

# Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

*redakce nakladatelství BEN – technická literatura*  
[redakce@ben.cz](mailto:redakce@ben.cz)



## 4.1 Základní předpoklady pro vstřikování dílů s definovanou jakostí

Kvalita výstřiků z termoplastů je definována jejich stavem, v němž se nacházejí po vyhození z formy a relaxaci po dobu min. 16, max. 48 hodin, nejčastěji 24 hodin v normálním prostředí.

Stav výstřiků je charakterizován:

- stupněm a rozložením orientace makromolekul, u vyztužených materiálů i orientací vyztužujících plniv (nejčastěji vláknitá plniva). Z pohledu technologických parametrů má na orientaci významný vliv teplota taveniny a vstřikovací rychlost, včetně podílu dotlakové a ochlazovací fáze procesu vstřikování (rychlost ochlazování),
- velikostí a rozložením vnitřního pnutí, jehož nejvýznamnější složku tvoří tepelné pnutí (ovlivňované zejména teplotou taveniny a formy), dalšími složkami jsou pnutí z nerovnoměrné orientace, nerovnoměrné krystalizace a pnutí z přepnutí vzniklé v důsledku nevhodně zvolených parametrů dotlakové fáze vstřikovacího procesu,
- u částečně krystalických termoplastů obsahem krystalické fáze (v závislosti na teplotě formy a době – rychlosti ochlazování), velikostí a rozložením sférolitů (závislost na přítomnosti nukleačních aditiv a gradientu ochlazování) a tzv. skin-core efektu (povrch-jádro) vyjadřujícím rozdílný obsah krystalického podílu po průřezu stěnou výstřiků.

Stav výstřiku, resp. jeho jakost, závisí na všech faktorech, které se vstřikovacího procesu účastní. V první řadě to jsou:

- vstřikovaný materiál (jeho typ, složení, aditivace, reologické vlastnosti atd.),
- vstřikovací stroj,
- použitá periferní zařízení (sušení, doprava a dávkování materiálu, doprava a manipulace s výstřikem, aditivace materiálu a jeho barvení, temperace formy, ohřev horkých rozvodů atd.),
- tvar výstřiku a způsob jeho zaformování,
- konstrukce a výroba formy,
- technologické parametry vstřikování.

S kvalitou souvisí i následné operace – začišťování výstřiků, jejich obrábění, svařování, potiskování, montáž do montážních podskupin a skupin atd.

Výhradní postavení ve vztahu ke kvalitě má konstrukce výstřiku a z ní vyplývající konstrukce vstřikovací formy. Pokud konstrukce výstřiků je chybná, tj. neodpovídá zásadám technologičnosti konstrukce výstřiků z termoplastů nebo je chybná konstrukce formy (např. malá tuhost, nevhodný vyhazovací systém, nevhodný způsob plnění tvarové dutiny, špatně navržený temperační systém atd.), sebekvalitnější vstřikovací materiál nebo vstřikovací stroj, resp. nastavení technologických parametrů závidu způsobující výrobu nekvalitních výstřiků těžko odstraní.

Při vyhodnocení vlivů působících na kvalitu výstřiků z termoplastů je nutné vždy vzít v úvahu, jak bylo uvedeno výše, všechny skupiny vlivů, zejména:

- výstřik – resp. jeho tvar – tloušťky stěn a jejich rovnoměrnost, tvarová složitost, úkosy, zaoblení hran, poměr délky toku ku tloušťce tokové dráhy, způsob plnění atd.,
- konstrukce formy za předpokladu její dostatečné tuhosti a dokonalého odvodušnění v kritických místech tvarové dutiny – temperační systém určující teplotu stěny tvarové

dutiny formy, vtoková soustava – studený rozvod taveniny, horký rozvod taveniny, typ vtokového ústí, jeho umístění na výstřiku, počet vtokových ústí pro jeden díl, vyhazovací systém, povrch tvarových dílů formy atd.,

- technologické parametry vstřikování vázané na příslušný vstřikovaný materiál, tvar výstřiku a konstrukci formy za předpokladu reprodukovatelnosti optimalizovaných technologických parametrů ve všech fázích vstřikovacího cyklu – plastikace, plnění tvarové dutiny taveninou, přepnutí ze vstřikovacího tlak na dotlak, dotlaková fáze a fáze ochlazování,
- vstřikovaný materiál – jeho tokové vlastnosti, aditiva, obsah a druh plniva, smrštění a jeho anizotropii, E-modul, houževnatost, tvrdost atd.

Vstřikování je diskontinuální výrobní proces – jedná se o cyklickou výrobu, a proto je prvním předpokladem kvalitní výroby stabilita procesu, při zajištění ostatních optimalizovaných parametrů. To znamená, že je nutné zaručit, aby každý následný vstřikovací cyklus měl identický průběh jako cyklus předchozí.

Zde je nutné si uvědomit, že jediným ukazatelem kvality výstřiku, měřitelným bezprostředně po vyhození výstřiku z formy, je jeho hmotnost. Hmotnost, resp. záznam naměřených hodnot cyklus od cyklu, je tedy do jisté míry ukazatelem stability procesu, nikoliv ale parametrů jakosti jako je např. smrštění. To může platit pouze u některých jednotlivých výstřiků plněných klasickou studenou vtokovou soustavou, kdy naměřené hodnoty hmotností mohou souviset s hodnotami smrštění – s rostoucí hmotností se hodnoty smrštění snižují.

Vstřikovací cyklus lze rozdělit na čtyři hlavní fáze, které ovlivňují stav výstřiku a následně jeho kvalitu.

Základní předpoklady pro vstřikování výstřiků s maximální izotropií vlastností jsou definovány pro jednotlivé fáze vstřikovacího cyklu takto:

- **Plastikační fáze** – základním předpokladem pro optimální naplnění tvarové dutiny formy je zajištění teplotní a viskozitní homogenity v dávce taveniny před čelem šneku. K tomu přispívá správné nastavení teplot na jednotlivých topných pásmech plastikačního válce, zpětný odpor na šneku a otáčky šneku. Poslední dva parametry je obvykle možné v procesu plastikace profilovat. Případná nehomogenita taveniny se projeví negativně zejména na kvalitě povrchu výstřiku – tokové čáry, lesk, studené spoje, rozložení orientace, vnitřní pnutí, u částečně krystalických materiálů i nerovnoměrná tvorba makromolekulární struktury. Teplota taveniny má rozhodující vliv na orientaci makromolekul ve výstřiku – s růstem teploty taveniny stupeň orientace klesá a výstřik se, z hlediska vlastností, stává více izotropní. Zároveň ve směru toku taveniny klesají některé mechanické vlastnosti – pevnost v tahu, houževnatost, naopak se zvyšuje pevnost studených spojů a snižuje se vnitřní pnutí. Výstřiky z částečně krystalických materiálů mají vyšší smrštění a nižší dosmrštění.
- **Vstřikovací fáze** – naplnění tvarové dutiny formy termicky homogenní taveninou tak, aby rychlost čela proudu taveniny byla v každém místě průřezu tvarové dutiny (tokové dráhy) konstantní. U tvarově jednoduchých výstřiků s konstantní tloušťkou stěny je možné tento předpoklad víceméně dodržet, u tvarově členitých výstřiků s rozdílnou tloušťkou stěny je to již problematické i při zapojení počítačové simulace plnicí fáze.

**Rychlost vstřikování** – doba plnění tvarové dutiny formy polymerní taveninou – má vliv zejména na povrchové defekty výstřiku – tokové čáry, vrásnění, povrch pomerančové kůry,

stopy po studených spojích atd. Rychlost plnění je proto spolu s teplotou taveniny nutné optimalizovat tak, aby na povrchu výstřiku nevznikala příliš vysoká smyková napětí.

Pro polymery s částicovým plnivem se jako nevhodnější ukázala kombinace vyšší teploty taveniny a nižší vstřikovací rychlosti. U polymerů s vláknitými plnivy je naopak výhodnější vyšší rychlost vstřikování.

Při velmi nízké vstřikovací rychlosti se čelo taveniny v dutině formy rychle ochlazuje, což podporuje růst orientace a tím anizotropii vlastností v různých místech výstřiku. S klesající rychlostí plnění sice ve směru toku se zvyšuje pevnost a houževnatost, klesá však povrchový lesk a snižuje se pevnost studených spojů.

**Přepnutí** ze vstřikovacího tlaku na dotlak musí být provedeno tak, aby nebyla ovlivněna plynulost tlakové odezvy na plnicí fázi v tvarové dutině formy, tj. po přepnutí nesmí na tlakové křivce být propad tlaku ani jeho výrazné zvýšení (tlaková špička – pík), tlaková křivka musí plynule stoupat na maximum a po jeho dosažení plynule přejít na dotlakový průběh. To je důležité z hlediska dosažení co největší izotropie vlastností a minimalizace vnitřního pnutí. Předčasné přepnutí (propad tlaku) má za následek plnění tvarové dutiny formy dotlakem (tj. jinou rychlostí než požadovanou), pozdní přepnutí (tlaková špička) je příčinou zvýšení anizotropie vlastností, zvýšení obsahu vnitřního pnutí a může být příčinou přetoků v dělicí rovině formy.

**Předčasné přepnutí**, tj. dokončení plnění nebo plnění tvarové dutiny formy – objemově naplnění taveninou a dotlaková fáze jsou spojené – dotlak může v některých případech trochu paradoxně vést ke kvalitnějšímu povrchu výstřiku. Plnění dutiny formy dotlakem je možné použít i v případě, že výroba výstřiku vyžaduje velmi pomalé vstřikování, které není technicky možné realizovat vstřikovací rychlostí (rychlost dotlaku je obvykle nižší než nejvyšší rychlost vstřikování).

- **Dotlaková fáze** – průběh dotlaku, charakterizovaný hodnotou tlakové odezvy v dutině formy, v době jeho působení se musí volit tak, aby bylo dosaženo požadovaných tvarů, rozměrů a hmotnosti výstřiku. Působení dotlakové fáze jako celku i jejich jednotlivých parametrů (doba dotlaku, tlaková úroveň dotlaku, profil dotlaku) nad optimum, tj. dosažení požadované hmotnosti, vykopírování tvarů a dezénů, včetně dosažení požadovaných rozměrů, vede ke zvýšení obsahu vnitřního pnutí ve výstřiku (vnitřní pnutí je úměrné součinu dotlaku a doby jeho působení) a je i neekonomické – zbytečná činnost čerpadla. Dotlaková fáze se tedy využívá ke korekci smrštění a tedy rozměrů, případně deformací, k odstranění propadlin, lunkrů a trhlin, včetně dokonalejšího kopírování povrchu (dezénu) tvarové dutiny formy. Působení plnicí a dotlakové fáze na výstřik je možné kontrolovat pomocí tzv. polštáře, což je množství taveniny, která zůstane před čelem šneku po skončení dotlaku (zamrznutí ústí vtoku na výstřiku). Pokud je hodnota polštáře cyklus od cyklu v daných tolerančních mezích stejná, vypovídá to o tom, že vstřikovací proces je plně reprodukovatelný.
- **Fáze ochlazovací** – ochlazování výstřiku ve tvarové dutině formy začíná již v okamžiku začátku plnění dutiny taveninou, resp. po objemově naplnění dutiny a trvá až do vyhození výstřiku z formy, tj. přes dotlakovou fázi a fázi chlazení bez tlaku – po zamrznutí vtokového ústí. Parametry ochlazovací fáze jsou – teplota formy a doba ochlazování. Minimální doba ochlazování musí zaručit takovou tuhost výstřiku, aby tento byl vyhozen z formy bez deformací nebo vad způsobených vyhazovacím systémem.

Z hlediska jakosti výstřiků je dominantním parametrem ochlazovací fáze teplota formy. Rychlost ochlazování je určující pro relaxační jevy, které ovlivňují výsledný stupeň a rozložení orientace, eventuálně složku orientačního a tepelného pnutí a u částečně krystalických polymerů i krystalickou strukturu.

Obecně platí, že čím je ochlazování výstřiku pomalejší, tzn. čím je vyšší teplota formy a delší doba ochlazování, tím větší je, u částečně krystalických plastů, obsah krystalického podílu, a proto je při takové kombinaci technologických parametrů ochlazovací fáze i větší smrštění, specifická hmotnost, tuhost, tvrdost a pevnost výstřiků, při klesajícím dosmrštění, tažnosti a navlhavosti. Teplota formy – její zvýšení – má navíc i pozitivní vliv na povrchový lesk a celkově i na kvalitu povrchu výstřiku.

Optimalizace doby ochlazování má výrazný vliv na ekonomii výroby (doba vstřikovacího cyklu). Z hlediska kvalitativních požadavků (rovnoměrná vnitřní struktura výstřiků, minimalizace vnitřního pnutí – relaxace, maximalizace izotropie – relaxace) by doba ochlazování měla být co nejdelší, z ekonomického hlediska co nejkratší. Vždy je nutné volit kompromis vycházející z požadavků odběratele výstřiků.

Pro zajištění zde uvedených předpokladů, resp. pro přiblížení se k uvedenému ideálnímu stavu, je nutné provést celou řadu navazujících a vzájemně se ovlivňujících úkonů, seřízení a optimalizací.

## 4.2 Nutné podmínky pro seřizování a optimalizaci procesu vstřikování termoplastů

### 4.2.1 Vstřikovací stroj

Plně funkční vstřikovací stroj s prováděnou pravidelnou údržbou, včetně čištění olejové náplně, je samozřejmým předpokladem pro optimalizaci procesu vstřikování. Z hlediska výsledku, tj. výroby výstřiků s definovanou kvalitou, je konstrukční provedení použitého vstřikovacího stroje nedůležité.

Důležitá je reprodukovatelnost nastavených výrobních parametrů, kontrolovaná zejména u dílů pro automobilový průmysl při výrobě tzv. prvních vzorků statistickou hodnotou  $C_{pk}$ , která uvádí způsobnost procesu.

Pro další práci se vstřikovací formou je nutné kromě reprodukovatelnosti parametrů zajistit správný výběr stroje s ohledem na uzavírací sílu a kapacitu plastikační jednotky. V neposlední řadě je nutné věnovat nejvyšší pozornost zpětnému uzávěru na plastikačním a vstřikovacím šneku.

#### 4.2.1.1 Určení potřebné uzavírací síly, definice tlaků při vstřikování termoplastů

Hlavním úkolem uzavírací jednotky vstřikovacího stroje je být nosičem vstřikovacích forem. Pro zajištění výroby výstřiků bez přetoků v dělicí rovině, při dostatečné tuhosti formy, zejména v oblasti všech pohyblivých částí – čelisti a jejich uzavírací klíny – je nutné pro daný výstřik,