kvalitu výkovku, ale mají za následek špatné

vyjímání ze zápustek. Jak již bylo řečeno, problematickým vyjmutím ze zápustky může docházet k porušení výkovku, anebo k jeho úplnému zničení. Zjištěné problémy s kováním by bylo vhodné upravit zvětšením vnějších a vnitřních úkosů dle hodnot zjištěných z normy [20] [21].

#### **Úchylky rozměrů a tvarů:**

Podle tabulek z normy ČSN 42 9002 se zvolí druh, třída a skupina výkovku tak, aby co nejvíce odpovídala skutečnému výkovku. Následně se z tabulky pro určený stupeň přesnosti z normy ČSN 42 9030 stanoví stupeň přesnosti pro obvyklé provedení. Výkovek spadá do druhu a třídy 49 a skupiny 2. Pro druh, třídu a skupinu bude z normy ČSN 42 9030 určen stupeň přesnosti 1 pro obvyklé provedení, a tím budou zjištěny stupně přesnosti IT ve směru kolmo k rázu IT 5 a rozměry ve směru rázu IT 6.

Následně z tabulek z normy ČSN 42 9030 určíme mezní úchylky rozměrů a tolerance [20] [22].

Rozměry ve směru kolmo k rázu (IT 5)

Mezní úchylky:       Horní úchylka: +1,8 mm

                          Dolní úchylka: -0,9 mm

Tolerance:           2,7 mm

Rozměry ve směru rázu (IT 6)

Mezní úchylky:       Horní úchylka: +2,7 mm

                          Dolní úchylka: -1,4 mm

Tolerance:           4,1 mm

#### **Mezní úchylky zaoblení přechodů *R* a hran *r*:**

Úchylky byly zjištěny z tabulky z normy ČSN 42 9030. Přesné úchylky zjistíme po vynásobení poloměru zaoblení přechodů *R* hodnotou zjištěnou z tabulky +0,5 pro horní úchylku a -0,25 pro dolní úchylku.

Úchylky pro zaoblení hran *r* zjistíme stejným způsobem, a to vynásobením rozměru zaoblení *r* hodnotou +0,25 pro horní úchylku a rozměrem -0,5 pro dolní úchylku [20] [22].

Výkovek nemusí ve všech ohledech odpovídat daným normám, jedná se pouze o doporučené hodnoty a rozměry, jež jsou stanoveny tak, aby při kování nedocházelo k chybám. Pokud ale výkovek bude hodnotami vzdálený od hodnot v normě, je možné, že je špatně navržený, a měla by se tak přehodnotit změna daných tolerancí a rozměrů.

Konstruktér, který vytvářel výkres výkovku, vycházel částečně z norem, ale také částečně ze svých zkušeností. Důležitou roli v tomto procesu hrají také použité stroje. Záleží zejména na tom, jak moc jsou přesné či nepřesné, a také časová dostupnost daného stroje v kovárně.

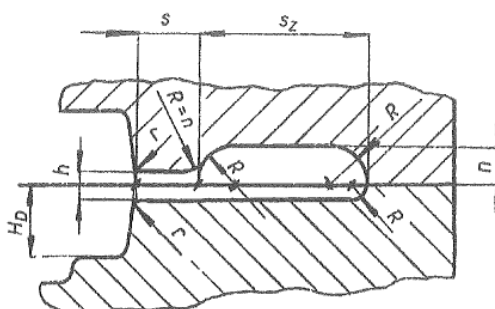
#### **Závěr kontroly rozměrů a tolerancí:**

Hodnoty, rozměry a tolerance uvedeny v normách, jsou pouze orientační a nemusí se nutně dodržovat. Nedodržení norem neznamená okamžitý problém s výrobou součásti, nýbrž se tak pouze zvyšuje pravděpodobnost chybovosti. Některé hodnoty neodpovídají normě ČSN 42 9030 a ČSN 42 9002, ale jelikož se jedná o hodnoty normě velice blízké, není nutné celý výkres spolu s návrhem výkovku měnit. Hodnoty dle norem, které značně ovlivňují kovací proces, jsou v pořádku. Je možno tedy dále pokračovat v řešení optimalizace kovacího procesu.

## **5.2 Návrh rozměrů výronkové drážky**

Výronková drážka (Obrázek č. 12) slouží k rovnoměrnému zaplnění zápustky za pomoci můstku, který reguluje tok materiálu. Následně se v její části udržuje přebytečný materiál, který se již nevejde do zaplněné zápustky [23].

Výronkové drážky se rozdělují na dva hlavní druhy, a to na výronkové drážky pro buchary a výronkové drážky pro lisy. V tomto případě budeme řešit pouze drážky pro buchary, jelikož zvolená součást je vyráběná za pomoci bucharu [24] [23].



Obrázek č. 12 – Typ výronkové drážky pro buchary I. Obvyklý – dle normy ČSN 22 8308 [24]

Výška můstku je dána následujícím vztahem:

$$h = (0,012 \div 0,015) * \sqrt{S_D} \quad (1)$$

kde:

$h$  – výška můstku [mm]

$S_D$  – půdorysná plocha výkovku [mm<sup>2</sup>]

koeficient 0,012 pro velké výkovky, koeficient 0,015 pro malé výkovky

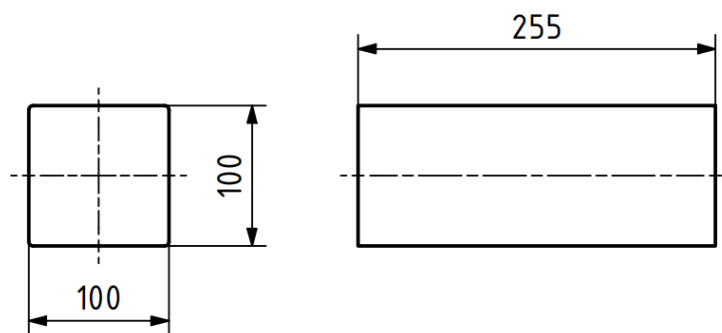
Výronková drážka je určena konstruktérem na základě jeho znalostí a zkušeností.

### 5.3 Stanovení polotovaru

Charakteristika polotovaru se určuje velikostí a tvarem výkovku. Hmotnost výsledného výkovku je 17 kg. Vsázková hmotnost je  $20 \pm 0,3$  kg, určuje se dle hmotnosti výsledného výkovku spolu s hmotností materiálu na opal a materiálem zaplněné výronkové drážky z přibližně 70 %. Z provedené kontroly vychází, že zvolená hmotnost polotovaru je správná. Pokud by byla příliš malá, nemusí dojít ke správnému zaplnění dutiny zápustky, anebo pokud by byla naopak příliš velká, dojde k přeplnění výronkové drážky a přetečení celé zápustky.

Polotovarem je sochor o rozměrech 100 x 100 mm a o délce 255 mm viz Obrázek č. 13. Rozměr je navržený s ohledem na tvar vyráběného předkovku a požadavku z hlediska vsázkové hmotnosti.

Polotovary se dělí ze třímetrokových nebo šestimetrových tyčí. Je vypočítána potřebná délka polotovaru pro dosažení správného objemu materiálu a následně je na pásové pile nařezán. První kusy jsou vždy zváženy, aby se zjistilo, zda odpovídají dané hmotnosti. Následně se již postupně nařeže potřebný počet kusů a průběžně se kontroluje jejich hmotnost.



Obrázek č. 13 – Rozměry polotovaru

#### 5.4 Dělení vstupního materiálu

Jedná se o přípravu polotovaru před samotným ohřevem a následným procesem kování. Základní polotovar je možné dělit několika způsoby, které se dají nejlépe rozdělit na metody bezodpadové – (stříhání a lámání), a metody s tvorbou odpadu – (řezání pilami, řezání kyslíkem, apod).

##### **Stříhání:**

Za pomoci protiběžných břitů, které jsou vtlačovány do materiálu, se postupně provádí stříh. Po zatlačení nožů do určité hloubky dosáhne materiál tak vysokého smykového napětí, že se začne porušovat soudržnost kovu a dojde k postupnému ustřížení materiálu. Na kvalitu střížné plochy má velký vliv nastavení sklonu nožů a nastavení střížné vůle, která nesmí být ani malá ani velká, jinak nedojde ke správnému ustřížení materiálu. Metoda stříhání je také limitována pevností materiálu, pokud se jedná o materiál vysoké pevnosti, je třeba zvolit jiné metody dělení [25].

##### **Lámání:**

Lámání je možné využívat pouze za studena, a to na mechanických nebo hydraulických lamačích. Používá se pro materiály vyšší pevnosti. Před započítím lámání je možné udělat v místě lomu do materiálu vrub pro definování místa porušení [25].

##### **Řezání pilami:**

Při řezání pilami se dosahuje vysoké kvality řezné plochy, avšak oproti stříhání a lámání nedosahuje řezání zdaleka tak vysokou produktivitu práce. Řezání není výhodné ani z hlediska ceny, menší trvanlivosti řezných nástrojů a ztráty materiálu. Je však možné

řezat materiály velkých průřezů, které by nebylo možné zpracovat stříháním nebo lámáním. Používají se rámové, kotoučové nebo pásové pily [25].

#### **Řezání kyslíkem:**

Řezané místo je ohřáto kyslíko-acetylenovým plamenem na vysokou teplotu bílého žáru daného materiálu. Následně na rozžhavený kov proudí kyslík, který odfukuje rozpálený kov mimo řeznou plochu. Není možné řezat neželezné kovy či oceli s obsahem uhlíku přes 1,6 % [25].

#### **Metoda dělení materiálu zvolené součásti:**

Polotovary pro zvolenou součást je řezán na pásové pile TMJ PP 362 A. Kovárna má kapacitu řezat polotovary na pásových pilách až do průměru 380 mm. Pásová pila použita pro řezání je zobrazena na Obrázku č. 14.



*Obrázek č. 14 – Pásová pila TMJ PP 362 A ve firmě PBK ZK s.r.o.*

## **5.5 Ohřev materiálu**

Ohřev materiálu v zápustkových kovárnách je možné provádět za pomoci těchto druhů pecí:

- Karuselové pece
- Talířové pece
- Průběžné pece
- Komorové pece
- Štěrbínové pece

Jednotlivé pece jsou vhodné pro různé druhy použití. Některé jsou vhodné pro velký počet kusů polotovarů, jiné pro velké množství rozdílných velikostí a tvarů polotovarů. Dále je možné pece rozdělit z hlediska zdroje teploty kterými mohou být například plyn nebo elektřina [25].

**Metoda ohřevu polotovaru zvolené součásti:**

Polotovar pro zvolenou součást je ohříván v průběžné plynové peci, která je nastavena přibližně na teplotu 1200 °C. Do pece se vkládají polotovary dle rychlosti procesu kování. Následně jsou polotovary v peci posouvány za pomoci pneumatického podavače. Na Obrázku č. 15 je zobrazena pec použita pro ohřev polotovarů.

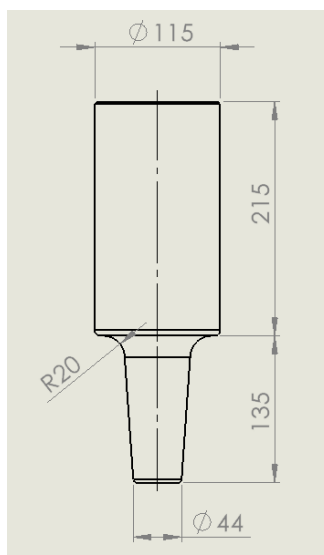


*Obrázek č. 15 – Průběžná plynová pec ve firmě PBK ZK s.r.o.*

## 5.6 Stanovení rozměrů předkovku

Pro daný výkovek je navržen předkovek, který se za pomoci volného kování kove na stanovené rozměry. Rozměry byly stanoveny technologem v kovárně.





Obrázek č. 16 – Rozměry stanoveného předkovku

Rozměry předkovku jsou stanoveny dle hmotnosti výchozího polotovaru, kterým je čtyřhran o velikosti strany 100 mm a délce dle navržené hmotnosti  $20 \pm 0,3$  kg. Předkovek má výchozí tvar výkovku stanoven tak, aby co nejlépe kopíroval tvar zápusťky a zápusťka se tak celá zaplnila.

Experimentální část práce se zabývá změnou tvaru předkovku, jelikož tento tvar má značný vliv na výsledky kovacího procesu, a také i na výsledky simulace.

Kování předkovku je provedeno za pomoci dvoustojanového pneumatického bucharu. Pro správný tvar předkovku se používají kovadla, na kterých se vykove jeho základní tvar, a poté za pomoci stejného kovadla v části, která má přibližný tvar spodní špičky, se vykove spodní špička předkovku.

## 5.7 Proces kování

### **Předkování:**

Předkování polotovaru se provádí na dvoustojanovém kovacím bucharu za pomoci upravených kovadel pro kovaný předkovek. Předkovač buchar je zobrazen na Obrázku č. 7. Kovadla využita pro kování jsou zobrazena na Obrázku č. 29.

### **Kování:**

Kování samotného výkovku se provádí na bucharu BĚCHÉ DG 16. Jedná se o protiběžný buchar pneumaticko-hydraulický o jmenovité energii 160 kJ. Spodní i vrchní část

zápustky je na bucharu před vlastním kovacím procesem nahřívána pomocí plynových hořáků. Pro zamezení ulpívání výkovku v zápustce se mezi jednotlivými údery přihazují do zápustky vlhké piliny. Buchar je zobrazen na Obrázku č. 9.

#### **Ostřih výronku:**

Po dokončení kování je výkovek ručně, za pomoci kleští, přesunut na ostřihovací lis LKO 500, kde dojde k ostřižení výronku a k vizuální kontrole ostřižku. Lis je zobrazen na Obrázku č. 10.

#### **Kontrola rozměrů výkovku:**

Po ostřižení výronku je výkovek vyjmut z ostřihovací dutiny a položen na místo, kde následně proběhne kontrola rozměrů. V této fázi výroby je výkovek stále žhavý a není proto vhodné měřit rozměry posuvným měřidlem. Provede se tedy celková vizuální kontrola příslušným kovářem, který výkovek vizuálně zkontroluje ze všech stran a rozhodne, zda je výkovek dále přesunut na tepelné zpracování. Kovář kontroluje zejména celkový stav povrchu, trhliny, přeložky, záseky, otlaky, chybějící materiál ve tvaru výkovku a otřep po ostřižení výronku.

#### **Tepelné zpracování:**

Pokud výkovek projde patřičnou vizuální kontrolou, je poté přesunut na místo tepelného zpracování. Výkovky jsou přesouvány ve várkách o přibližně 30 kusech v ocelové bedně za pomoci vysokozdvížného vozíku. Výkovky jsou tepelně zpracovávány v ohřívací peci, kde jsou ohřáty přibližně na teplotu 840 °C, na které setrvávají po dobu čtyř hodin. Následně jsou zchlazeny na vzduchu na teplotu přibližně 650 °C, a poté znovu vloženy do pece, kde setrvávají přibližně na teplotě 650 °C další čtyři hodiny. Výkovky jsou poté vytaženy a ponechány ke zchlazení na okolní teplotu. U 10 % všech kusů je provedena kontrola tvrdosti, jež musí odpovídat parametrům HB = 152–207. Na Obrázku č. 17 je zobrazena ohřívací pec využita pro tepelné zpracování.



*Obrázek č. 17 – Ohřívací pec pro tepelné zpracování*

**Tryskání:**

Tryskání výkovků probíhá na bubnovém tryskači Škoda Plzeň 63 B. Použité abrazivo je ocelový granulát ve formě ocelových kuliček o velikosti S 780 (průměr kuliček – 1,7 až 2 mm). Bubnový tryskač je zobrazen na následujícím Obrázku č. 18.



*Obrázek č. 18 – Bubnový tryskač Škoda Plzeň 63 B*

### **Broušení otřepu:**

Případné otřepy po ostřížení výronku jsou ručně obroušeny úhlovou bruskou.

### **Finální kontrola rozměrů:**

Proběhne poslední kontrola hotových výkovků, při níž se namátkově zkontrolují některé rozměry na výkovku. Znovu se vizuálně zkontroluje povrch výkovku, tvar výkovku a jiné jeho parametry.

### **Kontrola za pomoci magnetické zkoušky:**

Následně proběhne kontrola všech výkovků pomocí magnetické zkoušky na stroji Inkar MAS 1000 HD. Po zkoušce je nutné vystavit protokol o zkoušce magnetickou metodou. Výkovky, které magnetickou zkouškou neprojdou, musí být opraveny nebo vyřazeny. Stroj pro magnetickou zkoušku je zobrazen na Obrázku č. 19.



*Obrázek č. 19 – Magnetická zkouška na stroji MAS 1000 HD*

### **Zabalení výkovků a příprava k expedici:**

Výkovek je finálně zkontrolován. Pokud výkovek odpovídá rozměry, tvarem, povrchem a dalšími parametry, je zabalen a následně připraven k odvozu dopravcem. Pokud je při finální kontrole nalezena nesrovnalost parametrů domluvených se zákazníkem, zhodnotí se, zda je výkovek opravitelný či nikoliv, a podle toho se předá informace o velikosti dodávky zákazníkovi. Náhrada za vyřazené výkovky je řešena s další várkou výkovků.

### **Technologický postup výroby výkovku korunové hřídele:**

Tento technologický postup byl vytvořen kovárnou PBK ZK s.r.o.

„Název dílce:	Koruna – hřídel
Hmotnost výkovku:	17 kg
Vsázková hmotnost:	20 ± 0,3 kg
Materiál polotovaru:	16MnCr5
Polotovar:	Sochor 100x100-255
Rozměr výkovku:	Dle výkresu výkovku
1.	Uříznout 20 ± 0,3 kg
2.	Před začátkem výroby kontrola náradí a značení zápustky a stříhu. Upnout zápustky, předeheřt na teplotu 250-350 °C
3.	Ohřev polotovaru na kovací teplotu 800-1150 °C
4.	Předkovat dle náčrtu předkovku, stroj – dvoustořanový pneumatický buchar
5.	Kovat výkovek, stroj – protiběžný buchar BÊCHÊ 16
6.	Ostřihnout výronek, stroj – ostřihovací lis LKO 500
7.	Rozměry výkovku musí zkontrolovat mistr nebo OTK, další kusy průběžně namátkově kontrolovat během výroby – zodpovídá OTK
8.	Vadné kusy vyřadit před tepelným zpracováním
9.	Ohřt na 840 °C, prodleva 4 hod., zchlazit na vzduchu na 650 °C, navrácení do pece a prodleva 4 hod., nechat vychladnout na vzduchu
10.	10 % výkovků – kontrola tvrdosti na ověření kvality tepelného zpracování dle hodnoty HB
11.	Výkovky tryskat
12.	Obrousit otřep
13.	Proměřit poslední výkovky a určit stav náradí tak, aby do něho mohlo být kováno bez závad při příští zakázce
14.	100 % výkovku zkontrolovat pomocí Inkar
15.	100 % výkovku – konečná kontrola, doložit protokol o zkoušce na Inkaru“ [26].

## 6. Numerická simulace procesu zápusťkového kování

Simulace byla vytvořena v programu Simufact Forming 2021.1. Simulace vychází z reálných hodnot a parametrů použitých při kování.

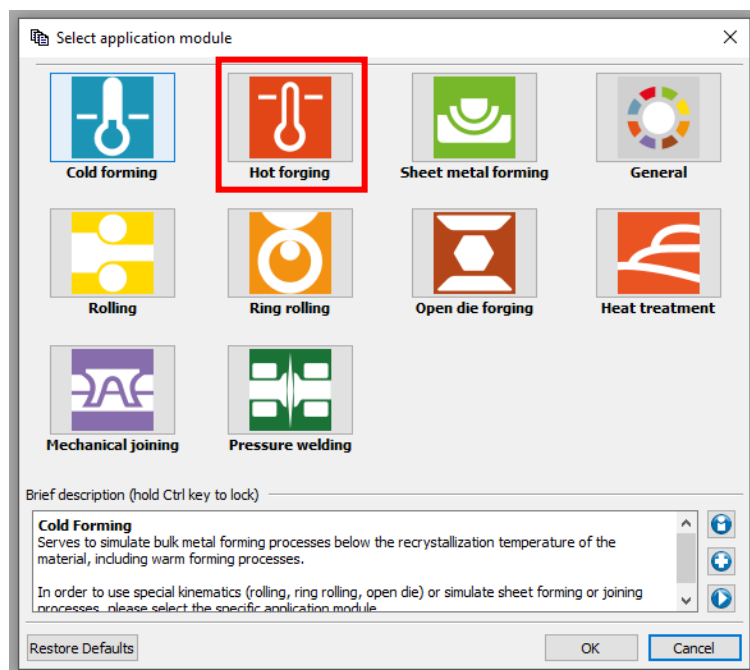
Aplikace Simufact Forming 2021.1 je multifukční aplikace pro simulaci většiny procesů spojených se zpracováním materiálů, ať už za tepla či za studena. Mezi hlavní procesy, které je možné v aplikaci simulovat, patří například:

- Tváření za studena
- Tváření za tepla
- Tváření plechů
- Válcování
- Volné kování
- Tepelné zpracování a další

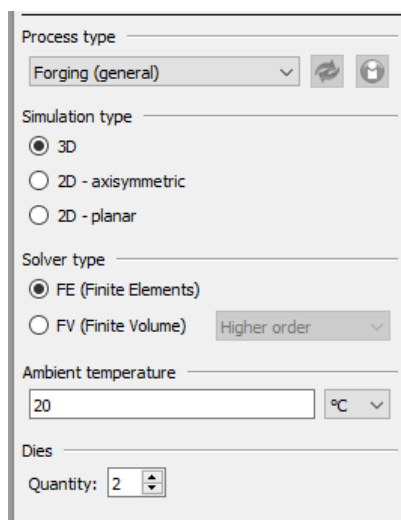
Vzhledem ke zvolené problematice se bakalářská práce se zabývá záložkou *Hot forging* viz Obrázek č. 20.

Pro simulace jsou použity modely zápusťek a model vykovaného předkovku. Vše je shodné s reálnými rozměry tak, aby se docílilo co největší shodnosti s procesem kování v kovárně.

Simulace je vytvořena v záložce *Hot forging* pomocí 3D simulace a výpočtu s použitím *FE – Finite Elements* – metody konečných prvků (Obrázek č. 21). Zvolená záložka *Hot forging* nejlépe odpovídá kování do dutin zápusťek. Ostatní záložky nejsou pro simulaci zápusťkového kování vhodné a nemá smysl se jimi tedy zabývat.



Obrázek č. 20 – Výběr vhodného nastavení



Obrázek č. 21 – Základní nastavení procesu Hot forging

## 6.1 Nastavení simulace

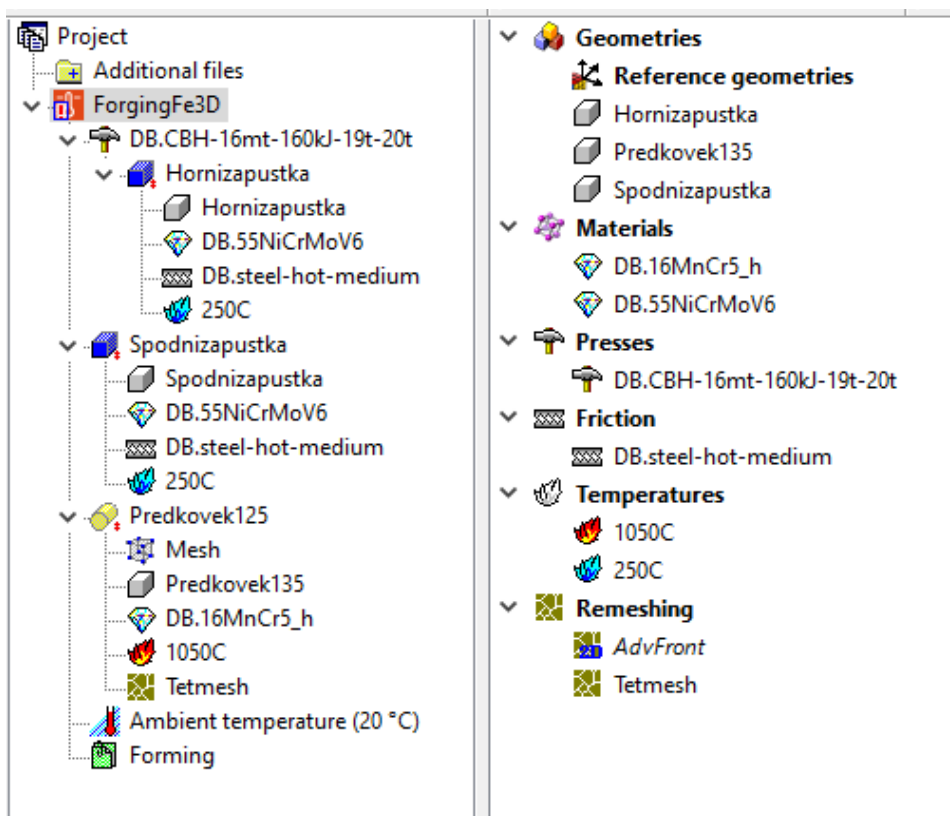
Proces kování výkovku korunové hřídele se skládá z vykování předkovku a následného zápusťkového kování. Z hlediska zjednodušení úlohy se práce zabývá pouze zápusťkovým kováním. Předkovek použitý pro zápusťkové kování je kován za pomoci volného kování na bucharu. Tento proces obsahuje velké množství faktorů, které je v simulaci složité řešit. Z důvodu pracnosti simulace předkovacího procesu byl



předkovek určen s co největší přesností tak, aby co nejlépe kopíroval předkování v kovárně.

Tento proces není ideální, jelikož je předkovek do simulace zadán jako nedeformovaný plastickou deformací, avšak výsledky ze simulace jsou dostatečně přesné pro zjištění vad a návrh úprav kovacího procesu. V ideálním případě by bylo nutné simulovat také předkování, ale jelikož je každý vykovaný předkovek v kovárně lehce odlišný od ostatních, bylo by tak velice složité dosáhnout u předkovku všech parametrů shodných s reálným kovááním. Změna tvaru vstupního materiálu je tak řešena pouze geometricky.

Na obrázku č. 22 je možné vidět základní nastavení simulace, které se použije pro získání výsledků. Jedná se o prvotní nastavení simulace dle parametrů, které se v kovárně používají. Při tomto nastavení dochází ke vzniku chyb na kovaném výkovku.



Obrázek č. 22 – Parametry simulace



## Hlavní parametry základní simulace jsou:

Materiál výkrovku: 1.7131/ 16MnCr5/ ČSN 41 4220

Materiál zápustek: 1.2713/ 55NiCrMoV6/ ČSN 41 9662

Použitý buchar: Protiběžný buchar BĚCHÉ DG 16

Mazání: Střední (dle definice v Simufact Forming 2021.1)

Teplota polotovaru: 1050 °C

Teplota zápustek: 250 °C

Okolní teplota: 20 °C

## Další nastavení použité v simulaci:

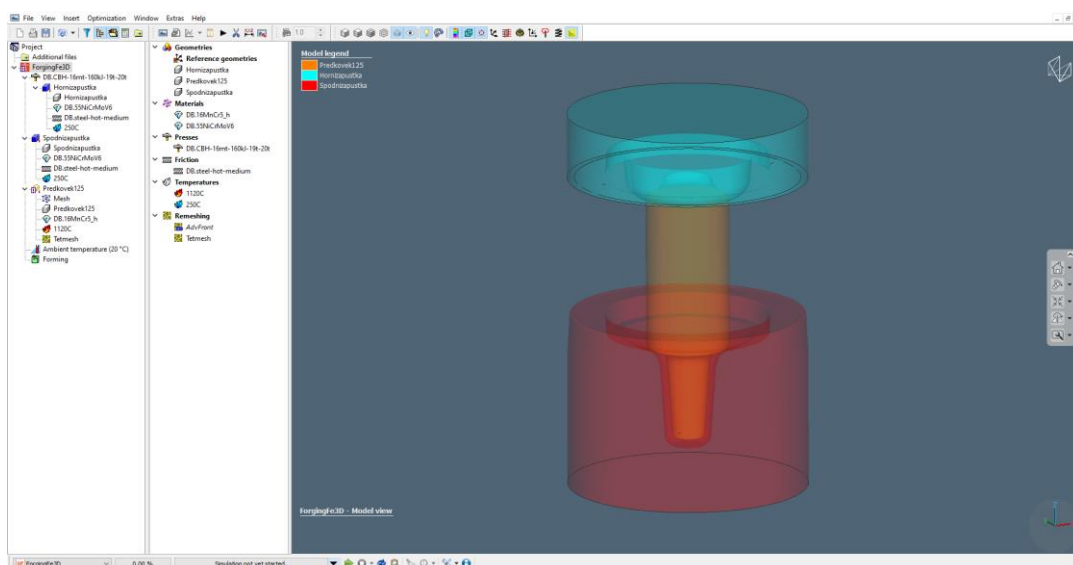
Mesh: Hexmesh velikosti 3,0 mm

Velikost zdvihu: 190 mm

Počet zdvihů: 11

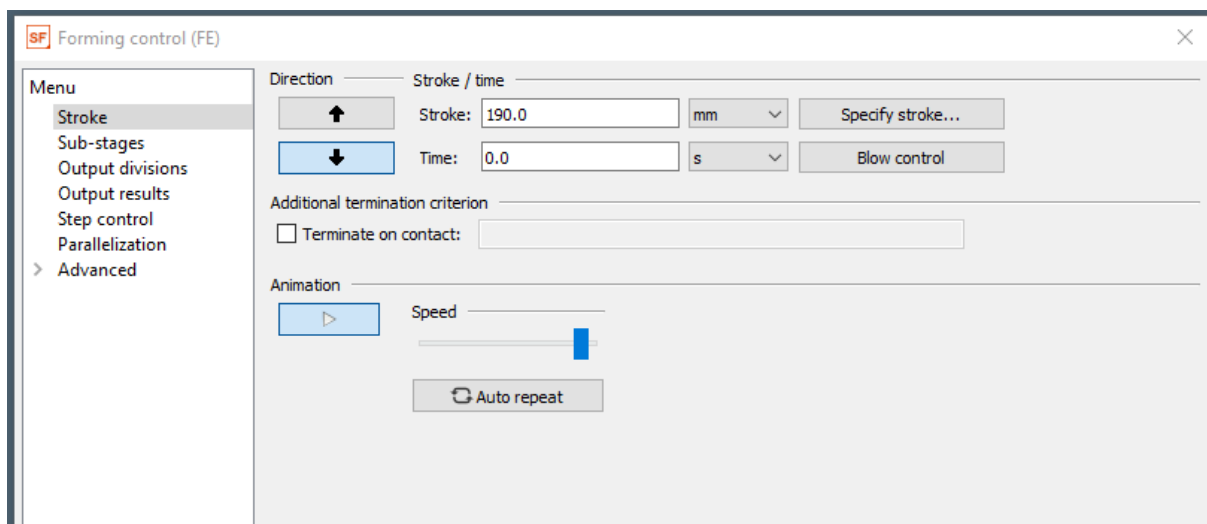
Pro základní simulace jsou vždy použity stejné parametry.

Na Obrázku č. 23 můžeme vidět prostředí simulačního programu, kde je modrou barvou zobrazená horní zápustka, červenou barvou spodní zápustka a oranžovou barvou zvolený předkovek. V levé části obrázku je vidět nastavení simulace, které je detailněji vidět na Obrázku č. 22.



Obrázek č. 23 – Náhled nastavení simulace

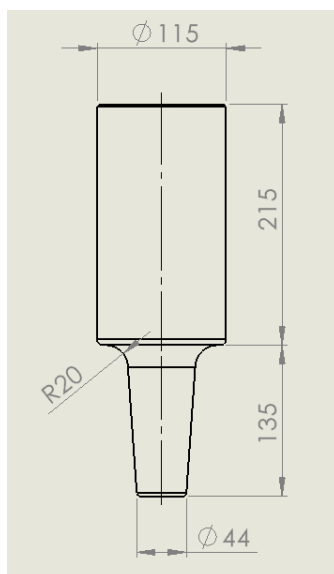
Důležité je nastavení počtu ran bucharu a také vzdálenost, o kterou se musí zápustky posunout, aby došlo ke správnému prokování. Na Obrázku č. 24 je zobrazeno nastavení v záložce *Forming*. Rozměr 190 mm je navržen na základě velikosti předkovku tak, aby došlo k úplnému dokování výkovku. Užitečnou funkcí je také možnost přehrání animace, jež zobrazí, jak bude průběh simulace vypadat, a jaká bude finální pozice zápustek.



Obrázek č. 24 – Nastavení vzdálenosti posunutí zápustek

Důležitým nastavením simulace jsou také parametry výpočtu. V záložce *Forming* je nastaven výpočet pomocí čtyř jader. Délka výpočtu simulace závisí na velikosti použité mřížky předkovku a počtu použitých jader pro výpočet. Mřížka byla zvolena typu Hexmesh o velikosti jednoho prvku 3 mm. Počet prvků se mění s velikostí a tvarem předkovku. Čím více prvků předkovek obsahuje, tím delší bude výpočet simulace. Simulace ale bude v tomto případě dosahovat větších přesností.

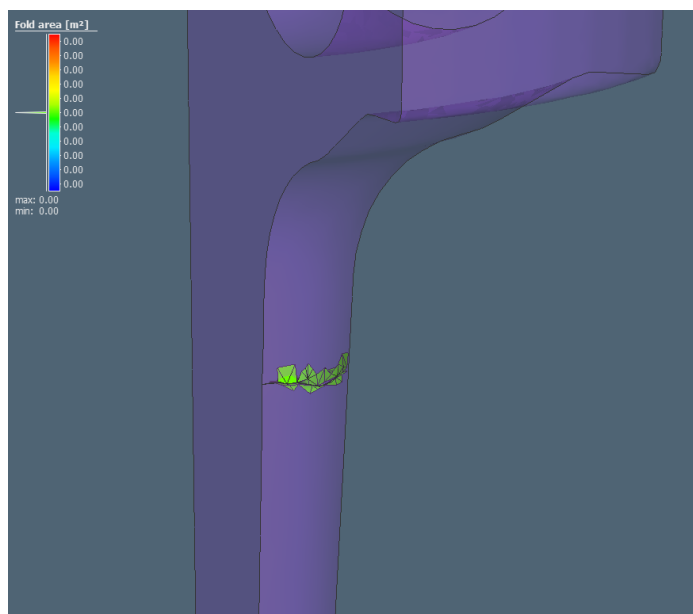
Tvar předkovku použitý pro nastavení základní simulace viz Obrázek č. 25.



Obrázek č. 25 – Předkovka používaný pro kování

## 6.2 Vyhodnocení výsledků prvotních simulací

Bylo provedeno několik simulací, ze kterých je možné vyhodnotit postup pro následnou optimalizaci. Podle výsledků simulací je možné navrhnout úpravu parametrů tak, aby proběhlo kování bez chyb. Na Obrázku č. 26 je znázorněna chyba kování, a to přeložka. Vytvoření této chyby je nutné zabránit úpravou parametrů procesu kování či změnou velikosti předkovku.



Obrázek č. 26 – Simulace ukazující vytvoření přeložky

Znázorněná přeložka na Obrázku č. 26 vznikla při použití předkovku o délce spodního kužele 135 mm. Jedná se o základní délku předkovku, z něhož se korunová hřídel kove. Na následujícím Obrázku č. 27 je zobrazena vykovaná korunová hřídel, na níž je vidět vytvořená přeložka. Tento výkovek nebylo možné opravit, jelikož byla přeložka příliš velká a zasahovala do přílišné hloubky výkovku. Výkovek byl tedy vyřazen jako neopravitelný zmetek.



Obrázek č. 27 – Výkovek s vytvořenou přeložkou

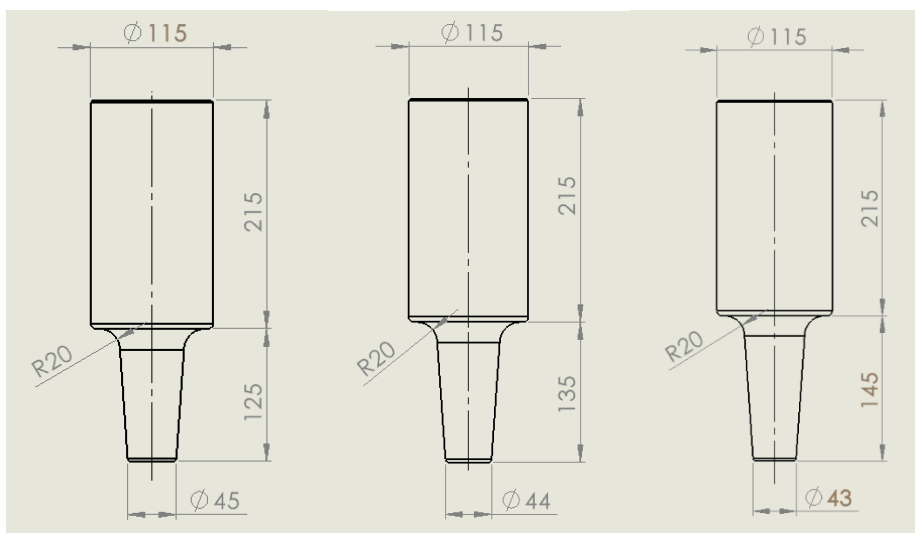
#### **Závěr základní simulace:**

Simulace potvrdila problematiku vytváření přeložek ve spodní části výkovku na kuželové ploše. Tím se prokázalo, že simulace je nastavena správně, jelikož výsledky kování v kovárně odpovídají výsledkům z provedené simulace. Bylo zjištěno špatné zatékání materiálu do dutiny zápustky kvůli nízké kovací teplotě a tvaru kovaného předkovku. Použitý tvar neodpovídá tvaru ideálního předkovku pro daný výkovek. Je tedy nutné upravit parametry tak, aby se zamezilo tvoření přeložek a upravit rovněž některé rozměry předkovku či průběh kovacího procesu, aby nedocházelo k poškození zápustek nebo výkovků.

## **7. Optimalizace simulace**

Pro optimalizaci v simulačním programu byly navrženy následující rozměry předkovků, pro které budeme simulaci provádět. Tvar předkovků je řešen geometricky v CAD programu Solidworks 2021. Rozměr a tvar předkovku značně ovlivňuje kovací proces,

a proto změnou těchto parametrů se docílí správného výsledku jak u simulace, tak u následného kování. Optimalizované předkovky jsou z velké části stejné jako základní předkovek. Byly upraveny pouze délky a průměry kuželové části, aby se materiál lépe rozdělil do spodní dutiny zápusťky a nedošlo tak k vytvoření přeložek. Na Obrázku č. 28 jsou zobrazeny rozměry předkovků, společně se základním předkovkem, který je uprostřed obrázku.



Obrázek č. 28 – Zvolené rozměry předkovků

## 7.1 Návrhy předkovků

Rozměry předkovků je obtížné určit, jelikož do této simulace je možné zadat pouze vymodelovaný předkovek, který nikdy nebude 100% odpovídat vykovanému předkovku. Při kování bude každý předkovek lehce odlišný, a proto jsou rozměry upraveny tak, aby vycházeli z nepřesnosti volného kování, pomocí kterého se dané předkovky zhotovují. V ideálním případě by bylo vhodné simulovat také proces kování předkovku. Tato simulace je ale časově náročná a pro zjištění požadovaných výsledků je dostačující vycházet pouze z vymodelovaného předkovku.

Značnou roli při kování tohoto předkovku hrají zkušenosti kováře, který daný předkovek musí kovat s cílem, aby se co nejvíce přiblížil požadovaným rozměrům. Nevýhodou této simulace je značně nepřesné vykování předkovku, jelikož každý předkovek, který kovář zhotoví, bude vždy lehce odlišný od stanoveného předkovku použitého pro simulaci. S touto informací ale není možné v této simulaci pracovat, protože jak již bylo řečeno, není reálné udělat 100% přesný předkovek. Vzniká tím tak malá nesrovnalost mezi

simulací a samotným kováním, bylo ale rozhodnuto tuto nesrovnalost zanedbat. Jak již bylo řečeno, bylo by vhodné simulovat také proces předkování.

Pro co největší přesnost při kování předkovku je možné použít kovádla, jež mají přibližný tvar zaoblení a zkosení spodní části výkovku. Kovadla byla použita po zjištění problému s vytvářením předkovků. Konkrétně byla využita u nově upravených předkovků kužele o délce 125 mm a 145 mm, za účelem docílení co největší přesnosti jednotlivých předkovků. Na Obrázku č. 29 je zobrazeno kováadlo, které je použito pro kování předkovků.



*Obrázek č. 29 – Kovadlo použité při volném kování*

Kovář, který vykovává daný předkovek, následně za použití měrek pro měření správného tvaru předkovku zkontroluje, zda rozměry vyhovují jeho stanoveným rozměrům. Pokud jsou nevyhovující ale opravitelné, kovář je opraví na požadované rozměry. V opačném případě je předkovek vyřazen, označen jako zmetek, a není dále využit.

## 7.2 Parametry simulace

Na základě výsledků prvních simulací předkovku s délkou kužele 135 mm bylo navrženo zkrácení spodního kužele na délku 125 mm pro jeden předkovek a prodloužení na délku 145 mm pro předkovek druhý. Vsázková hmotnost pro délku 125 mm byla ponechána, u předkovku s rozměrem 145 mm byla vsázková hmotnost zvětšena o 400 g. Změněna byla také kovací teplota z 1050 °C na teplotu 1120 °C za účelem zlepšení toku materiálu do dutin zápustek. Velikost zdvihu byla upravena podle délky předkovku tak, aby při simulaci došlo ke správnému dosednutí zápustek.

**Hlavní parametry optimalizované simulace jsou:**

Materiál výkovku: 1.7131/ 16MnCr5/ ČSN 41 4220

Materiál zápustek: 1.2713/ 55NiCrMoV6/ ČSN 41 9662

*Použitý buchar: Protiběžný buchar BĚCHÉ DG 16*

Mazání: Střední (dle definice v Simufact Forming 2021.1)

Teplota polotovaru: 1120 °C (u základní simulace 1050 °C)

Teplota zápustek: 250 °C

Okolní teplota: 20 °C

**Další nastavení použité v simulaci:**

Mesh: Hexmesh velikosti 3,0 mm

Velikost zdvihu: 190 mm-předkovek délky 125 mm

200 mm-předkovek délky 145 mm

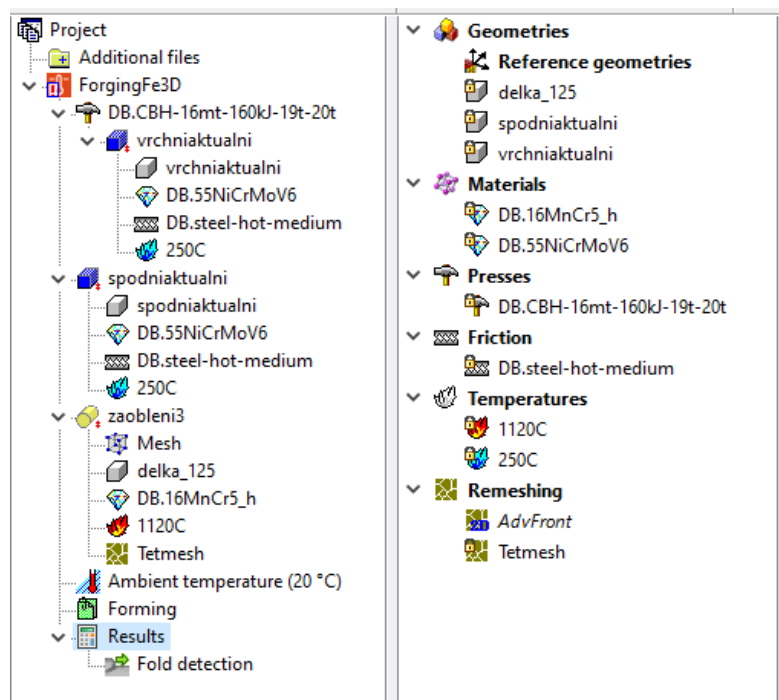
Počet zdvihů: 11 – předkovek délky 125 mm

12 – předkovek délky 145 mm

Velikost a počet zdvihů se liší podle použitého předkovku pro numerickou simulaci.

### 7.3 Průběh optimalizované simulace

Následující Obrázek č. 30 zobrazuje nastavení a použité parametry pro optimalizovanou simulaci, jež byla navržena s ohledem na zamezení tvorby chyb u výsledného výkovku.

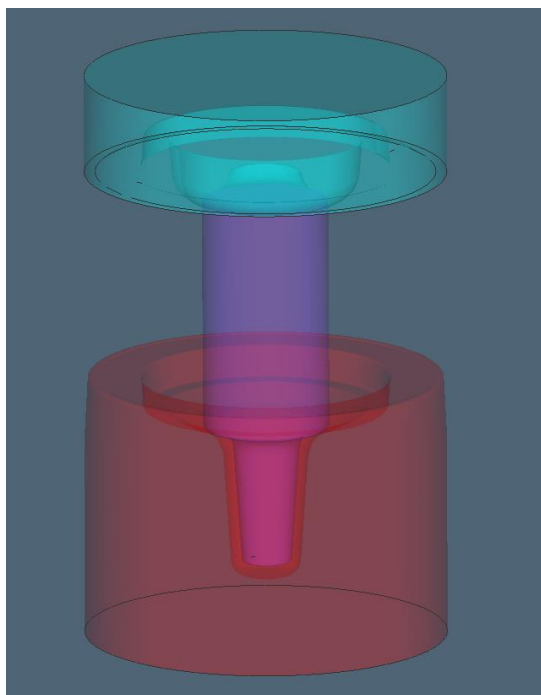


Obrázek č. 30 – Optimalizované nastavení simulace

Po zkontrolování všech zadaných parametrů a nastavení simulace je možné simulaci spustit. Jednotlivé údery bucharu a průběh simulace může být zobrazen po jejím dokončení. Pro výpočet optimalizované simulace jsou použity stejné parametry jako u simulace základní. Těmi jsou velikost jednoho prvku 3 mm a výpočet za pomoci 4 jader. Výpočet simulace trvá přibližně 6–7 hodin, dle vytížení použitého počítače. Zmenšením velikosti prvků můžeme docílit přesnějších výsledků simulace, ale doba výpočtu simulace se poté výrazně zvyšuje. Zvolená velikost prvků 3 mm je dostačující pro správnou přesnost výsledků simulace, ale zároveň tak výpočet simulace netrvá příliš dlouho.

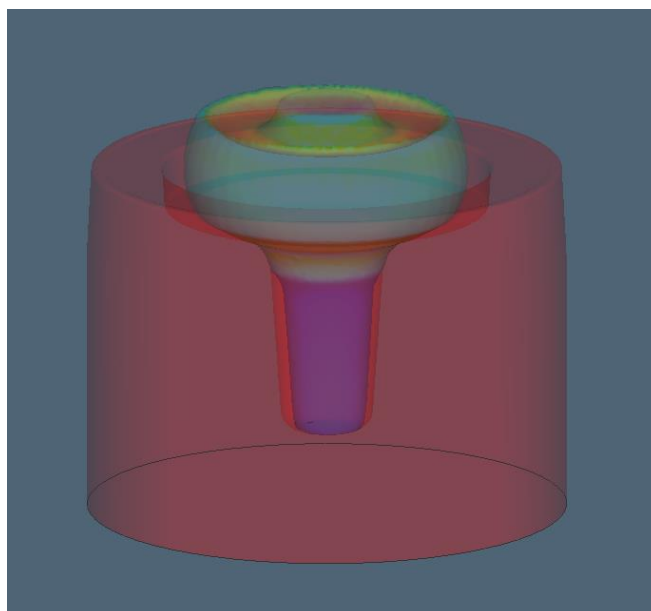
Na následujících obrázcích je možno pozorovat postupné kování vytvořené simulací. Na Obrázku č. 31 je zobrazen začátek simulace s výchozími pozicemi zápustek a předkovku.





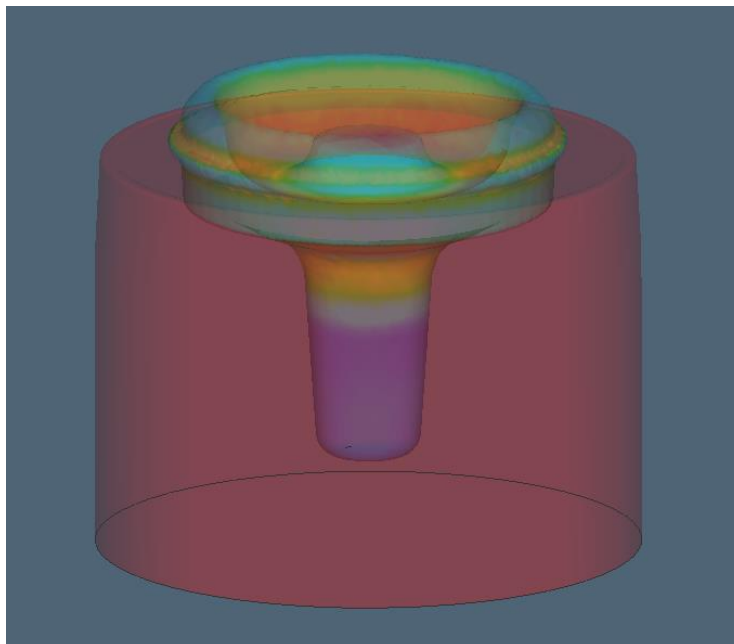
*Obrázek č. 31 – Začátek simulace*

Na Obrázku č. 32 je zobrazen průběh simulace u čtvrtého úderu bucharu. Z obrázku je patrné, že výkovek již začíná připomínat tvarem hotový výsledek. Barevné rozlišení zobrazuje plastickou deformaci, kdy červená barva vyznačuje nejvyšší stupeň deformace a modrá nejnižší.



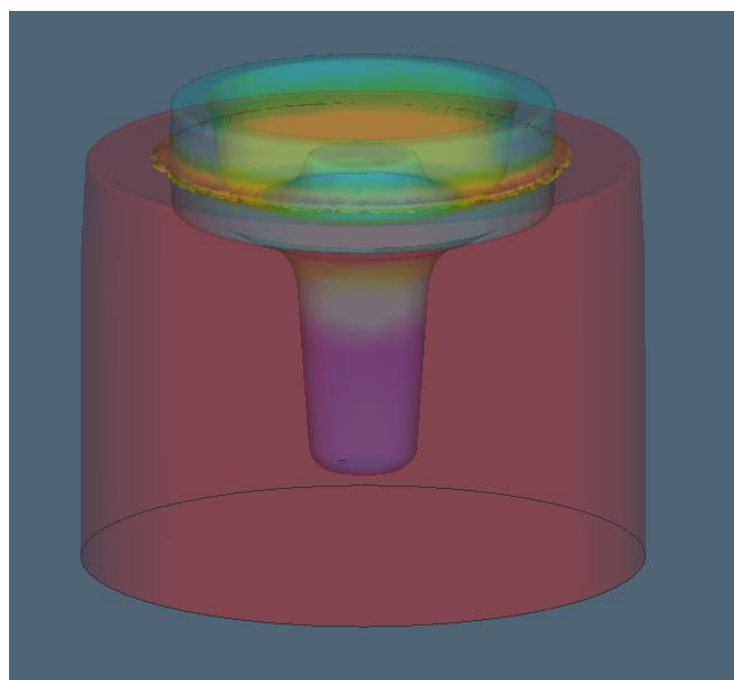
*Obrázek č. 32 – Čtvrtý úder bucharu*

Na Obrázku č. 33 je zobrazen náhled simulace po sedmém úderu bucharu, z něhož je patrné, že výkovek je téměř dokován.



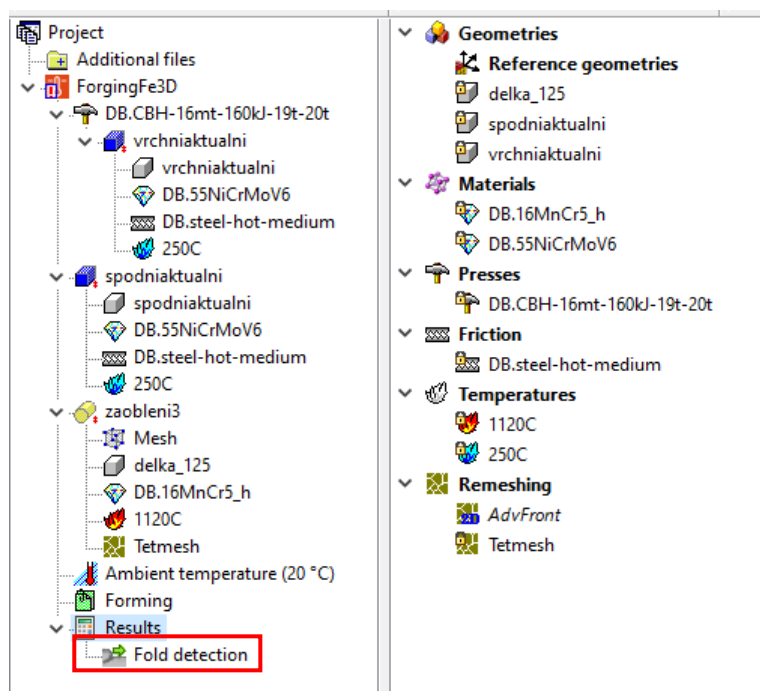
*Obrázek č. 33 – Sedmý úder bucharu*

Obrázek č. 34 zobrazuje již dokovaný výkovek, včetně zčásti zaplněné výronkové drážky. Z tohoto pohledu je patrné, že výkovek odpovídá tvarem a také nevykazuje žádné patrné problémy způsobené kováním.



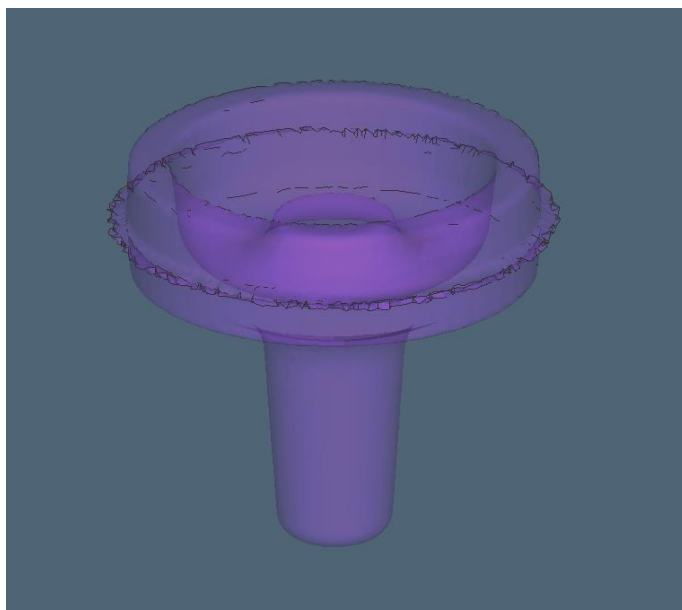
*Obrázek č. 34 – Výsledek kování vytvořený simulací*

V záložce *Results* – výsledky, po rozkliknutí *Fold detection* – detekce přeložek, se nám zobrazí náhled výkovku, ze kterého zjistíme, zda jsou vytvořeny nějaké přeložky na povrchu nebo uvnitř výkovku.



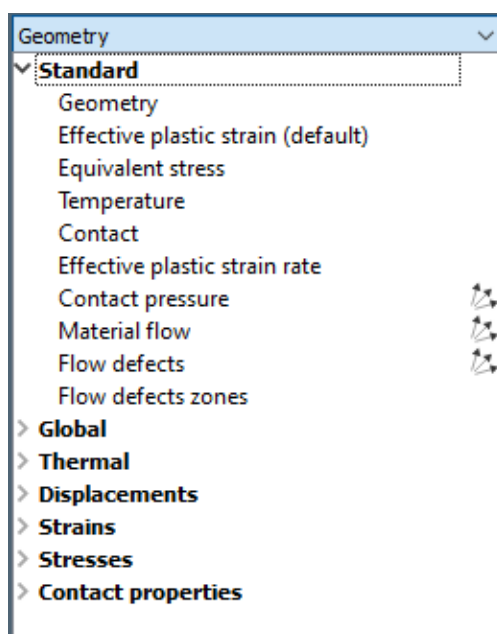
Obrázek č. 35 – Detekce vytvořených přeložek

Simulace u předkovku s délkou spodního kužele 125 mm (Obrázek č. 36) nevykazuje žádné tvoření přeložky a tím ji můžeme považovat za úspěšnou. Pokud se tedy parametry a velikost předkovku použijí pro kování v kovárně, nemělo by docházet k vytváření přeložek, a vyřeší se tím problematika značného množství vykovaných zmetků. Simulace předkovku o délce spodního kužele 145 mm taktéž nevykazují žádné vady na vykovaném výkovku.



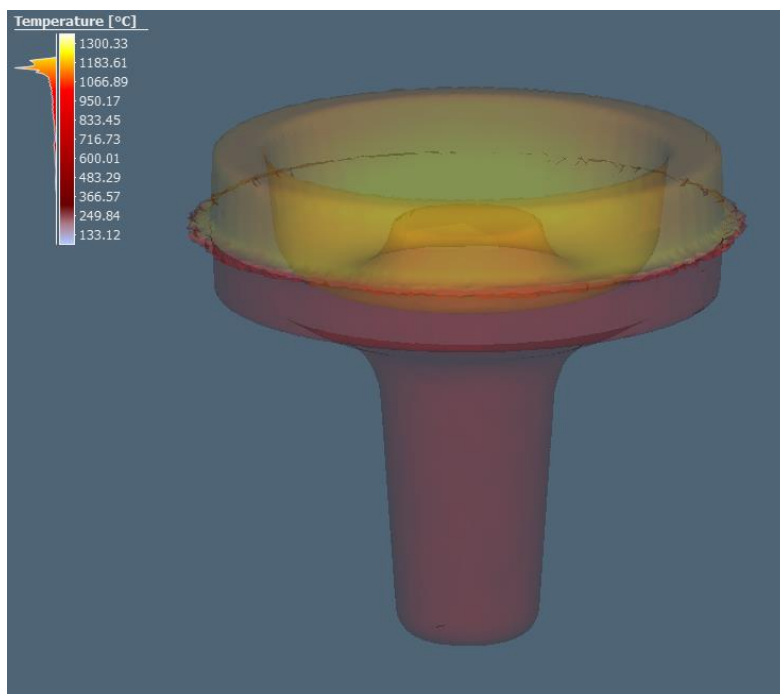
Obrázek č. 36 – Simulace bez vytvoření přeložek

Z výsledků simulace je možné zjistit další důležité informace o průběhu kovacího procesu, které jsou zobrazeny v následujícím Obrázku č. 37. Jsou jimi například: geometrie, plastická deformace, teplota, tok materiálu, velikost kontaktu a další.



Obrázek č. 37 – Možné informace zjistitelné z výsledků simulace

Po zvolení příslušného parametru se zobrazí barevně rozlišené části výkovku, kdy je na levé straně vidět barevné rozdělení pro jednotlivé hodnoty, a na pravé straně jsou jednotlivé části výkovku označeny příslušnou barvou odpovídající hodnotám. Na Obrázku č. 38 jsou zobrazeny hodnoty teplot po kování při simulaci.



*Obrázek č. 38 – Teploty po dokončení kování*

## Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá technologií objemového tváření u zápusťkových výkovků a řešením optimalizace zvoleného výkovku pomocí simulačního programu tak, aby nedocházelo k problémům při kovacím procesu.

V rešeršní části jsou zhodnoceny možné výrobní metody pro analyzovanou součást. Jsou popsány metody objemového tváření a stroje k tomu využívané. Zvláštní zřetel je kladen na stroje využívané pro zápusťkové kování.

V experimentální části je řešeno ověření navržených rozměrů výkovku a tolerancí výkovku dle platných norem. Z hlediska doporučení uvedených v normách, má navržený výkovek menší velikost přídavků na obrábění, dále jsou výrazně menší hodnoty bočních úkosů. Ostatní hodnoty odpovídají doporučením v normách.

S ohledem na možný rozptyl výsledků předkovací operace bylo řešení úlohy zjednodušeno tak, že byly navrženy geometrie předkovků v CAD programu Solidworks 2021 bez ověření numerickou simulací. Tyto geometrie byly následně ověřovány simulací dokovací operace. Nutno podotknout, že získané výsledky jsou ovlivněny tím, že u předkovku chybí informace o deformaci při kování předkovku.

Následně byla provedena simulace reálného kování dokovací operace v simulačním programu Simufact Forming 2021.1. Pro prvotní výpočet byly zvoleny parametry odpovídající reálnému kovacímu procesu. Z výsledků simulace byly patrné chyby, které se projevují při reálném kování. Jednou z chyb je vznik přeložky, dále docházelo k obtížím při zaplňování dutiny zápusťky. Malé úkosy pak znesnadňují vyjímání výkovku z dutiny zápusťky. Byla navrhována opatření, která mají eliminovat tvoření chyb. Následně byly provedeny simulace a optimalizační výpočty s použitím hodnot, které by tyto chyby měly eliminovat.

Pro optimalizaci kovacího procesu bylo navrženo prodloužení či zkrácení spodní části předkovku. Dále bylo také navrženo zvýšení kovací teploty pro zlepšení zatékání materiálu do dutin zápusťek.

Bylo provedeno třicet různě upravených simulací. Pro některé byl výpočet použit pouze pro jednotlivé segmenty předkovku, například pro poloviční předkovek nebo čtvrtinový či osminový. Za pomoci symetrických rovin se poté předkovek v simulaci upravil tak, jako

by simulace probíhala pro celý předkovek. Zároveň byla měněna kovací teplota tak, aby se dosáhlo výsledků kování bez tvoření chyb.

Z výsledků upravených simulací bylo prokázáno, že nově navržené parametry jsou dostačující pro správný průběh kovacího procesu. Pokud tyto parametry budou využity v kovárně pro kování daného výkovku, nemělo by již docházet k vytváření vad a chyb výkovku.

Návrh je tedy používat při kování předkovek s rozměrem spodního kužele 125 mm. Tento předkovek je dostačující a jeho vsázková hmotnost je nižší než u předkovku o délce spodního kužele 145 mm. Tím se docílí nižší spotřeby materiálu. Zvýšená kovací teplota má za následek lepší zatékání materiálu do dutin zápustek, a bylo by proto vhodné ji taktéž aplikovat do kovacího procesu.

Značný problém v kovacím procesu hraje především nepřesně vykovaný předkovek, který je zpracován volným kovááním za pomoci kovadel. Tímto způsobem je velice náročné dosáhnout požadovaných rozměrů předkovku.

Důležitou roli při kovacím procesu hraje tvar a rozměry předkovku, který je kován pomocí volného kování na bucharu, za použití jednoduchých kovadel s plochou pro osazení stran polotovaru a připraveným tvarem pro předkování kuželové špičky předkovku. Na základě problému s kvalitou předkovku by bylo vhodné pokusit se zlepšit přesnost kování předkovku například použitím dorazu pro dosažení délky osazené části, či úpravou geometrie předkovacího nástroje, nebo zlepšením měření tvaru předkovku. Jednou z dalších možností by bylo použití postupové zápustky. Tato metoda je však značně nákladnější oproti volnému kováání, a pro určený výkovek by to patrně nebylo vhodné, jelikož se ve firmě PBK ZK s.r.o. jedná přibližně o výrobu 200 ks výkovků za rok.

Simulační programy mohou výrazně ušetřit náklady a čas při zjišťování problémů s kovááním. Pokud je to možné, bylo by vhodné využívat v kovárně simulační program pro zjištění vad na výkovicích či při zavádění nového výkovku do výroby.

Důležitým parametrem procesu kování je také stabilita výroby, tedy zajištění minimálního rozptylu vstupních parametrů procesu tak, aby byl celý proces co nejlépe opakovatelný a nedocházelo k vytváření nežádoucích stavů ovlivněných samotou výrobou. Obecně vzato celkovou stabilitu výrobního procesu ovlivňují kontrolovatelné i nekontrolovatelné (např. jakost nakupovaného materiálu) okrajové podmínky. Do budoucna je tedy velice vhodné zabývat se i zavedením takového nástroje řízení kvality,

**který dokáže efektivně vyhodnotit všechny vlivy vstupujících nepřesností a zaměřit se především na ty, které lze přímo ovlivnit v rámci kovacího procesu.**



## Použité zdroje

- [1] NOVOTNÝ, Jiljí a Jan ŠANOVEC. *Technologie I*. 1. Vydání. Praha: ČVUT, 2006. ISBN 80-01-02351-6.
- [2] MORAVEC, Zdeněk. *Výroba těla granátu* [online]. Brno, 2021 [cit. 2022-06-21].  
Dostupné z:  
[https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=225559](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=225559). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [3] *Kovostrojservis, spol. s.r.o.* [online]. Obrázek [cit. 2022-06-30]. Dostupné z:  
<https://www.slevarna-stolle.cz/informace/galerie-obrazku/site/1/>.
- [4] SEMIATIN, S.L., ed. *ASM Handbook: Volume 14A - Metalworking: Bulk Forming*. United States of America: ASM International, 2005. ISBN 0-87170-708-X.
- [5] BENEŠOVÁ, Soňa a Vladimír BERNÁŠEK. *Technologie tváření*. 1 vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2014. ISBN 978-80-261-0449-0.
- [6] FABÍK, Richard. *Tváření kovů*. 1. vydání. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2572-4.
- [7] VLK, Vladimír. *Základy strojírenské technologie I*. Praha: ČVUT, 2016. ISBN 978-80-01-06056-8.
- [8] *Technologie tváření kovů* [online]. Liberec [cit. 2022-06-30]. Dostupné z:  
[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuuka/skripta_tkp/sekce/01.htm).
- [9] NOVOTNÝ, Karel. *Speciální technologie výroby: Část tváření*. Brno: VUT, 2002.
- [10] LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-580-2
- [11] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vydání. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.

- [12] DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium*. Vysoké učení technické v Brně [online]. Brno [cit. 2022-04-03]. Dostupné z:  
[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie\\_tvareni/index.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm).
- [13] ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL, 1992. ISBN 83-03-00651-1.
- [14] RUDOLF, Bedřich. *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce*. 2. vydání. Praha: SNTL, 1982.
- [15] JAKHADE, Nilesh A. *An Overview of Forging Processes with Their Defects* [online]. 2014, [cit. 2022-04-04]. ISSN 2250-3153. Dostupné z:  
<https://www.ijsrp.org/research-paper-0614/ijsrp-p3024.pdf>
- [16] KOVÁČ, Andrej a Bedřich RUDOLF. *Tvárníace stroje*. 1. vydání. Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, n.p., 1989. ISBN 80-05-00126-6.
- [17] HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje 1973*. 2. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1974.
- [18] PBK ZK s.r.o. *Interní dokumenty - Informace o stroji*. 1983.
- [19] KOPECKÝ, Miloslav, RUDOLF, Bedřich. *Tvářecí stroje: Mechanické a hydraulické lisy*. 1. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1967.
- [20] **VÝKOVKY OCELOVÉ ZÁPUSTKOVÉ: Příkladky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů**. Praha: Český normalizační institut, 1986.
- [21] KRULICH, Hynek. *Výkovky v technické dokumentaci* [online]. Brno, 2017 [cit. 2022-07-01]. Dostupné z:  
[https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=148624](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=148624). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [22] **ROZDĚLENÍ ZÁPUSTKOVÝCH VÝKOVKŮ PODLE SLOŽITOSTI TVARU**. Praha: Český normalizační institut, 1968.
- [23] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vydání. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.

- [24] *ZÁPUSTKY PRO BUCHARY: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1970.
- [25] HAŠEK, Vladimír. *Kování*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. ISBN 04-233-65.
- [26] PBK ZK s.r.o. *Interní dokumenty - Technologický postup výroby*. 2022.

## Seznam obrázků

Obrázek č. 1 – Výkres zvolené součásti .....	11
Obrázek č. 2 – Model zvolené součásti.....	11
Obrázek č. 3 – Slévání [3] .....	13
Obrázek č. 4 – Zápustkové kování ve firmě PBK ZK s.r.o. ....	14
Obrázek č. 5 – Schéma tvářecích teplot [8] .....	16
Obrázek č. 7 – Kovací kladivo ve firmě PBK ZK s.r.o. ....	17
Obrázek č. 6 – Schéma protahování [6] .....	17
Obrázek č. 8 – a) Otevřená zápustka b) Uzavřená zápustka [13] .....	19
Obrázek č. 9 – Protiběžný buchar BĚCHÉ 16 ve firmě PBK ZK s.r.o.....	21
Obrázek č. 10 – Ostříhovací lis Šmeral LKO 500 ve firmě PBK ZK s.r.o. ....	23
Obrázek č. 11 – Výkres obrobené součásti .....	24
Obrázek č. 12 – Typ výronkové drážky pro buchary I. Obvyklý – dle normy ČSN 22 8308 [24].....	28
Obrázek č. 13 – Rozměry polotovaru .....	30
Obrázek č. 14 – Pásová pila TMJ PP 362 A ve firmě PBK ZK s.r.o. ....	31
Obrázek č. 15 – Průběžná plynová pec ve firmě PBK ZK s.r.o.....	32
Obrázek č. 16 – Rozměry stanoveného předkovku.....	33
Obrázek č. 17 – Ohřívací pec pro tepelné zpracování .....	35
Obrázek č. 18 – Bubnový tryskač Škoda Plzeň 63 B .....	35
Obrázek č. 19 – Magnetická zkouška na stroji MAS 1000 HD .....	36
Obrázek č. 20 – Výběr vhodného nastavení .....	39
Obrázek č. 21 – Základní nastavení procesu Hot forging .....	39
Obrázek č. 22 – Parametry simulace .....	40
Obrázek č. 23 – Náhled nastavení simulace .....	41
Obrázek č. 24 – Nastavení vzdálenosti posunutí zápustek .....	42
Obrázek č. 25 – Předkovek používaný pro kování .....	43
Obrázek č. 26 – Simulace ukazující vytvoření přeložky.....	43
Obrázek č. 27 – Výkovek s vytvořenou přeložkou .....	44
Obrázek č. 28 – Zvolené rozměry předkovků.....	45
Obrázek č. 29 – Kovadlo použité při volném kování .....	46
Obrázek č. 30 – Optimalizované nastavení simulace .....	48
Obrázek č. 31 – Začátek simulace.....	49
Obrázek č. 32 – Čtvrtý úder bucharu .....	49
Obrázek č. 33 – Sedmý úder bucharu .....	50
Obrázek č. 34 – Výsledek kování vytvořený simulací.....	50
Obrázek č. 35 – Detekce vytvořených přeložek .....	51

<b>Obrázek č. 36 – Simulace bez vytvoření přeložek .....</b>	<b>52</b>
<b>Obrázek č. 37 – Možné informace zjistitelné z výsledků simulace .....</b>	<b>52</b>
<b>Obrázek č. 38 – Teploty po dokončení kování .....</b>	<b>53</b>

## Seznam tabulek

Tabulka č. 1 – Parametry bucharu použitého pro analyzovanou součást [18] .....	22
Tabulka č. 2 – Parametry ostřihovacího lisu použitého pro ostřížení výrobku [17] .....	23

## Seznam příloh

**Příloha č. 1 – Výkres zvolené součásti**

**Příloha č. 2 – Výkres obrobené součásti**

**Příloha č.1**

