



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

LINKA NA VÝROBU DÍLU DO MOTORU AUTOMOBILU OBJEMOVÝM TVÁŘENÍM ZA TEPLA

LINE FOR MANUFACTURING PARTS FOR CAR ENGINE VOLUME THERMOFORMING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Smola

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Omes, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Jiří Smola
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Omes, Ph.D.
Akademický rok:	2016/17

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

Linka na výrobu dílu do motoru automobilu objemovým tvářením za tepla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Linky s tvářecími stroji jsou soubor na sebe navazujících zařízení. Linky zvyšují produktivitu a efektivně využívají maximální výkon tvářecích strojů. Jejich správné řazení a vhodné zvolení mezioperační manipulace v plné výši zvýší ekonomickou rentabilitu malosériové a hromadné výroby s ohledem na vedlejší přípravné časy produkce.

Základní technické parametry:

Typ produktu: Ventil

Hmotnost výsledného výrobku: do 0,5 kg

Specifikace materiálu: materiály třídy 17 dle následné specifikace

Roční produkce: 2 500 000 – 10 000 000 ks

Počet typů výrobků: 4 ks typů

Cíle diplomové práce:

1. Rozdělení technologie produktu.
2. Výběr vhodných zařízení do linky.
3. Projekční uspořádání linky.

Seznam doporučené literatury:

ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. Konstrukce tvářecích strojů. Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. ISBN 978-80-261-0513-8.

KAMELANDR, Ivan. Tvářecí stroje I. Brno: VUT FS v Brně, 1989, ISBN 80-214-1037-X.

KAMELANDR, Ivan. Tvářecí stroje II. Brno: VUT FS v Brně, 1989, ISBN 80-214-1038-8.

NOVOTNÝ, Karel. Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje. Brno: VUT FSI v Brně, 2002.

STANĚK, Jiří. Základy stavby výrobních strojů: tvářecí stroje. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-738-6.

RUDOLF, Bedřich. Výrobní stroje a zařízení II. Praha: ČVUT Praha, 1990.

DRASTÍK, František. Výpočty z oboru kování a lisování. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1972

ČSN 210001: 1996 Tvářecí stroje – Všeobecné technické požadavky.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je navrhnout linku na výrobu ventilů spalovacích motorů objemovým tvářením za tepla při roční produkci 2 500 000 - 10 000 000 kusů. V úvodu práce jsou popsány možné technologie výroby. Dále práce obsahuje návrh výrobních linek a popis jednotlivých zařízení pro jednotlivé technologie. Jdou provedeny základní výpočty nezbytné pro návrh jednotlivých zařízení.

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to design valve production line for combustion engines by volume forming with heat. The production of line will be 2 500 000-10 000 000 pieces per year. In the introduction of this thesis are described production technologies. Next part is about design of production lines and description of each machine for each technology. Then are made the basic calculations for design for each machine.

KLÍČOVÁ SLOVA

ventil, objemové tvářením, výrobní linka, protlačování, pýchování

KEYWORDS

valve, volume forming, production line, extrusion, upsetting,

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SMOLA, J. Linka na výrobu dílu do motoru automobilu objemovým tvářením za tepla, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 87 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Omes, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval pánům Ing. Jiřímu Omesovi, Ph.D. a Jaroslavu Humlíčkovi za konzultace a cenné odborné rady. Také chci poděkovat svým nejbližším za soustavnou podporu během psaní této práce a celého studia obecně.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Omese, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. 5. 2017

.....
Smola Jiří

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE.....	17
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	19
4	ROZBOR VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI.....	21
4.1.	FUNKCE A TYPY VENTILŮ	21
4.2.	ČÁSTI VENTILU	23
4.3.	MATERIÁL VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI	24
5	VÝROBA VENTILŮ	27
5.1.	PĚCHOVÁNÍ.....	28
5.2.	PROTLAČOVÁNÍ	30
5.2.1.	DOPŘEDNÉ PROTLAČOVÁNÍ.....	30
5.2.2.	ZPĚTNÉ PROTLAČOVÁNÍ	31
5.2.3.	SDRUŽENÉ PROTLAČOVÁNÍ.....	32
5.2.4.	STRANOVÉ PROTLAČOVÁNÍ.....	33
5.2.5.	HYDROSTATICKÉ PROTLAČOVÁNÍ.....	33
6	NÁVRH USPOŘÁDÁNÍ PRO JEDNOTLIVÉ TECHNOLOGIE.....	35
6.1.	METODA PĚCHOVÁNÍ.....	35
6.1.1.	VÝPOČET POLOTOVARU	35
6.1.2.	VSTUPNÍ ZAŘÍZENÍ.....	42
6.1.3.	OHŘEV MATERIÁLU	42
6.1.4.	DOLISOVÁNÍ PŘEDKOVKU	46
6.1.5.	VÝSTUPNÍ ZAŘÍZENÍ	51
6.1.6.	MEZIOPERAČNÍ MANIPULACE.....	51
6.1.7.	PROJEKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ	54
6.2.	METODA PROTLAČOVÁNÍ	55
6.2.1.	VOLBA POLOTOVARU	55
6.2.2.	VSTUPNÍ ZAŘÍZENÍ.....	57
6.2.3.	OHŘEV MATERIÁLU.....	60
6.2.4.	VOLBA TVÁŘECÍHO STROJE.....	64
6.2.5.	VÝSTUPNÍ ZAŘÍZENÍ	68
5.2.6.	MEZIOPERAČNÍ MANIPULACE.....	68
6.2.7.	PROJEKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ.....	69
7	PŘEDEHŘEV A MAZÁNÍ ZÁPUSTEK.....	71

8	KONTROLA PRODUKCE	73
9	ZÁVĚR.....	76
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	79
11	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	83
12	SEZNAM PŘÍLOH.....	87

1 ÚVOD

Z důvodu využití maximálního výkonu lisu, jsou s ohledem na technologii výroby navrhovány a realizovány tvářecí výrobní linky. Jedná se o soubor na sebe navazujících strojů, které jsou řazeny sériově, nebo paralelně.

Podle zvolené výrobní technologie linky rozdělujeme na:

- linky pro objemové tváření
- pro zápustkové kování
- uzavírací linky
- rovnací linky

Linky pro plošné tváření

- dělicí linky
- nástřihové linky
- linky s postupovými lisami
- karosářské
- tažné

Tváření za tepla je technologie při které požadovaného tvaru součásti dosahujeme výraznou změnou průřezu výchozího polotovaru. Tohoto přetvoření dosáhneme působením vnějších sil při ohřevu nad teplotu rekrystalizace tvářeného materiálu.



Obr. 1 Výrobní linka firmy Žďas [1]

2 MOTIVACE

Cílem této diplomové práce je návrh výrobní linky na výrobu sacích ventilů spalovacích motorů, přičemž budou vyráběny ve čtyřech rozměrových variantách. Jelikož se jedná o sací ventil, který je méně tepelně namáhán, tak je konstruován jako monometalický, tzn., že je vyroben pouze z jednoho druhu materiálu a tím je martenzitická ocel.

Nejprve budou rozebrány výrobní technologie tváření a postupy, kterými jsme schopni dosáhnout požadovaného výsledku. Následně vybereme do linky technologická zařízení a poté provedeme projekční uspořádání celé linky. Výrobní linka se bude sestávat ze vstupního zásobníku polotovaru, zařízení pro jeho ohřev, samotného tvářecího stroje a průmyslových manipulátorů, které budou sloužit k manipulaci s obrobkem. Celý proces počínaje odebráním polotovaru ze zásobníku přes manipulaci s materiálem, ohřev na teplotu tváření až po odebrání hotového předkovku z lisu do palety bude plně automatizovaný.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

V dnešní době za současného stavu vědy a techniky jsme schopni na základě naměřených veličin a sofistikovaných systémů schopni simulovat jednotlivé výrobní procesy. Se simulací výrobních systémů se dnes setkáváme prakticky ve všech typech strojírenské výroby. Záleží na vypělosti systému a kvalitě vstupujících dat, jak přesně a podrobně jsme schopni dané procesy simulovat a následně řídit. Sofistikované systémy dokážou pružně reagovat na výkyvy ve výrobě způsobené například poruchami, nebo nedostatkem materiálu.

Tváření patří k nejpoužívanější výrobě součástí strojírenské technologie. Je velmi produktivní a hospodárná. Při tváření za tepla je důležité vhodně zvolit počet operací které jsou nutné pro výrobu dané součásti. Čím menší počet operací, tím je kratší výrobní čas, ale pokud bychom se snažili vyrobit výkovek pouze na jednu operaci, tak hrozí nedostatečné zatečení kovu do zápustky, její nesprávné vyplnění a výroba zmetků.

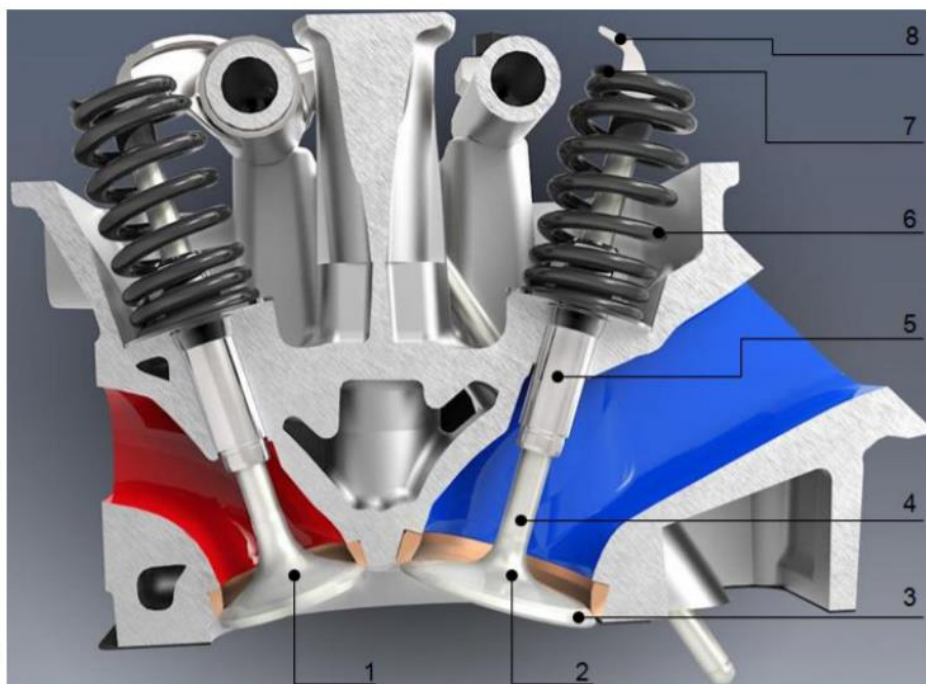
Při konstrukci výrobních linek pro velké dávky je vhodné volit průběžné indukční ohříváče, protože se vyznačují vysokou účinností, hospodárností provozu a velmi vysokou produktivitou. Stejně tak je tomu i při ohřevu na principu elektrického odporu kdy je možné sloučit ohřev materiálu s operací petchování na odporovém petchovacím stroji.

K manipulaci s obrobkem během jednotlivých operací se v jednoúčelových výrobních linkách využívá buď speciálních jednoúčelových manipulátorů, které jsou navrženy přímo pro konkrétní aplikaci, nebo univerzálních šestiosých průmyslových robotů, které se naprogramují na základě konkrétní aplikace.

4 ROZBOR VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

4.1. FUNKCE A TYPY VENTILŮ

Pro pohon automobilů jsou dnes v drtivé většině používány pístové spalovací motory. Jejich podstata spočívá v přeměně tepelné energie na mechanickou. Ve válci motoru je spalována směs paliva a vzduchu, při tomto ději vzniká tepelná energie, která pohání píst. Úkolem ventilu je zajistit včasné otevření a uzavření spalovacího prostoru a klást minimální odpor při nasávání směsi ze sacího kanálu a při odvodu spalin do výfukového kanálu.



Legenda: 1) výfukový ventil, 2) sací ventil, 3) hlava ventilu, 4) dřík ventilu, 5) vodítko ventilu, 6) ventilová pružina, 7) ventilová miska, 8) vahadlo.

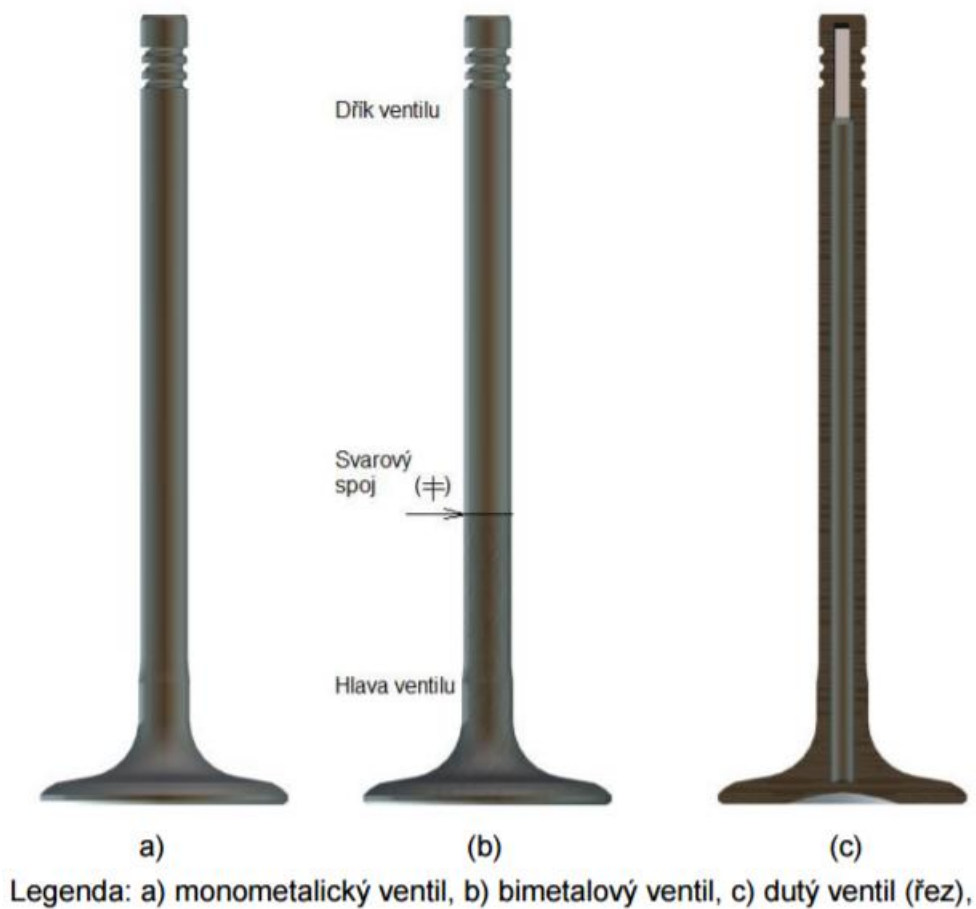
Obr.2 Schéma ventilového rozvodu [10]

Dle konstrukčního řešení lze ventily dělit na:

- Monometalické
- Bimetalické
- Trimetalické
- Duté

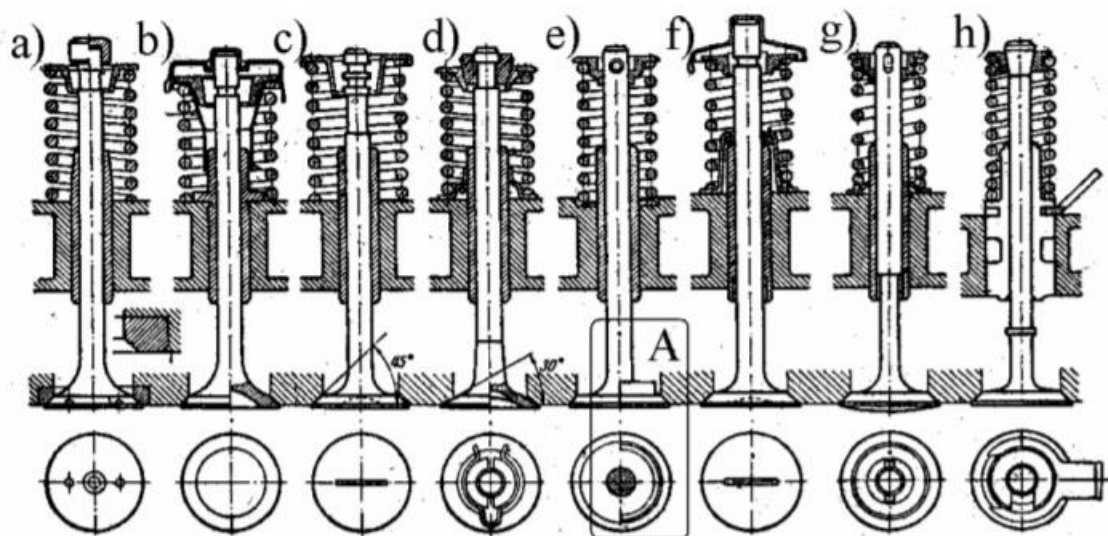
Monometalické ventily jsou vyrobeny z jednoho materiálu. Tento typ ventilu je většinou využíván jako sací s pracovními teplotami do 600°C. Kontaktní plochy s vahadlem a sedlem jsou povrchově kalené.

Bimetalické ventily mají rozdílný materiál hlavy a dříku. Trimetalické ventily řeší odolnost vůči provozním poměrům stopkou a dříkem z kalitelné chromové oceli. Navařená hlava z austenitické oceli je opatřena návarem. U pístových leteckých motorů se využívají ventily duté, které jsou vyplněny sodíkem. Sodík je naplněn v dutině talíře a dříku a při teplotě 97 °C taje. Roztavený sodík, proudící při zdvích ventilu v dutině, odvádí teplo z talíře do ventilového vedení. Na obr. 3 jsou zobrazeny jednotlivé druhy ventilů.



Obr. 3 Druhy ventilů [11]

Podle funkce dělíme ventily na sací a výfukové. Sací ventily mají větší průměr talířku oproti výfukovým ventilům. Výfukové ventily mají vyšší hmotnosti díky robusnosti talířků. Jmenovité průměry dřívků bývají většinou stejné. Tvary talířů výfukových a sacích ventilů jsou zpravidla stejné a odlišují se pouze tvarem v místě přechodu do dřívku (Obr. 3).

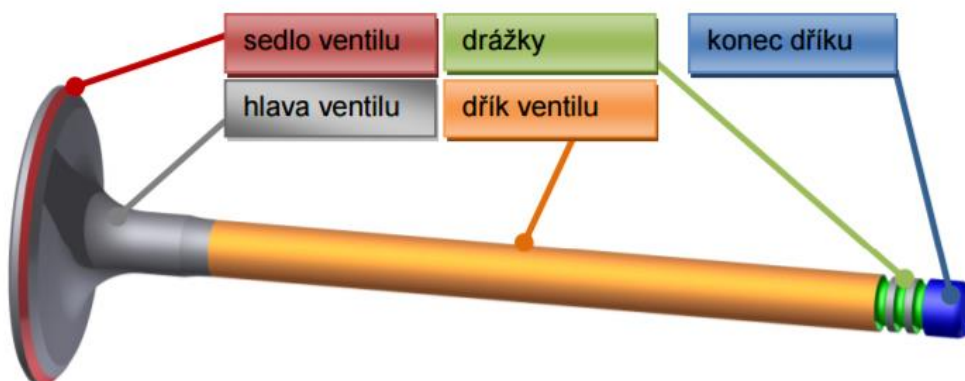


Obr. 4 Tvary ventilů [11]

4.2. ČÁSTI VENTILU

Ventil se skládá z těchto částí:

- hlava ventilu
- sedlo ventilu
- dřív ventilu
- drážka
- konec dřívku



Obr. 5 Části ventilu

4.3. MATERIÁL VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

Sací ventil spalovacího motoru pro jehož výrobu je linka navrhována je vyroben z martenzitické oceli 1.4718 (X45CrSi9-3). Martenzitické korozivzdorné oceli obsahují od 11,5 do 18% Cr a od 0,15 do 12 % C včetně dalších legujících prvků. Jejich velkou předností je možnost tepelného zpracování na různé teplotní úrovni. Martenzitické oceli jsou při popouštění náchylné ke vzniku popouštěcí křehkosti. Mají nižší odolnost proti korozi než standardní austenitické korozivzdorné oceli. Martenzitické korozivzdorné oceli mají široké spektrum použití, využívají se například na výrobu součástí turbín, trubky, armatury, ventily spalovacích motorů, svorníky a další.

Z metalurgického hlediska jsou martenzitické oceli vždy polymorfní a musí mít před kalením austenitickou strukturu. Z tohoto důvodu je jejich chemické složení navrženo tak, aby obsahy chromu a uhlíku splňovaly podmínku:

$$[%Cr - 17 \cdot (%C)] < 12,5\%$$

Tab. 1 Chemické složení tvářeného materiálu [5]

[%]						
C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr
0,4 – 0,5	2,7 – 3,3	Max. 0,6	Max. 0,5	Max. 0,04	Max. 0,03	8 - 10

5 VÝROBA VENTILŮ

Podle technologie výroby je nutné rozlišovat zda se jedná o sací, nebo výfukový ventil. Některé operace jako je například broušení nebo chromování dříku jsou pro oba typy ventilů stejné, ale je mnoho operací které jsou pro oba typy odlišné.

Sací ventily bývají většinou monometalické. Nejčastěji je materiálem použitým na jejich výrobu martenzitická ocel. Sací ventily jsou méně teplotně namáhané, protože jsou ochlazovány směsí nasávanou do spalovacího prostoru.

Tab. 2 Postup výroby sacího ventilu

Postup výroby protlačovaného sacího ventilu			
1	Vstupní kontrola materiálu	12	Brousit čelo dříku
2	Stříhat kulatinu	13	Brousit hlavu a drážky
3	Omílat	14	Soustružit čelo
4	Protlačovat	15	Brousit dřík
5	Vyprat a opláchnout	16	Vyprat a opláchnout
6	Popustit	17	Chromovat
7	Pískovat	18	Brousit dřík
8	Rovnat ventil	19	Brousit sedlo
9	Upíchnout a brousit	20	Vyprat a opláchnout
10	Kalit dřík	21	Kontrolovat rozměr
11	Brousit dřík	22	Vizualně zkontrolovat

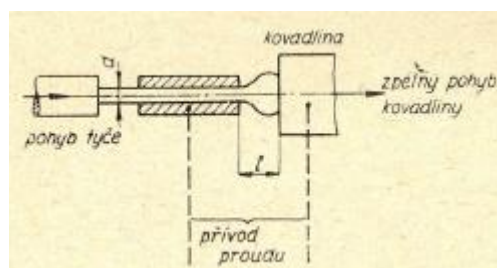
Výfukové ventily bývají většinou bimetalické. Dřík ventilu je vyroben z martenzitické oceli a pro hlavu ventilu je použita austenitická ocel. Pokud je výfukový ventil monometalický, tak je k jeho výrobě použita austenitická ocel.

Tab. 3 Postup výroby výfukového ventilu

Postup výroby kovaného výfukového ventilu			
1	Stříhat tyčku dříku	15	Vyprat a opláchnout
2	Stříhat tyčku hlavy	16	Návar sedla
3	Svařit třením	17	Brousit hlavu a radius
4	Srazit hrany	18	Soustružit čelo
5	Brousit tyčku	19	Kontrolovat ultrazvukem
6	Vyprat	20	Brousit drážky
7	Kovat	21	Brousit dřík
8	Vyprat	22	Vyprat a opláchnout
9	Rovnat ventil	23	Chromovat
10	Řezat délku	24	Brousit dřík
11	Brousit dřík	25	Brousit sedlo
12	Kalit dřík	26	Vyprat a opláchnout
13	Soustružit pro návar	27	Kontrolovat rozměr
14	Brousit čela	28	Vizualně zkontrolovat

5.1. PĚCHOVÁNÍ

Pro pēchování nákrůžků, nebo přírub velkého průměru na tenkých tyčích kdy je požadováno pēchování velké délky tyče a zároveň průměr nákrůžku je několikanásobně větší než průměr vstupního polotovaru se využívá elektrických odporových pēchovacích strojů. Elektrický odporový pēchovací stroj pracuje podle principu zobrazeného na Obr. 6.



Obr. 6 Princip práce pēchovacího stroje [2]

Tyč o průměru d je upnutá v čelistech, opřena o kovadlinu a k ní je přitlačována opěrným smýkadlem. Kovadlina a čelisti jsou připojeny k transformátoru. Proud procházející tyčí ji ohřeje na potřebnou teplotu tváření a smýkadlo které přitlačuje tyč na kovadlo způsobí napěchování. Pohyb smýkadla je ve směru šipky tak, jak je uvedeno na obrázku. Aby měl tvářený materiál prostor pro napěchování hlavy musí se kovadlina pohybovat mírně proti směru šipky. Na pěchovacím stroji se většinou vyrábí pouze hrubé předkovky, které se následně dolisují na jiném stroji (např. vřetenovém lise).

Mírou velikosti přetvoření při pěchování je logaritmické přetvoření φ .

$$\varphi = \ln \frac{S}{S_0} \quad (5.1.)$$

Kde:

S Průřez polotovaru [mm²]

S_0 Průřez součásti po pěchování [mm²]

Tvářecí práce je pak dána vztahem:

$$A = \sigma_{d\text{ STŘ}} \cdot V \cdot \varphi \quad (5.2.)$$

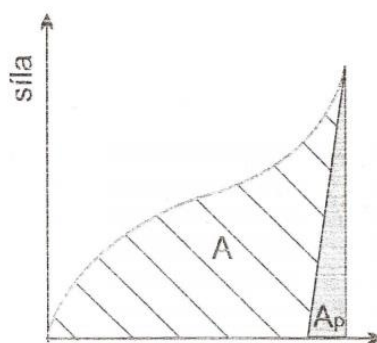
Kde:

V Objem součásti [mm³]

φ Míra přetvoření [-]

$\sigma_{d\text{ STŘ}}$ Střední napětí [MPa]

A Práce [J]



Obr. 7 Práce při pěchování



Obr. 8 Napěchovaná hlava ventilu

5.2. PROTLAČOVÁNÍ

Protlačování je technologie, kterou lze provádět jak za tepla, tak za studena. Tvářený polotovár se přemísťuje a vzniká v něm trojosá napjatost. Pohyb polotovaru je dán pohybem nástroje – průtlačníku. Při protlačování vzniká minimální odpad a podstatně se zlepšují mechanické vlastnosti tvářené součásti. Dojde k nárůstu meze kluzu, meze pevnosti a získáme nepřerušovaný průběh vláken, tím se zvýší i mez únavy.

Dle způsobu pohybu materiálu lze protlačování dělit:

- Dopředné protlačování
- Zpětné protlačování
- Sdružené (obousměrné) protlačování
- Stranové protlačování
- Hydrostatické protlačování

5.2.1. DOPŘEDNÉ PROTLAČOVÁNÍ

Dopředné (přímé) protlačování je základní technologie objemového tváření, při které kov vytéká z otvoru na vstupu průtlačnice ve tvaru tyčí s různými průřezy (obr. 8). Během dopředného protlačování se materiál pohybuje stejným směrem jako průtlačník. Výchozím polotovarem pro dopředné protlačování bývá ve většině případů kalota, která vznikne nastříháním plechů, nebo upichováním z tyčí. Technologii dopředného protlačování využíváme nejčastěji pro výrobu čepů, šroubů a pouzder, to znamená součástí s nekonstantním průřezem.

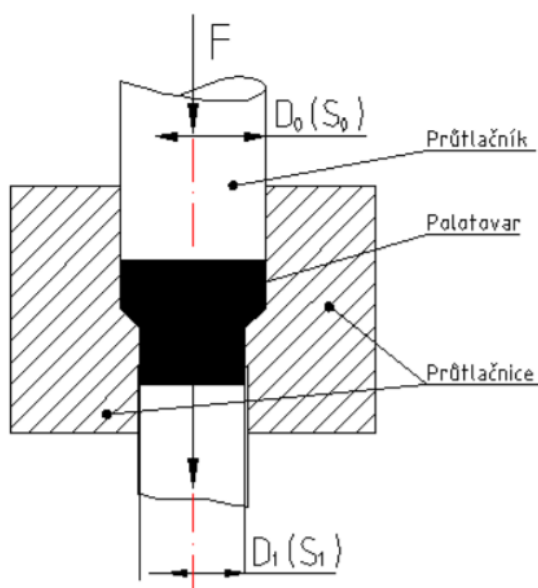
Mírou velikosti přetvoření při dopředném protlačování je logaritmické přetvoření φ .

$$\varphi = \ln \frac{S}{S_0} \quad (5.3.)$$

Kde:

S Průřez polotovaru [mm²]

S_0 Průřez součásti po pěchování [mm²]



Obr. 9 Schéma dopředného protlačování [12]

5.2.2. ZPĚTNÉ PROTLAČOVÁNÍ

Při zpětném protlačování je materiál vložen do uzavřené průtlačnice a tlakem kterým na něj působí průtlačnice se zplastizuje (obr. 9). Proces zpětného protlačování lze rozdělit do tří fází. V první fázi je materiálem vyplněna mezera mezi stěnou průtlačnice a materiálem, ve druhé fázi dojde ke zpevnění materiálu pod průtlačníkem. Ve třetí fázi je materiál pod průtlačníkem v plastickém stavu. Součásti vyrobené zpětným protlačováním jsou kalíškovitého tvaru s plným dnem, nebo otvorem v závislosti na tom, zda byl výchozím polotovarem plný špalík, nebo prstavec. Nevýhodou této technologie je velký deformační otvor, který omezuje funkční délku průtlačníku.

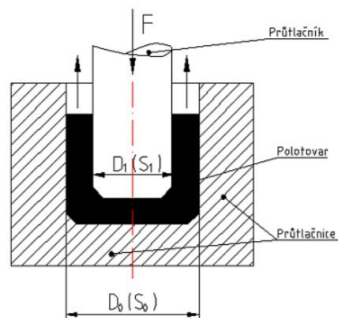
Mírou velikosti přetvoření při zpětném protlačování je logaritmické přetvoření φ .

$$\varphi = \ln \frac{S_0}{S_0 - S_1} \quad (5.4.)$$

Kde:

S Průřez polotovaru

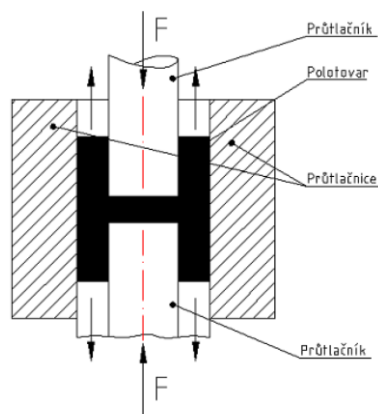
S₀ Průřez součásti po pětování



Obr. 10 Schéma zpětného protlačování [12]

5.2.3. SDRUŽENÉ PROTLAČOVÁNÍ

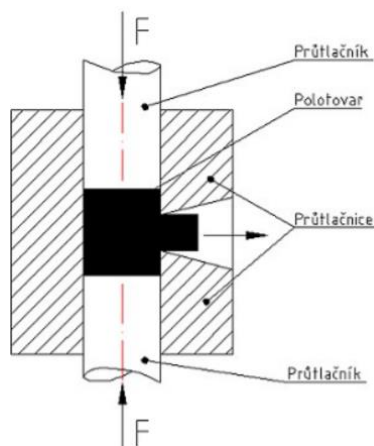
Tento způsob protlačování je kombinací dopředného a zpětného protlačování. Část materiálu se pohybuje před čelem průtlačníku a vyplňuje dutinu průtlačnice – dopředné protlačování. Zbývá část materiálu nateče do mezery mezi průtlačníkem a průtlačnicí a vytvoří tak stěnu nádoby – zpětné protlačování (obr. 10). Touto metodou se nejčastěji vyrábí různě profilované součásti.



Obr. 11 Schéma kombinovaného protlačování [12]

5.2.4. STRANOVÉ PROTlačOVÁNÍ

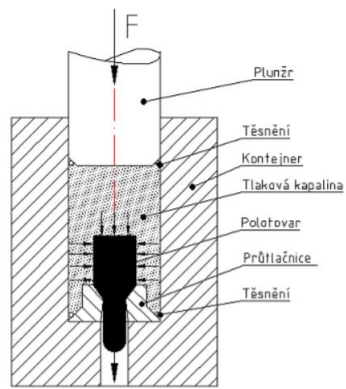
Při tomto způsobu se materiál vkládá do dělené průtlačnice a z obou stran na něj působí dva průtlačníky. Tvářený materiál se pohybuje v ose kolmé na oba průtlačníky (obr. 11). Tímto způsobem protlačování se vyrábí součásti s výstupky po obvodu, žebrované součásti, tvarově složité příruby a podobně.



Obr. 12 Schéma stranového protlačování [12]

5.2.5. HYDROSTATICKÉ PROTlačOVÁNÍ

Hydrostatické protlačování je specifický druh protlačování, kdy je tvářený materiál obklopen kapalinou o vysokém tlaku, která v polotovaru způsobuje všestrannou napjatost (obr. 12). Tím se zvýší tvárnost a přetvoření v jedné operaci může dosáhnout až 80 %. Hydrostatický tlak je až 3000 MPa.



Obr. 13 Schéma hydrostatického protlačování [12]

6 NÁVRH USPOŘÁDÁNÍ PRO JEDNOTLIVÉ TECHNOLOGIE

6.1. METODA PĚCHOVÁNÍ

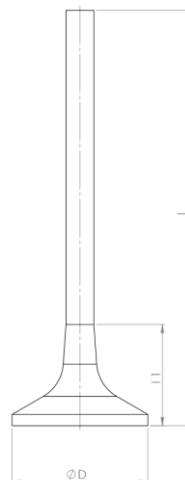
Při použití této technologie na výrobu ventilu spalovacího motoru je vstupním polotovarem broušená ocelová tyč. Při tomto způsobu výroby netváříme celou délku polotovaru, ale pouze tu část, ze které vznikne hlava ventilu. Dřík ventilu je dán průměrem polotovaru.

6.1.1. VÝPOČET POLOTOVARU

Jak je uvedeno v zadání, budeme vyrábět ventily ve čtyřech různých rozměrových provedeních. Lišit se však bude jen průměr hlavy **D** a délka ventilu **l**. Průměr dříku bude ve všech provedeních shodný. V objemovém tváření využíváme při výpočtu velikosti polotovaru znalost zákona zachování hmoty. To znamená, že objem který má mít výsledná součást musí mít i polotovar ze kterého součást vyrábíme.

Při reálných tvářecích procesech vzniká při ohřevu polotovaru na jeho povrchu okuj, která musí být před tváření odstraněna. V našem případě bude ale vznik okují tak malý, že jejich tvorbu lze při výpočtu zanedbat a velikost polotovaru o ně nezvětšovat.

$$V_{polotovaru} = V_{výrobku}$$



Obr. 14 Ventil

Tab. 4 Parametry ventilů

Varianta	Průměr hlavy D	Délka hlavy l_1	Celková délka l	Objem hlavy V_H
	mm			mm^3
1	53,6	40	159,6	25 239
2	40,0	23	138,4	11 256,83
3	40,0	20	155,4	10 971,73
4	44	30	162,6	14 615,1

Pro výpočty objemů byl použit program SolidWorks

Varianta 1

Objem ventilu:

$$V = V_H + V_D$$

$$V = 25\,239 + 10\,353 \quad (6.1.)$$

$$V = 35\,592 \text{ mm}^3$$

Kde:

V objem ventilu [mm³]

V_H objem hlavy ventilu [mm³]

V_D objem dřívku ventilu [mm³]

Výpočet délky polotovaru

$$l = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2}$$

$$l = \frac{4 \cdot 35\,592}{3,14 \cdot 11^2} \quad (6.2.)$$

$$l = 374,71 \text{ mm}$$

Kde:

V objem ventilu [mm³]

l délka polotovaru [mm]

d průměr dřívku ventilu [mm]

Výpočet délky potřebné pro napěchování hlavy:

$$l_H = l - l_D$$

$$l_H = 374,71 - 109,6 \quad (6.3.)$$

$$l_H = 265,11 \text{ mm}$$

Kde:

l délka ventilu [mm]

l_H délka hlavy ventilu [mm]

l_D délka dřívku ventilu [mm]

Při pěchování musí platit, že: $\frac{l'}{d'} \leq 2,4$, jinak hrozí nebezpečí vyhnutí materiálu do strany.

Rozměry napěchované hlavy:

$$l' = \frac{4 \cdot V_H}{\pi \cdot d'^2} \quad \frac{l'}{d'} \leq 2,4$$

$$l' = \frac{4 \cdot 25\,239}{3,14 \cdot 24^2} \quad (6.4) \quad \frac{55,8}{2} \leq 2,4 \quad (6.5.)$$

$$l' = 55,8 \text{ mm} \quad 2,325 \leq 2,4 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde:

V_H objem hlavy ventilu [mm³]

l' délka napěchované části [mm] (6.6.)

d' průměr napěchované části [mm]

Hmotnost hlavy ventilu:

$$m = V_H \cdot \rho$$

$$m = 25,239 \cdot 7,7 \quad (6.7.)$$

$$m = 194,3 \text{ g}$$

Kde

V_H objem hlavy ventilu [cm³]

m hmotnost hlavy ventilu [g]

ρ hustota oceli [g · cm⁻³]

Varianta 2

Objem ventilu:

$$V = V_H + V_D$$

$$V = 11\,256,83 + 10\,961,3 \quad (6.8.)$$

$$V = 22\,218,1 \text{ mm}^3$$

Kde:

V	objem ventilu	[mm ³]
V _H	objem hlavy ventilu	[mm ³]
V _D	objem dříku ventilu	[mm ³]

Výpočet délky polotovaru

$$l = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2}$$

$$l = \frac{4 \cdot 22\,218,1}{3,14 \cdot 11^2} \quad (6.9.)$$

$$l = 233,9 \text{ mm}$$

Kde:

V	objem ventilu	[mm ³]
l	délka polotovaru	[mm]
d	průměr dříku ventilu	[mm]

Výpočet délky potřebné pro napěchování hlavy:

$$l_H = l - l_D$$

$$l_H = 233,9 - 115,4 \quad (6.10.)$$

$$l_H = 118,5 \text{ mm}$$

Kde:

l	délka ventilu	[mm]
l _H	délka hlavy ventilu	[mm]
l _D	délka dříku ventilu	[mm]

Rozměry napěchované hlavy:

$$l' = \frac{4 \cdot V_H}{\pi \cdot d'^2} \quad \frac{l'}{d'} \leq 2,4$$

$$l' = \frac{4 \cdot 11\,256,83}{3,14 \cdot 19^2} \quad (6.11.) \quad \frac{39,7}{19} \leq 2,4 \quad (6.12.)$$

$$l' = 39,7 \text{ mm} \quad 2,09 \leq 2,4 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde:

V _H	objem hlavy ventilu	[mm ³]
l'	délka napěchované části	[mm]
d'	průměr napěchované části	[mm]

Hmotnost hlavy ventilu

$$m = V_H \cdot \rho$$

$$m = 11,3 \cdot 7,7 \quad (6.13.)$$

$$m = 87 \text{ g}$$

Kde

$$V_H \quad \text{objem hlavy ventilu} \quad [\text{cm}^3]$$

$$m \quad \text{hmotnost hlavy ventilu} \quad [\text{g}]$$

$$\rho \quad \text{hustota oceli} \quad [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$$

Varianta 3

Objem ventilu:

$$V = V_H + V_D$$

$$V = 10\,971,73 + 12\,861 \quad (6.14.)$$

$$V = 23\,832,7 \text{ mm}^3$$

Kde:

$$V \quad \text{objem ventilu} \quad [\text{mm}^3]$$

$$V_H \quad \text{objem hlavy ventilu} \quad [\text{mm}^3]$$

$$V_D \quad \text{objem dřívku ventilu} \quad [\text{mm}^3]$$

Výpočet délky polotovaru

$$l = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2}$$

$$l = \frac{4 \cdot 23\,832,7}{3,14 \cdot 11^2} \quad (6.15.)$$

$$l = 250,9 \text{ mm}$$

Kde:

$$V \quad \text{objem ventilu} \quad [\text{mm}^3]$$

$$l \quad \text{délka polotovaru} \quad [\text{mm}]$$

$$d \quad \text{průměr dřívku ventilu} \quad [\text{mm}]$$

Výpočet délky potřebné pro napěchování hlavy:

$$l_H = l - l_D$$

$$l_H = 250,9 - 135,4 \quad (6.16.)$$

$$l_H = 115,5 \text{ mm}$$

Kde:

l	délka ventilu	[mm]
l_H	délka hlavy ventilu	[mm]
l_D	délka dříku ventilu	[mm]

Rozměry napěchované hlavy:

$$l' = \frac{4 \cdot V_H}{\pi \cdot d'^2} \quad \frac{l'}{d'} \leq 2,4$$
$$l' = \frac{4 \cdot 10\,971,73}{3,14 \cdot 19^2} \quad (6.17.) \quad \frac{38,7}{19} \leq 2,4 \quad (6.18.)$$
$$l' = 38,7 \text{ mm} \quad 2,04 \leq 2,4 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde:

V_H	objem hlavy ventilu	[mm ³]
l'	délka napěchované části	[mm]
d'	průměr napěchované části	[mm]

Hmotnost hlavy ventilu

$$m = V_H \cdot \rho$$
$$m = 10,97 \cdot 7,7 \quad (6.19.)$$
$$m = 84,5 \text{ g}$$

Kde

V_H	objem hlavy ventilu	[cm ³]
m	hmotnost hlavy ventilu	[g]
ρ	hustota oceli	[g · cm ⁻³]

Varianta 4

Objem ventilu:

$$V = V_H + V_D$$
$$V = 14\,615,1 + 12\,595 \quad (6.20.)$$
$$V = 27\,210,1 \text{ mm}^3$$

Kde:

V	objem ventilu	[mm ³]
V_H	objem hlavy ventilu	[mm ³]
V_D	objem dříku ventilu	[mm ³]

Výpočet délky polotovaru

$$l = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2}$$

$$l = \frac{4 \cdot 27\,210,1}{3,14 \cdot 11^2} \quad (6.21.)$$

$$l = 286,5 \text{ mm}$$

Kde:

V objem ventilu [mm³]

l délka polotovaru [mm]

d průměr dířku ventilu [mm]

Výpočet délky potřebné pro napěchování hlavy:

$$l_H = l - l_D$$

$$l_H = 286,5 - 132,6 \quad (6.22.)$$

$$l_H = 153,9 \text{ mm}$$

Kde:

l délka ventilu [mm]

l_H délka hlavy ventilu [mm]

l_D délka dířku ventilu [mm]

Rozměry napěchované hlavy:

$$l' = \frac{4 \cdot V_H}{\pi \cdot d'^2} \quad \frac{l'}{d'} \leq 2,4$$

$$l' = \frac{4 \cdot 14\,615,1}{3,14 \cdot 20^2} \quad (6.23.) \quad \frac{46,6}{20} \leq 2,4 \quad (6.24.)$$

$$l' = 46,6 \text{ mm} \quad 2,33 \leq 2,4 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde:

V_H objem hlavy ventilu [mm³]

l' délka napěchované části [mm]

d' průměr napěchované části [mm]

Hmotnost hlavy ventilu

$$m = V_H \cdot \rho$$

$$m = 14,6 \cdot 7,7 \quad (6.25.)$$

$$m = 112,4 \text{ g}$$

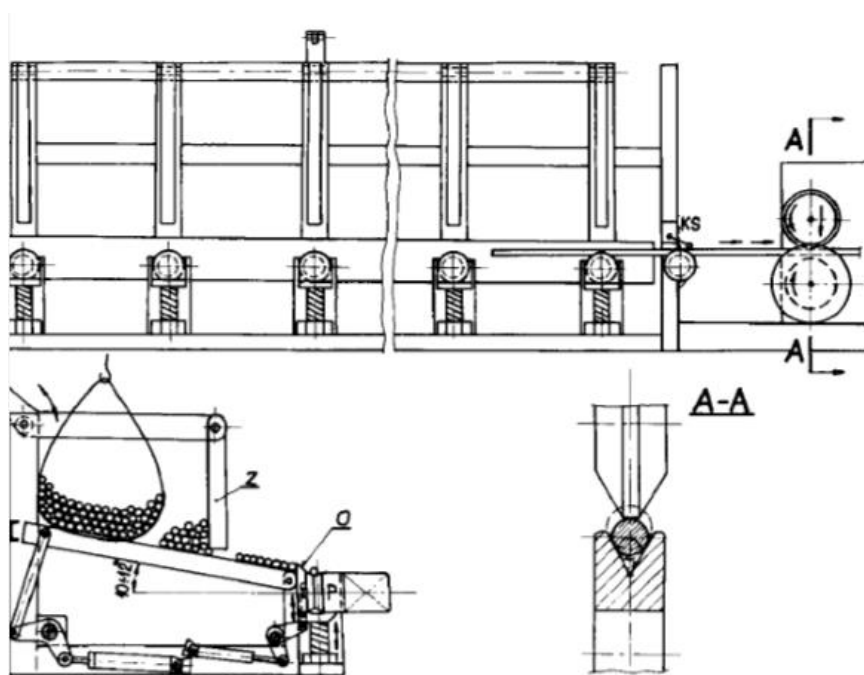
Kde

V_H	objem hlavy ventilu	$[\text{cm}^3]$
m	hmotnost hlavy ventilu	$[\text{g}]$
ρ	hustota oceli	$[\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$

6.1.2. VSTUPNÍ ZAŘÍZENÍ

Vstupním zařízením rozumíme zařízení do kterého bude uložena dávka polotovarů, která bude postupně odebírána k dalšímu zpracování. V případě automatizace procesu je nutné zajistit přesnou a vždy stejnou polohu polotovaru.

V takovém případě se nabízí možnost využití automatický podavač tyčového materiálu (obr. 14). Podavač je vybaven nakloněným roštem na který se umístí balík tyčového materiálu. Tyče jsou drženy zástěnou **Z** a oddělovačem **O**. Při projetí tyče koncovým spínačem **KS** se otevře zástěna **Z** a sklopí oddělovač **O**.

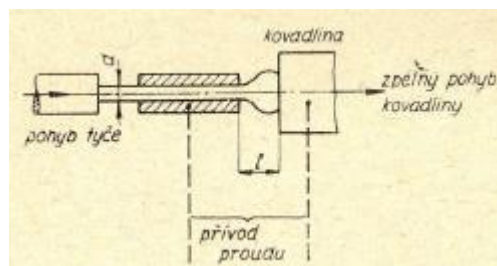


Obr. 15 Podávací zařízení tyčí [6]

6.1.3. OHŘEV MATERIÁLU

Při výrobě ventilů pechováním se k ohřevu materiálu na potřebnou teplotu tváření využívá elektrického odporu. Materiál je upnutý do čelistí a na jednom konci je opřený o

kovadlinu. Z druhé strany na polotovaru působí smýkadlo a díky jeho pohybu v ose polotovaru se polotovar deformuje a rozšiřuje se. Čelisti a kovadlina jsou napojeny na transformátor střídavého proudu, který prochází polotovarem a díky vnitřnímu odporu materiálu se zahřívá.



Obr. 16 Princip pēchování hlavy ventilu [2]

K ohřevu je použit transformátor s vodním chlazením a programovatelným řízením proudu. Čelisti ve kterých je polotovar sevřen jsou vybaveny vodním chlazením a regulací síly sevření. Pohyb kovadliny a tlak na pēchovanou tyč je vyvozován hydraulickými válci, které jsou vybaveny odměřováním dráhy a řízeny elektrohydraulickými proporcionálními ventily. Průběh rychlosti pojezdu válce a průběh síly tlačného válce jsou řízeny dle nastaveného programu

Z předešlých výpočtů je patrné, že nejvyšší hmotnost má hlava ventilu varianty 1. Pro tento typ je počítána doba ohřevu, protože pro ostatní typy bude vždy doba kratší.

Tab. 5 Parametry pēchovacího zařízení

Maximální pēchovací síla	kN	50
Proud	A	70
Pēchovací teplota	°C	1 050
Maximální doba ohřevu	s	20
Maximální tlak oleje	bar	160
Počet hydraulických válců v pēchovačce	ks	2
Maximální výkon	ks·s ⁻¹	11

Teplo nutné k ohřevu:

$$Q = m \cdot c_m \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q = 0,194 \cdot 500 \cdot (1\,200 - 20) \tag{6.30.}$$

$$Q = 114\,460 \text{ J}$$

Kde:

Q	dodané teplo	[J]
m	hmotnost ohřívané součásti	[kg]
c_m	měrná tepelná kapacita	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
T ₁	počáteční teplota součásti	[K]
T ₂	teplota tváření součásti	[K]

Odpor ohřívaného materiálu oři 20°C:

$$R_{20} = \rho_1 \cdot \frac{l}{S}$$

$$R_{20} = 0,9 \cdot \frac{0,265}{\frac{\pi \cdot 11^2}{4}} \quad (6.31.)$$

$$R_{20} = 0,21 \Omega$$

Kde:

R ₂₀	elektrický odpor materiálu při 20°C	[Ω]
ρ_1	rezistivita materiálu při 20 °C	[K ⁻¹]
l	délka ohřívané části	[m]
d	průměr ohřívané části	[mm]

Odpor ohřívaného materiálu oři 1 050°C:

$$R = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (T_2 - T_1))$$

$$R = 0,21 \cdot (1 + 0,006 \cdot (1\,200 - 20)) \quad (6.32.)$$

$$R = 1,7 \Omega$$

Kde:

R	elektrický odpor materiálu	[Ω]
R ₂₀	elektrický odpor materiálu při 20°C	[Ω]
α	teplotní koeficient odporu	[K ⁻¹]
T ₁	počáteční teplota součásti	[K]
T ₂	teplota tváření součásti	[K]

Čas potřebný k ohřátí materiálu:

$$t = \frac{Q}{R \cdot I^2}$$

$$t = \frac{114\,460}{1,7 \cdot 70^2} \quad (6.33.)$$

$$t = 13,7 \text{ s}$$

Kde:

I proud procházející materiálem [A]

Q dodané teplo [J]

R elektrický odpor materiálu [Ω]

t čas ohřevu [s]

Síla potřebná k napěchování hlavy:

Varianta 1

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sigma_K \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 24^2}{4} \cdot 103 \cdot \left(1 + \frac{0,3}{3} \cdot \frac{24}{55,8}\right) \quad (6.34.)$$

$$F = 48,6 \text{ kN}$$

Varianta 2

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sigma_K \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 19^2}{4} \cdot 103 \cdot \left(1 + \frac{0,3}{3} \cdot \frac{19}{39,7}\right) \quad (6.35.)$$

$$F = 30,6 \text{ kN}$$

Varianta 3

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sigma_K \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 19^2}{4} \cdot 103 \cdot \left(1 + \frac{0,3}{3} \cdot \frac{19}{38,7}\right) \quad (6.36.)$$

$$F = 30,6 \text{ kN}$$

Varianta 4

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sigma_K \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 20^2}{4} \cdot 103 \cdot \left(1 + \frac{0,3}{3} \cdot \frac{20}{46,6}\right) \quad (6.37.)$$

$$F = 33,7 \text{ kN}$$

dle [3] přetvárná pevnost materiálu pro 1 200 °C $\sigma_K = 103 \text{ MPa}$

dle [3] koeficient tření pro ocel $\mu = 0,3$

Kde:

F	síla potřebná k tváření	[N]
d	konečný průměr součásti	[mm]
h	konečná výška součásti	[mm]
σ_K	přetvárná pevnost materiálu	[MPa]
μ	koeficient tření	[-]

Z výpočtů pýchovacích sil pro jednotlivé rozměrové varianty ventilu je vidět, že největší pýchovací síla je potřebná u varianty 1. Maximální potřebná síla je nižší, než maximální pýchovací síla pýchovačky, to znamená, že navržené zařízení vyhovuje daným podmínkám.

6.1.4. DOLISOVÁNÍ PŘEDKOVKU

Na pýchovacím stroji zhotovíme pouze napýchování hlavy a výsledný tvar předkovku je nutné udělat v další operaci. Další operací je dokování výsledného tvaru zápustkovým kováním. Zápustkové kování lze provádět na lisu, nebo na bucharu. Vzhledem k tomu, že se jedná o výrobu polotovaru velmi přesné součásti vyráběné ve velkých sériích tak volím lis. Použití lisu má také pozitivní vliv na zvýšení životnosti zápustek.

Lisy můžeme dělit na hydraulické a mechanické. V praxi se k zápustkovému kování používají nejčastěji hydraulické lisy a z kategorie mechanických lisů jsou to zejména klikové kovací lisy a vřetenové lisy.

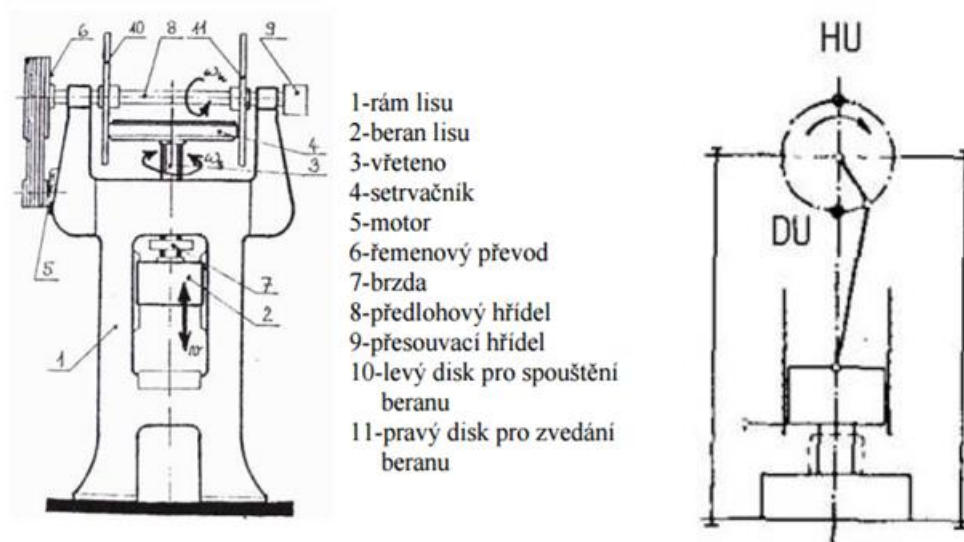
Při tváření a manipulaci s tvářeným materiálem dochází k poklesu teploty tvářeného materiálu. S klesající teplotou roste přetvárný odpor materiálu.

Vřetenové lisy

Pohyb šroubu se vřetenem je realizován pomocí třecích kotoučů. Zvedání a spouštění vřetene je realizováno přitlačením hlavního kotouče na levý, případně pravý kotouč předlohy (obr. 17). Díky neomezené dráze výstupního členu lze polotovar tvářet i několika po sobě jdoucími údery oproti lisům pracujícím na principu klikového mechanismu (klikový a excentrický lis).

Klikové lisy

Princip činnosti těchto lisů je založen na principu činnosti klikového mechanismu. Díky otáčení klikového hřídele, na kterém je umístěna ojnice dochází k přeměně rotačního pohybu na přímočarý pohyb (obr. 17). Vyznačují se velkými zdvihy a jejich výhodou je konstantní zdvih. Mohou být realizovány jako jednobodové, dvou bodové, nebo čtyřbodové.



Obr. 17 Princip činnosti vřetenového (vlevo) a klikového lisu [13]

Protože se jedná o velkosériovou výrobu velmi přesné součásti kde je potřeba zajistit přesnou polohu obou dílů zápustky vůči sobě volím jednobodový klikový lis.

Síla potřebná k vylisování hlavy:

Varianta 1

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sigma_K \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 53,6^2}{4} \cdot 218 \cdot \left(1 + \frac{0,3}{3} \cdot \frac{53,6}{40}\right) \quad (6.38.)$$

$$F = 557,5 \text{ kN}$$

Varianta 2

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sigma_K \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 218 \cdot \left(1 + \frac{0,3}{3} \cdot \frac{40}{20}\right) \quad (6.39.)$$

$$F = 272,1 \text{ kN}$$

Varianta 3

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sigma_K \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right)$$
$$F = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 218 \cdot \left(1 + \frac{0,3}{3} \cdot \frac{40}{23}\right) \quad (6.40.)$$
$$F = 321,4 \text{ kN}$$

Varianta 4

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sigma_K \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right)$$
$$F = \frac{3,14 \cdot 44^2}{4} \cdot 218 \cdot \left(1 + \frac{0,3}{3} \cdot \frac{44}{30}\right) \quad (6.41.)$$
$$F = 379,9 \text{ kN}$$

Kde:

F	síla potřebná k tváření	[N]
d	konečný průměr součásti	[mm]
h	konečná výška součásti	[mm]
σ_K	přetvárná pevnost materiálu	[MPa]
μ	koeficient tření	[-]

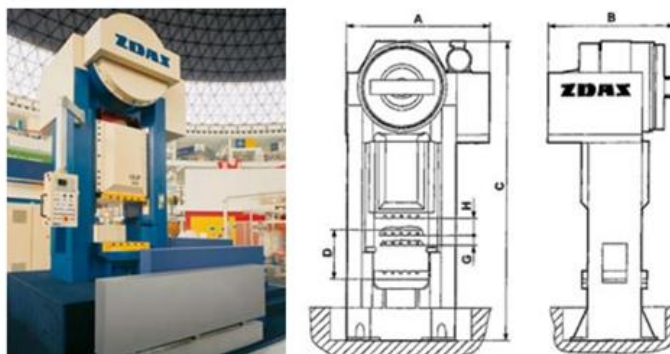
Dle [3] přetvárná pevnost materiálu pro 900 °C $\sigma_K = 218 \text{ MPa}$

Dle [3] koeficient tření pro ocel $\mu = 0,3$

Z výpočtů je patrné, že nejvyšší sílu je potřeba vynaložit pro výrobu součásti rozměrové varianty 1. Na tuto sílu je potřeba dimenzovat lis.

Jednobodový klikový lis LJKP

Univerzální klikové jednobodové lisy LJKP mají širokou možnost technologického použití pro tváření za studena i za tepla. Zejména jsou vhodné pro stříhání, ohýbání, tažení, protlačování, zápusťkové kování a další tvářecí operace. Stojan je svařovaný, skříňové konstrukce s vysokou boční i podélnou tuhostí. V horním příčniku je uložen klikový hřídel na jehož výstupu je pevně uchycen unašeč planetové převodovky. Pastorek planetové převodovky prochází středem klikového hřídele a je na druhé straně přes spojku a brzdu spojen se setrvačником. Beran lisu je veden v dlouhém seřiditelném vedení, které zajišťuje konstantní vůli i při práci za tepla. Pneumatické vyvažování s nárůstem síly v průběhu zdvihu postupně vyvažuje hmotnost beranu, nástroje a klikového mechanismu. [1]



Obr. 18 Univerzální klikový jednobodový lis LKJP [1]

Tab. 6 Parametry lisu LJKP [1]

Základní technické parametry lisu	Jednotka	LJKP 400
Jmenovitá síla	kN	4 000
Sevřená výška D	mm	900
Zdvih H	mm	315
Počet zdvihů – trvale	min-1	22
Počet zdvihů - jednotlivě	min-1	12
Upínací plocha beranu (šířka x hloubka)	mm	990 x 1 000
Představení beranu G	mm	180
Upínací plocha stolu (šířka x hloubka)	mm	1 200 x 1 000
Výkon hlavního motoru	kW	37
Rozměr lisu A	mm	2 630
Rozměr lisu B	mm	2 330
Rozměr lisu C	mm	5 500

Svislý kovací lis LZK 1000 P/SH

Svislé kovací lisy (obr. 19) se používají pro výrobu přesných zápustkových výkovek s využitím v automobilovém průmyslu, pro kování za tepla i za poloohřevu s tvářecími silami 10 - 65 MN, s vysokou tuhostí a rozsáhlou diagnostikou, včetně moderních, přesných a tuhých upínačů a dalšího rozsáhlého příslušenství. [4]



Obr. 19 Svislý kovací lis LZK 1000 P/SH [4]

Tab. 7 Parametry lisu LZK 1000 P/SH [4]

Základní technické parametry lisu	Jednotka	LZK 1000 P/SH
Jmenovitá síla	kN	10 000
Sevřená výška D	mm	620
Zdvih H	mm	220
Počet zdvihů	min-1	100
Průchod	mm	1 040
Upínací plocha beranu (šířka x hloubka)	mm	750 x 968
Představení beranu G	mm	10
Upínací plocha stolu (šířka x hloubka)	mm	1 000 x 950
Výkon hlavního motoru	kW	65
Rozměr lisu A	mm	2 300
Rozměr lisu B	mm	3 000
Rozměr lisu C	mm	4 900

Volím jednobodový kovací lis LJKP 400 od firmy ŽĐAS, z důvodu větší sevřené výšky, i větších upínacích ploch jak na stole, tak beranu. Tento lis disponuje sice nižší jmenovitou silou, ale pro tuto aplikaci je to dostatečné. Výhodou tohoto lisu je také nižší plocha půdorysu kterou bude zabírat ve výrobní hale. Lis bude vybaven spodním vyhazovačem.

6.1.5. VÝSTUPNÍ ZAŘÍZENÍ

Po vykování hlavy ventilu ve výsledný tvar bude polotovár spodním vyhazovačem který bude umístěn v lisu vyjmut ze zápustky a jednoúčelovým manipulátorem umístěn na skluz kde díky gravitaci spadne do palety a dochlazen na vzduchu. Poté bude připraven k převozu na další pracoviště, kde bude dále zpracováván.

6.1.6. MEZIOPERAČNÍ MANIPULACE

Jelikož se jedná o jednoúčelovou výrobní linku na výrobu velmi specifické součásti, bude muset být na manipulace s materiálem mezi jednotlivými výrobními operacemi provedena rovněž pomocí jednoúčelového zařízení. V první řadě je nutno zajistit umístění polotovaru ze vstupního podavače do pěchovacího zařízení. Dále pak je nutné předehrátý polotovár s napěchovanou hlavou umístit do spodního dílu zápustky kde proběhne dolisování hlavy ventilu. Třetím krokem je pak vyjmutí hotového výkovku z prostoru lisu a jeho odložení na skluz.

Pro tuto aplikaci se přímo nabízí využití jednoúčelových manipulátorů. Protože pohyb mezi jednotlivými operacemi bude stále stejný volím pro mezioperační manipulaci s polotovarem průmyslové roboty s pevným programem.

Průmyslový robot IRB 1600

Průmyslové roboty řady IRB jsou konstruovány pro práci v extrémních podmínkách jakými jsou právě kovárny. Jsou odolné proti vysokým teplotám a vniku nečistot. Spojením výkonného řídicího systému IRC5 s robustními roboty ABB a na míru ušitými řešeními chapadel robotů, může být téměř celý proces kování automatizován. Tepelně izolované nástroje chapadel, vyrobené ze speciálních materiálů, si poradí s extrémními teplotními podmínkami a mohou manipulovat s díly o hmotnosti větší než 300 kg. Většina chapadel jsou řešeními navrženými tak, aby odpovídaly individuálním požadavkům specifických procesů. V závislosti na aplikaci mohou být ovládány buďto pneumaticky, elektricky nebo hydraulicky. Všechna chapadla zajišťují opakované vkládání dílů a konzistentní procesy, jejichž výsledkem je stálá teplota dílů a definovaná struktura kovu. [7]



Obr. 20 Průmyslový robot IRB 1600 [7]

Tab. 8 Parametry průmyslového robotu IRB 1600 [7]

Nosnost		kg	6
Dosah		mm	1 200
Rozsah pohybu os	osa 1	°	+180/-180
	osa 2		+136/-63
	osa 3		+55/-235
	osa 4		+200/-200
	osa 5		+115/-115
	osa 6		+288/-288
Rychlost	osa 1	°/s	150
	osa 2		160
	osa 3		170
	osa 4		320
	osa 5		400
	osa 6		460

Průmyslový robot KF QUANTEC nano F exklusive

Průmyslový robot KF QUANTEC nano F exklusive je konstruován specialně na práci ve zhoršených pracovních podmínkách za vysokých teplot. Je odolný vůči vnikání prachu, odolný vůči působení kyselin, korozi. Osa 3, kterou lze vytočit dozadu umožňuje velký pracovní prostor. Malá hmotnost umožňuje maximální dynamiku. Díky použití litiny na místo hliníku je současně robustnější. [8]



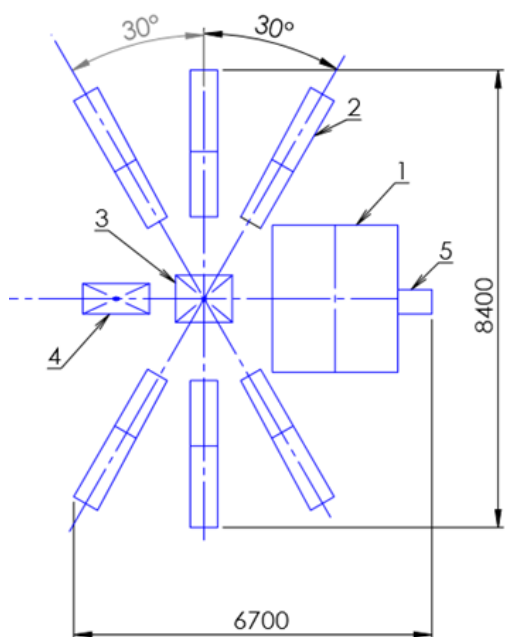
Obr. 21 Průmyslový robot KF QUANTEC nano F exklusive [6]

Tab. 9 Parametry průmyslového robotu KF QUANTEC nano F exklusive [6]

Nosnost	kg	120
Dosah	mm	2 100
Rozsah pohybu os	osa 1	+165/-165
	osa 2	+45/-135
	osa 3	+155/-65
	osa 4	+350/-350
	osa 5	+125/-125
	osa 6	+350/-358
Rychlost	osa 1	136
	osa 2	95
	osa 3	120
	osa 4	292
	osa 5	258
	osa 6	284

Průmyslový robot KF QUANTEC nano Fexclusive od firmy KUKA disponuje sice větší nosností než průmyslový robot IRB 1600, ale protože předmětem manipulace jsou výkovky o maximální hmotnosti 0,5 kg volím průmyslový robot IRB 1600 od firmy ABB, protože disponuje větší rychlostí.

6.1.7. PROJEKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ



- 1 Mechanický postupový automat TP 400
- 2 Průmyslový robot KF QUANTEC nano F exclusive, 2 ks
- 3 Středofrekvenční ohřivač SOP 160/3-A40
- 4 Vibrační kruhový zásobník KZ 630 C/L
- 5 Jednouúčelový manipulátor s mazáním

Prostor zabraný tímto projekčním uspořádáním je přibližně 57 m².

Navržená linka v tomto uspořádání pro výrobu ventilů metodou pýchování a následného dokování hlavy bude kompletně oplocena, aby bylo zamezeno vstupu obsluhy do prostoru linky. Do prostoru linky bude mít přístup pouze seřizovač, který se do linky dostane vstupními vraty na straně podavače tyčového materiálu. Vrata jsou zajištěny automatickým zámekem, který nebude možné otevřít pokud je linka v chodu. Pýchovací zařízení je umístěno na kolejnicích po kterých je možno s ním vyjet mimo prostor linky do seřizovací polohy. V pracovní poloze je pýchovací zařízení zajištěno koncovým spínačem. Při vstupu seřizovače do linky je nutné, aby byl vybaven ochrannými pomůckami (rukavice a ochranné pracovní brýle).

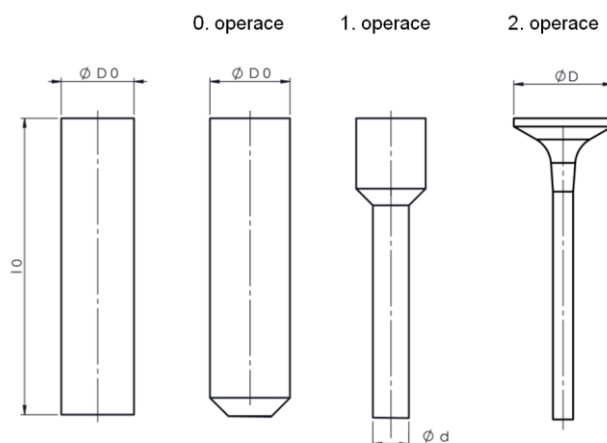
6.2. METODA PROTLAČOVÁNÍ

Při tomto způsobu výroby ventilu je vstupním polotovarem omlutý kovový špalík a nikoli tyčka jak tomu bylo při výrobě metodou pýchování. Na rozdíl od metody pýchování je zde tvářená nejen hlava ventilu, ale i jeho dřík.

6.2.1. VOLBA POLOTOVARU

Při výrobě součásti dopředným protlačováním a pýchováním je nutné brát zřetel na rozložení skutečných deformací a s tím spojeným zpevněním součásti při tváření. Při návrhu je nutné určit celkový stupeň deformace z výchozího tvaru na konečný. Celková hlavní deformace je dána součtem dílčích dílčích deformací při jednotlivých operacích

Jeden z možných postupů při návrhu varianty řešení výroby je určení sledu jednotlivých operací a následné určení rozměrů s využitím optimalizace zpevnění. Optimalizace zpevnění spočívá ve volbě optimální skladby změny tvaru tvářené součásti v jednotlivých operacích, čímž lze dosáhnout vyrovnaných hodnot přetvoření ve všech částech součásti.



Obr. 22 Postup výroby

$$\varphi_{DŘÍKY} = \varphi_{HLAVY}$$

$$\ln \frac{d^2}{D_0^2} = \ln \frac{D^2}{D_0^2} \quad (6.42.)$$

Po úpravě:

$$D_0 = \sqrt{D \cdot d} \quad (6.43.)$$

Rozměry polotovaru

Varianta 1

$$D_0 = \sqrt{D \cdot d}$$

$$D_0 = \sqrt{53,6 \cdot 11} \quad (6.35.)$$

$$D_0 = 24,2 \text{ mm}$$

$$l = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_0^2}$$

$$l = \frac{4 \cdot 35\,592}{3,14 \cdot 24^2} \quad (6.36.)$$

$$l = 78,7 \text{ mm}$$

Varianta 2

$$D_0 = \sqrt{D \cdot d}$$

$$D_0 = \sqrt{40 \cdot 11} \quad (6.37.)$$

$$D_0 = 20,9 \text{ mm}$$

$$l = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_0^2}$$

$$l = \frac{4 \cdot 22\,218,1}{3,14 \cdot 20^2} \quad (6.38.)$$

$$l = 70,8 \text{ mm}$$

Varianta 3

$$D_0 = \sqrt{D \cdot d}$$

$$D_0 = \sqrt{40 \cdot 11} \quad (6.39.)$$

$$D_0 = 20,9 \text{ mm}$$

$$l = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_0^2}$$

$$l = \frac{4 \cdot 23\,832,7}{3,14 \cdot 20^2} \quad (6.40.)$$

$$l = 75,9 \text{ mm}$$

Varianta 4

$$D_0 = \sqrt{D \cdot d}$$

$$D_0 = \sqrt{44 \cdot 11} \quad (6.41.)$$

$$D_0 = 22 \text{ mm}$$

$$l = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_0^2}$$

$$l = \frac{4 \cdot 27\,210,1}{3,14 \cdot 22^2} \quad (6.42.)$$

$$l = 71,6 \text{ mm}$$

Kde:

V objem ventilu [mm³]

l délka polotovaru [mm]

d průměr dřívku ventilu [mm]

D průměr hlavy ventilu [mm]

D₀ průměr polotovaru [mm]

Tab. 10 Rozměry polotovarů

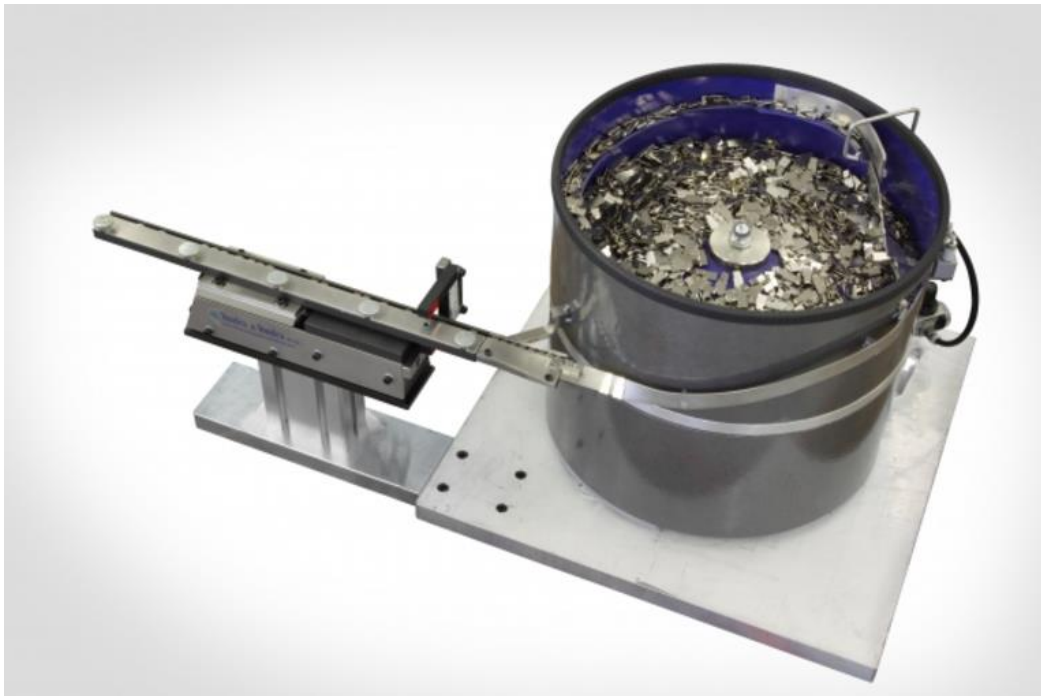
Varianta	Rozměr polotovaru [mm]	norma	hmotnost [kg]
1	Ø 24 x 78,7	ČSN 42 5510	0,273
2	Ø 20 x 70,8		0,17
3	Ø 20 x 75,9		0,183
4	Ø 22 x 71,6		0,21

6.2.2. VSTUPNÍ ZAŘÍZENÍ

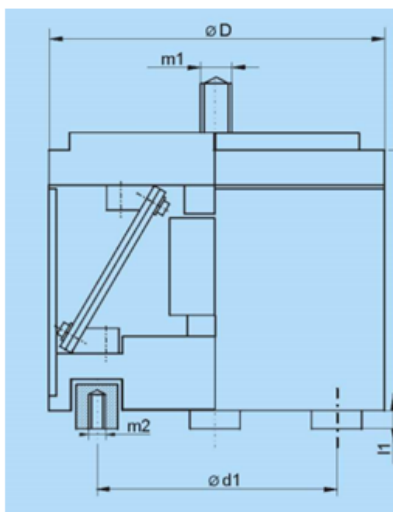
Stejně jako při výrobě ventilu metodou pýchování i při výrobě metodou protlačování je nutné zabezpečit jednotnou polohu vstupního polotovaru. Vhodným řešením se jeví použití vibračního zásobníku. Kruhový zásobník slouží ke zorientování polotovarů do jednotné polohy. Na ně navazující přímočaré vibrační zásobníky slouží k dopravě zorientovaných polotovarů do místa jejich dalšího zpracování.

Vibrační kruhový zásobník VZ/C 600 L

Vibrační zásobník je tvořen základovou a nosnou deskou, soustavou pružin a elektro magnetickým budičem. Násypka je upnuta středovým šroubem. Tím je umožněno natočení násypky o 360° kolem osy vibrační jednotky.



Obr. 23 Vibrační kruhový zásobník VZ/C 600 L [14]
 Tab. 11 Parametry Vibračního kruhového zásobníku VZ/C 600 L [14]



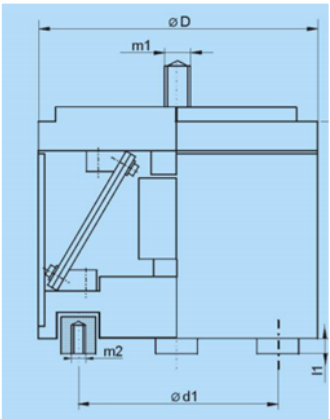
VZ/C 600 L		
D	mm	600
d	mm	500
l1	mm	40
M1	-	M 16
M2	-	4 x M 10
V	mm	235
napájení	V	230
Pracovní frekvence	Hz	50
Příkon	VA	564

Vibrační kruhový zásobník KZ 630 C/L



Obr. 24 Vibrační kruhový zásobník KZ 630 C/L [15]

Tab. 12 Parametry Vibračního kruhového zásobníku KZ/C 630 L [15]

	KZ/C 630 L		
	D	mm	630
	d 1	mm	550
	l 1	mm	40
	M1	-	M 16
	M2	-	4 x M 8
	V	mm	565
	napájení	V	230
	Pracovní frekvence	Hz	50
	Příkon	VA	500

Oba vybrané kruhové zásobníky disponují téměř totožnými technickými parametry. Volím vibrační kruhový zásobník KZ/C 630 L od firmy ROX spol s r. o. , který je sice

rozměrnější, ale k jeho provozu je potřeba nižší příkon a to znamená nižší náklady na provoz stroje.

6.2.3. OHŘEV MATERIÁLU

Jak již bylo napsáno, jedná se o proces tváření za tepla. Je nutné polotovar ohřát na tvářecí teplotu. Ohřev na správnou teplotu je pro výslednou součást velmi důležitý. Pokud by teplota byla vyšší než je přípustná teplota hrozí poškození materiálu například přehřátím, nebo spálením oceli. U přehřáté oceli hrozí růst zrn a difuze síry na hranici austenitických zrn. Spálení oceli má za následek zkřehnutí oceli a její náprava již není možná.

Plynové pece

Lze je rozdělit na dvě skupiny. V první skupině se jedná o takzvané přímé topení, plameny a zplodiny jsou v přímém kontaktu s tvářeným materiálem – velká oxidace materiálu. Pro zamezení oxidace materiálu je možné použít nepřímý ohřev. Materiál je uložen v pouzdrech a je ohříván sáláním ze stěn pece. Do této skupiny patří například plynové karuselové pece (obr. 20).



Obr. 25 Plynová karuselová pec [16]

Indukční ohřev

Ohříváný materiál je umístěn v cívce – induktoru. Cívkou prochází střídavý proud o vhodné frekvenci a uvnitř cívky vznikají vířivé proudy, které ohřívají materiál. Hloubka ohřevu je závislá na frekvenci a měrném odporu materiálu. Čím vyšší frekvence tím nižší hloubka ohřevu. Pro kvalitní ohřev je nutné, aby tvar induktoru byl co nejvíce přizpůsoben tvaru ohřívané součásti. Z hlediska provozních nákladů je hlavním hlediskem účinnost indukčního ohřevu.



Obr. 26 Indukční ohřev materiálu [17]

Hloubka vniku

Varianta 1

$$\delta = \frac{d}{3,5}$$

$$\delta = \frac{24}{3,5} \quad (6.43.)$$

$$\delta = 6,86 \text{ mm}$$

Kde:

δ hloubka vniku [mm]

d průměr vsázky [mm]

Varianta 2 a 3

$$\delta = \frac{d}{3,5}$$

$$\delta = \frac{20}{3,5} \quad (6.44.)$$

$$\delta = 5,72 \text{ mm}$$

Varianta 4

$$\delta = \frac{d}{3,5}$$

$$\delta = \frac{22}{3,5} \quad (6.45.)$$

$$\delta = 6,29 \text{ mm}$$

Účinnost ohřevu:

Varianta 1

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{D^2}{d^2} \left[1 + \left(2,5 \cdot \frac{\delta}{d} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2 \cdot \mu r}}}$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{60^2}{24^2} \left[1 + \left(2,5 \cdot \frac{6,86}{24} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{\frac{0,9 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 8 \cdot 000}}} \quad (6.46.)$$

$$\eta = 0,75$$

Varianta 2 a 3

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{D^2}{d^2} \left[1 + \left(2,5 \cdot \frac{\delta}{d} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2 \cdot \mu_r}}}$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{60^2}{20^2} \left[1 + \left(2,5 \cdot \frac{5,72}{20} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{\frac{0,9 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 8000}}} \quad (6.47.)$$

$$\eta = 0,67$$

Varianta 4

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{D^2}{d^2} \left[1 + \left(2,5 \cdot \frac{\delta}{d} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2 \cdot \mu_r}}}$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{60^2}{22^2} \left[1 + \left(2,5 \cdot \frac{6,29}{22} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{\frac{0,9 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 8000}}} \quad (6.48.)$$

$$\eta = 0,72$$

Kde:

η	účinnost	[%]
D	vnitřní průměr cívky induktoru	[mm]
d	průměr vsázky	[mm]
δ	hloubka vniku	[mm]
ρ_1	měrný odpor materiálu induktoru	$[\mu\Omega \cdot m]$
ρ_2	měrný odpor materiálu vsázky	$[\mu\Omega \cdot m]$
μ_r	permeabilita materiálu vsázky	$[H \cdot m^{-1}]$

Středofrekvenční ohřivač přířezů SOP 160/3-A40

Středofrekvenční ohřivač SOP je určen k indukčnímu ohřevu ocelových přířezů kruhového nebo čtvercového tvaru na kovací teplotu. Ohřivač je vybaven třídičkou ohřátých přířezů. Řízení ohřivače je volně programovatelným automatem PLC. Teplota každého kusu je snímána bezdotykovým měřičem teploty.



Obr. 27 SOP 160/3-A40 [17]

Tab. 13 Parametry středofrekvenčního ohříváče SOP 160/3-A40 [17]

Výkon	kW	160
Materiál	-	magnetická ocel
D	mm	15 – 60
l	mm	1,2 · D – 150
Max. teplota přířezů	°C	1 250
Max. produkované množství	kg · h ⁻¹	360
Kmitočet	kHz	4 – 10
Vstupní napětí	V	500
Spotřeba chladicí vody	m ³ · h ⁻¹	2,5

K ohřevu ocelových polotovarů na tvářecí teplotu jsem zvolil středofrekvenční ohříváč přířezů SOP 160/3-A40 od firmy ROBOTERM spol.s r.o. vzhledem k vysoké produktivitě a dostatečné teplotě ohřátých přířezů.

Skutečná produktivita stroje

Varianta 1

$$X = \frac{P \cdot \eta}{m}$$

$$X = \frac{360 \cdot 0,75}{0,273}$$

$$X = 988 \text{ ks} \cdot \text{h}^{-1}$$

Varianta 2

$$X = \frac{P \cdot \eta}{m}$$

$$X = \frac{360 \cdot 0,67}{0,17}$$

$$X = 1\,418 \text{ ks} \cdot \text{h}^{-1}$$

Varianta 3

$$X = \frac{P \cdot \eta}{m}$$

$$X = \frac{360 \cdot 0,67}{0,183}$$

$$X = 1\,318 \text{ ks} \cdot \text{h}^{-1}$$

Varianta 4

$$X = \frac{P \cdot \eta}{m}$$

$$X = \frac{360 \cdot 0,72}{0,21} \quad (6.49.)$$

$$X = 1\,234 \text{ ks} \cdot \text{h}^{-1}$$

Kde:

η	Účinnost ohřevu	[-]
P	maximální výkon ohříváče	[ks · h ⁻¹]
m	hmotnost polotovaru	[kg]
X		

6.2.4. VOLBA TVÁŘECÍHO STROJE

Výpočet deformačních odporů při dopředném protlačování

Při výpočtu deformačního odporu při dopředném protlačování bude využito řešení podle Feldmanna, který definoval vztah pro dopředné plné protlačování.

Varianta 1

$$\sigma_D = \sigma_S \cdot \left[\left(1 + \frac{f_2}{\bar{\alpha}} \right) \cdot \ln \left(\frac{D_0}{d} \right)^2 + \frac{2}{3} \bar{\alpha} \right] + 4 \cdot f_1 \cdot \frac{d \cdot l}{d^2} \cdot \sigma_S + 4 \cdot f_1 \cdot \frac{l_0}{D_0} \cdot \sigma_1 \quad (6.50.)$$

$$\sigma_D = 162 \cdot \left[\left(1 + \frac{0,3}{0,5236} \right) \cdot \ln \left(\frac{24}{11} \right)^2 + \frac{2}{3} \cdot 0,5236 \right] + 4 \cdot 0,3 \cdot \frac{11 \cdot 2}{11^2} \cdot 162 + 4 \cdot 0,3 \cdot \frac{4}{24} \cdot 150$$

$$\sigma_D = 528,9 \text{ MPa}$$

Varianta 2 a 3

$$\sigma_D = \sigma_S \cdot \left[\left(1 + \frac{f_2}{\bar{\alpha}} \right) \cdot \ln \left(\frac{D_0}{d} \right)^2 + \frac{2}{3} \bar{\alpha} \right] + 4 \cdot f_1 \cdot \frac{d \cdot l}{d^2} \cdot \sigma_S + 4 \cdot f_1 \cdot \frac{l_0}{D_0} \cdot \sigma_1 \quad (6.51.)$$

$$\sigma_D = 162 \cdot \left[\left(1 + \frac{0,3}{0,5236} \right) \cdot \ln \left(\frac{20}{11} \right)^2 + \frac{2}{3} \cdot 0,5236 \right] + 4 \cdot 0,3 \cdot \frac{11 \cdot 2}{11^2} \cdot 162 + 4 \cdot 0,3 \cdot \frac{4}{20} \cdot 150$$

$$\sigma_D = 433,2 \text{ MPa}$$

Varianta 4

$$\sigma_D = \sigma_S \cdot \left[\left(1 + \frac{f_2}{\bar{\alpha}} \right) \cdot \ln \left(\frac{D_0}{d} \right)^2 + \frac{2}{3} \bar{\alpha} \right] + 4 \cdot f_1 \cdot \frac{d \cdot l}{d^2} \cdot \sigma_S + 4 \cdot f_1 \cdot \frac{l_0}{D_0} \cdot \sigma_1 \quad (6.52.)$$

$$\sigma_D = 162 \cdot \left[\left(1 + \frac{0,3}{0,5236} \right) \cdot \ln \left(\frac{22}{11} \right)^2 + \frac{2}{3} \cdot 0,5236 \right] + 4 \cdot 0,3 \cdot \frac{11 \cdot 2}{11^2} \cdot 162 + 4 \cdot 0,3 \cdot \frac{4}{22} \cdot 150$$

$$\sigma_D = 480,8 \text{ MPa}$$

Střední přetvárný odpor

$$\sigma_S = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$$

$$\sigma_S = \frac{150 + 174}{2} \quad (6.53.)$$

$$\sigma_S = 162 \text{ MPa}$$

Kde:

σ_S Střední přetvárný odpor [MPa]

σ_1 Počáteční přetvárný odpor [MPa]

σ_2 Konečný přetvárný odpor [MPa]

Při výpočtu deformačního odporu při pěchování hlavy použijeme metodu podle Siebela.

Varianta 1

$$\begin{aligned} \sigma_{DS} &= \sigma_K \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right) \\ \sigma_{DS} &= 218 \cdot \left(1 + \frac{0,3}{3} \cdot \frac{53,6}{40}\right) \\ \sigma_{DS} &= 247,2 \text{ MPa} \end{aligned} \tag{6.54.}$$

Varianta 2

$$\begin{aligned} \sigma_{DS} &= \sigma_K \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right) \\ \sigma_{DS} &= 218 \cdot \left(1 + \frac{0,3}{3} \cdot \frac{40}{20}\right) \\ \sigma_{DS} &= 261,6 \text{ MPa} \end{aligned} \tag{6.55.}$$

Varianta 3

$$\begin{aligned} \sigma_{DS} &= \sigma_K \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right) \\ \sigma_{DS} &= 218 \cdot \left(1 + \frac{0,3}{3} \cdot \frac{40}{23}\right) \\ \sigma_{DS} &= 255,9 \text{ MPa} \end{aligned} \tag{6.56.}$$

Varianta 4

$$\begin{aligned} \sigma_{DS} &= \sigma_K \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right) \\ \sigma_{DS} &= 218 \cdot \left(1 + \frac{0,3}{3} \cdot \frac{44}{30}\right) \\ \sigma_{DS} &= 249,9 \text{ MPa} \end{aligned} \tag{6.57.}$$

Kde:

d konečný průměr součásti [mm]

h konečná výška součásti [mm]

σ_K přirozený přetvárný odpor [MPa]

σ_{DS} Napětí při pēchování [MPa]

μ koeficient tření [-]

Dle [3] pŕetvárná pevnost materiálu pro 900 °C $\sigma_K = 218$ MPa

Dle [3] koeficient tření pro ocel $\mu = 0,3$

Tvářecí síla

Varianta 1

Operace 1

$$F_1 = \sigma_D \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}$$

$$F_1 = 528,9 \cdot \frac{3,14 \cdot 24^2}{4}$$

$$F_1 = 239,1 \text{ kN}$$

Operace 2

$$F_2 = \sigma_{DS} \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}$$

$$F_2 = 247,2 \cdot \frac{3,14 \cdot 24^2}{4}$$

$$F_2 = 111,8 \text{ kN}$$

Celková síla

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = 239,1 + 118,8 \quad (6.58.)$$

$$F = 357,9 \text{ kN}$$

Varianta 2

Operace 1

$$F_1 = \sigma_D \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}$$

$$F_1 = 433,2 \cdot \frac{3,14 \cdot 20^2}{4}$$

$$F_1 = 136 \text{ kN}$$

Operace 2

$$F_2 = \sigma_{DS} \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}$$

$$F_2 = 261,6 \cdot \frac{3,14 \cdot 20^2}{4}$$

$$F_2 = 82,1 \text{ kN}$$

Celková síla

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = 136 + 82,1 \quad (6.59.)$$

$$F = 218,1 \text{ kN}$$

Varianta 3

Operace 1

$$F_1 = \sigma_D \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}$$

$$F_1 = 433,2 \cdot \frac{3,14 \cdot 20^2}{4}$$

$$F_1 = 136 \text{ kN}$$

Operace 2

$$F_2 = \sigma_{DS} \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}$$

$$F_2 = 255,9 \cdot \frac{3,14 \cdot 20^2}{4}$$

$$F_2 = 80,4 \text{ kN}$$

Celková síla

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = 136 + 80,4 \quad (6.60.)$$

$$F = 216,4 \text{ kN}$$

Varianta 4

Operace 1

$$F_1 = \sigma_D \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}$$

$$F_1 = 480,8 \cdot \frac{3,14 \cdot 22^2}{4}$$

$$F_1 = 182,7 \text{ kN}$$

Operace 2

$$F_2 = \sigma_{DS} \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}$$

$$F_2 = 249,9 \cdot \frac{3,14 \cdot 22^2}{4}$$

$$F_2 = 94,9 \text{ kN}$$

Celková síla

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = 182,7 + 94,9 \quad (6.61.)$$

$$F = 277,6 \text{ kN}$$

Kde:

σ_{DS} napětí při pēchování [MPa]

σ_D pŕirozený pŕetvárný odpor [MPa]

D_0	průměr polotovaru	[mm]
F_1	protlačovací síla	[kN]
F_2	pěchovací síla	[kN]
F	celková tvářecí síla	[kN]

Jak je vidět, největší sílu bude potřeba vynaložit při výrově součásti rozměrové varianty 1. Protože jsme úlohu řešili jako statickou a při výpočtu jsme zanedbali rychlost přetvoření, je nutné tuto sílu navýšit cca o 30% a na tuto sílu dimenzovat lis.

Svislý kovací lis LMZ 1600

Pro výrobu ventilů kombinací dopředného protlačování a pěchování jsem zvolil svislý kovací lis LMZ 1600 A/S od firmy Šmeral vhodný pro zápusťkové kování přesných součástí používaných v automobilovém průmyslu. Je vhodný pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Disponuje vysokou tuhostí a rozsáhlou diagnostikou.



Obr. 28 Svislý kovací lis 1600 [4]

Tab. 14 Parametry svislého kovacího lisu [6]

Základní technické parametry lisu	Jednotka	LMZ 1600
Jmenovitá síla	MN	16
Sevřená výška	mm	800
Průchod	mm	1 290
Počet zdvihů	min-1	85
Zdvih	mm	270
Upínací plocha stolu	mm	1 240 x 1 115
Upínací plocha beranu	mm	1 160 x 1 035
Hydraulické přestavení beranu	mm	10
Celkový instalovaný výkon	kW	85
Rozměr lisu A	mm	3 700
Rozměr lisu B	mm	3 200
Rozměr lisu C	mm	3 700

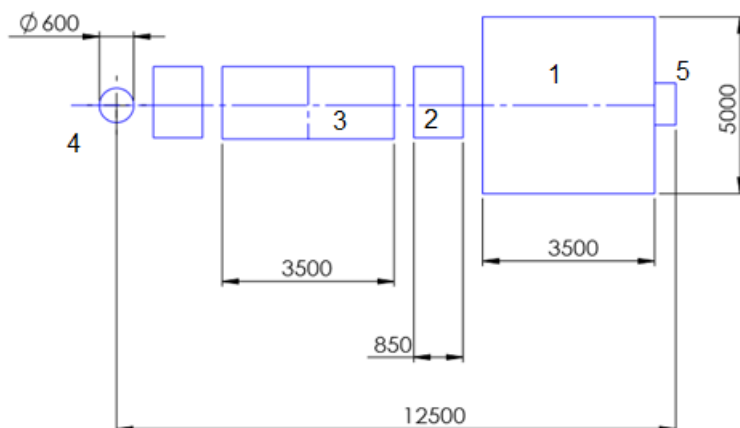
6.2.5. VÝSTUPNÍ ZAŘÍZENÍ

Po dopěchování hlavy ventilu ve druhé operaci a vyhození vyhazovačem ze zápustky je ventil umístěn jednoúčelovým pneumatickým manipulátorem umístěn na skluz. Na něm se vlastní vahou přemístí do palety ve které bude přemístěn k dalšímu zpracování.

5.2.6. MEZIOPERAČNÍ MANIPULACE

Manipulaci s materiálem mezi vstupním vibračním zásobníkem a ohřivačem přířezů a mezi ohřivačem přířezů a postupovým automatem zajistí dva průmyslové roboty KF QUANTEC nano F exklusive od firmy KUKA (viz. kap. 5.1.6). První robot bude odebírat špalíky z vibračního zásobníku a vkládat je do ohřivače přířezů, druhý robot bude z ohřivače vyjímat ohřáté polotovary a vkládat je do zápustky.

6.2.7. PROJEKČNÍ USPOŘADÁNÍ



- 1 Klikový lis LMZ 1600A/S
- 2 Průmyslový robot KF QUANTEC nano F exclusive
- 3 Středofrekvenční ohříváč SOP 160/3-A40
- 4 Vibrační kruhový zásobník KZ 630 C/L
- 5 Jednúčelový manipulátor s mazáním

Prostor zabraný tímto projekčním uspořádáním je přibližně 62,5 m².

Takto uspořádaná linka pro výrobu ventilů dopředným protlačováním bude kompletně oplocena aby nebylo možné že obsluha pracoviště vstoupí do prostor linky. Pokud by do prostor linky v době jejího chodu vstoupila obsluha pracoviště hrozilo by vážné poranění s možnými trvalými následky (popálení při styku s ohřátým materiálem, nebo amputace končetin v prostorách lisu). Vstup do linky bude umožněn pouze seřizovači vraty na straně vibračního zásobníku. Vrata jsou zajištěna automatickým zámkem, který nelze otevřít pokud je linka v chodu. Při vstupu seřizovače do linky je nutné, aby byl vybaven ochrannými pomůckami (rukavice a ochranné pracovní brýle).

Linka pro výrobu ventilů dopředným protlačováním by zabrala více prostoru ve výrobní hale, oproti navržené lince pro výrobu pýchování. Z tohoto důvodu volím technologii pýchování.

7 PŘEDEHŘEV A MAZÁNÍ ZÁPUSTEK

Předehřev zápuštěk

Oceli ze kterých jsou zápuštěky vyrobeny mají po tepelném zpracování velmi nízkou houževnatost, proto je nezbytný předehřev zápuštěk. Předehřev zápuštěk je prováděn před započítím tváření, během přestávek a pokud se nepracuje dostatečně intenzivně, tak se zápuštěky předehřívají i v průběhu tváření. Teplota zápuštěk by se měla pohybovat v rozmezí 200 – 250 °C. Předehřev zápuštěk je možný několika způsoby z nichž nejpoužívanější je předehřev ocelovým blokem. Ohřívá se přímo na stroji, ale nevýhodou je nerovnoměrný místní ohřev. Pro rovnoměrný ohřev zápuštěky je vhodné zahřívání na pískovém roštu, který je zahříván plynovými hořáky. Nevýhodou této metody je, že zápuštěka se musí vyjmout ze stroje. Jelikož se zápuštěka bude zahřívát i v průběhu tváření, zvolil jsem zahřívání věncovými plynovými hořáky, jejichž tvar je přizpůsoben tvaru zápuštěky. Výhodou tohoto řešení je, že je zápuštěka zahřívána rovnoměrně a předehřev probíhá přímo na stroji.

Mazání zápuštěk

Mazání zápuštěk slouží především ke snížení tření mezi zápuštěkou a tvářeným materiálem. Přispívají tak ke snížení opotřebení zápuštěk, zamezuje ulpívání okují na zápuštěce a zároveň má chladicí efekt. Zlepšuje tok materiálu v zápuštěce a usnadňuje vyjímání výkovku ze zápuštěky.

Pro tváření malých dílů za vysokých teplot se v praxi nejlépe osvědčily vodnaté grafitové suspenze. Pro mazání zápuštěk jsem zvolil vodnatou grafitovou suspenzi MOLYDUVAL Aqualub GH 3 od firmy MOLYDUVAL se čtyřicetiprocentním obsahem grafitu pro svou vysokou jemnost, rovnoměrnou a dobrou přilnavost.

8 KONTROLA PRODUKCE

Na rok 2017 vychází bez placených svátků 250 pracovních dnů. Tyto dny je potřeba zkrátit o řádnou dovolenou v délce dvaceti pěti dní. Zákoník práce stanovil týdenní pracovní dobu pro jednosměnný provoz na 40 hodin/týden, pro dvousměnný provoz 38,75 hodin/týden a pro práci v třisměnném režimu je to 37,5 hodin/týden. Roční produkce je stanovena v rozmezí 2 500 000 – 10 000 000 kusů.

Počet pracovních hodin bez prostojů:

$$\text{Jednosměnný provoz:} \quad (250 - 20) \cdot 40 \cdot 1 = 9\,200 \text{ h/rok} \quad (8.1.)$$

$$\text{Dvousměnný provoz:} \quad (250 - 20) \cdot 38,75 \cdot 2 = 17\,825 \text{ h/rok} \quad (8.2.)$$

$$\text{Třisměnný provoz:} \quad (250 - 20) \cdot 37,5 \cdot 3 = 25\,875 \text{ h/rok} \quad (8.3.)$$

Tento výpočet stanovil počet hodin, na které máme k dispozici pracovníky a můžeme využívat jejich práci. Tento výpočet však nezohledňuje čas potřebný na výměnu nástrojů, seřízení strojů po výměně, prostoje způsobené pozdní dodávkou materiálu a podobně. Ze zkušenosti vím, že tyto časy zaberou zhruba 10 procent z celkového času.

Počet pracovních hodin včetně prostojů:

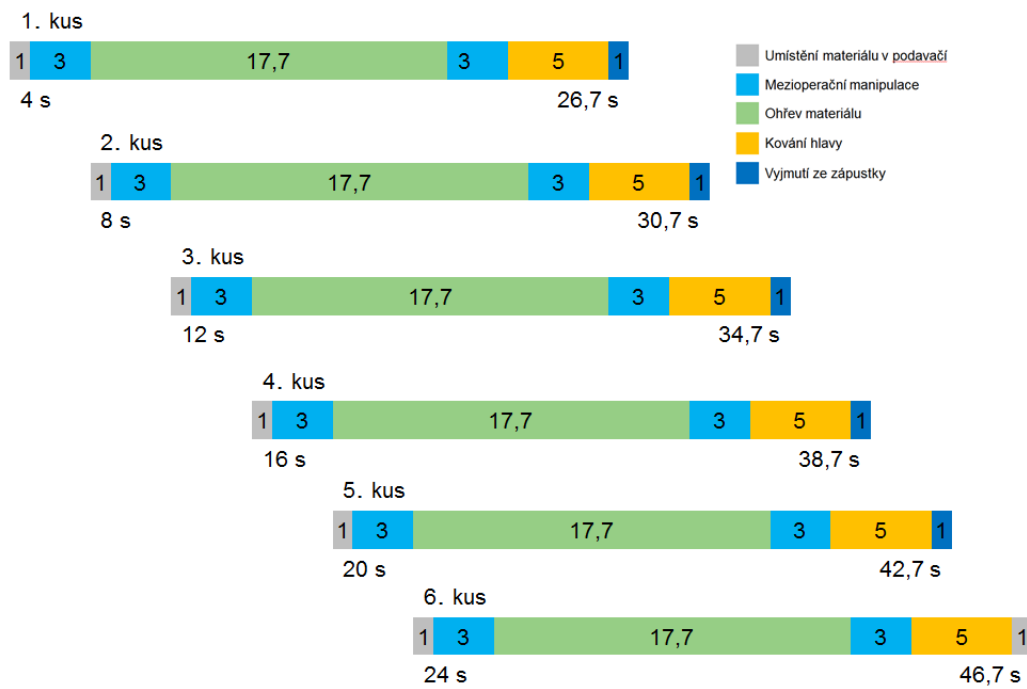
$$\text{Jednosměnný provoz:} \quad 9\,200 \cdot 0,9 = 8\,280 \text{ h/rok} \quad (8.4.)$$

$$\text{Dvousměnný provoz:} \quad 17\,825 \cdot 0,9 = 16\,042 \text{ h/rok} \quad (8.5.)$$

$$\text{Třisměnný provoz:} \quad 25\,875 \cdot 0,9 = 23\,287 \text{ h/rok} \quad (8.6.)$$

Čas potřebný pro výrobu

Na obr. 29 jsou znázorněny časy pro výrobu šesti ventilů, to znamená za dobu, za kterou jsou postupně zaplněny všechny pěchovací stroje. Výroba jednoho ventilu trvá 7,78 s.



Obr. 29 Grafické znázornění časů výroby

Kontrola požadované roční produkce

$$\frac{(23\,278 \cdot 3\,600)}{7,78} = 10\,775\,475 \text{ ks/rok} \quad (8.7.)$$

10 775 475 > 10 000 000 => skutečné produkované množství je dostatečné

9 ZÁVĚR

V této diplomové práci byl proveden návrh linky na výrobu ventilů spalovacích motorů objemovým tvářením za tepla. V úvodu práce jsou rozebrány jednotlivé způsoby výroby ventilů, to je metoda pēchování a metoda dopředného protlačování. Ve druhé části práce jdou vybrána jednotlivá zařízení, ze kterých jsou výrobní linky navrženy. V práci jsou rovněž provedeny výpočty nezbytných rozměrů a technických parametrů důležitých pro správný výběr jednotlivých zařízení. Jsou nakreslena bloková schémata pro obě varianty výroby.

Následně je na základě menší prostorové zvolen jako výhodnější návrh linky na výrobu ventilů pēchováním. Je proveden detailnější nákres uspořádání se základními rozměry linky. Byla provedena kontrola produkce a bylo zjištěno, že navržená linka při třisměnném provozu splňuje požadavek na roční produkci až deseti milionů kusů.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŽĐAS, Tvářecí stroje. [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/index.aspx>
- [2] DRASTÍK, František. Kovářství. Praha: SNTLNakladatelství technické literatury, 1960.
- [3] LEINVEBER, Jan. Strojnické tabulky. 2. uprav. a dopl.vyd. Praha: Scientia, 1999, 911 s. ISBN 80-718-3164-6.
- [4] ŠMERAL, Výrobní program. [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/vyrobní_program.html
- [5] ŽENÍŠEK, J.; JENKUT, M.: Výrobní stroje a zařízení, Praha: SNTL 1990. ISBN 80-03-00272-9
- [6] OMES, J.: Stavba výrobních strojů. Tvářecí stroje II – G2S, G2S-K. Brno 2015. Soubor přednášek VUT v Brně, FSI, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
- [7] ABB, Průmyslové roboty. [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty>
- [8] KUKA, Průmyslové roboty. [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty>
- [9] RUDOLF, B.; KOPECKÝ, M.: Tvářecí stroje. Základy výpočtů a konstrukce, Praha: SNTL 1979. DT 621.97 (075).
- [10] Car Reviews - 2013 Car Reviews and 2014 New Cars at Car and Driver: CAR AND DRIVER [online]. 2013 [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.caranddriver.com/photos-12q1/449323/2013-ram-1500-36-liter-v-6-engine-valves-photo-450107>
- [11] Provozní degradace austenitických ventilových ocelí: sborník semináře se zahraniční účastí: 9. října 2006, Liberec. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. 111 s. ISBN 80-737-2113-9.
- [12] LENFELD, P. Technologie II - 1. část, tváření kovů. Skripta, TU Liberec, prosinec 2005, 110 stran, ISBN 80-7372-020-5
- [13] FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2010. 134 s. ISBN 978-80-214-4220-7.
- [14] Vondra a Vondra, Katalog. [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.vondra-vondra.cz/cz/katalog>
- [15] ROX, Výrobky. [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.rox.cz/vyrobky.php>
- [16] E-THERM, Karuselové pece. [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.ethermtz.cz/vyrobky/karuselove-pece/>
- [17] ROBOTERM, Ohříváče přířezů. [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.roboterm.cz/produkty/indukcni-ohrivace/ohrivace-prirezu/>
- [18] KAMELANDER, Ivan. Tvářecí stroje I. Vyd. 3. Brno: Ediční středisko VUT, 1989. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1037-X.
- [19] KAMELANDER, Ivan. Tvářecí stroje II. Brno: Vysoké učení technické, 1985. Učební texty vysokých škol / Vysoké učení technické, fakulta strojní.

- [20] KOVÁČ, A; RUDOLF, B.: Tvárniace stroje. Bratislava: nakladateľství ALFA 1989. ISBN: 80-05-00126-6.
- [21] STANĚK, Jiří. Základy stavby výrobních strojů: tvářecí stroje. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-708-2738-6.
- [22] DRASTÍK, František. Výpočty z oboru kování a lisování. Praha: SNTLNakladatelství technické literatury, 1972.
- [23] RUDOLF, B. Výrobní stroje a zařízení II. Praha: ČVUT Praha, 1990.

11 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

α	tepelný koeficient elektrického odporu	[K ⁻¹]
δ	hloubka vniku	[mm]
η	účinnost	[-]
μ	součinitel smykového tření	[-]
μ_r	permeabilita	[H·m ⁻¹]
ρ	hustota	[kg·m ⁻³]
ρ_1	měrný odpor vsázky	[$\mu\Omega\cdot m$]
ρ_2	měrný odpor induktoru	[$\mu\Omega\cdot m$]
σ	napětí	[MPa]
σ_K	přetvárná pevnost materiálu	[MPa]
φ	přetvoření	[-]
A	práce	[J]
C_m	měrná tepelná kapacita	[J·kg ⁻¹ K ⁻¹]
D, d	průměr	[mm]
F	síla	[N]
f	tření	[-]
I	proud	[A]
l	délka	[mm]
m	hmotnost	[kg]
P	výkon	[ks·h ⁻¹]
Q	teplo	[J]
R	elektrický odpor	[Ω]
S	průřez	[mm ²]
T	teplota	[K]
t	čas	[s]
V	objem	[mm ³]
X	produktivita	[ks·h ⁻¹]

12 SEZNAM PŘÍLOH

1. Nákres uspořádání linky
2. Výkres výkovku ventilu č. 1
3. Výkres výkovku ventilu č. 2
4. Výkres výkovku ventilu č. 3
5. Výkres výkovku ventilu č. 4