

# **Reologické chování polymerů/polymerních směsí ve vztahu k vstřikování tvarově náročných pohle- dových dílů**

Zuzana Máčalová

---

Bakalářská práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zuzana Máčalová**  
Osobní číslo: **T12734**  
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Reologické chování polymerů/polymerních směsí ve vztahu k vstřikování tvarově náročných pohledových dílů**

Zásady pro vypracování:

### 1. Teoretická část

Při vypracování literární studie se tematicky zaměřte na reologické chování polymerů/polymerních směsí ve vztahu k jejich průmyslovému zpracování technologií vstřikování a ve vztahu k vysokým požadavkům na kvalitu jejich vzhledové vrstvy pro následné povrchové úpravy (např. vakuové pokovení nebo lakování). Pozornost věnujte vadám, jako jsou tokové čáry, šířky, prskance, mlžiny a další.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] SHAW, M. T. Introduction to Polymer Rheology, John Wiley & Sons, 2012. ISBN 978-0-470-38844-0

[2] KONTOPOULOU, M. Applied Polymer Rheology: Polymeric Fluids with Industrial Applications, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2011. ISBN 978-0-470-41670-9

[3] DEALY, J. M., WANG, J. Melt Rheology and its Applications in the Plastics Industry, Second Edition Dordrecht, the Netherlands: Springer Science & Business Media, 2013. ISBN 9400763956, 9789400763951

[4] další

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Lenka Jelínková, Ph.D.**

Centrum polymerních materiálů

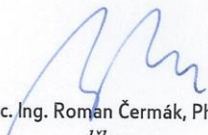
Datum zadání bakalářské práce:

**16. ledna 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**25. května 2015**

Ve Zlíně dne 2. března 2015

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



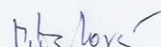
  
Ing. Lubomír Beníček, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## 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 5.5. 2015



<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 nevyjádřeně 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 nahlázení 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, užíje-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 vzdělávacího 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 díla:

(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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se věnuje polymerům a polymerním směsím, které se využívají k vstřikování tvarově náročných pohledových dílů. V první části jsou popsány vlastnosti těchto polymerů/polymerních směsí. Dále se poukazuje na tok taveniny plastu a na příčiny vzniku vad, identifikaci a jejich odstraňování. V poslední části se věnuje nejdůležitějším vzhledovým vadám a povrchovým úpravám polymerních dílů.

Klíčová slova:

Polymery/polymerní směsi, reologie, viskozita, vady, povrchové úpravy

## **ABSTRACT**

This thesis is devoted to polymers and polymer blends, which are used for injection moulding of dimensionally demanding visual parts. The first part describes the properties of these polymers / polymer blends. It is further noted to the flow of a plastic melt and causes of defects, identification and their removal. The last section is devoted to the most important visual defects and surface treatments of polymer parts.

Keywords:

Polymers / polymer blends, rheology, viscosity, defects, surface treatment

Chtěla bych poděkovat Ing. Lence Jelínkové, Ph.D. za cenné rady a trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Dále bych poděkovala rodině, Jaromírovi, přátelům a všem, kteří mě podporovali při studiu.

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

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 POLYMERY A POLYMERNÍ SMĚSI PRO VSTŘIKOVÁNÍ POHLEDOVÝCH DÍLŮ</b> .....	<b>12</b>
1.1 AKRYLONITRIL-BUTADIEN-STYREN.....	13
1.2 POLYKARBONÁT.....	13
1.2.1 Vysokoteplotní polykarbonát .....	13
1.3 POLYETHYLENTEREFTALÁT .....	14
1.4 POLYFENYLENSULFID.....	14
1.5 POLYETHERIMID.....	14
1.6 POLYBUTYLENTEREFTALÁT .....	15
1.7 TEKUTÉ KRYSTALICKÉ POLYMERY .....	15
1.8 AKRYLONITRIL-BUTADIEN-STYREN/POLYKARBONÁT.....	15
1.9 POLYKARBONÁT/POLYBUTYLENTEREFTALÁT .....	16
1.10 POLYETHERIMID/POLYKARBONÁT ESTER .....	16
<b>2 REOLOGIE POLYMERŮ</b> .....	<b>17</b>
2.1 ZPŮSOBY MĚŘENÍ VIZKOZITY .....	18
2.1.1 Kapilární viskozimetr.....	18
2.1.2 Rotační viskozimetr .....	19
2.1.3 Tělískový viskozimetr.....	20
2.2 AMORFNÍ A SEMIKRYSTALICKÉ POLYMERY Z POHLEDU VSTŘIKOVÁNÍ .....	21
2.2.1 Amorfny polymery.....	21
2.2.2 Semikrystalické polymery.....	22
<b>3 VZHLEDOVÉ VADY VÝLISKŮ</b> .....	<b>23</b>
3.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ VAD.....	23
3.2 VZHLEDOVÉ VADY VÝLISKŮ .....	23
3.2.1 Vady zjevné.....	24
3.2.2 Vady skryté .....	26
<b>4 PŘÍČINY VZNIKU VAD, IDENTIFIKACE A ZPŮSOBY JEJICH ODSTRAŇOVÁNÍ</b> .....	<b>28</b>
<b>5 POVRCHOVÉ ÚPRAVY</b> .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.31</b>
5.1 POKOVOVÁNÍ .....	31
5.1.1 Vakuové pokovování .....	32
5.1.2 Chemické pokovování.....	33
5.1.3 Galvanické pokovování.....	33
5.2 LAKOVÁNÍ.....	34
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>37</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>38</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>40</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>41</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>42</b>



<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>43</b>
---------------------------	-----------

## ÚVOD

Vstřikování polymerů je nejrozšířenější technologií jejich zpracování. Vyrábí se takové výrobky, které mají charakter konečného výrobku, polotovaru nebo dílu pro další zkompletování.

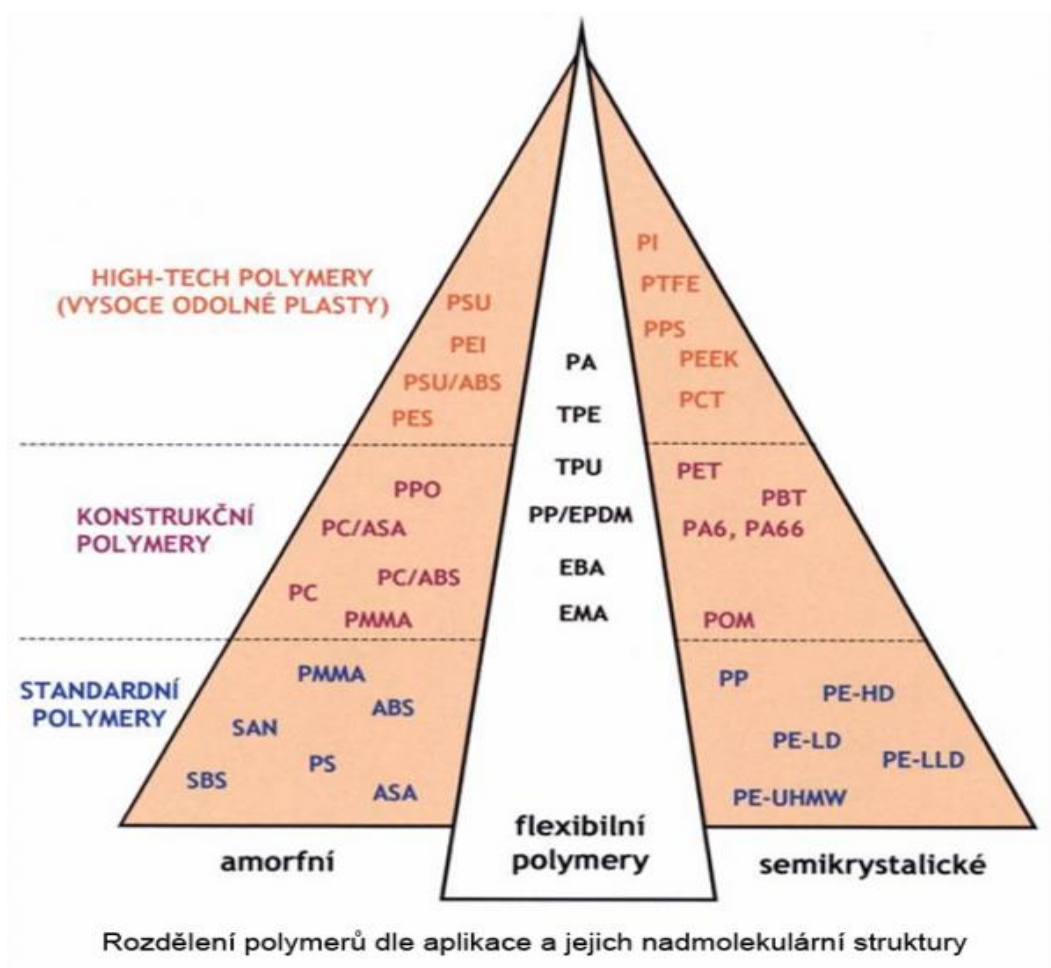
Reologie řeší vztah mezi deformací, časem a napětím s cílem porozumět toku materiálu při jeho zpracování. Reologické chování tavenin polymerů/polymerních směsí je důležitá pro výrobce materiálů, pro jejich zpracovatele, výrobce vstřikovacích strojů i forem.

V dnešní době přes veškeré znalosti polymerních materiálů, velké úrovni vstřikovacích strojů, různých programů pro návrh vylisků a konstrukci formy, se stále vyskytují vzhledové vady vylisků, které jej znehodnocují. Tyto vady jsou velkou překážkou při následných povrchových úpravách, protože ty vadu většinou ještě zvýrazní. Jednou z možných povrchových úprav plastových vylisků je pokovování. Pokovovanými plastovými díly se v automobilovém průmyslu nahrazují díly kovové. Důležitý je i výběr polymeru/polymerní směsi, ze které se vylisek vyrobí a následně povrchově upraví.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 POLYMERY A POLYMERNÍ SMĚSI PRO VSTŘIKOVÁNÍ POHLEDOVÝCH DÍLŮ

Jednotlivé typy polymerů mají své funkční a zpracovatelské vlastnosti. Mohou se částečně měnit nebo upravovat pomocí přísad [1].



Obr. 1. Rozdělení polymerů a polymerních směsí [2].

## 1.1 Akrylonitril-butadien-styren (ABS)

Je vhodný pro vnitřní použití. Tepelná odolnost je  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vyrábí se s nejrůznějšími plnivými a má všeobecné použití. Na trhu se vyskytuje v různých typech s charakteristickou houževnatostí, mechanickými vlastnostmi, chemickou odolností. Tvrdý a lesklý povrch výlisků má atraktivní vzhled, který může být snadno galvanicky i vakuově pokoven [1,3,4,8].

Zpracovatelské teploty:  $T_T$ : 190 - 260  $^{\circ}\text{C}$ ,  $T_F$ : 40 - 90  $^{\circ}\text{C}$

Navlhavost / sušení: 80 $^{\circ}\text{C}$  / 4 - 6 hodin

Smrštění: 0,4 - 0,6 %

Příklady výrobců: LG Chem	obchodní název: LG ABS
Styron	obchodní název: Magnum
Ravago	obchodní název: Sicoflex

## 1.2 Polykarbonát (PC)

Kombinuje pevnost, tuhost a optickou transparentnost. Je jeden z nejvíce transparentních polymerů, který lze vyrábět v různých barvách. Estetické vlastnosti PC jsou jedny z nejvyšších v oblasti technických polymerů [4,6,7,18].

Zpracovatelské teploty:  $T_T$ : 280 - 320  $^{\circ}\text{C}$ ,  $T_F$ : 80 - 120  $^{\circ}\text{C}$

Navlhavost / sušení: 120  $^{\circ}\text{C}$  / 4 - 6 hodin

Smrštění: 0,7 - 0,8 %

Příklady výrobců: Bayer	obchodní název: Makrolon
Sabic	obchodní název: Lexan
Styron	obchodní název: Calibre, Emerge
Ravago	obchodní název: Sicoklar

### 1.2.1 Vysokoteplotní polykarbonát (PC-HT)

Nejvhodnější pro vstřikování výlisků, které musí odolávat vysokým teplotám, mají mít vysokou odolnost proti nárazu a být transparentní. Tento polymer má vysokou houževna-

tost, rozměrovou stabilitu a vynikající tekutost. Používají se jako náhrada za sklo, kov a standardní polykarbonát [7,8].

Zpracovatelské teploty:  $T_T$ : 290 - 320 °C,  $T_F$ : 80 - 120 °C

Navlhavost / sušení: 120 °C / 4 - 6 hodin

Smrštění: 0,2 - 0,8 %

Příklady výrobců: Bayer                      obchodní název: Apec

### 1.3 Polyethylentereftalát (PET)

Průhledný polymer s výbornými bariérovými a fyzikálními vlastnostmi. Představuje alternativu ke sklu a dalším materiálům [4,8].

Zpracovatelské teploty:  $T_T$ : 240 - 280 °C,  $T_F$ : 30 - 140 °C

Navlhavost / sušení: 120 - 140 °C / 2 - 8 hodin

Smrštění: 0,3 - 2,0 %

Příklady výrobců: Celanese                      obchodní název: Impet

Equipolymers                      obchodní název: Magnum

### 1.4 Polyfenylensulfid (PPS)

Vysoce odolný plast s mimořádně vysokou mechanickou odolností při vysokých teplotách a vysokou chemickou odolností, která činí z tohoto materiálu vhodnou náhradu za kovy a termosety. PPS se používá v celé řadě náročných aplikací [4,8].

Zpracovatelské teploty:  $T_T$ : 320 - 360 °C,  $T_F$ : 140 - 160 °C

Navlhavost / sušení: 130 - 150 °C / 3 - 4 hodin

Smrštění: 0,15 - 1,10 %

Příklady výrobců: Celanese                      obchodní název: Fortron

### 1.5 Polyetherimid (PEI)

Charakteristické vlastnosti tohoto konstrukčního termoplastu jsou vysoká pevnost a tuhost při vysokých teplotách, dlouhodobá tepelná odolnost a vynikající rozměrová stálost. PEI nahrazuje kovy a jiné materiály v mnoha konstrukčních aplikacích [5,8].

Zpracovatelské teploty:  $T_T$ : 370 - 400 °C,  $T_F$ : 140 - 170 °C

Navlhavost / sušení: 150 °C / 4 - 6 hodin

Smrštění: 0,5 - 0,7 %

Příklady výrobců: Sabic      obchodní název: Utlem

## 1.6 Polybutylentereftalát (PBT)

Vyznačuje se vysokou pevností, tuhostí a houževnatostí. Dosahuje nízkých krípo- vých hodnot i za vysokých teplot. PBT má vysokou odolnost vůči celé řadě chemikálií, rozpouštědel, olejů a mazacích tuků. Má výbornou rozměrovou stálost, nízkou nasákavost a značný izolační odpor. Jejich nevýhodou je značná anizotropie smrštění [1,4,8].

Zpracovatelské teploty:  $T_T$ : 230 - 280 °C,  $T_F$ : 30 - 100 °C

Navlhavost / sušení: 120 - 140 °C / 2 - 8 hodin

Smrštění: 0,4 - 2,3 %

Příklady výrobců: Celanese      obchodní název: Celanex

## 1.7 Tekuté krystalické polymery (LCP)

Vysoce krystalický termotropní termoplast, vyznačující se mimořádně přesnými rozměry, funkčností a chemickou odolností [4,8].

Zpracovatelské teploty:  $T_T$ : 350 - 370 °C,  $T_F$ : 30 - 150 °C

Navlhavost / sušení: 120 °C / 4 hodiny

Smrštění: 0,07 - 0,8 %

Příklady výrobců: Celanese      obchodní název: Vectra, Zenite

## 1.8 Akrylonitril-butadien-styren/Polykarbonát(ABS/PC)

Směs ABS a PC poskytující kombinaci velmi dobré zpracovatelnosti ABS a vynikajících mechanických vlastností a odolnosti proti nárazu a teple, které jsou typické pro PC. Poměr ABS a PC ovlivňuje především tepelnou odolnost konečného výrobku. ABS/PC mají vynikající odolnost proti nárazům při nízkých teplotách, která je dokonce lepší než odolnost proti nárazům samotného ABS nebo PC. Další vlastnosti: vy-





## 2 ÚVOD DO REOLOGIE POLYMERŮ

Tavenina plastu se chová viskózně a elasticky. Tokové vlastnosti jsou charakterizovány viskozitou  $\eta$ , která je mírou vnitřního odporu při toku. U taveniny plastů viskozita klesá se zvyšujícím se smykovým napětím, takové kapaliny nazýváme strukturně viskózní [9].

Newtonův zákon:

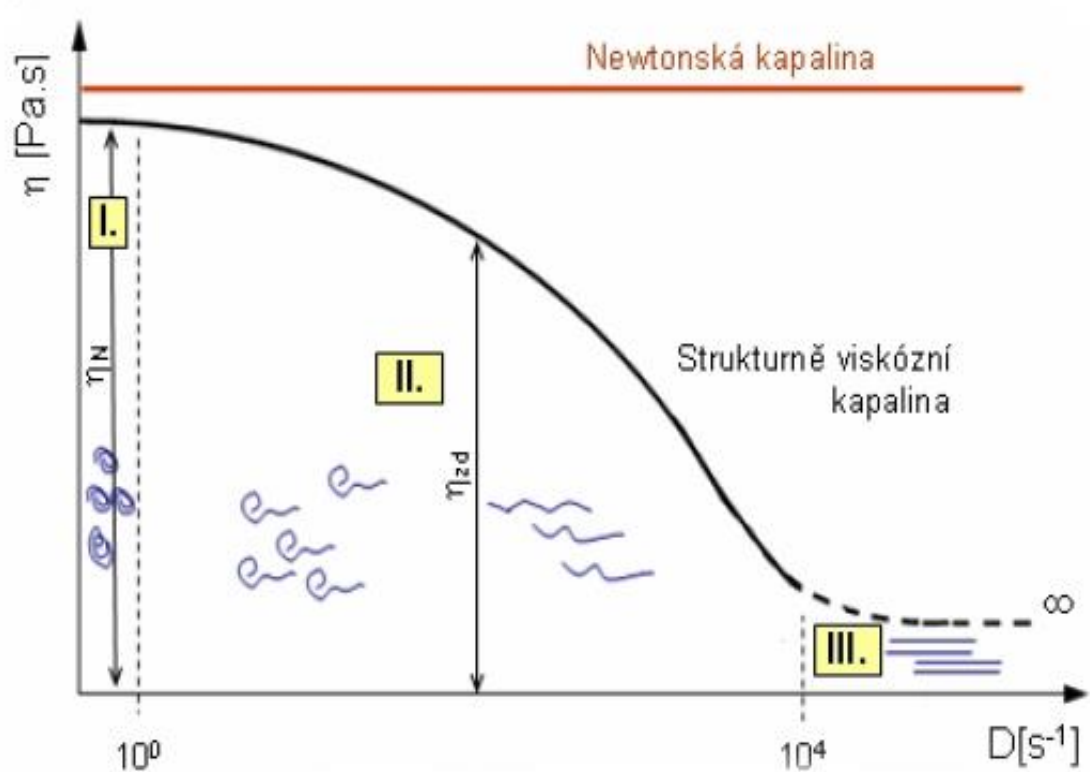
$$\tau = \eta \cdot D$$

kde:

$\tau$  - smykové napětí ( $10^3$  až  $10^6 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$ )

$\eta$  - dynamická viskozita ( $10^1$  až  $10^4 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ )

$D$  - smyková rychlost ( $10^3$  až  $10^6 \text{ s}^{-1}$ )



Obr. 2. Závislost dynamické viskozity tavenin polymerů na smykové rychlosti [9].

### I. Oblast: Maximální newtonovské viskozity

Nastává při nízkých smykových rychlostech. Viskozita je maximální a odpovídající newtonské viskozitě. Taveniny polymerů mají amorfní strukturu [9].

### II. Oblast: Strukturní viskozity

Viskozita klesá a její hodnota závisí na okamžitých hodnotách smykového napětí a smykové rychlosti, jejíž hodnota vstoupá. Viskozitu zde označujeme jako zdánlivou [9].

### III. Oblast: Nekonečného smyku

Při extrémně vysokých smykových rychlostech se viskozita opět stává nezávislou na smykové rychlosti a je označována jako viskozita při nekonečném smyku [9].

## 2.1 Způsoby měření viskozity

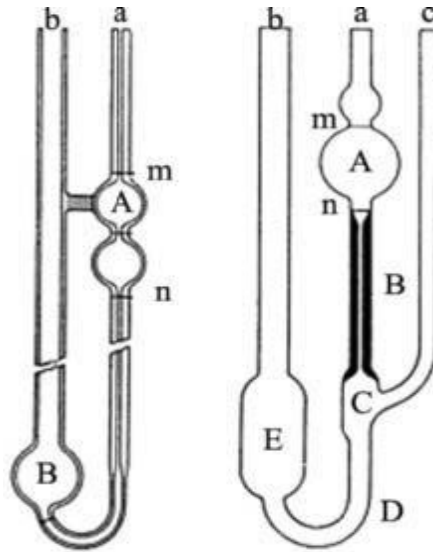
K měření viskozity tekutin se nejčastěji používají tyto viskozimetry:

- kapilární
- rotační
- tělískový

### 2.1.1 Kapilární viskozimetr

Používá se provedení s konstantním tlakovým spádem a měří se objemový průtok kapaliny. Tlakový spád se vytváří sloupcem měřené kapaliny nebo tlakem inertního plynu na hladinu [10].

Kapilární viskozimetry jsou nejpřesnější a nejpoužívanější. Vyrábí se v provedení Ostwaldovo – kapalina vytéká do prostředí vyplněné kapalinou nebo v provedení Ubbelohdovo (Obr. 3) – kapalina vytéká do volného prostoru, který je otvorem spojen s atmosférou. Nejdůležitějším místem těchto viskozimetrů je měrná kapilára, která je u některých typů vyměnitelná za kapiláry různého průměru, a její vestavení do přístroje. U kapiláry je nutné znát vedle délky i její průměr a pro přesná měření je vhodné se přesvědčit o ovalitě a kuželovitosti kapiláry [10,11].



Obr. 3. Ostwaldův a Ubbelohdův kapilární viskozimetr [11].

Ostwaldův viskozimetr: do levé trubice (b) se nalije měřená kapalina - ta se nasaje hadičkou nasazenou na pravou trubici (a) nad horní rysku (m). Dochází k měření doby, za kterou proteče tekutina mezi ryskami (m, n) [10].

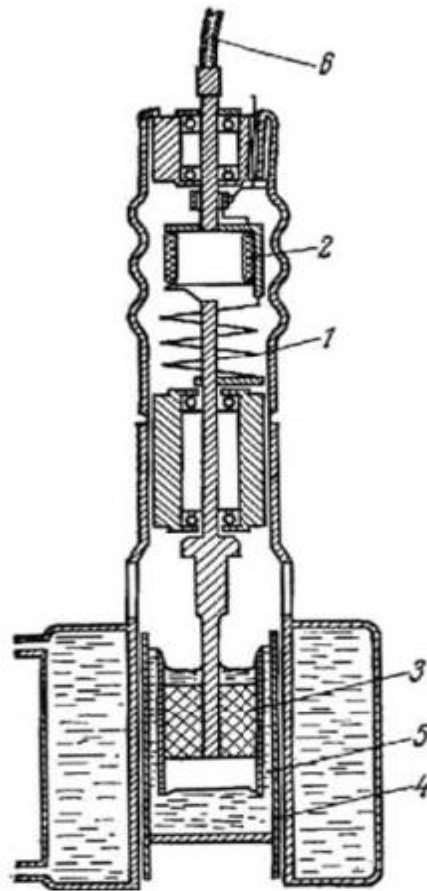
Ubbelohdův viskozimetr: trubicí (b) se nalije kapalina tak, aby hladina ležela v nádobě E. Poté nasajeme kapalinu do baňky A a druhou trubici uzavřeme. Po uvolnění otvorů 2 a 3 se kapalina nechá stékat a měříme dobu průchodu mezi ryskami (m, n) [10].

### 2.1.2 Rotační viskozimetr

Založeny na měření síly, kterou působí torzní rotující kapalina na element zavěšený na torzním vlákně. Rotační viskozimetr sestává buď ze dvou sousých válců, mezi nimiž je úzká mezera, vyplněná měřenou kapalinou (Obr. 4) nebo z kužele a desky [10].

Viskozimetr kužel – deska: dělá se v provedení rotující kužel proti stojící desce nebo deska rotuje s měřenou kapalinou a kužel stojí [10].

Viskozimetr sousé válce: u tohoto systému se může otáčet vnitřní válec (Couettevo proudění – Obr. 4), který se z praktického hlediska používá častěji, nebo rotuje vnější válec (systém Saerle) [10].



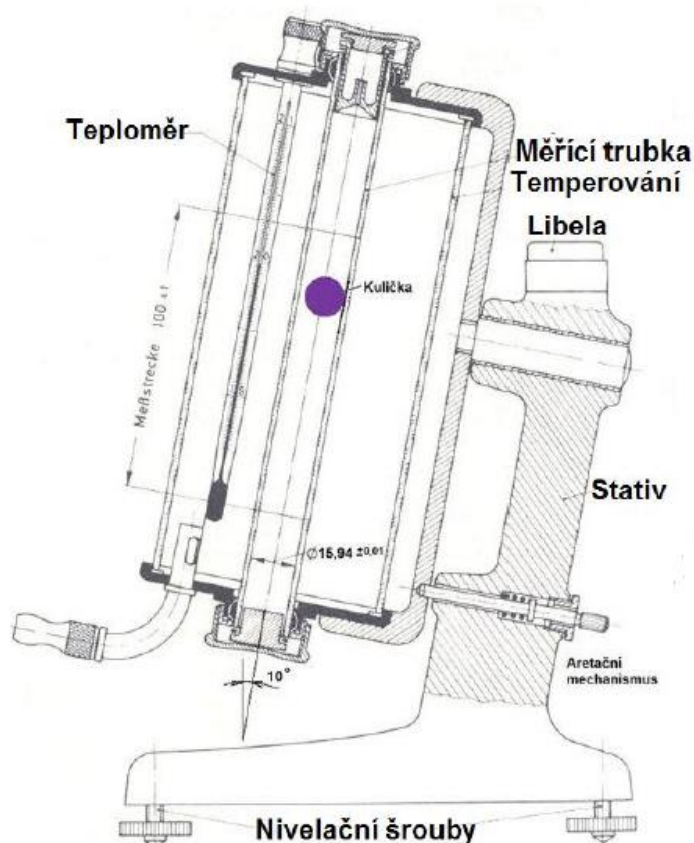
Obr. 4. Rotační viskozimetr [11].

1- torzní prvek, 2 - převodník pro měření úhlu torzního kroucení, 3 – rotující válec,  
4 – pevný válec, 5 – měřená kapalina, 6 - pohon otáčení [11]

### 2.1.3 Tělískový viskozimetr

Viskozimetry tohoto typu jsou založeny na rychlosti pádu tělíška v kapalině, nejčastěji koule, jejíž viskozitu zkoumáme [10].

Viskozimetr Höpplerův: (Obr. 5) kulička padá skleněnou trubicí, která je opatřena dvěma ryskami - mezi nimiž se měří doba pádu, skloněné o  $10^\circ$  od vertikály. Viskozimetr umožňuje měření ve velkém intervalu, jelikož jsou kuličky různého průměru. Tyto viskozimetry mají snadnou konstrukci, jednoduše se obsluhují a vyznačují se přesností u opakovaných měření [10].



Obr. 5. Viskozimetr Höpplerův [10].

Viskozimetr Stokesův: zde se měří pád kuličky pomocí stopek, jež padá skleněným válcem naplněným měřenou kapalinou. Na válci jsou dvě rysky, mezi nimiž se stopuje průchod kuličky. Musí se zde dodržet podmínka, že průměr kuličky je o hodně menší než průměr válce [10].

## 2.2 Amorfni a semikrystalické polymery z pohledu vstřikování

Amorfni i semikrystalické polymery se chovají při zahřívání i vstřikování odlišně. To se projevuje hlavně ve vlastnostech a konečných výliscích [12].

Srovnání těchto polymerů podle vybraných vlastností (Tab. 1) a jejich chování při vstřikování (Tab. 2) jsou shrnuty do tabulek [12].

### 2.2.1 Amorfni polymery

Výhodné při vstřikování rozměrově přesných výlisků, jelikož se vyznačují nízkým smrštěním proti formě. Jejich znakem je možnost transparentního provedení, což se hlavně využívá při výrobě světelné techniky. Amorfni polymery mají vynikající optické a mechanické vlastnosti [12].

### 2.2.2 Semikrystalické polymery

Tyto polymery mají schopnost vytvářet z taveniny krystalickou strukturu. Odtud plynou jejich vlastnosti tuhost, pevnost a houževnatost. Dochází u nich ke většímu smrštění proti formě (1 – 2,5 %) a jsou ovlivněny fází ochlazování (především teplotou formy) [12].

Tab. 1. Základní informace pro výběr termoplastů [12].

Tab. 1. Základní informace pro výběr termoplastů		
Vlastnost	Amorfní polymery	Semikrystalické polymery
Mechanické vlastnosti (základní)	o	+
Ohybová pevnost	–	+
Vrubová citlivost	–	+
Tok za studena	+	o
Chemická odolnost	–	+
Teplota použití	o	+
Kritická teplota při zahřívání	$T_g$	$T_m$
Smrštění proti formě [%]	0,3–0,8	1–3

Legenda: + výhodnější (lepší); – méně výhodné (horší); o – průměrné (stejně)

Tab. 2. Rozdílné chování amorfních a semikrystalických polymerů při procesu vstřikování [12].

Tab. 2. Rozdílné chování amorfních a semikrystalických polymerů při procesu vstřikování		
Parametry procesu vstřikování	Amorfní polymery	Semikrystalické polymery
Významná teplota procesu	teplota zeskenění $T_g$	bod tání krystalického podílu $T_m$
Oblast aplikačního použití dílů	pod $T_g$	nad $T_g$ , pod $T_m$
Zatuhnutí taveniny ve formě	ochlazením pod $T_g$	krystalizací pod $T_m$
Viskozita taveniny	velmi závislá na teplotě	málo závislá na teplotě
Závislost specifického objemu na teplotě	kontinuální změna	skoková změna
Doba plastikace (příprava dávky taveniny pro vstřik do formy)	nemá vliv na dobu vstřikovacího cyklu	důležitá pro dobu vstřikovacího cyklu
Dotlak	závislý na čase (je vhodná profilace dotlaku)	může být konstantní v celém čase dotlaku
Doba ochlazování	dlouhá (nutno ochladit vstřik pod $T_g$ )	závisí na rychlosti krystalizace a je obvykle kratší
Nejzávažnější vady vstřiků při nevhodně zvoleném procesu	vnitřní prnutí (napětové trhlinky), propadliny	tvorba lunek (vakuol), rozměrová nepřesnost při nerovnoměrné krystalizaci



### 3 VADY VÝSTŘÍKŮ

#### 3.1 Základní rozdělení vad

Vady, které vznikají při vstřikování, rozdělujeme do dvou skupin – vady zjevné a vady skryté [8].

Zjevné vady jsou takové vady, které jsou zjistitelné pouhým pozorováním spolu se schváleným výrobkem [14]. Dělíme je na:

- vady tvaru: deformace, přetoky, otřepy, rozměrové vady, propady, zborcení atd.,
- vady povrchu: stříbření, tokové čáry, nedostatečný lesk, změna barvy u barevných materiálů, spálená místa atd.[8].

Jsou to takové vady, které nelze zjistit vizuální kontrolou, ale které ovlivňují vlastnosti výlisků a zhoršují jejich kvalitu. Lze je zjistit pomocí vhodného zkušebního zařízení nebo laboratorními zkouškami [14]. Dělíme je na:

- vnitřní pnutí,
- vakuové bubliny a lunkry v průřezu výstříku,
- studené spoje,
- anizotropie fyzikálně-mechanických vlastností,
- uzavřený vzduch nebo plyny v průřezu výlisku.

Dále se můžou vyskytovat i vady vlastního vstřikovacího procesu nebo vady formy. Například deformace výlisku při jeho vyhazování z formy, odzdušnění formy, netěsnost zpětného uzávěru šneku, samovolné vytékání taveniny z trysky při odjezdu plastikační jednotky od formy atp.[8].

#### 3.2 Vzhledové vady výlisků

Velmi přísné požadavky na vzhled a kvalitu povrchu vyžadují nastavit takové podmínky vstřikování, aby se vyloučily veškeré vady, které znehodnocují plastový výlisek po stránce estetické i funkční [13].

Povrchové vady výrazně neovlivňují užité ani mechanické vlastnosti plastových výrobků. Výjimkou jsou studené spoje (vedle viditelných stop na povrchu dochází i ke pevnostnímu zeslabení) nebo stopy po proudu taveniny (zde vznikají studené spoje, které mají

menší účinek na pevnostní hodnoty než studené spoje). Ovlivňují vzhled výrobku neboli optickou kvalitu dílů [13].

Setkáváme se s celou řadou povrchových vad. Příčiny vad nalézáme především v polymerním materiálu, který zpracováváme, vstřikovací formě, nevhodné konstrukci plastového dílu, vstřikovací stroji a v dalších procesech (např. vysušení materiálu před vlastním zpracováním [13].

Mezi nejběžnější vady patří:

### 3.2.1 Vady zjevné

#### *Tokové čáry*

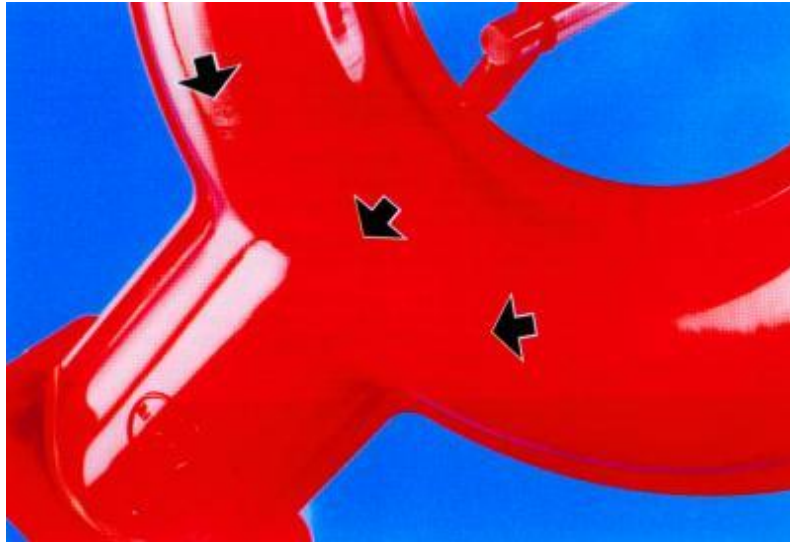
Představují soustavu čar na povrchu vylisku, jenž sledují směr toku materiálu v dutině formy. Liší se barevným odstínem, i když se jedná o jeden druh plastu. Vyskytují se na výrobku jen v blízkosti ústí vtoku, protože se tato vada vyskytuje kvůli nesprávnému navržení vtokového systému. Za určitých okolností tekoucí tavenina strhává části zchlazené a ztuhlé hmoty ze stěn kanálů a ty se účinkem smykových sil ve formě uspořádají ve směru toku. Tím se stávají viditelnými i pouhým okem (Obr. 6) [13,14,16].



Obr. 6. Tokové čáry u ABS [13].

#### *Stříbření*

Vada vznikající prasknutím vzduchové bubliny s následným rozstříknutím roztaveného plastu do proudící taveniny. Projevuje se na povrchu vylisku jako místně omezený pruh stříbřité barvy. Příčinou bublin jsou stopy po vlhkosti, které se při teplotě vstřikování mění na plyn (Obr. 7) [13,14,16].



Obr. 7. Stříbření u PBT [13].

### ***Šlíry***

Jedná se o barevné šmouhy, které vznikají ve směru tečení taveniny polymeru, protože nedošlo k rovnoměrnému promísení materiálu nebo přidaného pigmentu. Můžou dále vznikat nedostatečným vysušením polymerního granulátu, ale také díky vysokému smykovému namáhání, čímž dochází k tepelné nestabilitě taveniny a vzniku barevných změn na povrchu vylisku (Obr. 8) [13,16].



Obr. 8. Šlíry [13].

### ***Lesk a matné skvrny***

U lesku a matných skvrn se jedná se o místa s rozdílnou kvalitou materiálu vzniklé důsledkem rozdílné orientace makromolekul. Nalezneme je v okolí toku taveniny nebo tam, kde se nachází změny průřezu stěn (Obr. 9) [13,16].

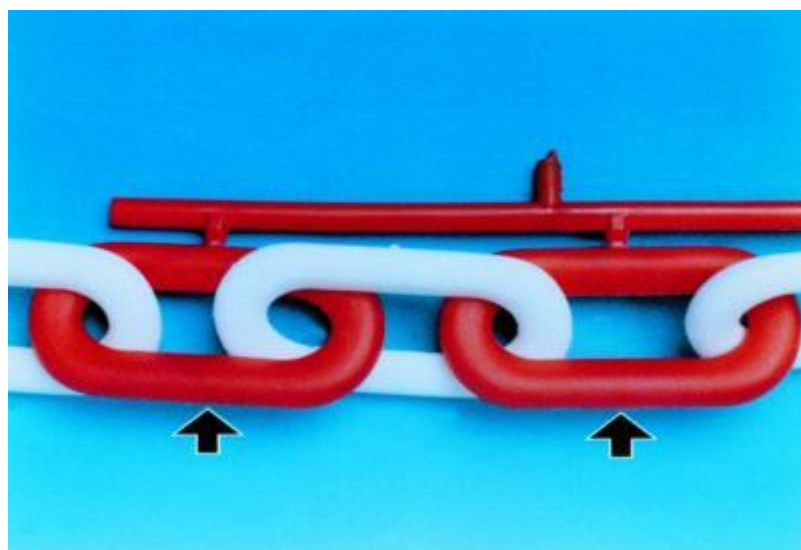


Obr. 9. Rozdíly v lesku [13].

### 3.2.2 Vady skryté

#### *Studené spoje*

Vznikají v místě, ve kterém se spojují dva nebo více proudů taveniny v dutině formy. Mají podobu rýhy se zaoblenými okraji. Jedná se buď o vadu povrchovou, nebo procházející celým výstřikem. Jelikož mohou obsahovat oblast s vysokým vnitřním pnutím, jsou studené spoje potenciálním zdrojem pro vznik a šíření trhlin. Představují jak vadu vzhledovou, u transparentních výlisků i optickou a mají také vliv na mechanické vlastnosti (Obr. 10) [14,15,16].



Obr. 10. Studené spoje [15].

### *Trhliny a mikrotrhliny*

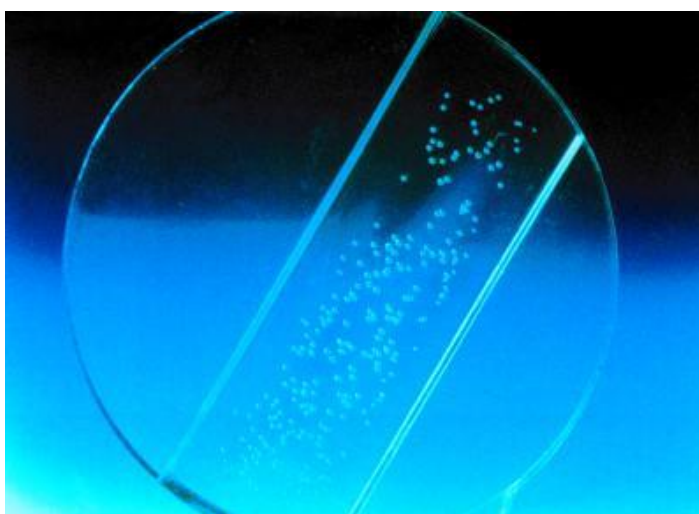
Vznikají na výlisku oddělením materiálu, jelikož se tím vytvořily dva povrchy. Rozeznáváme trhliny izolované, větvené a síť trhlín. Jedná se o rovné nebo křivé trhliny někdy viditelné jen při šikmo padajícím světle. Při vnějším namáhání se mění v makrotrhlinu znamenající porušení celistvosti materiálu a porušení výlisku. Mají původ ve vnitřním pnutí, které je přítomno v menší či větší míře ve výliscích (Obr. 11) [14,16,17].



Obr. 11. Trhlina ve výlisku z ABS [17].

### *Bubliny*

Nazýváme je také jako sraženiny či lunkry. Jsou to duté prostory, které jsou původně vzduchoprázdné. Vznikají tam, kde je místo na výlisku s větší tloušťkou stěny. Tavenina polymeru chladne a na ploše, kde se stýká s formou, vytvoří pevný obal. Uvnitř tohoto obalu se smršťuje tavenina. Ta se nakonec rozestoupí ve středové rovině a vznikne dutina, která je dobře viditelná u průhledných materiálů a u neprůhledných je zjištělná až po rozříznutí výlisku (Obr. 12) [13,14,16].



Obr. 12. Bubliny neboli lunkry [13].

## 4 PŘÍČINY VZNIKU VAD, IDENTIFIKACE A ZPŮSOBY JEJICH ODSTRAŇOVÁNÍ

Vadu vylisku definujeme jako defekt, kterým se vylisek odlišuje od dohodnutého normálu. Neshoda bývá zejména v odlišnosti vzhledu a povrchu, v rozdílných rozměrech, tvarech nebo ve fyzikálně-mechanických vlastnostech. Vady vždy mají určitou příčinu, kterou v některých případech nelze rychle rozpoznat a analyzovat. Jen identifikované a odstraněné příčiny zabrání opětovnému výskytu chyby [8,12].

Cílem analýzy vad je zjištění, v čem tkví fyzikální příčina výskytu určité chyby. Jestliže známe fyzikální povahu příčiny chyby, je nejjednodušší provést a udržovat vhodná opatření k jejímu odstranění [8,12].

Z hlediska odstraňování vad je nejjednodušší když je vadu možné odstranit změnou technologických parametrů. Pokud nelze takto vadu odstranit, musíme hledat příčinu buď ve formě, v konstrukci vylisku, ve vstřikovací stroji, nebo ve zpracovávaném materiálu. Během vstřikování termoplastů se může projevit celá řada vad a problémů [8,12].

Níže nalezneme příklady příčin a způsoby odstraňování povrchových vad, jako jsou tokové čáry (Tab. 3), stříbření (Tab. 4), bubliny (Tab. 5), lesk a šlíry (Tab. 6).

Tab. 3. Tokové čáry [8,12].

Zdroj závady	Příčina	Odstranění
<b>Materiál</b>	Příliš nízký ITT pro danou tloušťku a délku toku	Použít typy s vyšším ITT
	Vlhkost, znečištění, špatná stabilita materiálu	Provést kontrolu vlhkosti a znečištění, materiál vyměnit za suchý a čistý
<b>Technologie</b>	Příliš pomalý objemový proud taveniny (nízká $T_T$ , $T_F$ , $v_s$ ) Špatně nastavený BP a dotlak Nastavena vysoká dekomprese	Zvýšit $T_T$ (zejména $T$ na předním pásmu a trysce), zvýšit $T_F$ a $v_s$ Upravit BP a dotlakovou fázi Snížit dekompresi
<b>Vstřikovací Stroj</b>	Značné tepelné ztráty na trysce Nastaven trvalý dosed trysky	Přezkoušet topení trysky, zvětšit její průřez, event. použít trysku uzavírací Zrušit trvalý dosed trysky, odjet dříve s plastikační jednotkou
<b>Forma</b>	Značně nerovnoměrná $T_F$ v oblasti tvarové dutiny Nevhodná volba vtokového ústí (např. široká tenká štěrbinová apod.)	Provést kontrolu a rekonstrukci temperačního systému formy Upravit či změnit vtokovou soustavu, prodloužit vtokovou vložku formy

Tab. 4. Stříbření [8,12].

Zdroj závady	Příčina	Odstranění
<b>Materiál</b>	Polymer obsahuje málo vnitřního maziva Vlhkost materiálu Velký podíl regranulátu (drtě)	Dodatečně přidat mazivo, případně reklamovat Zvýšit teplotu a dobu sušení Snížit podíl druhotného materiálu
<b>Technologie</b>	Příliš vysoké tepelné zatížení polymeru: vysoká $T_T$ , $n$ , $p_D$ , $v_s$  Nerovnoměrný průběh plnicí fáze Nesprávně zvolený BP a fáze dotlaku	Snížit $n$ , $p_D$ , $v_s$ , upravit $T_T$ , $T_F$  Zvýšit $t_{och}$ Profilovat $v_s$ , rovnoměrný průběh plnění Dříve přepnout na dotlak, snížit $p_D$ , $t_d$
<b>Vstřikovací stroj</b>	Dlouhá prodleva taveniny v plastikační jednotce Příliš malý průměr trysky Poddimenzovaná vtoková soustava, zejména ústí vtoku Špatná funkce horkých rozvodů a trysek (regulace teploty)  Nerovnoměrná temperace formy	Použit stroj s menším průměrem šneku $D$ (dávku taveniny $l$ udržet nad $1D$ ) Zvětšit průměr trysky Zvětšit průřezy vtokové soustavy, zejména ústí vtoku Provést kontrolu regulace teploty u horkých rozvodů a trysek Zkontrolovat, případně opravit temperační systém formy
<b>Výstřík</b>	Nevhodná konstrukce výstříku (ostré hrany, rohy, skokové změny tloušťky)	Upravit tvar výstříku (zaoblit hrany, rohy, omezit skokové změny tloušťky)

Tab. 5. Bubliny [8,12].

Zdroj závady	Příčina	Odstranění
<b>Materiál</b>	Vysoká zbytková vlhkost v granulátu Vysoký obsah vlhkosti v tavenině Malá tepelná stabilita polymeru nebo aditiv (maziva, barviva, plniva, retardéry hoření a další)	Kontrola procesu sušení, kontrola vlhkosti v granulátu (v násypce)  Reklamace u výrobce či dodavatele materiálu
<b>Technologie</b>	Příliš vysoká $T_T$ , $v_s$ (vzduch nestačí uniknout z tvarové dutiny)  Nevhodně zvolená plastikace (dávka přesahuje $4D$ )  Nevhodně nastavená dekomprese	Snížit $T_T$ , $v_s$  Upravit $p_D$ , $n$ , snížit dávku pod $4D$ nebo přejít na stroj s větším průměrem šneku  Zmenšit dekompresi po plastikaci
<b>Vstřikovací Stroj</b>	Mrtvé kouty a netěsnosti ve vstřikovací jednotce, netěsní tryska	Provést kontrolu vstřikovací jednotky, přezkoušet těsnost trysky, závadu odstranit  Použit uzavíratelnou trysku
<b>Forma</b>	Nevhodná volba a umístění vtoku  Malé rozměry odvodňovacích kanálků	Posunout či změnit vtokové ústí Zvětšit (rozšířit) odvodňovací spáry Zmenšit tloušťku gravur (popisů), zabránit ostrým přechodům ve tvaru



Tab. 6. Lesk a matné skvrny, šlíry [8,12].

Zdroj závady	Příčina	Odstranění
<b>Materiál</b>	Termicky nestabilní materiál nebo jeho aditiva	Použít jiný, stabilnější typ plastu Provést kontrolu ITT
	Znečištěný nebo příliš vlhký materiál	Odhalit zdroj znečištění: přezkoušet stav a přísun materiálu (sušení, doprava) Provést kontrolu vlhkosti v násypce, snížit podíl regranulátu
	Nerovnoměrné probarvení, barevné šmouhy	Použít mísiče, zvýšit $p_D$ , přizpůsobit n Použít barevný koncentrát s vyšší tepelnou stabilitou, drobný pigment
<b>Technologie</b>	$T_T$ , $v_s$ příliš vysoká, $p_D$ , n nízké Doba prodlevy taveniny v komoře příliš dlouhá Chybná regulace T v horkém rozvodu	Snížit $T_T$ , $v_s$ , upravit $p_D$ , n Zkrátit $t_c$ , použít menší vstřikovací jednotku  Provést kontrolu a opravit
	Rozdílné rozptýlení barvy v dávce taveniny a při vstřiku	Použít šnek s mísicí zónou, event. statický mísič před trysku
<b>Vstřikovací stroj</b>	Opotřebovaná vstřikovací jednotka (na těsnicích plochách „mrtvé kouty“) Malý průměr trysky (též uzavírací)	Zkontrolovat opotřebení vstřikovací jednotky (válec, šnek, uzávěr, těsnicí plochy), odstranit mrtvé kouty, zvětšit poměr L:D na šneku Zvětšit D trysky, zkontrolovat uzavírací trysku
<b>Forma</b>	Poddimenzovaná ústí bodových či tunelových vtoků (tavenina se přehřívá)	Zvětšit ústí vtoku, odstranit přechody s ostrou hranou a vyloučit malé průřezy
	Nevhodný systém horkých vtoků a rozvodů taveniny	Konzultovat s výrobcem horkých vtoků a závadu odstranit

## 5 POVRCHOVÉ ÚPRAVY

### 5.1 Pokovování

Tímto způsobem povrchové úpravy se kombinují výhody plastů a kovů. Výrobek získá jednak efektivní kovový lesk, ale i řadu dalších vlastností. Dojde ke zlepšení mechanických vlastností a tvarové stálosti, zmenší se navlhavost a dojde i ke zmenšení stárnutí polymeru. Rozhodující pro výběr polymeru pro následné pokovení je jeho schopnost vytvořit základ pro kovovou vrstvu [21,22].



Obr. 13. Pokovené díly mají největší uplatnění v automobilovém průmyslu [21,23].

#### 5.1.1 Vakuové pokovení

Nejpoužívanějším způsobem pokovování pohledových plastových výlisků v plastovém průmyslu je princip odpařování kovu za vysokého vakua. Nejčastěji se na pokovování používá hliník a jeho slitiny, měď, titan, molybden a nerezová ocel [18,19].

Dochází k odpařování materiálu ve vysokém vakuu s následnou kondenzací par na povrchu výlisků. Výlisky se vloží spolu s kovem do uzavřeného prostoru (komory) s vysokým vakuem. Kov se ohřeje na odpařovací teplotu – dojde k pohybu atomů kovu, které kondenzují na povrch plastového výlisku a vytvoří na něm souvislý povlak. Tento povlak je velice tenký, má nízkou odolnost proti korozi a je málo otěru vzdorný, a proto je vhodné jej opatřit transparentním lakem (Obr. 13,14) [18,19,20].

Postup vakuového pokovování:

- Úprava povrchu: např. ionizační fuk - odmaštění a sušení. Odmaštění je důležité k odstranění maziv používaných při vstřikování. K jejich odstranění se používá organických rozpouštědel a někdy stačí jen voda se saponátem [18,19].

- Nános základní lakové vrstvy: laková vrstva slouží k zakrytí zdrsnění v případě dílů, jež nemají zrcadlový lesk, nebo také ke zvýšení přilnavosti další vrstvy a na jejím správném nanesení závisí kvalita následného pokovování [18,19].

- Pokovení ve vakuu: do pokovovací komory se vloží kousky kovu určené k odpařování na wolframové tělísko. Poté se vloží držáky s plastovými výliseky (Obr. 14), odčerpá se vzduch a tím dojde k vytvoření vakua. Odpařovací tělísko se zahřívá – pro začátek odpařování je nutná teplota pod 1000 °C. Proces odpařování trvá 5 až 10 sekund. Necháme odpařovací tělísko vychladnout, tím dojde k postupnému zrušení vakua a následně vyjmeme pokovený výlisek [18,19].

- Nános vrchní vrstvy: nanesený kovový povlak je velmi tenký - není odolný proti oděru a jinému poškození. Chrání se proto následnou vrstvou nanesenou v komoře, jako poslední krok, nebo lakovou vrstvou. Pro stříbrný lesk se používá transparentní lak, který je odolný proti vlhkosti, odírání a rozpouštědlům [18,19].

- Barvení vrchní lakové vrstvy: pokud je požadováno jiné zbarvení, než kovové, je výlisek ještě nabarven. Zde je možné dosáhnout vzhledu barevných a drahých kovů, např. zlata nebo libovolného barevného odstínu [18,19].



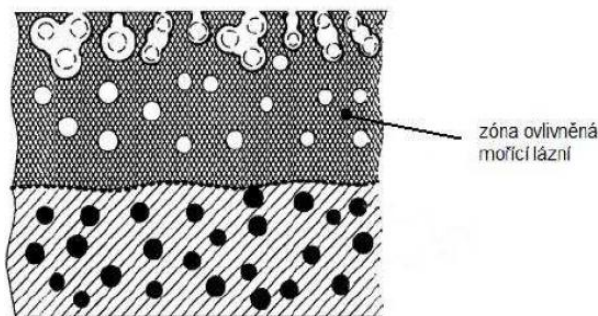
Obr. 14. Vakuové zařízení na pokovování plastů [20].

### 5.1.2 Chemické pokovování

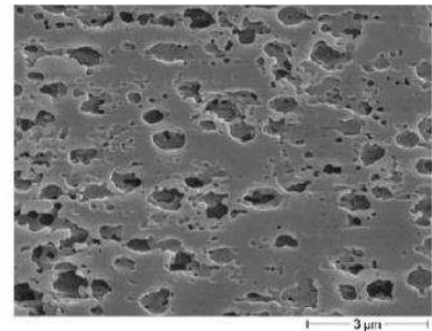
Dochází zde k vylučování vrstvy kovu z roztoku daného kovu. Tento roztok často obsahuje redukční činidla - usnadňují reakci mezi povrchem a iontem kovu. Nejprve se vylučují částice palladia a až poté se rozšíří na celý povrch. Nejčastěji se pokovuje měď a niklem [20,21].

### 5.1.3 Galvanické pokovení

Pokovují se téměř všechny termoplasty, ale nejrozšířenějším polymerem, který se používá na galvanické pokovování je ABS a směs ABS/PC. Při jejich moření dochází k rozpouštění Butadienu a tím ke vzniku kaverny, do které se zabuduje galvanický povlak (Tab. 4). Princip mořicí lázně (Obr. 15) a její vzhled po této lázni (Obr. 16) [20,21].

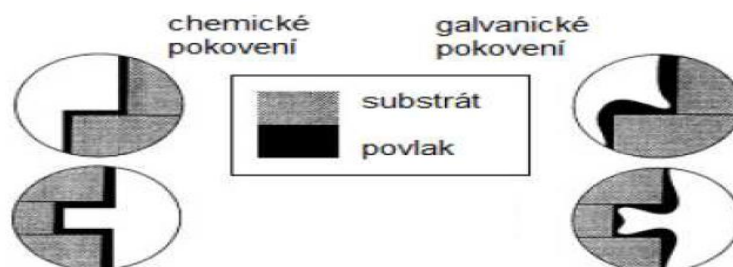


Obr. 15. Mořicí lázeň [21].



Obr. 16. Povrch po moření [21].

Probíhá za přítomnosti stejnoměrného proudu, kdy se základní vodivá vrstva chemicky pokoví. Kovová vrstva se může nanášet jen v jedné vrstvě nebo ve více vrstvách nanášených postupně – dosahuje se tloušťky vrstvy 25 – 35 μm. Nevýhodou tohoto postupu pokovení je vznik vrstvy o nestejném tloušťce (Obr. 17) [21,22,24].



Obr. 17. Rozdíly pokovené vrstvy u chemického a galvanického pokovení [21].

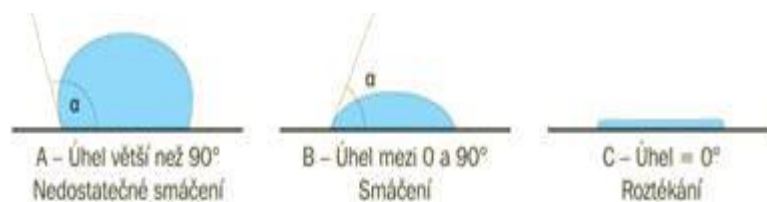
Tab. 7. Nejčastější galvanické povlaky [21].

Chrom – lesklý, matný	chem. nikl, galv. měď, galv. nikl (lesklý, matný), galv. Chrom
Zlato – lesklé, matné	chem. nikl, galv. měď, galv. nikl (lesklý, matný), galv. Zlato
Měď – lesklá	chem. nikl, galv. Měď

## 5.2 Lakování

Lakování plní funkci estetickou (důležitý je lesk, kryvost a barevný odstín lakované vrstvy) a funkci ochranou (zde zase mechanické vlastnosti a životnost, která závisí na druhu polymerního materiálu, nátěrové hmotě a na úpravě povrchu dílu před lakováním) [20].

U polymerních materiálů je z hlediska smáčenlivosti ulpívajících barev na povrchu výrobků důležité povrchové napětí. To závisí na tzv. úhlu smáčení – úhel mezi kapkou barvy a pevnou látkou (Obr. 18) [26].



Obr. 18. Úhel smáčení [26].

Nátěrová hmota musí dobře smáčet povrch lakovaných výrobků a přitom musí být dobře spojena adhezními silami, proto musí mít nátěrová hmota menší povrchové napětí než lakovaný výrobek. Polymerní materiály, u nichž je malé povrchové napětí (vrstva nátěrové hmoty nadržuje vlastní adhezi) je nutné před lakováním nanést základovou vrstvu nátěrové hmoty [20].

Na povrchu polymerních vylisků mohou být usazeny mastnoty, a proto je nezbytné, aby byl dokonale očištěn a odmaštěn kvůli přilnavosti nátěrové hmoty. Při vstřikování polymerů se používají různé separační přípravky z důvodu vysoké produktivity práce, které slouží na snadné vyjmutí z formy a ty zůstávají na vyliscích. Z tohoto důvodu se provádí čištění rozpouštědly. Před samotným lakováním je nezbytné, aby se odpařil veškerý čistící přípravek. Hladké povrchy mají sníženou schopnost adheze, proto je nutné, aby povrchy byly mírně zdrsňeny (mechanicky nebo chemicky) a mohl být nanesen adhezivní sealer (základní nátěrová hmota) umožňující soudržnost polymeru a vrchní nátěrové hmoty. Poté



dojde k nanesení vrchního nátěrové hmoty a to buď v jedné nebo ve dvou vrstvách [20,25,26].

Důležité je konkrétní polymer lakovat vhodným typem nátěrového materiálu. Například polykarbonát, velmi odolný polymer, je citlivý na rozpouštědla, a proto nevhodné lakovací materiály mohou Polykarbonát napadat, což může vést k vytvoření mikrotrhlinek v polymeru a tím narušit jeho mechanickou odolnost a životnost [25].

Lakování se provádí v kusové nebo sériové výrobě, kde je nejvhodnější využít lakovacích automatů/robotů (Obr. 18). Používají se vodou ředitelné nebo rozpouštědlové jednokomponentní i dvoukomponentní barvy a laky [20, 27].



Obr. 19. Lakování robotem v sériové výrobě [20].

- Barva = hmota neprůhledná, nesoucí barevný pigment
- Lak = hmota průhledná, bezbarvá

Nátěrové hmoty se dělí:

Podle použitého rozpouštědla:

- Rozpouštědlové: zahrnující především směsi organických rozpouštědel.
- Vodou ředitelné: nátěrové hmoty dispergovatelné ve vodě, např. nátěrové hmoty na bázi akrylátových disperzí [28,29].

Podle počtu složek:

- Jednosložkové: nepotřebují k zasychání další složku.
- Dvousložkové: potřebují k zasychání další složku, která se podle typu nátěrové hmoty označuje jako tužidlo, katalyzátor nebo iniciátor [28,29].

## ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se zabývala polymery/polymerními směsi vhodnými ke vstřikování tvarově náročných dílů, které se následně povrchově upravují. U těchto dílů se klade důraz na kvalitní povrch.

Dále jsem se věnovala reologickému chování, které popisuje tok taveniny polymeru, při kterém vznikají deformace, které se nesmí ve výlisku vyskytovat. Popsala jsem základní měřicí techniky viskozity a nakonec jsem rozvedla chování amorfních a semikrystalických polymerů ve vztahu ke vstřikování.

Rozdělila jsem nejdůležitější vzhledové vady výlisků na vady zjevné a skryté, které jsem následně popsala. Důležitou součástí je i příčina jejich vzniku a následné odstranění těchto vad.

V závěru své práce jsem uvedla povrchové úpravy polymerních výlisků, kde byla nejvíce rozvedena technika vakuového pokovení, jelikož je to nejpoužívanější metoda.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů I.díl- Vstřikování termoplastů. 2.vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s.
- [2] Libeos, s.r.o., [online]. © 2011 – 2012 Dostupné z: <http://libeos.cz/>
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2011, 276 s. ISBN 9788070807880.
- [4] RESINEX Group, Czech Republic, [online]. © 2015 Dostupné z: [www.resinex.cz](http://www.resinex.cz)
- [5] RTP Company, [online]. 1995 – 2015 Dostupné z: [www.rtpcompany.com](http://www.rtpcompany.com)
- [6] Saudi Basic Industries Corporation (SABIC), [online]. © 2006-2015 Dostupné z: [www.sabic-ip.com](http://www.sabic-ip.com)
- [7] Bayer MaterialScience AG, [online]. 2015 Dostupné z: [www.plastics.bayer.com](http://www.plastics.bayer.com)
- [8] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [9] BĚHÁLEK, Luboš. Reologie taveniny termoplastu v průmyslové praxi [online]. Inovované laboratorní cvičení studijního programu „Strojní inženýrství“, 2006 [cit. 2009-24-04]. 31 s. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Reologie.pdf>
- [10] JANALÍK, Jaroslav. Viskozita tekutin a její měření [online]. Ostrava: VŠB-TUO, 2010. 66 s. Skripta. VYSOKÁ ŠKOLA BĀŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA Dostupné z : <http://www.338.vsb.cz/PDF/TEXTviskozitaPDF.pdf>
- [11] ALEXANDER YA. MALKIN, Alexander Ya.Avraam I. *Rheology concepts, methods, and applications*. 2nd ed. Toronto: ChemTec Pub, 2012. ISBN 9781613449905.
- [12] NEUHAUSL, Emil. 2012/1, 15.2.2012 v rubrice Trendy/Plasty, Strana 29. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani.html>
- [13] NEUHAUSL, Emil. 2010/5, 26.04.2010 rubrika Výroba/Plasty, Strana 49. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-3-dil-vady-vzhledove.html>
- [14] Dostupné z: Úvod do problematiky při zpracování polymeru.ppt - KMT
- [15] NEUHAUSL, Emil. 2010/3, 03.03.2010 rubrika Výroba/Plasty, Strana 58. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>
- [16] BĚLÁLEK, Luboš. Plastové výrobky a jejich kvalita povrchu [online] Liberec: TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/200803\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/200803_povrchari.pdf)
- [17] BĚLÁLEK, Luboš. Teorie zpracování nekovových materiálů [online] Liberec: TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/6.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/6.pdf)
- [18] ROTREKL B., TAMCHYNA J., a DITRYCH Z. Zpracování plastických hmot - Pokovování. SNTL, 1966. 212s.
- [19] ROTREKL, Bedřich, Karel HUDEČEK a Jaroslav KOMÁREK. Povrchové úpravy. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971. 252 s. ISBN DT 678.029.7
- [20] AUSPERGER, Aleš. Technologie zpracování plastů. [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/17.html>
- [21] OSTRÁ, V. Pokovování plastů. [online]. [cit. 20. února 2010]. Dostupné na: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/200909\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/200909_povrchari.pdf)
- [22] LENFELD, Petr. Tváření kovů. [online] Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/12.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm)
- [23] PRECIOSA, [online]. © 2015 Dostupné z: <http://kooperace.preciosa.cz/cs/vakuove-pokoveni.html>

- [24] ŠUBERT, Lubomír. ENTHONE, s. r. o. [online] Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22014/plasty-a-galvanicka-povrchova-uprava.html>
- [25] STANDOX GMBH- PROVOZOVNY SERVIND, [online]. Dostupné z: [http://www.servind.cz/media/document/1222959419\\_plasty-a-jejich-lakovani.pdf](http://www.servind.cz/media/document/1222959419_plasty-a-jejich-lakovani.pdf)
- [26] PRESS AGENCY SPOL. S.R.O. – ZÁVOD LAKOVNA SALUM, [online]. © 2002-2011 Dostupné z: <http://www.salum.cz/index.php/salum-praskove-lakovani-praskova-lakovna-komaxitovani-komaxit-5/24-salum-lakovani-plastu-cast-1>
- [27] PRECIOSA, [online]. © 2015 Dostupné z: <http://kooperace.preciosa.cz/cs/lakovani-plastu.html>
- [28] LUKAVSKY, Ladislav. Nátěrové hmoty a přípravky pro povrchové úpravy. 1. vyd. Praha: Merkur, 1985. 272 s.
- [29] KALEDOVA, Andrea, KALENDA, Petr. Technologie nátěrových hmot : Pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot. 1. vyd. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2004. 328 s. ISBN 80-7194-691-5.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ABS	Akrylonitril-butadien-styren
PC	Polykarbonát
PET	Polyethylentereftalát
PPS	Polyfenylsulfid
PEI	Polyetherimid
PBT	Polybutylentereftalát
LCP	Tekuté krystalické polymery
ABS/PC	Akrylonitril-butadien-styren/Polykarbonát
PC/PBT	Polykarbonát/Polybutylentereftalát
PEI/PCE	Polyetherimid/Polykarbonát ester
PC-HT	Vysokoteplotní Polykarbonát
$\tau$	Smykové napětí
$\eta$	Dynamická viskozita
D	Smyková rychlost
$T_T$	teplota taveniny
$T_F$	teplota formy
$p_d$	dotlak
$p_p$	protitlak
$v_s$	vstřikovací rychlost
$t_d$	doba dotlaku
$t_{och}$	doba ochlazování
ITT	index toku taveniny
$\mu\text{m}$	mikrometr

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Rozdělení polymerů a polymerních směsí [2].....	12
Obr. 2. Závislost dynamické viskozity tavenin polymerů na smykové rychlosti [9].....	17
Obr. 3. Ostwaldův a Ubbelohdův kapilární viskozimetr [11].....	19
Obr. 4. Rotační viskozimetr [11].....	20
Obr. 5. Viskozimetr Höpplerův [10].....	21
Obr. 6. Tokové čáry u ABS [13].....	24
Obr. 7. Stříbření u PBT [13] .....	25
Obr. 8. Šlíry [13].....	25
Obr. 9. Rozdíly v lesku [13].....	26
Obr. 10. Studené spoje [15].....	26
Obr. 11. Trhlina ve výlisku z ABS [17].....	27
Obr. 12. Bubliny neboli lunkry [13].....	27
Obr. 13. Pokovené díly mají největší uplatnění v automobilovém průmyslu [21,23].....	31
Obr. 14. Vakuové zařízení na pokovování plastů [20].....	32
Obr. 15. Mořící lázeň [21].....	33
Obr. 16. Povrch po moření [21].....	33
Obr. 17. Rozdíly pokovené vrstvy u chemického a galvanického pokovení [21].....	33
Obr. 18. Úhel smáčení [26].....	34
Obr. 19. Průběh teplotních procesů během lakování [22].....	35

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Základní informace pro výběr termoplastů [12].....	22
Tab. 2. Rozdílné chování amorfních a semikrystalických polymerů při procesu vstřikování [12].....	22
Tab. 3. Tokové čáry [8,12].....	28
Tab. 4. Stříbření [8,12].....	29
Tab. 5. Bubliny [8,12].....	39
Tab. 6. Lesk a matné skvrny, šlíry [8,12].....	30
Tab. 7. Nejčastější galvanické povlaky [21].....	34

## SEZNAM PŘÍLOH