

Technologie vstřikování termoplastů se všemi svými modifikacemi má mezi zpracovatelskými plastickými technologiemi zásadní význam. Při použití technologie vstřikování se z příslušného granulátu připraví tavenina, která je dopravena do tvarové dutiny vstřikovací formy. Po ochlazení výstřiku v dutině formy je tento z ní vyhozen a po zhodnocení požadovaných jakostních parametrů připraven k použití.

Základní poznatky vedoucí k objasnění procesů probíhajících při vstřikování termoplastů jsou rozepsány v sedmi hlavních kapitolách.

Po seznámení se s termoplasty pro vstřikování je mezi základními pojmy uvedeno smršťení, jeho definice, faktory ovlivňující smršťení, jeho vliv na deformace výstřiků, rozměrová přesnost, včetně praktických závěrů.

Pozornost je dále věnována základním předpokladům pro vstřikování výstřiků z termoplastů s definovanými vlastnostmi, tj. seřizování a optimalizace vstřikovacího procesu.

V knize jsou uvedeny základní údaje pro vstřikování jednotlivých druhů termoplastů – polyolefiny, styrenové polymery, PMMA, PA, PC, POM, lineární polyestery (PBT, PET), LCP, vysoce teplotně a chemicky odolné termoplasty, termoplasty s dlouhými skleněnými vlákny, TPE.

Je diskutována problematika sušení a kondicionace, včetně problematiky odvodušnění vstřikovacích forem.

Text je doplněn množstvím problematiku ilustrujících obrázků a celou řadou přehledných tabulek.

Publikace takového souborného rozsahu v češtině dosud nevyšla.

Kniha je určena celé plastickému veřejnosti, zejména ji lze využít pro výuku v oboru vstřikování termoplastů na středních a vysokých školách, včetně doplnění znalostí technologů a seřizovačů při vstřikování termoplastů.

Lubomír Zeman

Vstřikování plastů

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládané informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Všechny registrované nebo jiné obchodní známky použité v této knize jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva.

Veškerá práva vyhrazena

© Lubomír Zeman, 2009

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Lubomír Zeman, VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

BEN – technická literatura, Praha 2009

1. vydání

ISBN 978-80-7300-250-3

Obsah

1	ÚVOD DO VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	11
1.1	Historický úvod	12
1.2	Úvod do současnosti	13
2	TERMOPLASTY PRO VSTŘIKOVÁNÍ	15
2.1	Vznik makromolekul	16
2.2	Základní rozdělení plastů vhodných pro vstřikování	16
2.3	Nadmolekulární struktura polymerů	19
2.4	Charakteristické teploty polymerů	20
2.5	Reologie polymerních tavenin, disipační ohřev tavenin, fontánový tok	20
2.6	Úprava polymerů pro zpracování a použití	21
2.6.1	Přísady formulující zpracovatelnost tavenin	21
2.6.2.1	Stabilizátory	21
2.6.2.2	Plastifikátory (změkčovadla)	21
2.6.2.3	Polymerní modifikátory	21
2.6.2.4	Koncentráty lubrikantů, nukleačních činidel a antistatik	22
2.6.2.5	Retardéry hoření	22
2.6.2.6	Barviva, pigmenty, barevné koncentráty, optická zjasňovadla	22
2.6.2.7	Plniva – kompozitní materiály	23
2.6.2.7.1	Plniva částicová	23
2.6.2.7.2	Vyztužující plniva	23
2.6.2.7.3	Nanoplňiva	24
2.6.2.7.4	Kompozitní slitiny, směsi, blendy	24
2.7	Fyzikální procesy probíhající v polymerech při jejich zpracování vstřikováním	25
3	SMRŠTĚNÍ TERMOPLASTŮ – ZÁKLADY	27
3.1	Základní pojmy a definice	28
3.1.1	Smrštění – úvod	28
3.1.2	Smrštění – tepelná kontrakce, pVt chování termoplastů	28
3.1.3	Objemové a lineární smrštění	31

3.1.4	Lineární smrštění a normalizace, definice lineárního smrštění, dosmrštění, anizotropie smrštění	33
3.1.5	Smrštění a konstrukce výstřiků a forem	35
3.1.5.1	Změny rozměrů výstřiků z termoplastů	36
3.1.5.2	Anizotropie rozměrových změn	38
3.1.5.3	Rozměrová a tvarová přesnost výstřiků z termoplastů	38
3.2	Faktory ovlivňující smrštění	39
3.2.1	Materiál	40
3.2.1.1	Amorfní a částečně krystalické plasty	40
3.2.1.2	Krystalizační chování a jeho vliv na smrštění	41
3.2.1.3	Plniva a plněné materiály	43
3.2.2	Kvalitativní korelace mezi procesními parametry a výrobním smrštěním ..	44
3.2.2.1	Doba dotlaku	45
3.2.2.2	Tlaková úroveň dotlaku	46
3.2.2.3	Teplota stěny formy	47
3.2.2.4	Teplota taveniny	47
3.2.2.5	Vstřikovací rychlost (doba plnění tvarové dutiny formy)	48
3.2.2.6	Teplota vyhazování výstřiku z formy (doba chlazení)	48
3.2.3	Konstrukce výstřiků	48
3.2.3.1	Tloušťka stěn	48
3.2.3.2	Zmenšení tloušťky stěny na konci dráhy toku taveniny	50
3.2.3.3	Vliv žebér na výstřiku	50
3.2.4	Forma	50
3.2.4.1	Temperace – chlazení formy	50
3.2.4.2	Odpor proti toku taveniny ve formě	51
3.2.4.3	Průřez a délka rozváděcích kanálů formy	52
3.2.4.4	Velikost – průřez ústí vtoku	52
3.2.4.5	Umístění ústí vtoku na výstřiku	52
3.3	Smrštění – vybrané praktické závěry	53
3.3.1	Geometrie výstřiku, tloušťka jeho stěn	53
3.3.2	Možnosti snížení smrštění	55
3.3.2.1	Konstrukce – výstřik, forma	55
3.3.2.2	Vliv procesních parametrů – amorfní polymery	55
3.3.2.3	Vliv procesních parametrů – částečně krystalické polymery	55
3.3.2.4	Vliv složení materiálu – částečně krystalické polymery	56
3.4	Smrštění a jeho vliv na deformace	57
3.4.1	Deformace	57
3.4.2	Vnitřní pnutí	61
3.4.3	Propadliny – staženiny, dutiny – lunkry	64
3.5	Smrštění a základní tvary výstřiků	64
3.5.1	Deska s konstantní tloušťkou stěny	64
3.5.2	Deska s rozdílnou tloušťkou stěny	66

3.5.3	Deformace rohů, úhlů, nebezpečí tvorby lunek	67
3.5.4	T-profil, žebro	68
3.5.5	Krabice se dnem	70
3.5.6	Krabice s přepážkou	71
3.5.7	Válec namáhaný vnitřním tlakem	72

4 ZÁKLADNÍ PŘEDPOKLADY PRO VSTŘIKOVÁNÍ VÝSTŘIKŮ Z TERMOPLASTŮ S DEFINOVANÝMI VLASTNOSTMI – SEŘIZOVÁNÍ A OPTIMALIZACE VSTŘIKOVACÍHO PROCESU 73

4.1	Základní předpoklady pro vstřikování dílů s definovanou jakostí	74
4.2	Nutné podmínky pro seřizování a optimalizaci procesu vstřikování termoplastů	77
4.2.1	Vstřikovací stroj	77
4.2.1.1	Určení potřebné uzavírací síly, definice tlaků při vstřikování termoplastů	77
4.2.1.2	Velikost plastikační jednotky	81
4.2.1.3	Zpětný uzávěr na šneku	81
4.2.2	Periferní zařízení	83
4.2.3	Forma a její příslušenství	84
4.2.3.1	Základní data vstřikovací formy	84
4.2.4	Vstřikovací granulát	88
4.2.4.1	Chování termoplastů při zahřívání a toku	90
4.2.4.1.1	Chování při zahřívání	90
4.2.4.1.2	Hodnocení tavenin při toku	91
4.3.	Seřizování a optimalizace procesu vstřikování termoplastů	95
4.3.1	Vstřikovací forma – příprava	95
4.3.2	Vstřikovací forma – nasazení	99
4.3.3	Vstřikovací forma – odstavení	101
4.3.4	Formy s horkými rozvody	101
4.3.4.1	Zásady používání horkých rozvodů vstřikovacích forem – horké trysky bez jehlového uzávěru	101
4.3.4.2	Zásady používání horkých rozvodů vstřikovacích forem – horké trysky s jehlovým uzávěrem	102

4.3.4.3	Horké trysky – postup při změně barvy výstřiku bez přístupu ke trysce z dělicí roviny formy	103
4.3.4.4	Horké trysky – postup při změně barvy výstřiku s přístupem k trysce z dělicí roviny formy	104
4.3.5	Nastavení dráhových, rychlostních, tlakových a kontrolních strojních parametrů – jejich optimalizace	105
4.3.5.1	Uzavírací jednotka vstříkovacího stroje	105
4.3.5.2	Vstříkovací jednotka vstříkovacího stroje	107
4.3.6	Připojení a nastavení periferních zařízení	107
4.3.7	Fáze vstříkovacího procesu a jejich vliv na vlastnosti výstřiků	107
4.3.7.1	Vliv jednotlivých fází vstříkovacího procesu na jakost výstřiků	108
4.3.7.1.1	<i>Plastikace – dávkování</i>	108
4.3.7.1.2	<i>Vstříkovací a kompresní fáze – plnění tvarových dutin formy</i>	108
4.3.7.1.3	<i>Přepnutí ze vstříkovacího tlaku na dotlak</i>	109
4.3.7.1.4	<i>Dotlaková fáze</i>	109
4.3.7.1.5	<i>Fáze chlazení výstřiku ve formě</i>	110
4.3.7.1.6	<i>Váha vlivu a tolerance technologických parametrů, vymezení zpracovatelského okna formovatelnosti</i>	111
4.3.8	Nastavení a optimalizace technologických parametrů vstříkování, kontrola procesu	113
4.3.8.1	Teplota formy	114
4.3.8.2	Teplota taveniny – nastavení teploty jednotlivých topných pásem	115
4.3.8.3	Teplota horkého rozvodu	117
4.3.8.4	Plastikace – dávkování	117
4.3.8.4.1	<i>Velikost dávky</i>	118
4.3.8.4.2	<i>Dekomprese před a po plastikaci</i>	119
4.3.8.4.3	<i>Zpětný odpor na šneku</i>	119
4.3.8.4.4	<i>Otáčky šneku – obvodová rychlost na šneku</i>	120
4.3.8.4.5	<i>Doba plastikace, doba setrvání taveniny v plastikační komoře a v horkém rozvodu</i>	122
4.3.8.5	Vstříkovací tlak a rychlost	125
4.3.8.6	Doba plnění formy – doba vstříku	126
4.3.8.7	Bod přepnutí ze vstříkovacího tlaku na dotlak	127
4.3.8.7.1	<i>Bod přepnutí – dráhově, objemově</i>	128
4.3.8.7.2	<i>Bod přepnutí – tlakově – v pohonném systému, ve formě, v horkém rozvodu</i>	128
4.3.8.7.3	<i>Bod přepnutí – časově</i>	129
4.3.8.8	Úroveň dotlaku a doba dotlaku	129
4.3.8.9	Polštář	131
4.3.8.10	Optimalizace nastavení plnicí a dotlakové fáze	132
4.3.8.11	Doba ochlazování a chlazení, teplota vyhazování výstřiku z formy	132
4.3.8.12	Doba manipulace	136
4.3.8.13	Tlakové křivky	136
4.3.8.14	Tabulka jakosti, způsobilost procesu	142
4.3.9	Seřizování a optimalizace vstříkovacího procesu	144
4.3.10	Vstříkování druhotných materiálů	146
4.3.11	Vady výstřiků a jejich odstraňování	149
4.3.11.1	Základní rozdělení vad	152
4.3.11.2	Vady, jejich příčiny a odstranění vad	153

4.3.11.2.1	Přestříky, přetoky, otřepy	154
4.3.11.2.2	Neúplné výstříky	154
4.3.11.2.3	Propadliny, staženiny, lunkry, zvlnění povrchu	155
4.3.11.2.4	Studené spoje	155
4.3.11.2.5	Místní spálení materiálu v důsledku komprese vzduchu (dieseľefekt)	155
4.3.11.2.6	Šmouhy, šlírý, změna barvy	156
4.3.11.2.7	Tmavé body na povrchu výstříků	156
4.3.11.2.8	Stopy vlhkosti	156
4.3.11.2.9	Tvorba drobných bublinek (vzduch, plynné produkty)	157
4.3.11.2.10	Rozdíl lesku na povrchu výstříku, rozdílý na dezénu	157
4.3.11.2.11	Opalescence, stříbření, mikrotrhlinky, napěťové trhlinky (pnutí), křehnutí	158
4.3.11.2.12	Tokové čáry, studené tokové linie	158
4.3.11.2.13	Kresba po volném proudu taveniny – meandrový tok	158
4.3.11.2.14	Jemné rýhovaný až pórovitý povrch (vzhled gramofonové desky, pomerančové kúry) ..	159
4.3.11.2.15	Stopy po studené tavenině (roub), rozvrstvování (delaminace)	159
4.3.11.2.16	Stopy po vyhazovačích	159
4.3.11.2.17	Deformace výstříků při vyhazování z formy	160

5 ZÁKLADNÍ ÚDAJE PRO VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ 161

5.1	POLYOLEFINY	162
5.1.1	Polypropylen – PP	162
5.1.2	Polyetylen – PE	163
5.2	STYRÉNOVÉ POLYMERY	164
5.3	POLYMETHYLMETAKRYLÁT	165
5.4	POLYAMIDY	166
5.5	POLYKARBONÁT	171
5.6	POLYOXYMETHYLEN – POLYACETAL – POLYFORMALDEHYD	172
5.7	LINEÁRNÍ POLYESTERY	174
5.8	POLYMERY S TEKUTÝMI KRYSTALY (plně aromatické polyestery)	175
5.9	VYSOCE TEPLOTNĚ A CHEMICKY ODOLNÉ TERMOPLASTY	177
5.10	TERMOPLASTY PLNĚNÉ DLOUHÝMI VLÁKNY	179
5.11	TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY – TPE	181
5.11.1	TPE – O, EPDM/PP	182
5.11.2	TPE – S	184

5.11.3	TPE – U	185
5.11.4	TPE – E	187
5.11.5	TPE – A	189
5.11.6	ETYLENVINYLACETÁT – EVA	190

6 SUŠENÍ A KONDICIONACE TERMOPLASTŮ 191

6.1	Definice pojmů	192
6.2	Sušení termoplastů	193
6.2.1	Měření obsahu vlhkosti ve vstřikovacích granulátech	194
6.2.2	Sušárny granulátů – způsoby sušení	195
6.2.2.1	Sušárny se samovolnou cirkulací ohřátého vzduchu	196
6.2.2.2	Sušárny s nuceným oběhem ohřátého vzduchu	196
6.2.2.3	Sušárny s nuceným oběhem ohřátého suchého vzduchu	197
6.2.2.4	Podtlakové sušárny	199
6.2.2.5	Tlakovzdušné sušárny	199
6.3	Kondicionace výstřiků z termoplastů	200
6.4	Termoplasty a podmínky jejich sušení	202

7 ODVZDUŠNĚNÍ VSTŘIKOVACÍCH FOREM Z POHLEDU JAKOSTI VÝSTŘIKŮ Z TERMOPLASTŮ 205

7.1	Proč odvzdušnění	206
7.2	Vliv technologických parametrů vstřikování na odvzdušnění	206
7.3	Dimenzování odvzdušňovacích systémů	210
7.3.1	Příklad výpočtu průřezu odvzdušňovacího kanálu	211
7.3.2	Technické provedení odvzdušnění	211
7.3.3	Technické prostředky pro minimalizaci vzniku studených spojů	213

LITERATURA 215

1.	Monografie	215
2.	Sborníky z konferencí	215

3.	Internetové odkazy – časopisy	216
4.	Databáze	216
5.	Ostatní	216
6.	Aditiva	216
7.	Termoplasty a aditiva	216
8.	Vstřikovací stroje	217
9.	Horké systémy vstřikovacích forem	218

**ZKRATKY A NÁZVY VYBRANÝCH VSTŘIKOVACÍCH
POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ** 219

Tabulky 221

Rejstřík 237

Kontakty na prodejny technické literatury 247

Pár slov o nakladatelství 248