

# Renovace a opravy vulkanizačních forem

Bc. Ladislav Vymyslický

---

Diplomová práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**

**Fakulta technologická**

**Ústav výrobního inženýrství**

**akademický rok: 2013/2014**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

**(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

**Jméno a příjmení: Bc. Ladislav Vymyslický**

**Osobní číslo: T12603**

**Studijní program: N3909 Procesní inženýrství**

**Studijní obor: Výrobní inženýrství**

**Forma studia: kombinovaná**

**Téma práce: Renovace a opravy vulkanizačních forem**

**Zásady pro vypracování:**

### **1. teoretická část**

**Vypracujte studii na zvolené téma**

### **2. praktická část**

- analýza poruch vybrané formy**
- možnosti opravy poruchy formy**
- výsledky a hodnocení opravy formy**
- ekonomické zhodnocení opravy**

### **3. závěr**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**1.DVOŘÁK, Zdeněk. Nástroje pro zpracování polymerů, vulkanizační formy. Zlín, 2013**

**2.DVOŘÁK, Zdeněk. Zpracovatelské procesy gumárenské pro konstrukční směry. Zlín, 2013**

**3.DVOŘÁK, Zdeněk a Jakub JAVOŘÍK. Konstrukce výrobků: Konstrukční materiály elastomerní a formy na jejich výrobu. Zlín, 2011**

**4.MAŇAS, Miroslav a Josef HELŠTÝN. Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II, Brno VUT, 1990**

**5.BOBČÍK, Ladislav a spol. Příručka formy pro zpracování plastů. Brno: Uniplast, 1999**

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **10. února 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**

Ve Zlíně dne 10. února 2014

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

*děkan*

L.S.

  
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: Bc. Vymyslický Ladislav

Obor: Výrobní inženýrství

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá způsoby a možnostmi oprav a renovací vulkanizačních forem. Teoretická část popisuje způsoby zpracování polymerů a jsou popsány jednotlivé technologie tváření plastů a elastomerů. V praktické části jsou popsány jednotlivé metody, které se používají v praxi k opravám a renovacím vulkanizačních forem. Pro vlastní experiment byla zvolena metoda opravy mikronavařováním laserem, její možnosti a výsledky použití.

Klíčová slova: forma, vulkanizace, polymer, pryž, ocel, hliník, oprava, renovace

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with ways and possibilities of repairs and renovations of vulcanic moulds. The theoretical part explains ways of polymers processing and describes technologies of forming plastics and elastomers. The practical part describes particular methods used to repair and renovate vulcanic moulds. The method of the repair by laser microwelding was used for the experiment, its possibilities and the results of its usage.

Keywords: mold, vulcanization, polymer, rubber, steel, aluminium, repair, renovation

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Zdeňku Dvořákovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a pomoc při zpracování diplomové práce. Dále děkuji panu Leoši Zámoravcovi a Ing. Petru Petříkovi za pomoc při zpracování praktické části. Velký dík patří mé rodině za podporu při studiu a především mé manželce Dáji za podmínky a prostor, který mi celou dobu studia vytvářela, a bez jejíhož pochopení a trvalé podpory bych to nedokázal.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

**OBSAH**

<b>I</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>POLYMERY.....</b>	<b>12</b>
1.1	KLASIFIKACE POLYMERŮ .....	12
1.1.1	Molekulární struktura plastů .....	13
1.2	TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ .....	14
1.2.1	Vstřikování termoplastů .....	14
1.2.1.1	Vstřikovací stroje.....	16
1.2.1.2	Vstřikovací formy .....	16
1.2.2	Vytlačování .....	20
1.2.2.1	Vytlačování trubek a profilů .....	21
1.2.2.2	Stroje pro vytlačování .....	21
1.2.2.3	Vytlačovací hlavy .....	23
1.2.3	Tvarování .....	25
1.2.3.1	Mechanické tvarování.....	26
1.2.3.2	Pneumatické tvarování.....	26
1.2.3.3	Tvarovací stroje a formy.....	28
1.2.4	Lisování a přetlačování .....	29
1.3	ELASTOMERY .....	31
1.3.1	Vlastnosti elastomerů .....	31
1.3.2	Vulkanizace.....	32
1.4	TECHNOLOGIE VÝROBY GUMÁRENSKÝCH VÝROBKŮ .....	33
1.4.1	Lisování.....	34
1.4.1.1	Lisování ve formě .....	34
1.4.1.2	Lisování a vulkanizace pláštěů pneumatik.....	35
1.4.1.3	Formy pro lisování pláštěů.....	36
1.5	KONSTRUKCE VULKANIZAČNÍCH FOREM .....	38
1.5.1	Stanovení rozměrů dutiny formy .....	38
1.5.2	Formy pro lisování .....	39
1.5.3	Dutina formy .....	40
1.6	MATERIÁLY FOREM.....	40
1.6.1	Oceli .....	41
1.6.2	Slitiny hliníku.....	42
1.6.3	Slitiny mědi .....	42
<b>2</b>	<b>ZPŮSOBY VÝROBY FOREM.....</b>	<b>43</b>
2.1	FRÉZOVÁNÍ .....	43
2.2	ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ .....	44
2.3	ODLÉVÁNÍ FOREM .....	45
2.4	GALVANOPLASTICKÁ VÝROBA FOREM .....	46
<b>3</b>	<b>POVRCHOVÉ ÚPRAVY A TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ FOREM.....</b>	<b>47</b>
3.1	ANORGANICKÉ POVLAKY .....	47
3.1.1	Fosfátování .....	48
3.1.2	Chromátování .....	48
3.1.3	Kovové povlaky .....	48



3.2	TECHNOLOGIE ÚPRAVY POVRCHU DUTIN FOREM .....	49
3.2.1	Fyzikální metody vytváření povlaků .....	49
3.2.2	Chemické metody vytváření povrchových vrstev .....	50
3.2.3	Chemické vylučování sloučenin na povrchu kovů .....	51
<b>4</b>	<b>OPRAVY A RENOVACE FOREM .....</b>	<b>53</b>
4.1	OPRAVY A RENOVACE SVAŘOVÁNÍM A NAVAŘOVÁNÍM .....	53
4.1.1	Navařování plamenem .....	54
4.1.2	Navařování elektrickým obloukem .....	55
4.1.3	Navařování plazmou a mikroplazmou .....	55
4.1.4	Navařování laserem .....	56
4.1.5	Elektrovibrační navařování .....	57
4.1.6	Elektrokontaktní navařování .....	57
4.1.7	Mikronavařování .....	57
4.1.8	Impulsní mikronavařování .....	58
4.1.9	Elektrojiskrové navařování .....	59
4.1.10	Odporové mikronavařování .....	60
4.1.11	Výhody a použití technologie mikronavařování .....	61
4.2	OPRAVY VLOŽKOVÁNÍM .....	61
<b>5</b>	<b>SOUHRN TEORETICKÉ ČÁSTI .....</b>	<b>62</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>NÁPLŇ PRAKTICKÉ ČÁSTI .....</b>	<b>64</b>
<b>7</b>	<b>VÝBĚR ZPŮSOBŮ OPRAV FOREM PRO DIPLOMOVOU PRÁCI .....</b>	<b>65</b>
7.1	OPRAVA TVAROVÉ ČÁSTI FORMY .....	65
7.1.1	Oprava navařením .....	67
7.1.2	Oprava svařováním laserem .....	75
7.1.3	Oprava vložkováním .....	77
7.2	OPRAVA DEZÉNOVÉ ČÁSTI FORMY .....	79
7.3	OPRAVA NOSNÉ ČÁSTI FORMY .....	81
<b>8</b>	<b>EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>84</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>95</b>

## ÚVOD

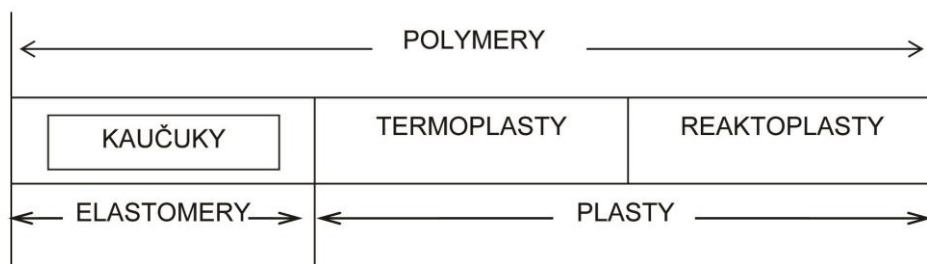
V dnešní době je kladen velký důraz na vysokou ekonomičnost a efektivitu výrobního procesu. Na to má významný vliv kvalita nástrojů. Od výrobců forem jsou vyžadovány vysoké nároky na přesnost, rychlost a kvalitu výroby nových forem, ale také na opravy, úpravy a renovace dílů forem starších. Ať už se jedná o poškození ve výrobě, nebo při konstrukčních a technologických změnách výrobků, je třeba navrhnout technologii opravy tak, aby splnila všechny požadavky na kvalitu, rychlost a cenu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERY

Polymery jsou látky tvořené makromolekulami s převážným obsahem prvků uhlíku C, kyslíku O, vodíku H, dusíku N, chloru Cl a jiných chemických prvků. Jejich použití je ve většině případů z hlediska fyziky ve stavu pevném a tuhém, pastovitém, ve zvláštních případech i ve stavu tekutém (např. součásti mazacích tekutin apod.). Technologie zpracování polymerů obvykle prochází kapalným, nebo pastovitým stavem, kdy budoucímu výrobku určuje tvar zejména technologické zařízení a to většinou za zpracovatelské teploty a tlaku, někdy i v průběhu časového intervalu.

Polymery jsou děleny do dvou skupin. První je skupina elastomerů a druhá je skupina plastů. Plasty jsou dále děleny na termoplasty a reaktoplasty. [1]



Obr. 1 Rozdělení polymerů [2]

### 1.1 Klasifikace polymerů

Elastomery lze obecně považovat za vysoce kondenzované plyny, protože většina dílčích monomerů se vyskytuje v plynném skupenství. Polymerizací vznikají řetězce dlouhých molekul. Jejich molekulová struktura může být amorfní, semikrystalická anebo krystalická. Kaučuky jsou typické amorfní polymery s náhodným uspořádáním molekul. [1]

Plasty jsou polymery za běžných podmínek většinou tvrdé, často i křehké. Při zvýšené teplotě se stávají plastickými a tvarovatelnými. Pokud je změna z plastického do tuhého stavu opakovaně vratná, nazýváme tyto polymery termoplasty. Pokud jde o změnu nevratnou, protože výsledkem je chemická reakce mezi molekulami většinou za zvýšené teploty, mluvíme o reaktoplastech. [2]

### 1.1.1 Molekulární struktura plastů

Plasty jsou obecně makromolekulární látky o molekulové hmotnosti vyšší jak  $10^4$  a z chemického hlediska jsou to látky organické. Podstatou polymerů je makromolekulární látka přírodního nebo syntetického původu, která je tvářitelná za působení teploty  $T$  a tlaku  $p$ , v jejichž makromolekule se jako článek řetězu mnohokrát opakuje základní monomerní jednotka. Základním prvkem řetězce je atom uhlíku. Uhlíkové atomy mají schopnost vzájemně se vázat a vytvářet dlouhé řetězce.

V zásadě existují tři druhy polymerních makromolekul: lineární, rozvětvené (typické pro termoplasty) a zesíťované (kaučuky, reaktoplasty):

- lineární makromolekuly vznikají tak, že se monomerní molekuly řadí jedna vedle druhé „jako korálky na šňůře perel“. Lineární makromolekuly se mohou z prostorových důvodů více přiblížit jedna ke druhé a vyplnit tak kompaktnější prostor. Polymery potom mají vyšší hustotu (např. vysokohustotní polyethylen HDPE). Lineární makromolekuly také snáze vytvářejí prostorově pravidelné shluky krystalických struktur, takže tyto polymery mají vyšší obsah krystalických podílů. Plasty s lineárními makromolekulami jsou obvykle dobře rozpustné a tavitelné (dobrá pohyblivost makromolekul), v tuhém stavu se vyznačují houževnatostí a ve formě tavenin dobrou zpracovatelností.
- rozvětvené makromolekuly se vyznačují tím, že mají na základním řetězci boční větve („přívěsek na šňůře perel“). Rozvětvené makromolekuly se na rozdíl od lineárních makromolekul nemohou v důsledku bočních větví jedna ke druhé dostatečně přiblížit. Proto se vyznačují nižší hodnotou hustoty (např. nízkohustotní polyethylen LDPE). Uspořádanost jejich shluků je nízká a tudíž hůře krystalizují a mají nižší stupeň krystalinity. Rozvětvení zhoršuje i pohyblivost makromolekul a tedy i tekutost v roztaveném stavu. Boční řetězce, které způsobují oddálení sousedních makromolekul, mají za následek pokles mezimolekulárních sil a tím zhoršení většiny mechanických vlastností.
- zesíťované makromolekuly - v tomto případě je několik přímých nebo rozvětvených makromolekulárních řetězců mezi sebou propojeno vazbami, takže vytvářejí jednu takřka nekonečnou makromolekulu - prostorovou síť. Takováto síť vede ke ztrátě tavitelnosti a rozpustnosti polymeru. Polymery vykazují vysokou tvrdost, tuhost a odolnost proti zvýšené teplotě, avšak nízkou odolnost proti rázovému namá-

hání. Sítě mohou být řídké (charakteristické pro elastomerní kaučukovité polymery) nebo husté (reaktoplasty). [3]

## 1.2 Technologie zpracování plastů

Ke zpracování plastů se používá řada technologií. Použitelnost způsobu zpracování plastů je závislá jednak na technologických vlastnostech zpracovávaného plastu, jednak na tvaru a funkci výrobku, kterou má během své životnosti plnit. Podle vztahu mezi plastem vstupujícím do procesu a výsledkem tohoto procesu lze technologie rozdělit do následujících skupin:

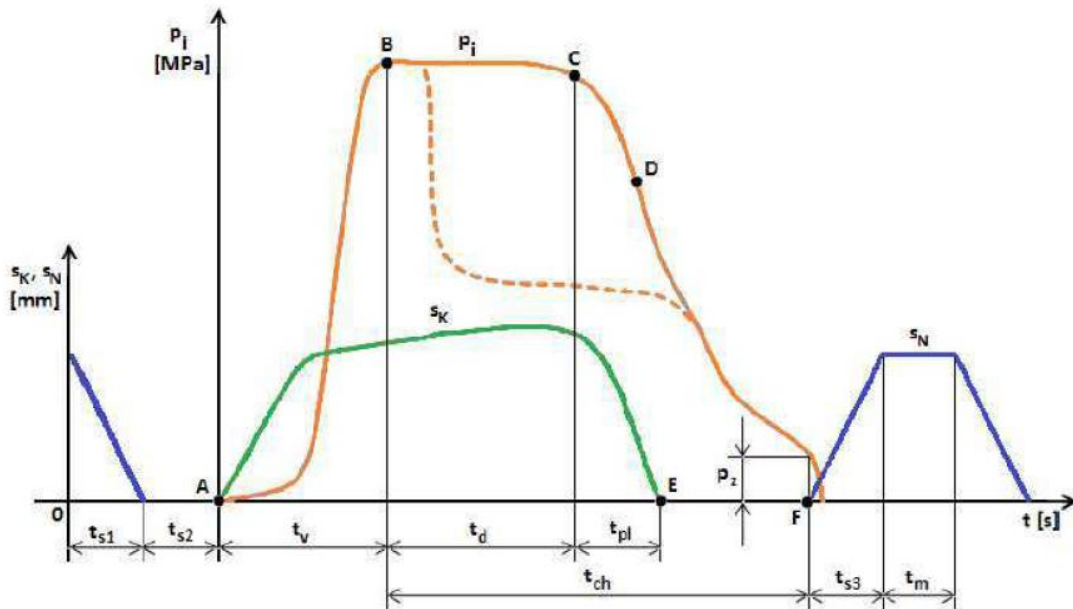
- tvářecí technologie – zahrnují technologie, při kterých se tvar výchozího materiálu mění zásadním způsobem, tzn., že dochází ke značnému přemístování částic materiálu. Tváření probíhá za působení teploty a tlaku nebo obou vlivů současně. Patří sem vstřikování, vytlačování, lisování, válcování, ale i odlévání, laminování, vypěňování, apod. Výsledkem je buď výroba konečného dílu anebo výroba polotovaru.
- tvarovací technologie – zahrnují technologie, u kterých se vychází z polotovaru a hmota mění tvar bez velkého přemístování částic. Může se uplatňovat vliv zvýšené teploty i tlaku, ale také nemusí. Patří sem tvarování desek, výroba dutých těles, ohýbání trubek, obrábění plastů, spojování a spékání plastů.
- doplňkové technologie – slouží k úpravě vlastností hmoty před zpracováním (míchání a hnětení, sušení, granulace, přehřev, atd.) anebo naopak k úpravě finálních výrobků (potiskování, natírání, atd.) a také recyklace. [3]

### 1.2.1 Vstřikování termoplastů

Vstřikováním se vyrábějí takové výrobky, které mají buď charakter konečného výrobku anebo jsou polotovary nebo díly pro další zkompletování samostatného celku. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Technologie vstřikování je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů, je to proces diskontinuální, cyklický. Vstřikováním lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů.

Postup vstřikování je následující: plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Násle-

duje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje. [3]



Obr. 2 Průběh tlaku v dutině formy během vstřikování [3]

$s_K$  – pohyb šneku

$s_N$  – pohyb nástroje (formy)

$t_{s1}$  – doba uzavírání formy

$t_{s2}$  – doba přisouvání vstřikovací jednotky

$t_{s3}$  – doba otevírání formy

$t_v$  – doba vstřikování

$t_d$  – doba dotlaku

$t_{ch}$  – doba chlazení

$t_{pl}$  – doba plastikace

A – začátek vstřikování

B - konec plnění formy

C – začátek dotlaku

D – konec dotlaku

E – konec plastikace (pohyb šneku)

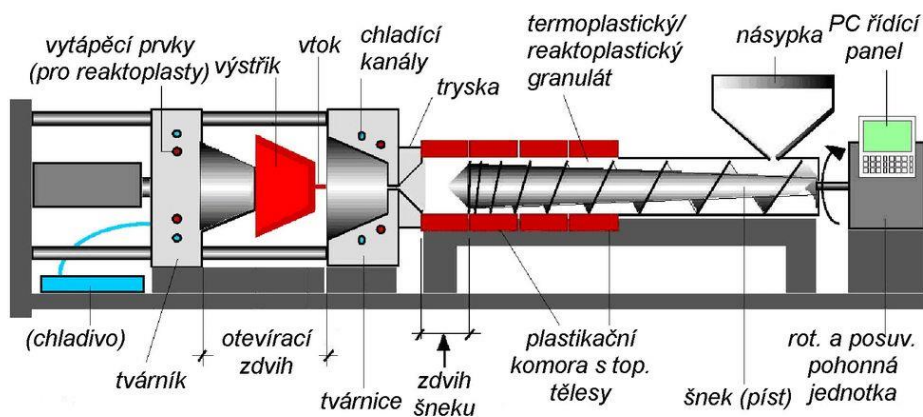
F – začátek pohybu formy

### 1.2.1.1 Vstřikovací stroje

Vstřikovací stroj má dvě na sobě závislé jednotky a to vstřikovací (plastikační) jednotku a uzavírací jednotku. Úkolem vstřikovací jednotky je zajistit dávkování granulátu, jeho plastikaci, vstříknutí roztavené hmoty do vstřikovací formy, provedení dotlaku a a zajištění dalších pohybů tavící komory, tj. její odsunutí a přisunutí k formě. Posuv šneku i celé jednotky je hydraulický, vstřikovací tlak, což je tlak na čele šneku a rychlost vstřikování se regulují množstvím a tlakem hydraulické kapaliny v hydraulickém systému ovládní vstřikovací jednotky.

Uzavírací jednotka stroje zajišťuje pevné uzavření vstřikovací formy během plnění a všechny pohyby formy nutné k vyhození hotového výrobku z formy.

Regulační a ovládací zařízení vstřikovacího stroje zabezpečuje poloautomatický nebo automatický provoz stroje a samočinné dodržování nastavených technologických parametrů, tzn. teploty vstřikované hmoty, vstřikovacího tlaku, vstřikovací rychlosti, teploty formy a časového rozčlenění vstřikovacího cyklu. [1]



Obr. 3 Schéma vstřikovacího stroje [3]

### 1.2.1.2 Vstřikovací formy

Formy pro zpracování musí odolávat vysokým tlakům, musí poskytovat výrobky o přesných rozměrech, musí umožnit snadné vyjmutí výrobku a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Jejich konstrukce a výroba je náročná na odborné znalosti, ale i na finanční náklady. Volba materiálu formy závisí na druhu zpracovávaného plastu, na



použité technologii, na velikosti výrobku a jeho složitosti, na velikosti série, na tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi, na ceně, apod. Důležitým faktorem životnosti formy je provedené tepelné zpracování na tvarových částech nástroje. Dalším důležitým úkolem při konstrukci forem je stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí. Pro určení a výpočet těchto rozměrů jsou rozhodující smrštění, tolerance jednotlivých rozměrů vylisku a opotřebení činných částí nástroje. Nejdůležitější je však smrštění zpracovávaného materiálu. [3]

Označení			Chemické složení						Obvyklý způsob použití
Podle chemického složení	Číselné označení	Uvedeno v	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	
<b>Oceli k zušlechťování</b>									
40CrMnMo7	1.2311	SEL <sup>1)</sup>	0,40	0,30	1,50	2,0	0,2	-	Větší a střední formy a rámy též pro formy na tlakové lití, díly používané ve všeobecném strojírenství.
40CrMnMoS8-6	1.2312	DIN 17 350	0,40	0,40	1,50	1,9	0,2	- <sup>2)</sup>	Obdobně jako 40CrMnMo7, avšak s lepší obrobitelností.
40CrMnNiMo8-6-4	1.2738	EN ISO 4957	0,40	0,30	1,45	1,95	0,20	1,0 <sup>2)</sup>	Velké formy, s vyšší pevností a houževnatostí, díly používané ve všeobecném strojírenství.
<b>Oceli k cementováním</b>									
21MnCr5	1.2162	EN ISO 4957	0,20	0,25	1,25	1,15	-	-	Formy střední velikosti se zvýšenou otěruvzdorností po cementaci.
X19NiCrMo 4	1.2764	DIN 17 350	0,19	0,25	0,30	1,25	0,20	4,05	Formy větší a střední velikosti se zvýšenou otěruvzdorností po cementaci a vyšší houževnatostí jádra.
<b>Oceli korozivzdorné</b>									
X40Cr14	1.2083	EN ISO 4957	0,40	≤1,0	≤1,0	13,5	-	-	Formy pro zpracování chemicky agresivních plastů případně s podíly abrazivních látek.
X38CrMo16	1.2316	EN ISO 4957	0,38	≤1,0	≤1,5	16,5	1,05	≤1,0	Formy pro zpracování chemicky agresivních plastů případně s podíly abrazivních látek. Oproti X40Cr14 vyšší korozní odolnost a prokaltelnost.

<sup>1)</sup>SEL = Stahl-Eisen-Liste, <sup>2)</sup>střední obsah síry = 0,075 %.

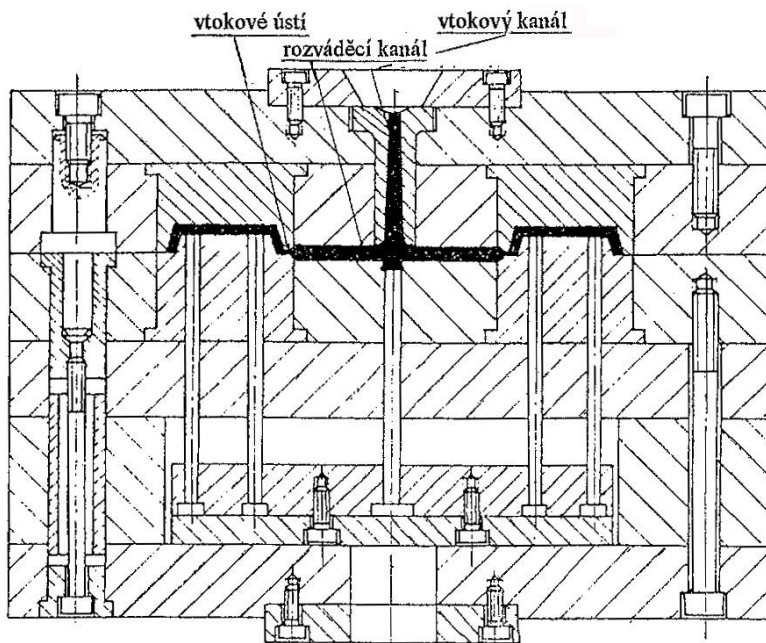
Tab. 1 Přehled vybraných nástrojových ocelí pro zpracování plastů [4]

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin:

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třidedkové, etážové, čelist'ové, vytáčeční, apod.,
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny.

Vstřikovací forma se skládá z dílů, vymežujících tvarovou dutinu formy, z chladicího (temperačního) systému, z vtokového systému, z vyhazovacího systému a z upínacích a vodících elementů. Jednotlivé části vstřikovacích forem lze rozdělit do dvou skupin na části konstrukční a na části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje a funkční části se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar.

Kvalitu a jakost výstřiku spolu s produktivitou výroby nejvíce ovlivňuje vtokový systém, což je systém kanálů a ústí vtoku, který musí zajišťovat správné naplnění dutiny formy, snadné odtržení nebo oddělení od výstřiku a snadné vyhození vtokového zbytku. Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, podle jejich rozmístění a podle toho, zda bude konstruována jako studený nebo horký rozvod. Konstrukční řešení vtokového systému závisí na konkrétním tvaru výstřiku a na násobnosti formy. Při vstřikování termoplastů má druh a umístění vtoku podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření tzv. studených spojů, orientaci makromolekul a plniva, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, povrchový vzhled, apod. Vtok má být zásadně řešen tak, aby tavenina naplnila formu nejkratší cestou bez velkých teplotních a tlakových ztrát, co nejrychleji a pokud možno všude ve stejném čase. U vícenásobných vstřikovacích forem je nejdůležitějším požadavkem, aby všechny tvarové dutiny byly plněny současně a při stejných technologických podmínkách, což znamená při stejné teplotě taveniny a při stejném vnitřním tlaku. Při vstřikování termoplastů má typ a umístění vtoku podstatný vliv na proudění taveniny ve formě vytváření tzv. studených spojů, orientaci makromolekul a plniva, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, povrchový vzhled apod.



Obr. 4 Vtokový systém formy [5]

Pro zajištění opakovatelnosti výroby musí hmota v dutině formy zchladnout z technologického a ekonomického hlediska co nejrychleji a proto vstřikovací formy obsahují temperační systém. Temperačním systémem se rozumí systém kanálů a dutin, umožňujících přestup a prostup tepla z taveniny do formy a temperovací kapaliny. Teplota for-

my se udržuje na požadované výši pomocí chladicího média, které protéká soustavou chladicích kanálů. S ohledem na vlastnosti výrobku by bylo žádoucí, aby se hmota ochlazovala ve všech místech stejnou rychlostí. Důsledky nerovnoměrného ochlazování se projevují např. tím, že výrobek obsahuje vnitřní pnutí nebo se deformuje anebo vzniknou trhliny. Temperační systém bývá rozdělen do dvou dílčích okruhů, a to na okruh pro pevnou neboli vtokovou část formy a na okruh pro pohyblivou část. Každý z okruhů se dále může dělit na podokruhy, které se řeší podle způsobu zaformování výstřiku ve formě a podle polohy dělicí roviny. Rozmístění temperačních kanálů a jejich rozměry je nutno navrhnout s přihlédnutím k celkovému řešení formy, např. umístění vtokové soustavy, vyhazovacích systému, tvarových vložek a jiných dílů, ale i k požadavku na těsnost temperačního okruhu. Vzdálenost kanálů od líce formy má být navržena tak, aby nedošlo k porušení povrchu tvarové dutiny formy a aby v tvarové dutině nevznikala podchlazená místa. Výhodnější je použít větší počet malých kanálů, než naopak. Kolem dutiny formy se kanály rozmísťují rovnoměrně a v optimálním případě je jejich vzdálenost od líce formy všude stejná. Pouze tam, kde je třeba zvýšit intenzitu chlazení, se kanály přiblíží líci formy nebo se zmenší vzdálenost mezi nimi. Průřez kanálů se volí zpravidla kruhový a bývá 6 až 20 mm. Vedle kruhových kanálů se používají i kanály s obdélníkovým průřezem. Celková délka kanálů má být taková, aby rozdíl teplot temperační kapaliny na vstupu a na výstupu byl max. 3 až 5 °C.

Mimo výše popsaných částí obsahují vstřikovací formy i různé mechanismy pro vyhazování výstřiků, protože výrobky se při ochlazování smršťují a zůstávají na tvarových součástech formy. Nejčastější způsob vyhazování výstřiků je mechanický princip buď pomocí vyhazovacích kolíků, nebo pomocí stíracích desek, stíracích kroužků, apod. V řadě případů se jednotlivé způsoby kombinují.

Odvzdušnění tvarové dutiny u vstřikovacích forem je velmi důležité, protože doba vstřiku je velmi krátká a mohlo by dojít k nedokonalému vyplnění tvarové dutiny taveninou plastu, k nebezpečnému zvýšení tlaku, k poklesu pevnosti v místech studených spojů nebo k tzv. diesel efektu, kdy může dojít až ke spálení materiálu. Proto je nutné zajistit intenzivní odvod vzduchu z tvarové dutiny formy, a to nejenom netěsnostmi v dělicí rovině, ale i konstrukcí odvzdušňovacích kanálků, které však nesmějí být příčinou vzniku otřepů na výrobku. Odvzdušnění má být provedeno v dělicí rovině na protilehlém místě vtoku. Na dosta-

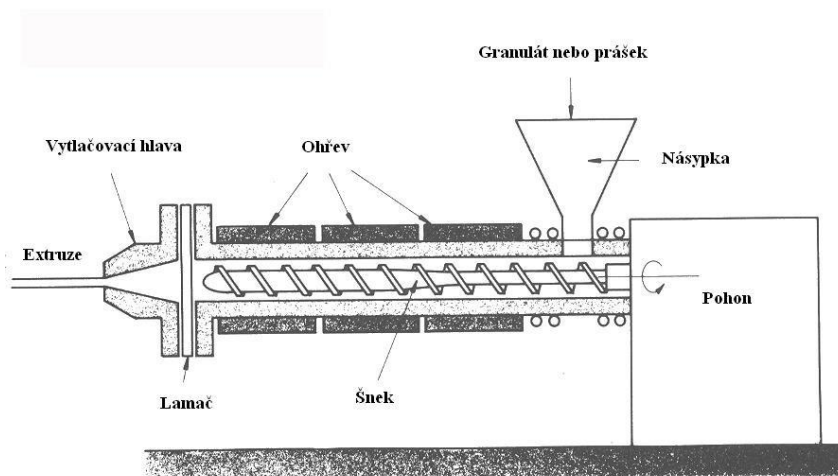
tečné odvzdušnění formy má vliv umístění vtoku, způsob zaformování výstřiku, umístění vyhazovačů, přítomnost tvarových vložek, apod. [3]

### 1.2.2 Vytlačování

Vytlačování je technologická operace, při které je tavenina plastu kontinuálně vytlačována přes profilovací zařízení (vytlačovací hlavu) do volného prostoru. Technologie vytlačování slouží k výrobě buď konečných tvarů, nebo k výrobě polotovarů. Podle tvaru konečného výrobku nebo tvaru polotovaru se technologie vytlačování mohou rozdělit do tří základních skupin:

- výroba trubek a profilů,
- výroba fólií a desek,
- ostatní způsoby (oplašťování, výroba vláken a povlaků, atd.). [3]

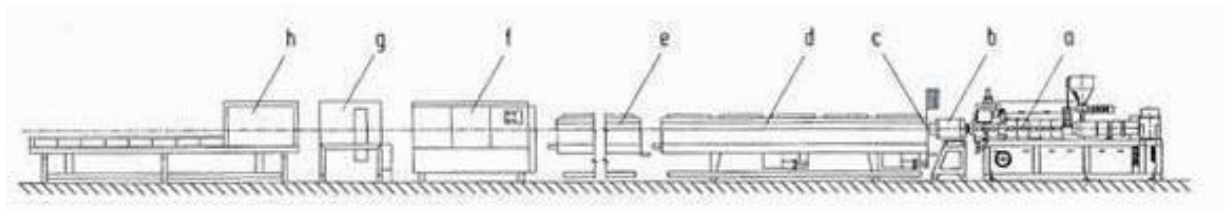
Vytlačování je procesem kontinuálním. Pro vytlačování jsou používány šnekové vytlačovací stroje, které svým plastikačním výkonem odpovídají kontinuální výrobě zadaného profilu polotovaru. Vlastní tvar získá profil ve vyhřívané vytlačovací hlavě, zakončené profilovací hubicí a nasazené přímo na plastikační jednotku vytlačovacího stroje. Potřebný tvářecí tlak se získá otáčením šneku, který je nejdůležitější funkční částí vytlačovacího stroje. [1]



Obr. 5 Šnekový vytlačovací stroj [6]

### 1.2.2.1 Vytlačování trubek a profilů

Linka na vytlačování uzavřených i otevřených profilů a trubek se skládá ze šnekového vytlačovacího stroje, vytlačovací hlavy a ze zařízení měřicího, kalibračního, chladicího, odtaňovacího, dělicího a navíjecího resp. odkládacího. Běžně se používají jednošnekové vytlačovací stroje, neměkčený PVC se vytlačuje na dvoušnekovém vytlačovacím stroji. [3]

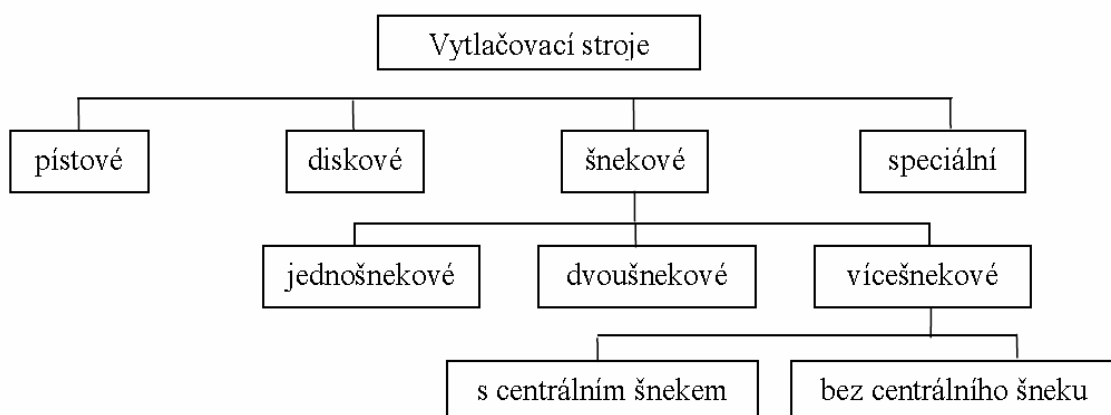


Obr. 6 Linka na výrobu trubek [3]

a – vytlačovací stroj, b – vytlačovací hlava, c – kalibrace, d – kalibrační jednotka, e – chlazení, f – měřicí zařízení, g – dělicí zařízení, h – odkládací zařízení, i – navíjení

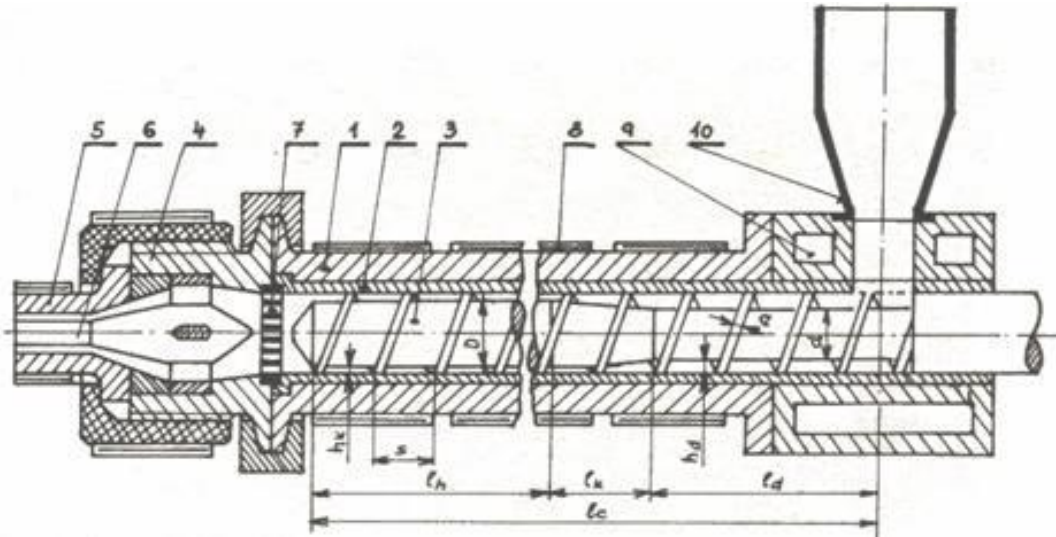
### 1.2.2.2 Stroje pro vytlačování

Vytlačovací stroje jsou určeny ke kontinuální nebo diskontinuální výrobě desek, folií, tyčí, profilů, trubek a jiných výrobků. Princip vytlačování spočívá v převedení materiálu do plastického stavu a vytlačení taveniny do volného prostoru. Po vytlačení následují další operace jako fixace tvaru a rozměru (kalibrace), chlazení, ev. vulkanizace a chlazení. Vytlačovací stroje se dělí podle hlavní pracovní části na pístové, diskové, šnekové a speciální. [7]



Obr. 7 Rozdělení vytlačovacích strojů podle hlavního pracovního elementu [7]

Dnes se k vytlačování používají zejména šnekové vytlačovací stroje. Šnekové vytlačovací stroje se vyrábějí v mnoha rozmanitých provedeních, které se od sebe mohou lišit různým provedením pracovní komory a šneku s vybavením. [7]



Obr. 8 Jednošnekový vytlačovací stroj [3]

1 – pracovní válec, 2 – pouzdro, tavicí komora, 3 – šnek, 4 – vytlačovací hlava, 5 – hubice, 6 – trn, 7 – lamač, 8 – topení, 9 – chlazení, 10 – násypka

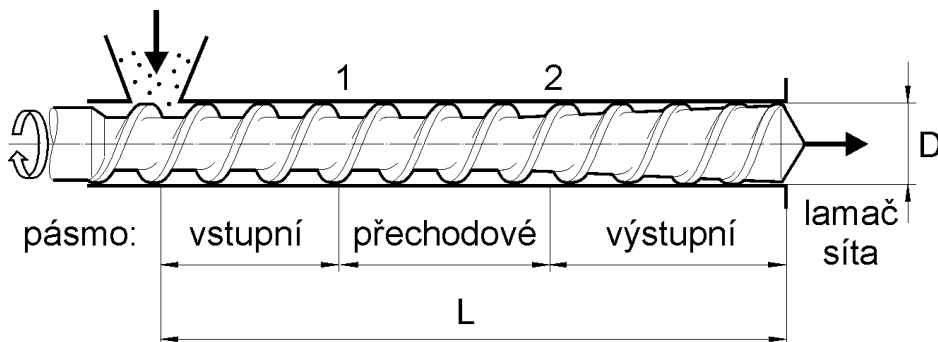
Šnek je nejvýznamnější funkční částí vytlačovacího stroje. Teoreticky by každý plast vyžadoval svůj speciální šnek, ale v praxi se používá několik ověřených konstrukcí šneku, které buď výrobce vytlačovacího stroje, nebo dodavatel polymeru pro jeho optimální zpracování doporučí.

Velikost vytlačovacího stroje se určuje průměrem šneku  $D$  a jeho účinnou délkou  $L$ , která se obvykle vztahuje k průměru poměrem  $L / D$ . Pro zpracování termoplastů se používají většinou šneky s poměrem  $L / D = 20$  a vyšším. Běžně jsou používány jednochodé šneky s úhlem stoupání  $17,7^\circ$ , což odpovídá stoupání závitů rovnému jednomu průměru. Šířka hřbetu závitů bývá obvykle  $0,1 D$ , vůle mezi hřbetem závitů a válcem  $0,002$  až  $0,005 D$ . Dále jsou šneky pro zpracování polymerů charakterizovány tzv. kompresním poměrem. [3]

<b>D</b>	20	25	32	45	63	90	125	160	200	250	320	400
<b>L/D</b>	8	10	12	15	(18)	20	(24)	25	30	35		

Tab. 2 Poměr  $L/D$  šneku [7]

Kompresní poměr vyjadřuje poměr objemů šnekového profilu pro jedno stoupání ve dvou místech šneku – obvykle na konci šneku a pod násypkou. Změny kompresního poměru se obvykle dosahuje změnou hloubky šnekového profilu. Provedení šneků a jejich zakončení se liší podle druhu zpracovávaného plastu. [7]



Obr. 9 Pracovní pásma šnekového vytlačovacího stroje

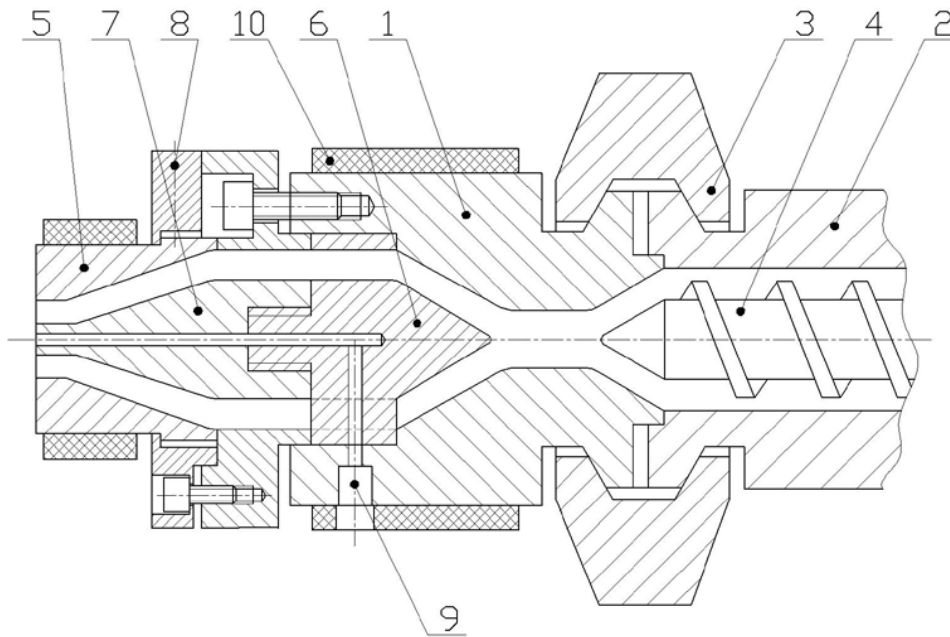
### 1.2.2.3 Vytlačovací hlavy

Vytlačovací hlava je část stroje, ve které dopravovaný materiál získává definitivní, ale nefixovaný tvar. Hlava musí mít takový profil, aby zaručovala pravidelný a trvalý tok taveniny. Nesmí v ní existovat tzv. mrtvé prostory, ve kterých by se materiál mohl zastavit a zůstat tak dlouho v kontaktu s vyhřívaným tělem hlavy, až by degradoval. Mezi konec šneku a vytlačovací hlavu se vkládá lamač, což je děrovaná deska s otvory (3 až 8 mm) pro konečnou homogenizaci taveniny.

Podle konstrukčního uspořádání rozdělujeme vytlačovací hlavy na hlavy přímé, nepřímé, širokoštěrbinové a speciální. Rozdělení může být i podle druhu vyráběných výrobků a polotovarů.

Hlavy přímé jsou především určené pro vytlačování uzavřených symetrických profilů - jako jsou např. trubky, hadice nebo uzavřených nesymetrických profilů, jako je např. okenní profil. Konstrukce hlavy pro uzavřené profily by měla zabezpečit volný přívod vzduchu do dutin profilu obzvlášť u navíjených profilů. Dále se přímé hlavy používají k vytlačování otevřených profilů, jako je např. okapový žlab, apod. [3]





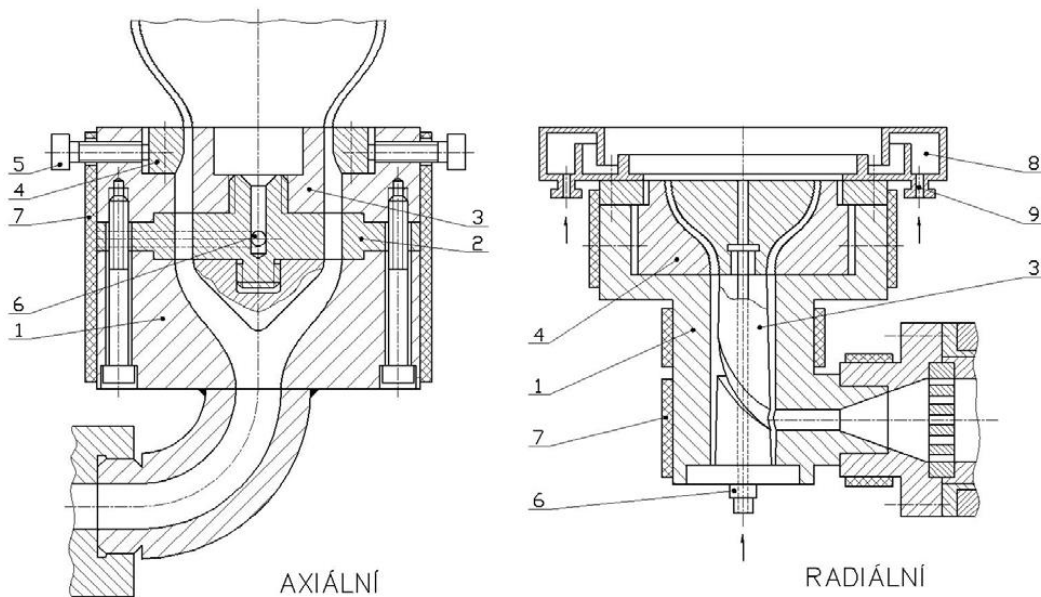
Obr. 10 Přímá vytlačovací hlava na trubky

1 – těleso vytlačovací hlavy, 2 – pracovní válec, 3 – objímka, 4 – šnek, 5 – vytlačovací hubice, 6 – rozdělovač, 7 – trn, 8 - seřizovací šrouby, 9 – přívod vzduchu, 10 – topení

Hlavy nepřímé tj. hlavy příčné a šikmé se používají pro opláštění vodičů, kabelů nebo kovových profilů, vyfukování fólií nebo dutých předmětů. Hlavy pro opláštění vodičů mají vrtaný trn, kterým prochází vodič a tím se vyhýbáme vedení přes šnek. Nepřímé hlavy mají různý úhel odklonu od osy šnekového vytlačovacího stroje. U příčných hlav je tento úhel  $90^\circ$ , u šikmých hlav je  $30$  až  $60^\circ$ . Čím větší je úhel odklonu, tím větší jsou problémy s nerovnoměrností toku taveniny.

Technicky náročné jsou hlavy pro vyfukování fólií. Vytlačovaná trubka musí mít nejen naprostou rovnoměrnou tloušťku stěny, ale také stejnou viskozitu a teplotu. Jsou možné dva způsoby konstrukce: hlava s radiálním vtokem a hlava s axiálním vtokem. U radiálních hlav je rovnoměrnost rozdělení taveniny zajišťována tvarem trnu, který reguluje velikost mezery na straně šneku a na opačné straně. U axiálních hlav se regulování tloušťky provádí radiálním posuvem hubice. [3]





Obr. 11 Příčné hlavy na vyfukování fólií

1 – těleso hlavy, 2 – rozdělovač, 3 – trn, 4 – hubice, 5 – stavěcí šroub, 6 – přívod stlačeného vzduchu, 7 – topné těleso, 8 – chladicí prstenec, 9 – chladicí vzduch

Širokoštěrbinové hlavy rozvádějí materiál pomocí kanálů do široké štěrbiny. Odpor toku a tedy množství hmoty na výstupu se řídí stavěcími šrouby. Nejčastější tvar širokoštěrbinových hlav je tvar „rybího ocasu“, který nemá mrtvé prostory, ale u kterého je problematické nastavení při změně tokových vlastností plastu. Proto se pro vytlačování fólií používají hlavy s tvářecí lištou.

Mezi speciální vytlačovací hlavy patří hlavy pro ostatní aplikace, jako např. granulární hlava, hlava pro výrobu vláken, hlava pro vytlačování sítí, hlavy pro vícevrstvé materiály, sřížná hlava, hlavy pro kaučuky, apod. [3]

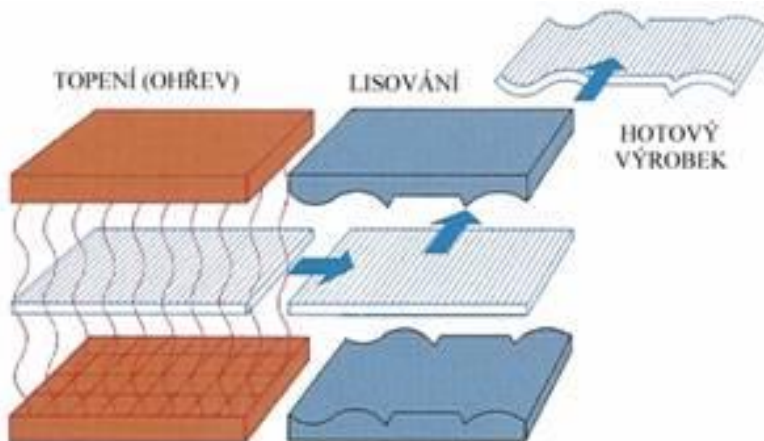
### 1.2.3 Tvarování

Tvarování je výrobní postup, u kterého polotovary ve tvaru desky nebo fólie mění svůj tvar bez většího přemísťování částic hmoty. Většinou se provádí za tepla, jen ve výjimečných případech je možné některé plasty tvarovat bez ohřevu, ale vždy se jedná o výrobky jednoduchých tvarů a bez velkých nároků zejména na rozměrovou přesnost. Tvarováním desek za tepla se vyrábějí různé kryty, nádoby, kufry, apod. Velký význam má tato technologie v obalové technice. Tvarováním za tepla lze zpracovávat pouze termoplasty. Tvarováním lze zpracovávat desky téměř ze všech termoplastů.

Podle velikosti síly se tvarování dělí na mechanické a pneumatické, které se dále dělí na podtlakové a přetlakové. Podle tvaru výrobku se dělí na negativní (tvarování do dutiny) a pozitivní (tvarování na tvárník) a na kombinované. Podle způsobu předtvarování se dělí na tvarování s mechanickým nebo pneumatickým předtvarováním. [3]

### 1.2.3.1 Mechanické tvarování

U mechanického tvarování se změny tvaru polotovaru dosahuje vzájemným působením jednotlivých částí dvoudílné formy na tvarovaný materiál. Způsob umožňuje používat vyšší tvarovací tlaky, než u ostatních způsobů, případně kombinovat tvarování s přímým oddělením výrobku od zbytku polotovaru. [3]



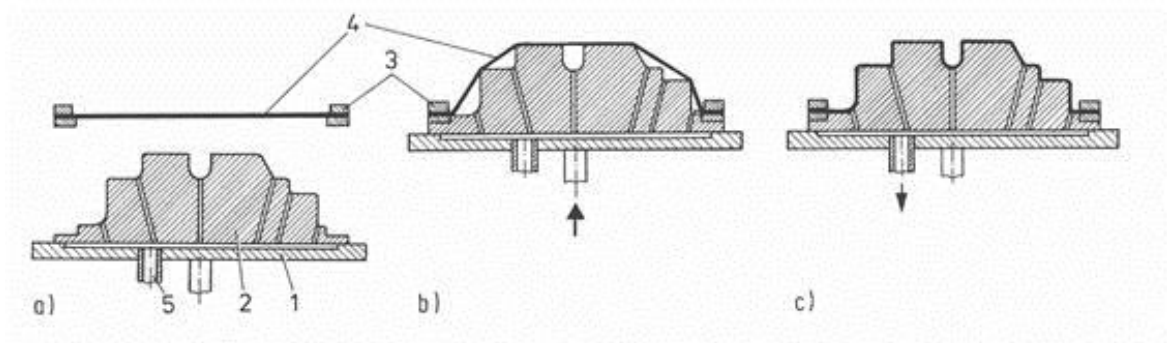
Obr. 12 Mechanické tvarování [3]

### 1.2.3.2 Pneumatické tvarování

V praxi je v současné době nerozšířenější podtlakové tvarování, u něhož k dosažení změny tvaru polotovaru postačuje rozdíl atmosférického tlaku a vakua vytvořeného v dutině formy vývěvou. Tvarovací tlak je tedy roven maximálně několika desítkám kPa. U přetlakového způsobu se síla k tvarování vyvozuje působením tlakového média, obvykle stlačeného vzduchu, jehož tlak bývá v rozmezí asi od 0,2 do 1 MPa. Často se přetlakový způsob kombinuje s podtlakovým. Nízké tlaky umožňují používat formy z málo pevných materiálů.

K přednostem podtlakového tvarování patří možnost vyrábět předměty s velkou plochou a přitom s tenkou stěnou. Jednoduché, a tedy i levné tvarovací formy, stejně jako relativně málo nákladná tvarovací zařízení dovolují ekonomickou výrobu předmětů i v malých sériích, např. jen několika desítek kusů. Je možné tvarovat desky předem potisknuté nebo jinak

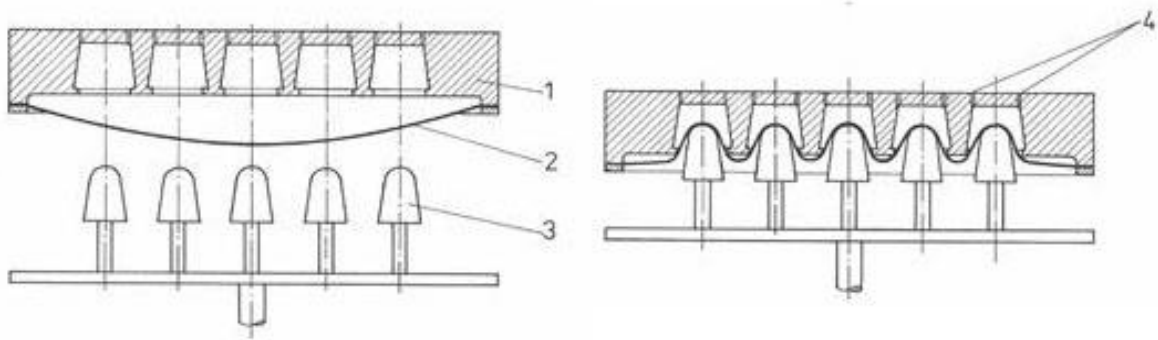
povrchově upravené. V dnešní době se tvarováním zpracovávají desky s tloušťkou až 10 mm a fólie od tloušťky 0,3 mm, výjimečně již od 0,1 mm. Pro výroby, získávané tepelným tvarováním desek, je charakteristický vysoký poměr délky k tloušťce stěny výrobku. Ten není z hlediska materiálu omezen a v podstatě je limitován velikostí tvarovacího zařízení a rozměry vyráběných desek. Velkou výhodou tvarování oproti vstřikování jsou podstatně nižší náklady na pořízení tvarovacího stroje i tvarovací formy. Mohou být až desetkrát nižší. Nevýhodami tvarování je vyšší cena desek oproti granulátu, a dosti velký podíl technologického odpadu. [3]



Obr. 13 Pozitivní podtlakové tvarování [3]

1 – stůl, 2 – tvárník, 3 – rám stroje, 4 - deska

Snaha dosáhnout co nejrovnoměrnější tloušťky stěny výtahků vedla k vývoji celé řady kombinovaných způsobů tvarování. Modifikací jednoduchého negativního tvarování je negativní tvarování s mechanickým předtvarováním. Ve své podstatě se jedná o kombinaci způsobu negativního a pozitivního. Tento způsob tvarování je vhodný i pro desky s větší tloušťkou, a to až 10 mm a umožňuje výrobu vylisků s poměrem  $H / D$  až 1,5. Výhodou je velmi rovnoměrná tloušťka stěny výrobku a možnost použití vícenásobných forem v hromadné výrobě. Nevýhodou je složitější a dražší zařízení, které vyžaduje přesné dodržení nejen sledu, ale i doby trvání jednotlivých operací. [3]

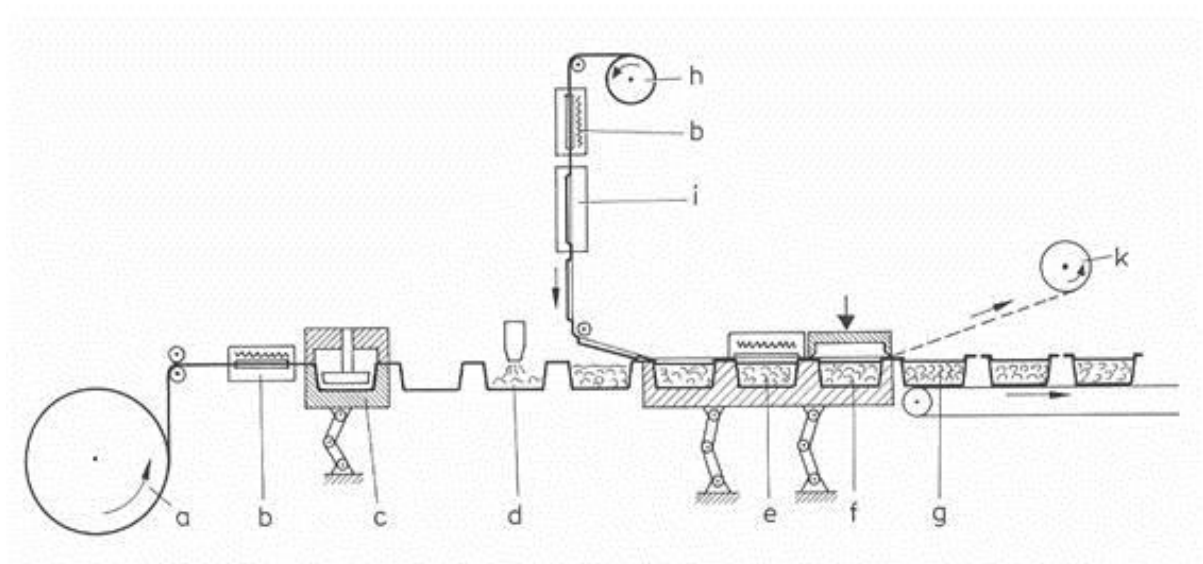


Obr. 14 Vícenásobná forma pro negativní tvarování s mechanickým předtvarováním

1 – tvárnice, 2 – deska, 3 – tvárník, 4 – odsávací otvory

### 1.2.3.3 Tvarovací stroje a formy

Tvarovací stroje jsou konstrukčně velmi jednoduché, většinou stolové konstrukce. Pohyb je ovládán hydraulicky, pneumaticky nebo mechanicky. Rám pro uchycení desky je opatřen pryží a upínání je mechanické nebo pneumatické. K ohřevu se většinou používají sálavé zdroje tepla, infrazářiče nebo pece. Tvarovací stroje jsou součástí linek, které na začátku dělí desky (stříháním, řezáním) a na konci opět oddělují díly nebo třeba plní výrobky. [3]



Obr. 15 Linka na tvarování desek [3]

a - plastová fólie, b – ohřev, c – tvarování, d – plnění, e – uzavírání, f – vysekávání, g – hotový výrobek, h – hliníkové fólie, i – předtvarování s potiskem, k – navíjení zbytku

K přednostem tvarování termoplastických desek patří možnost používat jednoduché a zpravidla jednodílné tvarovací formy, protože funkci druhého dílu zastává okolní přetlak

vzduchu. Tvarovací síly jsou malé, a proto formy mohou být z málo pevných materiálů. Materiál forem musí snést alespoň krátkodobě teplotu v rozmezí od 20 do cca 200 °C.

Sádrové formy se hodí jen pro zhotovení několika kusů výtažků, např. při ověřovacích zkouškách, protože sádra vlivem teplotních změn snadno praská. Dřevěné formy jsou trvanlivější, ale kvalita jejich povrchu se postupně zhoršuje se střídající se teplotou. Naproti tomu formy z tvrzené tkaniny mají životnost až 20 000 pracovních cyklů, ovšem podobně jako u dřeva je obtížné leštěním dosáhnout hladkého povrchu. Z tohoto hlediska je lepší tvrzené dřevo. Formy vyrobené odléváním epoxidových pryskyřic mají kvalitní povrch i dobrou rozměrovou stabilitu. Špatná tepelná vodivost samotných epoxidů se zlepší přidávkem litinového nebo hliníkového prášku nebo se do formy zalijí měděné trubky, kterými protéká chladicí kapalina. Pro velké série jsou nejvhodnější formy z lehkých slitin. Vyrábějí se většinou odléváním a dodatečným obrobením funkčních ploch. Ocelové formy jsou nejtrvanlivější, ale používají se málo.

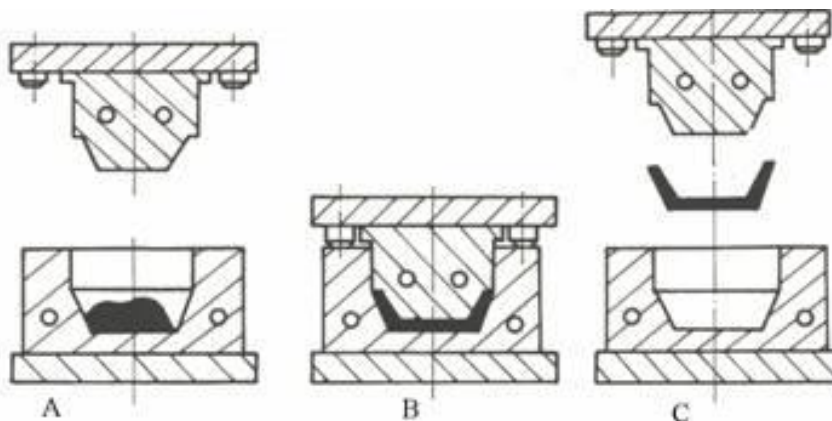
Formy musí být opatřeny odsávacími otvory, které spojují prostor dutiny formy pod tvarovanou deskou se zásobníkem a s odsávacím zařízením. Otvory jsou rozmístěny rovnoměrně po celém funkčním povrchu formy, aby nedošlo k uzavření zbytku vzduchu v některém místě dutiny. Otvorů musí být dostatečný počet a musí mít i správný průměr. Ten závisí na druhu plastu a na tloušťce tvarované desky. Mají-li otvory příliš velký průměr, zůstanou na výtažku jejich otisky, které zhoršují vzhled výtažku. [3]

#### **1.2.4 Lisování a přetlačování**

Lisování a přetlačování plastů jsou dva základní technologické způsoby, které byly používány jako jedny z prvních technologických postupů na zpracování plastů. Převážně se jimi zpracovávají reaktoplasty. V současné době jsou tyto technologie nahrazovány vstříkiváním, neboť se výrazně zkracuje celkový výrobní cyklus, odpadají dodatečné operace, snižuje se prašnost, apod. [3]

Lisování je způsob tváření plastů ve vytápěné formě, nejčastěji ocelové, kdy se na materiál působí tlakem pro dosažení požadovaného tvaru. Základní technologické parametry lisování plastů jsou: lisovací tlak, teplota lisování a doba vytvrzování. Lisovací tlak ovlivňuje kvalitu povrchu vylisku, smrštění. Závisí na druhu hmoty, geometrii výrobku, na teplotě přehřevu a teplotě lisování. Bývá v rozmezí 10 až 60 MPa. Lisovací formy jsou vytápěny elektrickým odporovým topením na teplotu lisování, což je vlastně teplota lisovací formy. Teploty lisování závisí na druhu plastu, tloušťce stěny, geometrii výrobku, teplotě pře-

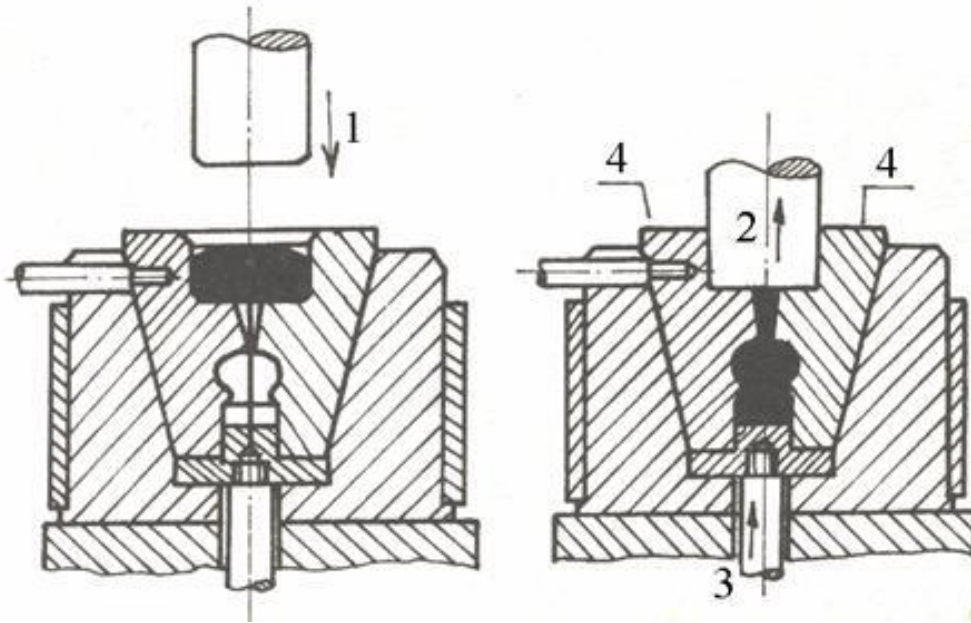
dehřevu a jsou v intervalu od 130 do 190 °C. Důležitá je rovnoměrnost teploty formy a stejné parametry na straně tvárníku i tvárnice. Doba vytvrzování se určuje obtížně a nejjednodušší způsob je podle tloušťky stěny výrobku (u fenolických hmot je to kolem 1 až 1,5 min na 1 mm tloušťky). Podle použitého tlaku s lisování dělí na nízkotlaké a vysokotlaké, kdy hranicí je 3,5 MPa. [3]



Obr. 16 Princip lisování [3]

A – vložení materiálu do dutiny formy, B – lisování a vytvrzování, C – vyhození vylisku

Přetlačování reaktoplastů je způsob, při kterém se dávka plastu nevkládá přímo do tvarové dutiny formy, ale do pomocné dutiny formy, odkud je po zplastikování přetlačena tlakem vtokovými kanály do vlastní dutiny formy. Přetlačování se používá pro vylisky složitých tvarů, pro vylisky se základy, apod. Výrobek sice nemá přetoky, ale velké množství hmoty zůstává ve vtokovém systému a v pomocné dutině, neboť i zde se musí objem dávky navýšit oproti objemu konečného výrobku. Přetlačovací tlaky jsou oproti lisování vyšší, bývají kolem 50 až 100 MPa, mohou se však snížit předehřevem plastu. Doba vytvrzování vůči lisování je kratší, cyklus je však delší v důsledku většího počtu operací. [3]



Obr. 17 Princip přetlačování [3]

1 – přetlačení vloženého plastu, 2 – pohyb tvárníku, 3, 4 – vyhození výlisku

### 1.3 Elastomery

Elastomer (pryž) je výjimečný svou velkou pružnou deformací. V inženýrské praxi je smykový modul elastomerů definován jako  $G = nkT$ , kde  $n$  je počet řetězců elastomeru v jednotkovém objemu,  $k$  je Boltzmannova konstanta a  $T$  je teplota ve stupních Kelvina. Mnoho elastomerních materiálů má při stejné teplotě (nad bodem skelného přechodu) podobné hodnoty smykového modulu  $G$  nebo tvrdosti. Teplota a některé další parametry mají výrazný vliv na jejich vlastnosti.

Elastomerní materiály patří do hlavní skupiny polymerů, které dále rozdělujeme do podskupiny přírodní a syntetické materiály.

#### 1.3.1 Vlastnosti elastomerů

Elastomery (přírodní a syntetická pryž) jsou směsí amorfních polymerů a dalších přísad. Vulkanizací se těchto materiálů vzniká "pryž, guma, vulkanizát". Tyto materiály nejsou jen pružné, ale díky své viskoelastické povaze jsou schopny pohlcovat kinetickou energii. V tlaku a smyku vykazují relativně vysokou pevnost. Stejně jako u jiných materiálů může u nich dojít k materiálové únavě a jejich následnému porušení.

Vlastnosti konstrukčních elastomerních materiálů se v mnoha směrech liší od ostatních konstrukčních materiálů. Rozdíly jsou ve fyzikálních i chemických vlastnostech, omezeném tep-

lotním intervalu jejich použití, vlivu času na změny vlastností apod. Proti těmto omezujícím vlastnostem stojí řada předností. Jsou to zejména vysoká elasticita (hyperelasticita), schopnost snášet opakovaně značnou deformaci při dlouhé životnosti, schopnost tlumení (přeměňovat energii mechanickou na tepelnou), chemická stabilita v řadě prostředí, elektrické vlastnosti, nepropustnosti pro tekutiny atd.

Pro elastomery je důležitý tvar distribuční křivky molekulových hmot. Čím širší je distribuce molekulových hmot, tím méně je plasticita elastomeru ovlivnitelná teplotou (schopnost tuhé látky zachovat tvarové změny způsobené napětím po uvolnění napětí). Nízkomolekulární části elastomerní kaučukové směsi vulkanizují pomalu a tím ovlivňují vulkanizační proces. Vysokomolekulární části elastomerní směsi jsou naopak houževnaté a zhoršují její zpracovatelnost při přípravě polotovarů.

Vulkanizace kaučukové směsi je fyzikálně-chemický proces, při kterém za působení teploty tlaku po určitý časový interval se kaučuková směs mění na vulkanizát. To znamená, že v látce, která má charakter je převážně plastický, působením fyzikálních sil za dodání tepla po danou dobu dojde chemickým změnám, kdy látka změní svůj charakter na převážně elastický. Látka si zachovává tvar, ve kterém proces vulkanizace proběhl. Výsledný materiálový produkt se nazývá vulkanizát. Vulkanizace kaučukové směsi probíhá v předem stanovených podmínkách teploty tlaku a času, nejčastěji ve vulkanizačních formách. Vulkanizace elastomerní směsi ve formách neprobíhá v celém objemu, zejména u silnostěnných výrobků ve stejném čase díky špatné vodivosti elastomerní směsi.

Vlastnosti výrobku jsou pak ovlivněny vlastnostmi směsi, vulkanizačními podmínkami, jeho tvarem a rozměry a použitou výrobní technologií. [1]

### 1.3.2 Vulkanizace

Je děj, při kterém vznikají v kaučukové směsi pevné chemické vazby mezi jednotlivými řetězovými molekulami za pomoci vulkanizačních činidel. Optimální hustota síťové prostorové struktury závisí na teplotě a čase, po které působí na elastomerní směs. Vzájemný vztah teploty a doby vulkanizace je vyjádřen teplotním koeficientem vulkanizace. Ten udává vzrůst rychlosti vulkanizace při zvýšení teploty o 10 °C (jeho hodnoty jsou 1,8 až 2,5 v závislosti na skladbě elastomerní směsi). Teplota vulkanizace je funkcí i typu kaučuku a volí se v rozmezí 140 až 200 °C. Vyšší teplota – zkrátí se vulkanizační čas, zvýší se teplotní spád se všemi důsledky. Pro kvalitní vulkanizát je důležitý tlak při vulkanizaci.

Přestup tepla mezi zdrojem a elastomerní směsí je neúčinnější je z kovových forem a dále v nasycené páře. Nejhorší je v horkém vzduchu a ohřevem v objemu.



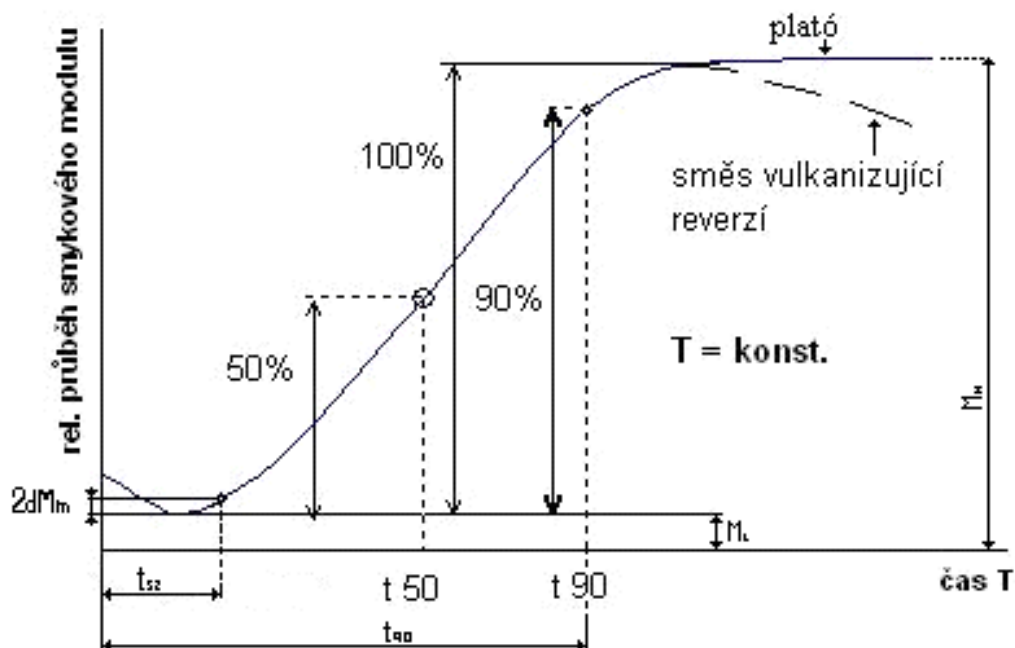
Provozní způsoby vulkanizace jsou dva:

- Kontinuální ve vulkanizačních tunelech (solné lázně, horkovzdušné tunely, MW tunely), bubnových lisech.
- Diskontinuální vulkanizace ve formách, přímé páře, horké vodě, horkém vzduchu, bubnových lisech. [1]

#### 1.4 Technologie výroby gumárenských výrobků

Technologický postup vulkanizace:

- tvarování elastomerní směsi do tvaru výrobku (za tepla, za studena),
- zahřívání na vulkanizační teplotu,
- výdrž na vulkanizační teplotě – vulkanizace (teplota, čas, tlak),
- vyjmutí výrobku z formy (výrobek se ve formě nechladí).



Obr. 18 Vulkanizační křivka [1]

Legenda:

tN- bezpečnost (materiál není z vulkanizovaný- nic se neděje)

t10- množství vytvořených příčných vazeb, který nedovolí vratný děj (10% vulkanizace materiálu)

t40- 40% vulkanizace materiálu (40% příčných vazeb), výrobek se „nezbortí“

t90- 90% příčných vazeb, vytahujeme výrobek z formy, tepelná kapacita pryže je vysoká, a tak výrobek dovulkanizuje vně formy sám

t100- 100% vytvořených příčných vazeb

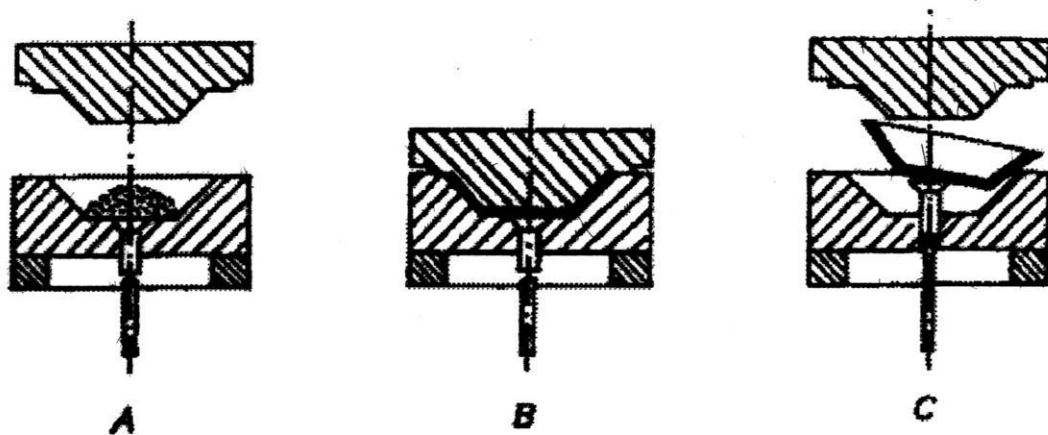
Gumárenské výrobky se dají vyrábět několika základními způsoby, z nichž nejpoužívanější jsou: lisování, přetlačování, vstřikování, vytlačování s následnou vulkanizací a další metody, jako je natírání, máčení, válcování atd. [8]

### 1.4.1 Lisování

Lisování je diskontinuální proces, při kterém se vulkanizace kaučukové směsi provádí teplem ve formě. V průběhu vulkanizace získává gumárenský výrobek současně konečný tvar. Délka výrobního cyklu při lisování závisí hlavně na kinetice vulkanizace a na průběhu ohřevu kaučukové směsi (velký vliv na průběh ohřevu má především tloušťka stěny výrobku). [10]

#### 1.4.1.1 Lisování ve formě

Části formy předehřáté na vulkanizační teplotu mají dutinu odpovídající požadovanému tvaru výrobku. Dutina formy může mít různou velikost a forma může obsahovat jednu nebo více dutin. Tlak ve formě je během vulkanizace vyvozován lisem nebo membránou.



Obr. 19 Princip lisování [8]

a) plnění formy, b) lisování, c) vyjímání vylisku z formy

Po otevření formy je do dutiny vložena nevulkanizovaná kaučuková směs (tzv. předlisek). Po uzavření formy musí směs dutinu zcela vyplnit. Kaučuková směs musí být proto dáv-

kována v přebytku, který při zalisování odchází přes přetokové kanálky. Po uzavření formy získá kaučuková směs konečný tvar a proběhne její vulkanizace.

Pokud směs v průběhu lisování nevyplní zcela formu, je výrobek vadný. Pomoci může změna tvaru nebo zvýšení hmotnosti předlisku, případně změna viskozity kaučukové směsi (viskozita příliš nízká - nevytlačí se všechen vzduch, viskozita příliš vysoká - materiál nevyplní celou formu).

Odvzdušnění formy lze zlepšit několikanásobným otevřením a uzavřením formy během lisování. Na hotovém výrobku lze případně zjistit místo uzavírání vzduchu a v tomto místě do formy navrtat odvzdušňovací otvor malého průměru.

Při lisování mohou vznikat problémy také v důsledku vysoké tepelné roztažnosti a nízké tepelné vodivosti kaučukové směsi ve srovnání s kovovou formou.

Protože viskozita kaučukové směsi klesá s rostoucí teplotou a roste s pokračující vulkanizací, je tok materiálu během vulkanizace v lisovací formě velmi složitý.

Pohyb materiálu ve formě v průběhu lisování závisí složitým způsobem i na tvaru, uložení a hmotnosti předlisku. V případě potřeby může být směs vložena do formy i v několika kusech.

Po vulkanizaci, vyjmutí z formy a ochlazení se výrobek smrští, takže forma musí být vždy poněkud větší (nejčastěji o cca 1,5%) než jsou požadované rozměry výrobku. S rostoucím obsahem plniv v kaučukové směsi obvykle smrštění výrobků klesá.

Lisování ve formě je poměrně jednoduché a je výhodné především pro malé série (cca od 50 po několik tisíc výrobků ročně). Ohřev materiálu probíhá pouze vedením tepla od stěny formy, což vede k delším výrobním cyklům. Předlisky se proto někdy před vložením do formy předehřívají horkým vzduchem nebo pomocí UHF.

Pro různé výrobky (jako jsou např. pneumatiky, podlahoviny, dopravní pásy a podešve obuvi) existují různé speciální lisy. Vulkanizační lisy jsou většinou ohřívány vodní parou. Pro vyšší teploty se častěji používá elektrický ohřev. [10]

#### ***1.4.1.2 Lisování a vulkanizace pláštěů pneumatik***

Pláště pneumatik obdrží konečný tvar a požadované fyzikálně-mechanické vlastnosti procesem lisování a vulkanizace. Oba děje probíhají současně za přítomnosti vulkanizačních činitelů, teploty, tlaku a času. Lisování se děje v počátku procesu nástupem lisovacího tlaku při současném prohřevu „surového“ pláště. Působením tlaku a teploty zaplní směs všechny části formy. S dalším prohřevem dochází ke zvyšování teploty a při teplotě nad 120°C začne probíhat vlastní proces vulkanizace. Teprve vulkanizací vzniká elastická pryž

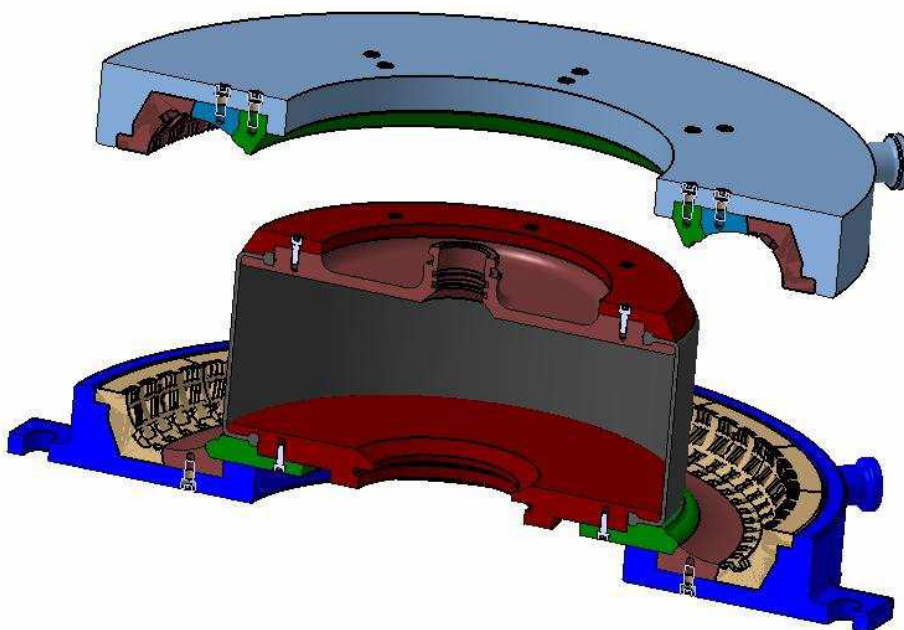
s potřebnými fyzikálními vlastnostmi důležitými pro užitnou hodnotu výrobku. Tyto vlastnosti jsou elasticita, tažnost, tvrdost, odolnost proti opotřebení, povětrnostním a chemickým vlivům. Lisování je proces závislý na tlaku, vulkanizace je chemicko-fyzikální děj, při kterém dochází ke strukturálním změnám. Makromolekuly kaučuku se vážou s molekulami vulkanizačního činidla, vznikají příčné vazby, materiál převážně plastický se mění na elastický. [12]

### 1.4.1.3 Formy pro lisování pláštů

Formy pro lisování pláštů pneumatik se dělí na:

- dvoudílné lisovací formy, které se používají při výrobě diagonálních pláštů nebo pláštů smíšené konstrukce
- segmentové lisovací formy, které se používají nejčastěji pro výrobu radiálních pláštů

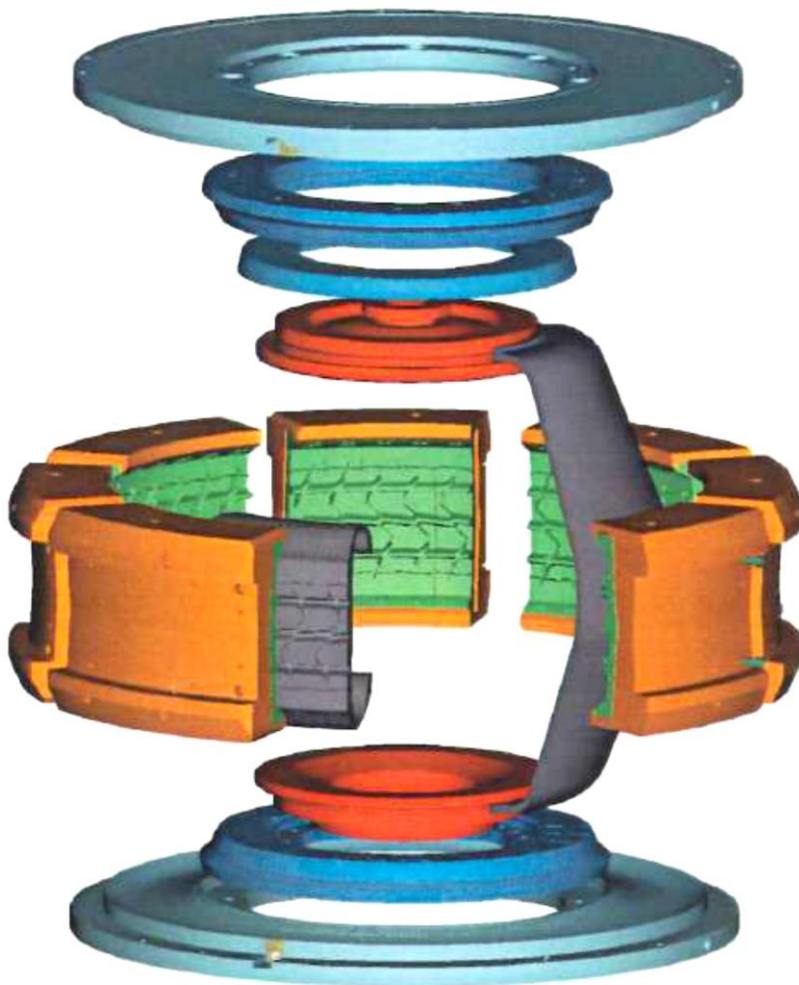
Dvoudílné formy mají zpravidla jednu horizontální dělicí rovinu a skládají se z horní a dolní poloviny. Obě poloviny formy mají dezénové vložky, patní kroužky, kroužky tvořící bočnice. Formu tvoří také membrána. Tyto vulkanizační formy poměrně jednoduché konstrukce se využívají hlavně při výrobě méně náročných diagonálních pláštů, nebo při výrobě některých druhů speciálních pláštů. Ve výrobě radiálních pláštů se tyto formy používají jen výjimečně, protože formy při vertikálním otvírání mají tendenci poškozovat a deformovat vylisovaný plášť v oblasti dezénu. Výhodou dvoudílných forem je nízká cena a jednoduchá údržba.



Obr. 20 Dvoudílná forma [17]

Segmentové formy jsou určeny pro výrobu radiálních plášťů. Hlavní výhodou segmentových forem spočívá v tom, že díky radiálnímu pohybu segmentů se ve fázi při otvírání a zavírání formy chovají podstatně šetrněji než dvoudílné formy. Nedochozí tu k poškozování sezónových figur, k přesunu materiálu a nadměrným deformacím v koruně pláště. Tyto vlastnosti jsou velice důležité pro dosažení vysoké kvality a přesnosti výroby moderních výkonných autoplášťů. Segmentové formy jsou ve srovnání s dvoudílnými formami několikanásobně dražší, náročnější na údržbu a manipulaci.

Hlavními konstrukčními prvky těchto forem jsou dolní část formy, horní část formy, segmenty tvořící dezénovou část formy, dolní a horní bočnicový kruh, patní kruh a lisovací membrána. [17]



Obr. 21 Segmentová forma [17]

## 1.5 Konstrukce vulkanizačních forem

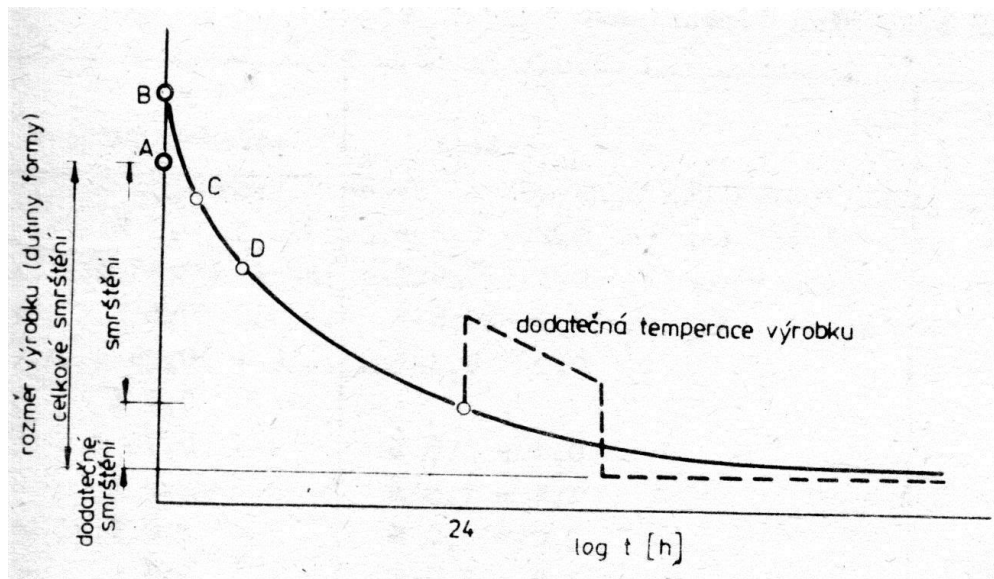
Formy lze použít k výrobě mnoha různých druhů výrobků. Jejich konstrukci ovlivňuje řada faktorů, jako je technologie zpracování, násobnost, zpracovávaný materiál a výrobní zařízení.

### 1.5.1 Stanovení rozměrů dutiny formy

Rozměry výrobků, jsou většinou určeny jejich funkcí a konstrukcí. Při zaformování se rozměry dutiny budou lišit od hotového výrobku, protože na rozměr dutiny formy mají vliv:

- smrštění zpracovávaného materiálu
- tolerance a mezní úchytky jednotlivých rozměrů tvářeného výrobku
- opotřebení činných částí formy
- přesnost výroby formy a jejích činných částí

Nejvýznamnějším faktorem je zpravidla smrštění. Je to trvalá změna rozměru výrobku po jeho vyjmutí z dutiny formy. Závisí na druhu zpracovávaného materiálu, ale i na technologických parametrech a čase. U gumárenských směsí je smrštění závislé na složení směsi, především na druhu kaučuku, obsahu plniv a změkčovadel, ale i na vulkanizačních podmínkách. [8]



Obr. 22 Závislost rozměrových změn na čase [8]

Legenda:

A – rozměr ve formě za pokojové teploty a atmosférického tlaku

B – rozměr zvětšený účinkem zvýšené teploty při provozních podmínkách

C – rozměr po vyjmutí z formy

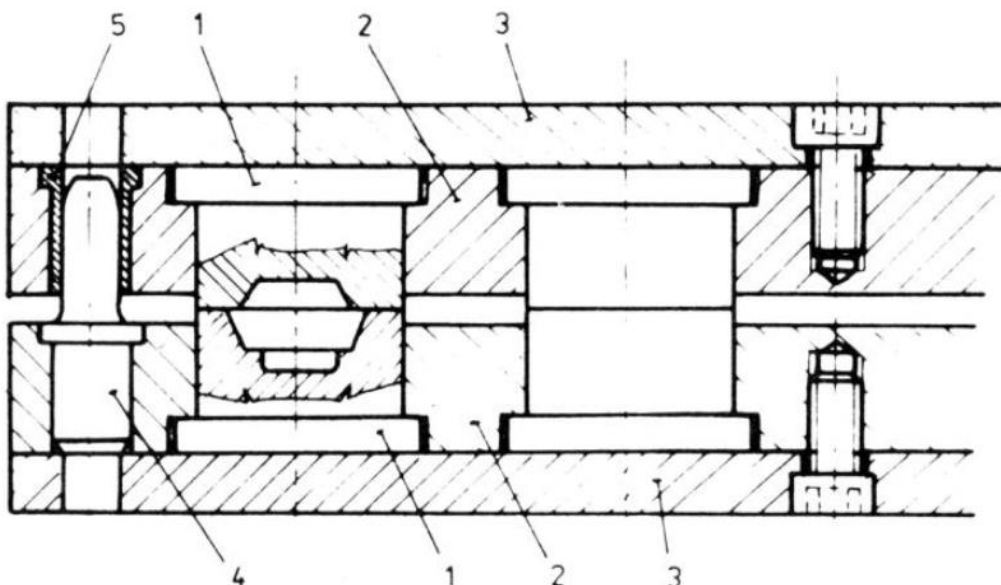
D – rozměr vychladlého výrobku za pokojové teploty

Smrštění gumárenských směsí se nejčastěji pohybuje mezi 0,8 – 2,5%. Plniva snižují smrštění a naopak změkčovadla smrštění zvětšují. U plněných gumárenských směsí je smrštění závislé i na směru toku ve formě, rozdílly se pak pohybují až v desetinách %. Obtížně se stanovuje smrštění u pryžových součástí, kde kovový díl zabraňuje volnému průběhu rozměrových změn. [8]

### 1.5.2 Formy pro lisování

Lisovací formy pro gumárenské směsi se vesměs řeší jako snímací. Těžší formy, např. na tvrdou pryž se na lisy upínají. [8]

Lisovací formy jsou obvykle vícenásobné s tvarovými vložkami, které jsou upevněny v kotevní desce a z druhé strany zajištěny opěrnou deskou. V případě jednonásobné formy je zhotovena bezvložkově. [9]



Obr. 23 Příklad vícenásobné lisovací formy

1- vložka, 2 – kotevní deska, 3 - opěrná deska, 4 – vodící čep, 5 – vodící pouzdro [9]

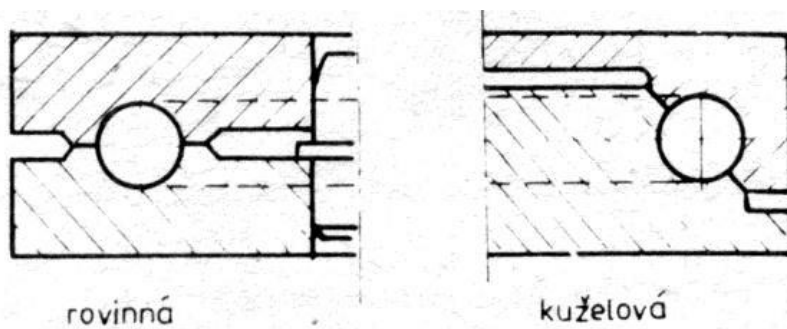
Tvárník a tvárnice se mohou středit pomocí vodících čepů. Vodící čepy bývají obvykle kalené, podobně jako vodící pouzdra. Obvykle bývá forma vybavena i vyhazovacím zařízením. Výlisek se při vyhazování nesmí deformovat. [8]

Formy se mohou ohřívat ve vulkanizačních kotlích, autoklávech, nebo přímo v lisech. Při ohřevu materiálu na vulkanizační teplotu začne probíhat vulkanizace, která je exotermní reakcí. Uvolněné teplo se musí odvést do hmoty formy. Vulkanizační teplo u měkké pryže se obvykle zanedbává. [8]

### 1.5.3 Dutina formy

Zaformování výrobků se řídí obecnými zásadami, avšak musíme počítat s tím, že pružnost výlisků z měkké pryže umožňuje menší citlivost vůči podkosům a zápichům, ale i snazší vyjímání jader a na druhou stranu vylučuje použití tenkých vyhazovacích kolíků. Rozměry dutiny se stanovují s ohledem na smrštění. Dělicí rovina se umísťuje tak, aby stopa po ní nenarušila vzhled ani funkci daného výrobku.

Velikost dělicí roviny je třeba stanovit tak, aby zachytila celou lisovací sílu. Pro jednodušší odstraňování přetoků můžeme dosedací rovinu odlehčit. [8]



Obr. 24 Dělicí rovina kroužků kruhového průřezu [8]

## 1.6 Materiály forem

Forma musí zajistit opakovanou, věrnou a mnohonásobnou reprodukci výrobku. Jsou na ni kladeny požadavky co do pevnosti, houževnatosti, stability, životnosti a tepelné vodivosti. Materiály, z nichž se vyrábí formy, jsou ovlivněny následujícími faktory: zpracovávaným materiálem, přesností a jakostí výrobku, rozměry dílů formy, zatěžováním formy a povrchovou úpravou formy. [9]

Pro výrobu forem se tedy používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. Jejich široký výběr byl zredukován na úzký sortiment jakostí i rozměrů.



Z toho se dále dává přednost materiálům univerzálních typů s širokým rozsahem užitných vlastností. Takové druhy představují:

- oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al...),
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé...). [9]

### 1.6.1 Oceli

Oceli jsou nejvýznamnějším druhem používaných materiálů na výrobu forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen obtížně nahradit. Optimální určení druhu oceli na konkrétní součást záleží na její funkci. Úspěšným předpokladem dostatečné životnosti a funkční vhodnosti je také účelná konstrukce, dostatečné rozměry, správné zacházení a údržba. I způsob výroby a tepelné zpracování materiálu může celý výsledek ovlivnit. [9]

Od použitých materiálů na formy se vyžaduje především:

- dostatečná mechanická pevnost
- dobrá obrobitelnost

Z hlediska technologie výroby má ještě materiál funkčních dílů zajišťovat speciální požadavky na kvalitu struktury, která je dána:

- dobrou leštitelností a obrusitelností,
- zvýšenou odolností proti otěru,
- odolností proti korozi a chemickým vlivům plastu,
- vyhovující kalitelnosti a prokalitelnosti,
- stálostí rozměrů a minimálními deformacemi při kalení,
- dobrou tepelnou vodivostí,
- houževnatostí,
- pevností v tlaku [9]

Pro výrobu desek se používá převážně těchto materiálů:

- 1.0060 (11 600), 1.0050 (11 500), 1.0070 (11 700) pro desky forem na menší série, méně náročné a namáhané díly
- 1.0503 (12 050), 1.0535 (12 060) pro desky forem na větší série, u kterých se vyžaduje vyšší pevnost

- pro nejvíce namáhané části forem, jako výměnné a tvarové vložky, vodící pouzdra a čepy se používají oceli 1.7131 (14 220), 1.8159 (15 260), 1.2080 (19 436), 1.2083, 1.2085, 1.2312, 1.2316, 1.2738.

### 1.6.2 Slitiny hliníku

Formy ze slitin hliníku nejsou tak pevné a odolné proti opotřebení, jako oceli. Mají však jiné dobré vlastnosti (velkou tepelnou vodivost, korozivzdornost), které lze s výhodou u forem využít.

Používají se např. na formy pro strukturní pěny. Zde je vyžadován intenzivní chladicí účinek, dobrá chemická odolnost proti korozi a ostatním činidlům, vznikajícím při vstřikování plastů s nadouvadlem. Jejich vstřikovací tlaky jsou nižší (až 10x) a proto nevyžadují tak velkou pevnost. [18]

Pro výrobu funkčních dílů forem se používá materiál 3.3547 (AlMg<sub>4,5</sub>Mn<sub>0,7</sub>), 3.4345 (AlZn<sub>5</sub>Mg<sub>3</sub>Cu), 3.2315 (AlSi<sub>1</sub>MgMn) atd.

Pro odlévání dezénových segmentů vulkanizačních forem na výrobu pneumatik se používají hliníkové slitiny Al-Si<sub>7</sub> a Al-Mg<sub>3</sub>. Výhodou použití hliníkových odlitků jsou nižší nároky na obráběcí stroje a nástroje, menší produkce odpadů při obrábění, lepší tepelná vodivost a rychlejší a levnější opakovaná výroba.

### 1.6.3 Slitiny mědi

Slitiny mědi se využívají ve výrobě forem pro velmi dobrou tepelnou vodivost, dobrou chemickou odolnost a kluzné vlastnosti. Vyrábějí se tvarové vložky, vytáčeční trny a matice, vodící pouzdra, různá vedení apod. Výhodnější technologické časy zlepšují kvalitu struktury plastu, dosahují jakostnější povrch i přesnější geometrii tvaru. Nevýhodou Cu slitin je jejich horší opracovatelnost elektroerozivními metodami. Třískové opracování je zase jednodušší. Význačnou vlastností těchto slitin je i nízký koeficient tření, výhodný zvláště pro pohyblivé díly a s tím spojené snadnější odformování i s větší pracovní bezpečností. [18]

## 2 ZPŮSOBY VÝROBY FOREM

Výroba forem má v České republice dlouhou tradici a je důležitou a ceněnou částí strojírenství. Většina forem je vyráběno třískovým nebo elektroerozivním obráběním. Některé části, jako jsou dezénové segmenty forem na pláště pneumatik či dezény obuvnických forem se odlévají z hliníkových slitin. Méně známá je galvanoplastická metoda výroby forem. Největší podíl ze všech výrobních technologií má frézování. Neustálý tlak na snižování nákladů na výrobu forem vede k rychlému vývoji používaných metod (HSC, obrábění velmi tvrdých materiálů), nástrojů a strojů.

### 2.1 Frézování

Frézování je obráběcí metoda, při které se materiál obrobku odebírá břity otáčejícího se nástroje. Posuv nejčastěji koná součást, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvné pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. [23]

Frézování se obvykle rozděluje na čelní, válcové (do rohu), frézování drážek a tvarové frézování, ale spolu s vývojem strojů a programového vybavení se počet metod postupně zvyšuje a mezi v současnosti prováděnými operacemi se velmi často objevuje také rotační frézování, frézování závitů, postupné zahlubování kruhovou interpolací, trochoidální frézování, atd. [24]

Tvarové frézování zahrnuje víceosé frézování konvexních nebo konkávních tvarů ve dvou nebo třech dimenzích. Čím větší je součást a čím komplikovanější je obráběný tvar, tím důležitější se stává přípravný proces.

Celý obráběcí proces by měl být rozdělen nejméně na 3 typy operací:

- Hrubování/lehké hrubování
- Polodokončování
- Dokončování.

Z důvodu dosažení nejvyšší přesnosti a produktivity je doporučeno provádět hrubování a dokončování na samostatných strojích a používat specializované obráběcí nástroje pro každou operaci.

Dokončovací operace je třeba provádět na 4/5-ti osých obráběcích strojích s moderním softwarem a technikami programování. To může významně snížit, nebo dokonce zcela

eliminovat čas potřebný pro ruční dokončování výrobku. V konečném důsledku bude mít výrobek lepší geometrickou přesnost a vyšší kvalitu struktury povrchu. [24]



Obr. 25 Tvarové frézování [24]

## 2.2 Elektroerozivní obrábění

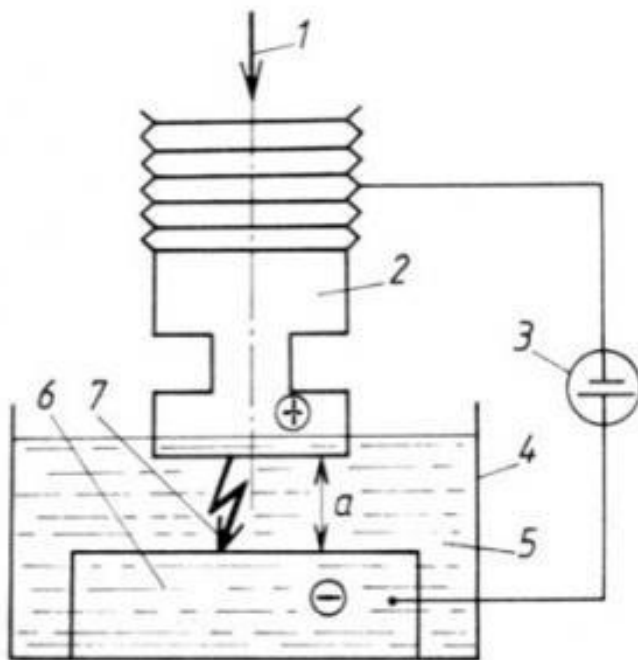
Elektroerozivní metody obrábění vodivých materiálů jsou založené na využití tepelné energie, na kterou se přemění elektrický výboj vznikající mezi elektrodami (nástroj a obrobek).

V závislosti na druhu elektrického výboje, jiskry nebo oblouku, parametrů obrábění a zdrojů impulzního toku existuje několik způsobů elektroerozivního obrábění. V současnosti se klasifikuje podle jeho technologických možností na:

- hloubení nebo tvarové elektroerozivní obrábění
- drátové řezání
- broušení

Každá metoda se liší počátečními technologickými charakteristikami, používaným zařízením a oblastmi použití. [25]

Elektroerozivní obrábění se používá pro hloubení dutin zápustek a forem, výrobu složitých tvarových povrchů, řezání drátovou elektrodou, leštění povrchů, výrobu malých otvorů (mikroděrování), elektrokontaktní obrábění. [26]



Obr. 26 Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění [26]

1 – směr posuvu nástrojové elektrody, 2 – nástrojová elektroda, 3 – generátor, 4 – pracovní vana, 5 – tekuté dielektrikum, 6 – obrobek, 7 – elektrický výboj

Moderní stroje mají všechny činnosti řízeny CNC řídicím systémem. Konkrétně se jedná o řízení směru a rychlosti pohybů, polohy pracovního stolu, pracovních parametrů generátoru, přívodu dielektrika, automatické výměny elektrod v zásobníku, rychlosti přísuvu elektrody a kontrolu probíhající elektroeroze. Řídicí systémy umožňují snadné naprogramování stroje. Postup úběru materiálu lze simulovat na obrazovce. Elektroerozivní stroje pro hloubení dutin se vyrábějí také v provedení, které umožňuje bezobslužný provoz až po dobu 48 hodin. Jednotlivé technologické aplikace vyžadují různé formy elektrických výbojů, které jsou na nástrojovou elektrodu a na obrobek přiváděny z generátoru ve formě pulzů o určité frekvenci. Každý pulz je charakterizován napětím, proudem a tvarem. [26]

### 2.3 Odlévání forem

Technologie odlévání se používá zejména v případech velkých rozměrů forem, nebo složitých dezénových tvarů např. u forem na pláště pneumatik či obuvnických forem. Odlévají se slitiny hliníku litím do pískových nebo kovových forem či tlakovým litím, přičemž mechanické vlastnosti odlitků do značné míry závisí právě na způsobu odlévání. Nižší mechanické vlastnosti a hrubá struktura vzniká při lití do písku, jemnější struktura a lepší mechanické vlastnosti pak při lití do kovových forem nebo při tlakovém lití. Odlévací model

se vyrobí obvykle z tzv. umělého dřeva, doplní se o ocelové lamely v případě dezénových segmentů pneuforem, dezénové a dekorační prvky u obuvnických forem apod. Po odlití následuje odstranění přídavek třískovým obráběním, spasování s ostatními díly forem a mechanické dokončení.



Obr. 27 Výroba odlévacího modelu segmentu pláště pneumatiky [28]

## 2.4 Galvanoplastická výroba forem

Galvanoplastická výroba forem není příliš známou technologií, ale je to metoda, která umožňuje vyrábět formy nevyrobitelné ani nejnovějšími technologiemi spojující progresivní metody 3D konstruování a modelování s návazným CNC obráběním.

Kouzlo galvanoplastiky spočívá v možnosti dokonalého kopírování modelů vyrobených z nejrůznějších obecně dostupných materiálů, jako je ocel, nerezová ocel, dural, zinkové slitiny, měď, mosaz, vosky a celá škála plastových materiálů včetně tzv. umělých dřev. Vynikající reprodukční schopnost galvanoplastiky umožňuje kopírování dezénů usně, jemně gravírovaných nápisů, struktury dřeva, ale i zrcadlově leštěných povrchů. Jedinou podmínkou je, aby měl model takový tvar, který je možno z hotové skořepiny vyjmout. S výhodou se používá modelů vyrobených ze speciálních vosků, které se z hotové formy vytaví v parní nebo elektrické peci.

Nejčastěji používanými materiály při galvanoplastice jsou měď a nikl, popřípadě jejich kombinace. Fyzikálně mechanické vlastnosti měděných forem nejsou nejlepší, ale v těch případech, kdy se nepožaduje především zvýšená tepelná odolnost forem, dává galvanoplastika mědi uspokojivé výsledky. [27]

### 3 POVRCHOVÉ ÚPRAVY A TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ FOREM

Povrchové úpravy a tepelné zpracování se významně podílí na výsledné kvalitě forem. Ovlivňují a podmiňují funkčnost, životnost, spolehlivost a také nároky na údržbu a opravy. Účelem povrchových úprav je tedy hlavně zvyšování provozní spolehlivosti, životnosti a technických parametrů a snižování výrobních nákladů, zejména úsporami energie a materiálů. [29]

Povrchové úpravy lze rozdělit na:

- Anorganické – vytvořené nebo nanesené
- Kovové povlaky
- Tenké vrstvy PVD a CVD
- Organické nátěry a plastické hmoty [19]

Nutnou podmínkou pro získání kvalitního a trvanlivého povlaku je správná a kvalitní příprava povrchu. To znamená především odstranění nečistot na povrchu, pocházejících jak z průběhu výroby, tak i při opravách, provozu, skladování či přepravě. Jedná se o mastnoty z chladících a mazacích kapalin, konzervačních prostředků apod., okuje a další anorganické látky vznikající při zpracování kovových materiálů a ostatní částice, např. zbytky abraziv z brusných a leštících prostředků. [9]

#### 3.1 Anorganické povlaky

Kovy a slitiny mohou být upravovány vhodnými chemickými roztoky za podmínek umožňujících tvorbu povrchových povlaků s požadovanými vlastnostmi. Tyto povlaky se často označují jako „konverzní“, protože kov je na povrchu změněn na nekovovou sloučeninu, kterou obvykle tvoří oxid, fosforečnan chroman, případně kombinace těchto látek a sloučenin kovu se složkami roztoku použitého ke konverzi.

Vytváření konverzních povlaků se provádí chemickými nebo elektrochemickými postupy. Často používané konverzní povlaky jsou např. chromátové vrstvy na zinku nebo oxidové a fosfátové povlaky na oceli. Konverzní povlaky se vytvářejí k následujícím účelům:

- Zvyšování korozní odolnosti kovu,
- Zlepšování vzhledu,
- Zajištění přilnavosti nátěrových systémů nebo povlaků práškových plastů,
- Usnadnění hlubokého tváření tažením, protlačováním a lisováním,

- Usnadnění záběhu povrchu pohyblivých strojních součástí namáhaných třením,
- Vytváření patinovaných povrchů,
- Vytváření izolačních vrstev [29]

### 3.1.1 Fosfátování

Fosfátování je proces povrchové technologie, při kterém se na povrchu železa, oceli a též zinku, kadmia, hliníku a jejich slitinách vytváří nekovový povlak nerozpustných nebo obtížně rozpustných fosforečnanů kovů. Používají se fosfatizační prostředky na bázi zinku, zinku a vápníku, manganu, železa a další. Tyto prostředky pro fosfátování obsahují příslušné dihydrogenfosforečnany a volnou kyselinu trihydrogenfosforečnou v takovém množství, aby docházelo k přeměně na fosforečnan. [9]

### 3.1.2 Chromátování

Chromátové povlaky tvoří skupinu povlaků široce rozšířenou v průmyslovém měřítku. Povlaky se vytvářejí oxidačně redukčními procesy na povrchu neželezných kovů s roztoky sloučenin obsahujících chromové ionty. [9]

Podle funkce a využití chromátových vrstev jsou procesy rozděleny na:

- Procesy sloužící k ochraně proti korozi,
- Procesy k vytvoření podkladu před nanášením nátěrových hmot,
- Procesy ke zvýšení estetického vzhledu; vrstvy se vyznačují širokou škálou zbarvení počínaje bezbarvými, průhlednými vrstvami až po tmavé. Zbarvení je závislé na druhu podkladového kovu, druhu chromátového prostředku a podmínkách procesu,
- Procesy pro dodatečnou úpravu kovových povlaků, především zinkových,
- Procesy pro zvyšování odolnosti proti vysokoteplotní oxidaci speciálních výrobků. [29]

### 3.1.3 Kovové povlaky

Kovové povlaky se u technických výrobků používají v širokém rozsahu. Jejich hlavní poslání spočívá v tom, že pozměňují charakteristiky kovového povrchu, takže je dosaženo vyšší korozní odolnosti proti agresivním prostředím, estetického vzhledu, požadované hodnoty mechanických vlastností a jiných specifických vlastností. [29]

Kovové povlaky se mohou vytvářet bezproudově nebo elektrolyticky. V poslední době jsou zejména funkční povlaky vytvářeny z lázní bez využití vnějšího zdroje. Vedle povlaků



chemického niklu se jedná o selektivní pokovování v mikroelektronice vytvářením povlaků mědi, stříbra a jiných kovů nebo slitin. Velmi významnou skupinou procesů je zvláště elektrolytické vytváření povlaků se svojí specifickou terminologií, sortimentem elektrolytů, a zařízení pro pokovování i závažnou problematikou zneškodňování odpadních produktů. [9]

### 3.2 Technologie úpravy povrchu dutin forem

Za účelem zlepšení vlastností povrchu dutin forem se používá řada chemických a fyzikálních úprav nebo jejich kombinace. Zpočátku bylo využíváno chemické povlakování z plynné fáze. Tato metoda probíhá za vyšších teplot depozice, při kterých dochází k tepelnému ovlivnění povrchové struktury, proto je její použití omezeno především na oblast povlakování slinutých karbidů. Teprve rozvoj fyzikálních a plazmochemických povlaků probíhajících za teplot kolem 500°C umožnil povlakovat běžné konstrukční a nástrojové materiály. Obecně lze procesy povlakování rozdělit na:

- Fyzikální metody depozice povlaků PVD
- Chemické metody depozice povlaků CVD
- Fyzikálně-chemické metody depozice povlaků

#### 3.2.1 Fyzikální metody vytváření povlaků

PVD (Physical Vapor Deposition) je technologický postup nanášení tenkých vrstev kondenzací par pevného materiálu na různých površích. Jedná se o fyzikální proces, který není doprovázený žádnou chemickou reakcí (na rozdíl od technologie CVD). PVD technologie se zpravidla dělí podle převedení pevné fáze do plynné:

- napařování - vysokoteplotní odpaření ve vakuu pomocí odporového ohřevu (často označované jako napařování).
- EBPVD - Electron Beam Physical Vapor Deposition – odpařovaný materiál je zapojen jako anoda, k ohřevu a odpaření dochází v důsledku bombardování povrchu materiálu svazkem elektronů.
- napařování – deponovaný materiál je zapojen jako katoda a jeho povrch je bombardován ionty pracovního plynu. Atomy deponované látky jsou takto odpařovány z povrchu terče a vytvářejí povlak na substrátu.

- PLD – pulsed laser deposition – terč deponovaného materiálu je vystaven dopadajícím pulzům laserového svazku, atomy materiálu tak získají dostatečné množství tepelné a mechanické energie na převedení do plynného nebo plazmatického stavu.

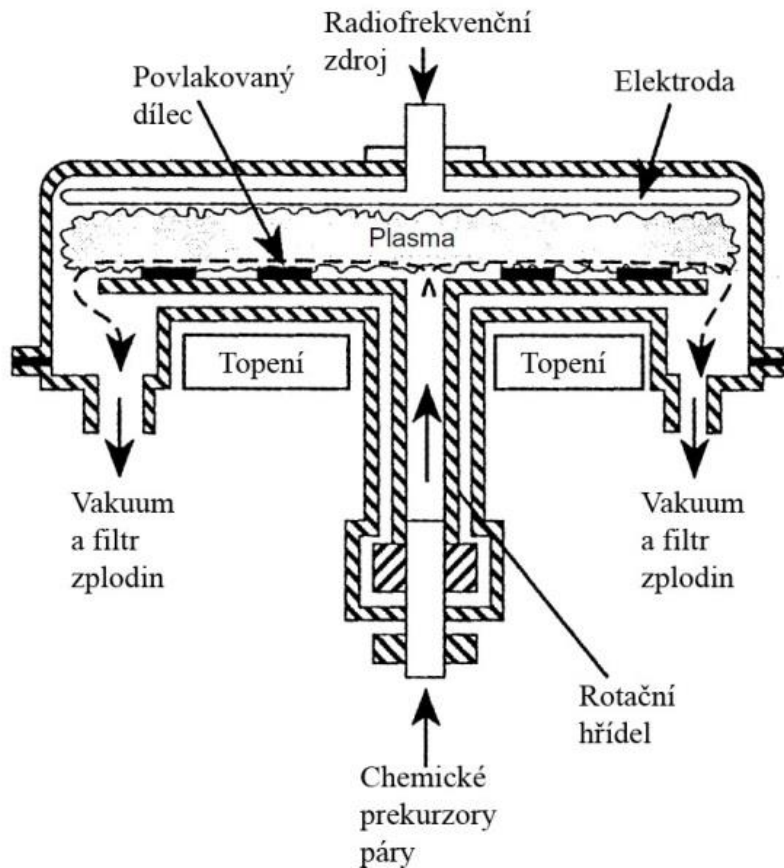
Aplikace PVD technologií:

- největší uplatnění - tvorba vrstev z tvrdých materiálů na řezných nástrojích
- tvorba ochranných vrstev proti abrazivnímu opotřebení a na snižování tření (automobilový průmysl – vstřikovací systémy, podvozky, ložiska, čerpadla)
- dekorativní účely
- optika, elektronika a polovodičový průmysl, záznamová média (ochranné vrstvy)
- velmi vhodná pro polymerní substráty
- PVD technologie jsou ve velké míře využívány také pro vědecké účely [30]

### 3.2.2 Chemické metody vytváření povrchových vrstev

Chemická depozice z plynné fáze (Chemical Vapor Deposition - CVD), je technologický postup tvorby tenkých vrstev, který využívá chemické reakcí v plynné fázi. Může se jednat o reakce mezi více prekurzory, nebo rozkladnou reakci jedné látky. Reakční produkt vytváří následně na substrátu tenkou vrstvu. CVD probíhá za zvýšené teploty a vedlejší produkty chemických procesů jsou odsáty vakuem, nebo odstraněny proudem plynu. [30]

CVD iniciované plazmou (Plasme Enhanced CVD – PECVD) využívá plazmatu pro iniciaci chemických reakcí (vytvoření výboje v plynu). Umožňuje dosáhnout depozice při nižších teplotách, lze tak vytvářet vrstvy na teplotně citlivých substrátech. PECVD dále umožňuje nahradit nebezpečné prekurzory jinými a díky složitějším průběhům reakcí v přítomnosti plazmatu je rovněž umožněna depozice nových materiálů. [30]



Obr. 28 Paralelní deskový PECVD reaktor [31]

### 3.2.3 Chemické vylučování sloučenin na povrchu kovů

Povlaky kovů, slitin a chemických sloučenin je možné vylučovat také chemicky a elektrolyticky. V poslední době jsou zejména funkční povlaky vytvářeny z lázní bez využití vnějšího zdroje.

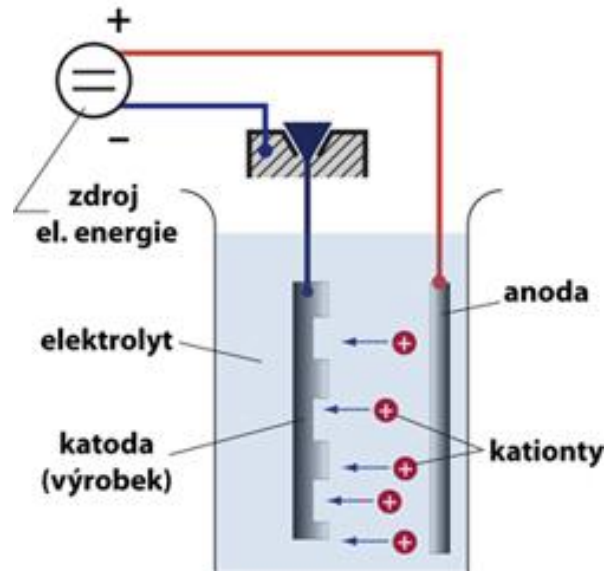
V technické praxi se využívá nejčastěji tři základních principů vylučování povlaků bez využití vnějšího zdroje proudu:

- Princip iontové výměny
- Princip kontaktu s pomocným elektronegativním kovem
- Princip redukce

Podstatou chemického vylučování povlaků na principu iontové výměny je to, že kov s kladnější hodnotou elektrodového potenciálu se vylučuje ve formě povlaku na kov, jehož elektrodový potenciál je zápornější.

Elektrolytické vylučování kovových povlaků, označované jako galvanické pokovování, tvoří jednu z nejvýznamnějších povrchových technologií. Na anodě tzv. elektrolyzéro do-

cháží k rozpouštění kovů, na katodě se vylučuje kovový povlak. Při elektrolýze je proud přiváděn do elektrolytu katodou a přenos v elektrolytu se realizuje pomocí disociovaných iontů. [9]



Obr. 29 Zjednodušené schéma principu pokovení [32]

## 4 OPRAVY A RENOVACE FOREM

Poruchy a poškození forem můžeme rozdělit podle místa vzniku vady na:

- poruchy tvarových částí
- poruchy nosných částí

U tvarových částí se jedná především o poškození povrchových vrstev vlivem abraze a chemického působení zpracovávaného materiálu. Nadměrné opotřebení nebo mechanické poškození mohou vzniknout také nevhodným zacházením, nepozorností obsluhy, či nedostatky v konstrukci a výrobě nejen u funkčních částí forem, ale i u ostatních dílů, jako jsou vodící čepy, pouzdra, vyhazovače, zámky, rámy apod.

Poškozené díly se obvykle opravují dvěma způsoby:

- Nanášením kovu na místa chybějícího tvaru (nejčastěji navařováním) a jejich úprava
- Vložkováním poškozených částí, nebo jejich celková výměna. [18]

Obnova poškozené součásti z hlediska:

- Tvarového (opravení odlomených částí, doplnění povrchového opotřebení)
- Funkčního (odolnost proti opotřebení, třecí vlastnosti, odolnost proti vysokým teplotám)
- Provozní schopnosti
- Bezpečnosti (spolehlivosti součásti při dlouhodobém zatížení) [9]

### 4.1 Opravy a renovace svařováním a navařováním

Navařování je významnou technologií renovací opotřebovaných součástí, při které se získávají původní rozměry a tvar součásti se stejnými, ale častěji lepšími vlastnostmi povrchu a tím výrazně vyššími užitnými vlastnostmi.

Efektivita renovací navařováním se pohybuje do cca 70% ceny nového náhradního dílu nebo nástroje. Závisí na řadě faktorů: ceně a dostupnosti nové součásti, pracnosti výroby, dostupnosti potřebných zařízení, rozsahu poškození, nutnosti dokončovacích operací a cenou přídavných materiálů.

Hlavní podmínkou úspěšnosti renovace je správná analýza druhu opotřebení, vlivu prostředí, pracovních podmínek a na základě tohoto rozboru návrh odpovídající technologie navařování a výběr příslušného přídavného materiálu. [19]

Navařovací materiály je možné nanášet prakticky jakýmkoliv svařovacím procesem. Na to, aby bylo možné vybrat vhodný navařovací materiál pro konkrétní použití, jsou potřebné následující informace:

- jaký je typ opotřebení
- jaký je základní materiál
- jakému svařovacímu procesu se dává přednost
- jaký druh povrchu se vyžaduje [21]

Rozdělení:

- Opravy – oprava vadných součástí a svarů, opravy destrukce po haváriích a poškozeních částí a povrchů
- Renovace – zvýšení užité hodnoty součásti – zlepší se mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu, provádí se rozdílným materiálem, v podmínkách specifických dle materiálu.

Postup renovace:

- Posouzení charakteru a rozsahu vady (opotřebení)
- princip vzniku opotřebení
- volba metody renovace
- parametry renovace
- Identifikace druhu materiálu
- Vypracování technologického postupu
- Vlastní provedení [9]

#### 4.1.1 Navařování plamenem

Charakteristickým rysem navařování plamenem je minimální zředění se základním materiálem, povrch se nataví cca do 0,2 mm. Tepelné zatížení je plošné, proto je napětí v návaru relativně nízké. Vysoký přehřev až na 1200°C brání praskání návaru. Při správném seřízení plamene vzniká hladký povrch bez nerovností. Po navaření se doporučuje celkový mírný ohřev k vyrovnání napětí. Navařování plamenem se používá převážně na speciální aplikace. [19]

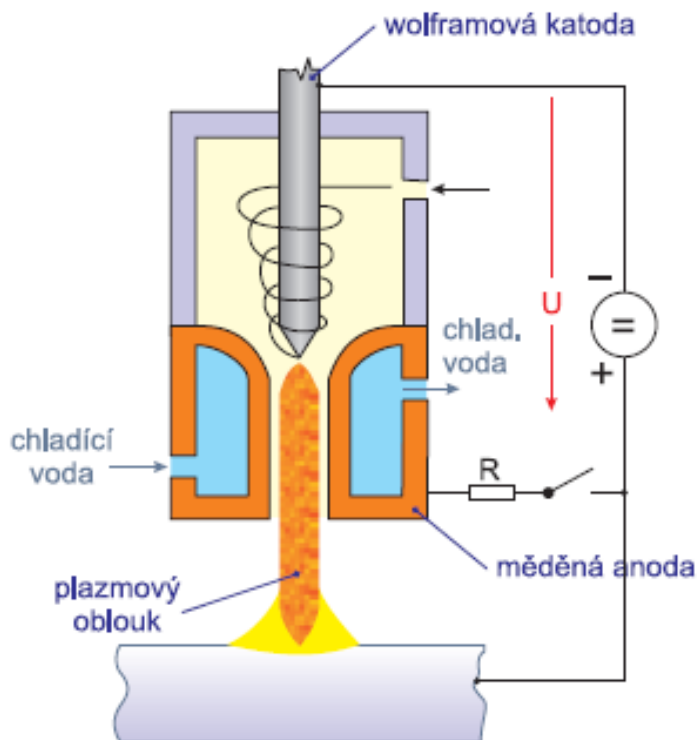
#### 4.1.2 Navařování elektrickým obloukem

Rychlost navařování je mnohem vyšší, než u plamene, díky bodovému tepelnému zatížení je nebezpečí vzniku trhlin, což je jeden z důvodů přehřevu. Přehřev také snižuje ochlazovací rychlost a tím i vnitřní pnutí a tvrdost v tepelně ovlivněné oblasti. Při navařování obloukem první vrstva vykazuje zředění cca 50%, tj. pokles tvrdosti, vysoká rychlost ochlazení způsobí zakalení. [9]

#### 4.1.3 Navařování plazmou a mikroplazmou

Svařování a navařování plazmou je metoda známá a používaná relativně dlouhou dobu. Plazmový paprsek dosahuje vysokých teplot až 16 000 K a hustota energie plazmy se pohybuje kolem  $10^6 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Rychlost ohřevu tímto zdrojem tepla je tedy velmi vysoká a specifické vnesené teplo do základního materiálu je nízké. S tím úzce souvisí i malá tepelně ovlivněná oblast, nízká úroveň deformací, minimální natavení základního materiálu a velmi malé promísení návaru se základním materiálem. Vrstva promísení nad 10% je maximálně do hloubky 0,5 mm od rozhraní základní materiál – návar. Požadované vlastnosti návaru deklarované složením přídavného materiálu lze očekávat od tloušťky návaru cca 1 mm. K minimalizaci tepelného ovlivnění přispívá také možnost impulsního průběhu proudu s regulací frekvence v rozmezí 0 až 1000Hz. [19]

Vysokou stabilitu plazmového paprsku lze využít i při velmi malých proudech. Tzv. mikroplazma umožňuje svařování i při proudech 0,05 A s energií paprsku soustředěnou na malou plochu. Těto možnosti se využívá pro svařování tenkých folií 0,025 až 0,5 mm a také pro navařování hran střižných a obráběcích nástrojů pomocí nástrojových ocelí případně slitin na bázi kobaltu nebo niklu. Mikroplazmu lze také úspěšně použít pro navařování plošných návarů například poškozených vtokových kanálů, erodovaných stěn forem nebo funkčních ploch při havarijních situacích. Nejvhodnější složení přídavných materiálů je stejné jako základní materiál forem. [9]



Obr. 30 Navařování mikroplazmou [19]

#### 4.1.4 Navařování laserem

Využití laseru v technické praxi je velmi široké. Navařování fokusovaným svazkem fotonů je jen další z možných aplikací. Princip navařování spočívá v tavení přídavného materiálu deponovaného na povrch žárovým nástřikem, pojivem nebo galvanicky, nejčastěji však tavením práškového materiálu neseného na povrch substrátu inertním plynem. V závislosti na rozložení energie laseru na ploše a rychlosti pohybu svazku je možné tavit prášek do návaru s difúzním spojením se substrátem, nebo částečně natavit i základní materiál s metalurgickým spojením. Optimální hustota energie laseru se pohybuje mezi  $10^5$  až  $10^6$   $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$  a navařovat lze rovinné plochy a rotační vnější i vnitřní plochy v tloušťkách 50 až 1000 mm. [9]

Tato technologie je šetrná k původnímu materiálu a nedochází zde k tepelnému ovlivnění navařované součásti. Umožňuje vařit i v místech, kde to jiné technologie již neumožňují.

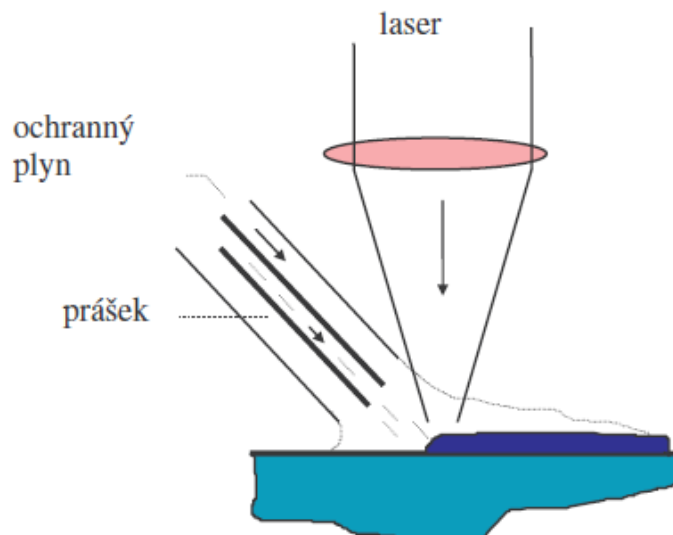
Navařování laserem se převážně využívá pro opravy vstřikovacích forem, střižných nástrojů a jiných součástí ve strojírenství. Lze jej ale využít i v jiných oborech k drobným opravám.

Pro navařování se používá návarový materiál se shodnými vlastnostmi původního materiálu jak tvrdostí, tak mechanických vlastností. Tvrdosti návarového materiálu u nástrojových



ocelí se pohybují od 30 HRC do 60 HRC, dle typu návarového materiálu. Navařené součásti se již většinou tepelně nezpracovávají.

Materiály, které lze navařovat jsou: konstrukční, nerezové, nástrojové oceli, hliník a jeho slitiny. Vaření probíhá pod mikroskopem v ochranné atmosféře.[22]



Obr. 31 Navařování laserem [19]

#### 4.1.5 Elektrovibrační navařování

Je založeno na pohybujícím se drátu, který se přivádí k základnímu materiálu vibrující hubicí. Kmitáním hubice frekvencí 60 až 90 Hz se vytvářejí elektrické oblouky, jimiž se odstavuje přídavný materiál a vzniká bodový návar. Dochází ke značnému rozstříkování kovu, proto se jako ochranné prostředí používá plyn ( $\text{CO}_2$  nebo  $\text{Ar}+\text{CO}_2$ ). Výhodou je malé tepelné ovlivnění základního materiálu a téměř žádné promísení s přídavným materiálem. Používá se spíše na rotační součásti, jako jsou čepy, hřídele, vodící sloupky apod.

#### 4.1.6 Elektrokontaktní navařování

Bylo vyvinuto pro navařování pístů, hydraulických válců apod.

Rotační součást se otáčí mezi dvěma Cu kladkami a impulzním proudem s vysokou intenzitou probíhá ohřev ve dvou kontaktních místech.

Přídavný materiál – martenzitická nerezavějící ocel, berylová bronz (vynikající tvrdost a kluzné vlastnosti.) [9]

#### 4.1.7 Mikronavařování

Hlavním požadavkem při renovacích forem a nástrojů je minimalizovat tepelné ovlivnění

základního materiálu. Při běžných způsobech svařování a navařování (ROE, MAG, MIG, WIG, atd.) vzniká značně rozsáhlá tepelně ovlivněná oblast šířky 1 - 4 mm.

V současnosti existuje několik metod, které umožňují navařování s minimálním tepelným zatížením základního materiálu a tím omezení degradačních pochodů.

Mikronavařování je užitečné pro opravu nástrojů, licích kokil a forem pro plasty, pryž a keramiku.

Výhody:

- vlivem nízkého vneseného tepla nedochází k degradaci základního materiálu a jeho deformaci,
- velmi malá tepelně ovlivněná oblast,
- v návarech nejsou vlivem vyvozeného tlaku žádné bubliny a póry,
- dokončovací operace broušením, leštěním bez problémů,
- dostatečný sortiment přídavného materiálu,
- možnost aplikací na všechny druhy poškození forem,
- rychlé a jednoduché ovládání, svařování bez ochranných plynů a tavidel,
- ekologická technologie

Oblasti použití:

- poškození střížných hran, kolíkových otvorů, dělicích rovin, vyhazovačů, jader,
- oprava povrchu svarů po klasických metodách svařování,
- oprava poškozených ploch rýhováním, erozí taveninou, studeným spojem
- odstraňování chyb třískového a elektroerozivního opracování
- při konstrukčních změnách, vzorkových formách a modifikacích [19]

#### 4.1.8 Impulsní mikronavařování

Impulsní mikrosvařování je nová technologie, jejíž princip je založen na tavení přídavného materiálu elektrickými impulsy rotující elektrody. Zdroj dává krátký, ale velmi vysoký proudový impuls, proud je 20÷1100A, doba impulsu je v mikrosekundách.

Frekvence proudových impulsů je velmi malá (doba mezi impulsy je 0,5s), takže nedochází k difúzi tepla do materiálu a teplota okolí svaru se udrží pod teplotou popouštění nástrojových ocelí. Společně s přídavným materiálem se nataví tenká vrstva základního materiálu a vytváří se metalurgický spoj s velmi dobrou vazbou. Tloušťka návaru se pohybuje mezi 0,1 - 0,4 mm a v případě požadavku větší tloušťky se navařuje na několik vrstev. Rotační

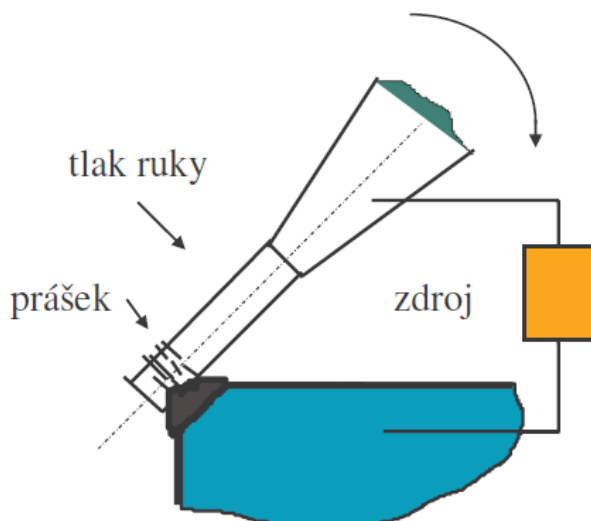
elektroda připojena na kladný pól zdroje zajišťuje pomocí magnetické vložky nesení práškového přídavného materiálu, které jsou po natavení tlakem ruky tvarovány do požadovaného tvaru. Požadovaný tvar povrchu se dosáhne použitím vhodného rozměru elektrody a regulací parametrů svařování (proud, taktová frekvence impulsů.)

Přídavné materiály se dodávají ve formách:

- práškové přídavné materiály o zrnitosti 100mm,
- pásy tloušťky 0,1 - 0,2 mm a šířky 5 - 30 mm
- drátky průměru 0,2 - 0,4 mm.

Pro tuto technologii je nabízeno více než 20 typů různých přídavných materiálů především vysokolegovaných a nástrojových ocelí, ale také niklové a kobaltové slitiny. Snahou je zvolit pro renovaci stejný materiál jako základní materiál.

Metoda impulsního mikronavařování byla poprvé použita v roce 1990 k opravám funkčních ploch forem na polymery a dále se rozšířila na formy pro tlakové lití a pryž, lze renovovat obráběcí a tvářecí nástroje např. hrany střížnic a střížníků, razníky, ostří odvalovacích fréz nebo výstružníků. [9]



Obr. 32 Impulsní mikronavařování [19]

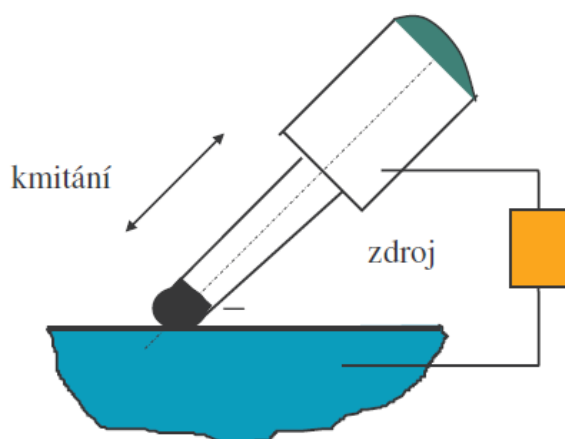
#### 4.1.9 Elektrojiskrové navařování

Další metoda vhodná pro renovace i tvorbu nových povrchů je elektrojiskrové navařování založené na principu elektroeroze. Elektroda tvořená např. karbidem wolframu je připojena na kladný pól stejnosměrného zdroje vybaveného kondenzátory a elektronickým řízením výstupních parametrů. Pomocí vibrátoru se elektroda rozkmitá na 100 Hz a přiblíží k povrchu součásti. Při krátkodobém doteku 1/100 s je povrch nástroje vystaven impulsům

elektrického výboje a lokálně je ohřátý nad teplotu překrystalizace, čímž dojde k zakalení v tloušťce několika desítek mikrometrů. Současně je při výboji povrch elektrody přehřátý a částice WC, W<sub>2</sub>C se nataví na povrch nástroje, kde rychle chladnou. Současně se vytváří mikroplazma, kde disociovaný vzdušný dusík s uhlíkem a základním materiálem vytvářejí chemickou vazbu a přispívají k vytvrzení povrchu materiálu na tvrdost až 75 HRC. Samotný návar má tloušťku 2 - 40 μm a tvrdost dosahuje až 82 HRC. Kromě WC se jako přídatný materiál používá vysokolegované a nástrojové oceli v zušlechtěném stavu. Povlaky se vyznačují vynikající přilnavostí k základnímu materiálu a lze je táhnout, ohýbat a snášejí i rázové zatížení. Povlak se dá leštit diamantem nebo SiC, zvyšuje žáruvzdornost a odstranit se dá tryskáním korundem.

Příklady aplikací:

- renovace hran a ploch
- renovace dutiny formy
- renovace funkčních částí protlačovacích, ohybových a střížných nástrojů
- tvarové vložky forem [9]



Obr. 33 Elektrojiskrové mikronavařování [19]

#### 4.1.10 Odporové mikronavařování

Nový typ odporového mikrosvařování firmy NOVAPAX pod označením SPOTRON TZ 100 umožňuje opravy forem a nástrojů krátkým vysokoenergetickým výbojem kondenzátorového obvodu. Výstupní energie dosahuje až 100 W při proudu 0 – 3000 A a napětí 0 - 10 V. [9]

Průměr elektrod je 2,3 a 5 mm, přídavný materiál je opět nabízen ve formě prášku cca 80 µm, pásků tl. 0,1 až 0,2 mm o rozměrech 5 x 150 mm, nebo drátků průměrů 0,2 - 0,3 mm.

#### 4.1.11 Výhody a použití technologie mikronavařování

Při opravách a renovacích forem a nástrojů je důležité minimalizovat tepelné ovlivnění a degradaci základního materiálu vlivem vneseného tepla, což mikronavařování splňuje. Tuto technologii lze použít na celou řadu oprav nástrojů a forem, např. poškození střížných hran, dělicích rovin, kolíkových otvorů, vyhazovačů, jader, dutin, vložek, popisů apod. Také se využívá pro opravy povrchu svarů po klasickém svařování, odstraňování chyb po třískovém a nekonvenčním opracování, k opravám ploch poškozených erozí taveninou či při konstrukčních změnách a modifikacích forem. Zařízení pro mikronavařování má jednoduché a rychlé ovládání, v návarech se nevyskytují vady, jako jsou bubliny a póry. Dostatečný sortiment přídavných materiálů umožňuje použití pro různé základní materiály. Dokončovací operace leštění, broušení, zaškrabávání apod. jsou při této technologii dobře aplikovatelné. Důležitá vlastnost v dnešní době je také ekologická nezávadnost technologie mikronavařování.

Volba a aplikace technologie opravy závisí na mnoha faktorech, z nichž nejdůležitější jsou způsob výroby a materiál formy, povrchová úprava a tepelné zpracování, cena a náročnost výroby nového dílu a v neposlední řadě také požadovaný termín opravy.

## 4.2 Opravy vložkováním

Vhodný způsob oprav je vložkování opotřebených, nebo poškozených částí forem. Realizuje se buď zhotovením sedla a do něho upravené vložky, nebo prostou výměnou poškozeného dílu novým, obvykle náhradním dílem.[18]

Zhotovení tvarových sedel v opotřebených částech formy a následné vložkování je prováděno většinou do tepelně zpracovaných materiálů. Sedla se zhotovují nejlépe elektroerozivním hloubením, řezáním, s dodatečným vybrušováním. Klasické třískové obrábění je možné až do tvrdosti 60 HRC nástroji ze slinutých karbidů. Následné dolícování nové vložky ze shodného materiálu zaručí stejné vzhledové vlastnosti jako původní části. Pouze otisk obvodu vložky může být v některých případech vzhledovou vadou. [18]

Výměna celého poškozeného dílu za nový je obvykle jednodušší. V případě, že je na měněném dílci dělicí rovina, je třeba, zvláště u tvarové dělicí roviny, počítat s dolícováním formy.

## 5 SOUHRN TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části byly popsány způsoby zpracování polymerů a technologie tváření plastů a elastomerů se zaměřením na nástroje používané při zpracování těchto materiálů. Dále jsou popsány způsoby výroby, povrchové úpravy a tepelné zpracování forem. Poslední kapitola popisuje metody, které lze v praxi použít k opravám a renovacím vulkanizačních, ale i vstřikovacích a jiných forem.

Na ceně hotového výrobku se významně podílí jak cena nové formy, tak i náklady na údržbu, opravy, renovace a skladování. Znalosti vlastností materiálů forem, zásad správné údržby a možností oprav může významně snížit náklady na údržbu, omezit výskyt výrobních vad a prodloužit životní cyklus formy.

V praktické části jsou popsány způsoby oprav a renovací, které se v praxi používají k opravám a renovacím vulkanizačních, ale i vstřikovacích a jiných forem.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 NÁPLŇ PRAKTICKÉ ČÁSTI

V praktické části jsou popsány vybrané způsoby a možnosti, které se obvykle používají k opravám a renovacím nosných a tvarových částí forem. Zastoupeny jsou způsoby oprav a renovací často se vyskytující v praxi v nástrojárnách. Obvykle a nejčastěji se opravují tvarové části dutin, ať už z důvodu opotřebení, konstrukční změny, nebo poškození nevhodným zacházením či chybou obsluhy. Dále se často opravují a vyměňují nosné části forem, jako jsou zámky, rámy, nosiče apod. V závěru práce je provedeno ekonomické zhodnocení z hlediska nákladů na opravu a ceny formy.



## 7 VÝBĚR ZPŮSOBŮ OPRAV FOREM PRO DIPLOMOVOU PRÁCI

Vybrané způsoby oprav vycházejí z poruch a vad, které se často vyskytují v praxi v nástrojárnách a opravných forem. Podle části formy, kde se provádí oprava, lze zásah rozdělit na:

- opravu tvarové části,
- opravu dezénové části,
- opravu nosné části.

Konkrétní způsob opravy závisí zejména na rozsahu vady, způsobu výroby a materiálu formy, ceně a náročnosti výroby nového dílu a také na požadovaném termínu opravy. Všechny tyto aspekty je nutné vzít v úvahu při posuzování a rozhodování o použité technologii tak, aby oprava splňovala požadavky na zvýšení užitečných vlastností a prodloužení životnosti formy.

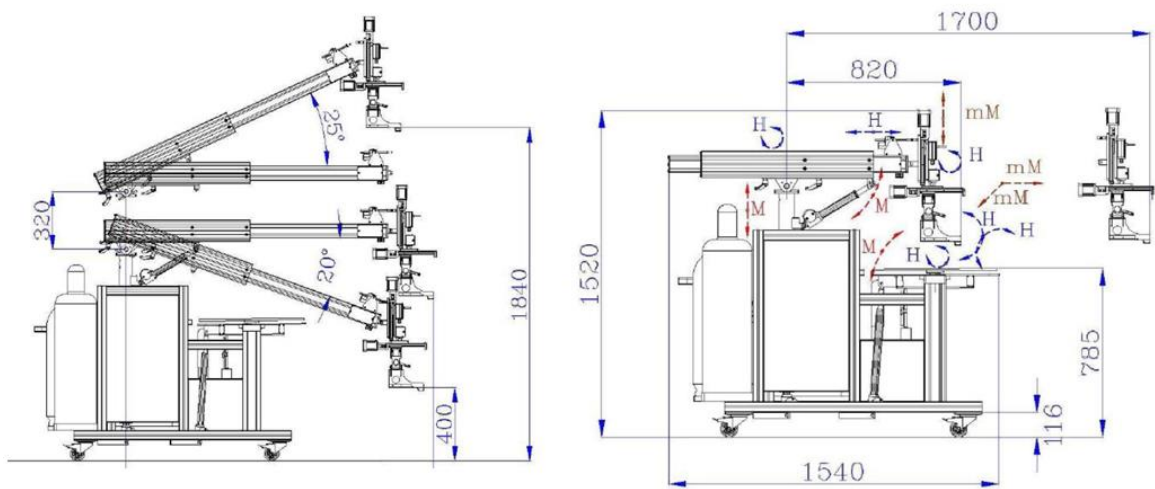
### 7.1 Oprava tvarové části formy

Opravy menšího rozsahu lze realizovat výměnou části dílce formy, tzv. vložkováním, nebo výrobou a výměnou celého opotřebovaného dílu v případě většího rozsahu poškození nebo rozsáhlejších tvarových změn.

Opravy opotřebovaných či poškozených dílů lze rychle a kvalitně opravit navařením. Mezi nejnovější a nejdokonalejší způsoby navařování patří laserová technologie. Navařované místo je téměř bez tepelného ovlivnění a návary jsou velmi kvalitní bez pórů a bublin. Laserový návar vzniká v důsledku působení laserového svazku na materiál, který se nataví a do místa natavení se přidáním přídavného materiálu vytvoří návar. Lze provádět jak opravy malého rozsahu, např. opravu vady materiálu, poškozených hran nebo popisu formy, tak i opravy větších rozsahů při konstrukčních změnách, opravy opotřebovaných tvarů, dělicích rovin apod.

Práce byly prováděny ve firmě IGTT a.s. Zlín na laserovém navařovacím systému ACP C150M, který vyrábí česká firma Mepac CZ s.r.o. z Třince. Díky mimořádné možnosti pozicování laserového paprsku (systém má 13 stupňů volnosti) lze navařovat i těžko přístupná místa a tvary. Další výhodou systému je jeho mobilita, takže lze opravu provést bez složité manipulace zejména rozměrných dílů, běžně se navařováním opravují formy s hmotností 10 a více tun. Přídavný materiál se dodává ve formě návarových drátů

v průměrech 0,2 až 1 mm různých materiálů umožňujících svařování konstrukčních i nástrojových ocelí, slitin hliníku či bronzu.



Obr. 34 Laserový navařovací systém ACP C150



Obr. 35 Laserový navařovací systém ACP C150

### 7.1.1 Oprava navařením

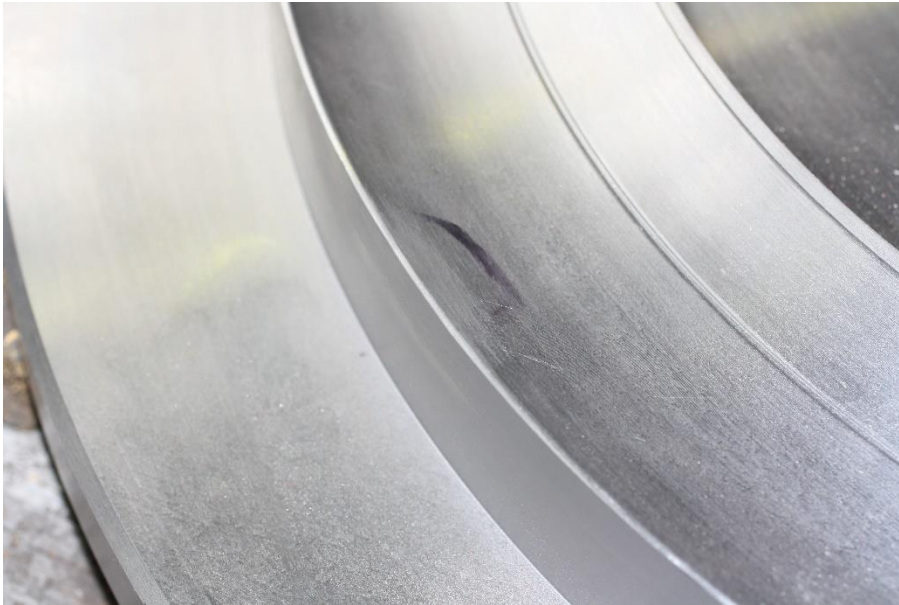
Při neopatrné manipulaci došlo k poškození hrany bočnice formy. Dílec je vyroben z oceli 1.0057 (11 523) a použitý přídavný materiál byl drát průměru 0,5mm ND LAS1P0505V. Místo opravy je třeba očistit a případně zabrousit a vyznačit tak, aby svářeč věděl, kde má návar provést (obr. 36). Dalším krokem je vlastní navaření, které i s přípravou trvalo přibližně 30 minut (obr. 37). Přebytečný materiál se následně odbrousí a místo se začistí (obr. 38). Celá oprava trvala asi 1 hodinu, náklady na opravu byly vyčísleny na 1800,-Kč.



Obr. 36 Příprava pro navaření v bočnici



Obr. 37 Navaření hrany bočnice



Obr. 38 Začištění hrany po navaření

Dalším využitím laserového návaru byla oprava vady materiálu, která se objevila po obrobení tvaru a následném leštění (obr. 39). Místo vady bylo vybroušeno, aby se zjistilo, zda vada materiálu nezasahuje do větší hloubky. To by mohlo způsobit vady výrobků při následném lisování. Následně bylo místo vady zavařeno (obr. 40) a začištěno (obr. 41). Celá operace trvala 1 hodinu při nákladech 1800,-Kč.



Obr. 39 Vada v materiálu





Obr. 40 Navaření chybějícího materiálu



Obr. 41 Začištění plochy po navaření

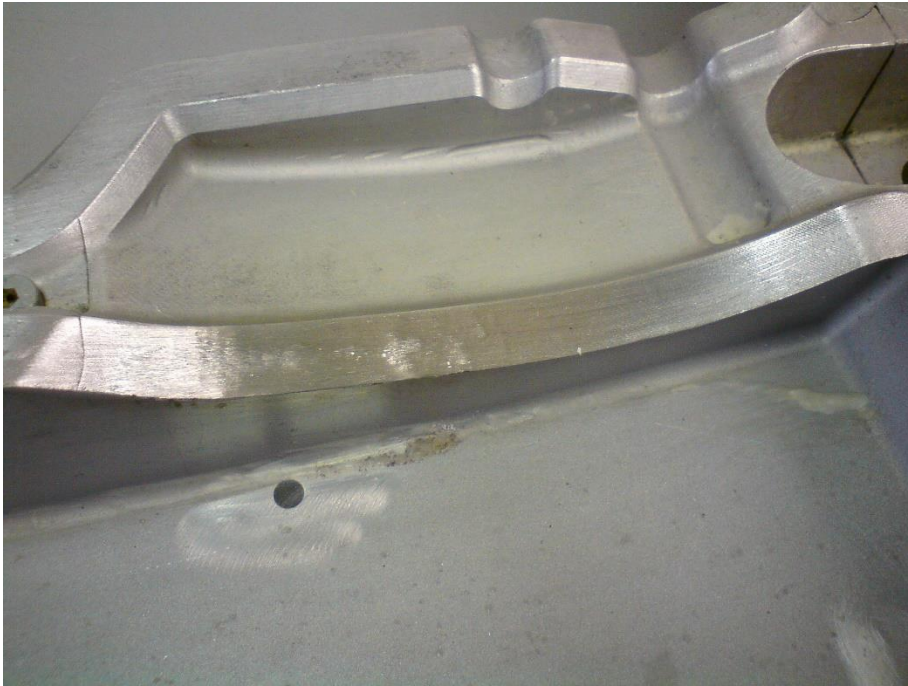
Velmi rychlá a kvalitní oprava dělicí roviny byla provedena po poškození formy chybou obsluhy, která špatně založila výztuhu vylisku. Ta při zavření formy poškodila dělicí rovinu (obr. 42). Na očištěnou formu v místě poškození je laserem navařeno dostatečné množství materiálu (obr. 43). Následně formíř návar zabrousí a přeleští (obr. 44). Čas opravy do 1,5 hodiny, náklady cca 2500,- Kč. Za 2 hodiny byla forma opět ve výrobě, přerušení výroby tak bylo sníženo na nejnutnější minimum.



Obr. 42 Poškození dělicí roviny chybou obsluhy

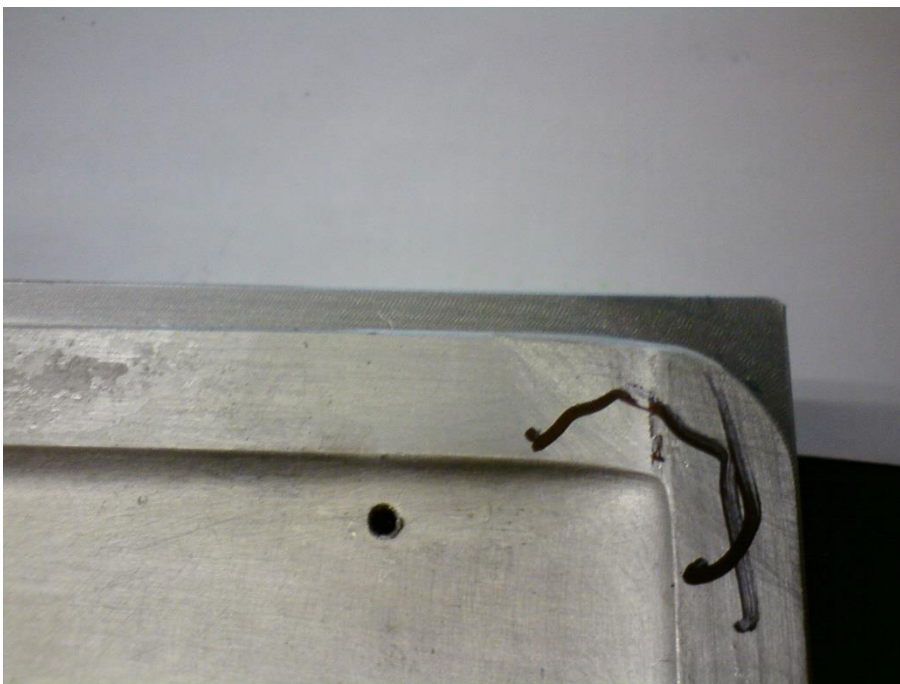


Obr. 43 Navaření v dělicí rovině



Obr. 44 Opravená dělicí rovina

Také při konstrukčních a tvarových změnách menšího rozsahu lze mikronavařováním rychle provádět úpravy. Na obr. 45 je původní tvar dutiny v místě, kde došlo ke změně tvaru. Na vyznačeném místě formy je navařen materiál (obr. 46), následně je místo obrobno na CNC obráběcím centru podle nového modelu a ručně zaleštěno (obr. 47). Oprava trvala celkem 4 hodiny a stála asi 4 000,-Kč.



Obr. 45 Původní tvar dutiny před opravou





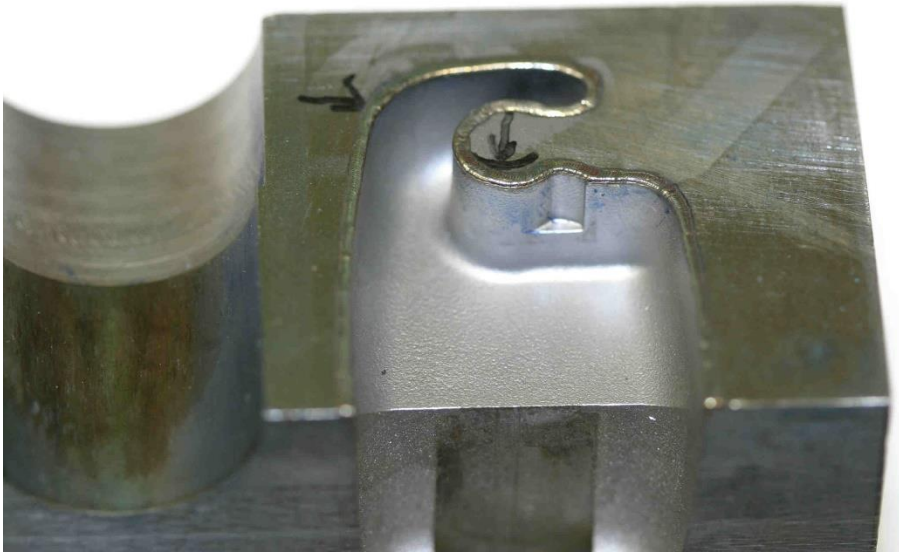
Obr. 46 Návar v místě tvarové změny



Obr. 47 Nový tvar po obrobení a zaleštění

Další aplikací je oprava hran tvarové dutiny s chemicky dezénovaným povrchem (obr. 48). Důležitým požadavkem v tomto případě bylo nepoškození povrchu dutiny, což laserová technologie splnila i bez nutnosti ochrany dutiny. Po navaření se dělicí rovina přefrézovala a přebrousila (obr. 49). Čas opravy 5 hodin, cena do 10 000,-Kč.





Obr. 48 Oprava hran tvarové dutiny



Obr. 49 Navařená hrana po přebroušení

Laserové navařování je vhodné pro renovace tvarových ploch, další aplikací je renovace datumového pole v tvarové ploše. Na obr. 50 je vidět, jak vypadá datumové pole před renovací. Plocha se očistí a pole se zavaří. Následně se plocha vybrousí a vyleští do původního tvaru. Do čisté plochy se na CNC obráběcím stroji vytvoří nové datumové pole (obr. 51). Celá oprava trvala asi 6 hodin, cena opravy 8 500,-Kč.



Obr. 50 Datumové pole před opravou



Obr. 51 Renovovaná plocha a nové datumové pole

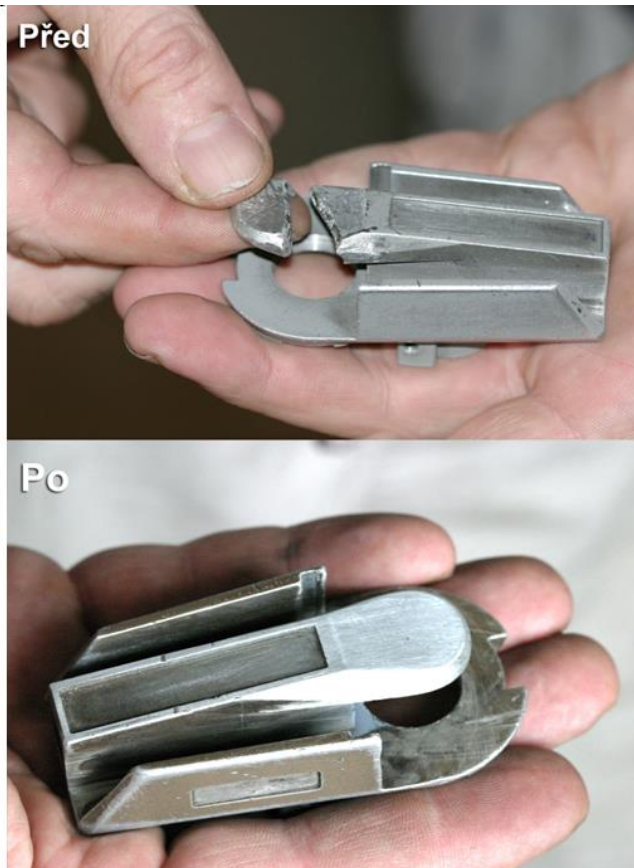
Některé namáhané části forem mají povrchovou úpravu, např. ocelové nožky obuvnických forem (obr. 52) jsou chromovány kvůli ochraně proti korozi. Jestliže je tedy takový díl nutné opravit, musí se nejdříve odchromovat. Pak se může v místě opravy provést návar. Následně se podle rozsahu opravy tvar může přefrézovat, nebo jen zabrousit a vyleštit. Cena takové opravy se pohybuje okolo 1000,-Kč. Nakonec se nožka opět nachromuje. Taková oprava se kvůli obnově povrchové úpravy prodraží asi o 1000,-Kč.



Obr. 52 Část obuvnické formy nožka

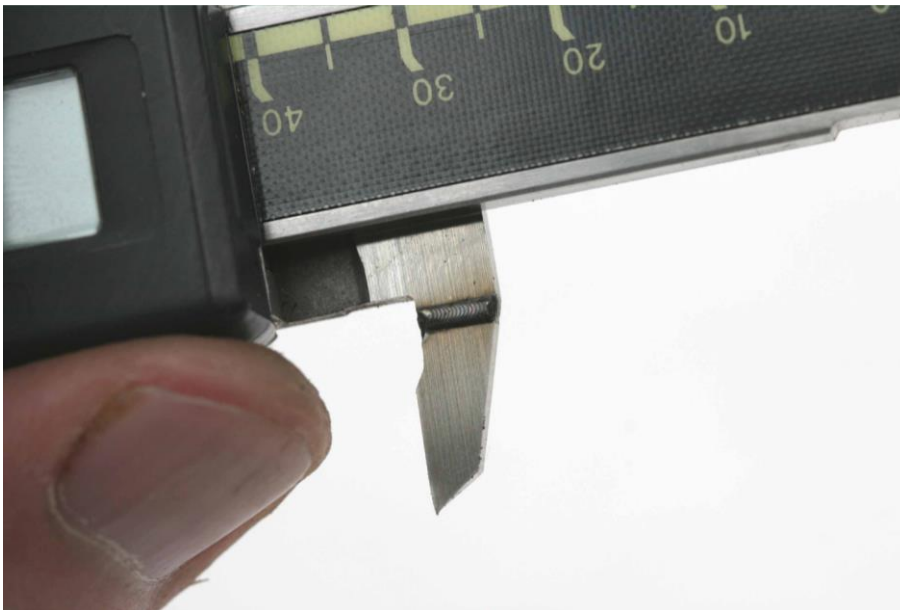
### 7.1.2 Oprava svařováním laserem

Laserovou technologii lze použít nejen k navařování, ale také ke svařování prasklých a odlomených částí. Na obr. 53 je poškozená hliníková tvarová vložka, jejíž odlomená část byla pomocí laseru přivařena a po začištění a přeleštění není poškození patrné. Oprava trvala asi 2 hodiny a cena opravy byla 2 500,-Kč.



Obr. 53 Oprava prasklé tvarové vložky

Laserové svařování nedeformuje plochy, proto je možné touto technologií opravit i měřicí část na dílenském posuvném měřidle, aniž by došlo ke zhoršení kvality měřidla (obr. 54).



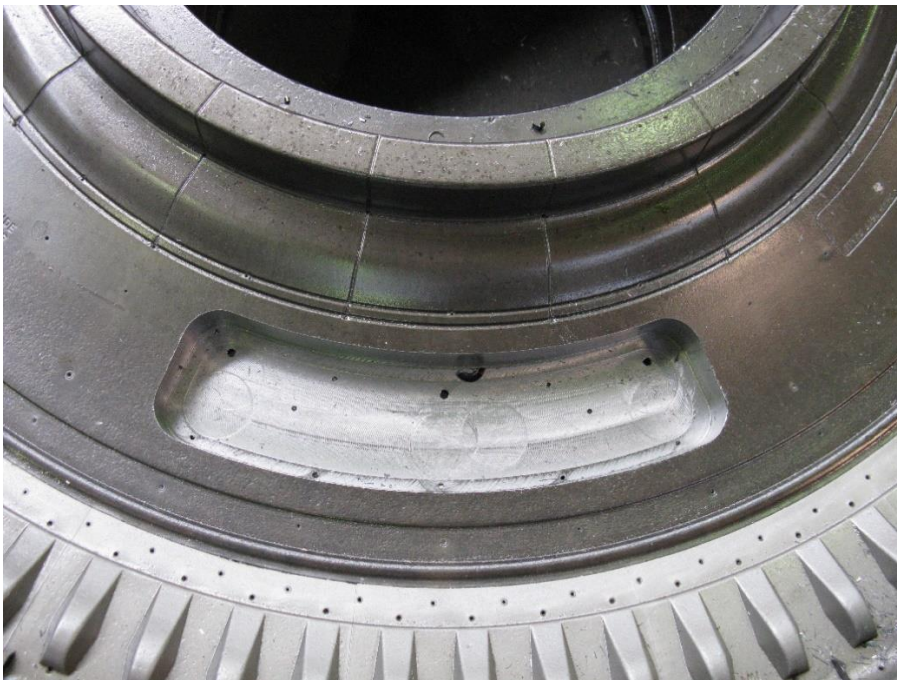
Obr. 54 Svaření odštipnuté měřicí části posuvného měřidla



### 7.1.3 Oprava vložkováním

Tato oprava se prováděla z důvodu změny popisu v bočnici formy. Nejprve se v místě starého popisu vyfrézuje dutina (obr. 55). Vložka s novým popisem se vyrobí zvlášť. Do vyfrézované dutiny se vložka (obr. 56) zapasuje a obvod se rozleští, aby nezanechával stopy na výrobku.

Dutina a vložka se vymodeluje a naprogramuje v CAD/CAM programu (Catia, NX, Creo), následně se vyrobí na CNC obráběcím centru. Tato oprava vyžaduje přesnou výrobu dutiny a obvodu vložky, časová náročnost je daná zejména složitostí tvaru nebo popisu. Na zkušenostech a pečlivosti mechanika-formíře závisí výsledná kvalita opravy. U dobře zapasované a zaleštěné vložky není patrná žádná stopa po obvodu. Tato oprava trvala asi 4 hodiny a stála 5 500,-Kč.

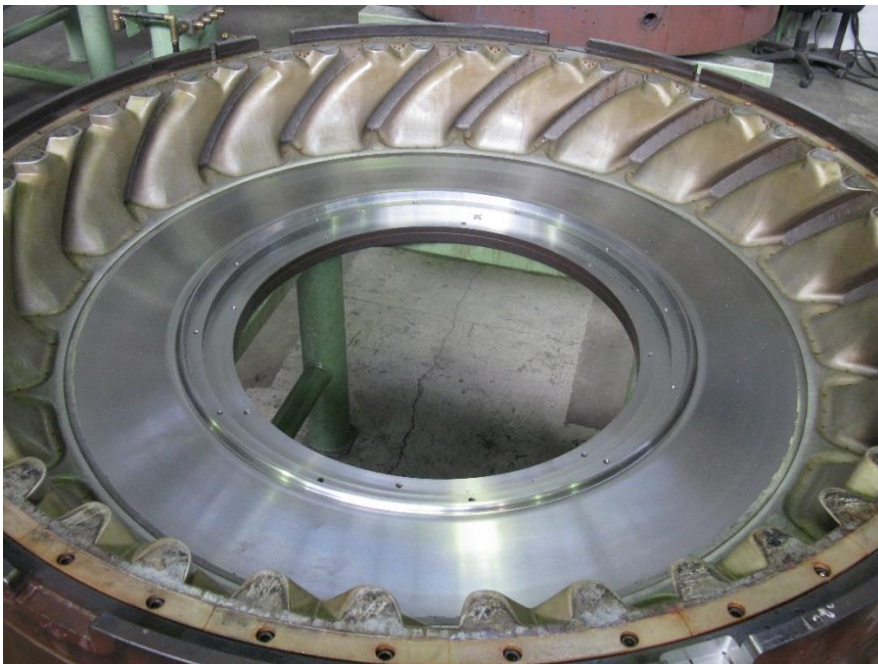


Obr. 55 Dutina pro vložku



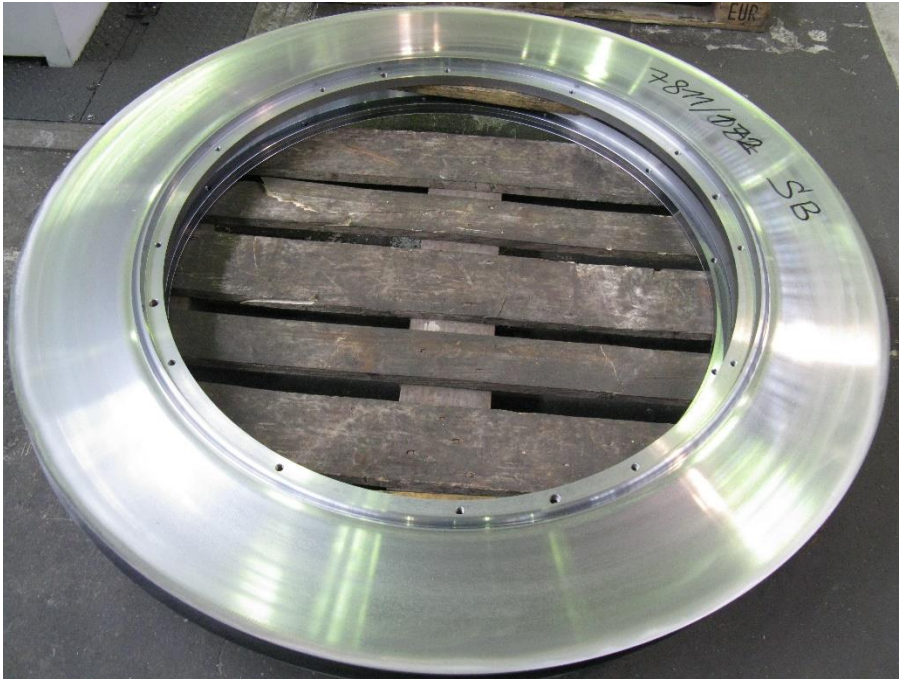
Obr. 56 Vložka s popisem

Při rozsáhlejší opravě zejména u velkých forem je vhodnější celý popis odebrat na soustruhu nebo obráběcím centru (obr. 57) a do vzniklé dutiny vložit mezikruží (obr. 58). Toto mezikruží se vyrobí s přídavkem, který se odebere po spasování s formou tak, aby nebyl patrný rozdíl v napojení s původním tvarem formy. Pak se vytvoří nové popisy (obr. 59). Tato oprava je zejména u velkých a složitých popisů časově náročná a může trvat desítky hodin.



Obr. 57 Vybrání v bočnici formy (uprostřed)





Obr. 58 Vložka bočnice



Obr. 59 Bočnice s novými popisy

## 7.2 Oprava dezénové části formy

Navarování dezénových částí se provádí z důvodu oprav vad a vzduchových bublin u odlitků, ale i při konstrukčních změnách, opotřebení nebo poškození.

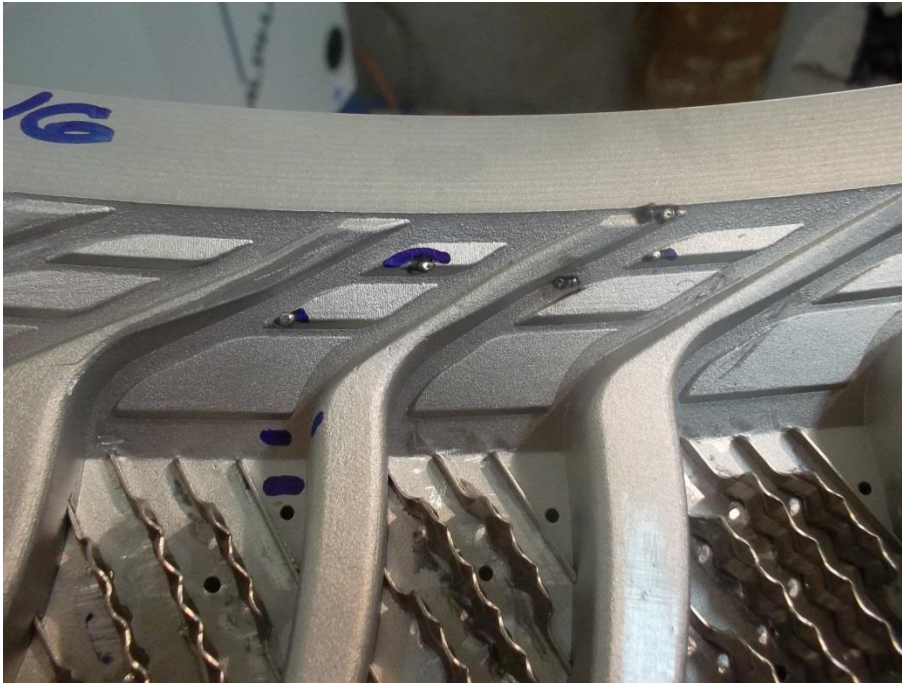
Odlitek dezénové části formy na pneumatiky je třeba pečlivě zkontrolovat a označit místa vad, která je třeba navařit (obr. 60). Odlitek je z hliníkové slitiny a přídavný materiál se volí shodný se základním materiálem. Pak svářeč označená místa navaří (obr. 61). Po zabroušení přebytečného materiálu, začištění a opískování se dezénové segmenty skládají a pasují do nosiče segmentů. Na obr. 62 je opravený segment.

Čas opravy závisí na rozsahu a množství vad, podle složitosti dezénu se na jednom segmentu opravuje 20 až 50 vad. Oprava jedné vady trvá asi 0,5 min, přibližně stejný čas potřebuje formír na začištění. Celková doba opravy jednoho segmentu je asi 30 minut, po opískování se však často objevují další defekty a ty je třeba opět zavařit. Toto se může opakovat i 3x, než je dezén segmentu vyhovující. Ve formě je 8 – 9 segmentů a celkový čas opravy je 8 až 10 hodin. Cena opravy jedné formy se pohybuje okolo 22 000,-Kč.



Obr. 60 Označené vady na odlitku segmentu





Obr. 61 Navařené vady na odlitku segmentu



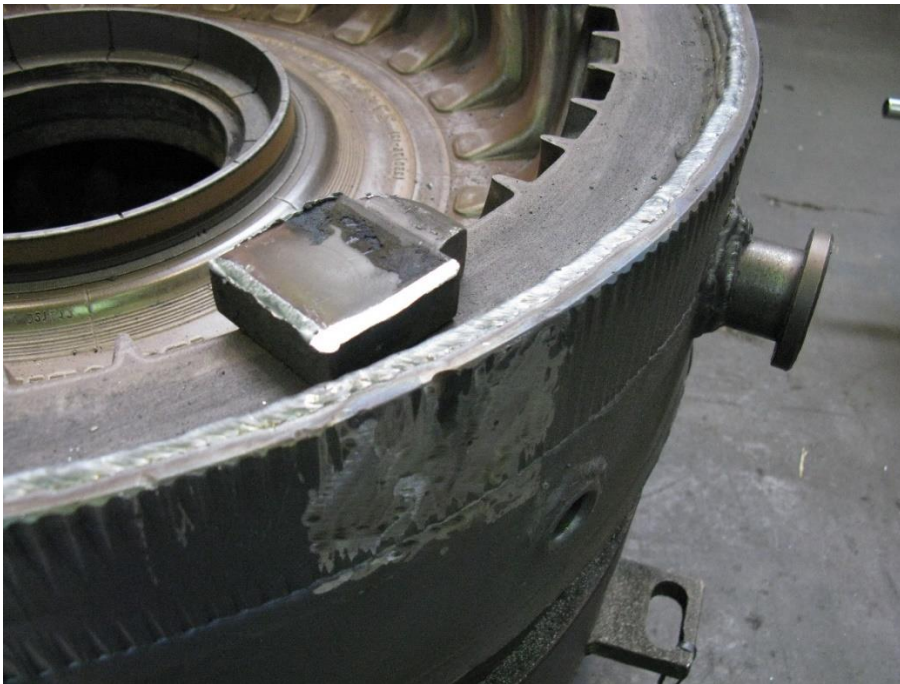
Obr. 62 Opravený dezénový segment formy

### 7.3 Oprava nosné části formy

Obvykle se jedná o opravy částí forem, které se používají k upínání, aretaci nebo manipulaci. K poškození dochází jednak vinou chybné manipulace obsluhy, nebo opotřebením cyklickým namáháním. Konkrétní příklad jsou zámky, sloužící k aretaci zavřené formy, které se častým zavíráním „vymačkají“, případně se některá část zámku ulomí.

Postup opravy: nejprve je třeba všechny části zámku odbrousit. Místo, kde byl zámeček, se musí mechanicky začistit tak, aby se odstranily zbytky sváru (obr. 63). Nově vyrobené části zámku se přivaří na původní místo, začistí a případně dopasují, aby byla zaručena správná funkčnost při zavírání formy (obr. 64).

Časová náročnost opravy je 2 až 4 hod, podle velikosti a složitosti zámku. Cena takové opravy se pohybuje okolo 3 000,-Kč. Tyto opravy nejsou technicky ani časově příliš náročné.



Obr. 63 Odstranění poškozeného zámku formy



Obr. 64 Nový zámek formy

## 8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V následující tabulce jsou vypsány jednotlivé druhy oprav, použité technologie, čas a cena opravy. Z výsledků práce vyplývá, že samotné nanesení přídavného materiálu je velmi rychlé a následné operace mohou následovat ihned po navaření, protože není nutné čekat na ochlazení dílce. Největší časovou náročnost vykazuje obrábění tvarových ploch, výroba nových dílů forem a vložek, či nové popisy na CNC strojích, podle velikosti a složitosti i několik desítek hodin. Také nutnost odstranění a obnovení povrchové úpravy představuje vyšší časovou i finanční náročnost opravy.

Naopak nejrychlejší a nejlevnější opravy jsou ty, kde stačilo pouze navařit přídavný materiál, zabrousit a zaleštit. Taková oprava se dá provést do 1 hodiny. Tyto opravy se velmi často provádějí přímo ve výrobě tzv. „na počkání“ s minimální časovou prodlevou ve výrobním procesu.

Pozice	Technologie	Materiál	Způsob opravy	Čas opr.	Hodinová sazba	Cena komplet
1	mikronavařování laserem	1.0057	oprava tvaru obuvnické nožky, odchromování + nachromování	8h	250 Kč	2 000 Kč
2	mikronavařování laserem	3.3547	navaření tvaru, obrobení, začištění	4h	1 000 Kč	4 000 Kč
3	navaření nosných částí	1.0057	výměna zámků formy navařením	3h	1 000 Kč	3 000 Kč
4	mikrosvařování laserem	AlSi10	přivaření odlomené části, začištění	2h	1 250 Kč	2 500 Kč
5	vložkování	1.0057	vyfrézování dutiny, zapasování nové vložky	4h	1 375 Kč	5 500 Kč
6	mikronavařování laserem	1.2311	renovace tvarové plochy, obrobení, leštění	6h	1 417 Kč	8 500 Kč
7	mikronavařování laserem	3.3547	navaření dělicí roviny, začištění	1,5h	1 667 Kč	2 500 Kč
8	mikronavařování laserem	1.0057	navaření hrany, začištění	1h	1 800 Kč	1 800 Kč
9	mikronavařování laserem	1.0057	zavaření vady mat., začištění	1h	1 800 Kč	1 800 Kč
10	vložkování	1.0057	soustružení dutiny, zapasování mezikruží, nový popis	28h	1 964 Kč	55 000 Kč
11	mikronavařování laserem	1.2311	navaření hran, obrobení, broušení	5h	2 000 Kč	10 000 Kč
12	mikronavařování laserem	AlSi10	zavaření vad mat. odlitku, začištění	10h	2 200 Kč	22 000 Kč

Tab. 3 Ekonomické zhodnocení

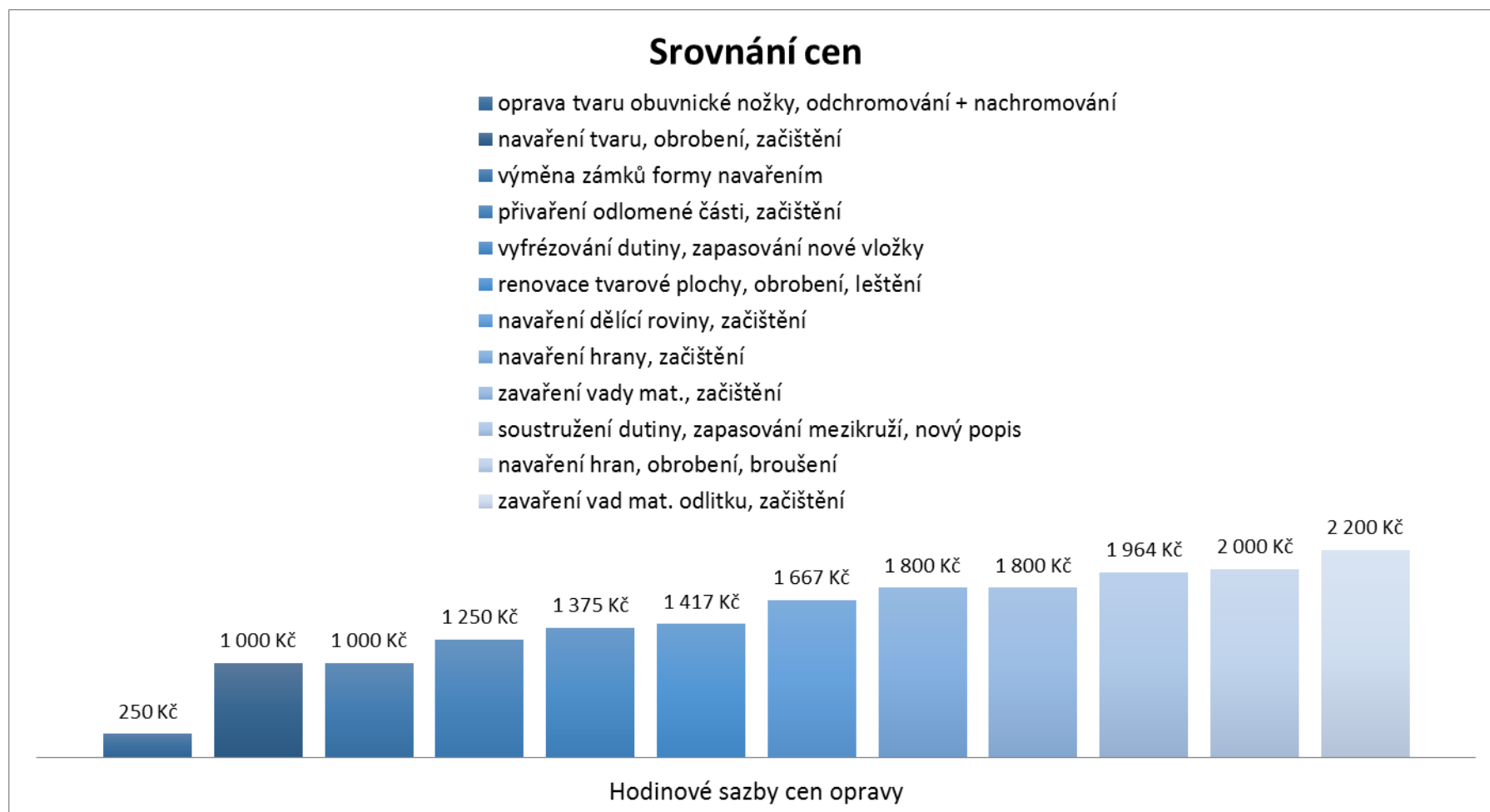
Srovnáním cen hodinové sazby v grafu 1 je vidět, že nejnižší cena je u oprav malého rozsahu. V případě obuvnické nožky je však nevýhodou délka opravy daná nutností odchromování a nového nachromování po opravě.

Levné jsou opravy nosných částí forem, zejména u rozměrovně malých částí, jako jsou zámkové, jedná se obvykle o tvarově jednoduché a tedy levně vyrobitelné součásti.

Vyšší ceny oprav jsou u dílů, kde je nutné zavaření větších ploch, jako je navařování hran, dělicí roviny a tvarových ploch, což je časově náročnější. Zde je třeba počítat s nutností programování a obrábění na CNC strojích.

U oprav vložkováním je kromě obrábění tvarových ploch s často složitými a rozsáhlými popisy v bočnicích pneuforem počítat i s nezanedbatelnou cenou materiálu.

Nejdražší hodinová cena opravy byla u odlitků dezénových segmentů pneuforem. Je to dáno především množstvím drobných vad, které je třeba postupně opravit, což je ve složitém tvaru dezénu pracné a zdlouhavé.



Graf 1 Porovnání ceny oprav



## ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá opravami a renovacemi vulkanizačních forem. Byly popsány opravy, které se často vyskytují v praxi v nástrojárnách. Opravy mikronavařováním laserem jsou rychlé, návar kvalitní bez pórů a bublin a navařené místo je téměř bez tepelného ovlivnění. Tímto způsobem lze opravit jak drobné vady materiálu, chyby při obrábění, poškození ve výrobě, tak i rozsáhlejší plochy při konstrukčních změnách nebo opotřebením.

Největší nákladovou položkou je pořizovací cena laserového navařovacího systému, která se u českého výrobce firmy Mepac CZ s.r.o. pohybuje okolo 1 500 000,-Kč v závislosti na konkrétním typu a vybavení. Důležité je také správné zaučení obsluhy a znalost používaných přídavných materiálů.

Cena hodiny práce navařovacího laseru se pohybuje okolo 1 500 až 2 000,- Kč, přičemž jednoduché opravy malého rozsahu lze provést během půl hodiny, rozsáhlejší renovace ploch mohou trvat i desítky hodin. Ve srovnání s cenou formy, která se pohybuje ve stotisícových částkách, je taková oprava velmi levná a rychlá, minimalizuje se tak doba, kdy forma není ve výrobě. Významné je také prodloužení životnosti formy, návar je možné aplikovat několikrát po sobě. Díky tomu, že je zařízení mobilní, lze opravy provádět i bez demontáže formy ze stroje, nebo bez složité manipulace velkých dílů.

Také opravy výměnou poškozené nebo opotřebené části formy jsou často používanou metodou oprav. Obrobení tvarových částí vyžaduje softwarové vybavení CAD – CAM programy, strojní vybavení CNC stroji a kvalitní nástroje. Neméně důležitá je však dokončovací ruční práce, bez které se při dokončování, spasování a kompletaci nelze obejít. V případě povrchové úpravy dílce např. chromováním je nutné k ceně opravy přičíst i odstranění a po opravě obnovení této povrchové úpravy. Podle velikosti dílce se jedná o několik set až tisíc Kč.

Laserové navařování je moderní metoda oprav forem, u které lze předpokládat rozšiřování použití zvláště s klesající pořizovací cenou zařízení a tím i hodinové sazby navařování. Další metodou, u které se předpokládá nárůst využití při opravách náradí, je rapid prototyping. Technologie 3D tisku má zatím určitá omezení, jako jsou poréznost a omezené zatížení, rychlý vývoj však umožňuje rozšíření použití nejen ve strojírenství, ale i stavebnictví a dalších oborech.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] DVOŘÁK, Zdeněk. *Zpracovatelské procesy gumárenské pro konstrukční směry*. Zlín, 2013, 172 s.
- [2] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-7080-617-6.
- [3] LENFELD, Petr. *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti* [online]. [cit. 2013-10-26]. Dostupné z:  
[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm)
- [4] Přehled nástrojových ocelí na plasty. [online]. [cit. 2013-11-02]. Dostupné z:  
<http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/nastrojove-oceli/nastrojove-oceli-na-plasty/prehled-nastrojovych-oceli-na-plasty>
- [5] BOBČÍK, Ladislav a spol. *Příručka formy pro zpracování plastů: I. díl - vstříkovaná termoplastů*. Brno: UNIPLAST, 1999, 133 s.
- [6] CRAWFORD, R. *Plastics engineering*. 3rd ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 1998, 505 p. ISBN 07-506-3764-1
- [7] MAŇAS, Miroslav a Josef HELŠTÝN. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II*. 1. vyd. Brno: VUT, 1990, 199 s. ISBN 80-214-0213-X.
- [8] DVOŘÁK, Zdeněk a Jakub JAVOŘÍK. *Konstrukce výrobků: Konstrukční materiály elastomerní a formy na jejich výrobu*. Zlín, 2011, 152 s.
- [9] DVOŘÁK, Zdeněk. *Nástroje pro zpracování polymerů, vulkanizační formy*. Zlín, 2013.
- [10] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie* [online]. 2005 [cit. 2013-11-18]. Dostupné z: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/>
- [11] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Brno: Sekurkon, 2007, 228 s. ISBN 978-80-86604-36-7.
- [12] *Učební texty: Gumárenská technologie*. Barum Continental spol. s r.o., 2008.
- [13] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
- [14] MLEZIVA, Josef. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-859-2072-7.



- [15] ČADA, Radek. *Technologie I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1507-7.
- [16] ŠVORČÍK, Václav. *Struktura a vlastnosti polymerů - stručně* [online]. Praha: VŠCHT - Fakulta chemické technologie, 2012 [cit. 2013-10-28]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/skripta/Struktura%20a%20vlastnosti%20polymeru%20-%20strucne.pdf>
- [17] MÁLEK, Martin. *Konstrukce motocyklového pláště a formy*. Zlín, 2011. Diplomová práce. UTB FT.
- [18] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů II. díl: Vstřikování termoplastů*. Brno: UNIPLAST, 1999, 214 s.
- [19] KUBÍČEK, Jaroslav. *Renovace a povrchové úpravy*. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006.
- [20] *Svět svaru: Časopis o moderních trendech ve svařování a řezání kovů*. Ostrava: Hadyna - International, 2005. ISSN 1214-4983.
- [21] *Průručka svařování: Opravy a údržba*. 6. aktualizované vydání. ESAB VAMBERK, s.r.o., 2011. Dostupné z: <http://products.esab.com/ESABImages/prirucka%206%20vydani%202011.pdf>
- [22] *Elektroerozivní obrábění, navařování laserem* [online]. © 2013 [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: <http://www.zendl.cz/index.php/elektroerozivniobrabeni>
- [23] KOCMAN, Karel. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [24] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o.: *Technická příručka - soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*, 2010, 802 s.
- [25] MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000, 275 s. ISBN 80-709-9430-4.
- [26] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. *Nekonvenční metody obrábění. MM Průmyslové spektrum*. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2007 [cit. 2014-02-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonzvencni-metody-obrabeni.html>
- [27] STOKLÁSEK, Jiří. *Galvanoplastická výroba forem. MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2007 [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/galvanoplasticka-vyroba-forem.html>

- [28] KUNDRATA, Lukáš. *Srovnání oceli a hliníkových slitin pro vulkanizační formy pneumatik*. Zlín, 2013. Bakalářská práce. UTB FT.
- [29] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 216 s. ISBN 80-708-2668-1.
- [30] EKRT, Ondřej. *Technologie a vlastnosti tenkých vrstev, tenkovrstvé senzory* [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: [http://fchi.vscht.cz/uploads/pedagogika/nano/predmety/senzory/05\\_TechnologieCVD\\_%20PVD\\_PECVD\\_MOVPE\\_MBE.pdf](http://fchi.vscht.cz/uploads/pedagogika/nano/predmety/senzory/05_TechnologieCVD_%20PVD_PECVD_MOVPE_MBE.pdf). Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- [31] MATTOX, Donald M. *Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2010, xlvi, 746 s. ISBN 978-0-81-552037-5.
- [32] GALVANOVNA OMEGA. *Galvanické pokovení* [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.galvanovnaomega.cz/pokov/pokoveni.html>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

G	[MPa]	Modul pružnosti ve smyku
k	[J · K <sup>-1</sup> ]	Boltzmannova konstanta
T	[°K]	Teplota
T <sub>r</sub>	[°C]	Teplota rekrystalizace
T <sub>t</sub>	[°C]	Teplota tavení
CAD	-	Computer Aided Design
CAM	-	Computer Aided Manufacturing
CNC	-	Computer Numerical Control
CVD	-	Chemical Vapor Deposition
HRC	-	Tvrdość podle Rockwella
MAG	-	Metal-arc Active Gas
MIG	-	Metal Inert Gas
PECVD	-	Plasme Enhanced Vapor Deposition
PVD	-	Physical Vapor Deposition
ROE	-	Ručně obalovaná elektroda
SiC	-	Karbid křemíku
WC	-	Karbid wolframu
WIG	-	Wolfram Inert Gas

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Rozdělení polymerů [2] .....	12
Obr. 2 Průběh tlaku v dutině formy během vstřikování [3].....	15
Obr. 3 Schéma vstřikovacího stroje [3] .....	16
Obr. 4 Vtokový systém formy [5].....	18
Obr. 5 Šnekový vytlačovací stroj [6] .....	20
Obr. 6 Linka na výrobu trubek [3].....	21
Obr. 7 Rozdělení vytlačovacích strojů podle hlavního pracovního elementu [7] .....	21
Obr. 8 Jednošnekový vytlačovací stroj [3] .....	22
Obr. 9 Pracovní pásma šnekového vytlačovacího stroje .....	23
Obr. 10 Příčná vytlačovací hlava na trubky .....	24
Obr. 11 Příčné hlavy na vyfukování fólií .....	25
Obr. 12 Mechanické tvarování [3].....	26
Obr. 13 Pozitivní podtlakové tvarování [3] .....	27
Obr. 14 Vícenásobná forma pro negativní tvarování s mechanickým předtvarováním .....	28
Obr. 15 Linka na tvarování desek [3] .....	28
Obr. 16 Princip lisování [3] .....	30
Obr. 17 Princip přetlačování [3] .....	31
Obr. 18 Vulkanizační křivka [1] .....	33
Obr. 19 Princip lisování [8] .....	34
Obr. 20 Dvoudílná forma [17] .....	36
Obr. 21 Segmentová forma [17] .....	37
Obr. 22 Závislost rozměrových změn na čase [8] .....	38
Obr. 23 Příklad vícenásobné lisovací formy.....	39
Obr. 24 Dělicí rovina kroužků kruhového průřezu [8].....	40
Obr. 25 Tvarové frézování [24] .....	44
Obr. 26 Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění [26].....	45
Obr. 27 Výroba odlévacího modelu segmentu pláště pneumatiky [28] .....	46
Obr. 28 Paralelní deskový PECVD reaktor [31].....	51
Obr. 29 Zjednodušené schéma principu pokovení [32].....	52
Obr. 30 Navařování mikroplazmou [19].....	56
Obr. 31 Navařování laserem [19] .....	57
Obr. 32 Impulsní mikronavařování [19].....	59

Obr. 33 Elektrojiskrové mikronavařování [19].....	60
Obr. 34 Laserový navařovací systém ACP C150 .....	66
Obr. 35 Laserový navařovací systém ACP C150 .....	66
Obr. 36 Příprava pro navaření v bočnici .....	67
Obr. 37 Navaření hrany bočnice .....	67
Obr. 38 Zčištění hrany po navaření .....	68
Obr. 39 Vada v materiálu .....	68
Obr. 40 Navaření chybějícího materiálu .....	69
Obr. 41 Zčištění plochy po navaření .....	69
Obr. 42 Poškození dělicí roviny chybou obsluhy .....	70
Obr. 43 Navaření v dělicí rovině .....	70
Obr. 44 Opravená dělicí rovina.....	71
Obr. 45 Původní tvar dutiny před opravou .....	71
Obr. 46 Návar v místě tvarové změny .....	72
Obr. 47 Nový tvar po obrobení a zaleštění .....	72
Obr. 48 Oprava hran tvarové dutiny .....	73
Obr. 49 Navařená hrana po přebroušení .....	73
Obr. 50 Datumové pole před opravou .....	74
Obr. 51 Renovovaná plocha a nové datumové pole .....	74
Obr. 52 Část obuvnické formy nožka .....	75
Obr. 53 Oprava prasklé tvarové vložky .....	76
Obr. 54 Svaření odštípnuté měřicí části posuvného měřidla .....	76
Obr. 55 Dutina pro vložku .....	77
Obr. 56 Vložka s popisem.....	78
Obr. 57 Vybrání v bočnici formy (uprostřed).....	78
Obr. 58 Vložka bočnice .....	79
Obr. 59 Bočnice s novými popisy.....	79
Obr. 60 Označené vady na odlitku segmentu .....	80
Obr. 61 Navařené vady na odlitku segmentu.....	81
Obr. 62 Opravený dezénový segment formy .....	81
Obr. 63 Odstranění poškozeného zámku formy .....	82
Obr. 64 Nový zámek formy .....	83

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Přehled vybraných nástrojových ocelí pro zpracování plastů [4].....	17
Tab. 2 Poměr L/D šneku [7] .....	22
Tab. 3 Ekonomické zhodnocení.....	84

## SEZNAM PŘÍLOH

**P I.** CD ROM