



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

FAKULTA STROJNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

Návrh výroby antivibračního závaží

Design of anti-vibration weight production

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR:

Author

Bc. Ondřej Stejskal

VEDOUCÍ PRÁCE:

Supervisor

Ing. František TATÍČEK, Ph.D

STUDIJNÍ PROGRAM:

Study programme

B 2341 Strojírenství

STUDIJNÍ OBOR:

Field of study

3911T035 Výrobní a materiálové inženýrství

Praha 2021



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Stejskal** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **420452**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh výroby antivibračního závaží

Název diplomové práce anglicky:

Design of anti-vibration weight production

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznámení s problematikou, zhodnocení technologičnosti součástí
- 2) Výběr vhodné výrobní technologie
- 3) Návrh technologického postupu výroby
- 4) Návrh technicko-ekonomického hodnocení
- 5) Závěrečné zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Schuler - Metal Forming Handbook
ASM Handbook Volume 14A: Metalworking: Bulk Forming

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

Ing. Lukáš Chrástanský, ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání diplomové práce: **30.10.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **13.01.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **30.06.2021**

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

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

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Františku Tatíčkoví Ph.D. za trpělivost a cenné rady při vedení této diplomové práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci – Návrh výroby antivibračního závaží vypracoval samostatně pod vedením Ing. Františka Tatička, Ph.D. a, že jsem uvedl všechny použité zdroje v seznamu literatury.

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

Anotace

Jméno autora:	Bc. Ondřej Stejskal
Název práce:	Návrh výroby antivibračního závaží
Škola:	České vysoké učení technické
Ústav:	Ústav strojírenské technologie (U12123)
Školní rok:	2020/21
Vedoucí BP:	Ing. František Tatíček, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Lukáš Chrást'anský
Klíčová slova:	Zápustkové kování, bezvýronkové, antivibrační závaží,
Abstrakt:	Cílem diplomové práce je seznámit se a porovnat výrobní technologie vhodné pro výrobu antivibračního závaží, posléze navrhnout technologický postup výroby pro danou technologii a posoudit výrobu technicko-ekonomickým hodnocením.

Anotation

Author: Bc. Ondřej Stejskal

Name of the theses: Design of anti-vibration weight production

School: Czech Technical University in Prague

Department: Department of manufacturing technology (U12123)

School year: 2020/21

Supervisor: Ing. František Tatíček, Ph.D.

Consultant: Ing. Lukáš Chrást'anský

Key words: Closed die forging, without a flash, anti-vibration weight

Abstrakt: The aim of the diploma thesis is to get acquainted and compare production technologies suitable for the production of anti-vibration weights, then to design the technological process of production for the technology and to assess the production by technical and economic evaluation.

Seznam použité symboliky

A	[kJ]	pracovní síla
A_1	[-]	křivka A_1 označující eutektoidní přímku PSK o teplotě 731°C
A_3	[-]	křivka A_3 označující teplotu překrystalizace tuhého roztoku austenitu
A_5	[%]	tažnost
A_{cm}	[-]	Křivka A_{cm} označující změnu rozpustnosti uhlíku v austenitu
A_n	[J]	práce nekruhového průřezu
b	[mm]	šířka polotovaru
B_D	[cm]	šířka výkovku
C_m	[Kč/kg]	cena oceli za 1 Kg
C_o	[Kč/kg]	výkupní cena odpadu za 1 Kg
C_p	[Kč/hod]	superhrubá mzda na 1 hodinu
C_{mat}	[Kč]	celková cena materiálu
CN	[Kč]	celkové náklady
C_v	[Kč/ks]	cena výrobku
d	[mm]	průměr
D_D	[mm]	průměr výkovku s výronkem
d_{imax}	[mm]	maximální průměr ideálního předkovku
d_{ix}	[mm]	průměr ideálního předkovku
DKT_n	[°C]	dolní kovací teplota nadeutektoidní oceli
DKT_p	[°C]	dolní kovací teplota podeutektoidní oceli
D_n	[ks]	velikost dávky
D_{red}	[cm]	redukovaný průměr výkovku

Ed	[hod]	efektivní dělnický fond
Er	[hod]	roční časový fond
Es	[hod]	efektivní strojní fond
F	[KN]	kovací síla
F _D	[cm ²]	plocha výkovku
F _l	[KN]	lisovací síla
G _P	[kg]	hmotnost polotovaru
G _v	[kg]	hmotnost výkovku
h	[mm]	hloubka
h	[mm]	výška výkovku
<i>h_{ix}</i>	[mm ²]	výška průřezového obrazce
H1	[mm]	tloušťka blány
HKT	[°C]	Horní kovací teplota
k _o	[MPa]	přetvárný odpor
k _p	[MPa]	přetvárná pevnost
k _s	[%]	koeficient využití strojů
K _{ts}	[-]	koeficient vlivu tvarové složitosti výkovku
<i>k</i>	[%]	koeficient využití materiálu
<i>k</i>	[%]	koeficient využití strojů
l	[mm]	délka
L _D	[cm]	délka výkovku
l _p	[mm]	délka zbytkového kusu
l _t	[m]	délka tyčí
m	[kg]	hmotnost výrobku
m _s	[-]	měřítka

m_{mat}	[kg]	celková váha materiálu
m_t	[kg]	váha jedné tyče
N_D	[-]	počet pracovníků
n_b	[ks]	počet strojů
n_k	[ks]	počet kusů z jedné tyče
n_{kg}	[kg]	hmotnost celkového počtu výrobků
n_t	[ks]	celkový počet tyčí
n	[ks/rok]	počet kusů
n_{bs}	[ks]	skutečný počet strojů
n_{max}	[min-1]	maximální počet zdvihů beranu za minutu
$n_{úv}$	[min-1]	počet zdvihů beranu pro výrobu 1 výkovku
OPN	[Kč/ks]	ostatní přímé náklady
p	[mm]	velikost prořezu
PM	[Kč]	celkové přímé mzdy
PM_1	[Kč]	celkové přímé mzdy na jeden kus
PM_{del}	[Kč]	přímé mzdy dělení
PM_{ko}	[Kč]	přímé mzdy kontroly
PM_{kov}	[Kč]	přímé mzdy kování
PM_{ohr}	[Kč]	přímé mzdy ohřevu
PM_{tr}	[Kč]	přímé mzdy tryskání
PM_{sou}	[Kč]	přímé mzdy soustružení
$PM_{řez}$	[Kč]	přímé mzdy řezání
P_s	[kg/hod]	skutečná produktivita
P_t	[kg/hod]	teoretická produktivita
Q_p	[kg/hod]	výkon pece za směnu

R	[mm]	velikost přechodů
r	[mm]	zaoblení hran
Re	[MPa]	mez kluzu
Rm	[MPa]	Mez pevnosti
S _c	[cm ²]	plocha výlisku
S _c	[cm ²]	plocha výkovku s výronkem
S _{pr}	[mm ²]	celková plocha průřezového obrazce
S _{ix}	[mm ²]	hodnota průřezu v řezu polotovaru
S _{výr}	[mm ²]	průřez výronku
SR	[Kč/ks]	správní režie
Si	[mm ²]	průřez v řezu nekonečné části
Sik	[mm ²]	průřez v řezu koncové části
T	[°C]	teplota
t	[mm]	tloušťka polotovaru
t _a	[Nmin]	čas jednotkový
t _{ac}	[Nmin]	čas jednotkový celkový
t _b	[Nmin]	dávkový čas
t _{bc}	[hod]	dávkový čas celkový
t _c	[hod]	celkový čas
t _s	[°C]	teplota solidu
t _{záp}	[hod/rok]	doba na výměnu zápusťky
v	[m/s]	rychlosti pohybů tvářecích strojů
V _B	[m ³]	objem blány
V _O	[mm ³]	objem opalu
V _P	[mm ³]	objem polotovaru

V_v	[mm ³]	objem výkovku
$V_{výr}$	[mm ³]	objem výronku
VR	[Kč/ks]	výrobní režie
Z	[Kč/ks]	zisk
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota materiálu
σ_{Dmas}	[MPa]	maximální přetvárný odpor
σ_{Dpr}	[MPa]	průměrný přetvárný odpor
σ_p	[MPa]	střední přetvárný odpor

Seznam zkratk

CNC Computer Numerical Control

Obsah

1	Úvod.....	13
2	Návrh varianty řešení.....	14
2.1	Třískové obrábění.....	16
2.1.1	Zhodnocení třískového obrábění.....	17
2.2	Slévání.....	18
2.2.1	Zhodnocení slévání.....	19
2.3	Tváření za studena.....	19
2.3.1	Zhodnocení tváření za studena.....	21
2.4	Tváření za tepla.....	22
2.4.1	Zhodnocení tváření za tepla.....	23
2.5	Konečné rozhodnutí o variantě řešení.....	24
3	Teoretická část – zápusťkové kování.....	25
3.1	Ohřev.....	26
3.2	Zápusťkové kování.....	28
3.2.1	Stroje používané pro zápusťkové kování.....	33
3.2.2	Zařízení pro ohřev polotovaru.....	36
4	Návrh výkovku.....	39
4.1	Návrh výkovku dle ČSN 42 9030.....	40
4.1.1	Návrh tloušťky stěny a blány.....	41
4.1.2	Návrh velikosti minimálního zaoblení.....	42
4.1.3	Volba velikosti úkosů.....	42
4.1.4	Určení tolerancí výkovku a mezních úchylek.....	43
4.1.5	Volba dělicí roviny.....	43
4.1.6	Výkres výkovku.....	44
4.1.7	Výpočet hmotnosti a rozměrů polotovaru.....	45
4.2	Výpočet kovací síly.....	50

4.3	Návrh vhodných strojů a zařízení	52
4.3.1	Volba stroje pro ohřev	52
4.3.2	Volba dělicího stroje	54
4.3.3	Volba kovacího stroje.....	55
4.3.4	Volba čistícího stroje.....	56
4.4	Návrh technologického postupu	57
4.5	Simulace	59
5	Technicko-ekonomické zhodnocení	63
5.1	Kapacitní propočty	63
5.2	Kalkulace ceny výkovku	66
5.3	Kalkulace ceny obrobku	71
6	Závěr	76
7	Literatura.....	80
8	Seznam obrázků	84
9	Seznam tabulek	86
10	Seznam příloh.....	87

1 Úvod

Navržení výrobní technologie je jedna z nejdůležitějších a nejsložitějších činností, kterou technolog ve firmě vykonává. Tento úkon je nejen důležitý z hlediska samotné výroby produktu, ale také z hlediska ekonomičnosti výroby, kde chybné určení výrobní technologie může vést k produkci výrobku, který nebude splňovat požadavky na kvalitu. Tato skutečnost může vést k velké finanční ztrátě a v některých případech i k ohrožení na životě. Snažíme se také navrhnout výrobní postup nejen z hlediska bezpečnosti, ale také s cílem navržení výrobního procesu, který bude ekonomicky výhodný pro naši firmu.

V dnešní době je trendem klást důraz na ekonomičnost a ekologičnost výroby produktu, které ovlivňují přístup k volbě vhodné materiálové jakosti, výrobní technologii a vhodného výrobního postupu s důrazem na co nejnižší výrobní náklady na realizaci produktu s podmínkou zachování nebo vylepšení kvality produktu. Dále se snažíme o omezení používání materiálů a postupů, které poškozují životní prostředí v minimálním rozsahu, a které jsou v době po ukončení životního cyklu dílu recyklovatelné. Jednou z metod zvýšení ekonomičnosti produktu je zvýšit jeho výrobní kapacitu, jež může vést ke snížení výrobních nákladů jednotlivého výrobku a může mít příznivý vliv na zvýšení zisku na jednotlivý produkt.

V této práci se zabývám technologickou přípravou výroby, která je zaměřená na zpracování výrobní dokumentace a dalších podkladů pro výrobní proces. Tato dokumentace obsahuje technické, organizační a ekonomické údaje nutné pro realizaci výrobní činnosti. Ná vaznost mezi základními činnostmi při zpracování dokumentace je zobrazena na obrázku 1.

Cílem této diplomové práce je vytvořit informační základnu pro posouzení vhodného návrhu výrobní technologie a výrobního postupu pro součást (viz. příloha 1) a faktory, které ovlivní volbu výrobního zařízení, návrh vhodného tvaru polotovaru, návrh technologického postupu a provede ekonomické zhodnocení provedeného návrhu.

Řešenou součástí je antivibrační závaží, které je používáno pro tlumení vibrací v automobilových klimatizacích. Antivibrační závaží je složeno ze dvou dílu ve tvaru dělené trubky se zkosenými konci a s výřezem pro pásek, který dva díly spojuje dohromady. Hlavní podmínkou výroby je dodržení váhy dílu závaží $m = 200 \text{ g} \pm 10 \%$. Úchyly a tolerance rozměrů nejsou určeny. Počet vyrobených kusů/dílů je určen na $n = 600\,000 \text{ ks/rok}$. Výkres součásti je přiložen k diplomové práci jako příloha 1.

2 Návrh varianty řešení

Volba výrobní technologie je jedna z nejdůležitých věcí, která nám zajistí požadované vlastnosti vyráběného dílu za přijatelných výrobních nákladů. Pro správné rozhodování je zapotřebí mít k dispozici několik výchozích dokumentů:

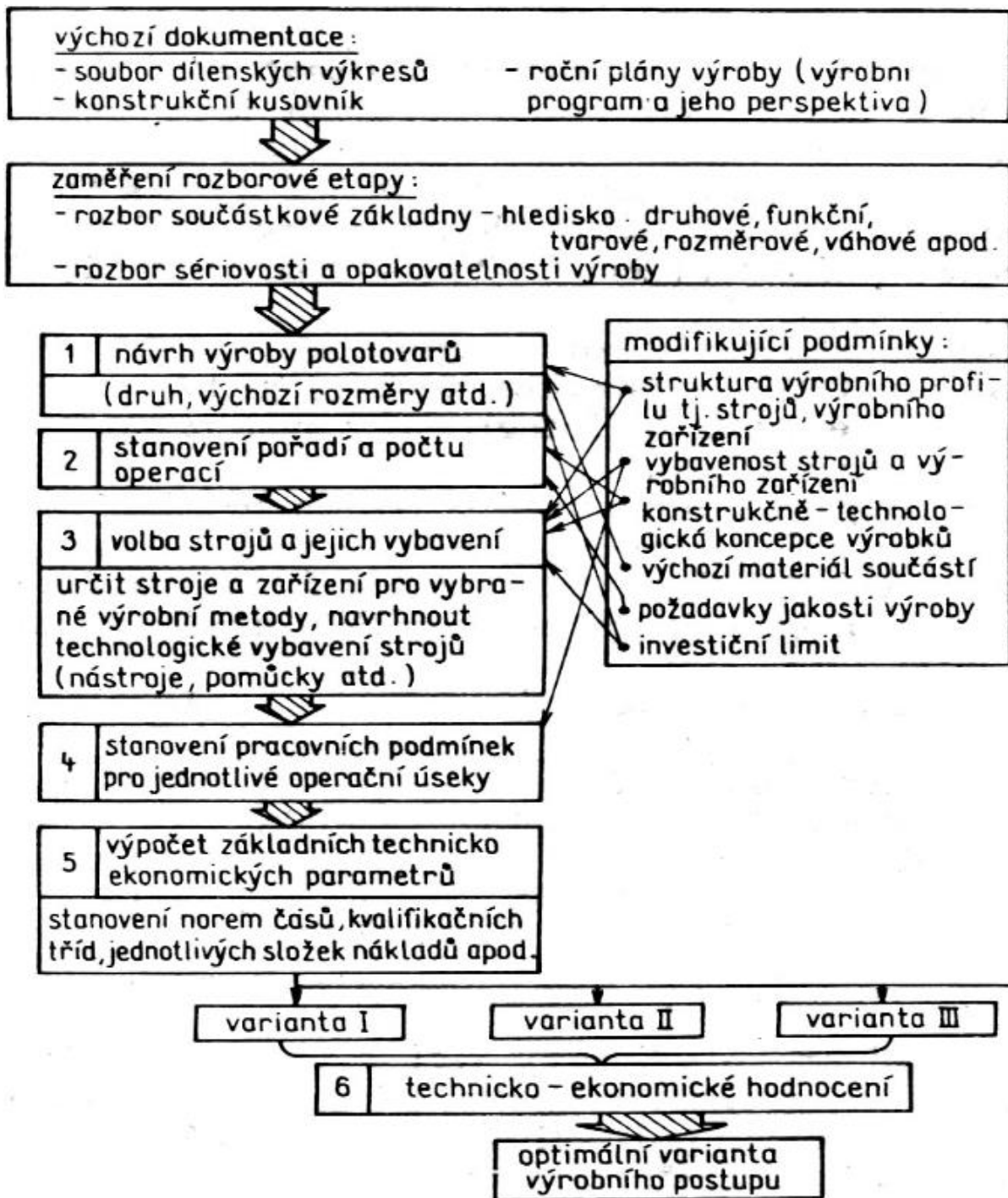
- Výkresová dokumentace
- Požadovaná materiálová jakost
- Požadavky na jakost či vlastnosti výrobku
- Plán výroby (celkové předpokládané množství výrobků, sériovost výroby, předpokládaný/požadovaný roční objem výroby apod.)

Z těchto informací lze určit složitost a přesnost dílu, požadovanou jakost/kvalitu povrchu, požadavky na mechanické vlastnosti výrobku a vhodnou výrobní technologii. Volba výrobní technologie je v první řadě závislá na tvarové složitosti výrobku, jeho velikosti (rozměry, hmotnost apod.), předpokládaném/požadovaném počtu výrobků (kusová/sériová výroba), požadované produkci (počet dílů za jednotku času).

Při návrhu výrobní technologie je nutné zohlednit několik dalších faktorů. Tyto požadavky nemusí přímo souviset se samotnou výrobou, jelikož typ výrobního procesu má vliv na celkovou hospodárnost firmy. Je důležité, abychom při zvolení technologie výroby brali v potaz i faktory, které nemusí přímo ovlivňovat samotný výrobní proces viz. některé příklady:

- Finanční stav firmy
- Výrobní zaměření firmy
- Požadavky na kvalitu výrobku
- Průměrná cena výrobku na trhu
- Podmínka využití specifické technologie

Z výše uvedených požadavků je složeno několik variant řešení a poté vybráno nejvhodnější variantu závislé na požadavcích určených v zadání. Všechny tyto faktory by měli být určeny v zadání, aby bylo možné dosáhnout správného rozhodnutí o výrobní technologii. Celý postup volby výrobní technologie a jeho souvislosti jsou vyobrazeny na obr. 1 [11] [2]



Obrázek 1, Schéma návaznosti činností technologické přípravy výroby [11]

Požadavek na výrobu antivibračního závaží (příloha 1) je pouze dodržení hmotnosti $G_v=0,2 \text{ kg} \pm 10 \%$. Sériovost výroby je 600 000 ks/rok. Výkres antivibrační závaží viz. příloha 1. Na základě požadavků je možné rozhodovat mezi těmito výrobními technologiemi:

- Třískové obrábění
- Slévání
- Tváření za studena
- Tváření za tepla

2.1 Třískové obrábění

Podstatou třískového obrábění je změna tvaru polotovaru postupným odebráním materiálu ve formě třísek. Tato metoda se značí vysokou přesností a vysokou jakostí povrchu obrobku. V dnešní době číslicově řízené stroje mají vysoký objem výroby vhodný jak pro malosériovou, tak pro kusovou výrobu. Mezi třískové nejpoužívanější obrábění patří: [3]

- **Soustružení** – Hlavní metoda výroby rotačních součástí s využitím jednobřitého nástroje (soustružnického nože) vyrobeného buď z rychlořezné oceli, nebo opatřený destičkami ze slinutých karbidů. Zařízení používané pro soustružení jsou soustruhy (univerzální hrotové, čelní svislé, poloautomatické, automatické, číslicově řízené neboli CNC). Dnešní CNC soustruhy dosahují velkých přesností. S ohledem na složitost operace CNC soustruhy dosahují krátkých pracovních časů a jsou vhodné jak pro kusovou, tak sériovou výrobu.
- **Frézování** – Hlavní metoda třískového obrábění rovinných a tvarových ploch vícebřítým nástrojem (frézy). Stejně jako u soustruhů, díky CNC řízení je frézování vhodné do jakéhokoli druhu výroby (kusová, sériová apod.)
- **Vrtání** – Hlavní metoda výroby otvorů za pomoci několikabřitého nástroje (vrtáku), jedná se o průměrně přesnou a rychlou metodu třískového obrábění. Metoda je vhodná pro všechny typy výroby.
- **Broušení** – Dokončovací operace pro zlepšení přesnosti a jakosti povrchu součástí. Většinou prováděná jako poslední výrobní operace. Nástrojem jsou brusná zrna spojená lepidlem ve formě kotoučů, pásů apod. Tato metoda se značí vysokou přesností rozměrů a jakostí povrchu.

Třískové obrábění má oproti ostatním metodám své výhody a nevýhody a ty jsou:

- **Výhody:**
 - Vysoká rozměrová přesnost výroby
 - Vysoká jakost povrchu
 - Možno vyrobit skoro jakýkoli tvar (omezeno použitým strojem/nástrojem a cenou)
- **Nevýhody:**
 - Časově náročné (záleží na kvalitě a složitosti obrobku a volbě stroje/nástroje)
 - Vysoké procento odpadu
 - Značná spotřeba nástrojů (otupování, lom destičky apod.)
 - Omezená produktivita (rozšíření výroby je cenově náročné) [3] [12][11]

2.1.1 Zhodnocení třískového obrábění

Možná metoda výroby antivibračního závaží prostřednictvím třískového obrábění je využití soustružení (kopírovací soustruh) a řezání (rozbrušovací pilou nebo elektroerozivního drátové řezání). Soustružením polotovaru (vhodný tvar polotovaru je tlustostěnná trubka s rozměry podobnými konečnému výrobku) vyrobíme díl antivibračního závaží, který je posléze rozříznut podélným řezem za pomoci elektroerozivního drátového řezání. Drátové řezání je vhodné pro nízkou hodnotu prořezu, kvalitu řezaného povrchu a vysokou produktivitu (oproti jiným metodám řezání).

Výhodou této technologie je přesnost rozměrů a váhy závaží. Nevýhodou je značná časová náročnost soustružení a řezání, která je přímo úměrná produktivitě výroby. Časová náročnost zvyšuje celkovou cenu výroby (náklady na mzdy, energie apod.) a cenu konečného výrobku. Relativně vysoká cena výroby a pořizovací náklady na strojní vybavení mohou činit tuto metodu výroby ekonomicky nevýhodnou oproti ostatním výrobním metodám. Ekonomičnost metody třískového obrábění porovnáme s vybranou technologií v kapitole 5.

2.2 Slévání

Slévání je výrobní metoda, kdy je materiál ohřán nad tavicí teplotu, přičemž dojde ke změně skupenství na kapalné. Roztavený materiál (kov, plast, apod.) nalijeme do formy s tvarem produktu zvětšeného o příslušné tolerance (slévárenské tolerance, koeficient smrštění apod.). Forma je negativní obraz produktu, který je v jednom, nebo několika místech dělen, aby se produkt mohl po odlití z formy vyjmout. Forma obsahuje mimo odlitku i vtokovou soustavu a nálitky, které zajišťují rovnoměrné tuhnutí taveniny ve formě z důvodu omezení materiálových vad (praskliny, staženiny, vměstky apod.). Mezi typy slévání patří: [14] [1]

- **Gravitační** – Metoda lití využívající gravitaci, kde je naléván do forem roztavený kov z hora a tíha roztaveného materiálu tlačí taveninu do formy. Tato metoda je používána jak při ručním lití, tak strojním a pro většinu běžně používaných materiálů.
- **Tlakové** – Lití buď nízkotlaké nebo vysokotlaké, kde tavenina je pod tlakem vlévána do formy. Používána je výhradně na strojní lince pro lití součástí, kde gravitační lití není vhodné. Metoda je často používána pro lití hliníku a jeho slitin.
- **Odstředivé** – výroba rotačních odlitků, kde vléváme taveninu do otáčející se kovové formy. Vlivem odstředivé síly působící na materiál se tavenina tlačí na stěny formy a postupně tuhne do duté trubky nebo kroužku.

Slévání má oproti ostatním metodám své výhody a nevýhody a ty jsou:

- **Výhody:**
 - Výroba tvarově složitých tvarů
 - Recyklace základního materiálu
 - Vysoká sériovost
- **Nevýhody:**
 - Vysoké pořizovací náklady a náklady na údržbu
 - Nutná kontrola chemického složení taveniny
 - Energeticky náročné
 - Časté vady v odlitcích (staženiny, praskliny, řediny apod.)
 - Nutnost dalšího opracování pracovních ploch, kvůli špatné jakosti povrchu [14] [2] [19]

2.2.1 Zhodnocení slévání

Výrobu antivibračního závaží bychom uskutečnily metodou gravitačního lití za pomoci vytavitelného modelu. Modely jsou vyrobeny z tavitelného materiálu (vosk, plast) a velké množství modelů je připojeno k licí soustavě (tzv. stromečku). Poté je licí soustava s modely namočená do kašovitě keramické hmoty a posypána žáruvzdorným materiálem. Tento proces se opakuje, dokud je dosaženo požadované tloušťky. Po usušení forem je vosk vytaven z forem. Forma je poté vypálena v peci (vytváří se skořepina, která se po vychladnutí odstraní). Tavenina se odlévá do formy ihned po vypálení forem. Následuje odstranění skořepiny a oddělení vtokové soustavy.

Tato technologie je vhodná pro výrobu z hlediska vysoké produktivity, jakosti povrchu a dosažení přesného tvaru bez použití dokončovacích operací (v závislosti na požadavky výrobku) avšak je značně finančně náročná. Další nevýhodou je časová náročnost přípravy modelu, odstranění licí soustavy a nutnost opracování stykových ploch z důvodu nerovnoměrnosti povrchu a možných vad (staženiny apod.). Všechny tyto nevýhody mají negativní vliv na produktivitu a cenu antivibračního závaží.

Další použitelnou metodou je gravitační odlévání do pískové formy. Tato metoda není vhodná pro výrobu velkého počtu malých odlitků, kde by bylo nutné použití náliček a dalších výrobních technologií (třískové obrábění apod.) pro dosažení konečného tvaru výrobku. Lze předpokládat, že metoda odlévání do pískové formy nebude dosahovat takové produktivity, jako jiné výrobní technologie.

2.3 Tváření za studena

Tváření za studena je proces, který změní rozměry polotovaru za pomoci vnější síly a je proveden pod teplotou rekrytalizace ($T = 0,4 \cdot T_m$, kde T_m je teplota tání). Působením vnější síly vytvoříme plastické deformace, ke které dojde když napětí dosáhne meze kluzu, čímž změníme rozměry polotovaru. Proces plastické deformace má vliv na materiál ve formě zpevnování, kde se zvyšuje mez kluzu a mez pevnosti materiálu na úkor tažnosti. Výhodou této metody je vysoká přesnost a jakost povrchu materiálu. [2] [4] [10] [13]

Mezi nejpoužívanější metody tváření za studena patří:

- **Tažení** – Jedná se o metodu, kde jedním nebo více pracovními pohyby z rovného plechu vytvoříme dutou součást. Polotovarem je střižený plech, který se tvaruje v tažidle za

pomocí tlaku. Můžeme dělit na tažení mělké a hluboké nebo bez ztenčení stěny a se ztenčením stěny. Při tažení musíme uvažovat o tření a zpevňování materiálu, aby nedošlo k nechtěným výsledkům.

- **Stříhání** – Nejrozšířenější metoda tváření, kterou využíváme jak pro dělení polotovarů (stříhání plechů, profilů, tyčí, apod), tak pro konečnou výrobu součástí z plechu nebo výrobu součástí pro další zpracování. Při stříhání využíváme dvou protilehlých střížných hran pro vytvoření smykového napětí ve střížné rovině, kterým docílíme porušení materiálu a jeho oddělení.
- **Ohýbání** – Metoda tváření, kde je polotovar deformován pod úhlem s různými velikostmi zaoblení hran. Pro ohýbání používáme nástroje (ohýbadla) složená z ohybníku a ohybnice.
- **Válcování za studena** – Metoda tváření, kde polotovar je tvářen mezi sadou válců. Použití pro výrobu kontinuálních vývalků (tyčí, plechů, profilů, trubek apod.) Díky zpracováním za studena dostáváme přesnější výrobky než u válcování za tepla, které mají lepší kvalitu povrchu.
- **Lisování** – Metoda tváření za studena, kde polotovar je tvářen podobným způsobem jako u zápusťového kování, ale oproti tváření za tepla je nutno překonat mnohem větší přetvárný odpor. To má za následek větší tvářecí síly (5-10 krát větší než u tváření za tepla) a hrozí zde větší riziko porušení materiálu vlivem překročení meze pevnosti materiálu.

Tváření za studena má oproti ostatním metodám své výhody a nevýhody a ty jsou:

- **Výhody:**
 - Vysoká produktivita
 - Vysoká míra automatizovatelnosti výroby
 - Vysoká rozměrová přesnost
 - Vysoká kvalita povrchu dílu
 - Zlepšené mechanické vlastnosti vlivem zpevnění
- **Nevýhody:**
 - Vyšší pořizovací náklady na strojní vybavení
 - Vyšší náklady na provoz
 - Vhodné pro tvarově jednoduché výrobky
 - Zbytková napětí ve výrobku
 - Vyšší hodnoty tvářecích sil [2] [4] [10] [13]

2.3.1 Zhodnocení tváření za studena

Doporučovaná výroba antivibračního závaží je kombinace stříhání, ohýbání a lisování. Stříháním vytvoříme z plechu přibližný tvar závaží (obdélník se zkosenými konci). Ohýbáním vytvoříme vnitřní dutinu a přibližný vnější obrys výkovku (vznikne předkovek ve tvaru U). Lisováním za studena se vytvaruje výkovek do konečných rozměrů a tvaru. Pro lisování konečného tvaru je zapotřebí velké síly (vhodné použití hydraulického lisu).

Lisovací síla lze odhadnout podle výpočtu:

$$F_l = k_o \cdot S_c \quad (2.1)$$

F_l – lisovací síla [KN]

S_c – plocha výlisku [cm²]

k_o – přetvárný odpor [MPa]

Přetvárný odpor (k_o) je závislý na přetvárné pevnosti (k_p), jedná se o napětí, kterým se dosáhne plastické deformace bez pasivních odporů. Přetvárný odpor je 3–5krát větší než přetvárná síla v závislosti na druhu tváření, tvaru, tření apod. Přetvárný odpor je určen jako mez pevnosti $R_m = k_o = 500$ MPa. Plocha výkovku je určena v programu Solidworks a její hodnota je $S_c = 25,8$ cm². Po dosazení do vzorce (2.1) lisovací síla vypadá takto: [5] [6] [22]

$$F_l = 500 \cdot 25,8 = 12900 \text{ KN}$$

2.4 Tváření za tepla

Tváření za tepla je podobné tváření za studena, ale procesy probíhají nad teplotou rekrystalizace ($T = 0,4 \cdot \text{teplota tání}$). Při nahřátí materiálu se zmenší mez pevnosti a mez kluzu a zvýší se tažnost. To platí až po teplotu tání, kdy materiál změní skupenství. Při nahřátí na teploty potřebné k tváření za tepla dochází k oxidaci povrchu polotovaru a vzniku okují. Tomuto jevu můžeme předejít použitím ochranné atmosféry zabraňující přístupu kyslíku k povrchu polotovaru. Okuje mají negativní vliv na povrch materiálu a je nutné je odstranit mechanickou silou (pískování, broušení apod.) popř. chemickou reakcí (moření v kyselině apod.). [2] [4] [5] [6]

Mezi tváření za tepla patří:

- **Kování** – polotovar ohřátý na kovací teplotu je tvarován za pomoci rázové síly (buchar) nebo tlakové síly (lis). Při kování se klade důraz na co nejmenší spotřebu materiálu, zlepšení struktury materiálu, jeho mechanické vlastnosti a ekonomii provozu.
- **Válcování za tepla** – ohřátý polotovar je zpracován mezi sadou válců, dokud nedosáhne požadovaného tvaru. Na rozdíl od válcování za studena se tato metoda používá v hutnictví na výrobu předválců, které se pak zpracovávají na vývalky (tyče, trubky, profily, apod.).

Tváření za tepla má oproti ostatním metodám své výhody a nevýhody a ty jsou:

- **Výhody:**
 - Vysoká produktivita
 - Vysoká míra automatizace
 - Lepší mechanické vlastnosti oproti jiným metodám výroby
- **Nevýhody:**
 - Vysoké pořizovací náklady (stroje a nástroje)
 - Nutnost kvalifikovaných pracovníků
 - Nutnost dalšího opracování ploch
 - Ztráta materiálu důsledkem opalu [2] [4] [5] [6]

2.4.1 Zhodnocení tváření za tepla

Pro výrobu antivibračního závaží tvářením za tepla je nejvhodnější výroba zápustkovým kovááním z důvodu tvarové složitosti závaží a vysokému objemu výroby. Výhodou této technologie vysoká produktivita, vysoká přesnost rozměrů, malá zmetkovitost, malé množství odpadu a malé tvářecí síly v porovnání s tvářením za studena.

Nevýhodou jsou velké pořizovací náklady, ale malé náklady na provoz. Z hlediska požadavku na nízkou cenu a vysokou produktivitu je tato technologie výhodnější než ostatní zmíněné technologie.

Pro zadanou součást vzhledem k nízké hmotnosti a podélného tvaru je vhodné použití bucharu ke kovacímu procesu (u lisu by se polotovár moc rychle zchladil v zápustce a buchary jsou vhodnější pro výrobu podélných výkovků). Zápustkové kování je doporučeno provést do bezvýronkové dokončovací dutiny z důvodu velkých materiálových ztrát na jeden kus při použití dokončovací dutiny s výronkovou drážkou.

Kovací sílu lze vypočítat dle firemního vzorce firmy Šmeral

$$F = 0,6 \cdot S_c \cdot k_p \cdot K_{ts} \text{ [KN]} \quad (2.2)$$

- F – kovací síla [KN]
- S_c – plocha výkovku s výronkem [cm^2]
- K_{ts} – koeficient vlivu tvarové složitosti výkovku [-]
- k_p – přetvárná pevnost [MPa] [30]

Kde koeficient vlivu tvarové složitosti je odhadnut $K_{ts} = 1,2$ a přetvárná pevnost je určena jako $k_p = 150 \text{ MPa}$ při dokovací teplotě 900°C . Plocha výkovku je určena v programu Solidworks a její hodnota je $S_c = 25,8 \text{ cm}^2$. Po dosazení do vzorce (2.2) síla vypadá takto:

$$F = 0,6 \cdot 25,8 \cdot 1,2 \cdot 150 = 2786,4 \text{ KN}$$

2.5 Konečné rozhodnutí o variantě řešení

Pro výrobu antivibračního závaží byla určena metoda zápustkového kování (bezvýronkové) z důvodu malého objemu odpadového materiálu, nízkých nároků na přesnost rozměrů součástí (jedinou podmínkou je dodržení hmotnosti), podmínky vysoké sériovosti (600 000 ks/rok) a malého objemu odpadového materiálu (jediný odpadový materiál bude ve formě prořezu).

Antivibrační závaží vyrábíme tzv. „na hotovo“, kde nepočítáme s dalším zpracováním výkovku dokončovacími metodami (výjimkou je tryskání, které provádíme pro odstranění okují). Konečné rozměry budou dosaženy kováním, proto volíme bezvýronkové zápustkové kování, které dosahuje požadovaných obecných tolerancí dle ISO 2768-mK. Při navrhování polotovaru pro bezvýronkové výkovky je důležité dodržet předepsanou hmotnost a rozměry polotovaru, aby nedošlo k nedokování výkovku vlivem přebytečného materiálu v dutině zápustky (nebo nevyplnění dutiny vlivem nedostatku materiálu).

Výběr výrobní technologie z ekonomického hlediska není zcela jistý a je nutné provést další analýzu ve formě ekonomického zhodnocení (více v kapitole 5). Antivibrační závaží jsou současně vyráběna technologií třískového obrábění, proto tato technologie bude z ekonomického hlediska porovnána s metodou zápustkového kování v kapitole 5.

3 Teoretická část – zápustkové kování

Kování neboli metoda objemového tváření využívající teploty a vnější síly pro změnu tvaru polotovaru je pradávná metoda zpracovávání kovů sahající do období konce doby bronzové. V dnešní době je kovářské řemeslo provozováno v továrnách na kovacíh strojích a s tradičním kovářským řemeslem se setkáme ve formě uměleckého kovářství.

Kování se dělí podle typu a způsobu práce:

- Typu:
 - Ruční
 - Strojní
- Způsobu práce
 - Zápustkové
 - S výronkem
 - Bez výronku
 - Volné

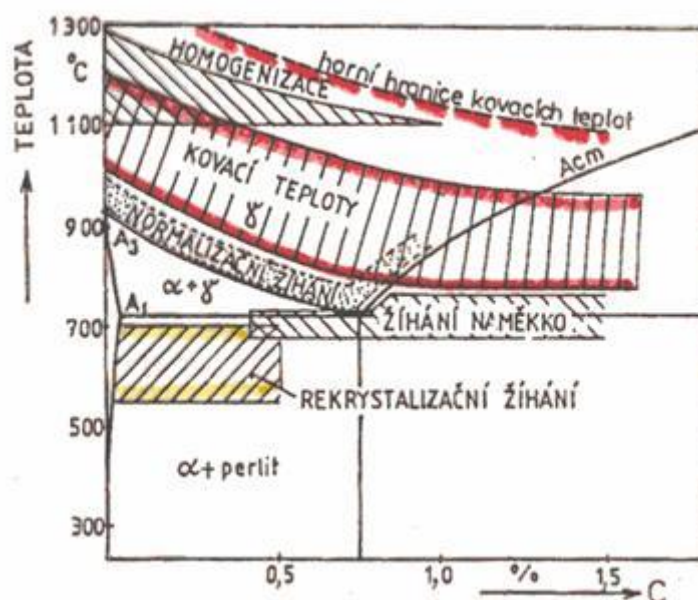
Kování ruční se používá výhradně v oboru uměleckého kovářství, kde v současné době je pomalu nahrazováno kovááním strojním z důvodu lepší produktivity výroby, proto se v této práci budu zabývat výhradně strojním kovááním.

Volné kování je metoda kování, při které je ohřátý polotovar tvářen mezi dvěma kovacími s jednoduchým tvarem (plochá, tvarová a kombinovaná), kde změna tvaru je postupná. Tento typ kování se nejvíce používá v hutnickém průmyslu pro zpracování odlitých ingotů o váze až stovky tun nebo kusovou a malosériovou výrobu malých výkovků.

Při použití jednoduchých nástrojů je nutné použít kovářské operace pro dosažení požadovaného tvaru, nebo zlepšení rychlosti práce. Tyto operace, ale mají svá omezení zejména z hlediska velikosti a parametrů stroje, geometrie tvaru výkovku a stability operace. Mezi základní kovářské operace patří prodlužování, pýchování, osazení, prosazení, sekání, děrování, ohýbání apod. Tyto operace se používají u zápustkového kování jako předkovací operace. Za zmínku stojí operace pýchování, která zvyšuje stupeň prokování, což má za následek vznik radiálních vláken ve výkovku a snižuje anizotropii mechanických vlastností. Pýchování také slouží k odstranění okují z povrchu materiálu před dalšími operacemi, usnadnění zakládání předkovku do dokovací zápustky, omezení toku materiálu v dokončovací zápustce apod. [2] [4] [5] [6]

3.1 Ohřev

Před tvářením za tepla nebo mezi výrobními operacemi je nutné polotovary ohřát na kovací teplotu. Ohřev polotovaru je nutné přizpůsobit tak, aby doba ohřevu byla co nejkratší z důvodu úspory výrobního času a aby se velkou rychlostí ohřevu nezneškodnili materiál polotovaru. Znehodnocení materiálu se projevuje těmito jevy: opal, oduhličení, zhrubnutí zrna, přehřátí. Tyto jevy jsou při výrobním procesu nežádoucí. Se zvyšující se teplotou materiálu se snižuje deformační odpor oceli což má příznivý vliv na životnost nástrojů a můžeme použít menší sílu pro tvářením polotovaru. [4] [5] [6]



Obrázek 2, Kovací teploty pro kování za tepla [6]

Při kování za tepla označujeme pracovní teplotu jako kovací teplotu (Obrázek 2). Kovací teplota se rozlišuje na horní kovací teplotu a dolní kovací teplotu. Při procesu kování se postupem času teplota polotovaru klesá. Proto se snažíme začít kovářský proces na horní kovací teplotě a dokončit proces nejdéle na dolní kovací teplotě. Rychlost chladnutí polotovaru závisí na velikosti polotovaru, tepelné vodivosti materiálu polotovaru, typem používaného stroje (buchar částečně dodává teplo do polotovaru ve tvaru rázové energie apod.) Horní kovací teplota je přibližně 100-200°C pod křivkou solidu. Dolní kovací teplota je jiná pro oceli podeutektoidní a nadeutektoidní. Dolní kovací teplota pro podeutektoidní oceli se nachází maximálně 50°C nad křivkou A₃. Dolní kovací teplota pro nadeutektoidní oceli se nachází mezi křivkami A_{cm} a A₁. [4] [5] [6]

- **Horní kovací teplota (HKT)** - můžeme vzorcem vyjádřit takto:

$$HKT = t_s - (100 \div 200) \quad (3.2.1.1)$$

HKT – Horní kovací teplota[°C]

t_s – Teplota solidu[°C] [5]

- **Dolní kovací teplota podeutektoidní (DKT_p)** – Dokončení operace nad křivkou A_3 vede ke vzniku hrubozrné struktury. Taktéž ukončení operace mezi křivkami A_1 a A_3 není vhodné z důvodu dvoufázové struktury. Podeutektoidní dolní kovací teplota (DKT_p) se vzorcem vyjadřuje takto: [4] [5]

$$A_3 < DKT_p < (A_3 + 50) \quad (3.2.1.2)$$

DKT_p - Dolní kovací teplota podeutektoidní oceli[°C]

A_3 - Křivka A_3 označující teplotu překrystalizace tuhého roztoku austenitu [5]

- **Dolní kovací teplota nadeutektoidní (DKT_n)** – dolní kovací teplota nezasahuje do oblasti austenitu. Dokončení kovací operace nad křivkou A_{cm} by způsobila vznik hrubozrné struktury, což je nežádoucí. Nadeutektoidní dolní kovací teplota (DKT_n) se vzorcem vyjadřuje takto: [4] [5]

$$A_{cm} < DKT_n < A_1 \quad (3.2.1.3)$$

DKT_n - Dolní kovací teplota nadeutektoidní oceli[°C]

A_{cm} - Křivka A_{cm} označující změnu rozpustnosti uhlíku v austenitu

A_1 - Křivka A_1 označující eutektoidní přímku PSK o teplotě 731°C [5]

Při ohřevu na kovací teplotu materiál má menší odpor proti deformaci, avšak na úkor hrubnutí struktury, poklesem houževnatosti a dalších nežádoucích průvodních jevů (opal, oduhličení a při ohřevu nad horní kovací teplotu nastane přehřátí a spálení). Je nutné provést ohřev takovou rychlostí, aby byl polotovár rovnoměrně prohřátý v celém průřezu, ale aby nedocházelo zbytečných ztrát materiálu vlivem opalu. [2]

Při ohřevu nastávají nežádoucí procesy při ohřevu – opal, oduhličování, přehřátí a spálení. Opal vzniká během oxidace povrchu a je ve formě okují (dochází ke ztrátě materiálu). Okuje nepříznivě působí na životnost nástrojů a jakost povrchu výkovku. Tvorba okují nastává za teplot nad 600 °C (vysoká rychlost tvorby okují nad 900°C). Stupeň opalu je závislý na době, teplotě ohřevu, typu atmosféry v peci, chemického složení materiálu apod. Oduhličení způsobuje snižování objemu uhlíku v povrchové vrstvě materiálu ovlivňující mechanické vlastnosti materiálu. Přehřátím vzniká hrubá struktura zrna materiálu (ohřev nad horní kovací teplotu). Spálení způsobuje znehodnocení materiálu vlivem natavení hranic zrn (ohřev na teploty blízké solidu) [2] [5]

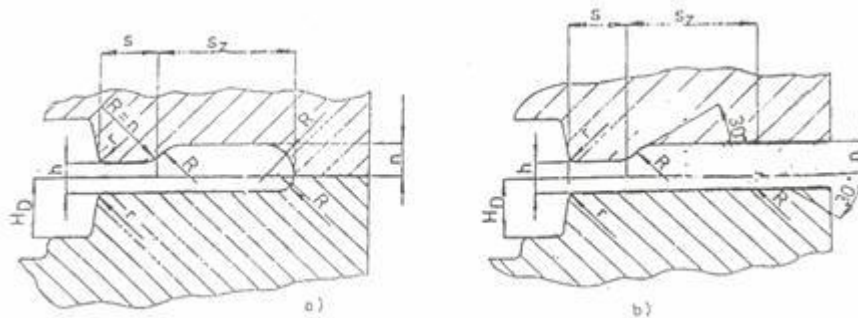
Způsob ohřevu	Opal o (%)
Komorová plynová pec	2,5 až 3
Komorová elektrická pec	1 až 1,5
Indukční a odporový ohřev	0,5 až 1

Obrázek 3, Ztráty způsobené opalem u různých typů ohřevu [5]

3.2 Zápustkové kování

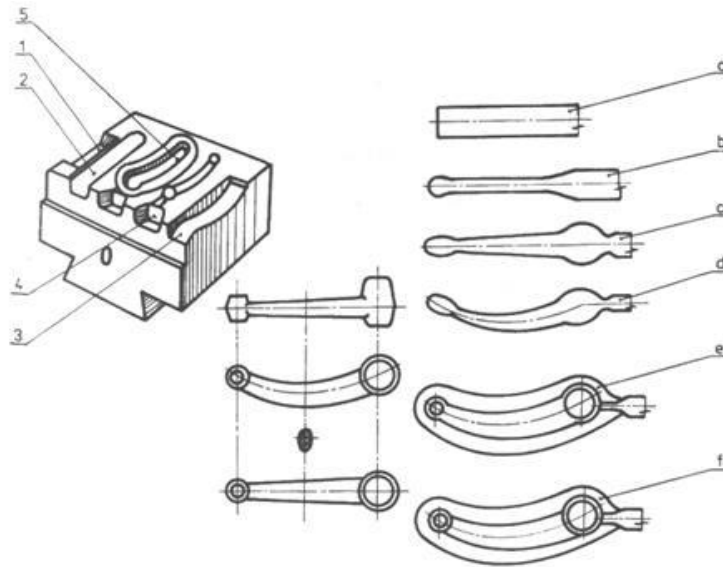
Zápustkové kování je vhodné od malosériové po hromadnou výrobu stejných součástí za pomoci tvarových nástrojů – zápustek. Zápustky jsou nástroje ve tvaru negativu výkovku. Z hlediska tvarové složitosti rozdělujeme zápustky na jednoduché nebo složité. Obvykle probíhá tváření celého objemu polotovaru najednou. Tok materiálu je vymezen tvarem zápustky. Tok materiálu také ovlivňuje teplota materiálu, polotovaru a zápustek, tření, rychlost pohybu nástroje, velikost přetvoření, složitost výkovku, velikost (hmotnost) výkovku apod.

Zápustky jsou buď otevřené nebo uzavřené. Otevřené zápustky se používají při kování na lisech a samotné plochy zápustek se nedotýkají. Uzavřené zápustky jsou používány na bucharech, kde konec operace kování nastává při dotyku zápustek na dosedacích plochách. Při konstrukci zápustek je důležitou částí řešení způsob upnutí zápustky. Rázy při kování na bucharu mají tendenci povolovat upevnění zápustek. Pro buchary je zápustka konstruována s rybinou, která se upíná pomocí klínů do beranu/šaboty. Zápustky pro lisy mají jiný způsob upínání než na bucharech. Upínají se pomocí upínek. [6]



Obrázek 4, Druhy zápustek a) uzavřená (buchar b) otevřená(lis) [6]

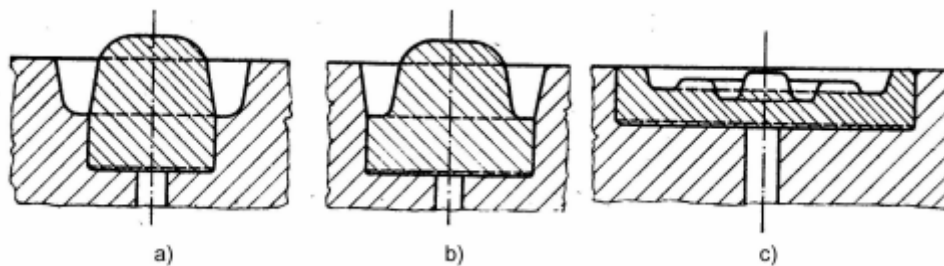
Zápustka má jednu nebo více dutin. Zápustce s více dutinami říkáme postupová. Dutiny v postupové zápustce jsou rozlišovány na předkovací a dokončovací (poslední použitá dutina). Dokončovací dutina se umísťuje uprostřed tak, aby její těžiště bylo blízko těžišti zápustky. To proto, že síla (nebo energie) na kování výkovku je větší než na kování předkovků. Jednak kvůli, chladnutí výkovku (roste přetvárná pevnost) a také proto, že výkovek v dokončovací dutině dosáhne největší plochy (konečný tvar výkovku s výronkem). [6]



Obrázek 5, Postupová zápustka pro buchar (1 – prodlužovací, 2 – rozdělovací, 3 – předkovací, 4 – kovací, 5 – dokončovací dutina, a – polotovar) [6]

Výkovek kovaný v zápustce je buď jedno nebo více operační proces. Více kovacíh operací aplikujeme v případech rychlého opotřebení zápustek (rychlý tok materiálu), tvarové složitosti výkovku (nedošlo k úplnému vyplnění zápustky, proto jsou nutné předoperace), protváření celého objemu materiálu apod. Kovací operace dělíme na předkovací, dokovací a pomocné operace. Při kování za tepla mezi pomocné operace patří například tepelné zpracování, čištění apod. Předkovací operace jsou operace, které připraví výkovek na dokovací operace jako například pýchování, ohýbání, předkování apod. Předkovaný polotovar má téměř konečný tvar výkovku, ale má větší výškové rozměry, poloměry zaoblení apod. Množství předkovacích operací je závislé na hmotnosti, tvaru, požadované přesnosti a předpokládaného počtu kusů výkovku. Konečný tvar je vytvořen dokováním v dokovací dutině. [5] [6]

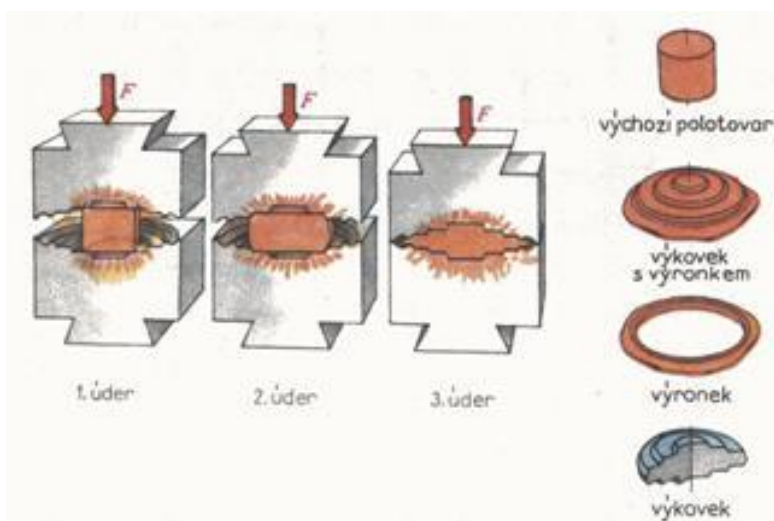
Předkovací operace provádíme v přípravných dutinách. Přípravné dutiny se rozdělují na: pýchovací dutina, prodlužovací dutina, tvarovací dutina, ohýbací dutina, roler (dutina pro otáčivé kování) a utínací dutina. Prodlužovací dutina slouží k rozdělení materiálu v jednotlivých průřezech při současném prodlužování délky. Vzhledem k rozdílné životnosti zápustkových dutin a nerovnoměrnému namáhání jednotlivých částí dutiny se provádí vložkování zápustek. Tím se snižují materiálové náklady na zhotovení zápustek. Vložky se upínají do držáku vložek. [5]



Obrázek 6, Příklady vložkování zápustek [5]

Při kování v zápustkách, jsou zápustky mazány z důvodu: snížení tření mezi polotovarem a nástrojem, snadného vyjmutí výkovku ze zápustky, zvýšení odolnosti nástroje proti působení tepla a otěru. Pro zápustkové kování ve nejúčinnějším mazivem grafit ve formě grafitové suspenze. Tyto suspenze jsou vyráběny s různým spektrem částic podle požadovaných podmínek tváření. [5]

Zápustky jsou před kovacími operacemi předehřívány. Teplota ohřevu zápustek není více jak 300°C. Předehřev zápustek snižuje rozdíl teplot mezi výkovkem a zápustkami. To má za následek snížení rychlosti chladnutí polotovaru, lepšího toku materiálu apod. [5] [9]



Obrázek 7, Postup zápustkového kování [6]

Nejrozšířenější metoda zápustkového kování je kování za tepla s výronkem. Výronek je přebytečný materiál, který vyplní výronkovou drážku (objem polotovaru by měl být větší, než čistý objem dutiny zápustky, aby došlo k úplnému vyplnění zápustky). Další přebytečný materiál je ve formě blány. Blána je technologický přídavek použitý při předkování otvorů. Blána je umístěna takovým způsobem, aby byl zajištěn optimální tok materiálu. Po vykování je výronek spolu s blánami ostřížen čímž získáme dokončený výkovek. [2] [4] [5] [6] [10]



Obrázek 8, Zápustkové kování na bucharu [16]

Na rozdíl od volného kování správnost návržení zápustky má vliv na přítomnost, nebo riziko vzniku vady, které nacházíme ve zápustkových výkovech. Tyto vady jsou:

- **Zakované okuje** – Okuje jsou vrstva oxidu železa vzniklá na povrchu materiálu vlivem nahřátí na vysokou teplotu, lze omezit typem atmosféry a metodou ohřevu. Zakované okuje vznikají hlavně při lisovacích operacích nebo při nedostatečném odstranění okují před kovací operací.
- **Zákovky** – Vady, kde je materiál přes sebe přeložen. V těchto místech vzniká vyšší napětí, které může vést ke vzniku praskliny.
- **Trhliny** – Porušení souvislosti materiálu za vysokých teplot materiálu vlivem znehodnocené struktury materiálu (spálením, přehřátím), nekvalitním materiálem (vysoký obsah síry apod.), vysokou rychlostí kování apod. Může vést k lomu materiálu.
- **Podélné a příčné praskliny** – Porušení souvislosti materiálu za nízkých teplot. Vznikají při ohřevu nebo chladnutí. Při nízkých kovacích teplotách, kdy napětí vzniklé tvářením překročí mez pevnosti materiálu.
- **Nedokovaný výkovek** – Vzniká při nedostatku materiálu v zápustce, popřípadě špatným uložením polotovaru v zápustce. Také je možné mít přebytečné množství materiálu

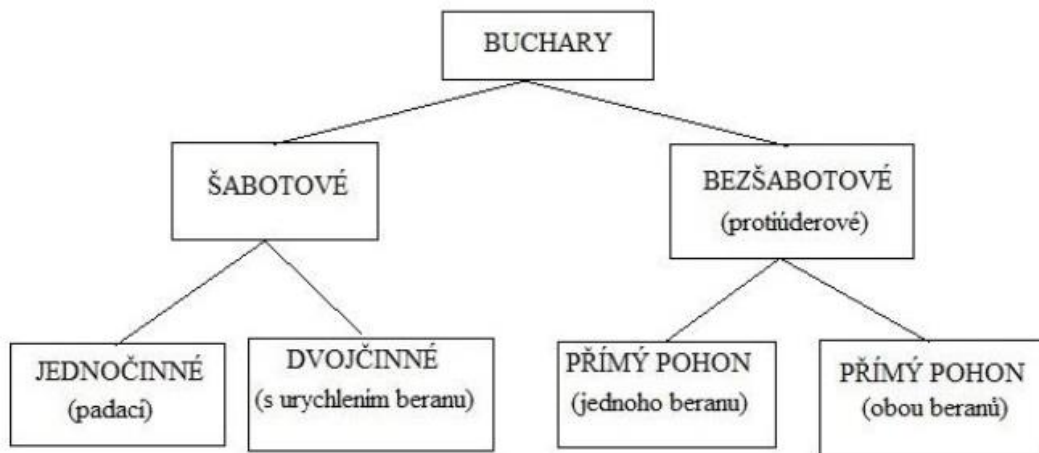
v zápustce, které zvýší potřebnou kovací sílu natolik, že není možné výkovek dokovat. [2] [4] [5] [6]

3.2.1 Stroje používané pro zápustkové kování

Zápustkové kování je možné realizovat na dvou typech strojů, buď na bucharech nebo lisech. Buchary jsou stroje, které tváří výkovek za pomoci rázové síly vygenerované vlivem rychlosti dopadu a váhy beranu. Lisy na rozdíl od bucharů tváří výkovek za pomoci stálé síly (tlaku).

3.2.1.1 Buchary

Buchary jsou vhodné pro výrobu malých, středních a velkých výkovek. Buchary jsou vhodnější pro podlouhlé výkovky a na rozdíl od lisů jsou vhodnější i pro menší sériovost, kvůli přesnosti výkovek. Buchary kvůli nezpůsobivosti kontrolovat výšku konce pracovního pohybu zápustky jsou konstruovány jako uzavřené, kde dotyk vytloukacích ploch zápustky značí dokončení kovací operace. Buchary se dělí na buchary se šabotou a jedním beranem a protiúderové buchary se dvěma berany. Rozdělení bucharů dle konstrukce je vidět na (obrázku 9).



Obrázek 9, Rozdělení bucharů dle konstrukce [8]

Podle rychlosti pohybu beranu jsou buchary rozlišovány na: buchary s normální rychlostí úderu, toto je docíleno padací energií bucharu a na buchary s vysokou rychlostí úderu. Vysokorychlostní buchary jsou stroje dvojčinné, jak je ukázáno na (obrázku 9). Protiúderové buchary mají místo šaboty druhý beran, který umožňuje vyšší tvářecí síly než konvenční šabotový buchar. Tento typ bucharu se používá na největší výkovky možné vyrobit na tomto

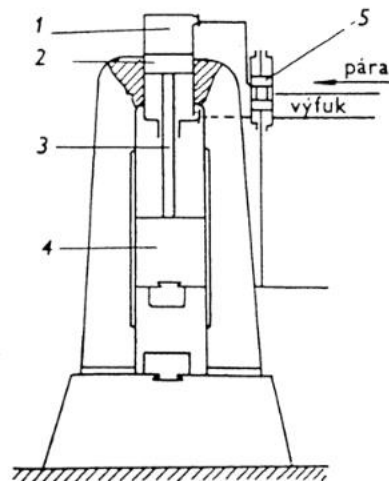
typu stroje. Protiběžné buchary zaujímají stejné místo v průmyslu jako hydraulické lisy. Buchary jsou ekonomicky výhodnější než lisy na vstupní náklady a na údržbu. [5] [7] [8] [20]

Tvářecí nástroj	v [m/s]
Hydraulické lisy	0,025 - 0,5
Klikové a výstř. lisy	0,3 - 0,6
Hydraulické kovací stroje	0,3 - 0,6
Buchary	5 – 8 (10 – 12)
Buchary s vysokou <u>v</u> úderu	20 - 30

Obrázek 10, Rychlosti pohybů tvářecích strojů [7]

Pro antivibrační závaží, přichází v úvahu buchary parovzdušné a pneumaticko-hydraulické.

- **Parovzdušné** – Jedná se o jednočinné nebo dvojčinné buchary. U dvojčinných bucharů je beran urychlován pomocí horkého vzduchu nebo páry. Jednočinné používají pracovní médium pouze k zdvihu beranu. Váha beranu činí od 500 kg do 25 000 kg o úderové četnosti až 100 úderů za minutu. Jedná se o jedny z nejstarších strojů používané pro zápuskové kování. [5] [8] [20]



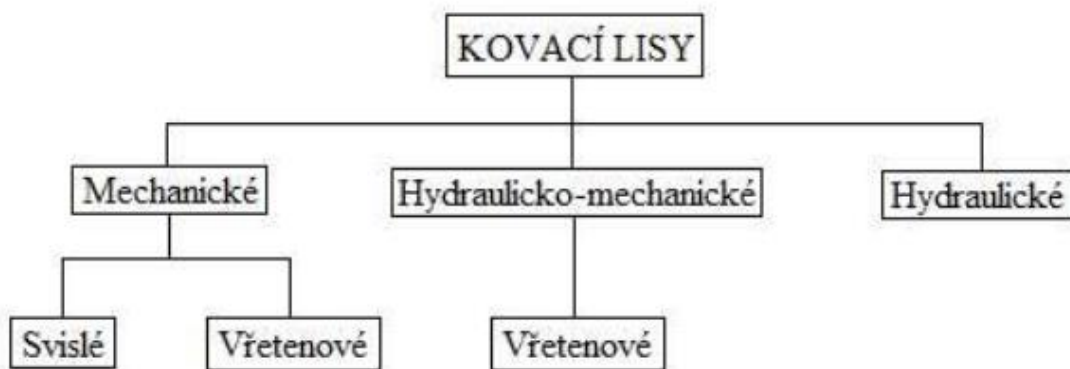
Obrázek 11, Schéma parovzdušného bucharu [20]

- **Pneumaticko-hydraulické** – Jedná se o dvojčinné buchary (v České republice jsou vyráběny firmou Šmeral a.s.). Beran je urychlován pomocí stlačeného vzduchu. Proti rázu beranu působí zdvižení celého stojanu pomocí hydraulického systému, což má za následek utlumení rázové síly beranu. Výkovek je vyroben během na jednoho nebo několika úderů

(maximálně 8 úderů v jednom pracovním cyklu). Buchary jsou vhodné na kování všech druhů zápustkových výkovek včetně podlouhlých plochých výkovek (stranových klíčů, nožů, nůžek, kleští, pák, ojníc apod.). Pneumaticko-hydraulické buchary jsou vhodné pro sériovou a hromadnou výrobu. [15]

3.2.1.2 Lisy

Lisy tváří výkovek za pomoci stálé síly (tlaku). Oproti bucharům je jejich pracovní rychlost malá. V důsledku malé pracovní síly je doporučeno provést celý pracovní cyklus na jedno ohřátí materiálu z důvodu ochlazení povrchu výkovku z důvodu dlouhodobého kontaktu s nástroji. Chladnutí polotovaru v zápustce je závislé na materiálu polotovaru, jeho velikosti, rozdílu teplot mezi polotovarem a nástroji (nástroje jsou přehřívány) apod. Lisy dělíme na hydraulické, mechanické a hydraulicko-mechanické, rozdělení je znázorněno na (obrázku 12). [5] [8] [20]

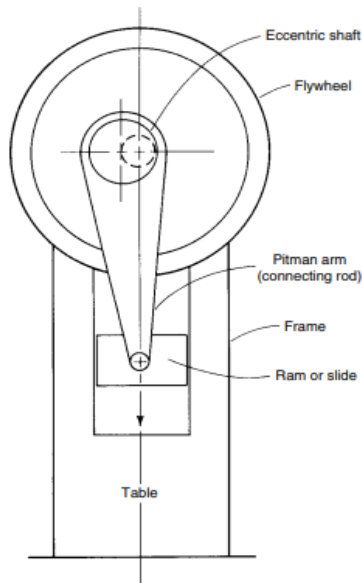


Obrázek 12, Dělení kovacích lisů dle typu generace energie [8]

Mechanické kovací lisy jsou omezeny velikostí maximální kovací síly, proto jsou vhodné pro středně velké výkovky (1 - 60kg), protože malé výkovky moc rychle chladnou v zápustce a velké výkovky nelze tvářet vlivem omezené kovací síly. Lisy jsou vhodnější pro rotační součásti. Oproti bucharům mohou dosáhnout větší sériovosti a přesnosti. Vlivem typu síly působené na zápustku mají zápustky větší životnost než u bucharu. Zápustky jsou postupové a obsahují předkovací a dokončovací dutinu. Hydraulické lisy narozdíl od mechanických jsou vhodné na velké výkovky (většinou volné), jinak nejsou používány díky vysokým pořizovacím nákladům. [5] [8] [20]

Pro antivibrační závaží jediný typ lisu který přichází v úvahu je klikový lis.

- **Klikové lisy** – Hlavním prvkem klikového lisu je klikový hřídel, který je spojen přes spojku na setrvačnick poháněný motorem. Beran je spojen s klikovým hřídelem pomocí ojnice. Síla lisu je vytvořena excentrickým pohybem klikové hřídele, která pohybuje ojnicí beranu. Klikové lisy mohou být opatřeny více ojnicemi na hřídeli a beranu. Díky konstrukci lisu je zdvih beranu konstantní a mají statický charakter deformace. Používají se pro přesné a složité výkovky díky přesnému vedení nástroje. [5] [8] [20]



Obrázek 14, Schéma klikového lisu [20]



Obrázek 13, Kovací linka s klikovým lisem LZK 400 [23]

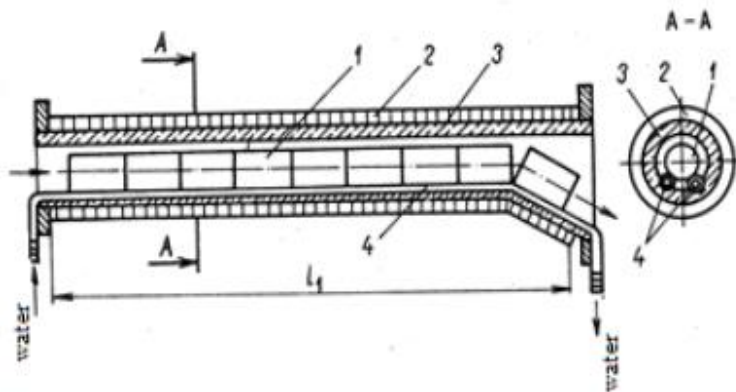
3.2.2 Zařízení pro ohřev polotovaru

Pro výrobní linky zápusťkového kování je potřeba zajistit takový typ ohřevu, aby splňoval dostatečnou produktivitu pro potřeby linky a minimalizoval ztrátu materiálu opalem. Pro technologii zápusťkového kování jsou ohřívací zařízení tato:

- **Indukční** – Elektrická energie procházející měděnou cívkou větší, jak velikost polotovaru generuje magnetické pole. Toto pole vytváří vířivé proudy na povrchu polotovaru, které se indikují pod povrch materiálu a vlivem ztrátového tepla ohříváme povrch materiálu. Jedná se o rychlou metodu ohřevu využívanou při hromadné výrobě (zápusťkových výkovků apod.) Indukční pece jsou kruhového nebo čtvercového průřezu. Indukční pece jsou průchozí. Typ magnetického pole je buď podélný (indukce ohřívá délku materiálu) nebo příčný (materiál je ohříván v kolmém průřezu polotovaru) [5][13]



Obrázek 15, Indukční ohřev konce tyče [18]

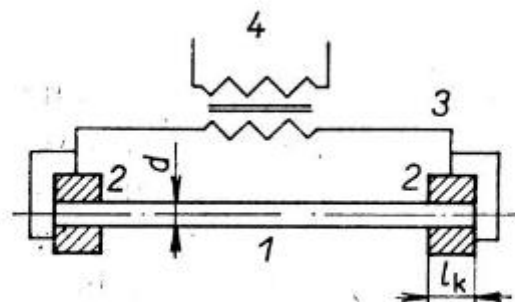


Obrázek 16, Schéma indukční pece [5]

- **Plynová** – využívá spalování plynu k ohřátí polotovarů v komoře pece. Jako palivo se používá nejčastěji zemní plyn, propan-butan apod. Jedná se o nejpoužívanější metodu ohřívání polotovarů. Používá se pro ohřívání velkého objemu materiálu. Slouží pro ohřev velkého počtu polotovarů nebo ohřev velkých polotovarů. Ohřev materiálu je poměrně pomalý a je nutná spouštěcí doba. Oproti ostatním metodám ohřevu má vysokou tvorbu opalu (3-5%). Velikost opalu závisí na době ohřevu a atmosféře v peci. Díky použití hořlavých plynů pro ohřev hrozí nebezpečí výbuchu. Pro ohřev antivibračního závaží spalínové pece nejsou vhodné z důvodu vysokého opalu materiálu (3-5%) a plynové pece nejsou vhodné pro ohřev malých výkovků (do 1 Kg). [5] [13] [19]
- **Odporová** – odporový ohřev dělíme na nepřímý a přímý. Nepřímý odporový ohřev využívá elektrické energie, která prochází délkou topného článku (drát stočený do cívky apod.) s

určitým elektrickým odporem. Elektrický odpor způsobuje ohřev topného článku na vysokou teplotu (až 1000°C), který pak ohřívá polotovar v komoře pece. Na rozdíl od spalovacích a indukčních metod teplota komory pece je snadno ovladatelná, nehrozí tedy přehřátí materiálu a lze dosáhnout vysoké přesnosti teploty. Proto se tyto pece často používají pro tepelné zpracování součástí, ale jsou používány i pro ohřev. Tento typ ohřevu je ale časově náročný a proto nevhodný pro ohřev naší součásti.

Přímý ohřev vzniká, když elektrický proud přímo prochází ohřívaným polotovarem a jeho elektrický odpor způsobuje ohřev. Přímý odporový ohřev je nejekonomičtější metoda ohřevu, kde se snažíme o ohřev materiálu s poměrem délky k průměru 1:6 až 1:10 pro maximální efektivitu. Z těchto poměrů vyplývá, že tato metoda je vhodná pro malé výkovky (obvykle průměr $d < 70\text{mm}$). Ohřívací jednotka je vestavěna do pracovního prostoru stroje a je možné použití pro ohřev celého polotovaru nebo jenom jeho části. Kvůli špatnému poměru našeho polotovaru je ovlivněna efektivita ohřevu, a tudíž je tato metoda nevhodná pro ohřev polotovaru. [5] [13]



Obrázek 17, Schéma přímého odporového ohřevu [5]

4 Návrh výkovku

Výkovek je antivibrační závaží používané pro tlumení vibrací v automobilové klimatizaci. Závaží je složeno ze dvou identických půlkulatých částí, které se při montáži spojí dohromady za pomoci spojovacího pásku. Podmínkou výroby je dodržení hmotnosti výkovku $G_v = 0,2 \text{ kg} \pm 10\%$. Počítá se sériovostí 600 000 ks/rok.

Materiálem výkovku je zvolena konstrukční ocel ČSN 11523 (ČSN EN S355J0) s chemickým složením a mechanickými vlastnostmi:

Tabulka 1, Chemické složení oceli ČSN 11 523 dle ČSN 41 1523 [24]

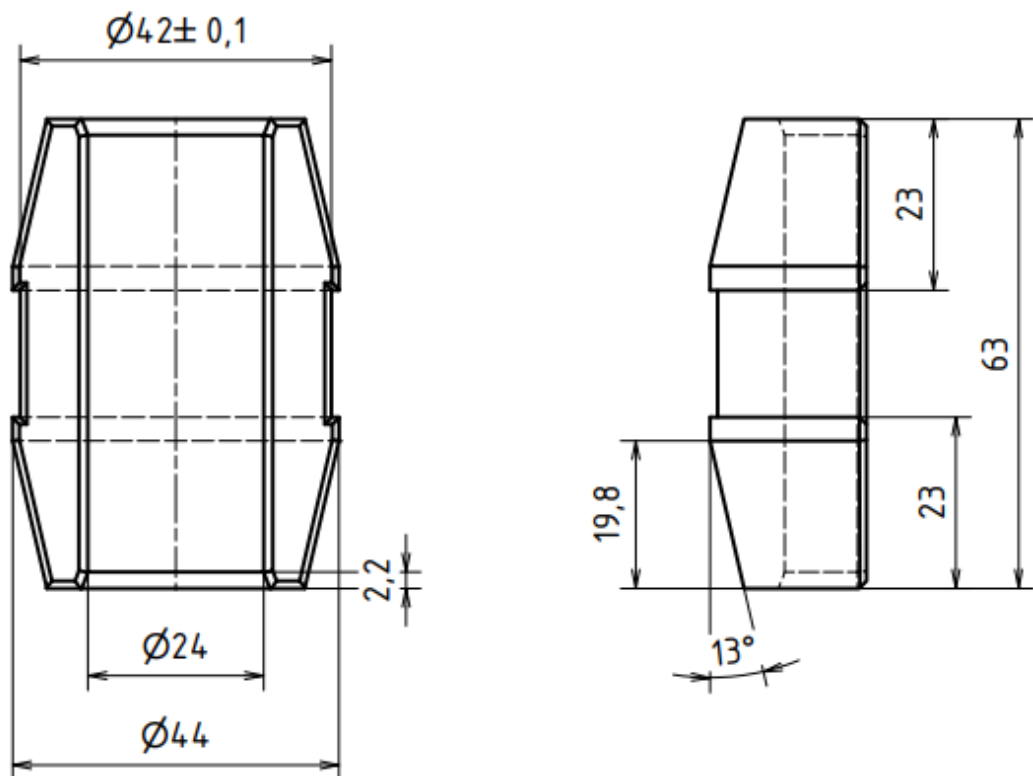
	C	Mn	Si	Cr	Al	P	S
Max:	0,20%	1,5%	0,55%	0,30%	0,015%	0,050%	0,045%

Tabulka 2, Mechanické vlastnosti oceli ČSN 11 523 dle ČSN 41 1523 [24]

Mechanické vlastnosti	
Mez kluzu Re	330 Mpa
Mez pevnosti Rm	510 - 630 Mpa
Tažnost A5	22%

Při návrhu výkovku se řídíme požadavkem zákazníka, který nám předepisuje požadavky na výkovek, tak i požadavky na výrobu (popř. požadovaná kontrola mechanických vlastností a kontrola kvality). Nejdůležitějšími parametry jsou kovaný materiál, výkres součásti s požadovanou sériovostí a rozměrovou přesností, směrem vláken, velikosti konečného zrna, makrostruktura výkovku apod. Před návrhem výkovku, je nutné se rozhodnout jakou technologii zápusťkového kování zvolíme, na čem budou provedeny kovací operace a vypracovat rámcový technologický postup. [2] [26]

Pro kování antivibračního závaží bylo zvoleno bezvýronkové zápusťkové kování na bucharu. Antivibrační závaží je kováno tak, aby nebylo zapotřebí dalších operací (návrh neobsahuje plochy určené k obrábění). Z těchto důvodů nejsou uvažovány přídatky na obrábění a velikost výronkové drážky. Výpočet práce bude proveden pro buchar.



Obrázek 18, Detail výkresu antivibračního závaží

4.1 Návrh výkovku dle ČSN 42 9030

Výkovek je navržen podle normy ČSN 42 9030 s přihlédnutím k normě ČSN 42 9002. Výkovek vyrábíme v přesném provedení, norma ČSN 42 9030 říká, že tím určíme stupeň přesnosti

- Zařazení výkovku dle složitosti tvaru:

Dle normy ČSN 42 9002 zařadíme složitost tvaru výkovku a ten odpovídá:

- Tvarový druh: 7 – výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
- Tvarová třída: 4 – oboustranně osazen
- Tvarová skupina: 8 – výkovky duté ($H > B$, $B > 2B_1$)
- Tvarová podskupina: 0 – bez přesahu
- Technologické hledisko: 4 – výkovky s dělicí plochou kolmou na osu nesouměrné

Výsledné určené číslo dle složitosti tvaru potom je:

7480-4

Z tohoto čísla pak určíme stupeň přesnosti pro dané provedení podle Tabulka 3. Pro náš výkovek bylo zvoleno přesné provedení.

Tabulka 3, Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení [40]

Tvarový druh	Tvarová třída	Tvarová skupina	Tvarová podskupina	Technologické hledisko	Stupeň přesnosti pro provedení					
					1		2		3	
					obvyklé		přesné		velmi přesné	
					⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥
4; 6; 7	*	1; 5	*	1 až 2	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 6; 7			5	6	4	5	3	4
		4; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5 9	1; 5	*	3; 4; 5	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 4			5	6	4	5	3	4
		6; 7; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9 6 až 8	*	*	6; 7; 8; 9	6	7	5	6	4	5
					7	7	6	6	5	5
8	1 až 8	1; 2; 3; 4	*	*	6	7	5	6	4	5
		5; 6			7	7	6	6	5	5
8	9	1; 2	*	*	6	7	5	6	4	5
		3; 4; 5; 6; 7			7	7	6	6	5	5
9; 0	*	1; 2; 3; 4	*	*	6	6	5	5	4	4
		5; 6; 7; 8			7	7	6	6	5	5

* - všechna odpovídající hlediska podle ČSN 42 9002

Z tabulky 3 bylo zjištěno, že vhodná třída přesnosti v kolmém směru k ose je TP5 a ve směru vodorovnému k ose je TP6. [40]

4.1.1 Návrh tloušťky stěny a blány

Výška obrobku je 63 mm a největší rozměr kolmo k rázu je 44 mm. Dle normy ČSN 42 9030 tedy odpovídá minimální tloušťka 5 mm.

Tabulka 4, minimální tloušťka stěny a blány dle ČSN 42 9030 [26]

Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (D, B)		Největší výška výkovku H					
		přes	10	20	40	63	100
		do 10	25	40	63	100	160
přes	do	Nejmenší tloušťka dna, blány H ₁ a stěny s					
	40	4	5	6	7	9	
40	63	5	5	6	7	9	11
63	100	5	6	7	9	11	13
100	160	6	7	9	11	13	15
160	250	8	9	11	13	15	17
250	400	10	13	15	17	20	25

Nejmenší tloušťka výkovku je 5,6 mm a splňuje podmínku nejmenší tloušťky stěny. [26]

4.1.2 Návrh velikosti minimálního zaoblení

Maximální hloubka je $h = 20\text{mm}$ a splňuje podmínku $h/f \leq 2$, proto volím zaoblení hran $r = 2\text{mm}$ a velikost přechodů $R = 6\text{mm}$. [26]

Tabulka 5, Minimální rozměry zaoblení dle ČSN 42 9030 [26]

Výška (hloubka) h		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		$h/f \leq 2$		$2 < h/f \leq 4$		$h/f > 4$	
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

4.1.3 Volba velikosti úkosů

Pro vybraný stroj volím úkosy: vnější = 5° ; Vnitřní = 10° [26]

Tabulka 6, Doporučené hodnoty zkosení dle ČSN 42 9030 [26]

Materiál	Al-slitiny		Cu-slitiny	Oceli		
	s vyhaz.	bez vyhaz.		buchary	svislé lisy	vodorovné lisy
vnější	$\approx 1^\circ$	$\approx 3^\circ$	$\approx 0,5^\circ$	5 až 7°	2 až 3°	1° (0 až 5°)
vnitřní	$\approx 1^\circ$	$\approx 3^\circ$	$\approx 1^\circ$	10°	3 až 5°	3° (0 až 5°)

4.1.4 Určení tolerancí výkovku a mezních úchylek

- **Určení mezních úchylek rozměrů výkovku**

Podle normy ČSN 42 9030 volím mezní úchyly pro stupeň přesnosti 5 (TP5) ve směru kolmému k ose v obvyklém provedení, kde $0,5(L+B) = 53,5$ mm: $X_{-0,4}^{+0,9}$ o toleranci 1,3 mm

Podle normy ČSN 42 9030 volím mezní úchyly pro stupeň přesnosti 6 (TP6) ve směru rovnoběžnému k ose v obvyklém provedení, kde $0,5(L+B) = 53,5$ mm: $X_{-0,6}^{+1,4}$ o toleranci 2 mm [26]

- **Určení mezních úchylek zaoblení přechodů R a hran r**

Při nahlédnutí do tabulky 7 a ke zvoleným hodnotám zaoblení $R = 6$ mm a $r = 2$ mm volím mezní úchyly zaoblení takto: pro zaoblení do 10mm volím přechody $R_{-0,25}^{0,50}$ a zaoblení hran $r_{-0,50}^{0,25}$ [26]

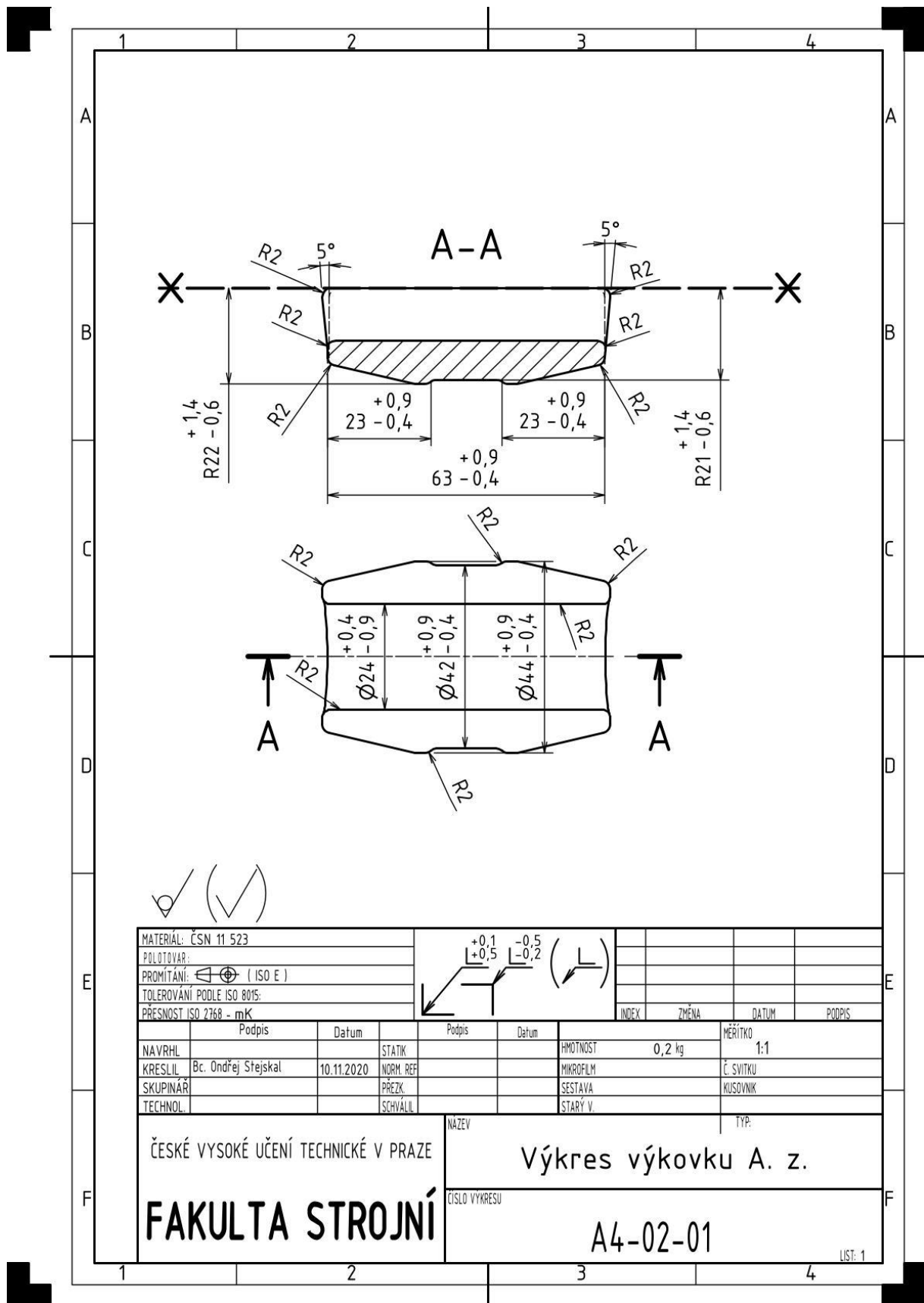
Tabulka 7, Mezní úchyly zaoblení přechodů a hran dle ČSN 42 9030 [26]

Poloměr zaoblení [mm]		Mezní úchyly [mm]			
přes	do	R		r	
	10		0,50 -0,25		0,25 -0,50
10	32		0,40 -0,20		0,20 -0,40
32	100		0,30 -0,15		0,15 -0,30
100			0,25 -0,10		0,10 -0,25

4.1.5 Volba dělicí roviny

Dělicí rovina je v rovině kolmé na pohyb stroje a je umístěna na horní části výkovku a je vyobrazena na výkresu výkovku (příloha 2). [26]

4.1.6 Výkres výkovku



Obrázek 19, Výkres výkovku

4.1.7 Výpočet hmotnosti a rozměrů polotovaru

Objem a hmotnost výkovku byly zjištěny z programu solid works a jsou uvedeny v Tabulka 8:

Tabulka 8, Vlastnosti výkovku

Materiál	11523
Objem ze 3D modelu	25417,83 mm ³
Hmotnost dle 3D modelu	0,2 kg +- 10%

Hmotnost polotovaru:

Při kování provádíme kontrolu jakosti sázky měřením hmotnosti polotovaru (G_P), přičemž vycházíme z celkového objemu výkovku s připočteným objemem blány, výronku a velikost opalu. Celkový objem a hmotnost polotovaru lze vyjádřit takto: [2] [27]

$$V_P = V_V + V_B + V_{V\acute{y}r} + V_O [m^3] \quad (4.1)$$

$$G_P = V_P \cdot \rho [kg] \quad (4.2)$$

- V_V – Objem výkovku [m^3]
- V_B – Objem blány [m^3]
- $V_{V\acute{y}r}$ – Objem výronku [m^3]
- V_O – Objem opalu [m^3]
- V_P – Objem polotovaru [m^3]
- G_P – Hmotnost polotovaru [kg]
- ρ – Hustota materiálu [$kg \cdot m^{-3}$] [27]

Objemy výkovku a blány jsou určeny z výkresu výkovku. Objem výronkové drážky je vypočten podle rozměrů určených v normě ČSN 22 8306. Velikost opalu je závislá na typu ohřevu a je vypočtena z celkového objemu výkovku ($\delta_{indukční} = 0,5\%$ objemu, $\delta_{spaliný} = 2-4\%$ objemu). Tento vztah lze vyjádřit tímto vzorcem: [2] [27]

$$V_O = (V_V + V_B + V_{V\acute{y}r}) \cdot \frac{\delta}{100} [m^3] \quad (4.3)$$

- V_O – Objem opalu [m^3]
- V_V – Objem výkovku [m^3]
- V_B – Objem blány [m^3]
- $V_{V\acute{y}r}$ – Objem výronku [m^3] [27]

Hmotnost polotovaru je vypočtena z celkového objemu výkovku získaného z 3D modelu a objemu opalu. Výkovek není opatřen blánou a výronkem, proto jsou tyto hodnoty rovny nule. Objem opalu je vypočten podle rovnice 4.3 a vyplývá z celkového objemu výkovku a metody ohřevu. Pro ohřev byla vybrána indukční pec, kde opal je roven 0,5%.

$$V_P = V_V + V_B + V_{V\dot{y}r} + V_O = 25417,83 + 0 + 0 + 127,1 = 25544,9 \text{ mm}^3 \quad (4.4)$$

$$G_P = V_P \cdot \rho = 25544,9 * 0,00785 = 200,5 \text{ g} \quad (4.5)$$

- V_V – Objem výkovku [mm^3]
- V_B – Objem blány [mm^3]
- $V_{V\dot{y}r}$ – Objem výronku [mm^3]
- V_O – Objem opalu [mm^3]
- V_P – Objem polotovaru [mm^3]
- G_P – Hmotnost polotovaru [kg]
- ρ – Hustota materiálu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] [27]

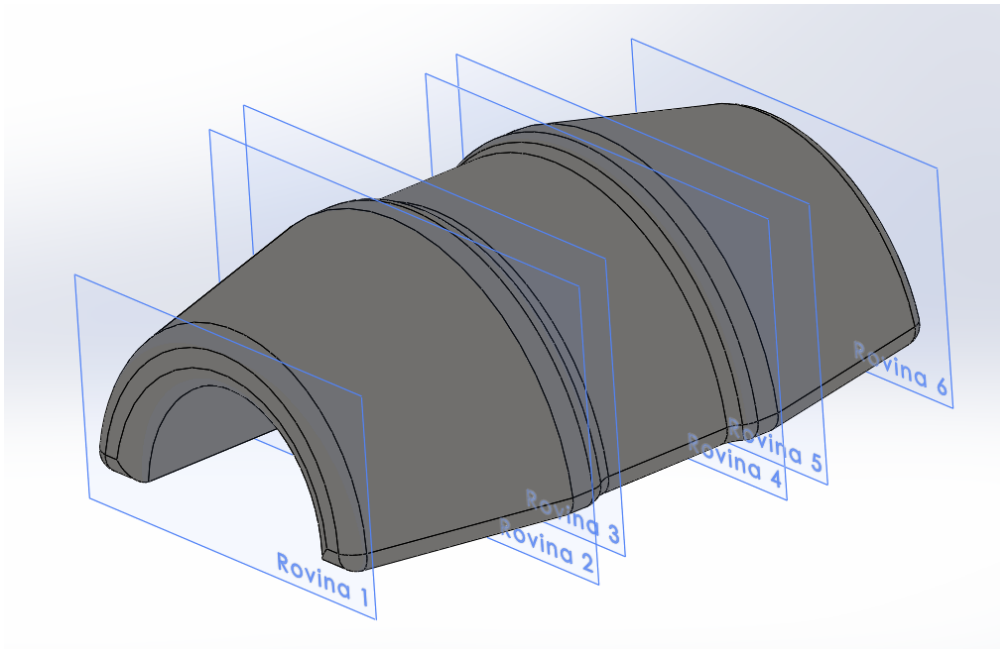
$$V_O = (V_V + V_B + V_{V\dot{y}r}) \cdot \frac{\delta}{100} = (25417,83 + 0 + 0) \cdot \frac{0,5}{100} = 127,1 \text{ mm}^3 \quad (4.6)$$

- V_O – Objem opalu [mm^3]
- V_V – Objem výkovku [mm^3]
- V_B – Objem blány [mm^3]
- $V_{V\dot{y}r}$ – Objem výronku [mm^3] [2] [31] [27]

- **Rozměry polotovaru:**

U podlouhlého výkovku je také důležité určit rozprostření objemů v závislosti na délce výkovku, kde může dojít k případu správného rozměru polotovaru, ale protože je špatně navržen dojde k nevyplnění zápustky v jednom místě a v jiné místo má přebytek materiálu. Podlouhlý výkovek počítáme pomocí metody průřezového obrazce. Princip metody vychází z vymezení charakteristických průřezů výkovku S (průřezy, v nichž se mění tvar výkovku), případně další průřezy a vypočtou se plochy průřezu ideálního předkovku. [31]

Výkovek byl rozdělen 6 řezy (roviny 1–6) a jejich plochy byly zjištěny pomocí programu Solid works. Hodnoty velikosti ploch jsou v tabulce 9. Umístění řezných rovin je vyobrazeno na Obrázek 20.



Obrázek 20, Umístění charakteristických řezů

Pro vnitřní průřezy platí:

$$S_i = S + 1,4 \cdot S_{výr} [mm^2] \quad (4.7)$$

Pro koncové průřezy (jsou dva) platí:

$$S_{ik} = 2 \cdot S_{výr} [mm^2] \quad (4.8)$$

Průměr ideálního předkovku v libovolném příčném řezu:

$$d_{ix} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{ix}}{\pi}} [mm] \quad (4.9)$$

Soubor takto získaných průměrů (d_{ix}) se nanáší symetricky od osy délky. Spojením těchto bodů obdržíme tvar ideálního předkovku (Obrázek 21).

Hodnoty průřezů (S_{ix}) jsou naneseny v měřítku (m_s) jako souřadnice o výšce:

$$h_{ix} = \frac{S_{ix}}{m_s} [mm] \quad (4.10)$$

Spojením těchto souřadnic získáme průřezový obrazec ideálního předkovku (Obrázek 22). Plochy jednotlivých částí tohoto obrazce násobené zvoleným měřítkem m_s dávají hodnoty objemů příslušných částí ideálního předkovku. [31]

Celkový objem ideálního předkovku:

$$V_p = S_{pr} \cdot m_s \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.11)$$

- S_{pr} – celková plocha průřezového obrazce (mm²) [31]

• *Tabulka 9, Hodnoty v řezech*

Řez	Plocha řezu S_{ix} [mm ²]	Průměr ideálního předkovku d_{ix} [mm]	Výška průřezového obrazce h_{ix} [mm ²]
1	201,16	16,03	20,12
2	511,83	25,56	51,18
3	446,33	23,87	44,63
4	446,33	23,87	44,63
5	511,83	25,56	51,18
6	201,16	16,03	20,12

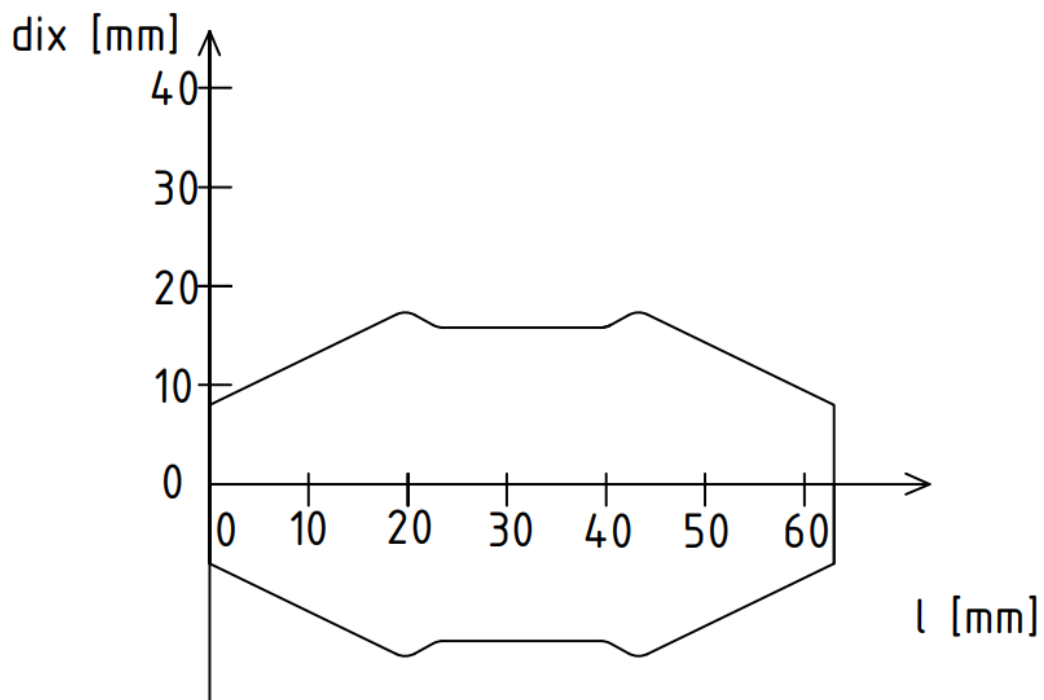
Hodnoty v Tabulka 9 jsou vypočítány obdobně a vzorový výpočet pro řez 1 vypadá takto:

Průměr ideálního předkovku:

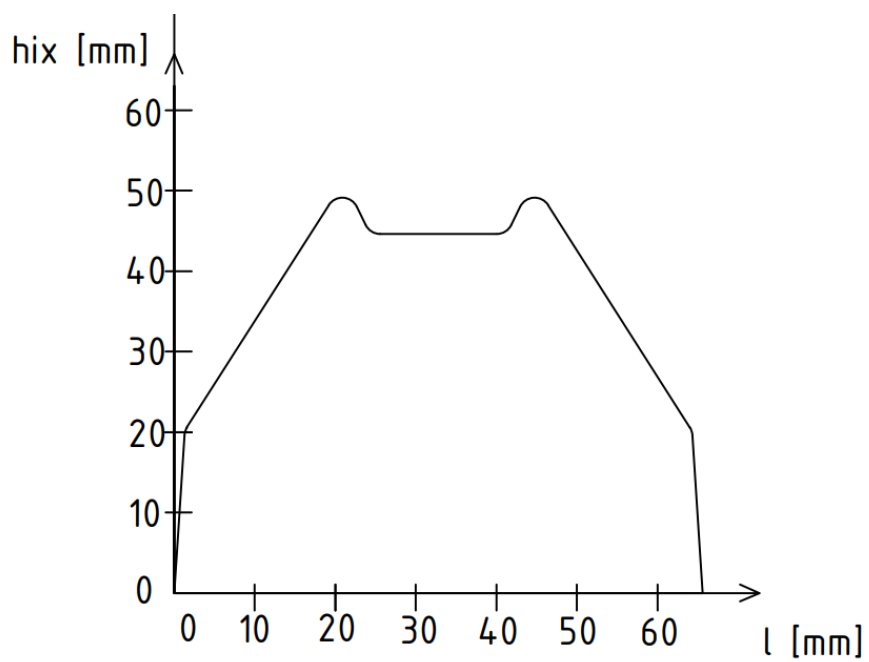
$$d_{ix} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{ix}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 201,16}{\pi}} = 16,03 \text{ mm}$$

Výška průřezového obrazce:

$$h_{ix} = \frac{S_{ix}}{m_s} = \frac{201,16}{10} = 20,12 \text{ mm}$$



Obrázek 21, Ideální předkovek



Obrázek 22, Redukovaný průřezový obrazec

Výsledný objem výkovku byl spočítán pomocí programu Solid works a je roven $V_p = 26496,8 \text{ mm}^3$ [5][21]

- **Volba polotovaru:**

Pro antivibrační závaží volíme výkovek tvaru ploché tyče s obdélníkovým průřezem. Maximální rozměry polotovaru nesmí přesáhnout maximální rozměry výkovku, které jsou 63 mm délky a 35 mm (rozbalená hodnota šířky výkovku). Tloušťka stěny výkovku 10 mm určuje minimální tloušťku stěny polotovaru.

šířku výchozího polotovaru je přibližně určen maximálním průměrem ideálního předkovku $d_{\text{imax}} = 25,56$ mm. Proto volíme dle nomy ČSN EN 10058 polotovar o šířce $b = 30$ mm a tloušťce $t = 15$ mm.

Délka polotovaru je vypočtena z celkového objemu polotovaru s přídavkem na opal, výpočet vypadá takto:

$$V_p = b \cdot t \cdot L_0 \rightarrow L_0 = \frac{V_p}{b \cdot t} = \frac{25544,9}{30 \cdot 15} = 56,2 \text{ mm} \rightarrow \text{Volím } L_0 = 56 \text{ mm} \quad (4.12)$$

- V_p – Objem polotovaru [mm^3]
- b – šířka polotovaru [mm]
- t – tloušťka polotovaru [mm]

Polotovar volíme: Plochá tyč 30x15mm ČSN EN 10058. [30]

4.2 Výpočet kovací síly

Velikost kovací síly ovlivňuje velikost zvoleného tvářecího stroje. Buchary jsou určovány dle potřebné rázové práce pro vykonání posledního rázu (poslední operace má největší přetvárný odpor). Metody výpočtu pro buchary jsou:

- **Výpočet práce bucharu dle firemního vzorce firmy Šmeral**

Platí pouze pro výkovky z oceli s nízkým a středním obsahem uhlíku a pro nízkolegované oceli, pro jiné materiály je nutné použít koeficient.

$$A = 13,62 \cdot G_p^{0,59} = 13,62 \cdot 0,209^{0,59} = 5,4 \text{ [kJ]} \quad (4.13)$$

- A – pracovní síla [kJ]
- G_p – váha výkovku [kg] ; [30]

- **Výpočet práce posledního úderu dle ČSN 22 8308**

Pro výpočet nekruhových výkovků platí:

$$A_n = A \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L_D}{B_D}} \right) [J] \quad (4.14)$$

$$B_D = \frac{F_D}{L_D} [cm] \rightarrow F_D = B_D \cdot L_D [cm^2] \quad (4.15)$$

Kde A je práce kruhového výkovku (4.13), ale místo průměru výkovku (D_D) je dosazený redukovaný průměr (D_{red})

$$A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_{red}) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_{red}} \right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_{red}^2) \cdot D_{red} \cdot \sigma_p [J] \quad (4.16)$$

$$D_{red} = 1,13 \cdot \sqrt{F_D} [cm] \quad (4.17)$$

- A_n – práce nekruhového průřezu [J]
- B_D – šířka výkovku [cm]
- L_D – délka výkovku [cm]
- D_{red} – redukovaný průměr výkovku [cm]
- σ_p – Střední přetvárný odpor [MPa]
- F_D – plocha výkovku [cm²]
- D_D – Průměr výkovku s výronkem [mm]; [25]

Přetvárný odpor pro ocel ČSN 11523 volíme pro 1000°C a volíme $\sigma_p = 57$ MPa určíme z tabulky 10:

Tabulka 10, Hodnoty přetvárného odporu pro ocel ČSN 11 523 dle normy ČSN 41 1523 [24]

Rychlost přetvoření	Přetvárný odpor	Teplota [°C]						
		800	900	1000	1100	1200	1250	
$\varepsilon = 2,10-2$	σ_p [MPa]	118	80	57	40	28	22	18

Plocha výkovku byla určena z analýzy programu Solid works a je: $F_D = 26,6 \text{ cm}^2$ Po dosazení do vzorců výpočet síly pro nekruhové výkovky je:

$$D_{red} = 1,13 \cdot \sqrt{F_D} = 1,13 \cdot \sqrt{26,6} = 5,8 \text{ cm}$$

$$A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_{red}) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_{red}} \right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_{red}^2) \cdot D_{red} \cdot \sigma_p$$

$$A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot 5,8) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{5,8}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot 5,8^2) \cdot 5,8 \cdot 57 = 9547,1 J$$

$$A_n = A \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L_D}{B_D}}\right) = 9547,1 \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{6,55}{4,4}}\right) = 10711,9 J = 10,7 KJ$$

Pro další výpočty volím velikost síly podle firemního vzorce firmy Šmeral, která je $A = 5,4 KJ$.

4.3 Návrh vhodných strojů a zařízení

Pro ohřev materiálu byla zvolena metoda indukčního ohřevu. Výkovek bude kován na bucharu. Z výpočtů bylo zjištěno, že požadovaná práce bucharu pro vykování součásti je $A = 5,4 KJ$. Pro dělení materiálu volíme metodu dělení pomocí pásové pily s prořezem 2mm.

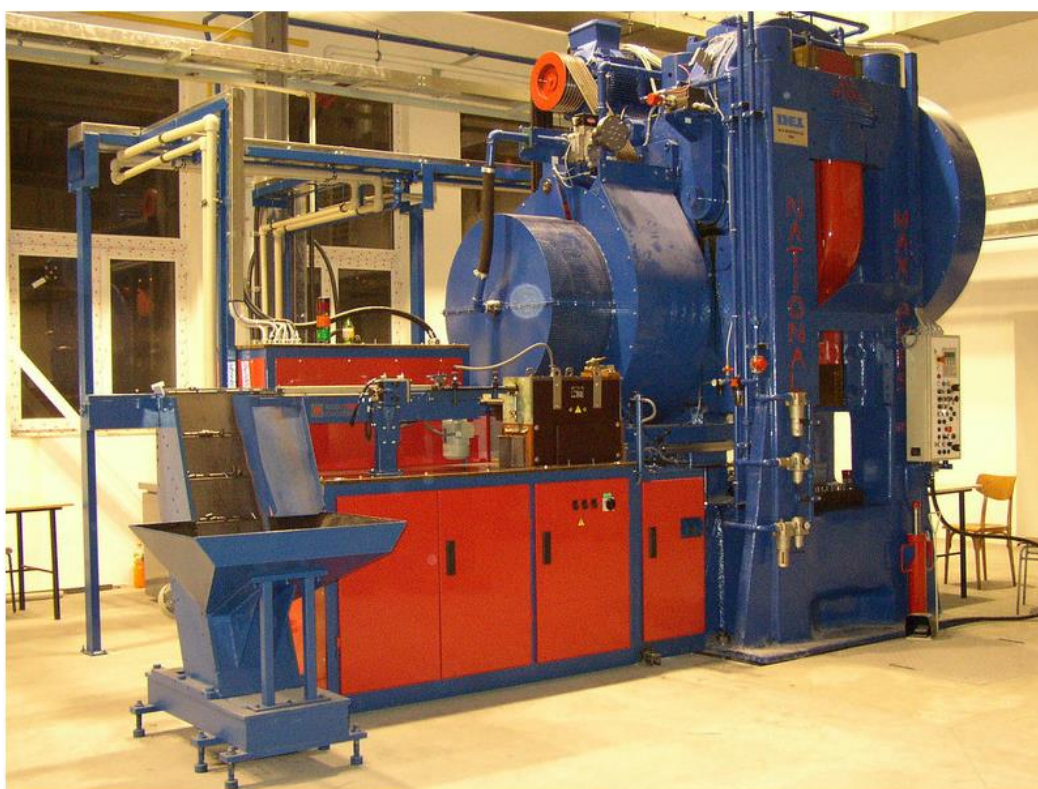
4.3.1 Volba stroje pro ohřev

Jako ohřívací zařízení volíme indukční pec kvůli vysoké produktivitě pece s ohledem na požadovanou zástavbu, rychlosti ohřevu, přesnosti dodržení teplot apod. Požadovaná ohřívací teplota je 1200 °C. Indukční pec byla zvolena od firmy ROBOTERM spol. s r.o. Volíme pec středofrekvenčního typu KSO-T (Obrázek 24), vhodnou pro ohřev magnetických ocelí o průměru (straně) až 50 mm. Pro naše potřeby je dostatečná pec s výkonem 100 kW podle kapacitních výpočtů (kapitola 5.1) s produktivitou 220 kg/hod. další technické parametry jsou vyobrazeny na Obrázek 23. [34]

Základní technické parametry

Výkonová řada	100 kW	160 kW	200 kW	250 kW
Ohříváný materiál	magnetická ocel			
Rozměry přířezů	Ø D, 4HR o straně D [mm]	10 - 50		12 - 50
	délka l [mm]	1,2 D - 150	1,2 D - 250	1,2 D - 300
Max. teplota ohříváných přířezů [°C]	1250			
Maximální ohřáté množství [kg/h]	220	360	450	600
Výkon [kW]	100	160	200	250
Kmitočet [kHz]	6 - 15 nebo 10 - 25			6 - 15
Vstupní napětí z oddělovacího transformátoru [V]	3 x 400			
Příkon [kVA]	125	200	250	300
Spotřeba chladicí vody [m ³ /h]	2,4	4	4,8	6

Obrázek 23, Technické parametry indukční pece řady KSO-T od firmy Roboterm [34]



Obrázek 24, Indukční pec KSO-T 100/30 dodaný do TRW-DAS Dačice [34]

4.3.2 Volba dělicího stroje

Pro výrobu antivibračního závaží lze realizovat dělení materiálu dvěma způsoby: řezáním na pile nebo stříháním na nůžkách.

Stříhání je vysoce hospodárná a produktivní metoda dělení materiálu, která nevytváří odpadový materiál, ale to je na úkor jakosti střížné plochy (čelo není rovné). Tato jakost střížné plochy je pro výrobu antivibračního závaží nežádoucí, jelikož by vedla ke vzniku vad výkovku (přeložky apod.). Řezání na pile je typ dělení materiálu za pomoci odebrání materiálu nástrojem (pás, kotouč) ve formě třísek (prořez). Velikost prořezu je dána tloušťkou nástroje. Výhodou řezání oproti stříhání je vyšší jakost povrchu čela děleného polotovaru. Řezání na pásové pile je vhodnější pro kusovou a malosériovou výrobu (omezená produktivita řezání pásové pily). Pro antivibrační závaží je doporučeno použít řezání na kotoučové pile, kvůli vysoké produktivitě a jakosti povrchu čela děleného polotovaru. [11] [31]

Pro dělení materiálu byla zvolena kotoučová pila ExactCut 75 TWIN MAC 75 od firmy ExactCut s.r.o. Pila je schopná řezu dvou hranatých tyčí o straně 30 mm najednou s možností automatizace procesu řezání. Technická data kotoučové pily ExactCut 75 TWIN MAC 75 jsou (Obrázek 25): [37]

Technická data	MAC 75	MAM 75
pro dělení	ocel	neželezné kovy
typ pilového kotouče	HSS/tvrdokov	HSS/tvrdokov
uchycení kotouče	Ø32, 4x9x50	Ø32, 4x9x50
průměr pilového kotouče (Ø mm)	250/275	250/275
řezný rozsah		
(Ø mm) ○○	2x15 - 2x35	2x15 - 2x35
(Ø mm) ○	35 - 70	35 - 70
(V + V mm) □□	2x15x15 - 2x30x30	2x15x15 - 2x30x30
(V + V mm) □	30x30 - 60x60	30x30 - 60x60
(V + Š mm) □	15x15 - 90x60	15x15 - 90x60
řezná rychlost (m/min)	40 - 160	600 - 2800
délka zbytkového kusu (mm)	50	50

Obrázek 25, Technická data kotoučové pily ExactCut 75 TWIN [37]



Obrázek 26, Dělicí linka 75 TWIN se segmentovým nakládacím systémem a příčným nebo pásovým dopravníkem na vstupní straně [37]

4.3.3 Volba kovacího stroje

Pro kovací operace jsem se rozhodl vybrat buchar. Výkovek je podlouhlého tvaru a malé hmotnosti $G_v = 0,2$ kg, kde při použití lisu (vhodný pro rotační výkovky) by docházelo k rychlému ochlazení materiálu, kdežto buchar díky své rázové energii částečně dodává teplo do výkovku a je vhodný pro kování podlouhlých výkovků. Podle výše provedených výpočtů byla vypočtena potřebná pracovní síla $A = 5,4$ KJ. Buchar byl zvolen od firmy Šmeral typu KHZ 2A o síle $A = 20$ KJ, která je dostačující pro naše potřeby, avšak se jedná o nejmenší rozměr bucharu vyráběného firmou Šmeral. Technická data bucharu KHZ 2A jsou: [35]

TECHNICKÁ DATA

		KHZ 2A
Tvářecí energie	kJ	20
Upínací plocha zápustek	mm	250x440
Nejmenší výška zápustek	mm	250
Max. zdvih beranu	mm	400
Počet zdvihů beranu	min-1	20
Celkový instalovaný výkon	kW	30
Rozměry stroje v*š*h	m	3,1*3,1*2,3

Obrázek 27, Technická data bucharu KHZ 2A [35]



Obrázek 28, Buchar KHZ 2A [35]

4.3.4 Volba čistícího stroje

Pro očištění výkovku od okují volíme technologii tryskání, díky její automatizaci, produktivitě a vysoké energii tryskacího agregátu, který spolehlivě odstraní nahromaděné okuje. Pro tryskání volíme bubnový tryskací stroj SmartLine T170R od firmy Wheelabrator s.r.o. a technická data jsou v tabulce 12: [36]



Obrázek 29, Bubnový tryskací stroj SmartLine T170R [36]

Tabulka 11, Technická data pro bubnový tryskací stroj SmartLine T170R [36]

	T50R	T85R	T170R
Pásový dopravník	pryžový	pryžový	pryžový
Průměr bubnu (mm)	457	610	775
Šířka bubnu (mm)	650	735	915
Maximální hmotnost dávky (kg)	100	180	227
Max. hmotnost dílu (kg)	10	8	15
Počet metacích kol / příkon (kW)	1x5.5	1x5.5	1x7.5

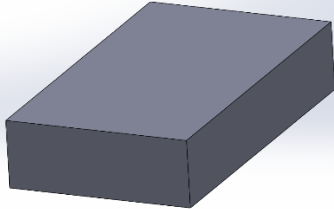
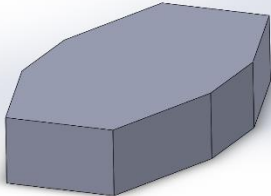
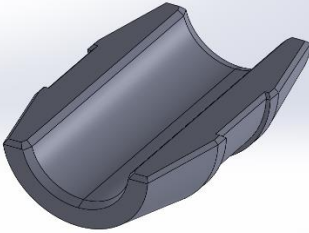
4.4 Návrh technologického postupu

Technologický postup kování je obvykle složen z následujících operací: dělení polotovaru, ohřev polotovaru, kování, ostřihování výronku (děrování blány). Podle požadavků zákazníka je poté provedeno tepelné zpracování, úpravy tvaru (rovnání kalibrace apod.) a čištění povrchu (moření, tryskání apod.). S pohledem na jakost výroby lze provést mezioperační kontroly (hmotnosti, jakosti, rozměrů apod.), mazání zápustek nebo odstranění okují. Podle určitých požadavků na výrobu (sériovost, tvarová složitost, přesnost apod.) lze některé tyto operace vynechat. [28]

Pro výrobu Antivibračního závaží byl zvolen polotovar o rozměrech 30x15 mm, ten bude dodáván ve formě tyčí o délce 6m. Tyče budou děleny na Kotoučové pile ExactCut 75 TWIN o prořezu 2 mm a délce přířezu 56 mm. Ohřev bude uskutečněn v indukční peci KSO-T 100/30 na teplotu 1200 °C. Kovat se bude na pneumaticko-hydraulickém bucharu KHZ 2A na tři operace: prodlužování v prodlužovací dutině na rozměry 30x13,5–58 mm, předkování v předkovací dutině, kde konce výkovku jsou kovány do klínu o úhlu 10° a délce $l_k=19$ mm a dokování v dokovací dutině kde získáme konečný tvar výkovku. Následuje čištění výkovku tryskáním Bubnovým tryskacím strojem SmartLine T170R, jako abraziva je použita litinová drť a velikost dávky je určena na 1000 ks. Po tryskání probíhá kontrola kvality, kde je měřena hmotnost polotovaru $200g \pm 10\%$ a je provedena vizuální kontrolu vad výkovku. Povrchová

úprava je prováděna externě a volíme metodou galvanického zinkování. Technologický postup je vyobrazen v tabulce 13.

Tabulka 12, Technologický postup

Operace	Stroj/nástroj	Podmínky	Poznámka
1) Dělení materiálu			
Řezání na kotoučové pile	ExactCut 75 TWIN	Délka přířezu 56 mm	Prořez 2 mm
		$G_0 = 0,2 \text{ kg} \pm 10\%$	Kontrola hmotnosti
2) Indukční ohřev	KSO-T 100/25	Ohřev na 1200°C	
3) Kování na bucharu	KHZ 2A	Kovací teplota: 1200–1000°C Teplota zápustek: 150°C Mazání: Gw-st-h	Kování na 3 operace
Prodlužování	Prodlužovací dutina		1. Prodlužování na rozměry: 30x13,5–58 mm
Předkování	Předkovací dutina		2. Předkování klínu o $l_k = 19 \text{ mm}$ a úhlu 10°
Dokování	Dokovací dutina		3. Dokování na rozměry určeny ve výkresové dokumentaci
4) Tryskání	Bubnový tryskací stroj SmartLine T170R	Tryskání po vychladnutí Abrazivo: litinová drť	Tryskání po dávce 100 ks
5) Kontrola	Váha	$G_v = 0,2 \text{ kg} \pm 10\%$	Kontrola hmotnosti (po 100ks)
	Posuvné měřítko	Kontrola vad a tvaru dle výkresu výkovku	Každých 100 kusů

4.5 Simulace

Bylo provedeno několik simulací s rozdílnými parametry simulace a tvaru předkovku. Prezentovaná simulace vyšla jako nejvýhodnější z hlediska počtu vad, vyplnění zápustky, počtu operací apod.

Pro simulace kování antivibračního závaží byl použit zjednodušený předkovek. Parametry simulace jsou v tabulce 14. Pro simulaci byl použit program Simufact Forming.

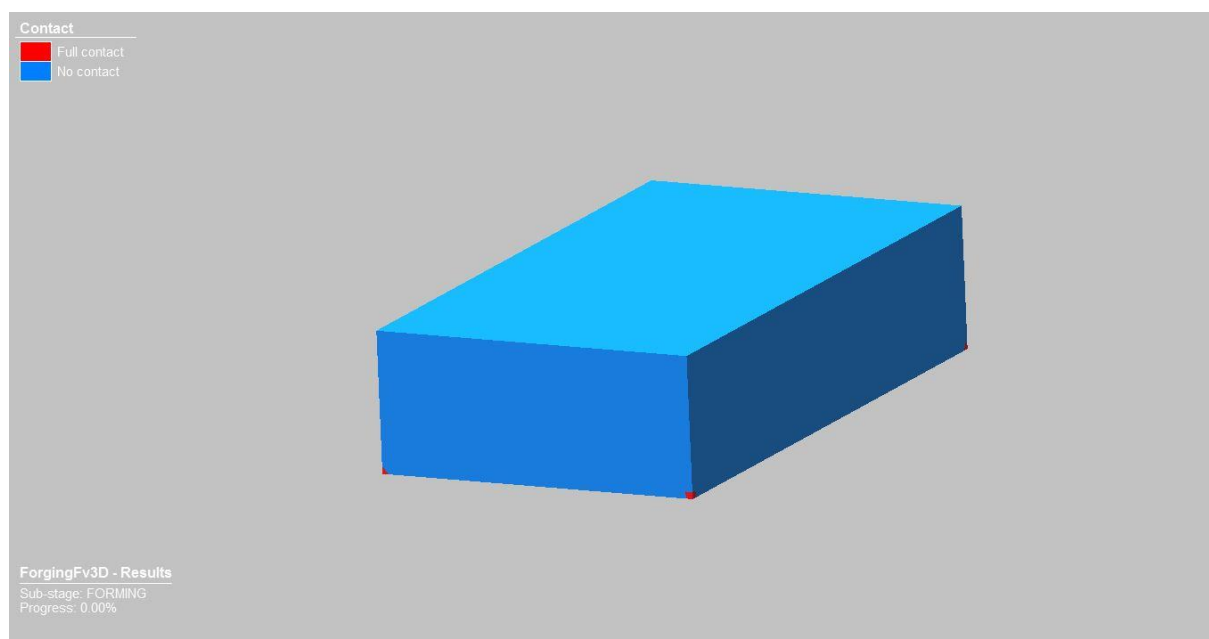
Výstupem simulací je stupeň vyplnění zápustky, který nám ukazuje správnost návržení předkovku a model velikosti napětí na konci kovacího cyklu.

Tabulka 13, Parametry simulace

Teplota polotovaru	1200 °C
Materiál	11 523
Teplota zápustky	150 °C
Mazací aditiva	Gw-st-h (grafit s vodou)
Rozměr polotovaru	Tyč plochá 30x15 – 58 ČSN EN 10058

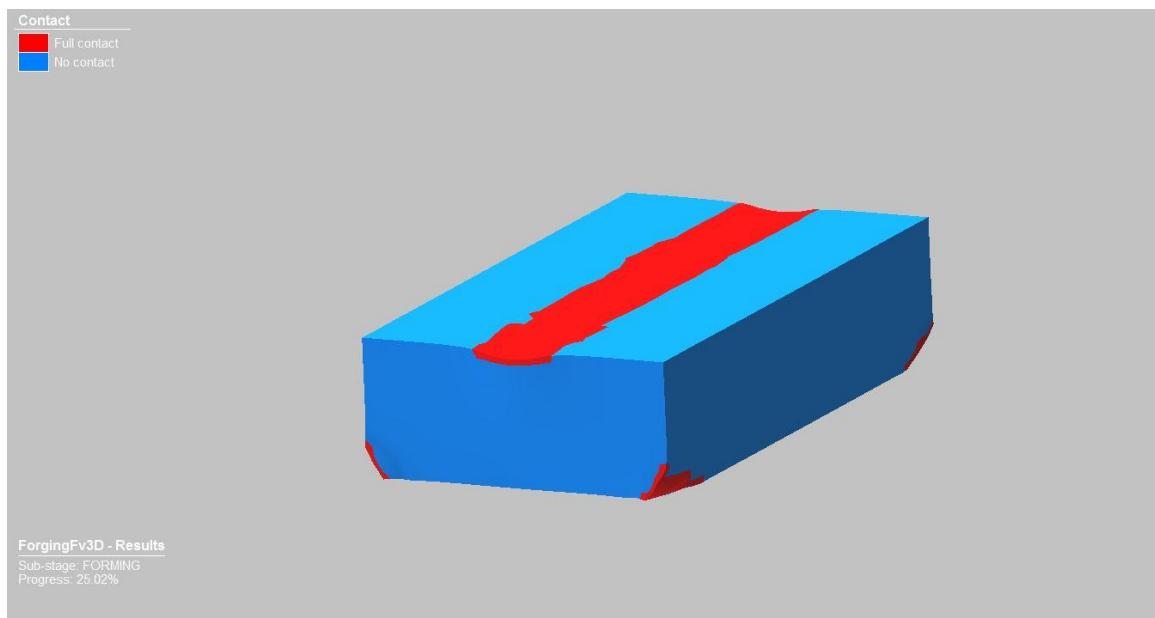
- Stupeň vyplnění zápustky:

Na obrázku 30 je vidět zjednodušený předkovek zasazený do spodní zápustky. Je vidět, že polotovar se dotýká zápustky ve čtyřech bodech (spodní hrany polotovaru), což značí správné usazení polotovaru do zápustky, kde kónický tvar dutiny zaručuje usazení do středu zápustky.



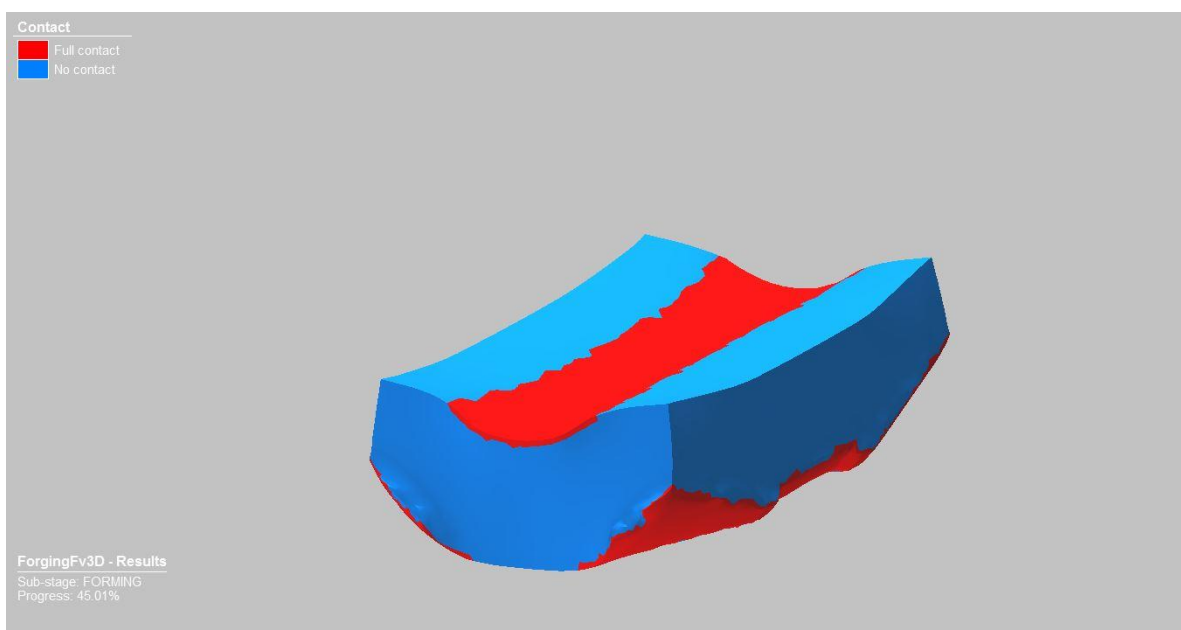
Obrázek 30, Simulace vyplnění zápustky 0%

Na obrázku 31 je vidět prvotní deformace od horní části zápustky a deformace spodní části výkovku. V tuto chvíli je výkovek ohýbán okolo horní zápustky (výkovek je vtačován do dutiny dolní zápustky, ale nedochází ke kontaktu se spodkem dutiny). Kromě ohybu dochází k přechování ploch, které jsou v dotyku s dutinou zápustky.



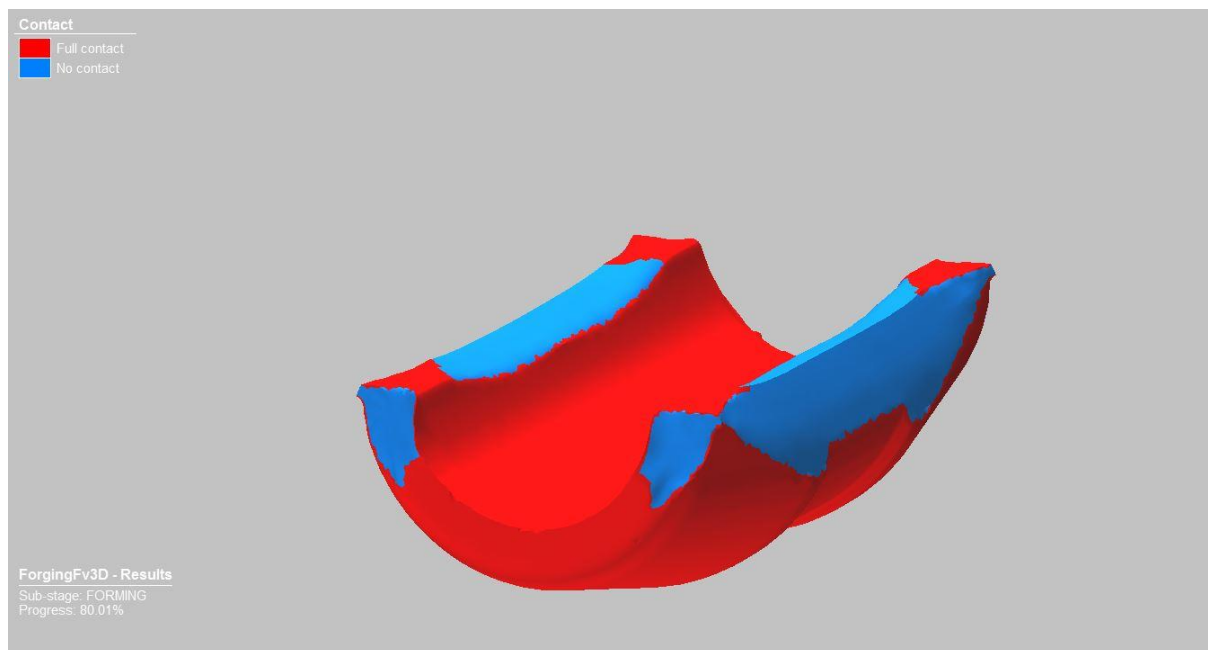
Obrázek 31, Simulace vyplnění zápustky (25% kroku)

Na obrázku 32 došlo ke kontaktu mezi spodkem dutiny dolní zápustky a výkovkem. Trn horní zápustky působí malou plochou na výkovek a tím dochází k pohybu materiálu ze středu do výkovku do stran (výkovek nabývá více šířky než délky).



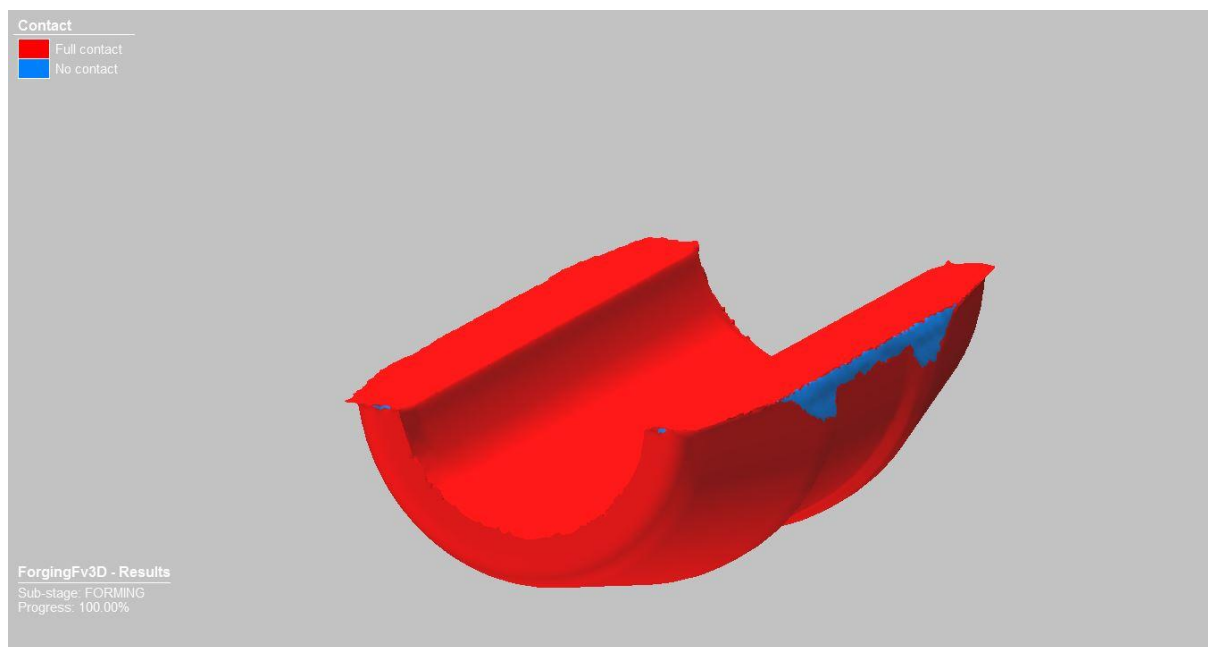
Obrázek 32, Simulace vyplnění zápustky (45% kroku)

Obrázek 33 ukazuje 80% kroku, kde je vidět plný kontakt výkovku s horním kovadlem v rozích svrchní plochy výkovku. dutina zápustky ještě není plně vyplněna ve středu výkovku a na čele



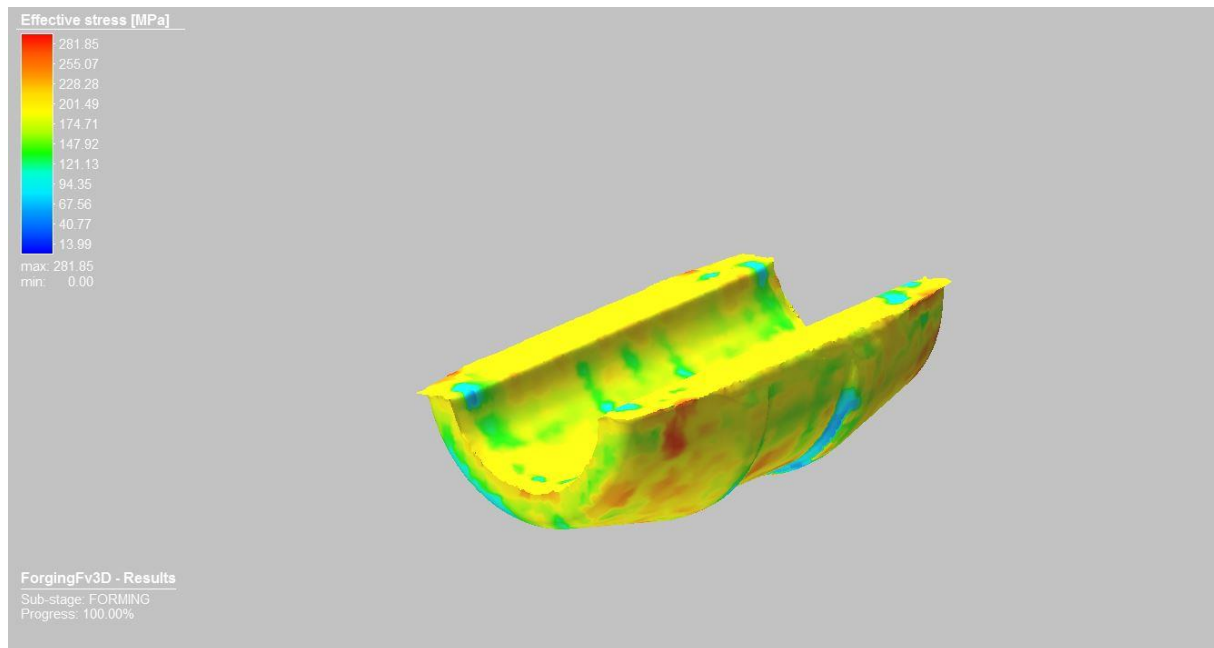
Obrázek 33, Simulace vyplnění zápustky 80%

Obrázek 34 ukazuje ukončení operace kování a je zde vidět ořep vzniklý v dělicí dutině a částečné nevyplnění zápustky ve středu výkovku.



Obrázek 34, Simulace vyplnění zápustky 100% kroku

Obrázek 35 ukazuje velikosti přetvárného odporu ve výkovku. Nejvyšší hodnota odporu dosáhla $\sigma_{Dmas} = 281,85$ MPa v oblasti zkosených ploch koncového osazení. Průměrná hodnota přetvárného odporu je $\sigma_{Dpr} = 180$ MPa.



Obrázek 35, Velikost přetvárného odporu ve výkovku

Částečné nevyplnění zápustky ve středu výkovku je přijatelné vzhledem k požadavku na dodržení váhy výkovku, časové a cenové úspory (může být vynechán krok předkování a zjednodušit zápustku) vlivem vynechání jedné kovací operace. Vzniklý otřep bude po kování odstraněn tryskáním.

Simulace jsou dobrý nástroj při navrhování výroby výkovku, avšak vždy nemusí odpovídat skutečným podmínkám (neuvažují opotřebení zápustky apod.), proto je doporučeno provést kovací zkoušky, pro získání skutečného modelu kovací operace.

5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Tato kapitola se zabývá kapacitními propočty a ekonomickým zhodnocením výroby. Kapacitními propočty určíme požadovaný počet strojů a zařízení potřebných pro kovárenské operace. Z těchto čísel určíme vhodnou směnovost výroby. Při určení směnovosti je nutné přihlížet k potřebnému počtu strojů a dělníků potřebných pro typ směnového provozu.

5.1 Kapacitní propočty

Pro výpočet kapacitních výpočtů (popř. počtu strojů, dělníků, směn apod.) je nutné určit časové fondy strojů, dělníků. Základem výpočtů časového fondu je počet pracovních dní v roce a počet pracovních hodin v jednom dni.

- **Roční časový fond:**

Roční časový fond určuje počet pracovních hodin ve směně za rok. Pro jednu směnu počítáme pracovní dobu 8 hodin 5 dní v týdnu. Nezapočítáváme státní svátky, odečítáme pouze soboty a neděle.

$$E_r = (365 - 52 - 52) \cdot \frac{40}{5} = 2088 \text{ hod} \quad (5.1)$$

- E_r – roční časový fond [hod]; [32]

- **Efektivní časový fond stroje:**

Efektivní časový fond stroje je ovlivněn operacemi, které ovlivňují jeho časový fond (opravy, údržba, výměna nástrojů apod.). U strojů počítáme s dobou odstavení 10–12% ročního časového fondu vlivem času potřebného pro vykonání údržby a opravy neplánovaných poruch (volíme hodnotu 12%). Pro zápustkové kování počítáme 5% ročního časového fondu pro přípravu a ukončení výroby (náběh pece, úklid pracoviště, předání pracoviště apod.). Pro buchary počítáme životnost zápustek 10 000 kusů a dobu jejich výměny a seřízení 0,5 hod, což činí dobu $t_{záp} = 30$ hodin/rok.

$$E_s = E_r - (10 - 12\%)E_r - (5\%)E_r - t_{záp} = 2088 - 0,12 \cdot 2088 - 0,05 \cdot 2088 - 30$$

$$E_s = 1703 \text{ hod} \quad (5.2)$$

- E_s – efektivní časový fond stroje [hod]; [32]

- **Efektivní časový fond dělníka:**

Efektivní časový fond dělníka je ovlivněn dobou plánované dovolené (volíme 25 dní v roce), nemocnosti pracovníků (volíme 3% ročního časového fondu), počtem svátků v roce (v roce 2020 bylo 14 svátků z toho 12 bylo v pracovní den)

$$E_d = E_r - (3\%)E_r - (25 + 12) \cdot \frac{40}{5} = 2088 - (0,03) \cdot 2088 - (25 + 12) \cdot \frac{40}{5}$$

$$E_d = 1729 \text{ hod} \quad (5.3)$$

Ed – efektivní dělnický fond [hod]; [32]

Tento výpočet platí pro 1 směnu, vícesměnný provoz je vypočten obdobně a je vyobrazen v tabulce 15

Tabulka 14, Časové fondy v závislosti na počtu směn

	1 směna	2 směny	3 směny
Roční časový fond (Er) [hod]	2088	4176	6264
Efektivní strojní fond (Es) [hod]	1703	3406	5109
Efektivní dělnický fond (Ed) [hod]	1729	3458	5187

- **Počet strojů**

Firma Bêché uvádí nomogram, ze kterého lze pro buchar o dané jmenovité energii A [kJ] odečíst teoretickou produktivitu bucharu P [kg/hod]. Vztahy odvozeny z tohoto nomogramu jsou:

Tabulka 15, Teoretický kapacitní propočet bucharu podle firmy Bêché [30]

Jmenovitá energie A	Teoretická produktivita P
$A \leq 31,5$	$P = 22,82 \cdot A^{1,02}$
$31,5 < A \leq 51$	$P = 151,15 \cdot A^{0,472}$
$51 < A \leq 110$	$P = 37,70 \cdot A^{0,825}$
$A > 110$	$P = 147,48 \cdot A^{0,535}$

Z našich výpočtů volím Pracovní sílu podle firemního vzorce firmy Šmeral: $A = 5,4 \text{ KJ} \leq 31,5 \text{ KJ}$, proto teoretickou produktivitu určíme tímto vzorcem:

$$P_{t1} = 22,82 \cdot A^{1,02} = 22,82 \cdot 5,4^{1,02} = 125 \text{ kg/hod} \quad (5.4)$$

- P_t - teoretická produktivita [kg/hod] ; [30]

Skutečná produktivita, avšak bude 60–90% kvůli vlivu odstavy strojů, výměny nástrojů apod. Pro získání přesnějšího odhadu proto násobíme teoretickou produktivitu 60%.

$$P_{s1} = P_{t1} \cdot 0,6 = 125 \cdot 0,6 = 75 \text{ kg/hod} \quad (5.5)$$

- P_s - skutečná produktivita [kg/hod]; [30]

Produktivitu stroje lze také určit podle určení času potřebného ke kování na určitém stroji. Námí zvolený stroj je buchar od firmy Šmeral typu KHZ 2A, jehož technická data jsou vidět na Obrázek 27. Z této tabulky je vidět, že stroj kove rychlostí 20 úderů za minutu. Z praktických zkušeností bylo odhadnuto, že výkovek má být zhotoven 3–5 údery bucharu (antivibrační závaží bude vyrobeno 5 údery), z toho vyplívá vzorec (5.6):

$$P_{t1} = \frac{n_{max}}{n_{úv}} \cdot G_v \cdot 60 = \frac{20}{5} \cdot 0,2 \cdot 60 = 48 \text{ kg/hod} \quad (5.6)$$

- n_{max} – maximální počet zdvihů beranu za minutu [min-1]
- $n_{úv}$ – počet zdvihů beranu pro výrobu 1 výkovku [min-1]

Pro výpočet skutečné produktivity stroje byl zvažován čas potřebný k založení polotovaru do dutin zápustek, čištění zápustek apod. Z praktických zkušeností určíme skutečnou produktivitu jako 40–60% produktivity teoretické. V našem případě volíme koeficient produktivity 50%.

$$P_{s2} = P_{t2} \cdot 0,5 = 48 \cdot 0,5 = 24 \text{ kg/hod} \quad (5.7)$$

Počet strojů pro výrobu určíme podle počtu požadovaných kusů dělených násobkem produktivity stroje a časového fondu stroje, následující vzorec pro počet strojů potřebných pro 1 směnu vypadá takto:

$$n_b = \frac{n_{kg}}{P_s \cdot E_s} = \frac{120000}{24 \cdot 1703} = 2,94 \rightarrow \text{Volíme } n_{bs} = 3 \quad (5.8)$$

- n_{kg} - hmotnost celkového počtu výrobků [kg]
- n_b - počet strojů [ks] ; [32] [33]

Z vypočteného počtu strojů určíme koeficient využití strojů vzhledem k zaokrouhlené hodnotě:

$$k_s = \frac{n_b}{n_{bs}} = \frac{2,94}{3} \cdot 100 = 97,9\% \quad (5.9)$$

- n_{bs} - skutečný počet strojů [ks] [33]

Výkon pece potřebný pro výrobu je závislý na počtu strojů a jejich produktivitě (volím produktivitu vypočtenou podle kovacího času. $P_{11} = 24 \text{ kg/hod}$), vzorec vypadá následovně:

$$Q_p = n_b \cdot P_s = 3 \cdot 24 = 72 \text{ kg/hod} \quad (5.10)$$

- Q_p - výkon pece za směnu [kg/hod] [33]

Tento výpočet platí pro 1 směnu, vícesměnný provoz je vypočten obdobně a je vyobrazen v tabulce 17.

Tabulka 16, Kapacitní propočty v závislosti na počet směň

	1 směna	2 směny	3 směny
Efektivní strojní fond (E_s) [hod]	1703	3406	5109
Počet strojů (n_b) [-]	3	2	1
Koeficient využití strojů (k) [%]	97,9	73,4	97,8
Výkon pece za směnu (Q_p) [kg/hod]	72	48	24

Pro výrobu antivibračního závaží volíme dvousměnný provoz. Jednosměnný provoz vyžaduje pro výrobu požadovaných počtů kusů tři kovací stroje, což by znamenalo značnou finanční investici. Jednosměnný provoz je také omezen tím, že náběh a vypnutí kovací linky zabere cca 1,5 hodiny za započatý pracovní den. Třisměnný provoz vyžaduje pouze jeden stroj, ale na úrok vyššího počtu pracovníků, který negativně ovlivní cenu výroby.

Dvousměnný provoz je kompromis mezi počtem pracovníků a počtem použitých strojů, proto považují tento typ provozu za nejvhodnější.

5.2 Kalkulace ceny výkovku

Pro stanovení kalkulace jsou zohledněny tyto položky:

- Náklady na materiál
- Mzdy výrobních dělníků
- Ostatní přímé náklady
- Výrobní režie
- Správní režie
- Zisk
- Cena výkovku

Zadané hodnoty pro výrobu:

- Počet vyráběných kusů $n = 600\,000$ ks/rok
- Hmotnost výrobku $m = 0,2$ kg
- Cena oceli (pro 1 Kg) $C_m = 25$ Kč/Kg
- Polotovar Tyč plochá 30x15 – 56 ČSN EN 10058

Výpočet nákladů:

a. Náklady na materiál

Prvně je potřeba spočítat potřebný materiál. Ten je určen v podobě tyčí. Tyče byly nakoupeny od firmy Ferona a.s. o délce $l_t = 6$ m. Cena za 1 kg oceli je $C_m = 25$ Kč/kg. počet tyčí byl vypočten podle vzorce (5.11 a 5.12).

- **Počet kusů z jedné tyče**

$$n_k = \frac{lt-l_0}{l+p} = \frac{6000-50}{56+2} = 102,6 \text{ kusů} \rightarrow \text{Z jedné tyče se vyrobí 102 kusů} \quad (5.11)$$

- l_t - délka tyčí [m]
- l – délka polotovaru [mm]
- l_0 – délka zbytkového kusu z tyče
- p – velikost prořezu [mm]
- n_k - počet kusů z jedné tyče [ks]

- **Celkový počet tyčí**

$$n_t = \frac{n}{n_k} = \frac{600\,000}{102} = 5882,4 \rightarrow \text{Pro výrobu celé série je potřeba 5883 tyčí} \quad (5.12)$$

- n – počet kusů [ks]
- n_k - počet kusů z jedné tyče[ks]

- **Cena za nákup materiálu**

$$m_t = b \cdot t \cdot l_t \cdot \rho = 15 \cdot 30 \cdot 6000 \cdot 7850 = 21,2 \text{ kg} \quad (5.13)$$

$$m_{mat} = m_t \cdot n_t = 21,2 \cdot 5883 = 124719,6 \text{ kg} \quad (5.14)$$

$$C_{mat} = m_{mat} \cdot C_m = 124719,6 \cdot 25 = 3117990 \text{ Kč} \quad (5.15)$$

$$C_{mat1} = \frac{C_{mat}}{n} = \frac{3117990}{600000} = 5,2 \text{ Kč/ks} \quad (5.16)$$

- m_{mat} - celková váha materiálu [kg]
- m_t - váha jedné tyče [kg]
- n_t - celkový počet tyčí [ks]
- C_m - cena oceli za 1 Kg [Kč/kg]
- C_{mat} - celková cena materiálu [Kč]
- C_{mat1} - cena materiálu za 1 kus [Kč]

- **Využití materiálu**

$$k_{mat} = \frac{n_{kg}}{m_{mat}} = \frac{600\,000 \cdot 0,2}{124987,58} = \frac{120\,000}{124719,6} \cdot 100 = 96\% \quad (5.17)$$

- n_{kg} - hmotnost celkového počtu výrobků [kg]
- C_{mat} - celková cena materiálu [Kč]

b. Mzdy výrobních dělníků

Mzda výrobních dělníků je určena podle celkové pracovní doby výrobku, která zahrnuje celkový čas na výrobu jednoho kusu společně s časem potřebným na přípravu jedné dávky. Velikosti jednotkového času, dávkového času, velikosti dávky, minimálního počtu dělníků je znázorněn v tabulce 18.

Tabulka 17, Časy operací a počet dělníků výkovku

Operace	Čas Jednotkový t_a [Nmin]	Dávkový čas t_b [Nmin]	Minimální počet dělníků	Velikost dávky [ks]	Dávkový čas celkový t_{bc} [hod]	Čas Jednotkový celkový t_{ac} [hod]	Celkový čas t_c [hod]	PM jednotlivých operací [Kč]	PM za kus [Kč]
Dělení materiálu	0,1	5	1	220	227,3	1000	1227,3	270000	5,1
Ohřev	0,2	5	1	100	500	2000	2500	550000	
Kování	0,25	120	2	960	1250	2500	3750	1650000	
Tryskání	0,1	5	1	100	500	1000	1500	330000	
Kontrola	0,1	1	1	100	100	1000	1100	242000	
Celkem	0,75	160	6	-	2577,3	7500,0	10077,3	3042000	

Počet dělníků je určen jako minimální počet dělníků potřebných pro výkon operace. Pro zjednodušení výpočtu je zvolena jedna superhrubá mzda pro všechny pracovníky $C_p = 220$ Kč/hod.

Výpočty jsou obdobné pro všechny operace a příklad výpočtu operace kování vypadá takto:

- **Celkový výrobní čas (kování) na celou sérii:**

$$t_c = \left(t_a + \frac{t_b}{D_n} \right) \cdot n = \left(0,25 + \frac{120}{960} \right) \cdot 600\,000 = 225\,000 \text{ min} = 3750 \text{ hod} \quad (5.18)$$

- D_n - velikost dávky [ks]
- n - počet kusů [ks]
- t_a - čas jednotkový [Nmin]
- t_b - dávkový čas [Nmin]
- **Přímé mzdy jednotlivých operací (kování):**

$$PM_{kov} = t_c \cdot C_p \cdot N_D = 3750 \cdot 220 \cdot 2 = 1\,650\,000 \text{ Kč} \quad (5.19)$$

- t_c - celkový čas [hod]
- C_p - superhrubá mzda na 1 hodinu [Kč/hod]
- N_D - počet pracovníků [-]

Celkové přímé náklady se pak vypočítají takto:

- **Celkové přímé mzdy:**

$$PM = PM_{del} + PM_{ohr} + PM_{kov} + PM_{tr} + PM_{ko} \quad (5.20)$$

$$PM = 270\,000 + 550\,000 + 1\,650\,000 + 330\,000 + 242\,000 = 3\,042\,000 \text{ Kč}$$

- PM - celkové přímé mzdy [Kč]
- PM_{del} - přímé mzdy dělení [Kč]
- PM_{ko} - přímé mzdy kontroly [Kč]
- PM_{kov} - přímé mzdy kování [Kč]
- PM_{ohr} - přímé mzdy ohřevu [Kč]
- PM_{tr} - přímé mzdy tryskání [Kč]

- **Celkové přímé mzdy na jeden kus:**

$$PM_1 = \frac{PM}{n} = \frac{3\,042\,000}{600\,000} = 5,1 \text{ Kč/ks} \quad (5.21)$$

- PM_1 - celkové přímé mzdy na jeden kus [Kč]

c. Ostatní přímé náklady

Ostatní přímé náklady jsou určeny odborným odhadem. Velikost ostatních přímých nákladů je určena jako 150% přímé mzdy. Ostatní přímé náklady zahrnují náklady spojené se stroji, nástroji a ostatními náklady.

$$OPN = 1,5 \cdot PM = 1,5 \cdot 5,1 = 7,65 \text{ Kč/ks} \quad (5.22)$$

- OPN – ostatní přímé náklady [Kč/ks]

d. Výrobní režie

Výrobní režie je určena odborným odhadem. Výrobní režie je určena jako 250% přímé mzdy.

$$VR = 2,5 \cdot PM = 2,5 \cdot 5,1 = 12,75 \text{ Kč/ks} \quad (5.23)$$

- VR - výrobní režie [Kč/ks]

e. Správní režie

Správní režie je určena odborným odhadem. Byla odhadnuta velikost správní režie jako 50% přímé mzdy. Správní režie zahrnuje položky spojené s nevýrobní částí podniku.

$$SR = 0,5 \cdot PM = 0,5 \cdot 5,1 = 2,55 \text{ Kč/ks} \quad (5.24)$$

- SR – správní režie [Kč]

- **Celkové náklady**

Celkové náklady získáme sečtením všech nákladů. Celkové náklady výrobků jsou vyobrazeny v tabulce 19.

$$CN = \frac{C_{mat}}{n} + PM + OPN + VR + SR \quad (5.25)$$

- CN – celkové náklady [Kč]

Tabulka 18, Celkové náklady výrobku

Položka	Na 1 kus [Kč/ks]	Celkově [Kč]
Cena za materiál	5,2	3 124 689,4
Mzdy výrobních dělníků	5,1	3 060 000
Ostatní přímé náklady	7,65	4 590 000
Výrobní režie	12,75	7 650 000
Správní režie	2,55	1 530 000
Celkové náklady	33,2	19 954 689,4

f. Zisk

Zisk je určen z celkových nákladů. Velikost zisku určíme jako 10% celkových nákladů.

$$Z = 0,1 \cdot CN = 0,1 \cdot 33,45 = 3,35 \text{ Kč/kus} \quad (5.26)$$

- Z – zisk [Kč/ks]

g. Cena výrobku

Cenu určíme ze součtu celkových nákladů a celkového zisku.

$$C_v = CN + Z = 33,3 + 3,3335 = 36,66 \text{ Kč/ks} \quad (5.27)$$

- C_v - cena výrobku [Kč/ks]

Konečná cena výrobku je určena na $C_v = 36,66 \text{ Kč/ks}$. Tato cena je přibližně určena z pracnosti potřebné na jeden kus. Pro přesnější ekonomické zhodnocení je doporučeno použít hodnoty z již zavedené výroby podobného typu, nejlépe ze stejného podniku, kde se bude uskutečnit výroby. [38] [39]

5.3 Kalkulace ceny obrobku

Pro stanovení kalkulace byly zohledněny stejné položky jako při kalkulaci ceny obrobku. Značný rozdíl těchto výrobních technologií bude ve výrobním času jedné části.

Zadané hodnoty pro výrobu:

- Počet vyráběných kusů $n = 600\,000$ ks/rok
- Hmotnost výrobku $m = 0,2$ kg
- Cena oceli (pro 1 kg) $C_m = 25$ Kč/kg
- Polotovár TR45x10 - 63 ČSN EN 10305-1

Výpočet nákladů:

a. Náklady na materiál

Prvně je potřeba spočítat potřebný materiál. Ten je určen v podobě tyčí. Tyče byla nakoupena od firmy Feron a.s. o délce $l_t = 6$ m. Cena za 1 kg oceli je $C_m = 25$ Kč/kg. počet tyčí byl vypočten podle vzorce (5.11 a 5.12).

- **Počet kusů z jedné tyče**

$$n_k = \frac{lt - l_0}{l + p} = \frac{6000 - 50}{63 + 2} \cdot 2 = 183,3 \text{ kusů} \rightarrow \text{Z jedné tyče se vyrobí 184 kusů}$$

- **Celkový počet tyčí**

$$n_t = \frac{n}{n_k} = \frac{600\,000}{184} = 3260,86 \rightarrow \text{Pro výrobu celé série je potřeba 3261 tyčí}$$

- **Cena za nákup materiálu**

$$m_t = \frac{\pi \cdot (d^2 - D^2)}{4} \cdot l_t \cdot \rho = \frac{\pi \cdot (45^2 - 25^2)}{4} \cdot 6000 \cdot 7850 = 51,76 \text{ kg}$$

$$m_{mat} = m_t \cdot n_t = 51,76 \cdot 3261 = 168789,4 \text{ kg}$$

$$C_{mat} = m_{mat} \cdot C_m = 168789,4 \cdot 25 = 4219970 \text{ Kč}$$

$$C_{mat1} = \frac{C_{mat}}{n} = \frac{4219970}{600000} = 7 \text{ Kč/ks}$$

- D – Vnější průměr trubky [mm]
- d – Vnitřní průměr trubky [mm]

- **Využití materiálu**

$$k_{mat} = \frac{m_{vc}}{m_{mat}} = \frac{600\,000 \cdot 0,2}{168789,4} = 0,71 = 71\%$$

b. Mzdy výrobních dělníků

Mzda výrobních dělníků je určena podle celkové pracovní doby výrobku, která zahrnuje celkový čas na výrobu jednoho kusu společně s časem potřebným na přípravu jedné dávky (tabulka 20). Velikost dávek je určena podle jednotlivých technologií.

Tabulka 19, Časy operací a počet dělníků obrobku

Operace	Čas Jednotkový t_a [Nmin]	Dávkový čas t_b [Nmin]	Minimální počet dělníků	Velikost dávky [ks]	Dávkový čas celkový t_{bc} [hod]	Čas Jednotkový celkový t_{ac} [hod]	Celkový čas t_c [hod]	PM jednotlivých operací [Kč]	PM za kus [Kč]
Dělení materiálu	0,1	5	1	220	227,3	1000	1227,3	270000	30,9
Soustružení	3	10	1	160	625	30000	30625	6737500	
Řezání	5	15	1	160	937,5	50000	50938	11206250	
Kontrola	0,1	5	1	100	500	1000	1500	330000	
Celkem	8,2	35	4	-	2289,8	82000	84290	18543750	

Počet dělníků je určen jako minimální počet dělníků potřebných pro výkon operace. Pro zjednodušení výpočtu je zvolena jedna superhrubá mzda pro všechny pracovníky $C_p = 220$ Kč/hod.

Výpočty jsou obdobné pro všechny operace a příklad výpočtu operace dělení materiálu vypadá takto:

- **Celkový výrobní čas (Dělení materiálu) na celou sérii:**

$$t_c = \left(t_a + \frac{t_b}{D_n} \right) \cdot n = \left(0,1 + \frac{5}{220} \right) \cdot 600\,000 = 73636,4 \text{ min} = 1227,3 \text{ hod}$$

- **Přímé mzdy jednotlivých operací (Dělení materiálu):**

$$PM_{kov} = t_c \cdot C_p \cdot N_D = 1227,3 \cdot 220 \cdot 1 = 270\,000 \text{ Kč}$$

Celkové přímé náklady se pak vypočítají takto:

- **Celkové přímé mzdy:**

$$PM = PM_{del} + PM_{sou} + PM_{rez} + PM_{ko}$$

$$PM = 270000 + 6737500 + 11206250 + 330000 = 18\,543\,750 \text{ Kč}$$

- PM_{sou} - přímé mzdy soustružení [Kč]
- $PM_{řez}$ - přímé mzdy řezání [Kč]
- **Celkové přímé mzdy na jeden kus:**

$$PM_1 = \frac{PM}{n} = \frac{18\,543\,750}{600\,000} = 30,9 \text{ Kč/ks}$$

c. Ostatní přímé náklady

Ostatní přímé náklady jsou určeny odborným odhadem. Velikost ostatních přímých nákladů je určena jako 120% přímé mzdy. Ostatní přímé náklady zahrnují náklady spojené se stroji, nástroji a ostatními náklady.

$$OPN = 1,2 \cdot PM = 1,2 \cdot 30,9 = 37,1 \text{ Kč/ks}$$

d. Výrobní režie

Výrobní režie je určena odborným odhadem. Výrobní režie je určena jako 200% přímé mzdy.

$$VR = 2 \cdot PM = 2 \cdot 30,9 = 61,8 \text{ Kč/ks}$$

e. Správní režie

Správní režie je určena odborným odhadem. Odhaduji velikost správní režie jako 50% přímé mzdy. Správní režie zahrnuje položky spojené s nevýrobní částí podniku.

$$SR = 0,5 \cdot PM = 0,5 \cdot 30,9 = 15,45 \text{ Kč/ks}$$

- **Celkové náklady**

Celkové náklady získáme sečtením všech nákladů. Celkové náklady jsou vyobrazeny v tabulce 21.

$$CN = \frac{C_{mat}}{n} + PM + OPN + VR + SR$$

Tabulka 20, Celkové náklady obrobku

Položka	Na 1 kus	Celkově
Cena za materiál	7	4 219 970
Mzdy výrobních dělníků	30,9	18 540 000
Ostatní přímé náklady	37,1	22 248 000
Výrobní režie	61,8	37 080 000
Správní režie	15,45	9 270 000
Celkové náklady	152,2	91 357 970

f. Zisk

Zisk je určen z celkových nákladů. Velikost zisku určíme jako 10% celkových nákladů.

$$Z = 0,1 \cdot CN = 0,1 \cdot 152,2 = 15,22 \text{ Kč/kus}$$

Cenu určíme ze součtu celkových nákladů a celkového zisku.

$$C_v = CN + Z = 152,2 + 15,22 = 167,44 \text{ Kč/ks}$$

Konečná cena obrobku je určena na $C_v = 167,44 \text{ Kč/ks}$. Tato cena je přibližně určena z pracnosti potřebné na jeden kus. V porovnání s metodou kování je vidět, že třískové obrábění je přibližně pětinasobně dražší než metoda kování. [38] [39]

6 Závěr

Tato diplomová práce řeší problematiku návrhu výroby antivibračního závaží používaného v automobilovém průmyslu pro tlumení vibrací u klimatizačních jednotek. Jedná se o díl, na který nejsou požadavky z hlediska mechanických vlastností, hlavním kritériem volby materiálové jakosti jsou náklady na jeho pořízení. Pro modelovou situaci jsem pro díl uvažoval konstrukční oceli ČSN 41 1523, pro kterou jsem byl schopen získat i materiálové vlastnosti pro určení velikosti tvářecích sil. Jedinou požadovanou vlastností je hmotnost dílu. Předpokládaný objem výroby je 600 000 ks/rok.

V rámci práce jsem se věnoval možným výrobním technologiím, které je pro výrobu možné použít. Firma nedisponuje výrobním zařízením pro realizaci výroby, proto je cílem práce představit i možnosti, omezující kritéria, ale i technickoekonomické aspekty při výběru technologie. Preferovanou výrobní technologií je technologie tváření, resp. zápustkové kování.

Na základě provedené analýzy jsou možné technologie třískového obrábění. Tato technologie se bude vyznačovat relativně nízkými náklady na pořízení výrobního zařízení, ale bude se vyznačovat spíše delšími výrobními časy. Vlastní technologie bude tvořena zařízením pro soustružení, kdy bude vytvořen „dvojkus“ výrobku, který bude další technologií rozříznut na 2 části podélným řezem. Technologie by měla smysl, pokud by vstupním materiálem byla trubka s vnitřním průměrem odpovídajícím průměru součásti, vnější průměr by odpovídal maximálnímu průměru součásti. Pomocí kopírovacího systému by byl vytvořen požadovaný tvar součásti, následně pak její oddělení od zbytku tyče. Pro rozříznutí na dvě části by bylo možné využít technologie, které se vyznačují relativně malým prořezem, jako například elektroerozivní řezání.

V rámci práce je popsána i technologie slévání, kterou však nepovažuji jako vhodnou pro výrobu této součásti s ohledem na delší výrobní časy, vyšší pořizovací a vyšší provozní náklady.

Z hlediska tváření jsem se zabýval technologií lisování a zápustkové kování. Výroba dílu lisováním má výhodu relativně malého počtu výrobních zařízení, mezi které bude patřit zařízení pro dělení materiálu (příprava polotovaru) a následné tvarování. Vlastního tvářecího postupu by bylo možné docílit hydraulickým lisem. Zařízení se bude vyznačovat vyššími pořizovacími náklady proti ostatním tvářecím strojům, bude mít i vyšší provozní náklady, nižší produktivitu práce, ale zařízení disponuje vyššími tvářecími silami, které bude v průběhu výroby dosáhnout. Výhodou budou i nižší nároky na výrobní plochu, nižší personální nároky.

Pro výrobu jsem zvolil technologii přesného kování, předpokládá se přesné kování s minimální velikostí výronku, či zcela bez výronku. Z hlediska provedené analýzy se tato technologie jeví jako nejvýhodnější z technologického i ekonomického hlediska. Výchozím polotovarem je plochá tyč válcovaná za tepla o rozměrech 30x15mm, např. dle ČSN EN 10058. Tyče jsou standardně dodávány o délce 6 m, v rámci technologického postupu se předpokládá dělení na jednotlivé polotovary, následně ohřev na tvářecí teplotu, vlastní tvářecí proces a dokončovací operace.

Z hlediska dělení polotovaru jsou možnosti stříhání pomocí nůžek nebo řezání na pilách. Výhodou stříhání na nůžkách je vysoká produktivita práce, ale horší přesnost z hlediska velikosti polotovaru, deformace střižné plochy, kvalita a vznik možných trhlin v oblasti střižné hrany. Z hlediska požadavků kladených na součást to však není za závadu. Z hlediska řezání na pilách je možné použití pásové či kotoučové pily. Nevýhodou je nižší produktivita práce a vznik prořezu, který snižuje využití materiálu. Výhodou je vyšší přesnost velikosti polotovaru, větší kvalita v oblasti plochy dělení, která se odrazí v kvalitě výrobku. Pro návrh technologického postupu jsem po zvážení všech faktorů zvolil dělení na kotoučové pile ExactCut 75 TWIN MAC 75 od firmy ExactCut s.r.o.

Polotovarem je plochá ocel 30x15 – 56 ČSN EN 10058. Jedná se o ocel válcovanou za tepla o délce přířezu 56 mm. Jsou i jiné formy polotovaru, avšak na základě provedených analýz se tento profil blíží optimální variantě tvaru. Nejvhodnější možností by byl profil lichoběžníkového tvaru, jehož profil se bude blížit profilu ideálního předkovku. Avšak tato varianta spočívá v objednání speciálního profilu, jehož realizace bude patrně ovlivněna minimálním množstvím odebraného objemu.

V rámci technologického postupu je polotovar ohříván na kovací teplotu 1200°C. Materiál bude během procesu kování chladnout. Předpokládaná teplota na konci kovacího procesu je cca 850°C. Tato teplota byla volena s ohledem na malou hmotnost výkovku (resp. na jeho rozměry), kdy lze předpokládat rychlé chladnutí. Teplota byla určena podle tabulek přetvárného odporu v závislosti na teplotě zjištěné z normy ČSN 41 1523. Značnou nevýhodou bude vznik okují, který se projeví v kvalitě povrchu (ale jak již bylo výše uvedeno, na kvalitě povrchu nezáleží). Vznik okují ale představuje problém s úbytkem materiálu, o velikost vzniklého množství okují je třeba zvětšit objem polotovaru, neboť klíčovým parametrem součásti je její hmotnost. Další možností je tváření za nižších teplot (v oblasti teplot za poloohřevu), kdy navrhuji ohřev na teplotu 650°C. Tato možnost bude znamenat vyšší tvářecí síly, ale množství vzniklých okují bude minimální.

Z hlediska použitého zařízení pro ohřev materiálu je nejlepší variantou ohřev v indukční peci. Tento způsob ohřevu představuje minimální objem vzniklých okují a také patří k nejrychlejším způsobům ohřevu. V rámci práce jsem vybral indukční pec od firmy ROBOTERM spol. s r.o. středofrekvenčního typu KSO-T s výkonem 100 kW. Případně další možností ohřevu by mohla být varianta plynové pece, kde ve srovnání s indukčním ohřevem bude docházet k vzniku většího množství okují.

Pro kovací operace je možné zvolit stroje jak ze skupin lisů i bucharů. Vlastní volba tvářecího stroje bude ovlivněna především malými rozměry polotovaru, resp. výkovku, kdy bude docházet k rychlému ochlazení a požadavku na krátké výrobní časy. Ze skupiny lisů připadají v úvahu pouze mechanické (klikové). Lisy jsou vhodné spíše pro výkovky rotačního tvaru, ale lze dosáhnout vyšší přesnosti, zápustky se vyznačují větší životností. Vzhledem k potřebě krátkých výrobních časů daných malými rozměry výkovku se jeví jako výhodnější použití bucharů, ze kterých bych navrhl buchar KHZ 2A. Pro extrémně malé výkovky jsou buchary vhodnější než lisy, i když se vyznačují menší přesností a nižší životností zápustky.

Dalším faktorem, který ovlivní výběr varianty je vlastní kovací postup. V případě hranolovitého polotovaru je jednou z možností jeho vložení do finální zápustky, kdy však polotovar nebude splňovat tvar ideálního předkovku, což se projeví při zaplňování dutiny zápustky (vznik výronku), ale lze také předpokládat větší toky materiálu v zápustce a tím její nižší životnost. Další možností je provést operace předkování, v rámci kterého jsou upraveny oba konce do klínového tvaru. Tímto způsobem se docílí přiblížení k ideálnímu předkovku, když se eliminují problémy s intenzivním tokem materiálu v dokovací zápustce. Tyto předkovací operace jsou časově náročné i s ohledem na to, že je třeba předkování realizovat na obou stranách výkovku, mezi těmito operacemi je třeba předkovek otočit. Tyto činnosti jsou na lisech obtížně realizovatelné, případně by tento úkon byl časově daleko náročnější než na bucharech.

Pro ověření chování materiálu byly provedeny simulace, kdy bylo sledováno zaplňování dutiny zápustky v závislosti na tvaru polotovaru. V rámci práce jsem představil nejlepší variantu, kdy je patrný způsob zaplnění dutiny, množství vyteklého materiálu mimo dutinu zápustky je v této variantě minimální. S ohledem na citlivá firemní data je prezentace výsledků simulace značně omezena, ostatní výsledky jsou k dispozici u vedoucího práce.

Posledním výrobním krokem navrhuji dokončovací operaci. Může se jednat o ostříhnutí možné části materiálu, která potencionálně může vyplnit prostor mezi uzavřenými zápustkami (problém bude větší při opotřebené dutině zápustky), nebo tryskání. Pomocí tryskání je možné

také odstranit část přebytečného materiálu, navíc budou odstraněny zbytky ukují po ohřevu a následném tváření. O možnosti zařazení některé z těchto operací je možné rozhodnout až na základě experimentálního ověření výroby.

V poslední části práce jsem provedl technicko-ekonomické zhodnocení. Jedná se především o zhodnocení požadavku na počet pracovníků pro realizaci technologického postupu, odhad výrobních nákladů a ceny. Pro tento účel jsem vytvořil podklady k provedení odhadu výrobních nákladů, pomocí kterých je možné porovnávat jednotlivé navržené technologie, případně měnit vstupní parametry vybrané technologie.

Kapacitními propočty jsem řešil mimo jiné i celkový čas potřebný na výrobu celkového počtu dílů. Propočty jsem provedl pro technologii zápusťkového kování a třískového obrábění. Celkový výrobní čas pro výrobou dílu zápusťkovým kováním byl vypočten na 10077 hodin a pro třískové obrábění na 84290 hodin. Avšak čas pro pořízení technologie není stejný pro obě metody. Pořízení technologie třískového obrábění se dá předpokládat v rámci týdnů, naproti tomu u zápusťkového kování je nutné počítat s delší dobou přípravy v rámci měsíců (výroba strojů, zápusťek apod.). Čas potřebný na rozběh výroby první směny je u zápusťkového kování ovlivněn nutným časem náběhu zařízení, přípravou nástrojů apod. (až 3 hodiny), proto u této metody jednosměnný provoz není vhodný.

Ekonomickým zhodnocením byly odhadnuty výše nákladů pro jednotlivé technologie navržené pro výrobu antivibračního závaží. Náklady na výrobu antivibračního závaží vyrobeného zápusťkovým kováním činí 36,66 Kč/ks. Pro srovnání cen výroby jsem provedl odhad nákladů výroby závaží třískovým obráběním, které činí cca 167 Kč/kus. I když je v této chvíli uvažován pouze 1 výrobek do výrobního portfolia, není zajištěno zaplnění kapacity výrobního zařízení, což znamená dlouhou dobu návratnosti investice, tak se dle provedených analýz jeví, že technologie zápusťkového kování bude nejvhodnější variantou.

7 Literatura

- [1] PROCHÁZKA, J., ZAHRADNÍK, M., NĚMEC, M., NOVOTNÝ, J. *Technologie slévání, tváření a svařování*. 1. st ed. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1982.
- [2] BEDNÁŘ, Bohumír. *Technologičnost konstrukce I*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03268-X.
- [3] NOVOTNÝ, J. a kol.: *Technologie 1*. Skriptum CVUT, Praha, 2001
- [4] DVOŘÁK, M., MAREČKOVÁ, M., *Technologie Tváření*. [online]. Vysoké Učení Technické V Brně. Brno, září 2006. [cit. 11-12-2020]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm
- [5] GREGER, M.: *Studijní opora: Kování*. [online]. Vysoká Škola Báňská – Technická univerzita, Ostrava, 2008. [cit. 11-12-2020]. Dostupné z <http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/633-Greger-Kovani.pdf>
- [6] *Technologie objemového tváření – Kování* [online]. Liberec [cit. 11-12-2020]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm
- [7] BENEŠOVÁ, Soňa; BERNÁŠEK, Vladimír. *Technologie tváření*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2014. 91 s. ISBN 978-80-261-0449-0.
- [8] STANĚK, Jiří. *Základy stavby výrobních strojů: tvářecí stroje*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004, 126 s. ISBN 80-7082-738-6.
- [9] ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-7183-284-7. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:2f861490-7923-11e4-8ce5-005056827e52>
- [10] VAZQUEZ, Victor a Taylan ALTAN. Die design for flashless forging of complex parts. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2000, **98**(1), Pages 81-89 [cit. 2021-01-11]. ISSN ISSN 0924-0136. Dostupné z: doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00308-8](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00308-8).
- [11] ZEMČÍK, Oskar. *TECHNOLOGICKÉ PROCESY: část obrábění*. In: *Ústav strojírenské technologie* [online]. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2002 [cit. 2020-12-21]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnProcesy.pdf>

- [12] Advantages and Limitations of CNC Machining [online]. Chambersburg, PA: American Micro Industries, 2020 [cit. 2020-12-21]. Dostupné z: <https://www.americanmicroinc.com/advantages-limitations-cnc-machining.html>
- [13] MACHÁČKOVÁ, Adéla a Lenka MRŇKOVÁ. PRŮMYSLOVÉ PECE. VŠB – Fakulta materiálově technologická [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: https://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-2-metalurgie/prumyslove-pece/Machackova_Prumyslove-pece.pdf
- [14] ČADA, Radek. TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ A SLÉVÁNÍ – TEORETICKÝ ZÁKLAD: Slévání [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2020-12-21]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/9.%20SL%C3%89V%C3%81N%C3%8D.pdf
- [15] KHZ ŠMERAL 2A / 4A / 8A / 16A: PNEUMATICKO-HYDRAULICKÉ ZÁPUSTKOVÉ BUCHARY. Smeral.cz [online]. Brno [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/file/DownloadFile/3/KHZ-cz,en.pdf>
- [16] Doplnkový výrobní program: Zápusťkové a volné kování. In: *Medin.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-12-23]. Dostupné z: <https://www.medin.cz/doplnkovy-vyrobn-program>
- [17] GUO, L, H YANG, G. BATALHA, CH TYNE a B YILBAS, HASHIMI, S, ed. *Comprehensive Materials Processing: Deformation Rules and Mechanism of Large-Scale Profiles Extrusion of Difficult-to-Deform Materials* [online]. 2014, , Pages 291-319 [cit. 2020-12-24]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00524-0>.
- [18] Aplikace indukčního ohřevu. In: VEZAS.cz [online]. 2020 [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://vezas.cz/>
- [19] C. Chelladurai, N.S. Mohan, D. Hariharashayee, S. Manikandan, P. Sivaperumal, Analyzing the casting defects in small scale casting industry. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2020 [cit. 2020-12-25]. ISSN ISSN 2214-7853. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.382>.
- [20] SEMIATIN, S. L. ASM International. 10th edition. Novelty, USA: ASM International, 2005. ISBN 978-0-87170-708-6.

- [21] Vishal A. Pandya, PM. George, Effect of preform design on forging load and effective stress during closed die hot forging process of pin. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2020 [cit. 2020-12-25]. ISSN ISSN 2214-7853. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.028>.
- [22] ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání – v příkladech: skriptum*. Ostrava: VŠB-TUO, 2013. ISBN 978-80-248-3016-2. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_005/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20v%20p%C5%99%C3%ADkladech/02%20Text%20pro%20e-learning/2.%20OBJEMOV%C3%89%20TV%C3%81%C5%98EN%C3%8D%20MATERI%C3%81LU%20ZASTUDENA.pdf
- [23] Nová linka s lisem 4000 t. In: Kovoprojekta.cz [online]. Brno, 2009 [cit. 2020-12-23]. Dostupné z: <https://www.kovoprojekta.cz/projekty/detail/nova-linka-s-lisem-4000-t>
- [24] ČSN 41 1523: Ocel 11 523. Praha: ÚNM, 1994.
- [25] ČSN 22 8308, Zápustky pro buchary – Směrnice pro konstrukci. ÚNM Praha, 1971.
- [26] ČSN 42 9030. Výkovky ocelové zápustkové. Přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů. Praha: NMÚ, 1987.
- [27] DVOŘÁK, M., MAREČKOVÁ, M., Technologie Tváření: ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ – příklady [online]. Vysoké Učení Technické V Brně. Brno, září 2006. [cit. 22-12-2020]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/priklady_kovani.htm
- [28] ČERMÁK, Jan. Návrh technologického postupu kování. Ústav strojírenské technologie (12133) [online]. Praha: ČVUT – Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie 12123 – odbor tváření slévání a svařování, 2003 [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/subject/files/61/kov-postup.pdf>
- [29] FOREJT, Milan, Miroslav PÍŠKA a Vysoké učení technické v Brně. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. s. 222. ISBN 80-214-2374-9. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:cf1aeb90-40ac-11e7-b3c8-005056825209>
- [30] ČERMÁK, Jan. Kapacitní propočty. Ústav strojírenské technologie (12133) [online]. Praha: ČVUT – Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie 12123 – odbor

- tváření slévání a svařování, 2003 [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/subject/files/61/kov-kapacitni-vypocty.pdf>
- [31] ČADA, Radek, MACHÁLEK, Jakub, FRODLOVÁ, Barbora. Týmová cvičení předmětu technologie tváření a slévání[online]. Ostrava, 2012, 136 [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2718-6.pdf>
- [32] HLAVENKA, Bohumil. Projektování výrobních systémů: technologické projekty I. Brno: VUT, 1990. ISBN 80-214-0144-3. Available also from: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:4d8530b0-52a6-11e3-ac69-005056827e51>
- [33] RUMÍŠEK, Pavel. Technologické projekty. Brno: VUT, 1991. ISBN 80-214-0385-3. Available also from: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:ea82faa1-5a1d-11e2-bcaf-005056827e52>
- [34] Kompaktní středofrekvenční ohřívače přířezů typové řady KSO-T. Roboterm.cz [online]. Chotěboř, 2012 [cit. 2020-12-24]. Dostupné z: <https://www.roboterm.cz/produkty/indukcni-ohrivace/ohrivace-prirezu/kompaktni-ohrivace-kso-t>
- [35] PNEUMATICKO-HYDRAULICKÉ BUCHARY: KHZ 2A. Smeral.cz [online]. Brno, 2021 [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/53/khz-2a>
- [36] Bubnový tryskací stroj SmartLine. *Wheelabratorgroup.com* [online]. Příbram, 2021 [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: <https://www.wheelabratorgroup.com/cs-cz/equipment/wheelblast-machines/batch-type-tumblast-machines/smartline-tumblast-machine>
- [37] Kotoučová pila ExactCut 75 TWIN. *Exactcut.cz* [online]. Brno: ExactCut, 2021 [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: <http://mserie.exactcut.cz/pila-exactcut-75-twin/>
- [38] JUROVÁ, Marie. *Řízení výroby I*. Vyd. 2., přeprac. a dopl. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN isbn80-214-3066-4.
- [39] ZELENKA, Antonín a Mirko KRÁL. *Projektování výrobních systémů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN isbn80-01-01302-2.
- [40] ČSN 42 9002: *Rozdělení zápusťkových výkovek podle složitosti tvaru*. Praha: ÚMN, 1971.

8 Seznam obrázků

Obrázek 1, Schéma návaznosti činností technologické přípravy výroby [11]	15
Obrázek 2, Kovací teploty pro kování za tepla [6].....	26
Obrázek 3, Ztráty způsobené opalem u různých typů ohřevu [5]	28
Obrázek 4, Druhy zápusťek a) uzavřená (buchar b) otevřená(lis) [6]	29
Obrázek 5, Postupová zápusťka pro buchar (1 – prodlužovací, 2 – rozdělovací, 3 – předkovací, 4 – kovací, 5 – dokončovací dutina, a – polotovary) [6].....	30
Obrázek 6, Příklady vložkování zápusťek [5]	31
Obrázek 7, Postup zápusťkového kování [6].....	31
Obrázek 8, Zápusťkové kování na bucharu [16].....	32
Obrázek 9, Rozdělení bucharů dle konstrukce [8]	33
Obrázek 10, Rychlosti pohybů tvářecích strojů [7].....	34
Obrázek 11, Schéma parovzdušného bucharu [20].....	34
Obrázek 12, Dělení kovací lisů dle typu generace energie [8].....	35
Obrázek 13, Kovací linka s klikovým lisem LZK 400 [23].....	36
Obrázek 14, Schéma klikového lisu [20]	36
Obrázek 15, Indukční ohřev konce tyče [18].....	37
Obrázek 16, Schéma indukční pece [5].....	37
Obrázek 17, Schéma přímého odporového ohřevu [5]	38
Obrázek 18, Detail výkresu antivibračního závaží.....	40
Obrázek 19, Výkres výkovku.....	44
Obrázek 20, Umístění charakteristických řezů	47
Obrázek 21, Ideální předkovek	49
Obrázek 22, Redukovaný průřezový obrazec.....	49
Obrázek 23, Technické parametry indukční pece řady KSO-T od firmy Roboterm [34].....	53
Obrázek 24, Indukční pec KSO-T 100/30 dodaný do TRW-DAS Dačice [34].....	53
Obrázek 25, Technická data kotoučové pily ExactCut 75 TWIN [37]	54
Obrázek 26, Dělicí linka 75 TWIN se segmentovým nakládacím systémem a příčným nebo pásovým dopravníkem na vstupní straně [37].....	55
Obrázek 27, Technická data bucharu KHZ 2A [35]	55
Obrázek 28, Buchar KHZ 2A [35]	56
Obrázek 29, Bubnový tryskový stroj SmartLine T170R [36]	56
Obrázek 30, Simulace vyplnění zápusťky 0%.....	59

Obrázek 31, Simulace vyplnění zápustky (25% kroku).....	60
Obrázek 32, Simulace vyplnění zápustky (45% kroku).....	60
Obrázek 33, Simulace vyplnění zápustky 80%.....	61
Obrázek 34, Simulace vyplnění zápustky 100% kroku.....	61
Obrázek 35, Velikost přetvárného odporu ve výkovku.....	62

9 Seznam tabulek

Tabulka 1, Chemické složení oceli ČSN 11 523 dle ČSN 41 1523 [24]	39
Tabulka 2, Mechanické vlastnosti oceli ČSN 11 523 dle ČSN 41 1523 [24]	39
Tabulka 3, Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení [40].....	41
Tabulka 4, minimální tloušťka stěny a blány dle ČSN 42 9030 [26].....	42
Tabulka 5, Minimální rozměry zaoblení dle ČSN 42 9030 [26].....	42
Tabulka 6, Doporučené hodnoty zkosení dle ČSN 42 9030 [26].....	42
Tabulka 7, Mezní úchytky zaoblení přechodů a hran dle ČSN 42 9030 [26]	43
Tabulka 8, Vlastnosti výkovku.....	45
Tabulka 9, Hodnoty v řezech	48
Tabulka 10, Hodnoty přetvárného odporu pro ocel ČSN 11 523 dle normy ČSN 41 1523 [24]	51
Tabulka 12, Technická data pro bubnový tryskací stroj SmartLine T170R [36].....	57
Tabulka 13, Technologický postup	58
Tabulka 14, Parametry simulace	59
Tabulka 15, Časové fondy v závislosti na počtu směn.....	64
Tabulka 16, Teoretický kapacitní propočet bucharu podle firmy Bêché [30]	64
Tabulka 17, Kapacitní propočty v závislosti na počet směn	66
Tabulka 18, Časy operací a počet dělníků výkovku.....	68
Tabulka 19, Celkové náklady výkovku.....	71
Tabulka 20, Časy operací a počet dělníků obrobku	73
Tabulka 21, Celkové náklady obrobku	75

10 Seznam příloh

Příloha 1 – Výkres Antivibračního závaží

Příloha 2 – Výkres výkovku

Příloha 3 – Návrh technologického postupu

Příloha 4 – Simulace kování antivibračního závaží