

Současné trendy v technologii vstřikování termoplastů

Martin Rybáček

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: Martin Rybáček
Osobní číslo: T12637
Studijní program: B2808 Chemie a technologie materiálů
Studijní obor: Chemie a technologie materiálů
Forma studia: kombinovaná

Téma práce: Současné trendy v technologii vstřikování termoplastů

Zásady pro vypracování:

Práce popisuje současný stav technologie vstřikování, používaného zařízení a příslušenství v posledních 5 letech. Ve druhé části práce má za úkol popsat využití vstřikování ve vědeckých publikacích v posledních 5 let; jaké technologie a zařízení se používají a nakolik jsou odlišné od těch konvenčních.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

- časopis **Plasty a Kaučuk**
- konferenční sborníky ANTEC - Bralla, James G. (2007).
- **Handbook of Manufacturing Processes - How Products, Components and Materials are Made.. Industrial Press. - Osswald, Tim A.; Baur, Erwin; Brinkmann, Sigrid; Oberbach, Karl; Schmachtenberg, Ernst (2006).**
- **International Plastics Handbook - The Resource for Plastics Engineers (4th Edition).. Hanser Publishers**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lubomír Beníček, Ph.D.**
Ústav inženýrství polymerů

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

Příjmení a jméno: RYBÁČEK MARTIN

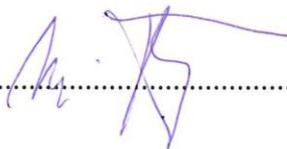
Obor: CHTM

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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ 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 27.5.2015



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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o současných trendech ve vstřikování termoplastů. Popisuje jednotlivé speciální technologie, které se pro zpracování termoplastů vstřikováním používají. Další část je zaměřena na vědecké a odborné publikace, které technologii vstřikování používají v experimentální části prací, především v tom jak se liší oproti běžně používaným strojům v průmyslové praxi.

Klíčová slova: termoplasty, vstřikovací stroj, technologie vstřikování plastů, trendy, vývoj

ABSTRACT

Bachelor thesis is focused on current trends in injection molding. It describes various special technology, which are used for the processing of thermoplastics by injection molding technology. Second part of thesis is concerned on scientific publications where injection molding technology was used in the experimental part of the work, especially how different techniques are used compared to the commonly used machines in industrial practice.

Keywords: thermoplastic, injection molding machine, injection molding, trends, development

Chtěl bych poděkovat především Ing. Lubomíru Beníčkoví, vedoucímu své práce, za ochotu, trpělivost, poskytování cenných rad a vedení při psaní této práce.

Dále své rodině za podporu a své přítelkyni za velkou psychickou podporu a pomoc s překladem článků a knih z anglického jazyka.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis studenta

OBSAH

ÚVOD.....	10
1 VSTŘIKOVÁNÍ.....	11
1.1 HISTORIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	11
1.2 VSTŘIKOVÁNÍ S PODPOROU PLYNU.....	12
1.3 VSTŘIKOVÁNÍ S PODPOROU VODY.....	14
1.4 VSTŘIKOVÁNÍ COINMELT.....	15
1.5 VSTŘIKOVÁNÍ SENDVIČŮ.....	16
1.6 VSTŘIKOVÁNÍ S NAPĚŇOVÁNÍM METODA MUCELL.....	18
1.7 MIKROVSTŘIKOVÁNÍ.....	20
1.8 VSTŘIKOVACÍ TECHNOLOGIE SYNFLOW.....	21
1.9 MRAMOROVÉ VSTŘIKOVÁNÍ.....	22
1.10 INTERVALOVÉ VSTŘIKOVÁNÍ.....	23
1.11 PIM VSTŘIKOVÁNÍ.....	23
1.12 CO - VSTŘIKOVÁNÍ.....	25
1.13 VSTŘIKOVÁNÍ AIM.....	26
1.14 VSTŘIKOVÁNÍ S DOLISOVÁNÍM ICM.....	27
2 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	29
2.1 ZÁKLADNÍ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	29
2.1.1 Uzavírací jednotka.....	29
2.1.2 Vstřikovací jednotka.....	30
2.1.3 Rám.....	31
2.1.4 Řídící jednotka.....	32
2.2 POHONY VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ.....	32
3 TRENDY VE VSTŘIKOVÁNÍ VE VĚDECKÝCH PUBLIKACÍCH.....	34
3.1.1 Vývoj biokompozitních materiálů zpracovaných vstřikováním.....	34
3.1.2 Tlaková vibrační vstřikovací technologie.....	34
3.1.3 Termoplastické biokompozity zpevněné celulóзовými vlákny.....	34
3.1.4 Multi-strukturní vstřikování polymerů.....	34
3.1.5 Vliv vstřikování na elektrické vlastnosti PA12.....	35
3.1.6 Vliv parametrů zpracování na mikrocelulární vstřikování.....	35
3.1.7 Účinky plynu při vstřikování na mechanické vlastnosti TPEs.....	35
3.1.8 Vstřikování keramických řezných nástrojů z keramických kompozitů CIM.....	35
3.1.9 Vstřikování Cp-Ti komponenty pro biomedicínské aplikace.....	35
3.1.10 Vstřikování PIM mikrodetaílů.....	35
3.1.11 Vstřikování kompozitů z PP vlákna PP na bázi TPE.....	36
3.1.12 Anizotropní vstřikování polyetylenů.....	36
3.1.13 Vstřikování do mnohonásobné formy.....	36

3.1.14	Vstřikovací technologie EIM	36
3.1.15	Replikace mikro – laser textury ve vstřikování.....	36
3.1.16	Zkoumání technologických limitů pro mikro – vstřikování.....	37
3.1.17	Vliv rychlé změny teploty formy na topografii povrchu a vzhled vstřikovaných dílů	37
3.1.18	Zlepšení vstřikovacích procesů pomocí Dual Energy	37
3.1.19	Výroba anody pomocí keramického vstřikování CIM	37
3.1.20	Mikrostruktura nanokompozitů produkce Shear vyvolaných vstřikováním.....	37
ZÁVĚR		38
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		39
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		44
SEZNAM OBRÁZKŮ		45

ÚVOD

Plasty jsou v dnešní době využívány ve všech odvětvích jak průmyslu, tak lidské společnosti. Vidíme je téměř všude, kam se jen podíváme. Ovlivňují a usnadňují nám život a jsou nám pomocníky v každodenní činnosti. Výrobků z plastů, jichž je nezměrný sortiment, jsou vyráběny různými technologiemi.

Vstřikování je jednou z nejrozšířenějších zpracovatelských technologií a to hlavně díky své rychlosti a možnosti uplatnění při velmi tvarově náročných výrobcích nebo polotovárů. Vstřikovat lze velmi komplikované tvary jak malé, tak i rozměrově větší v krátkých časových intervalech. Velkou výhodou je i maximální přesnost na rozměr a tvar.

Metody zpracování plastů, zejména vstřikování, se stále vyvíjejí a umožňují tedy i vývoj nových výrobků. Tento trend je patrný zvláště v automobilovém průmyslu. Mnozí z nás jistě pamatují reflektory se skleněnou čočkou, interiéry osobních i nákladních automobilů z lakovaného plechu kombinovaného tu a tam s plastem anebo textilií, skleněné kryty ukazatelů rychlosti. Dnes je vše nahrazeno plasty a jde se ještě dál.

Tato bakalářská práce má za úkol popsat a rozebrat technologii vstřikování, a to vstřikování termoplastů. Konkrétně to, jak se celá tahle zpracovatelská technologie měnila posledních 5 let. V další části je popsáno jaké způsoby vstřikování se používají ve vědeckých publikacích a nakolik jsou odlišné od těch konvenčních – čili od těch co se běžně používají, zda nemají něco speciálního.

1 VSTŘIKOVÁNÍ

Obecně je vstřikování proces, při kterém je materiál, předem upravený (vysušený a smíchaný s aditivou) do granulátu a teplotně převeden do homogenní taveniny, vstříknut působením vstřikovacího tlaku a vstřikovací rychlosti do temperované tvarové dutiny formy. [1]

1.1 Historie vstřikování

Technologie vstřikování je jednou z nejrozšířenějších technologií zpracování plastů. Její začátky sahají až do roku 1870, když John Wesley Hyatt patentoval materiál, z něhož později vznikl celulooid, a zároveň patentoval vstřikovací stroj pro zpracování nového materiálu. K největšímu rozmachu technologie vstřikování dochází po I. světové válce. V roce 1921 je v Německu vyvinut jako první na světě komerční ruční vertikální pístový vstřikovací stroj. V roce 1926 německá firma Eckert und Ziegler nabízí první horizontální ruční vstřikovací stroj s formou na pohyblivých upínacích deskách. Roku 1932 je patentován elektricky vyhřívaný plastikací válec, v roce 1933 je vyvinut hydraulicky poháněný uzavírací systém, v roce 1936 se v USA zavádějí do vstřikovacích strojů časové ovladače. Firma D-M-E v roce 1942 představuje formu složenou z typizovaných dílů, tzv. normálií v roce 1943 firma BASF patentuje plastikační šnek s vratným pohybem, 1950 je vyvinu a v USA patentován první vyhřívaný horký rozvod. První vstřikovací stroj se šnekovou plastikací místo pístové postavila firma Windsdor Ltd. v roce 1951, v roce 1956 je patentována šneková vstřikovací jednotka v dnešní podobě. [1]

Poté nastává prudký rozvoj této technologie jako výrobního oboru a vstřikování se stává modernější a využívanějším technologickým procesem ve tváření plastů. [1]

Avšak díky rychlému pokroku a vývoji pozorujeme nové trendy vstřikovacích technologií. Jsou to speciální metody pro široké spektrum výrobků a polotovarů.

V posledních 5ti letech mezi ně patří zejména:**1.2 Vstřikování s podporou plynu**

Jedná se o technologii vstřikování s plynem (GIT), u které se jedná o ekvivalent vstřikování termoplastů, vyvinutý v osmdesátých letech s možností vyrábět díly s uzavřenými dutinami, které jsou vytvořeny přivedeným plynem, kdy se do určitých míst výstřiku za účelem vytvoření dutiny přivádí plyn, většinou dusík, čímž se vytvoří výlisek o zdánlivě velkém průřezu, přičemž odpadne nutnost chladit velké množství roztavené plastické hmoty. Jako plynu je použito vysoce čistého dusíku (čistota min. 99,8 %) s možností jeho stlačování v rozsahu 10 až 30MPa. Výhodou GIT (gas injection technology) je snížení uzavíracích sil, snížení smrštění, zkrácení délky cyklu (zkrácení doby chlazení vlivem zmenšení tloušťky stěny při zachování chladicí plochy nástroje), snížení hmotnosti výrobku, nízká deformace ploch výrobků, vysoký stupeň tuhosti u dílů s žebry a zachování požadovaných mechanických vlastností a minimalizace deformací výstřiku, vzniku staženin a snížení spotřeby plastů včetně zlepšení poměru hmotnost – tuhost při zachování vysoké kvality povrchu. Dochází k redukci hmotnosti až o 50% a ke zkrácení doby cyklu také až o 50%. [2]

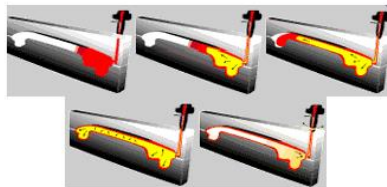
Vlastní proces vstřikování je obdobný jako u klasické technologie vstřikování, tedy zavření formy, vstřík, dotlak, chlazení, otevření formy a vyhození výrobku. Tlak plynu zde však přebírá funkci dotlaku, je však nutné pomocí konstrukce tvaru (geometrická opatření) kontrolovat směr pohybu plynu. Žebra a rozdílné tloušťky stěn potom slouží k vedení plynu. Z hlediska technologie jsou možné dvě techniky tvorby dutiny. První je tzv. krátký vstřík, dofukovací způsob, kdy je dutina formy naplněna jen částečně (objem taveniny je 50 až 90 %) a následně je tlakem plynu zcela vytvarována dutina formy. Největším problémem je zde objem dávky taveniny plastu. Druhý způsob je tzv. dlouhý vstřík, vyfukovací způsob, při kterém se plyn vstříkuje do dutiny formy až po té, co plast úplně vyplní tvarovou dutinu a tavenina je vytlačována buď zpět před čelo šneku anebo do pomocné dutiny. U krátkého vstřiku klesá tloušťka stěny se vzdáleností dráhy plynu, u dlouhého vstřiku je rovnoměrnější po délce kanálu. [2]

Díly vyrobené tímto procesem nemají pěnové jádro, ale místo toho mají dutý vnitřek v důsledku vstřikování dusíku do dávky plastového materiálu při vstupu do formy. [12]

Technologie GIT má však i nevýhody, největšími jsou cena stroje, cena nástroje, problematické chlazení v místech kanálů a proces řízení. [2]

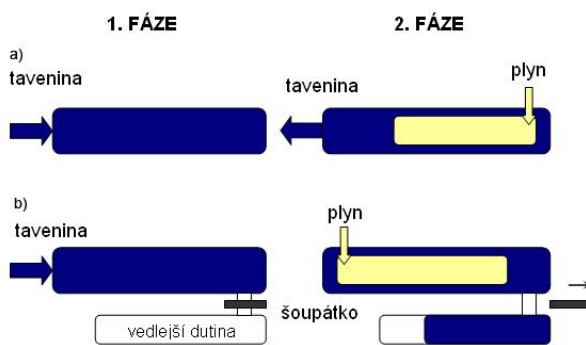


Proces plnění u technologie GIT
metoda krátkého vstříku a dofukovacího způsobu



Příklad plnění u metody krátkého vstříku
a dofukovacího způsobu

Obrázek 1. Proces krátkého vstříku a dofukovacího způsobu technologie GIT [3]



Proces plnění u technologie GIT
metoda dlouhého vstříku a vyfukovacího způsobu

- a) se zpětným odtokem taveniny zpět před čelo šneku
- b) s vedlejší pomocnou dutinou

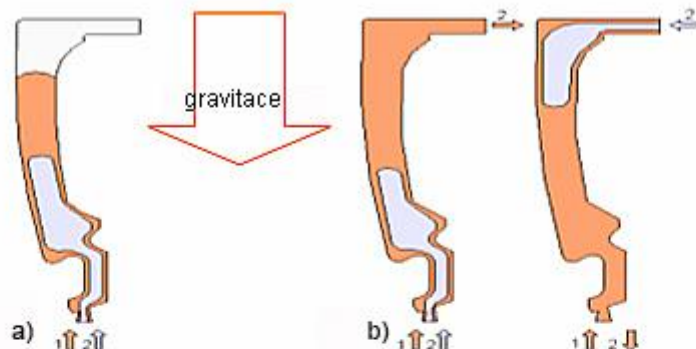
Obrázek 2. Proces dlouhého vstříku a dofukovacího způsobu technologie GIT [3]

1.3 Vstřikování s podporou vody

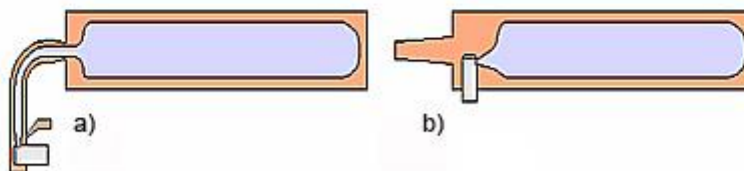
Technologie vstřikování s podporou vody (WIT) se používá pro výrobu dutých těles. Voda je vstřikována jednou nebo více pumpami do tekuté taveniny za účelem vytvoření dutiny. Vstřikování vody se provede tak, aby se voda neodpařovala. Tedy teplota přivedené vody musí být volena podle zpracovávaného plastu. Čelo vody pak působí na plastické jádro jako vtlačovaný píst. [3]

Účinek je navíc podpořen tím, že v oblasti (na čele) přechodu vody a taveniny ztuhne tenká plastová membrána. Nakonec může být voda vytlačena z dílce tlakovým vzduchem, nebo odsáta zpět anebo se vylévá mimo formu a přes zásobník se vrací zpátky do oběhu. Vstříknutí vody se musí provést dostatečně rychle, aby se zabránilo hydrolytickému rozkladu plastu. [3]

Technologické principy vstřikování vody jsou obdobné jako u vstřikování plynu.[3]



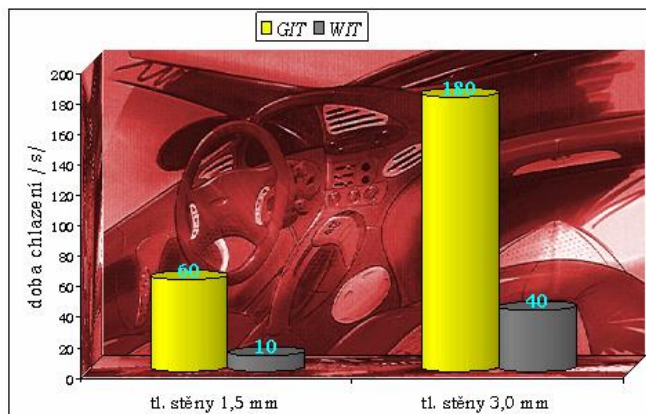
Proces plnění u technologie WIT (1 - plast, 2 - voda)
a) metoda krátkého vstřiku, b) metoda dlouhého vstřiku



Varianty přívodu vody
a) tryskou, b) jehlou, injektorem

Obrázek 3. Technologické principy vstřikování pomocí vody [3]

V důsledku většího chladicího účinku vody oproti plynu se zkrátí doba chlazení i doba celého cyklu zhruba na 10 až 20 % doby u klasické technologie vstřikování. Výhody technologie WIT jsou srovnatelné s výhodami technologie GIT a technologii WIT lze použít i na výrobu dílců, které metodou GIT nelze realizovat. Zároveň mají vnitřní stěny výrobků velmi hladký povrch. Na druhé straně je technologie WIT použitelná jen u určitých tvarů plastových dílů.[3]



Porovnání doby chlazení u vstřiku vyráběného technologií GIT a WIT

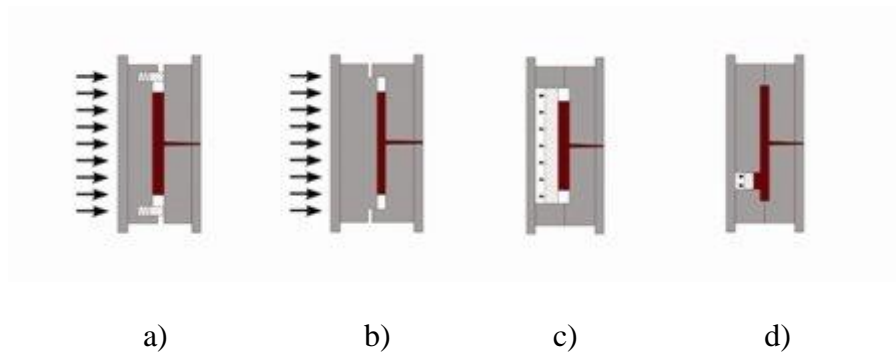
Obrázek 4. Porovnání doby chlazení GIT a WIT [3]

1.4 Vstřikování CoinMelt

CoinMelt je metodou vstřikování s pomocí funkce ražení, kdy nástroje na vstřikovací stroji zhotovují výlisky pomocí systému „ražení a vstřik“ probíhá do pootevřené formy. Jsou přitom používány systémy sekvenčního a paralelního vstřikování. U sekvenčního vstřikování se pootevřená forma uzavře až po nástřiku hmoty do nástroje. Tato metoda je vhodná spíše pro silnostěnné výlisky. Paralelní vstřikování, kdy se forma uzavírá již během vstřikování materiálu, je vhodná pro tenkostěnné výlisky. Na formu jsou kladeny speciální požadavky: [4]

- centrování kavit ve formě musí být dokonalé
- nutnost zamezit přetokům materiálu do dělicí roviny
- nutnost zamezit zpětnému toku materiálu během ražení
- bezvadná funkčnost formy

Možné koncepce ražení z pohledu nástroje jsou patrné ze schematických obrázků. Výhodou technologie CoinMelt je možnost používat menší vstřikovací tlak. Tím je umožněna menší zátěž materiálu v komoře. Také dotlak ve formě je mnohem homogennější, protože se na materiál v nástroji působí v celé nebo alespoň částečné ploše. Tím se dosahuje menšího napětí v materiálu. Nevýhodou jsou jistá omezení s ohledem na geometrii vylisku a vyšší náklady na formu. [4]



Obrázek 5. Koncepce nástroje pro metodu Coinmelt [4]

a) nástroj s odpruženým rámem, b) nástroj s vnořenou hranou, c) nástroj s jádrem přes celou plochu vylisku, d) nástroj s jádrem v části vylisku

1.5 Vstřikování sendvičů

Vstřikování sendvičů patří do kategorie vícekomponentního vstřikování. [3]

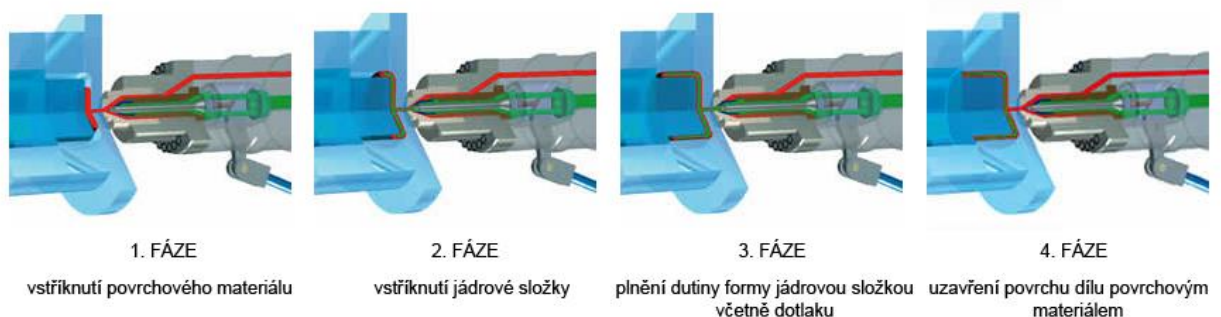
Vývojem a zavedením sendvičového vstřikování bylo možno zpracovávat recyklované materiály jako jádra vstřikovaných dílů. Sendvičové vstřikování dostalo název podle struktury vyráběných dílů - vnější stěny jsou z jednoho (prvního) materiálu a představují „slupku“, zatímco vnitřek dílu se skládá z druhého materiálu a představuje jádro. Tato struktura se vytváří v důsledku procesů proudění, při kterých se využívá laminárního proudění taveniny v dutině formy (technologie pomalého laminárního toku). [3]

Povrchová vrstva materiálu po prvním vstřiku se po ochlazení dotykem se stěnou formy již neposunuje a tím je vlastně uzavřen materiál jádra do materiálu povrchu. Plasty jsou však ještě dostatečně plastické na to, aby došlo ke spojení. [3]

Povrchový materiál může být rozdílný od materiálu jádra, ale musí být vzájemně mísitelný. Při sendvičovém vstřikování se používají stroje se dvěma vstřikovacími jednotkami. Přitom technolog musí mít rozsáhlé znalosti o vstřikovacím procesu, aby nastavil vstřikovací proces tak, že se dosáhne stálého a postupného plnění formy. Proces z hlediska jednotlivých kroků je shodný se standardním vstřikováním. Výsledný tvar komponentu (jádra a povrchu) závisí hlavně na tokových vlastnostech materiálu, na geometrii výrobku a na umístění vtokového systému. [3]

Sendvičové díly jsou zásadně srovnatelné se standardními výstřiky. Většina dnes realizovaných dílů původně byla standardními díly. Změna sendvičové techniky na standardní je zpětně bezproblémová, ale zpravidla z technických nebo ekonomických důvodů není účelná. Sendvičové produkty mohou být tenko i tlustostěnné. Tlustá stěna však ještě neznamená větší podíl jádrové složky, např. regenerátu. Technologií vstřikování sendvičů se vyrábějí hlavně výrobky, u kterých je možné použít recyklátu nebo vyztužit výrobek. Velký počet dnes realizovaných aplikací je založen na kombinaci technických vlastností rozdílných plastů, např. jádro obsahuje skleněná vlákna a povrch je z kvalitního nevyztuženého plastu. Jiným příkladem je elektricky vodivá povrchová slupka ve spojení s levným standardním materiálem v jádru, apod.[3]

Postup, který je rozdělen do dvou nebo tří kroků, je následující: do vstřikovací formy je nejdříve vstříknuta hmota (přesně definované množství), která tvoří kvalitní povrchovou vrstvu výstřiku a vzápětí je do plastického jádra vstříknuta hmota, tvořící jádro výrobku (dvoustupňový proces) resp. nakonec hmota, která uzavře povrch plastového dílu (třístupňový proces).[3]



Princip sendvičového vstřikování

Obrázek 6. Princip sendvičového vstřikování [3]

Vše je řízeno speciální tryskou stroje, která spojuje dvě vstřikovací komory a dávkuje taveninu plastu do dutiny formy pomocí nucených (hydraulicky) nebo tlakově řízených mechanismů, které ovládají jehlu trysky v závislosti na tlakových poměrech. Při výrobě sendvičového dílu je vždy důležité nalézt správný okamžik, kdy se přepíná složka, tvořící slupku, na složku, tvořící jádro.[3]

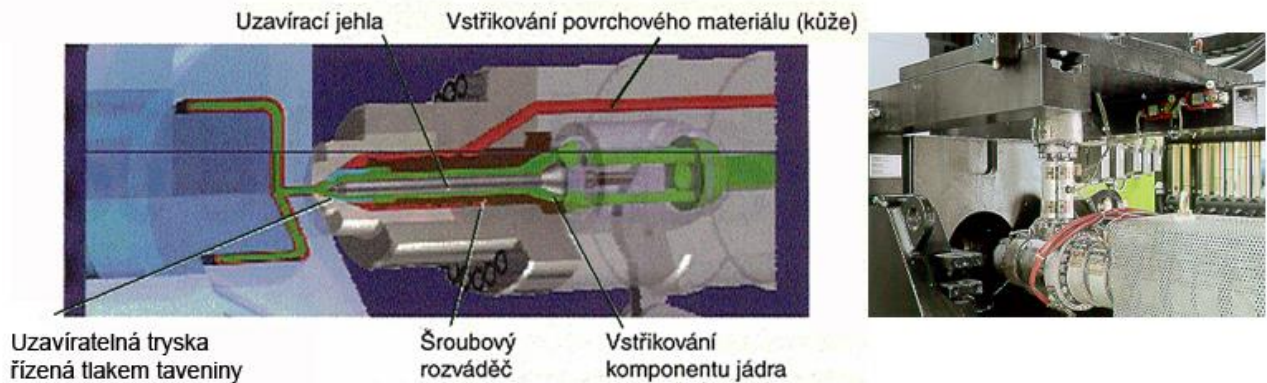


Schéma trysky vstřikovacího stroje při sendvičovém vstřikování

Obrázek 7. Schéma trysky vstřikovacího stroje při sendvičovém vstřikování [3]

Sendvičové vstřikování se využívá například při výrobě pružných jednotek pro postele a vysoce kvalitních dílů, které mají jádro z regenerátu a slupku z vysoce kvalitního plastu. [5]

1.6 Vstřikování s napěňováním metoda MuCell

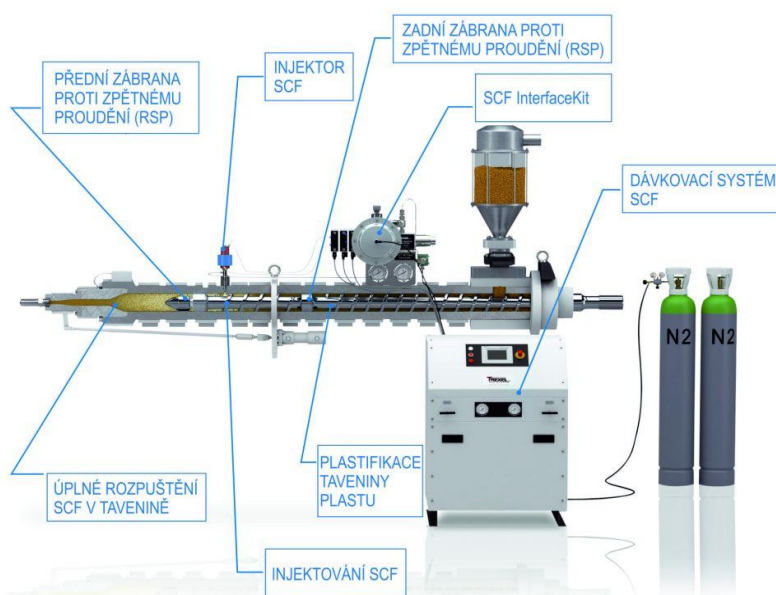
Hlavní výhodou této metody je úspora hmotnosti materiálu. Technologie prošla několika modifikacemi až do dnešní podoby. Tato metoda je zajímavá zvláště pro projekty lehkých konstrukcí.

Zjednodušeně řečeno se u tohoto způsobu fyzikálního napěňování jedná o vstřikování se sycením plynem. Předpokladem je použití vstřikovacího stroje s kontrolou pozice šneku a zvýšeným vstřikovacím výkonem. Srdcem je plastifikační jednotka se speciálním šnekem. Plyn v nadkritickém stavu (SCF, Super Critical Fluid) je injektován přímo do taveniny plastu. Šnek vytváří z obou složek homogenní směs. [6]

Zpětný ventil ve střední části šneku zabraňuje předčasně expanzi směsi taveniny a plynu ve směru k materiálovému vstupu; na přední straně je pohyb taveniny omezen uzavíratelnou tryskou. Jako napěňovadlo je používán dusík nebo CO_2 . [6]

Důležité je, aby tlak taveniny v plastifikaci a případném systému horkých kanálů nepoklesl v celém cyklu pod kritickou hodnotu SCF. Proto je potřebná regulace polohy šneku („aktivní řízení protitlaku“), která rovněž zajišťuje, aby zůstal tlak zachován i po otevření bezpečnostních dveří. Ze stejného důvodu je na stroji používána uzavíratelná tryska, u nástrojů s horkými kanály dosedá tryska na pouzdro formy, přičemž během otevírání uzavírací jednotky dojde pouze ke snížení přitlaku trysky. Aby byl pokles tlaku a tím i začátek procesu napěnění odsunut, pokud možno na konec procesu plnění, a aby bylo zajištěno napěnění i na konci dráhy materiálu, musí být vstřík rychlý. Proto je nutné, aby stroj disponoval vysokým vstřikovacím výkonem. [6]

Jako fyzikální napěňovadlo snižuje plyn viskozitu taveniny, čímž je rychlé vstříknutí usnadněno. Při poklesu tlaku po vstříknutí do kavity nástroje začnou vznikat bublinky plynu, které způsobí napěnění taveniny. Na rozdíl od chemického napěňování se u metody MuCell jedná o větší množství rovnoměrně rozložených bublinek. Tímto rovnoměrným rozložením je zajištěno vytvoření mnoha malých, stejně velkých a uzavřených komůrek s průměrem pod $100 \mu\text{m}$. V průřezu dílu vznikne tzv. integrální pěnová struktura: napěněné jádro s nízkou hustotou, obklopené tenkou kompaktní krycí vrstvou s vysokou hustotou. Povrch je sice uzavřený, nemá však kvalitu povrchu kompaktně odstříknutého dílce. [6]



Obrázek 8. Koncepce zařízení pro metodu MuCell [6]

1.7 Mikrovstříkování

Mikrosoučásti jsou často menší než samotné zrno granulátu. Rozhodujícími faktory pro výrobu kvalitních výlisků jsou tedy příprava dokonale homogenní taveniny, krátké doby prodlevy mezi vstříkáním taveniny a dodržování principu „první dovnitř – první ven“. Mikrovstříkovací modul kombinuje šnek o průměru 8 mm ke vstříkání s druhým šnekem pro tavení materiálu. Tato technologie umožňuje spolehlivé zpracování i těch nejmenších hmotností vstříkovací dávky (méně než 1 gram). Díky modulární konstrukci lze tento modul používat i na standardních strojích. Škála jeho použití je velice pestrá a variabilní: [7]

Ozubené kolečko s mikrorozměry

Modul pro mikrovstříkování je optimální k výrobě ozubených koleček z materiálu POM o velikosti jen několik málo milimetrů a hmotnosti 0,001 g. Je tvořen plastifikačním šnekem a vstříkovacím šnekem a umožňuje zpracování i těch nejmenších hmotností vstříkovací dávky. Během doby cyklu, jež činí 6,9 s, je vyrobeno osm mikrosoučástí. [7]

Ferule

Keramické ferule umožňují spojení skleněných optických vláken zajišťujících přenos dat. Rozhodující význam má přitom přesnost provedení průchozího otvoru o průměru pouhých 0,125 mm. Práškové vstříkování probíhá s přesností až +/- 10 µm. Této přesnosti je dosaženo použitím polohově regulovaného šneka. [7]

Hodinové strojky

Mikropřesné součásti, které jsou používány například v hodinkách, nemusí být malé. Je však nezbytné, aby byly dodrženy tolerance v rozsahu několika mikronů. Přesnost vstříkování je zajištěna díky polohově regulovatelnému šneku a servoelektricky poháněným strojům. [7]

Vysoké přesnosti se dosahuje tím, že na hydraulický válec působí při vstříkování tlak z obou stran. Snímače tlaku a uzavřený regulační okruh (servoregulace) umožňují řízené zrychlování i brzdění. [5]

1.8 Vstřikovací technologie SynFlow

Jedná se o technologii pro dvourychlostní sekvenční vstřikování horkými vtoky. Tato unikátní špičková technologie poskytuje svým uživatelům optimální kontrolu nad tečením taveniny a řeší běžné povrchové vady na velkých dílech, jako jsou automobilové nárazníky nebo přístrojové desky. [8]

Technologie pokročilého řízení toku taveniny horkými vtoky je navržena tak, aby poskytovala více kontroly nad procesem vstřikování, tedy k dosažení dílů s lepší kvalitou výsledného povrchu. SynFlow® je patentovaná, dvourychlostní technologie ovládání jehel pro kaskádové nebo sekvenční vstřikování horkými vtoky. Počáteční otevírací rychlost jehly je redukována, aby se předešlo „explozivnímu“ vniknutí natlakované taveniny do dutiny. Následně se jehla otevře po zbytek dráhy zdvihu plnou rychlostí pro správné naplnění dílu. [8]

Tento dvourychlostní proces umožňuje plynulejší plnění, redukuje zpomalování / zastavování toku čela taveniny a ostré změny v rychlosti tečení, což umožňuje bezchybné díly s vynikající kvalitou povrchu a efektivnější výrobu. [8]

Jedná se o jedinou technologii horkých vtoků v průmyslovém oboru, která umožňuje takovou úroveň kontroly. Umožňuje definovat rychlost otevírání jehly, tedy regulovat tok taveniny v její kritické fázi před tím, než se jehla otevře pro plnou rychlost a průtok taveniny. [8]

Tato unikátní dvourychlostní technologie je v plastikářském průmyslu první a může být použita k eliminaci povrchových vad na velkých vstřikovaných dílech. Mezi běžné vady, které SynFlow umí vyřešit, patří:

- Stopy vzniklé změnou tlaku
- Stopy proti vtoku při vstřikování přímo do dílu
- Propady po povrchových úpravách
- Snížená přilnavost povrchových úprav

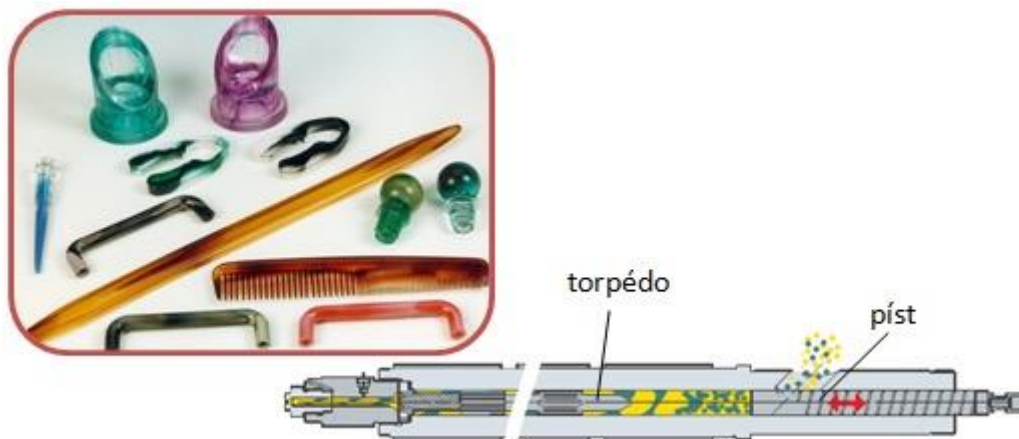
Výsledkem je bezchybný díl, snížení zmetkovitosti a celkově optimální vstřikovací proces. [8]

1.9 Mramorové vstřikování

Technologie mramorového vstřikování se řadí mezi více komponentní technologie podobně jako sendvičové vstřikování.

Tato technologie je využívána pro výrobu designových dílů, a za tímto účelem byla vyvinuta speciální vstřikovací jednotka, která nepoužívá standardní konstrukci šneku určenou pro běžné zpracování termoplastů. Vstřikovací tlak je vyvozen pohybem pístu. Tavnina obtéká kolem trnu (torpéda) se speciální geometrií, který zvyšuje teplotní homogenitu materiálu před vstřikováním, ale promíchání není tak intenzivní jako při použití šneků. Různé barvy granulátu tak ve výsledku netvoří jednotný odstín, ale vzájemně se prolínají v mramorové struktuře se zřetelnými hranicemi barevných oblastí. [9]

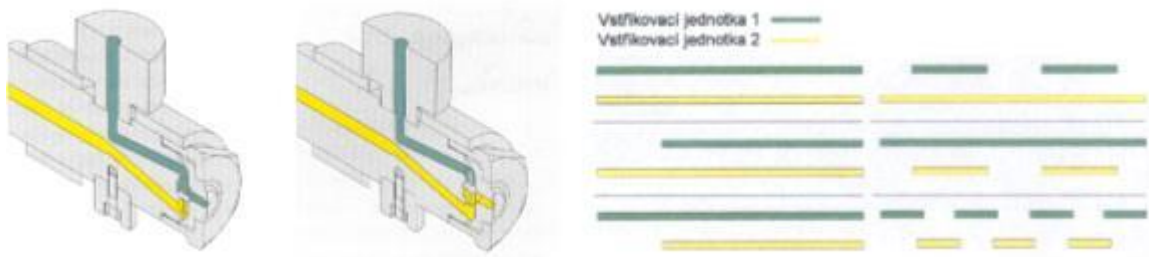
Výsledná kompozice je jedinečná pro každý díl a liší se nejen podle poměru jednotlivých barev ve vstřikované dávce, ale i v závislosti na teplotním profilu nastaveném na tavní komoře a na vstřikovací rychlosti. Během fáze dávkování se píst pohybuje poměrně velkou rychlostí vpřed a vzad, aby do ohřívané části tavní komory "nahrnul" potřebné množství granulátu. [9]



Obrázek 9. Vstřikovací jednotka pro mramorové vstřikování + ukázka výrobků [9]

1.10 Intervalové vstřikování

Jedná se o zvláštní druh technologie vícebarevného vstřikování, které je založeno na míchání dvou barevných odstínů ve speciální míchací trysce před vstřikem do dutiny nástroje. Na rozdíl od dvoukomponentního vstřikování zde nejsou jasné hranice mezi oběma odstíny, ale je docíleno smíchání dvou barev podle předchozích návrhů. Vstřikovací jednotky zde neústí přímo do vstřikovací formy, jako tomu bylo u vícebarevného vstřikování, ale přímo do míchací trysky. Vstřikovací jednotky jsou spárovány dohromady pomocí speciální intervalové jednotky, uvnitř které je umístěna speciální míchací tryska (stroje bez intervalové jednotky jsou potom používány pro dvoubarevné vstřikování). Zbarvení (promíchání barev) je ovlivněno nastaveným sekvenčním cyklem, tvarem vstřikovaného dílu, umístěním vtokového systému a tokovými vlastnostmi vstřikovaného materiálu. [3]



Obrázek 10. Princip intervalového vstřikování a činnost vstřikovacích jednotek [3]

1.11 PIM vstřikování

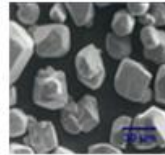
Jedná se o vstřikování plastů s prášky - PIM (powder injection moulding) na bázi kovů, skla nebo keramiky. Používá k výrobě vysoce přesných dílů s výbornou kvalitou povrchu, kdy se polymer používá pouze jako nosné pojivo - „lepidlo“ v prvních fázích vstřikovacího procesu. Touto technologií se vyrábějí díly pro automobilový a textilní průmysl, elektrotechniku, zdravotnictví. [3]

Základním materiálem (plnivem) pro technologii vstřikování plastů s prášky jsou tvrdé kovy, oceli, karbidy křemíku, oxidy hliníku, porcelán, ale i měď. Tyto prášky se musí smíchat s plastem – pojivem, což je první fáze výroby daného dílu, která končí spékáním. [3]



Příklady práškových materiálů aplikovaných při vstřikování vstříků technologií PIM

materiál	velikost zrna
kov	≤ 30 μm
karbid	≤ 1,5 μm
porcelán	≤ 45 μm
oxidy (př. Al ₂ O ₃)	≤ 15 μm



Velikost zrna práškových materiálů

Chemicky vyrobený prášek Cr₂O₃

typické vlastnosti	hrubý prášek	jemný prášek
povrch součásti	drsňý	hladký
pevnost zeleného tělesa	nížká	vysoká
chování při vstřikování	špatné	dobré
opotřebenění stroje a nástroje	vysoké	malé

Vlastnosti dílů, chování při vstřikování a míra opotřebenění stroje a nástroje v závislosti na hrubosti práškových materiálů

Technologie PIM - příklady práškového plniva

Obrázek 11. Příklady práškového plniva [3]

PIM technologie je rozdělena do několika fází:

Míchání - velmi jemný kov nebo keramický prášek se smísí s termoplastickým polymerem (slouží jako pojivo) za vzniku homogenní směsi složek, které se peletizují a přímo přivádí do vstřikovacího stroje. Tato peletizovaná prášková - polymerní směs je vstupní surovinou.

Vstřikování – v tomto procesu se surovina zahřeje na teplotu roztavení obsahu pojiva, aby se vytvořila požadovaná geometrie komponentu. Tvarový díl je známý jako zelená část (zelený výrobek).

Odstraňování pojiva - polymerní pojivo se odstraní ze zelené části tepelným zahříváním na přibližně 400 ° C nebo 752 ° F. Výsledek je známý jako hnědá část (hnědý produkt), která stále ještě obsahuje původní geometrii a velikost.

Spékání – v této fázi se hnědá část zahřeje na přibližně 85% teploty tání daných materiálů, což umožňuje zhuštění a smršťování prášku do husté pevné látky s eliminací pórů. [10]

Hustota je přibližně 98% teoretické. Konečným výsledkem je čistý tvar nebo blízko síťového tvaru kovové nebo keramické složky s vlastnostmi podobnými tyčovému materiálu. [10]

Výsledné díly jsou homogenní a vykazují izotropní smrštění, které je výrazně vyšší, než u klasické technologie vstřikování. [3]

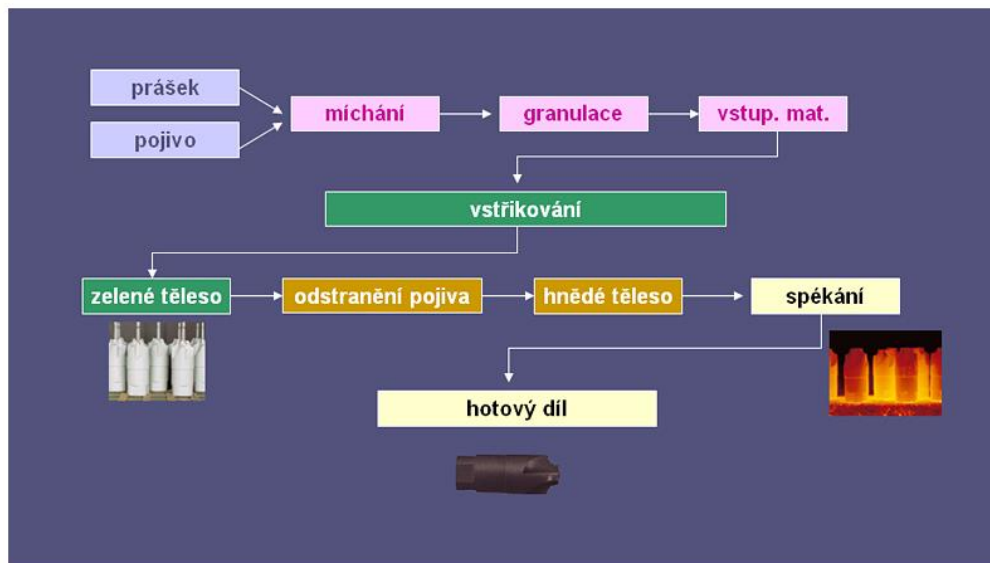


Schéma principu vstřikování plastů s prášky - technologie PIM

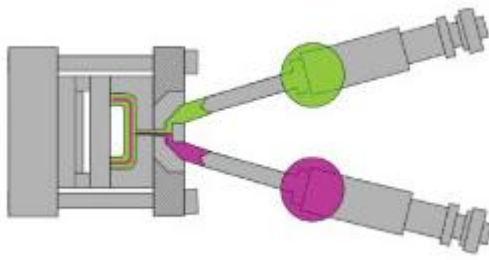
Obrázek 12. Schéma technologie PIM [3]

1.12 Co - vstřikování

Jedná se o proces, při kterém se ze dvou samostatně kontrolovatelných vstřikovacích jednotek zároveň vstřikují dvě různé materiálové taveniny přes jednu společnou trysku do jedné dutiny formy. Přičemž první materiál tuhne okamžitě na stěně formy a tvoří obal a druhý materiál zůstávající uprostřed taveniny tvoří jádro, na které se vstřikuje opět první materiál, čímž zapouzdří jádro uvnitř obalu. Celý proces je ukončen až je dutina kompletně zaplněna. Po ztuhnutí vypadne výstřik z jednoho kusu avšak dvou různých materiálů. Tato technika vstřikování umožňuje výrobky s nosnou a pohledovou částí v jednom. Jedná se o vstřikování s horkým vtokem. [13]

Výhody: snížení nákladů vlivem levnějšího polymeru jako jádro výrobku, kombinace polymerů dle požadovaných vlastností, požadovaná hustota nebo pružnost dle materiálů. [13]

Nevýhody: dražší vstřikovací stroje. [13]



Obrázek 18. Co-vstřikování [36]



Obrázek 19. Příklad výrobku [37]

1.13 Vstřikování AIM

Tahle technologie, popsaná v knize *Proceeding of the Technical Conference&Exhibition* z roku 2014, je zaměřena na výrobu sterilních pomůcek pro zdravotnický průmysl.

Jedná se o výrobky na jedno použití s požadavkem na naprostou čistotu a sterilní prostředí. Pro vstřikování se používá standardní vstřikovací stroj avšak dutina formy je vyrobena z hliníku, který odpovídá hygienickým předpisům. Během vstřikovacího procesu se v otevřené formě měří nebezpečí kontaminace zárodečných buněk dutiny formy, poté se může provést samotný vstřikovací proces. Dutiny jsou vždy otevřeny za sterilních podmínek, aby se zabránilo kontaminaci. Navíc jsou vyrobené předměty ještě sterilizovány v čisté sterilní místnosti. [14]

Zatím se ale nejedná o běžnou metodu v plastikářském průmyslu. Vyvíjí se nové metody, které se stále zkoušejí, aby se již nemusely předměty sterilizovat, ale byly sterilní již po vystříknutí do dutiny. Využívá se i sterilizace přímo granulátu polymer, který se zrovna používá. [14]

Jde o naprosto odlišnou metodu vstřikování na rozdíl od konvenčních, kdy je zapotřebí mnoha aspektů k dosažení požadovaných cílů a výsledků.



Obrázek 20. Sterilní prostředí [38]

1.14 Vstřikování s dolisováním ICM

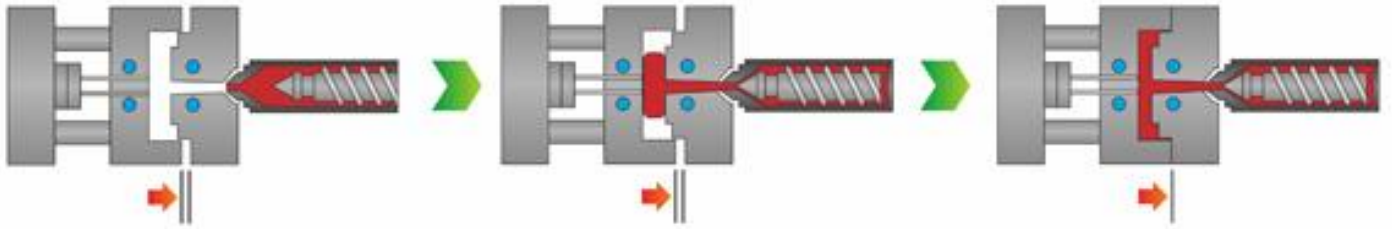
Vstřiko-lisování pod tlakem (ICM) je výrobní proces kombinované techniky vstřikování a lisování. Forma není zcela uzavřena v první fázi plnění. Poté, co se tavenina částečně vstříkne do dutiny formy, upínací mechanismus se uvede do provozu a plně uzavře formu. V důsledku toho je proces plnění dokončen stlačením dutiny povrchu k tavenině v dutině. [11]

Charakteristickým znakem vstřikování s dolisováním je změna objemu dutiny během vstřikování materiálu nebo ve fázi dotlaku. [5]

Tato metoda nejen že zachovává výhody konvenčního vstřikování, ale také přináší další výhody, jako je zvýšení reprodukce mikropovrchu, funkce a snížení průtoku, vzdálenost stěny / poměr tloušťka. [11]

Existují však také další parametry zpracování, které musely být pečlivě upraveny s cílem získat přesně tvarované části. Například pozdní komprese někdy způsobí, že tavenina proniká do dělicí linie, zatímco dřívější komprese způsobí neúplné plnění (nebo krátký záběr). [11]

Mít kvalitní simulační nástroj je proto zásadní, aby mohl být úspěšně realizován ICM proces.[11]



Obrázek 13. Postup vstřikování-lisování ICM [11]

Tato metoda se používá pro pohledové či velkoobjemové dílce. Pomocí tohoto postupu lze také vyrábět např. také silnostěnné výlisky, které se vyznačují nízkým pnutím a současně vysokou přesností obrysů a kvalitou. [5]

2 VSTŘIKOVACÍ STROJE

Doposud jsem věnoval pozornost trendům v technologii vstřikování, ale ještě je třeba zaměřit se na to, v jakých zařízeních k těmto procesům dochází. Jedná se o vstřikovací stroje, které se dělí dle pohonu, upnutí formy, uzavírací síly nebo použití. Jelikož jsou podstatou téhle práce především trendy technologií, pokusím se stručně popsat základní části a pohony vstřikovacích strojů a také to, v které části k čemu dochází.

Vstřikovací stroje mají také základní parametry, dle kterých se rozlišují. Jsou to: vstřikovací tlak, uzavírací síla, plastikační kapacita stroje (množství materiálu v kg, které je možno převést do taveniny za 1h) a maximální vstřikovaný objem výstřiku (udávaný v cm^3 nebo g). [11]

2.1 Základní části vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj je složen z několika základních částí:

- *uzavírací jednotka*
- *vstřikovací jednotka*
- *rám*
- *řídící jednotka*



Obrázek 14. Vstřikovací stroj [5]

2.1.1 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje slouží k ukotvení formy ve stroji a následnému používání při vstřikování a má za úkol zavírat a otevírat formu dle procesu vstřikování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. Uzavírání může být horizontální nebo vertikální. Dále se rozlišuje dle počtu desek na třideskové, dvoudeskové nebo speciální. Posun zajišťují vodící sloupce, které mohou být buď: dva, čtyři nebo je varianta bez sloupců. [11]

Uzavírací jednotky rozlišujeme hlavně ještě dle uzavíracího mechanismu:

- kloubová uzavírací jednotka – za pohyblivou deskou je umístěn dvojitý kloub, který je rozpírán hydraulickým válcem, nebo šroubem u elektrických strojů, zvětšujícím zdvihem válce se ramena kloubu napřimují a posunují tak pohyblivou desku směrem k pevné desce stroje. Jakmile se ramena dostanou do přímky, dojde k prolomení kloubu a forma upnutá mezi deskami je plně uzavřena. [11]
- hydraulická uzavírací jednotka – pohybový mechanismus je složen z jednoho či více hydraulických válců, pohyby jsou vyvíjeny přímo hydraulicky (hydraulický válec je připojen k pohyblivé upínací desce) hydraulický válec může být pouze jeden, který pak zajišťuje pohyby upínací desky a současně po uzavření formy vyvíjí i uzavírací sílu, nebo je válců více s odlišnými úkoly (pohyby a uzavírací síla) [11]
- bezesloupová uzavírací jednotka – uzavírací jednotka není vybavena vodícími sloupky. Veškeré síly vznikající při uzavírání formy jsou přenášeny pomocí speciálního U rámu. [11]

Bez vodících tyčí je možné upnout i velké formy na relativně malé vstřikovací stroje, to zvyšuje celkovou efektivitu [15]

- vertikální uzavírací jednotka – jedná se o nejnovější inovaci v uzavírání forem, jde o speciální typ uzavírací jednotky, kdy pohyby formy nejsou v obvyklém horizontálním směru, ale ve směru vertikálním. Takovéto řešení je vhodné v případě výroby výrobků se záhlaví, např. kovovými kontakty, kabely. Jde vlastně o dvě pohyblivé upínací desky, kdy jedna otevírá či uzavírá formu a druhá zajišťuje výměnu spodních polovin formy. Provedení může být s otočným stolem či posuvnou deskou. [11]

2.1.2 Vstřikovací jednotka

Jednou z velkých a zásadních změn, ve vstřikovací technologii, byl přechod z pístové na šnekovou vstřikovací jednotku. Konstrukcí šnekových vstřikovacích strojů byly s úspěchem vyřešeny všechny hlavní nedostatky pístových strojů, jako byl nižší plastikační výkon, zdvihový objem nebo komplikované čištění pístové komory a přehřívání materiálu v tavící komoře. Navíc šneková vstřikovací jednotka má tu výhodu, že se může například řídit s vyšší účinností dotlak materiálu. [3]

Navíc šnek jako ústrojí je v současnosti jednou z nejvíce modernizovaných součástí vstřikovacího stroje. Jeho tvary a nejrůznější modifikace jsou stále častější. Je to kvůli používanému materiálu, způsobu plastikace ale i účinnosti vstřikovací jednotky. Díky modernímu šnekovému ústrojí se mohou stále více zlepšovat a inovovat trendy ve vstřikování.



Pár příkladů moderních špiček šneku pro různé druhy polymerních tavenin

Obrázek 17. Druhy špiček šneku [11]

Další změny můžeme pozorovat i v uzavíracích silách strojů, které mají velké rozmezí i samotné síly. Také vstřikovací tlaky jsou mnohem větší než dříve a díky tomu i vstřikovací časy cyklů.

Vstřikovací jednotka plní dva hlavní úkoly: přeměňuje granulát plastu na homogenní taveninu o dané viskozitě a vstřikuje taveninu vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy. [3]

Hlavní částí je elektricky vyhřívaná válcová komora se šnekem. Pohon šneku je zajištěn hydromotorem, popř. elektromotorem, komora je ukončena tryskou, která v průběhu vstřikovací fáze dosedá těsně na formu. Celá vstřikovací jednotka je na rámu stroje usazena posuvně takže se může posouvat ve směru podélné osy stroje. [11]

V této části dochází k procesům, které jsem jmenoval u nejnovějších trendů vstřikování.

2.1.3 Rám

Rám vstřikovacího stroje zahrnuje všechny 3 části (uzavírací jednotku, vstřikovací jednotku a řídicí jednotku).

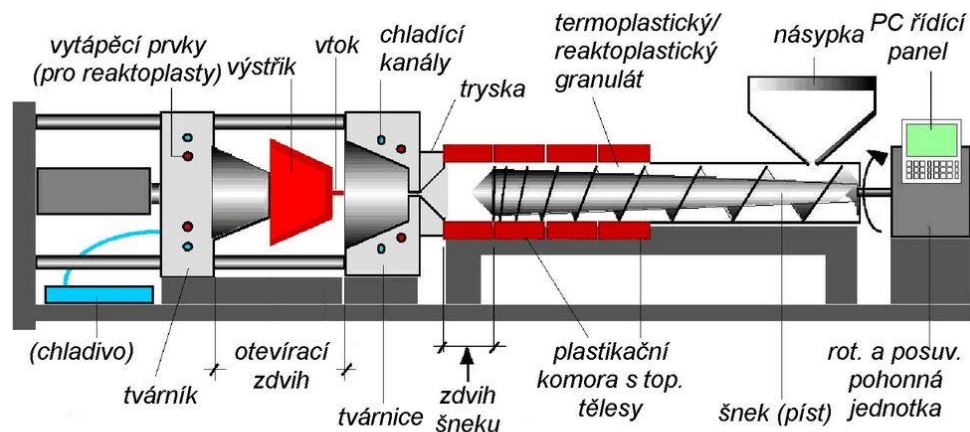


Schéma vstřikovacího stroje

Obrázek 15. Schéma vstřikovacího stroje [3]

2.1.4 Řídicí jednotka

Aby bylo možno plně regulovat vstřikovací proces, je stroj vybaven řídicí jednotkou, jejímž prostřednictvím se nastavují veškeré parametry procesu. Parametry pro pohyby stroje, regulace rychlostí, tlaků, teplot atd. Umožňuje vyhodnocování kvality dílů a optimalizaci vstřikovacího procesu. [11]

Řídicí jednotka, systém, je jednou z částí u vstřikovacích strojů, které jsou nejvíce vyvíjeny a inovovány.

2.2 Pohony vstřikovacích strojů

Rozlišujeme 3 základní pohony, díky kterým mohou vstřikovací stroje vykonávat svou funkci:

- elektrický – veškeré pohyby jsou realizovány hydraulickými válci a hydromotory
- hydraulický – pohyby jsou realizovány prostřednictvím elektromotorů řízených frekvenčními měniči, kuličkových šroubů a převodovek
- hybridní – jedná se o kombinaci elektricky pohybované uzavírací jednotky, elektrického dávkování a hydraulického vstřikování [11]

Mezi nejvýznamnější výrobce vstřikovacích strojů v současnosti patří:

- ARBURG GmbH + Co KG, Loßburg, Německo
- ENGEL AUSTRIA GmbH, Schwertberg, Rakousko
- SUMITOMO DEMAG GmbH, Schwaig, Německo
- KraussMaffei, München, Německo
- Battenfeld Kunststoffmaschinen, Kottlingbrunn, Rakousko
- NegriBossi, Itálie
- Toshiba, Japonsko

Pro uzavření částí vstřikovacích strojů stručný popis vstřikovacího cyklu:



Obrázek 16. Vstřikovací cyklus [11]

3 TRENDY VE STŘIKOVÁNÍ VE VĚDECKÝCH PUBLIKACÍCH

O vstřikování a jeho nejnovějších trendech pojednává celá řada vědeckých a odborných publikací z různých odvětví průmyslu. V této části práce se pokusím některé vybrat a blíže popsat.

3.1.1 Vývoj biokompozitních materiálů zpracovaných vstřikováním

V tomhle článku prováděli vstřikování biokompozitů. Směs vznikla smícháním bílkovin a polykaprolaktonu. Pro vstřikování použili standardní vstřikovací stroj Engel se speciálním MiniJet pístem pro vstřikovací systém II ThermoHaake a dva druhy forem, klasickou 60x10x1 mm obdélníkového tvaru a Dumpbell podle normy ISO 527-2. Vstřikovací teplota byla od 60 do 100° C při tlaku 50 MPa a časový cyklus 20s, vše bylo nastaveno dle poměru všech tří složek. [16]

3.1.2 Tlaková vibrační vstřikovací technologie

Článek pojednává o vstřikování izotaktického polypropylenu s použitím tlakových vibrací pro vyvolání pruhovaných sferolitů. Vzorky byly připraveny konvenčním vstřikováním, avšak rozdíl byl v tom, že ke konci proběhly vibrace při dotlaku 30 MPa a frekvenci 1H, čas vstřikování byl 30s. Vše proběhlo na běžném vstřikovacím stroji do standardní formy. [17]

3.1.3 Termoplastické biokompozity zpevněné celulóзовými vlákny

Článek popisuje jinou alternativu skelných vláken nahrazených celulóзовými. Vstřikování proběhlo na vstřikovacím stroji ALLROUNDER 270 S 350-100 vyrobený společností ARBURG (Německo) upínací síla 350 kN, průměr šroubu 25 mm. Formy byly typu B. Barrel a teploty byly nastaveny na 165 až 200 ° C od plnicí zóny po trysku. Vstřikovací tlak byl omezen na 800 bar při konstantní rychlosti nástřiku 20 cm³/s, což vedlo ve skutečných vstřikovacích tlacích v rozmezí od 45 do 70 MPa v závislosti na typu vlákna. [18]

3.1.4 Multi-strukturní vstřikování polymerů

Pro tuhle technologii v článku byl použit standardní vstřikovací stroj Victory 80/45 Tech, Engel. Jedná se o vstřikování výrobků s hydrofobní strukturou. [19]

3.1.5 Vliv vstřikování na elektrické vlastnosti PA12

V tomto článku použili pro vstřikování vzorků konvenční vstřikování na klasickém vstřikovacím stroji firmy ARBURG do standardizované formy. [20]

3.1.6 Vliv parametrů zpracování na mikrocelulární vstřikování

V článku byl použit pro vstřikování vzorků z PET a PP konvenční vstřikovací stroj modifikovaný pro vstřikování pomocí CO₂ a N₂ se standardní formou. [21]

3.1.7 Účinky plynu při vstřikování na mechanické vlastnosti TPEs

V článku byl pro vstřikování vzorků z TPEs s podporou plynu použit hydraulický vstřikovací stroj Battenfeld 88 (Wittmann) s přesným měřením kalibrace. Vstřikováno bylo do standardní formy. [22]

3.1.8 Vstřikování keramických řezných nástrojů z keramických kompozitů CIM

Článek popisuje vstřikování keramické směsi na bázi oxidu hlinitého do speciální proměnlivé formy s několika řeznými úhly pro řezné nástroje a dvěma vstřikovacími polohami. Vstřikovali strojem Allrounder 270C, Arburg,(Germany) s regulátorem polohy šroubu. Jde o speciální vstřikování, kdy nejsou použity konvenční postupy a technologie. [23]

3.1.9 Vstřikování Cp-Ti komponenty pro biomedicínské aplikace

Zde použili pro vstřikování, směsi Cp-Ti a pojivo (PEG+PMMA), vstřikovací stroj Arburg 320 C 60t(Arburg, Germany) a vstřikování probíhalo při teplotě 120 ° C za tlaku 150 MPa a vstřikovací rychlosti 30 cm³/s . Byla použita forma MPIF Standardy 35. [24]

3.1.10 Vstřikování PIM mikrodetailů

Pro vstřikování směsi (PEG+PP+SA) byl použit konvenční vstřikovací stroj ARBURG při nízkém tlaku 15 kPa do standardní formy při teplotě 180° C. [25]

3.1.11 Vstřikování kompozitů z PP vlákna PP na bázi TPE

Pro vstřikování, kompozitů z PP do standardizované formy o teplotě 20°C, byl použit vstřikovací stroj Arburg Allrounder 370S se speciální plochou tryskou 4x2 mm. Vstřikovací teploty byly postupně 120, 140 a 160° C. Vstřikování probíhalo za tlaku 800 barů a rychlosti šneku 15m/min. [26]

3.1.12 Anizotropní vstřikování polyetylenů

Pro anizotropní vstřikování PE byl použit vstřikovací stroj Arburg 320S Allrounder 500-150. Teplota vstřikování byla 250° C do speciální formy ve tvaru písmene V o teplotě 20° C. Vše probíhalo za tlaku 60 MPa a rychlosti 10cm³/s. [27]

3.1.13 Vstřikování do mnohonásobné formy

Pro zmíněné vstřikování, směsi ocelového prášku a pojiv (PP, PW, CW,SA) byla použita technologie PIM a vstřikovací stroj Arburg 30t s průměrem šneku 25 mm při tlaku 235 MPa. Vstřikovalo se do mnohonásobné formy o osmi dutinách, přičemž každá měla rozměr 20x40x3 mm. [28]

3.1.14 Vstřikovací technologie EIM

Pro tenhle experiment byl použit vstřikovací stroj VICTORY 200/60 Electric (ENGEL, Austria GmbH). Kompresní tlak stroje byl 240 MPa s průměrem šneku 25 mm a uzavírací silou 600 kN. Vstřikován byl kopolymer POM, teplota taveniny byla 210° C a formy 110° C. Ve srovnání s konvenčním vstřikováním zde byl asi 10x vyšší maximální průtok taveniny a zkrácení dráhy vtoku. [29]

3.1.15 Replikace mikro – laser textury ve vstřikování

Pro vstřikování ABS byl použit vstřikovací stroj ENGEL Victory 28. Dutina formy byla z hliníkové slitiny s vysokou pevností a tepelnou vodivostí. Každá dutina ze čtyř forem měla jinou textovou strukturu. Při téhle technologii se zkoumaly nově vyráběné formy, speciální metodou, pro vstřikování. [30]

3.1.16 Zkoumání technologických limitů pro mikro – vstřikování

Pro experiment vstřikování PS do standardní formy, v tomhle článku použili vstřikovací stroj MicroPower 15 (Wittmann-Battenfeld) s maximální uzavírací silou 150 kN a maximální vstřikovací rychlostí 750 mm / s. Na rozdíl od běžných vstřikovacích strojů, MicroPower 15 má vstřikovací systém skládající se ze šroubu plastifikační jednotky a samostatného pístu vstřikovací jednotky. Plastifikační šnek má průměr 14 mm a píst má průměr 5 mm. [31]

3.1.17 Vliv rychlé změny teploty formy na topografii povrchu a vzhled vstřikovaných dílů

Experimentální postup v článku byl proveden na vstřikovacím stroji Engel e-motion 440/100 s uzavírací silou 1000 kN. Stroj byl vybaven vysoce výkonnou tepelnou jednotkou se dvěma nezávislými klimatizačními okruhy firmy Wittmann Battenfeld - TEMPRO a C160 Vario pro rychlé změny teplot dutiny formy. Vstřikovalo se ABS do speciálně upravené formy s mikrostrukturou vyhřáté na 60° C. [32]

3.1.18 Zlepšení vstřikovacích procesů pomocí Dual Energy

Pro inovace v procesu vstřikování použili v laboratoři pro vstřikování PBT vstřikovací stroj Demag s upínací silou 80 t a samostatnou vstřikovací i upínací jednotkou. Vstřikovalo se do standardizované formy. [33]

3.1.19 Výroba anody pomocí keramického vstřikování CIM

Pro nejnovější technologii vstřikování směsi (oxid nikelnatý+zirkon+grafitový prášek) byl použit horizontální vstřikovací stroj Sumitomo Demag 60-310. Vstřikovací teplota byla 110° C a forma byla vyhřátá na 40° C. Vstřikovací tlak 180 MPa. Byla použita dvoudílná forma z tvrzené oceli chlazená vodou. [34]

3.1.20 Mikrostruktura nanokompozitů produkce Shear vyvolaných vstřikováním

Všechny zkoušené polymerní taveniny byly vstřikovány strojem Ferromatik Milacron K-85A, který byl vybaven speciálním potrubím SCORIM a hydraulickým systémem. SCORIM je nekonvenční vstřikovací technika založená na konceptu in-formy smyku manipulací taveniny během fáze tuhnutí polymeru. [35]

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo popsat trendy ve vstřikování v posledních pěti letech. Nutno podotknout, že i v tak krátkém časovém intervalu se toho mnoho změnilo, avšak tato technologie jde neustále kupředu ve vývoji svých metod. Vstřikovací technologie jsou upravovány hlavně dle používaného materiálu a požadavků na kvalitu a vzhled. V dnešní době je možno vstřikovat téměř cokoliv od polymerů po keramiku, kovy a kaučukové směsi. Stejně tak se modifikují a upravují i celá zařízení pro vstřikování k tomu, aby splňovala přísná kritéria technologických parametrů.

Jak jsme mohli poznat, například u vědeckých článků, jsou technologie a používané materiály velmi rozmanité a speciální trendy ve vstřikování velmi často využívané. Ze vstřikovacích strojů jsou pro experimenty a vývoje nových metod a trendů používány zejména vstřikovací stroje od firmy Arburg a Engel. Ovšem nezapomíná se ani na formy, které jsou velmi důležitou částí stroje. Jejich vývoj, jde stejně jako u vstřikovacích strojů, rychlým tempem kupředu.

Jen bych chtěl v závěru podotknout, že novinky okolo vstřikovacích procesů se týkají i jiných zařízení při vstřikování. Jedná se například o roboty, kteří odebírají výrobky vzniklé vstřikováním při výrobě a ulehčují a urychlují tím celý proces výroby. Nebo například sušičky granulátu, který může být citlivý na vlhko. Dále to mohou být i drtičky granulátu nebo temperanční jednotky pro udržení teploty vstřikovací formy stroje.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [2] Aus, Aleš. Moderní metody vstřikování, přednáška. Dostupné z:
<http://www.spstrplz.cz/admin/files/Media/PROJEKTY-OPVK/0038/prednasky2014/ausperger.pdf> (11.5.2015)
- [3] Katedra strojírenské technologie. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/05.htm
(11.5.2015)
- [4] MM průmyslové spektrum. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/specialni-technologie-vstrikovani-plastu.html>
(7.5.2015)
- [5] ARBURG. Dostupné z:
<https://www.arburg.com/cs/cz/spektrum-sluzeb/vstrikovani/procesy/vicekomponentni-vstrikovani/> (8.4.2015)
- [6] Adreas Handschke, Jochen Mitzler. Dostupné z:
<http://www.kubousek.cz/cz/page/clanky/fyzikalni-napenovani-hrackou> (15.5.2015)
- [7] Plasticportal. Dostupné z:
<http://www.plasticportal.sk/sk/mikrovstrikovani-vstrikovani-velice-malych-soucasti-s-arburg-sro/c/2303> (4.3.2015)
- [8] Synventive. Dostupné z:
<http://www.plasticportal.sk/sk/synventive-predstavuje-technologie-synflow-pro-dvourychlostni-sekvencni-vstrikovani-horkymi-vtoky/c/2272> (1.5.2015)
- [9] Ing. Seidl Martin, Stroje pro zpracování polymerních materiálů dostupné z:
<https://publi.cz/books/181/13.html> (4.4.2015)
- [10] Advanced materials technologies. Dostupné z:
http://www.amt-mat.com/Powder_Injection_Molding_PIM.html (15.5.2015)

- [11] Ing. Zůbek, Petr. Firemní prezentace.
- [12] BRALLA, James G. a With contributions by a distinguished editorial BOARD. Handbook of manufacturing processes how products, components and materials are made. 1st ed. --. New York: Industrial Press, 2007. ISBN 9781601199331.
- [13] Osswald, Tim A. Menges, Georg. (2012). Material Science of Polymers for Engineers (3rd Edition). Hanser Publishers. Online version available at:
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMSPEE002/material-science-polymers/material-science-polymers>
- [14] (2014). ANTEC 2014 - Proceedings of the Technical Conference & Exhibition, Las Vegas, Nevada, USA April 28-30, 2014. Society of Plastics Engineers. Online version available at:
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpYCREEOO4/antec-2014-proceedings/antec-2014-proceedings>
- [15] *Plasty a kaučuk*. Zlín: Poleng. ISSN 0322-7340.
- [16] FÉLIX, M., A. ROMERO, J.E. MARTÍN-ALFONSO a A. GUERRERO. Development of crayfish protein-PCL biocomposite material processed by injection moulding. *Composites Part B: Engineering* [online]. 2015, vol. 78, s. 291-297 [cit. 2015-05-23]. DOI: 10.1016/j.compositesb.2015.03.057.
- [17] XIA, Chao, Hailan DU, Feifei WANG, Renxi LA, Dashan MI, Xinpeng LI a Jie ZHANG. A novel crystal morphology of isotactic polypropylene induced by pressure vibration field: α Banded spherulite. *Materials Letters* [online]. 2015, vol. 153, s. 66-69 DOI: 10.1016/j.matlet.2015.04.005.
- [18] BLEDZKI, A.K., P. FRANCISZCZAK a A. MELJON. High performance hybrid PP and PLA biocomposites reinforced with short man-made cellulose fibres and softwood flour. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* [online]. 2015, vol. 74, s. 132-139. DOI: 10.1016/j.compositesa.2015.03.029.
- [19] ANDERSEN, Nis K. a Rafael TABORYSKI. Multi-height structures in injection molded polymer. *Microelectronic Engineering* [online]. 2015, vol. 141, s. 211-214. DOI: 10.1016/j.mee.2015.03.017.

- [20] VERSAVAUD, Sophie, Gilles RÉGNIER, Gwénaél GOUADEC a Michel VINCENT. Influence of injection molding on the electrical properties of polyamide 12 filled with multi-walled carbon nanotubes. *Polymer* [online]. 2014, vol. 55, issue 26, s. 6811-6818. DOI: 10.1016/j.polymer.2014.10.038.
- [21] GUO, Wei, Huajie MAO, Bei LI a Xiangyu GUO. Influence of Processing Parameters on Molding Process in Microcellular Injection Molding. *Procedia Engineering* [online]. 2014, vol. 81, s. 670-675. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.058.
- [22] HOSSEINI, Ali Masih, David CHOTENOVSKY, Karen FARRELL, Scott A. FARRELL a Carolyn J. SPARREY. The effects of gas assisted injection molding on the mechanical properties of medical grade thermoplastic elastomers. *Polymer Testing* [online]. 2014, vol. 38, s. 1-6. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2014.06.003.
- [23] SOMMER, F., F. KERN a R. GADOW. Injection molding of ceramic cutting tools for wood-based materials. *Journal of the European Ceramic Society* [online]. 2013, vol. 33, 15-16, s. 3115-3122 [cit. 2015-05-24]. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2013.05.012.
- [24] SIDAMBE, A.T., I.A. FIGUEROA, H.G.C. HAMILTON a I. TODD. Metal injection moulding of CP-Ti components for biomedical applications. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2012, vol. 212, issue 7, s. 1591-1597 [cit. 2015-05-24]. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2012.03.001.
- [25] CHECOT-MOINARD, D., C. RIGOLLET a P. LOURDIN. Powder injection moulding PIM of feedstock based on hydrosoluble binder and submicronic powder to manufacture parts having micro-details. *Powder Technology* [online]. 2011, vol. 208, issue 2, s. 472-479. DOI: 10.1016/j.powtec.2010.08.045.
- [26] KMETTY, Ákos, Tamás BÁRÁNY a József KARGER-KOCSIS. Injection moulded all-polypropylene composites composed of polypropylene fibre and polypropylene based thermoplastic elastomer. *Composites Science and Technology* [online]. 2012, vol. 73, s. 72-80. DOI: 10.1016/j.compscitech.2012.09.017.

- [27] SENDEN, D.J.A., G.W.M. PETERS, L.E. GOVAERT a J.A.W. Van DOMMELEN. Anisotropic yielding of injection molded polyethylene: Experiments and modeling. *Polymer* [online]. 2013, vol. 54, issue 21, s. 5899-5908. DOI: 10.1016/j.polymer.2013.08.047.
- [28] KIM, Jaeyoung, Seokyoung AHN, Sundar V. ATRE, Seong Jin PARK, Tae Gon KANG a Randall M. GERMAN. Imbalance filling of multi-cavity tooling during powder injection molding. *Powder Technology* [online]. 2014, vol. 257, s. 124-131. DOI: 10.1016/j.powtec.2014.02.056.
- [29] DRUMMER, D. a K. VETTER. Expansion–injection–molding (EIM) by cavity near melt compression – About the process characteristic. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* [online]. 2011, vol. 4, issue 4, s. 376-381. DOI: 10.1016/j.cirpj.2011.06.009.
- [30] HERNÁNDEZ, P., A. MURAWKO, J. MARTÍNEZ, G. PELÁEZ a E. ARES. Replication of Micro Laser Textures by Injection Molding. *Procedia Engineering* [online]. 2013, vol. 63, s. 885-894. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.08.201.
- [31] LUCCHETTA, G., M. SORGATO, S. CARMIGNATO a E. SAVIO. Investigating the technological limits of micro-injection molding in replicating high aspect ratio micro-structured surfaces. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* [online]. 2014, vol. 63, issue 1, s. 521-524. DOI: 10.1016/j.cirp.2014.03.049.
- [32] LUCCHETTA, G., M. FIOROTTO a P.F. BARIANI. Influence of rapid mold temperature variation on surface topography replication and appearance of injection-molded parts. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* [online]. 2012, vol. 61, issue 1, s. 539-542. DOI: 10.1016/j.cirp.2012.03.091.
- [33] MÜLLER, Egon, Rainer SCHILLIG, Timo STOCK a Miriam SCHMEILER. Improvement of Injection Moulding Processes by Using Dual Energy Signatures. *ProcediaCIRP*[online].2014,vol.17, s. 704-709.DOI: 10.1016/j.procir.2014.01.110
- [34] KLUCZOWSKI, R., M. KRAUZ, M. KAWALEC a J.P. OUWELTJES. Near net shape manufacturing of planar anode supported solid oxide fuel cells by using ce-

ramic injection molding and screen printing. Journal of Power Sources [online]. 2014, vol. 268, s. 752-757. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2014.05.132.

[35] COSTANTINO, A., V. PETTARIN, J. VIANA, A. PONTES, A. POUZADA a P. FRONTINI. Microstructure of PP/clay Nanocomposites Produced by Shear Induced Injection Moulding. Procedia Materials Science [online]. 2012, vol. 1, s. 34-43. DOI: 10.1016/j.mspro.2012.06.005.

[36] Cascade. Dostupné z:

<http://www.cascadecartsolutions.com/services/cart-recycling> [2015-05-09]

[37] China plastic. Dostupné z:

<http://www.chinaplastic.org/injmold/coinjection.html>

[38] Plasticker. Dostupné z:

<http://plasticker.de/news/shownews.php?nr=20242&special=k13&&backto=>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

GIT	Gas injection technology
WIT	Water injection technology
CO ₂	Oxid dusičitý
SCF	Super Critical Fluid
ICM	Injection Compression Moulding
AIM	Autosterile injection molding
PA12	polyamid 12
TPEs	thermoplastic elastomers
CIM	ceramic injection molding
Cp-Ti	commercially pure-Titan
PEG	polyetylen glykol
PMMA	polymethylmetakrylát
PIM	power injection molding
PP	polypropylen
SA	stearic acid
TPE	termoplastický elastomer
PW	paraffin wax
CW	carnauba wax
EIM	expansion injection molding
POM	polyoxymetylen
PBT	polybutylen tereftalát

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1. Proces krátkého vstříku a dofukovacího způsobu technologie GIT [3]
- Obrázek 2. Proces dlouhého vstříku a dofukovacího způsobu technologie GIT [3]
- Obrázek 3. Technologické procesy vstříkování pomocí vody [3]
- Obrázek 4. Porovnání doby chlazení GIT a WIT [3]
- Obrázek 5. Koncepce nástroje pro metodu Coinmelt [4]
- Obrázek 6. Princip sendvičového vstříkování [3]
- Obrázek 7. Schéma trysky vstříkovacího stroje při sendvičovém vstříkování [3]
- Obrázek 8. Koncepce zařízení pro metodu MuCell [6]
- Obrázek 9. Vstříkovací jednotka pro mramorové vstříkování + ukázka výrobků [9]
- Obrázek 10. Princip intervalového vstříkování a činnost vstříkovacích jednotek [3]
- Obrázek 11. Příklady práškového plniva [3]
- Obrázek 12. Schéma technologie PIM [3]
- Obrázek 13. Postup vstříkování-lisování ICM [11]
- Obrázek 14. Vstříkovací stroj [5]
- Obrázek 15. Schéma vstříkovacího stroje [3]
- Obrázek 16. Vstříkovací cyklus [11]
- Obrázek 17. Druhy špiček šneku [11]
- Obrázek 18. Co-vstříkování [36]
- Obrázek 19. Příklad výrobku [37]
- Obrázek 20. Sterilní prostředí [38]