

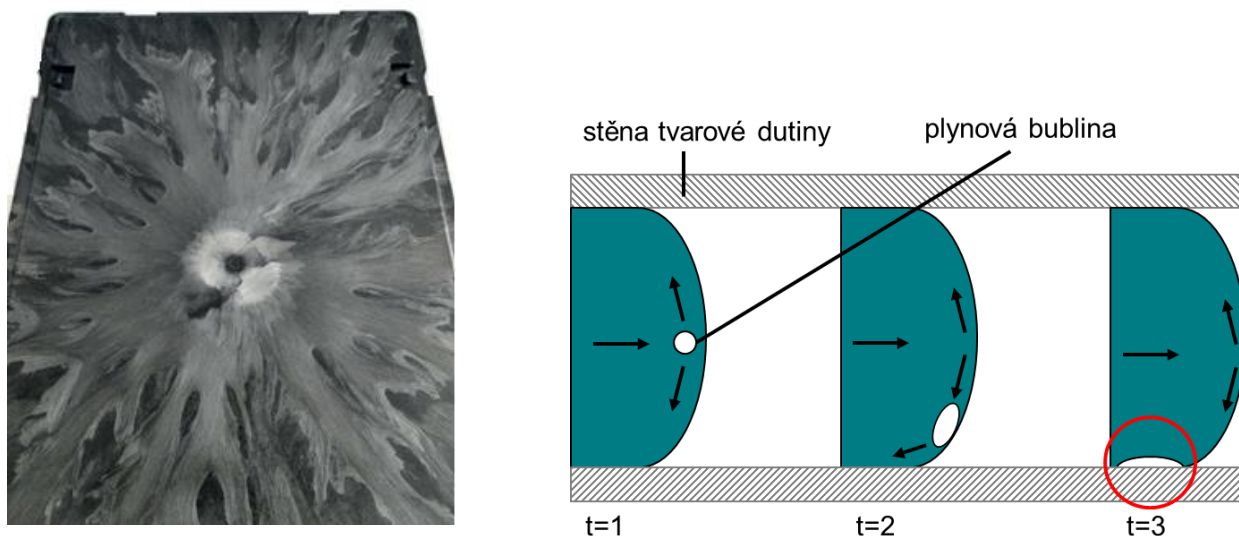
Analýza vstřikování plastových dílů s fyzikálními nebo chemickými nadouvadly

Jiří Gabriel, Plasty Gabriel s.r.o.

Motivace pro výrobu plastových dílů se strukturálně vylehčenými stěnami, pokud možno kompaktními na povrchu a s pěnovou strukturou uvnitř, je vedena těmito důvody:

1. Úspora plastového materiálu (5 % - 15 %),
2. omezení deformace,
3. snížení propadů,
4. snížení uzavírací síly vstřikovacího stroje (snížení strojních nákladů) a
5. zlepšení některých vlastností konstrukce.

Je zřejmé, že důvodů, proč se zajímat o technologii vstřikování pěn, je mnoho. Zároveň však musíme jmenovat základní problém plastových dílů se strukturálně vylehčenými stěnami: ve většině případů vznikají vážné problémy s dodržením přijatelné kvality povrchu – dodržením kvality vzhledu. Běžně se vytváří poměrně výrazné stříbření, případně hrubý, nerovný povrch. Mechanismus vzniku nekvalitního povrchu je vysvětlen na obr. 1. Posoudit kvalitu povrchu a analyzovat výše uvedené body umožňuje evropský simulační software **Cadmould® FOAM**, případně podporovaný systémem **Varimos®**.



Obr. 1: Stříbření na povrchu plastového dílu a mechanismus vzniku nekvalitního povrchu

1. Fyzikální předpoklady vzniku strukturálních pěn

V plastikačním válci vstřikovacího stroje se v tavenině rozpustí plyn případně masterbatch (kompletně nebo částečně) a pod vlivem tlaku, teploty a smykového namáhání se vytvoří jednofázový roztok. Tento roztok obsahuje nukleační zárodky, na jejichž povrchu se zachycují buňky plynu. Nukleační zárodky vznikají tepelně-dynamickou destabilizací jednofázové směsi polymer-plyn. Jako zárodky mohou působit také zbytky ne zcela roztavené části taveniny, rozhraní nečistot nebo povrch zpracovatelského stroje. Především po snížení tlaku v tavenině (ve tvarových dutinách vstřikovací formy) dochází k růstu plynových bublin difuzí rozpuštěného plynu do buněk plynu na zárodečných místech. K postupné stabilizaci vznikající struktury návazně přispívá pokles teploty taveniny při současném nárůstu její viskozity, na kterém se podílí také vlastní difundující plyn. Narůstající viskozitu ovlivňuje rovněž prodloužení buněčných stěn. Na druhé straně se současně vyvíjejí destabilizační efekty, např. trhání buněčných stěn.

2. Fyzikální a chemická nadouvadla – simulace vytváření a růstu bublin

Fyzikální pěny

Nadouvadlo - ve většině případů se jedná o dusík nebo kysličník uhličitý - je v plastikačním válci zamícháno v nadkritickém stavu do polymerní taveniny. Pro zpracování simulačních výpočtů je potřebné zadat druh nadouvadla a podíl plynu. Ostatní parametry – difúzní hodnoty, počet zárodků, standardní dotlak – jsou předvolené softwarem s možností jejich úprav.

K nejčastěji používaným technologiím, zaměřeným na výrobu strukturálních pěn, patří Mucell® (Trexel Inc., USA), Ergocell® (Sumitomo (SHI) DEMAG Plastics Machinery GmbH, Deutschland), Optifoam® (Sulzer Chemtech AG, Schweiz) a další.

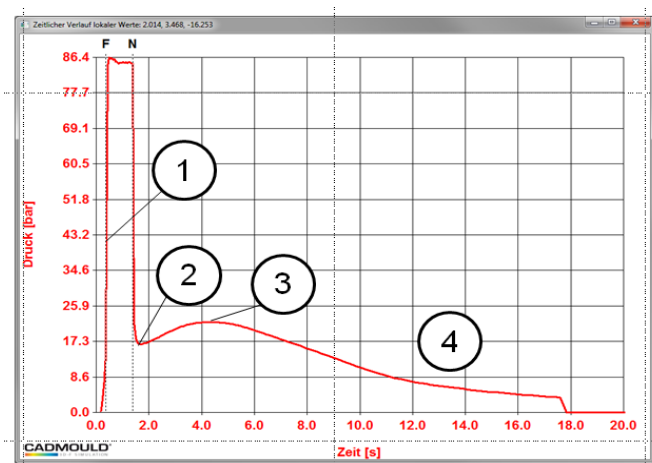
Chemické pěny

Jedná se o organické a anorganické látky, které se nad určitou teplotou rozkládají a uvolňují plynné složky. Vzhledem k tlaku, který existuje v plastikační jednotce, zůstane nejprve plyn rozpuštěný v polymerní tavenině. Při chemické reakci nemusí však vznikat pouze plyn, ale i další látky chemického rozkladu. Např. při rozkladu chemického nadouvadla Hydrocerol® ITP 815 vzniká $2\text{NaC}_6\text{H}_5\text{O}_7 + 3\text{NaBO}_2 + 6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2$, přičemž jako nadouvadlo působí pouze kysličník uhličitý a vodík.

Pro simulační výpočty se zadávají prakticky shodné parametry jako v případě fyzikálních nadouvadla.

3. Technologie vstřikování

K významným technologickým parametrům při vstřikování s nadouvadly patří dotlak. Standardně se používá krátký (např. 0.5 s) a ne příliš vysoký. Klasická tlaková křivka je ukázána na obr. 2.



1. Tlak naroste na konci plnění a začátku dotlaku.
2. Na konci dotlaku poklesne tlak na úroveň vytvořenou plynem.
3. Plyn difunduje do bublin a zvýší tlak.
4. Během ochlazování tlak opět klesá.

Obr. 2: Obvyklý tlakový profil při vstřikování plastových dílů s nadouvadly

4. Specifické výsledky

Simulační výsledky, které se vztahují ke specifickým výstupům z analýzy FOAM, jsou následující:

a) Výsledky vztahující se k fázi plnění a dotlaku:

- hmotnostní podíl plynu uvnitř [%]
- měrná hmotnost uvnitř [g/cm^3], obr. 3
- poloměr bublin uvnitř [mm]

b) Výsledky, u kterých závěrečné hodnoty jsou stanoveny pro konec doby chlazení:

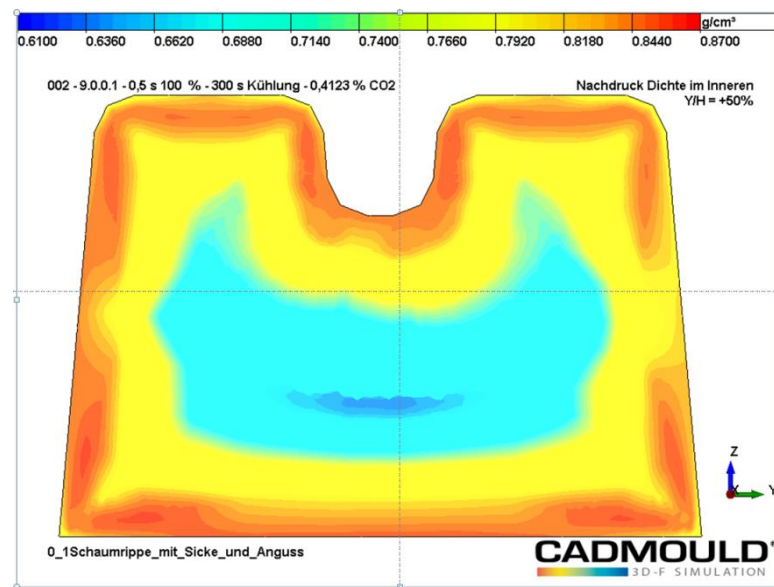
- střední měrná hmotnost [g/cm^3]
- podíl plynu [%]

K dispozici jsou samozřejmě také všechny „klasické“ výsledky od analýzy průběhu plnění po výpočet smrštění a deformace.

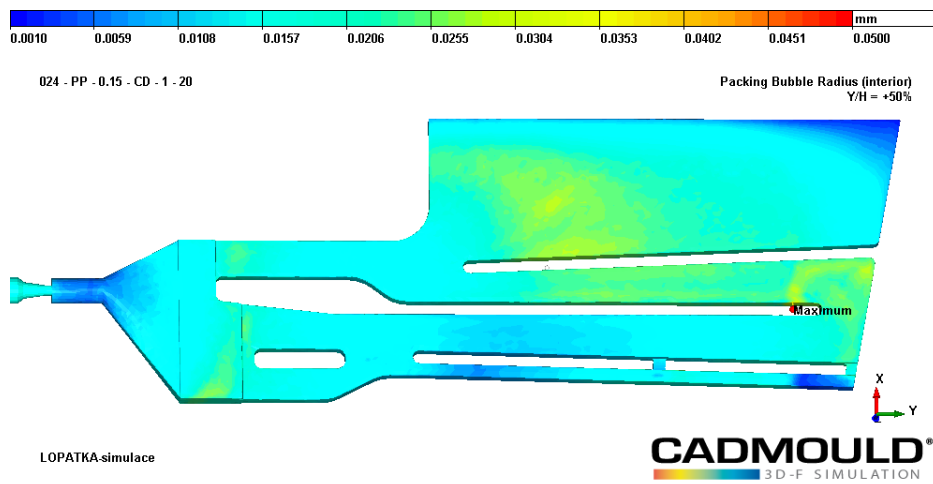
5. Optimalizace kvality povrchu plastových dílů se strukturálně vypěněnými stěnami s využitím softwaru VARIMOS® Virtual

Kvalita povrchu plastových dílů se strukturálně vypěněnými stěnami je závislá na poloměru bublin vyskytujících se na povrchu resp. v povrchové vrstvě. Platí pravidlo, že poloměr bublin by měl být menší než 0,1 mm, optimálně do 0,05 mm. Do simulačního výpočtu můžeme zadat kvalitativní znak poloměr

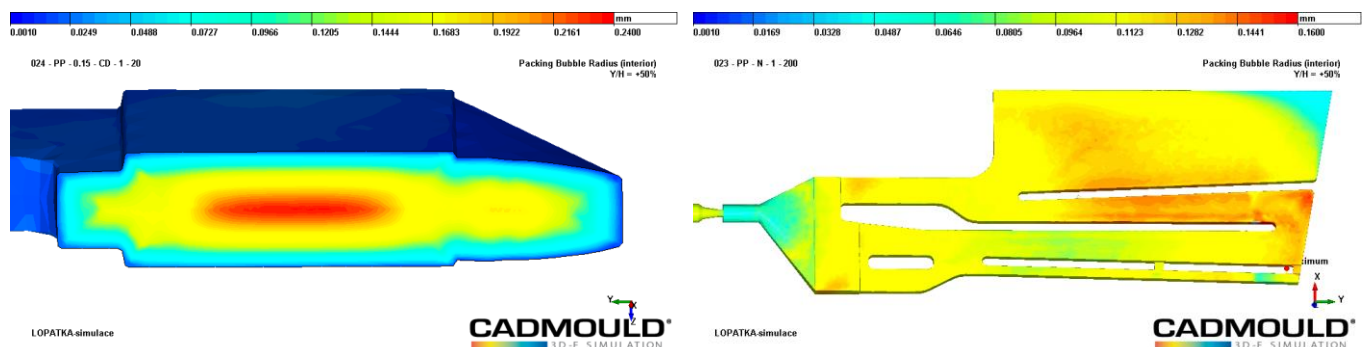
bublin a rozsah parametrů, které mohou být použity při technologii vstřikování: hraniční hodnoty technologických parametrů a rozpětí obsahu masterbatche (nadouvadla). Software VARIMOS® Virtual po zpracování výpočtu automaticky navrhne nejlepší možnou technologii vstřikování a nejvhodnější obsah nadouvadla. Příklad některých simulačních výsledků vidíte na obr. 4.



Obr. 3: Měrná hmotnost ke konci doby dotlaku



konstrukce testovací lopatky:
LANIK s.r.o.



Obr. 4: Poloměr bublin v povrchové vrstvě a po tloušťce stěny na konci doby chlazení:

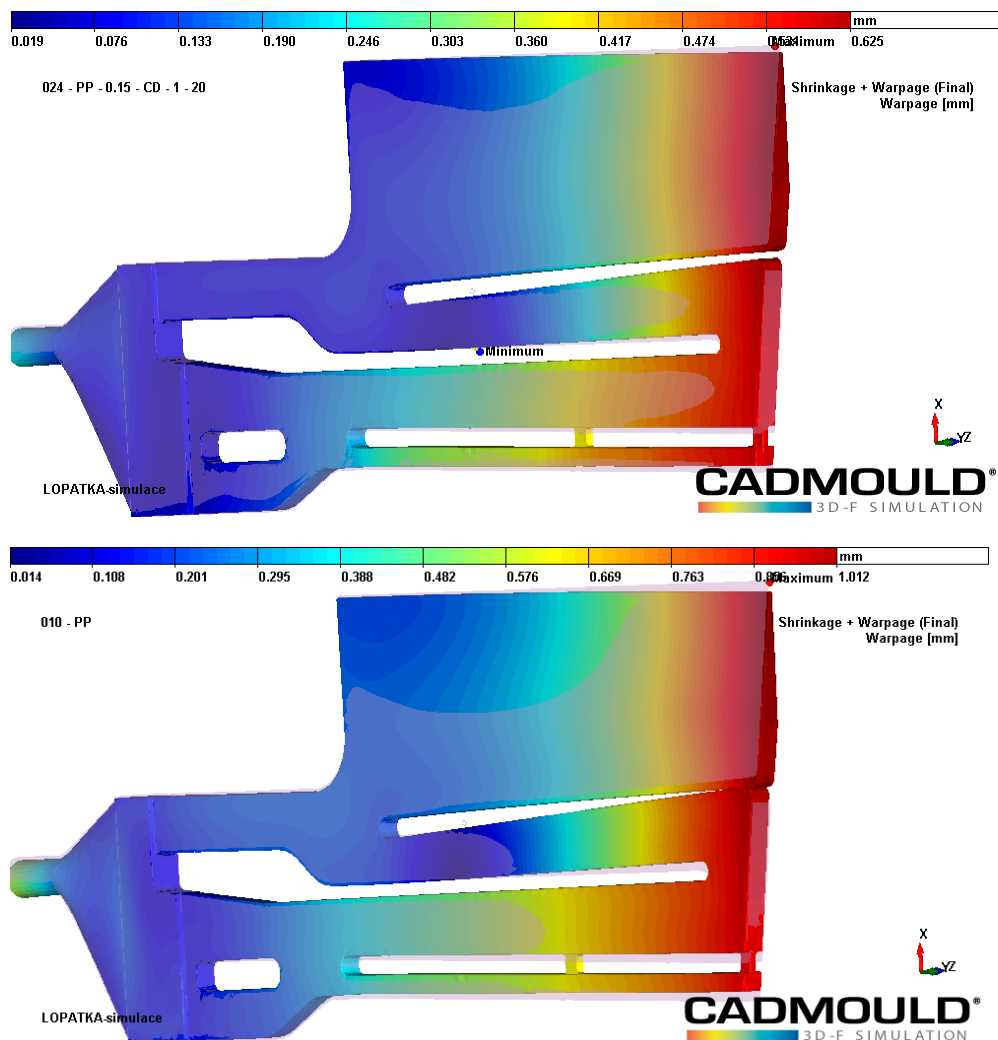
- Rozptyl poloměru bublin v povrchové vrstvě 0 – 0,05 mm předpovídá kvalitní povrch dílu, horní obrázek,
- Poloměr bublin po tloušťce stěny (rozptyl 0 – 0,24 mm), spodní obrázek vlevo
- Rozptyl poloměru bublin v povrchové vrstvě 0,04 – 0,16 mm předpovídá místy hrubý povrch dílu, spodní obrázek vpravo

6. Porovnání deformace testovací lopatky (konstrukce LANIK s.r.o.) vyrobené z kompaktního PP a z PP s nadouvadlem

V obou případech byl použit PP Hostacom PPU X9067HS. U lehčeného dílu bylo zvoleno fyzikální nadouvadlo CO₂ ve váhovém množství 0,15 %.

Ostatní základní technologie: doba plnění 2.2 s, teplota taveniny 240°C, doba a velikost dotlaku pro „kompakt“ 14.5 s resp. 400 barů, doba a velikost dotlaku při vstřikování s nadouvadlem 1 s resp. 200 barů, doba cyklu 44 s, teplota temperační vody 44°C.

Porovnání celkové redukované deformace dokládá obr. 5. Je patrné, že použitím nadouvadla se snížila deformace o cca 38 %.



Obr. 5: Redukovaná deformace plastové konstrukce s nadouvadlem (nahore) a redukovaná deformace stejného dílu bez použití nadouvadla (dole)

7. Shrnutí

Hlavními přínosy konstrukcí se strukturálně vylehčenými stěnami jsou úspora polymerního materiálu, snížení potřebné přídržné síly vstřikovacího stroje, zmenšení propadů a snížení deformace výrobku, někdy možnost zkrácení doby vstřikovacího cyklu. Na druhé straně přibývá vzhledových problémů a rovněž je potřebné uvážit mechanické vlastnosti plastových dílů s nadouvadly. Aplikační škála možných uplatnění dílů s nadouvadly je přes zmíněné problémy značně široká: od některých dílů automobilového průmyslu až po výrobu částí hraček.

Výrazným pomocníkem od návrhu konstrukce dílů s nadouvadly až po nalezení vhodné vstřikovací technologie je bezesporu simulační analýza Cadmould® FOAM, která za pomoci dalších výpočetních modulů Cadmould® příp. systému Varimos®, pomůže nalézt optimální řešení výroby.