

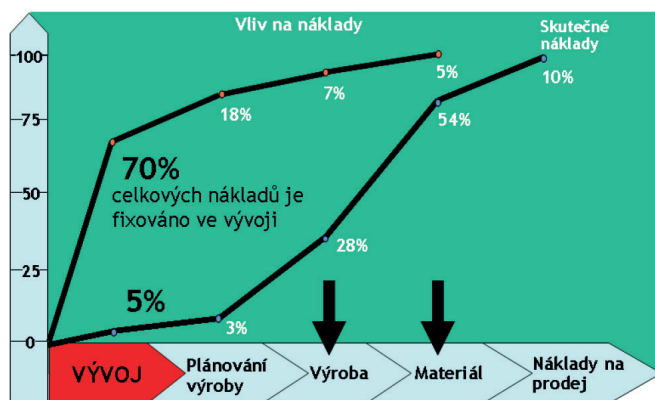
Snížení deformace a vad vstřikovaných dílů pomocí Moldflow

Úvodem o úsporách výrobních nákladů ve fázi vývoje

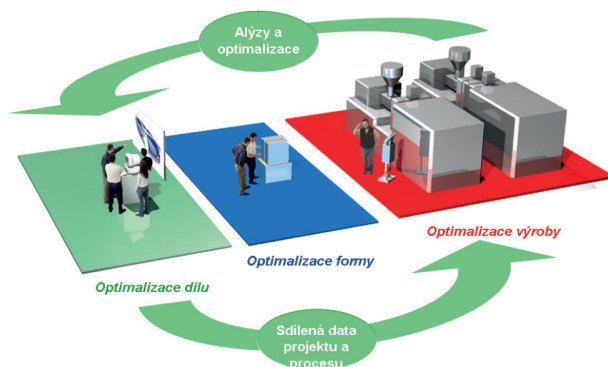
Při standardním způsobu návrhu výstřiku se uplatňují hlavně zkušenosti designéra a konstruktéra formy. Do jaké míry byl návrh výstřiku a formy úspěšný se ukáže až po výrobě vstřikovací formy a po vystříknutí zkušebních výlisků. Totéž platí pro samotné nastavení parametrů vstřikovacího procesu, které je dáno hlavně zkušenostmi technologa.

Cena vstřikovaného dílu je z největší části dána sumou těchto cen: cenou vstřikovací formy, cenou plastu, hmotností výstřiku včetně vtoků a délkou vstřikovacího cyklu. Výše těchto cen je zejména ovlivněna ve fázi designu plastového dílce, konstrukcí vstřikovací formy a technologické přípravy výroby, tj. nastavením technologických podmínek vstřikovacího procesu. Ve vývoji je fixováno až 70% celkových nákladů na výrobu, přičemž vývojová fáze představuje pouhých 5% z

celkových výrobních nákladů. To je rozhodně důvod, proč věnovat vývojové fázi velkou pozornost. S částkou odpovídající 5% výrobních nákladů můžeme ušetřit desítky procent celkových výrobních nákladů. (Obr. 1) Ve světě globálního tržního prostředí jsou realizační týmy, které řeší design dílu, návrh nástrojů a výrobní technologii od sebe vzdáleny tisíce kilometrů a několik časových pásem



Obr. 1: Růst nákladů na uvedení výrobku na trh a vliv jednotlivých etap na růst nákladů



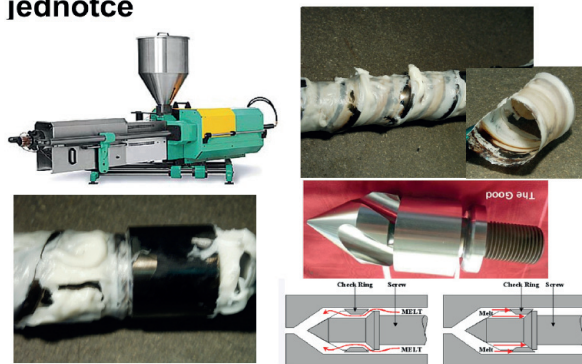
Obr. 2: Klíčové týmy realizující vývoj a přípravu výroby plastového dílu

Vstřikování polymerů je pružná výrobní metoda pro výrobu plastových dílů. Vstřikování umožňuje v automatickém cyklu vyrobit komplexní geometrii dílu při nízké energetické spotřebě a krátkém časovém cyklu. Komplexností geometrie je myšlena nejenom výroba jednotlivých dílů, ale také sdružení několika dílů do jednoho celku. Tímto způsobem lze minimalizovat náklady na montáž a zároveň také minimalizovat vady vzniklé při montáži. Vstřikování polymerů zahrnuje celou řadu technologických variant, které umožňují výrobu plastových dílů vstřikovaných z několika typů polymerů o různých vlastnostech, kombinaci polymeru s kovovými díly nebo. Základní požadavky na

metodu vstřikování polymerů jsou nulové dokončovací operace a automatický výrobní cyklus, případně montáž s maximálním využitím automatizace a robotizace.

Aby mohly být splněny tyto základní požadavky, je nutno klást důraz na tvarovou, rozměrovou a mechanickou stabilitu vstřikovaných dílů. Ta je dána v největší míře stavem reziduálních napětí. Reziduální napětí jsou zbytková mechanická napětí, generovaná v průběhu vstřikovacího cyklu v polymeru. Velikost a distribuce reziduálních napětí ve výstřiku závisí na typu použitého polymeru, podmínkách a stabilitě vstřikovacího procesu a konstrukci

Degradace plastu v plastikační jednotce



Obr. 3: Teplotní a smykové namáhání taveniny ve šneku může narušovat vlastnosti plastu a dílu.

vstřikovací formy. Stav reziduálních napětí se mění v průběhu životnosti plastového dílu a může vést ke vzniku povrchových trhlin spolupůsobením vnějších vlivů nebo také k destrukci vstřikovaného dílu.

Predikce výše uvedených napětí je velmi důležitá při návrhu vstřikovaného dílu, při konstrukci vstřikovací formy a také při nastavení technologických parametrů při vstřikování. Historicky nejstarší a nejvíce používaný je simulační software Moldflow, dnes je v portfoliu Autodesk, který dokáže modelovat vstřikovací proces a vyhodnotit reziduální napětí. Matematicko-fyzikální modely, se kterými tento software pracuje, však není schopen důsledně popsat všechny nehomogenity (Obr. 3), které zapříčiňují

vznik reziduálních napětí, zvláště pak v tvarových detailech vstřikovaných dílů.

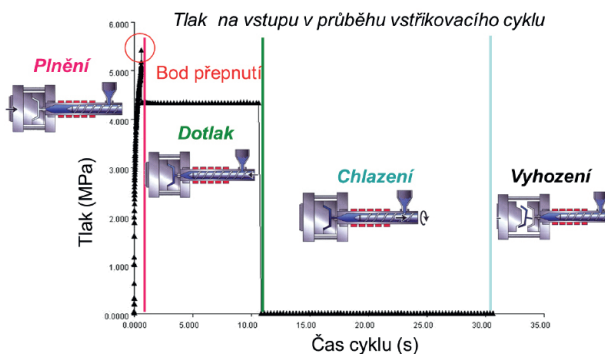
Měření reziduálních napětí na reálném výstřiku je možné pomocí nepřímých metod, které lze použít v závislosti na tvaru dílu a použitém typu polymeru. Obecně však je určení reziduálních napětí, resp. příčin jejich vzniku hlavně otázkou empirických zkušeností.

Příčiny vzniku reziduálních napětí

Jak už bylo řečeno v úvodu, vstřikování je komplexní technologický proces, na jehož průběhu a parametrech závisí vznik reziduálních napětí. Polymerní tavenina je vstříknuta do uzavřené dutiny vstřikovací formy, která má negativní tvar výstřiku. V dutině je tavenina ochlazená a přejde do tuhého stavu. Po ochlazení se forma otevře a výstřik je vyhozen z dutiny formy.

Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je rozdělen na sedm fází, které se částečně překrývají. Vznik reziduálních napětí ovlivňují pouze některé z nich. Jsou to plnění dutiny formy, dotlak, chlazení a částečně také vyhození výstřiku z dutiny formy. (Obr. 4)

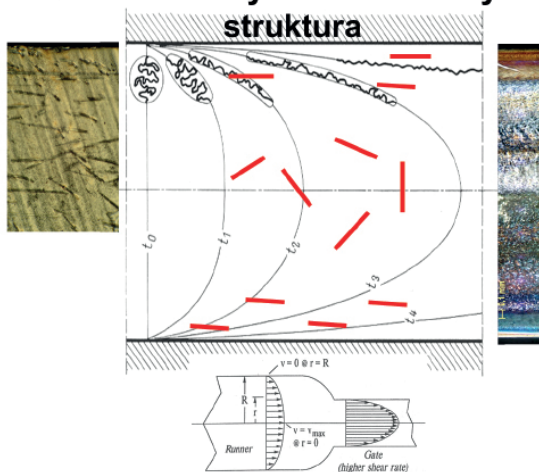


Obr. 4 Průběh tlaku na vstupu do formy pro jednotlivé části vstřikovacího cyklu.

Plnění dutiny formy

Ve chvíli, kdy tavenina začíná plnit dutinu formy, se začíná také ochlazovat na stěně dutiny. Za čelem toku taveniny podél příčného řezu dutinou vznikají dva odlišné regiony. Jeden na stěně dutiny tvořený zamrzlou vrstvou, kde polymer nemůže dále téct. Uvnitř této vrstvy je horké jádro tekutého polymeru. V blízkosti ztuhlé vrstvy polymeru vzniká vysoký rychlostní gradient nebo také vysoká smyková rychlost. Na rozhraní obou vrstev má polymerní tavenina vysokou smykovou viskozitu, proto maximum smykové rychlosti neleží přímo na hraně vrstvy. Působením vysoké smykové rychlosti se generuje také vysoké smykové napětí, které způsobuje maximální orientaci makromolekulárních řetězců, příp. plniva v blízkosti stěn dutiny formy. (Obr. 5)

Orientace skleněných vláken a krystalická struktura



Obr. 5 Orientace makromolekulárních řetězců a skleněných vláken. Krystalická struktura. Změna profilu rychlosti při změně průřezu kanálu do vtokového ústí.

Zúžení profilu toku taveniny vnější ztuhlou vrstvou způsobí, že maximální rychlost v této oblasti je značně vyšší než na čele taveniny. Rychlostní maxima na čele vedou ke vzniku toku taveniny, který je kolmý na stěnu dutiny formy. Tento fenomén se nazývá fontánový tok. Protože fontánovým tokem se čelo ochladí, vysoká smyková viskozita čela taveniny způsobuje protažení v opačném směru toku. Toto protažení vysokoviskózní

vrstvy na čele toku stimuluje další orientaci řetězců. Stupeň orientace závisí především na teplotě taveniny a rychlosti čela toku taveniny. Relaxace orientace probíhá rychleji při vyšší teplotě taveniny a silně orientovaná zamrzlá vrstva je menší při vyšší teplotě taveniny, protože teplota tuhnutí taveniny je dosažena blíže stěny dutiny. Rychlost čela taveniny také silně ovlivňuje orientaci. Při vysoké rychlosti je orientace

výraznější a blíže ke stěně dutiny. Ostatní parametry jako teplota stěny dutiny, velikost dotlaku mají jenom malý vliv na orientaci. (1)

Plochy tvar rychlostních profilů většiny polymerních tavenin (pseudoplastické tokové vlastnosti) způsobuje největší orientaci polymerních řetězců směrem k povrchu výstřiku, zatímco řetězce v blízkosti středu dutiny

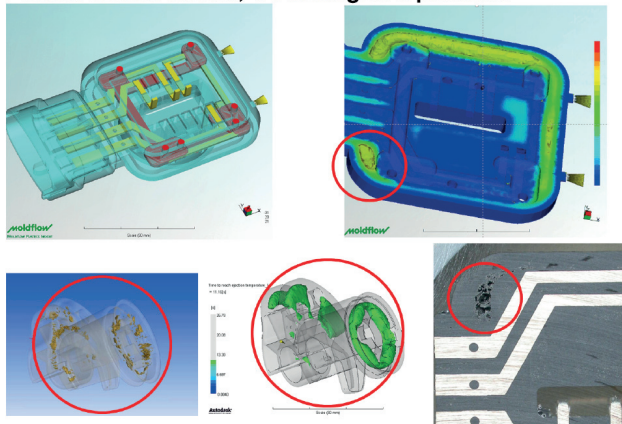
mají náhodnou svinutou konfiguraci.

Makromolekulární řetězce se orientují radiálně kolem vtokového ústí, ve směru toku taveniny. To způsobuje relativně vysoké napětí v okolí vtoku, protože protažené řetězce mají tendenci zaujmout původní sbalenou konfiguraci. (2) Orientace molekulárních řetězců vnáší do systému smyková napětí.

Dotlak

Nejdůležitějším aspektem dotlaku je doplnění taveniny do dutiny formy, aby se kompenzovaly efekty teplotního smrštění v průběhu chlazení. Výsledkem je zabránění tvorbě bublin a propadlin na výstřiku (Obr. 5,6) a minimalizace objemového smrštění a deformace. Fáze dotlaku začíná v bodě přepnutí a končí zamrznutím ústí vtoku. (1)

Příklad vzniku lunkru, CT tomograf a predikce

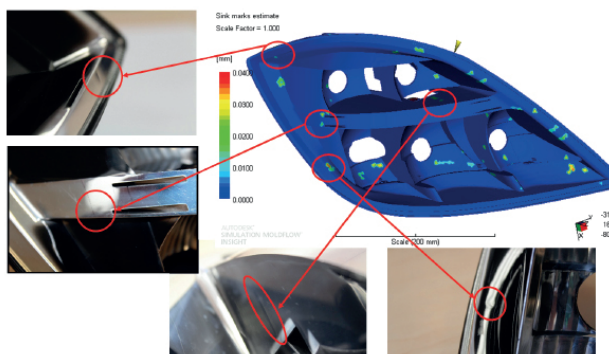


Obr. 6 Vznik lunkru při vstřikování konektoru. Zamrzne tavenina v okolí vtok. ústí, neefektivní působení dotlaku. Snímek lunkrů z CT tomografu a predikce lukrů v Moldflow.

Bod přepnutí znamená ve vstřikovacím cyklu změnu řízení plnicích parametrů. Při plnění dutiny formy je řízena nejprve rychlost toku taveniny a po naplnění dutiny se v bodě přepnutí změní na řízení tlaku taveniny v dutině. Orientace makromolekul se dále vyvíjí v průběhu dotlakové fáze vstřikovacího procesu, když tavenina plní dutinu

formy, aby se kompenzovalo objemové smrštění. (2) Orientace řetězců je různá pro amorfni a semikrystalické polymery. Vyšší teplotní smrštění semikrystalických polymerů umožňuje stlačení většího množství polymeru v průběhu dotlaku. Tento další tok zvyšuje stupeň orientace, zvláště ve středu průřezu stěny výstřiku. (1)

Propadliny v místech koncentrace polymeru

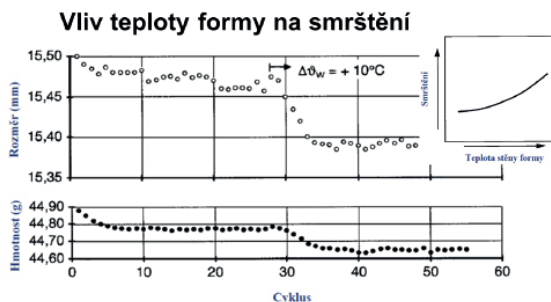


Obr. 7 Predikce propadlin na plastovém dílu.

Chlazení

Chlazení překrývá obě předchozí fáze cyklu, protože tavenina je ochlazována bezprostředně poté, co dosáhne dutiny formy. Výstřik se ochlazuje také po vyhození z dutiny formy, kdy teplota vyhazování výstřiku je obvykle vyšší než teplota okolí.

Při dotlaku i chlazení se výrazně mění tlak a teplota v dutině formy, což má za následek také změny objemu výstřiku. Změnu objemu nazýváme smrštění. Tyto změny popisuje pVT diagram, což je závislost měrného objemu polymeru na teplotě a tlaku v dutině formy.



Obr. 8 Změna sledovaného rozměru o 0,08mm, při zvýšení teploty stěny formy o 10°C

Jestliže se smrštění vyskytuje v nevázaném a nedeformovaném polymeru, smršťuje se polymer isotropně. Smrštění samotné je způsobeno změnou stavu taveniny polymeru při vysokém tlaku a teplotě, které jsou uvnitř dutiny formy,

na tuhou fázi při nízkém tlaku a teplotě.

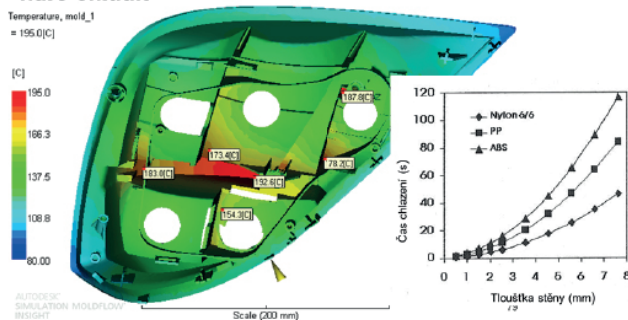
U semikrystalických polymerů tato změna zahrnuje také proces krystalizace. Smrštění je pak závislé na podílu krystalické fáze. Čím je podíl krystalické fáze větší, tím je také

větší smrštění. Vznik krystalické fáze závisí také na teplotě formy a tloušťce stěny dílu (Obr. 8, 7). S teplotou i tloušťkou narůstá podíl krystalické fáze a také smrštění. Rozdílné teploty stěny formy vedou k rozdílným smrštěním a také ke vzniku větších hodnot reziduálního napětí. Uvnitř dutiny formy brání její tvarové části smrštění polymeru, pokud je ve viskoplastickém stavu. Protože rozměry vázané dutinou formy brání volumetrickým změnám, vznikají ve stěně

napětí, která se neprojeví, pokud je výstřik chlazen v dutině formy.

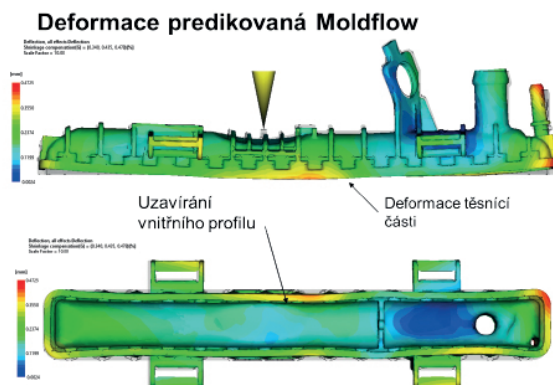
Ve chvíli, kdy je výstřik vyhozen z dutiny formy, vazby dutiny jsou odstraněny a napětí generovaná ve výstřiku během dotlaku a chlazení deformují tvar výstřiku. (4-6) (Obr. 10)

Teplota formy, určení oblastí, které se budou hůře chladit



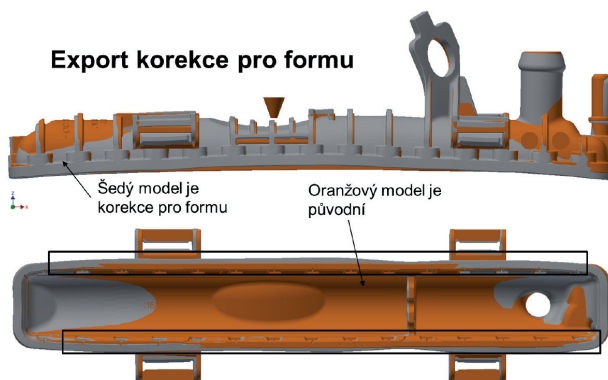
Obr. 9 Predikce teploty stěny formy v Moldflow. Čas chlazení závisí na tloušťce stěny s třetí mocninou a také na tepelné vodivosti plastu.

Vyhození výstřiku z dutiny formy



Obr. 10 Deformace dílu po vyhození z dutiny predikovaná v Moldflow

V poslední fázi vstřikovacího cyklu se dutina formy otevře ve všech dělicích plochách tak, aby byl výstřík uvolněn. Při vyhazování se využívá smrštění polymeru a následných vazeb v dutině formy, které výstřík zafixují na jedné straně formy, odkud je pomocí vyhazovačů vyhozen. Vyhazovací síly potřebné k překonání vazeb v části formy, které mají hlavně povahu třecích sil, mohou výstřík plasticky deformovat a generovat tak další napětí.

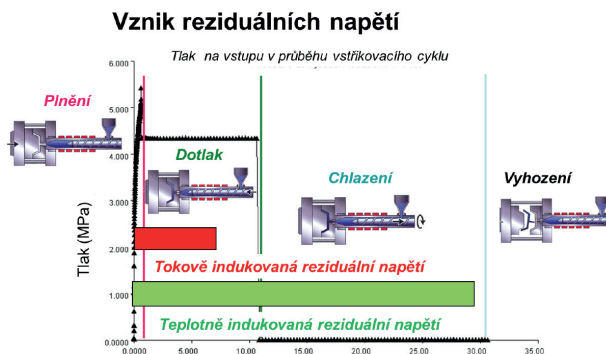


Obr. 11 Možnost exportu deformovaného dílu nebo korigovaného rozměru dutiny formy z Moldflow do CAD ve formátu STEP nebo SAT. Nejen ve formátu STL, se kterým lze jen obtížně dále pracovat

Reziduální napětí

Reziduální napětí jsou mechanická napětí vznikající ve výstříku bez působení vnitřních sil. Jsou jedněmi z napětí generovaných ve výstříku v průběhu vstřikovacího cyklu. Zůstávají ve výstříku i po vyhození z dutiny formy, kdy se výstřík ochlazuje na teplotu okolí.

Reziduální napětí způsobují deformaci a smrštění výstříku a mají také vliv na napětové tržliny působením prostředí. (7)



Obr. 12 Vznik tokové a teplotně indukovaných napětí v průběhu vstřikovacího cyklu

Reziduální napětí jsou přítomna ve všech výstřících. Jsou indukována v průběhu vstřikovacího procesu jako výsledek rozdílného smrštění a omezeného toku taveniny uvnitř dutiny formy.

Znalost reziduálních napětí ve výstřících je základem pro predikci rozměrových a tvarových nestabilit. Reziduální

napětí má významný vliv na nestabilitu, zvláště se zřetelem na přesnost rozměrů, tuhost a chemickou odolnost. Reziduální napětí ve výstřících jsou výsledkem tokové, teplotní a tlakové historie a jsou klasifikována do dvou základních typů: tokově indukované napětí a teplotně indukované teplotní napětí. (8) (Obr. 12)

Tokově indukovaná reziduální napětí

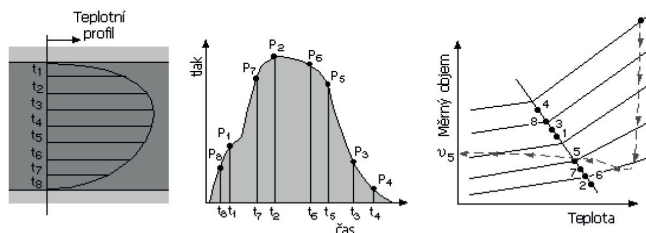
Reziduální tokově indukovaná napětí díky viskoelastické povaze polymerní taveniny (Obr. 15, 18) představují orientaci makromolekul a jsou atributy smykových a normálových napětí, která jsou generována v průběhu plnicí fáze. (Obr. 5) Tato napětí zcela nerelaxují, ale jsou zmražena ve výstřiku, protože relaxační časy začnou rapidně narůstat v průběhu chlazení. Tato napětí jsou relativně malá, ale způsobují velkou orientaci řetězců molekul. Orientace ovlivňuje mechanické a optické vlastnosti výstřiku a také různá smrštění ve směru a kolmo na směr toku taveniny. Velká část tokově indukovaných napětí relaxuje rychleji při vyšších teplotách polymeru při plnicí fázi. Obvykle jsou tokově indukovaná napětí o řád nižší než teplotně indukovaná napětí. (9)

Tokově indukovaná napětí jsou entropické povahy. Významně přispívají k mechanické, teplotní a optické anizotropii. Ovlivňují dlouhodobou rozměrovou stabilitu výstřiku. Jsou indukována v průběhu plnicí i dotlakové fáze. Toková napětí se indukují pouze nad teplotou skelného přechodu. Připínaví k orientaci

molekul ve směru toku taveniny. Úplné relaxaci těchto napětí a související orientaci molekul lze zabránit rychlým přechodem taveniny do fáze solidu díky vysoké účinnosti chlazení dutiny formy. (15)

Teplotně indukovaná reziduální napětí

Teplotní napětí se objevuje při vstřikování během fáze dotlaku a chlazení, jako důsledek teplotního gradientu, který je současně přítomen i během fáze tuhnutí. Reziduální teplotní napětí jsou výsledkem prudkého nehomogenního ochlazování polymerní taveniny, jak prochází přes teplotu skelného přechodu. Potom v průběhu chlazení povrchové vrstvy tuhnou dříve než v oblasti jádra výstřiku. Tahové a tlakové složky napětí jsou tvořeny následným ztuhnutím a teplotním smrštěním jádra výstřiku. Vysoce neuniformní rozdělení teploty po průřezu stěny výstřiku zapříčiňuje, že každý element polymeru ztuhne v různém čase. To vede k různému smrštění vyvolávající teplotně indukovaná reziduální napětí (Obr. 13). Poněvadž elastické vlastnosti a relaxační charakteristiky se významně mění s teplotou během tuhnutí, tato napětí přetrvávají a přetvoří se na reziduální teplotní napětí. (9)



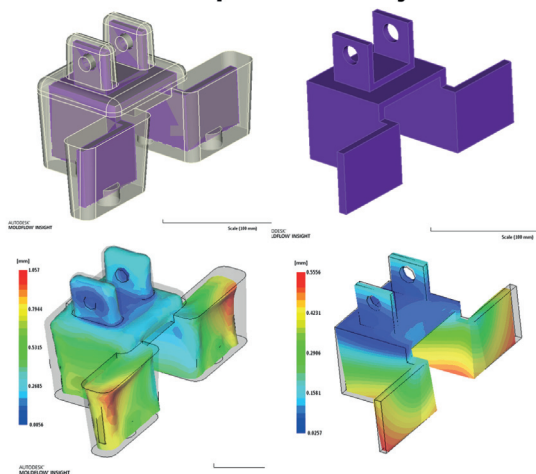
Obr. 13. Teplotní a tlakový profil promítnutý do PVT diagramu

Teplotní reziduální napjatost se může vytvořit i během fáze plnění, v závislosti na procesních podmínkách, kdy tenká vrstva polymeru při kontaktu s chladnou stěnou formy ztuhne a vytvoří pevnou vrstvu. Jestliže máme stěnu, symetricky ochlazovanou na obou površích, ke zborcení v tomto případě nedojde. V důsledku nehomogenně probíhající kontrakce doprovázené strukturální tuhostí při ochlazování však vznikají reziduální napětí. Nejříve se ochladí povrchové oblasti, které tak vytvoří tuhý skelet, zatímco vnitřní oblasti jsou ještě taveninou. Jakmile se jádro ochlazuje, vyvolává svým smrštěním protažení a stlačení již tuhých povrchových vrstev, neboť toto smrštění se nemůže volně realizovat, jelikož mezi jádrem a povrchovými vrstvami je tuhá vazba. Výsledkem je tak dvouosá napjatost. Napjatost na povrchu stěny je uniaxiální tlak, ve střední části tah. Stěna je ve stavu mechanické rovnováhy. (9) Tep-

lotně indukované napětí není závislé jenom na teplotní historii, ale také na tlakovém poli v dutině formy. (15)

Teplotní profil (Obr. 13) vykresluje situaci v součásti. Pro ilustraci je součást po tloušťce rozdělena na osm stejných vrstev. Profil ukazuje teplotu při ztuhnutí sledovaných vrstev (od t1 do t8). Materiál začíná chladnout od vnějších vrstev a zamrzlé rozhraní se posouvá s časem. Tlakový zápis (Obr. 13) vykresluje typickou tlakovou historii; kde P1 až P8 jsou tlakové stupně zamrznutí každé z vrstev. Obecně tlak roste v průběhu plnění formy a dosahuje maxima v počátku dotlaku. Pak dochází k poklesu tlaku z důvodů chlazení a zatuhnutí vtokového ústí. Zamrznutý měrný objem (Obr. 13) je vyneseno v PVT diagramu. Šipky naznačují průběh tlaku pro vrstvu 5. Finální konečné měrné objemy pro všechny vrstvy jsou vyznačeny čísly. (10)

Reziduální napětí deformuje zástřík



Obr. 14 Deformace dílu působením reziduálních napětí. O velikosti reziduálních napětí v plastu svědčí deformace ocelového zástříku tl. 2mm o 0,5mm.

Teplotně indukovaná reziduální napětí při nesymetrickém chlazení

Chlazení dutin vstřikovacích forem je v naprosté většině nesymetrické. (Obr. 9) Je to dáno především technologickými možnostmi při výrobě chladících kanálů, které jsou většinou tvořeny vrtanými děrami podél dutiny formy nebo drážkami po obvodu tvarových vložek. Samotné vložky dutin mají asymetrický tvar. (11-13)

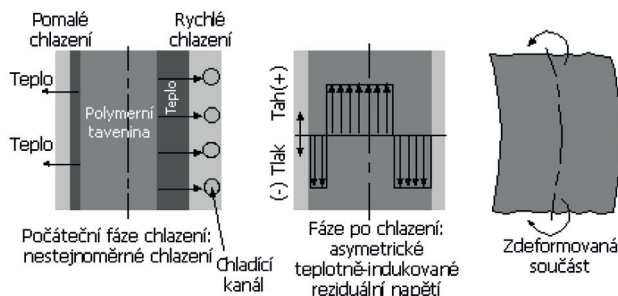
Rozdíly v rychlosti chlazení od stěny formy ke středu součásti může zapříčinit posun teplotně-indukované reziduální napjatosti. Mimoto, asymetrické teplotně indukované reziduální napětí může nastat, pokud rychlost chlazení dvou povrchů je nevyvážená. Takovéto chlazení má za následek asymetrický tlakové – tahový charakter napětí v průřezu součásti. Vyvolaný ohybový moment způsobí prohýbání či zborcení součásti.

Následkem toho jsou součásti s nestejnou tloušťkou nebo špatně chlazené oblasti náchylné k nevyváženému chlazení a tudíž k reziduálnímu teplotnímu napětí. V souhrnu, průběh teplotně indukovaného reziduálního napětí je daleko komplikovanější vzhledem k různým tloušťkám stěn výrobků, chlazení formy a vlivu tvarových vazeb ve formě na volné smrštění. (10)

Viskoelastické chování materiálu



Obr. 15 Viskoelastické chování materiálu. Studený tok (creep) asfaltu na cestě je omezen betonovými, tuhými deskami. Dochází ke vzniku prasklin na hranách působením reziduálních napětí.



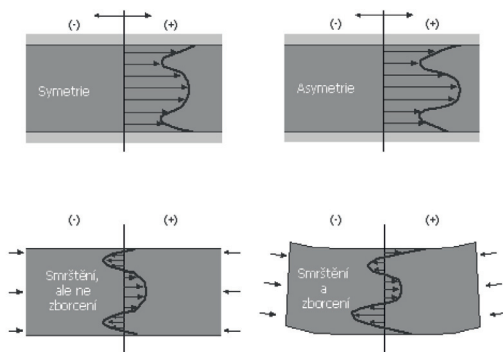
Obr. 16. Reziduální napětí při nesymetrickém chlazení dutiny

Reziduální napětí v dutině formy a po vyhození výstřiku z dutiny

Poté, co je součást vyhozena z formy, vazby v dutině formy jsou uvolněny a součást je volně smršťitelná a deformovatelná. Ustaví se rovnovážný stav. Zbývající napětí v součásti představují procesně-indukovaná reziduální napětí; jednoduše nazývaná reziduální napětí. Tato procesně-indukovaná napětí jsou výsledkem spolupůsobení tokových a teplotních činitelů.

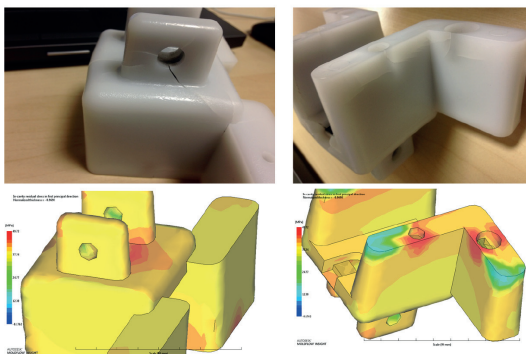
Zatímco součást je stále vázána na dutinu formy, vnitřní napětí, která se akumulují během procesu tuhnutí, se označují jako reziduální napětí dutinová. (Obr. 18) Tato napětí jsou hlavní příčinou postprocesního smrštění a zborcení součásti. (Obr. 14) Dutinová reziduální napětí v součásti zůstávají vázaná do doby vyhození z formy (Obr. 17 horní část) Jakmile je součást z formy vyhozena, vazby dutiny jsou uvolněny a součást se začíná smršťovat a deformovat.

Deformace a smrštění jsou na úkor klesajícího vnitřního napětí, kde je snahou dosažení rovnovážného stavu. Tento stav znamená, že není žádná externí síla namáhající součást. Tlaková a tahová napětí v průřezu součásti dosáhnou rovnovážného stavu. To vede k posunutí profilu reziduálních napětí ve vyhozeném výstřiku. V případě nesymetrického profilu napětí v průřezu dojde k deformaci stěny výstřiku. (10)



Obr. 17. Procesně indukovaná napětí v dutině formy a vyhození z dutiny.

Viskoelastické chování materiálu

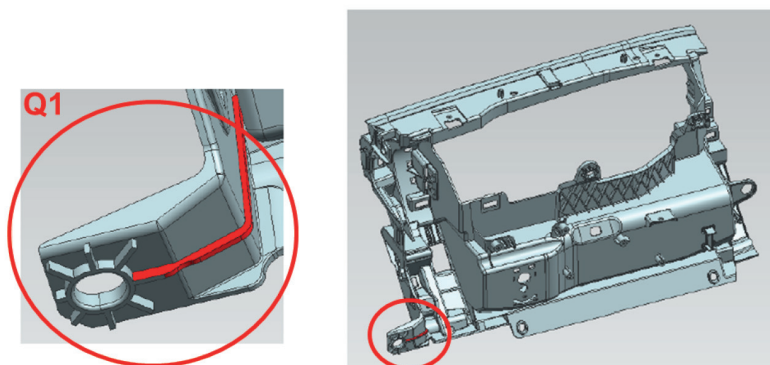


Obr. 18 Praskliny na dílu vstříknutého z PP s ocelovým zástříkem (Obr. 14) způsobené reziduálními napětími a omezenou možností studeného toku zástříkem. Predikce reziduálních napětí v Moldflow

Reziduální napjatost je generována při silovém působení (silami povrchovými a objemovými) nebo deformačním působením na těleso. Vnitřní síly v daném průřezu jsou staticky ekvivalentní s působícími napětími; jejich výslednice v daném průřezu je obecně nenulová. Nemí-li v daném případě splněna podmínka plasticity, jsou tato působící napětí v pružné oblasti. Po odstranění příčiny svého vzniku pak zcela vymizí.

Jinak tomu je, jestliže dojde v průběhu zmíněného působení v tělese (v celém tělese nebo pouze v některých jeho oblastech) ke vzniku pružně plastického stavu. Potom po odstranění původní příčiny vzniku napjatosti – silového, deformačního nebo teplotního působení – zůstanou v tělese jistá zbytková – reziduální napětí. (16) K této situaci dochází právě po vyhození

výstřiku z dutiny formy. Reziduální napětí a jejich změny v důsledku dlouhodobých morfologických změn a teplotních polí mohou způsobovat změny deformací dlouhodobě. Pokud k tomu přidáme ještě viskoelastické chování plastů, jsou rozměry plastového dílu dlouhodobě nestabilní. Tato rozměrová nestabilita závisí na morfologii daného plastu (amorfní, semikrystalický) a obsahu a charakteru plniva. (talek, krátká nebo dlouhá vlákna) (Obr. 19, 20). Výše uvedené změny mohou způsobovat nejen rozměrovou nestabilitu, ale také vznik prasklin, zejména u dílů se zástřiky nebo u dílů s přítomností lunek. (Obr. 6). Ostré hrany na stěnách lukrů, pak vedou k napětovým vrubům a šíření trhlin, podobně jako u příkladu asfaltové cesty. (Obr. 15)



Ref. Nr.: Ref. Nr.: Ref.č.:	Qualitätsmerkmale : Quality features: Znak jakosti	Messmethode: Measurement method: Metoda měření:	Werte Lieferant / Values supplier / Hodnoty dodavatele				Bewertung: Rating: Posouzení:	
			20.3.2014	21.3.2014	25.3.2014	2.4.2014	I.O.	n.I.O.
1	Q1 ± 0,30 mm	Měřicí Panel_000016	1,09	0,68	0,48	0,3	x	
2	Q1 ± 0,30 mm	Měřicí Panel_000016	1,22	0,75	0,52	0,29	x	
3	Q1 ± 0,30 mm	Měřicí Panel_000016	1,14	0,75	0,48	0,27	x	
4	Q1 ± 0,30 mm	Měřicí Panel_000016	1,2	0,71	0,5	0,26	x	
5	Q1 ± 0,30 mm	Měřicí Panel_000016	0,9	0,79	0,45	0,28	x	
6	Q1 ± 0,30 mm	Měřicí Panel_000016	1,08	0,89	0,49	0,23	x	
7	Q1 ± 0,30 mm	Měřicí Panel_000016	1,14	0,97	0,5	0,27	x	
8	Q1 ± 0,30 mm	Měřicí Panel_000016	1,28	0,95	0,55	0,29	x	
9	Q1 ± 0,30 mm	Měřicí Panel_000016	1,27	0,9	0,55	0,25	x	
10	Q1 ± 0,30 mm	Měřicí Panel_000016	1,07	0,97	0,51	0,26	x	

Obr. 20 Změna sledovaného rozměru Q1 u dílu vstřikovaného z PP+20% talku. Po 13 dnech se rozměr dostal do tolerančního pole. Měřeno na speciálním měřicím přípravku.

SMARTPLAST s.r.o.**NABÍZÍME 25 LET ZKUŠENOSTÍ A NEJMODERNĚJŠÍ VÝVOJOVÉ NÁSTROJE**

- Jsme Silver Partner Autodesk Moldflow.
- Provádíme na zakázku analýzy vstřikovacího procesu včetně deformace, smrštění (CRIMS data), chlazení, optimalizace vstřikovacího cyklu. Analýzy 2K vstřikování, deformace zástříku, vstřikování a lisování termosetů a kaučuků, GIT, MuCell, CIM
- Technologické úpravy designu plastových dílů na základě Moldflow analýz a snímků IR kamery
- Pevnostní analýzy plastových dílů v ABAQUS na základě výstupu z Moldflow analýz
- Technologické úpravy forem pomocí Moldflow a IR kamery. Chlazení standartní, RHCT, odporový ohřev forem, indukční ohřev forem, Konformní chlazení. Vše s transientním teplotní pole v jednom i více vstřikovacích cyklech.
- Pevnostní analýzy forem namáhání od tlaku v dutině formy a smrštění vstřikovaného dílu, uzavírací síly.
- Kurzů plastikářské technologie pro technology, projektové managery, designery, seřizovače.

Petr Halaška, SMARTPLAST s.r.o, www.smartplast.cz