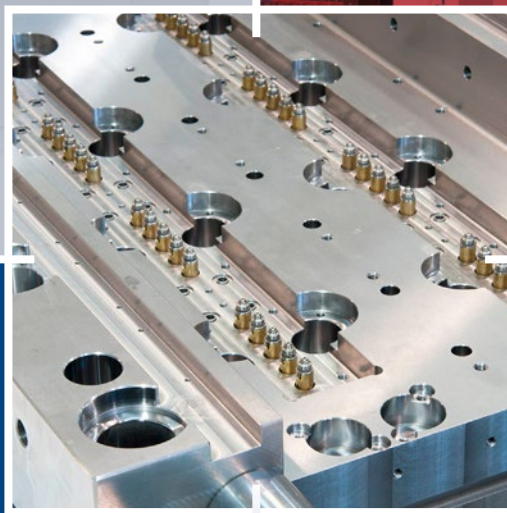
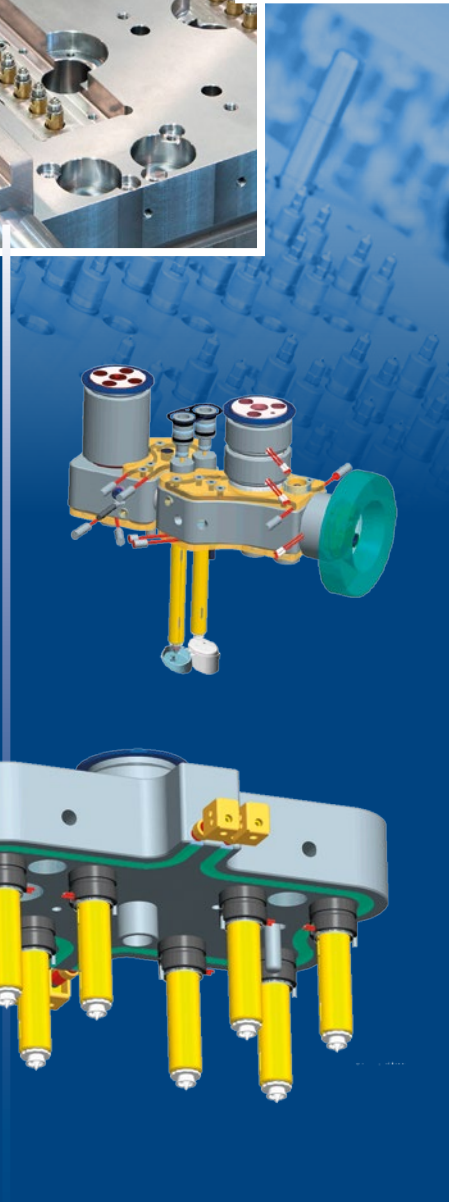


Lubomír Zeman



# VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

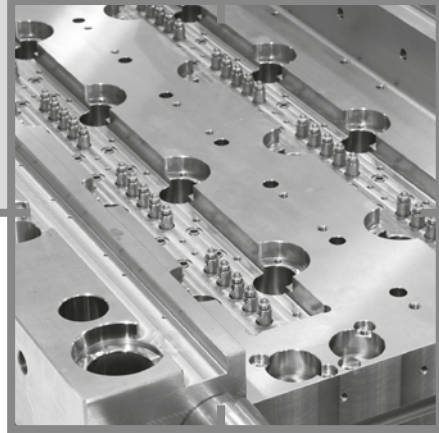
Teorie a praxe





Grada  
Publishing

Lubomír Zeman



# VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Teorie a praxe

Děkujeme společnosti JAN SVOBODA s. r. o. za podporu při vydání této publikace



Lubomír Zeman

# Vstřikování plastů

teorie a praxe

Vydala Grada Publishing, a. s.  
U Průhonu 22, Praha 7  
obchod@grada.cz, www.grada.cz  
tel.: +420 234 264 401, fax: +420 234 264 400  
jako svou 6890. publikaci

Odpovědný redaktor Petr Somogyi  
Sazba Jakub Náprstek  
Počet stran 464  
První vydání, Praha 2018  
Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.

© Grada Publishing, a. s., 2018  
Cover Design © Grada Publishing, a. s., 2018

*Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy  
Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována  
a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele.  
Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.*

*Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami  
nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.*

ISBN 978-80-247-2818-6 (ePub)  
ISBN 978-80-247-2819-3 (pdf)  
ISBN 978-80-271-0614-1 (print)

# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| Úvod .....   | 15        |
| <b>1 Návrh materiálu výstřiku .....</b>  | <b>19</b> |
| <b>1.1 Faktory ovlivňující výběr materiálu výstřiku – požadavky na materiál .....</b>  | <b>19</b> |
| <b>1.2 Stárnutí a koroze dílů z plastů .....</b>   | <b>20</b> |
| <b>1.3 Faktory ovlivňující dobu životnosti plastových dílů .....</b>   | <b>21</b> |
| <b>1.4 Závislost vlastností výstřiků z termoplastů na teplotě .....</b>  | <b>22</b> |
| 1.4.1 Vznik makromolekul .....   | 22        |
| 1.4.2 Nadmolekulární struktura polymerů .....  | 23        |
| 1.4.3 Polymery a jejich charakteristické teploty .....   | 23        |
| 1.4.4 Reologie polymerních tavenin, disipační ohřev tavenin, fontánový tok tavenin .....   | 25        |
| 1.4.5 Charakteristické teploty, vlastnosti amorfních a částečně krystalických plastů .....   | 25        |
| <b>1.5 Odolnost termoplastů proti působení chemikálií .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>1.6 Navlhavost a nasákavost .....</b>   | <b>30</b> |
| <b>1.7 Koroze za napětí .....</b>  | <b>30</b> |
| <b>1.8 Aditiva do polymerů .....</b>   | <b>31</b> |
| <b>1.9 Termoplasty určené pro výrobu výstřiků .....</b>  | <b>34</b> |
| 1.9.1 Polymerní materiály – členění .....  | 34        |
| 1.9.2 Termoplasty pro technologii vstřikování .....  | 38        |
| 1.9.3 Databáze termoplastů, data v nich obsažená, zkoušení plastů a související normy .....  | 38        |
| 1.9.3.1 Materiálové databáze, závaznost norem .....  | 38        |
| 1.9.3.2 Příprava zkušebních těles vstřikováním .....   | 39        |
| 1.9.3.3 Standardní prostředí .....   | 45        |
| 1.9.3.4 Jednobodová data .....   | 45        |
| I Reologické vlastnosti .....  | 45        |
| I Mechanické vlastnosti .....  | 49        |
| I Tepelné vlastnosti .....   | 51        |
| I Elektrické vlastnosti .....  | 52        |
| I Další vlastnosti .....   | 52        |
| I TPE vlastnosti .....   | 53        |
| 1.9.3.5 Vícebodová data .....  | 54        |
| I ČSN EN ISO 11403 – 1:2015 Plasty – Stanovení a prezentace srovnatelných vícebodových hodnot – Část 1 Mechanické vlastnosti ..... | 55        |
| I ČSN EN ISO 11403 – 2:2013 – Část 2: Tepelné a zpracovatelské vlastnosti .....  | 55        |
| I ČSN EN ISO 11403-3: 2015 – Část 3: Vliv prostředí na vlastnosti .....  | 55        |
| 1.9.3.6 Data pro simulační výpočty .....   | 56        |
| 1.9.3.7 Technologické parametry vstřikování .....  | 57        |
| <b>1.10 Recyklace termoplastů .....</b>  | <b>58</b> |

|  |     |
|--|-----|
| <b>2 Konstrukce výstřiků z termoplastů</b>   | 61  |
| 2.1 Předvýrobní etapy výroby výstřiků z termoplastů  | 63  |
| 2.2 Technologičnost konstrukce výstřiků z termoplastů  | 64  |
| 2.3 Rozměrová a tvarová přesnost výstřiků z termoplastů, drsnost povrchů, měření jejich rozměrů a úchylek tvaru a polohy | 78  |
| 2.3.1 Materiál výstřiků a smrštění   | 78  |
| 2.3.2 Konstrukce výstřiku a smrštění   | 80  |
| 2.3.3 Konstrukce vstřikovací formy a smrštění  | 86  |
| 2.3.4 Technologické parametry vstřikování a smrštění   | 87  |
| 2.3.5 Podmínky používání výstřiků a jejich vliv na rozměrovou přesnost výstřiků  | 88  |
| 2.3.6 Toleranční pole výstřiků z termoplastů a normalizace   | 91  |
| 2.3.7 Rozměrové a tvarové tolerování – předepisování přesnosti rozměrů, tvarů a polohy, drsnost povrchu                  | 93  |
| 2.3.7.1 Tolerance nepředepsané a jejich přesnost   | 93  |
| 2.3.7.2 Tolerance předepsané   | 93  |
| 2.3.7.3 Předepsané tolerance – geometrické úchytky tvaru a polohy  | 94  |
| 2.3.7.4 Vztah mezi tolerancemi rozměrů a geometrickými tolerancemi   | 96  |
| 2.3.7.5 Drsnost povrchu  | 96  |
| 2.3.8 Měření a hodnocení rozměrové a tvarové přesnosti výstřiků z termoplastů  | 101 |
| 2.3.8.1 Měření délkových rozměrů   | 102 |
| 2.3.8.2 Měření úchylek tvaru profilu a tvaru plochy a dalších geometrických úchylek                                      | 102 |
| 2.3.8.3 Souřadnicové měřicí stroje (SMS, CMM – Coordinate Measuring Machine)   | 102 |
| 2.3.8.4 3D skenování   | 104 |
| I Bezkontaktní reflexivní skenery  | 105 |
| <b>3 Podmínky a koncepce zaformování výstřiků z termoplastů</b>  | 114 |
| <b>4 Výběr varianty technologie vstřikování termoplastů</b>  | 116 |
| 4.1 Vstřikovací cyklus – standardní technologie vstřikování  | 116 |
| 4.2 Modifikace technologie vstřikování termoplastů   | 117 |
| 4.3 Výběr vstřikovacího stroje a jeho periferních zařízení   | 118 |
| 4.3.1 Výběr vstřikovacího stroje   | 119 |
| 4.3.2 Periferní zařízení   | 124 |
| 4.3.2.1 Temperační zařízení vstřikovacích forem  | 125 |
| 4.3.2.2 Temperační systémy   | 126 |
| 4.3.3 Průmysl 4.0  | 127 |
| 4.3.3.1 Průmysl 4.0 a vzdělávání   | 130 |
| 4.3.3.2 Technologie vstřikování termoplastů a Průmysl 4.0 v současnosti  | 131 |
| 4.3.3.3 Wittmann Battenfeld – Industria 4.0, Wittmann 4.0  | 133 |
| 4.3.3.4 Engel – Inject 4.0   | 134 |
| 4.3.3.5 KraussMaffei – Plastics 4.0  | 134 |
| 4.3.3.6 Průmysl 4.0 a jeho budoucnost při vstřikování termoplastů  | 135 |
| <b>5 Metody Rapid Prototyping, RP-aditivní, subtraktivní a formativní technologie</b>                                    | 136 |
| 5.1 Aditivní technologie RP  | 138 |
| 5.1.1 Technologie na bázi fotopolymerů   | 138 |
| 5.1.1.1 Stereolitografie (SLA)   | 138 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.1.2 Technologie na bázi práškových materiálů . . . . .   | 138        |
| 5.1.2.1 Selective Laser Sintering (SLS) . . . . .  | 138        |
| 5.1.3 Technologie na bázi tuhých materiálů . . . . .   | 138        |
| 5.1.3.1 Fused Deposition Modeling (FDM) . . . . .  | 138        |
| 5.1.3.2 Laminated Object Manufacturing (LOM) . . . . .   | 139        |
| 5.1.4 Freeformer – Arburg . . . . .  | 139        |
| 5.1.5 Post Processing – dokončování RP dílů . . . . .  | 139        |
| <b>5.2 Formativní (utvářející) technologie RP . . . . .</b>  | <b>139</b> |
| 5.2.1 Vakuové lící systémy . . . . .   | 139        |
| 5.2.1.1 Plastic Vacuum Casting . . . . .   | 139        |
| 5.2.1.2 Metal Pressure Vacuum Casting . . . . .  | 140        |
| <b>5.3 Subtraktivní (odečítací) technologie RP . . . . .</b>   | <b>140</b> |
| 5.3.1 CNC frézování . . . . .  | 140        |
| <br>   |            |
| <b>6 Ověření návrhu konstrukce výstřiku pomocí prototypové formy . . . . .</b>   | <b>141</b> |
| <br>   |            |
| <b>7 Konstrukce a výroba sériových vstřikovacích forem, uchopovačů, přípravků a zkoušení forem, údržba a opravy forem . . . . .</b>                                      | <b>144</b> |
| <b>7.1 Výroba a konstrukce temperačních systémů vstřikovacích forem . . . . .</b>  | <b>158</b> |
| 7.1.1 Význam temperace vstřikovacích forem . . . . .   | 158        |
| 7.1.2 Temperace vstřikovacích forem . . . . .  | 161        |
| 7.1.3 Konstrukce temperačních systémů vstřikovacích forem . . . . .  | 167        |
| <b>7.2 Technologie vytváření tenkých vrstev – aplikace při výrobě vstřikovacích forem . . . . .</b>  | <b>168</b> |
| 7.2.1 CVD (Chemical Vapour Deposition), chemická depozice z plynné fáze . . . . .  | 169        |
| 7.2.2 Technologie PACVD (Plasma Assisted Chemical Vapour Deposition), chemická depozice pomocí plazmatu, PECVD (Plasme Enhanced CVD), CVD iniciované plazmatem . . . . . | 169        |
| 7.2.3 Technologie PVD (Physical Vapour Deposition), kondenzace par pevného materiálu na povrch substrátu . . . . .   | 170        |
| 7.2.4 Další technologie nanášení tenkých vrstev . . . . .  | 171        |
| 7.2.5 Aplikace PVD a PACVD ve výrobě vstřikovacích forem . . . . .   | 171        |
| <b>7.3 Technologie výroby vstřikovacích forem . . . . .</b>  | <b>173</b> |
| 7.3.1 Použití normálií při výrobě vstřikovacích forem . . . . .  | 173        |
| 7.3.2 Konstrukce a výroba forem s podporou počítače . . . . .  | 176        |
| 7.3.3 Technologie třískového obrábění . . . . .  | 177        |
| 7.3.3.1 Frézování . . . . .  | 178        |
| I Vysokorychlostní obrábění . . . . .  | 178        |
| I Obrábění za sucha . . . . .  | 179        |
| I Obrábění velmi tvrdých materiálů . . . . .   | 180        |
| I Obráběcí strategie při vysokorychlostním frézování . . . . .   | 180        |
| 7.3.3.2 Elektroerozivní technologie . . . . .  | 181        |
| I Elektroerozivní hloubení . . . . .   | 182        |
| I Elektrojiskrové obrábění – drátové řezání . . . . .  | 184        |
| 7.3.3.3 Vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání, navrtávání . . . . .  | 184        |
| I Vrtání . . . . .   | 184        |
| I Vyhrubování, vystružování . . . . .  | 186        |
| I Zahlubování . . . . .  | 186        |
| I Vyvrtávání . . . . .   | 186        |
| 7.3.3.4 Technologie broušení . . . . .   | 187        |

|   |            |
|---|------------|
| 7.3.3.5 Úpravy povrchu (leštění, beztržkové metody, desénování) . . . . .   | 188        |
| Leštění . . . . .   | 188        |
| Beztržkové dokončovací metody . . . . .   | 189        |
| Desénování, gravírování, popisování, značení . . . . .  | 190        |
| 7.3.3.6 Další výrobní technologie . . . . .   | 191        |
| Technologie vtláčování za studena . . . . .   | 191        |
| Technologie výroby galvanoplastických skořepin a skořepin žárovým nástřikem . . . . .   | 191        |
| Technologie DMLS . . . . .  | 192        |
| Technologie MIM . . . . .   | 193        |
| Hybridní technologie . . . . .  | 194        |
| 7.3.3.7 Materiály pro výrobu vstřikovacích forem a jejich tepelné zpracování . . . . .  | 194        |
| Označování ocelí, normalizace . . . . .   | 194        |
| Používané konstrukční a nástrojové ocele . . . . .  | 195        |
| 7.3.3.8 Metrologie při výrobě dílů vstřikovacích forem . . . . .  | 197        |
| Měření tvrdosti tvarových dílů vstřikovacích forem . . . . .  | 198        |
| <b>7.3.4 Odvzdušnění vstřikovacích forem . . . . .</b>  | <b>201</b> |
| 7.3.4.1 Vliv technologických parametrů vstřikování na odvod vzduchu . . . . .   | 202        |
| 7.3.4.2 Mechanismus vzniku studených spojů a jejich minimalizace, bubliny . . . . .   | 202        |
| 7.3.4.3 Řešení odvzdušňovacích systémů vstřikovacích forem . . . . .  | 204        |
| 7.3.4.4 Minimalizace studených spojů, technické prostředky pro jejich minimalizaci . . . . .                                    | 206        |
| 7.3.4.5 Řešení odvzdušnění tvarových dutin vstřikovacích forem . . . . .  | 207        |
| <b>7.4 Provoz, údržba a opravy vstřikovacích forem . . . . .</b>  | <b>207</b> |
| 7.4.1 Provoz vstřikovací formy . . . . .  | 208        |
| 7.4.2 Údržba – důvody, definice, cíle . . . . .   | 209        |
| 7.4.2.1 Proč údržba . . . . .   | 209        |
| 7.4.2.2 Definice údržby . . . . .   | 210        |
| 7.4.2.3 Typy údržby . . . . .   | 210        |
| Oprava po poruše (Breakdown Maintenance, Reactive Maintenance) . . . . .  | 210        |
| Plánovaná preventivní údržba (Planned Preventive Maintenance) . . . . .   | 210        |
| Prediktivní údržba (Predictive Maintenance) . . . . .   | 211        |
| Totálně produktivní údržba (Total Productive Maintenance) . . . . .   | 211        |
| 7.4.2.4 Podpora údržby . . . . .  | 212        |
| 7.4.2.5 Audit údržby . . . . .  | 213        |
| 7.4.3 Vstřikovací formy a jejich údržba . . . . .   | 213        |
| 7.4.3.1 Základní hlediska dělení vstřikovacích forem . . . . .  | 213        |
| 7.4.3.2 Systém údržby forem . . . . .   | 213        |
| 7.4.3.3 Plánovaná preventivní údržba forem a realita . . . . .  | 215        |
| 7.4.3.4 Nejčastější úkony prováděné při údržbě forem . . . . .  | 216        |
| 7.4.4 Údržba vstřikovací formy – čištění povrchů a desénů, mazání, odmašťování, separace povrchů, antikorozní ochrana . . . . . | 218        |
| 7.4.4.1 Povrchy vstřikovacích forem . . . . .   | 218        |
| 7.4.4.2 Požadavky na prostředky pro údržbu vstřikovacích forem . . . . .  | 219        |
| Prostředky pro čištění forem a jejich odmaštění . . . . .   | 219        |
| Prostředky pro mazání . . . . .   | 219        |
| Prostředky pro konzervaci . . . . .   | 219        |
| Prostředky pro separaci, pro bezproblémové odformování . . . . .  | 220        |
| 7.4.4.3 Čištění a odmašťování povrchů a desénů . . . . .  | 220        |
| Mechanické odstraňování nečistot – omílání . . . . .  | 220        |



|  |     |
|--|-----|
| Rozpouštědlové odstraňování a odmašťování . . . . .  | 221 |
| Čištění povrchů suchým ledem . . . . .   | 221 |
| Ultrazvukové čištění povrchů . . . . .   | 222 |
| Termální čištění dílů vstřikovacích forem . . . . .  | 222 |
| Laserové čištění povrchů . . . . .   | 223 |
| 7.4.4.4 Antikorozní ochrana vstřikovacích forem – konzervace forem . . . . .                                     | 223 |
| 7.4.4.5 Mazání dílů vstřikovacích forem . . . . .  | 223 |
| 7.4.4.6 Separace tvarových povrchů vstřikovacích forem – zlepšení odformování . . . . .                          | 224 |
| 7.4.4.7 Chyby při používání čistících, odmašťovacích, mazacích, konzervačních a separačních prostředků . . . . . | 224 |
| 7.4.5 Údržba vstřikovací formy – čištění temperačních systémů forem . . . . .                                    | 225 |
| 7.4.6 Údržba vstřikovací formy – opravy vstřikovacích forem . . . . .  | 226 |
| 7.4.6.1 Výrobní dokumentace pro opravy forem . . . . .   | 226 |
| 7.4.6.2 Vlivy na volbu technologie a postupů oprav . . . . .   | 226 |
| 7.4.6.3 Technologie povlakování . . . . .  | 227 |
| 7.4.6.4 Opravy poškození vstřikovacích forem . . . . .   | 227 |
| Postup opravy vstřikovací formy – interní nebo externí oprava . . . . .  | 228 |
| Technologie svařování a navařování při opravách vstřikovacích forem . . . . .                                    | 229 |
| Údržba a opravy horkých systémů vstřikovacích forem . . . . .  | 231 |
| Údržba a opravy vstřikovacích forem – čištění hydraulických olejů . . . . .                                      | 231 |

## **8 Výroba prvních výstřiků a optimalizace procesu vstřikování . . . . .** 233

### **8.1 Vstřikování termoplastů: fáze výrobního cyklu, pvT diagramy, smrštění, deformace a vnitřní pnutí . . . . .** 233

|  |     |
|--|-----|
| 8.1.1 Fáze vstřikovacího cyklu . . . . .   | 234 |
| 8.1.1.1 Plastikační fáze . . . . .   | 234 |
| 8.1.1.2 Vstřikovací fáze . . . . .   | 234 |
| 8.1.1.3 Dotlaková fáze . . . . .   | 235 |
| 8.1.1.4 Fáze ochlazovací . . . . .   | 235 |
| 8.1.1.5 Stav výstřiku a jeho kvalita . . . . .   | 236 |
| 8.1.1.6 Tlak, teplota a měrný objem v průběhu vstřikovacího procesu (pvT diagramy) . . . . .         | 236 |
| 8.1.1.7 pvT diagramy amorfních a částečně krystalických termoplastů a smrštění . . . . .             | 239 |
| 8.1.1.8 Krystalizační pochody a jejich vliv na smrštění částečně krystalických termoplastů . . . . . | 241 |
| 8.1.1.9 Smrštění a propadliny (staženiny) povrchu, dutiny (lunkry) . . . . .                         | 242 |
| 8.1.1.10 Smrštění, možnosti jeho minimalizace . . . . .  | 242 |
| 8.1.1.11 Smrštění a deformace výstřiků z termoplastů . . . . .                                       | 245 |
| 8.1.1.12 Vnitřní pnutí ve výstřicích z termoplastů . . . . .   | 245 |

### **8.2 Postup při výrobě prvních výstřiků . . . . .** 250

|   |     |
|---|-----|
| 8.2.1 Popis postupu výroby prvních výstřiků . . . . .                               | 250 |
| 8.2.1.1 Příprava vstřikování . . . . .  | 250 |
| 8.2.1.2 První nastavení strojních a technologických parametrů vstřikování . . . . . | 250 |
| 8.2.1.3 Výroba prvních výstřiků . . . . .   | 251 |
| 8.2.1.4 První optimalizace vstřikovacího procesu . . . . .                          | 251 |
| 8.2.1.5 Další optimalizační procesy . . . . .                                       | 252 |
| 8.2.1.6 Optimalizace – podklady pro výrobu výstřiků . . . . .                       | 252 |

### **8.3 Poznámky k přípravě vstřikování prvních výstřiků . . . . .** 254

|   |     |
|---|-----|
| 8.3.1 Vstřikovací stroj . . . . .   | 254 |
| 8.3.1.1 Stanovení uzavírací síly, tlaky při vstřikování termoplastů . . . . . | 254 |
| 8.3.1.2 Objem plastikační jednotky vstřikovacího stroje . . . . .             | 256 |

|  |            |
|--|------------|
| 8.3.1.3 Zpětný uzávěr na šneku . . . . .   | 258        |
| 8.3.2 Periferní zařízení potřebná pro výrobu konkrétního výstřiku . . . . .  | 260        |
| 8.3.3 Vstřikovací forma a její parametry . . . . .   | 261        |
| 8.3.4 Vstřikovací materiály . . . . .  | 261        |
| <b>8.4 Poznámky k výrobě prvních výstřiků . . . . .</b>  | <b>261</b> |
| 8.4.1 Vstřikovací forma – provoz formy . . . . .   | 261        |
| 8.4.2 Nastavení strojních parametrů vstřikování a připojení periferních zařízení . . . . .   | 265        |
| 8.4.2.1 Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje . . . . .  | 265        |
| 8.4.2.2 Plastikační a vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje . . . . .  | 266        |
| 8.4.2.3 Připojení a nastavení parametrů periferních zařízení . . . . .   | 266        |
| 8.4.3 Fáze vstřikovacího procesu, technologické parametry vstřikování a jejich vliv na vlastnosti výstřiků z termoplastů . . . . .         | 267        |
| 8.4.3.1 Plastikace, dávkování, příprava polymerní taveniny . . . . .   | 268        |
| 8.4.3.2 Vstřikovací a kompresní fáze – plnění tvarových dutin formy polymerní taveninou . . . . .  | 269        |
| 8.4.3.3 Způsob přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlakovou fázi . . . . .  | 269        |
| 8.4.3.4 Dotlaková fáze . . . . .   | 273        |
| 8.4.3.5 Fáze chlazení výstřiku v tvarové dutině vstřikovací formy . . . . .  | 273        |
| 8.4.3.6 Zpracovatelské okno – vymezení formovatelnosti a přenos parametrů mezi vstřikovacími stroji . . . . .                              | 276        |
| 8.4.3.7 Problematika nastavení jednotlivých technologických parametrů vstřikování . . . . .  | 277        |
| Teplota formy . . . . .  | 277        |
| Teplota taveniny . . . . .   | 278        |
| Teplota horkého rozvodu vstřikovací formy . . . . .  | 280        |
| Vlivy na plastikaci – vytváření dávky polymerní taveniny . . . . .   | 280        |
| Velikost vstřikované dávky . . . . .   | 281        |
| Dekomprese před a po plastikaci . . . . .  | 281        |
| Zpětný odpor na šneku . . . . .  | 282        |
| Obvodová rychlost na šneku – otáčky šneku . . . . .  | 282        |
| Doba plastikace, doba setrvání polymerní taveniny v plastikační komoře vstřikovacího stroje a v horkém rozvodu vstřikovací formy . . . . . | 283        |
| Vstřikovací tlak a vstřikovací rychlost . . . . .  | 285        |
| Doba vstřiku – doba plnění tvarových dutin vstřikovací formy . . . . .   | 286        |
| Bod přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak . . . . .  | 286        |
| Dotlaková fáze – tlaková úroveň dotlaku a doba dotlaku . . . . .   | 288        |
| Polštář . . . . .  | 289        |
| Postup nastavení parametrů plnicí a dotlakové fáze vstřikovacího cyklu . . . . .   | 289        |
| Doba ochlazování a chlazení, teplota vyhození výstřiku z formy . . . . .   | 290        |
| Doba manipulace . . . . .  | 292        |
| Tlakové křivky při vstřikování termoplastů . . . . .   | 293        |
| Tabulka jakosti, způsobilost procesu . . . . .   | 294        |
| <b>8.5 Optimalizace procesu vstřikování termoplastů . . . . .</b>  | <b>295</b> |
| <b>8.6 Systémy jakosti a vstřikování termoplastů . . . . .</b>   | <b>298</b> |
| <b>8.7 Vstřikování druhotných materiálů . . . . .</b>  | <b>301</b> |
| <b>9 Vstřikování kompozitních materiálů s termoplastickou maticí . . . . .</b>   | <b>304</b> |
| <b>9.1 Krátká historie použití plastů v osobních automobilech . . . . .</b>  | <b>304</b> |
| <b>9.2 Kompozitní materiály s termoplastickou maticí . . . . .</b>   | <b>306</b> |
| 9.2.1 Kompozity s krátkými vlákny . . . . .  | 309        |
| 9.2.2 Kompozity s dlouhými vlákny . . . . .  | 311        |

|   |            |
|---|------------|
| 9.2.3 Uhlíková, rostlinná a další vlákna a plniva . . . . .   | 313        |
| 9.2.4 Nanokompozity . . . . .   | 315        |
| 9.2.5 Kompozity s reaktoplastickou matricí a další údaje o kompozitech . . . . .                                | 315        |
| <b>9.3 Konstrukční kompozity na bázi polypropylenu . . . . .</b>  | <b>318</b> |
| 9.3.1 Proč kompozity s polypropylenovou matricí . . . . .   | 318        |
| 9.3.2 Vstřikování polypropylenu . . . . .   | 319        |
| 9.3.3 Kopolymery polypropylenu . . . . .  | 320        |
| 9.3.4 Kompozity se skleněnými vlákny . . . . .  | 321        |
| 9.3.4.1 Krátká skleněná vlákna . . . . .  | 321        |
| 9.3.4.2 Dlouhá skleněná vlákna . . . . .  | 321        |
| 9.3.5 Polypropylen plněný skleněnými mikrokuličkami . . . . .   | 322        |
| 9.3.6 Polypropylen plněný talkem (mastkem) . . . . .  | 322        |
| 9.3.7 Polypropylen plněný uhlíčitánem vápenatým . . . . .   | 322        |
| 9.3.8 Polypropylen plněný slídou . . . . .  | 323        |
| 9.3.9 Polypropylen plněný wollastonitem . . . . .   | 323        |
| 9.3.10 Polypropylenové kompozity s nanoplňivý . . . . .   | 323        |
| 9.3.11 Polypropylenové kompozity s přírodními vlákny . . . . .  | 324        |
| 9.3.12 Speciální polypropylenové kompaundy . . . . .  | 325        |
| <b>9.4 Základy vstřikování kompozitů s termoplastickou matricí vyztužených dlouhými vlákny – LFRT . . . . .</b> | <b>326</b> |
| 9.4.1 Vstřikování LFRT kompozitů . . . . .  | 326        |
| 9.4.1.1 Vstřikovací stroj . . . . .   | 326        |
| Plastikační a vstřikovací šnek . . . . .  | 326        |
| Násypka granulátu a doprava pelet do ní . . . . .   | 327        |
| Zpětný uzávěr na šneku . . . . .  | 327        |
| Plastikační válec . . . . .   | 327        |
| Tryska plastikační komory . . . . .   | 328        |
| Volba velikosti vstřikovacího stroje . . . . .  | 328        |
| 9.4.1.2 Vstřikovací forma . . . . .   | 329        |
| Výběr ocelí pro výrobu forem . . . . .  | 329        |
| Studený vtokový rozvod . . . . .  | 329        |
| Horké vtokové systémy a kombinované systémy . . . . .   | 330        |
| Ústí vtoku . . . . .  | 330        |
| Úkosy, desény . . . . .   | 330        |
| Odvzdušnění tvarových dutin formy . . . . .   | 331        |
| Temperace forem . . . . .   | 332        |
| Vyhazovací systémy forem . . . . .  | 332        |
| Údržba forem . . . . .  | 332        |
| 9.4.1.3 Konstrukce výstřiků . . . . .   | 332        |
| 9.4.1.4 Vstřikovací proces . . . . .  | 333        |
| Sušení granulátu . . . . .  | 333        |
| Teplota taveniny . . . . .  | 333        |
| Teplota formy . . . . .   | 334        |
| Čištění vstřikovací jednotky . . . . .  | 334        |
| Vstřikovací tlak a vstřikovací rychlost . . . . .   | 334        |
| Tlaková úroveň dotlaku a doba dotlaku . . . . .   | 335        |
| Obvodová rychlost na šneku – otáčky šneku a zpětný odpor šneku . . . . .  | 335        |
| Zpracování drtě a regenerulátů . . . . .  | 335        |
| 9.4.1.5 Shnutí hlavních pravidel pro zpracování LFT kompozitů . . . . .   | 336        |

|   |     |
|---|-----|
| <b>9.5 Vodivé typy kompozitů s termoplastickou maticí, možnost náhrady kovových materiálů</b> | 337 |
| 9.5.1 Význam pojmů  | 337 |
| 9.5.1.1 Zdroje optického záření   | 337 |
| 9.5.1.2 Tepelná vodivost  | 339 |
| 9.5.1.3 Uhlíkové nanotrubic   | 339 |
| 9.5.1.4 Elektrická vodivost   | 340 |
| 9.5.1.5 EMC – elektromagnetická kompatibilita   | 340 |
| 9.5.1.6 Magnetické vlastnosti materiálů   | 341 |
| 9.5.2 Tepelně vodivé kompozity  | 342 |
| 9.5.2.1 Příklady tepelně vodivých termoplastů   | 342 |
| 9.5.3 Elektricky vodivé kompozity   | 343 |
| 9.5.3.1 Příklady elektricky vodivých termoplastů  | 344 |
| 9.5.4 Kompozity s magnetickými vlastnostmi  | 345 |
| 9.5.5 Technologie vstřikování tepelně vodivých, elektricky vodivých a magnetických kompozitů  | 346 |
| 9.5.5.1 Tepelně vodivé materiály  | 347 |
| 9.5.5.2 Elektricky vodivé materiály   | 347 |
| 9.5.5.3 Magnetické materiály  | 348 |
| 9.5.5.4 Praktické zkušenosti – vývoj tělesa reflektoru  | 348 |
| <b>9.6 Biologicky odbouratelné plasty – bioplasty</b>   | 350 |
| 9.6.1 Bio výkladový slovník   | 350 |
| 9.6.2 Komentáře k pojmům a reálný stav v oblasti bioplastů                                    | 354 |
| 9.6.3 Pozice bioplastů na trhu  | 357 |
| 9.6.4 Náklady na aplikaci biopolymerů   | 358 |
| 9.6.5 Další otázky  | 358 |
| 9.6.6 Částečné biokompozity   | 358 |
| 9.6.7 Bioplasty a výrobky krátkodobé spotřeby – recyklace                                     | 359 |
| 9.6.8 Bioplasty a technologie vstřikování termoplastů   | 362 |
| 9.6.9 Vstřikování směsí na bázi polyamidů   | 363 |
| 9.6.10 Potenciál biopolyamidů   | 364 |
| 9.6.11 Bioplasty – růst přes problémy   | 365 |
| 9.6.12 Biodegradovatelné plasty – bioplasty   | 365 |
| 9.6.12.1 PET a polyolefiny na biologickém základě   | 365 |
| 9.6.12.2 Technické plasty   | 366 |
| 9.6.13 Bioplasty – shrnutí  | 366 |
| <b>10 Emisní a pachové chování termoplastů: interiérové automobilové výstřiky</b>             | 368 |
| 10.1 Ovzduší a jeho znečištění  | 368 |
| 10.2 Emisní chování interiérových termoplastických materiálů                                  | 369 |
| 10.2.1 Emisivita materiálů, zdroje emisí, těkavost, emisní kinetika                           | 369 |
| 10.2.2 Emise specifické   | 370 |
| 10.2.3 Emise nespecifické   | 370 |
| 10.3 Pachové zkoušky  | 371 |
| 10.4 Závěr k emisnímu a pachovému chování termoplastů   | 372 |
| <b>11 Měření barvy a lesku výstřiků z termoplastů, barevné koncentráty</b>                    | 373 |
| 11.1 Kolometrie – co to je barva?   | 373 |

|   |            |
|---|------------|
| 11.1.1 Psychosenzorické (vjemové) hledisko . . . . .  | 373        |
| 11.1.2 Fyzikální (objektivní) hledisko . . . . .  | 373        |
| 11.1.3 Psychofyzikální hledisko . . . . .   | 374        |
| <b>11.2 Aditivní a subtraktivní mísení barev . . . . .</b>  | <b>374</b> |
| 11.2.1 Aditivní (součtové) mísení barev . . . . .   | 374        |
| 11.2.2 Subtraktivní (odečítací) mísení barev . . . . .  | 375        |
| <b>11.3 Lesk, měření lesku . . . . .</b>  | <b>375</b> |
| 11.3.1 Měření lesku . . . . .   | 375        |
| <b>11.4 Měření barvy . . . . .</b>  | <b>375</b> |
| 11.4.1 Standardizace podmínek pro hodnocení barev . . . . .   | 376        |
| 11.4.2 Spektrofotometr . . . . .  | 376        |
| 11.4.3 Geometrie měřicí soustavy . . . . .  | 377        |
| 11.4.4 Zdroje světla . . . . .  | 377        |
| 11.4.5 Pozorovatel . . . . .  | 377        |
| <b>11.5 Kolorimetrické parametry . . . . .</b>  | <b>378</b> |
| <b>11.6 Metamerie . . . . .</b>   | <b>378</b> |
| <b>11.7 Světelné kabiny . . . . .</b>   | <b>380</b> |
| <b>11.8 Praktické zkušenosti s měřením barvy . . . . .</b>  | <b>380</b> |
| 11.8.1 Spektrofotometr . . . . .  | 380        |
| 11.8.2 Místo měření . . . . .   | 380        |
| 11.8.3 Zákaznický měrový standard . . . . .   | 381        |
| 11.8.4 Výsledky měření spektrofotometrem a jejich porovnání se standardem . . . . .   | 381        |
| 11.8.5 Způsoby měření . . . . .   | 381        |
| 11.8.6 Vliv prostředí . . . . .   | 381        |
| 11.8.7 Použití barevných koncentrátů . . . . .  | 382        |
| 11.8.8 Měření ve světelných kabinách . . . . .  | 382        |
| 11.8.9 Metamerie a světelné kabiny . . . . .  | 382        |
| 11.8.10 Vliv technologických parametrů vstřikování . . . . .  | 382        |
| <b>11.9. Barevné koncentráty, masterbatche . . . . .</b>  | <b>383</b> |
| <b>12 Vady výstřiků z termoplastů a jejich odstraňování . . . . .</b>   | <b>385</b> |
| <b>12.1 Vady výstřiků: plnění tvarové dutiny formou polymerní taveninou a děje v ní se odehrávající (orientace makromolekul) . . . . .</b>  | <b>386</b> |
| <b>12.2 Vady výstřiků: vnitřní pnutí ve výstřících z termoplastů . . . . .</b>  | <b>388</b> |
| <b>12.3 Vady výstřiků: výrobní smrštění a dosmrštění . . . . .</b>  | <b>389</b> |
| <b>12.4 Vady výstřiků: studené spoje . . . . .</b>  | <b>390</b> |
| <b>12.6 Vady výstřiků: nehomogenita nadmolekulární struktury, částečně krystalické plasty, primární a sekundární krystalizace . . . . .</b> | <b>393</b> |
| <b>12.5 Vady výstřiků: tokové čáry . . . . .</b>  | <b>393</b> |
| <b>12.7 Vady výstřiků: dělení vad, jejich výběrový výčet . . . . .</b>  | <b>394</b> |
| 12.7.1 Vady zjevné . . . . .  | 394        |
| 12.7.1.1 Vady zjevné: vady tvaru . . . . .  | 394        |
| 12.7.1.2 Vady zjevné: vady povrchu . . . . .  | 394        |
| 12.7.2 Skryté vady . . . . .  | 395        |
| 12.7.3 Vady vzniklé při vlastním vstřikování . . . . .  | 395        |
| <b>12.8 Vady výstřiků: popis, charakteristika, příčiny vzniku a odstranění vybraných vad . . . . .</b>                                      | <b>395</b> |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 12.8.1  | Neúplný výstřik  | 396 |
| 12.8.2  | Přetoky a otřepy   | 397 |
| 12.8.3  | Propadliny, vtaženiny  | 397 |
| 12.8.4  | Deformace výstřiku   | 397 |
| 12.8.5  | Změna barvy – barevný odstín výstřiku                              | 399 |
| 12.8.6  | Rozdíly v lesku, nevykopírovaný desén                              | 399 |
| 12.8.7  | Opalescence, optická anizotropie                                   | 399 |
| 12.8.8  | Stříbření v důsledku vlhkosti ve vstřikovaném materiálu            | 402 |
| 12.8.9  | Bílé, světlé nebo stříbřité pruhy, mapy, stopy na povrchu výstřiků | 403 |
| 12.8.10 | Jemně rýhovaný nebo pórovitý povrch výstřiku                       | 403 |
| 12.8.11 | Trhlinky a mikrotrhlinky na povrchu výstřiku                       | 403 |
| 12.8.12 | Tokové čáry na povrchu výstřiku                                    | 405 |
| 12.8.13 | Rozvrstvování, delaminace povrchu výstřiku                         | 405 |
| 12.8.14 | Žloutnutí, hnědnutí materiálu výstřiku                             | 405 |
| 12.8.15 | Místní spálení materiálu výstřiku                                  | 407 |
| 12.8.16 | Černé tečky na výstřiku  | 408 |
| 12.8.17 | Volný tok polymerní taveniny – meandrový tok                       | 408 |
| 12.8.18 | Studené spoje  | 411 |
| 12.8.19 | Vakuové bubliny – lunkry   | 414 |
| 12.8.20 | Uzavírání vzduchu nebo plynných produktů ve stěnách výstřiků       | 414 |
| 12.8.21 | Vnitřní pnutí ve výstřiku  | 432 |
| 12.8.22 | Špatná mechanická pevnost výstřiků – jejich zkřehnutí              | 432 |
| 12.8.23 | Nereálné rozměrové a geometrické tolerance výstřiků                | 432 |
| 12.8.24 | Problémy vzniklé při zpracování drtě                               | 433 |
| 12.8.25 | Vady způsobené vstřikovací formou a vstřikovacím strojem           | 434 |
| 12.8.26 | Vady způsobené statickou elektřinou, elektrostatickým nábojem      | 435 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| <b>13</b>   | <b>Využití měření teploty termokamerou (termogramů) při vstřikování termoplastů a kompozitních materiálů s termoplastickou maticí</b> | 439 |
| <b>13.1</b> | <b>Měření teploty</b>   | 439 |
| 13.1.1      | Krátký úvod pro měření termokamerou   | 440 |
| 13.1.2      | Termokamera a jejich konstrukce   | 441 |
| <b>13.2</b> | <b>Měření termokamerou, praktické výsledky a závěry z měření</b>  | 443 |
|             | <b>Zkratky a názvy polymerních vstřikovacích termoplastů</b>  | 451 |
|             | <b>Rejstřík</b>   | 452 |
|             | <b>Literatura</b>   | 455 |

# Úvod

Plasty jsou syntetické nebo polosyntetické, případně přírodní materiály, které jsou z velké části tvořeny polymery – řetězci (řetězcová struktura molekul, tedy dlouhá lineární řada vzájemně spojených atomů nebo skupin atomů, jež odlišuje polymerní materiály od jiných druhů materiálů) převážně uhlovodíkových sloučenin. Pro jejich výrobu se používá jak ropa a uhlí, tak celá řada přírodních látek, například škroby. Není správné označovat je jako umělé hmoty, tento pojem je de facto nesmyslný (stejně jako igelit, což je původně obchodní název měkčeného PVC firmy IG Farben z roku 1935, který vznikl složením prvních písmen názvu firmy IG a koncovky v té době nejpoužívanějšího plastu, polyformaldehydové pryskyřice – reaktoplastu – bakELIT; „igelitové tašky“ se vyrábějí z termoplastů PP nebo LDPE).

Velkou výhodou plastů je obrovská variabilita jejich vlastností a tím i možností jejich použití, kdy kromě vlastních aplikací mohou nahrazovat jiné materiály.

Výroba a užití plastů rozhodující mírou přispěly k dosažení současné kvality života jak u nás, tak i ve světě. Přesto (respektive proto) se dostáváme do situace, kdy jsou vytvářeny tlaky na nalezení postupů vnímavějších k životnímu prostředí. K tomu by měly přispět tzv. udržitelné technologie, které sníží zátěž na životní prostředí, aniž by byl zastaven nebo výrazně přibrzděn rozvoj lidské společnosti. To je i jedním z úkolů technologií zpracovávajících plasty na výrobky s vlastnostmi více vyhovujícími environmentálním požadavkům.

Jak uvádí Česká technologická platforma PLASTY ve své zprávě „Strategická výzkumná agenda“ z června 2017, koncem 19. století se průmyslově celosvětově zpracovalo kolem 10 tisíc tun plastů za rok. V roce 1930 překročila roční světová výroba plastů hodnotu 30 tisíc tun, v roce 1949 to bylo již více než 1 milion tun a v současné době se pohybuje světová výroba na úrovni 335 milionů tun vyrobených plastů. V roce 2020 se očekává dosažení 400 milionů tun, v roce 2050 přesáhne výroba plastů 700 milionů tun (některé předpovědi, například od MacArthur Foundation, uvádějí až 1,1 milionu tun vyrobených plastů).

Na světové spotřebě se největší mírou podílejí polyolefiny (PP a PE) společně s PVC, PS, EPS (pěnový polystyren) a PET tvoří 85 % spotřeby. Prognóza do roku 2020 uvádí průměrný roční nárůst spotřeby plastů o 4,4 %. Největší dynamika se očekává u EPS (5,1 %), PP a PET (5 %). Spotřeba inženýrských plastů (PC, ABS, PET, PBT, POM, PA) má do roku 2026 růst průměrným ročním tempem 7,4 %.

V Evropě činila v roce 2016 celková spotřeba plastů 52 milionů tun, Česká republika se na uvedeném množství podílela 1 145 000 tunami, což představuje více než 100 kg spotřebovaných plastů na obyvatele.

S čísly o výrobě plastů úzce souvisejí i čísla vyjadřující podíl odpadních plastů. V EU se tento podíl pohybuje okolo 54 % z ročně zpracovávaného množství. V roce 2015 to bylo 25,8 milionu tun odpadních plastů, z nichž 30,8 % skončilo na skládkách, 29,6 % bylo recyklováno a 39,5 % se využilo energeticky ve spalovnách. Česká republika vykazuje 400 000 tun odpadních plastů a 63,5 % z nich skončí na skládkách.

Údaje o bioplastech se liší podle pramenů, z nichž data pocházejí. Nova-Institut uvádí výrobu v roce 2016 v množství 2,4 milionů tun, s výhledem do roku 2021 3,6 milionu tun. Asociace European Bioplastics uvádí pro rok 2016 4,2 milionu tun a do roku 2021 očekává růst na 6,1 milionu tun. Výrobci z Asie mají z uvedeného množství vyrobit

polovinu, čtvrtina se vyrobí v Evropě. Nejvíce se má vyrobit bio-PET, bio-PE a bio-PA. Noviny *K-Zeitung* dne 23. února 2017 publikovaly údaj uvádějící výrobu bioplastů v roce 2021 v množství 8,5 mil. tun. Podle těchto novin činil podíl bioplastů v roce 2017 na celkové světové výrobě 4 %.

Plasty jsou makromolekulární produkty, které lze tvářet a tvarovat, případně dalšími technologiemi zpracovávat na požadované výrobky nebo polotovary určené k dalšímu zpracování.

Mezi zpracovatelské technologie řadíme: přípravné operace – míchání a hnětení, granulaci, tabletování, recyklaci, sušení, barvení, aditivaci; hlavní zpracovatelské technologie – přímé lisování, přetlačování, válcování a kalandrování, vytačování, vyfukování dutých těles, vstřikování, tvarování polotovarů za tepla a případně vakua; další technologie zpracování plastů – zpracování kapalných systémů – odlévání, lití, zalévání, máčení, natírání, impregnace, reakční vstřikování (RIM – Reaction Injection Molding, RRIM, SRIM), zvláknování; technologie nerozebíratelného spojování – svařování plastů, lepení; výrobu laminátů a součástí z vyztužených plastů – výrobu prepregů s reaktoplastickou a termoplastickou matricí, lisování za tepla, Injektform; navíjení; tažení – pultruze; laserové zpracování plastů – řezání laserem, strukturované vrtání laserem, laserové spojování – svařování a navařování, spoje plast – kov, laserové leštění plastů, korekce tvaru, odstraňování přetoků, odjehlování laserem, laserové značení; lehčení; spékání; rotační natavování polymerů; povrchové úpravy – kaširování, lakování, potiskování plastů, desénování plastů, leštění plastů, pokovování plastů, povrchovou ochranu povlakováním plasty nebo práškovými plasty, sametování – flokování; obrábění plastů; nerozebíratelná spojení; rozebíratelná spojení; radiační síťování; nekonvenční způsoby zpracování plastů.

Jednou z výrazných tvářecích technologií pro zpracování plastů je technologie jejich vstřikování.

Počátek historie vstřikování sahá do roku 1870, kdy byl v USA patentován materiál, z něhož později vznikl celuloid. Patent obsahoval i zařízení pro jeho vstřikování. K výraznějšímu rozvoji, zejména ke zpracování reaktoplastů, došlo po první světové válce. Z dnešního pohledu na technologii vstřikování plastů nastal nejvýraznější pokrok v padesátých letech minulého století, kdy byla patentována šneková vstřikovací jednotka, představen první elektroerozivní hloubicí stroj na výrobu tvarových dílů vstřikovacích forem, byl patentován první horký rozvod, při výrobě vstřikovacích forem se rozšířilo používání normalizovaných dílů. Na konci šedesátých let a v sedmdesátých letech 20. století pak byla zaváděna zpětnovazební regulace v řízení vstřikovacích strojů a mikroprocesorové řídicí systémy, dále sušení granulátů suchým vzduchem a první nasazení robotů. V osmdesátých letech minulého století se objevují první simulační programy, první zařízení pro technologie Rapid Prototyping, je zaváděna statistická procesní kontrola.

V souvislosti s technologickým vývojem vstřikování plastů a s vývojem vstřikovacích strojů a zařízení k nim (periferní zařízení jako sušárny, dopravníky, nasavače, dávkovače aditiv, roboty, temperační zařízení atd.) dochází k rozvoji automatizace vstřikovacího výrobního procesu. První automatizovaná vstřikovací pracoviště nezávisle na sobě představily firmy Battenfeld a Netstal v roce 1983 na světové výstavě Kunststoffe 83 v Düsseldorfu. Na výstavě předvedené automatizační koncepty se v propojení na více vstřikovacích strojů ukázaly jako málo pružné a drahé. V reálné praxi z nich vykristalizovala automatizace vstřikovacího stroje jako samostatného automatizovaného ostrůvku (nebo sestavy strojů vyrábějících jednu montážní skupinu).

V současné době, kdy technologie vstřikování plastů (včetně vstřikovacích strojů, periferních zařízení, vstřikovacích forem, měření atd.) urazila od svých počátků až po dnešní dobu velmi dlouhou a úspěšnou cestu, se před ní objevují další výzvy a požadavky. Tyto výzvy a požadavky je možné shrnout do tří základních oblastí:

- zkracování doby dodání výrobku na trh,
- zkracování inovačních cyklů,
- zvětšující se komplexita výrobků – integrace více funkcí do jednoho dílu,
- požadavky na zpracování velkého objemu dat,
- zvyšování flexibility,
- kolísání požadavků trhů,



- poptávky po výrobcích se stále více individualizují,
- individualizace hromadné výroby,
- tlak na vysokou produktivitu výroby,
- zvyšování účinnosti výroby,
- požadavky na snižování výrobních nákladů,
- snižování energetické náročnosti výroby,
- tlak na zvyšování využití materiálových zdrojů, environmentální požadavky.

Pro zajištění uvedených témat je k dispozici jediná technologie: již zmíněná automatizace, která se v různém stupni a různou rychlostí přesunuje do aktivit s názvem Průmysl 4.0.

Automatizace se dá charakterizovat čtyřmi časově posloupnými přístupy:

- dříve: oddělené automatizační technologie,
- nyní: vzájemně propojená automatizace,
- v blízké budoucnosti: optimalizace celého výrobního procesu pomocí nových inovativních softwarových systémů,
- ve vzdálenější budoucnosti: organizace a optimalizace výroby prostřednictvím kyberneticko-fyzických (CPS) systémů, chytré továrny, Průmysl 4.0.

K tomu, aby mohlo být dosaženo cílů aktivit Průmyslu 4.0, je nutné zajistit propojení průmyslu se vzděláním. Toto konstatování vychází ze skutečnosti, že výrobní zařízení lze nakoupit prakticky ihned, ale pracovníky s potřebnými znalostmi je potřeba s předstihem a dlouhodobě vychovávat. K tomu se snaží svým malým příspěvkem napomoci i tato kniha, která se na svých stránkách snaží komplexně popsat celý proces výroby výstřiků z termoplastů, a to jak v teoretické, tak zejména v praktické rovině.

Jednotlivé kapitoly mapují výrobu výstřiků z termoplastů a zabývají se následujícími tématy:

- požadavky kladené na výstřik: jakostní, funkční, pracovní prostředí, následné operace,
- návrh materiálu výstřiku,
- design a konstrukce výstřiku: tvar, rozměry, rozměrová a tvarová přesnost, jakost povrchu,
- konstrukční analýza možností vzniku vad a jejich následků (DFMEA, Design Failure Mode Effects Analysis),
- analýza zaformovatelnosti a úprava výstřiků podle zásad technologičnosti konstrukce výstřiků z termoplastů při zachování jejich jakostních a funkčních vlastností,
- výběr varianty technologie vstřikování, technologický proces,
- vizualizace, ověření tvarů, rozměrů, montážních závislostí atd. pomocí výroby dílu některou z technologií „rychlé výroby“ (RP, Rapid Prototyping),
- návrh zaformování výstřiků, násobnost formy, vtokový rozvod, temperace formy,
- vstřikovací stroj, periferní zařízení, automatizační zařízení,
- matematické simulace,
- konstrukce prototypové formy,
- výroba prototypové formy,
- ověření výstřiku výrobou na prototypové formě, včetně vyhodnocení požadavků kladených na výstřik,
- modifikace výstřiku podle výsledků simulací, výpočtů a výsledků z prototypové výroby,
- požadavky na konstrukční a výrobní provedení formy, včetně přípravků – měřicích, chladicích, rovnacích atd.,
- konstrukce formy a přípravků,
- výroba formy a přípravků,
- návrh technologických parametrů vstřikování s využitím technologických parametrů použitých při simulacích,
- oživení formy (počet optimalizačních kroků) smyček,
- hodnocení jakosti a zkoušení výstřiků,
- vypracování podkladů pro schvalování prvních výstřiků (PPAP, Production Part Approval Proces),
- vypracování podkladů pro sériovou výrobu,

- sériová výroba,
- hodnocení jakosti v rámci sériové výroby,
- údržba formy,
- opravy formy,
- údržba strojního vybavení vstříkovny.

Obecně lze říci, že každý výstřik je svým způsobem originál a před svojí ekonomickou výrobou s definovanou kvalitou by měl projít etapou vývoje dílu (Product Development) s návaznou etapou studie proveditelnosti (FS, Feasibility Study).

Studie proveditelnosti by v zásadě měla být co nejkomplexnější a koherentní, tedy co nejbliže k danému výstřiku. Jako se od sebe liší jednotlivé výstřiky, liší se i struktura témat řešených ve studiích proveditelnosti pro jednotlivé díly. Uvedené konstatování ovlivňuje i důraz, který je v projektu kladen na jednotlivé kapitoly studie, způsob a podrobnosti jejich zpracování.

Rozsah vývoje výstřiku a studie proveditelnosti je tedy na obecné a široké úrovni možné vymezit do výše uvedených bodů, přičemž je dobré si uvědomit, že se v mnoha případech tyto body vzájemně prolínají.

Výběr materiálu výstříku vychází z požadavků, které musí výstřík po dobu své životnosti na základě požadavků zadavatele splňovat, a to včetně omezení vyplývajících z podstaty materiálové báze plastů.

## 1.1 Faktory ovlivňující výběr materiálu výstříku – požadavky na materiál

Zadavatel výroby výstříku musí ve spolupráci s designérem a konstruktérem výstříku vzít v úvahu celou řadu faktorů, které nutně ovlivňují jak splnění kladených požadavků, tak i výběr vhodného materiálu pro výrobu výstříku:

- **finanční:**
  - materiálová cena,
  - procesní náklady,
  - systémové náklady,
- **rozměrové:**
  - geometrie výstříku,
  - rozměrová a tvarová přesnost,
  - hmotnost výstříku,
  - rozměrová stabilita,
  - tvarová stabilita (deformace),
  - díl pro vnější nebo vnitřní použití,
  - materiál amorfní nebo částečně krystalický,
  - materiál kompozitní (druh plniva): nevytuzující, vytuzující, obsah plniva,
  - smrštění,
  - dodatečné smrštění,
- **mechanické:**
  - tuhost,
  - tvrdost,
  - rázová odolnost,
  - houževnatost,
  - únavové vlastnosti,
  - odolnost proti abrazi,
  - životnost,