INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Název projektu: **Automatizace výrobních procesů ve strojírenství a řemeslech**
Registrační číslo: **CZ.1.07/1.1.30/01.0038**
Příjemce: SPŠ strojnická a SOŠ profesora Švejcara Plzeň

Monitorovací indikátor: **06.43.10 Počet nově vytvořených/inovovaných produktů**

Akce: **Přednáška, KA 5** Číslo přednášky: **25**

Téma: **PROCES VÝVOJE VSTŘIKOVANÉHO DÍLU**

Lektor: **Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.**

Třída/y: **3MS**

Datum konání: **13. 3. 2014**

Místo konání: **malá aula**

Čas: **4. a 5. hodina**; od 10:55 do 12:35

## Navrhování výrobků z plastů

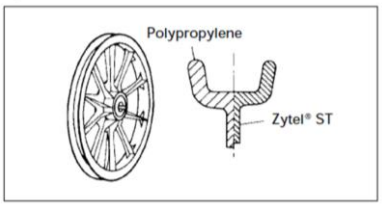
### Základy pevnostních výpočtů

Pevnostní výpočty jsou prvotním počinem při výběru materiálu (obr.1). Výpočty plastových dílů jsou založeny na viskoelastickém chování polymerů. Jsou závislé na teplotě a času. Jednoduché výpočty využívají teorie lineární pružnosti a lineární viskoelasticity. Teorie pro tento výpočet platí pouze pro oblast zatěžování, kde je modul pružnosti závislí pouze na teplotě a čase tj. oblast přímého průběhu závislosti σ - ε. Při přesných výpočtech je třeba uvažovat závislost modulu pružnosti na velikosti působícího napětí a chování polymerů je nelineárně viskoelastické.

Pro praktické účely se používá Hookův zákon:

$\sigma = \varepsilon \cdot E_K$

kde σ je působící napětí [MPa], ε je celkové prodloužení [%] a $E_K$ konstrukční modul pružnosti [MPa].




| | Zytel® ST | Polypropylene |
|---|---|---|
| Wheel Weight | 0.91 kg/2 lb | 1.05 kg/2.32 lb |
| Resin Price (per kg/lb) | $4.12/$1.87 | $1.76/$0.80 |
| Resin Cost per Wheel | $3.73 | $1.86 |

Obr. 1. Porovnání materiálů při návrhu plastového dílu



Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

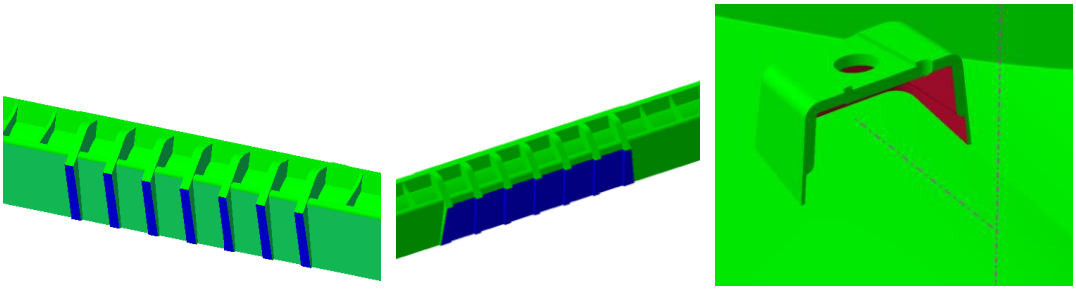
Název projektu: **Automatizace výrobních procesů ve strojírenství a řemeslech**
Registrační číslo: **CZ.1.07/1.1.30/01.0038**
Příjemce: SPŠ strojnická a SOŠ profesora Švejcara Plzeň

**Konstrukce vstřikovaných dílů musí splňovat:**

1) Funkci plastového dílu v daném zařízení, užitné, estetické, ergonomické a bezpečnostní hledisko.
2) Zásady vyrobitelnosti:
   a) Zaformovatelnost.
   b) Konstrukční zásady - optimální tloušťka stěn, žeber, nálitky, rádiusů.
   c) Výrobní úkosy.
   d) Tvary stěn z pohledu jejich možnosti deformací, s pohledu využití amorfních nebo semikrystalických plastů.
   e) Tolerance výlisků z pohledu technologických možností dané technologie.

**Zaformovatelnost**

Určení ploch pro dělení formy. Dělící rovina je rovina, kde dosedá jedna část formy na druhou – tvárník na tvárnici. Musí být jasné umístění výrobku ve formě, způsob a umístění vyhazovačů, umístění a volba vtokové soustavy, atd. Musí být volena co nejjednodušší a musí umožňovat vyjímaní výrobku. Je většinou kolmá na směr vstřikování (lisování) – hlavní DR. Vedlejší DR (obr. 2) bývají většinou kolmé na hlavní DR a jsou v místech zálisků, podkosů, otvorů, apod. Ve všech DR mohou při špatném zaformování vzniknout přetoky resp. stopy na výrobku. Tvar výrobku se má volit tak, aby bylo zapotřebí, co nejméně DR. Složité DR prodražují výrobu. Při konstrukci DR se musí zohlednit možnost budoucí optimalizace, tedy především klipy či dosedací plochy konstruovat tak, aby bylo možné provést dodatečnou modifikaci při minimálních finančních nákladech.



Obr. 2. Označení dělících ploch



Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

**Tloušťka stěn**

Tloušťka stěny musí splňovat požadavek funkční to je pevnost a tuhost. Tuhost je spolu s pevností závislá na volbě materiálu plastu a na tloušťce stěny. Musí splňovat požadavek vyrobitelnosti z hlediska tečení plastu. Tato charakteristika je dána pro každý typ plastu poměrem: délka tečení/tloušťka stěny a je udávána výrobcem.

Tabulka 1

| Plast | Min. tloušťka stěny (mm) | Doporučená tloušťka stěny (mm) | Max. tloušťka stěny (mm) |
|---|---|---|---|
| 1PE | 0,50 | 1,60 | 6,30 |
| rPE | 0,90 | 1,60 | 6,30 |
| PP | 0,60 | 2,00 | 7,60 |
| PS | 0,80 | 1,60 | 6,30 |
| SAN | 0,80 | 1,60 | 6,30 |
| ABS | 0,80 | 2,30 | 3,20 |
| PA | 0,40 | 1,60 | 3,20 |
| PC | 1,00 | 2,70 | 9,50 |
| POM | 0,80 | 2,00 | 9,50 |
| PVC | 1,00 | 2,40 | 9,50 |
| PUR | 0,60 | 12,70 | 38,0 |

Tloušťka stěny by měla být pokud možno minimální, aby se omezila možnost vzniku propadlin a staženin. Aby se snížil časový rozdíl mezi chladnutím povrchu a jádra stěny, aby se snížila spotřeba materiálu a aby se zkrátila doba chlazení ve formě. U menších výrobků je přípustnější menší tloušťka stěny nežli u rozměrných výrobků.

Po celou dobu konstrukce plastového dílu by měla být zachována stejná tloušťka stěn na celém modelu. Jakákoliv změnou tloušťky stěny by mohlo dojít ke vzniku problémů, jako je například propad povrchu, nepředvídatelná smrštění, vznik vnitřních vzduchových kapes,


Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

vzniká víření taveniny, nerovnoměrná orientace makromolekul. Pokud už musí dojít ke změně tloušťky stěny, měla by být tato změna plynulá, aby umožňovala hladký průtok materiálu bez vytváření míst s vnitřním pnutím.

**Konstrukce žeber**

Žebra se u plastových dílů používají hlavně pro zvýšení pevnosti a tuhosti dílu (obr. 3), k odstranění nežádoucích deformaci po zchlazení výstřiku. Konstruktéři při jejich konstrukci postupují podle standardních metod. Pokud je to možné tak by nemělo docházet ke kombinaci tlustých a tenkých žeber.

Konstrukční zásady:

- Tloušťka žeber by neměla být mezi 50 – 75% tloušťky stěn

-Pro zvýšení pevnosti je lepší zvýšit počet žeber než jejich šířku. Maximální výška by neměla být větší než 3 násobek tloušťky stěny.

- Vzdálenost mezi žebry by měla být dvojnásobkem nominální tloušťky stěny.

- Poloměr zaoblení hran by neměl být větší než 50% tloušťky stěny.

-Nejvhodnější způsob žebrovaní je křížení žeber (pokud to design dovoluje), umožňuje větší počet opakovaného zatížení a zajišťuje jeho rovnoměrné rozložení.

Při nedodržení zásad konstrukce žeber může dojít ke vzniku lunkrů, k rozměrovým změnám a na zadní straně se může objevit rýha díky nahromaděnému materiálu v místě žebra. Lze tomu předejít vytvořením drážky, výstupu nebo rýhováním. Dále můžeme využít desénových zlomů či zaoblení.

<u>Žebra rozdělujeme dle použití na</u>:

1) Technická - vyztužují a zvyšují pevnost.
2) Technologická – proti deformacím a borceni stěn vlivem vnitřního pnutí, zakrýt povrchové vady.
3) Ozdobná – zlepšení vzhledu ploch.

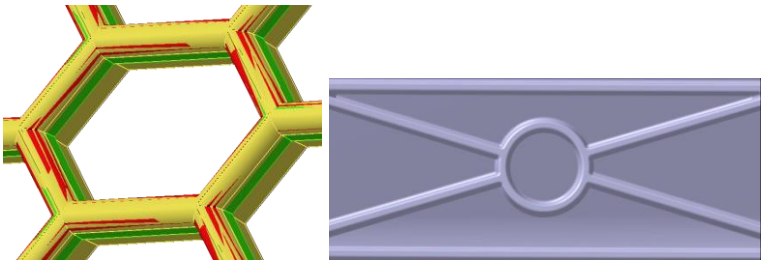
<u>Rozdělení žeber dle konstrukce:</u>

1) Jednoduché žebrování

- Rovnoběžné – zvyšuje tuhost v ohybu v jednom směru.
- Diagonální - zvyšuje tuhost v ohybu a kroucení.

2)Křížové žebrování - značné zvýšení tuhosti v ohybu a kroucení

- Rovnoběžné s bočními stěnami.
- Diagonální se sloupkem pro šroub.
- Přesazené mřížkové s minimálním hromaděním materiálu a minimálním pnutím v místě styku (nákladná výroba nástroje).



Obr. 3. Ukázka konstrukce žeber

**Konstrukce zaoblení a rádiusu**

Abychom dosáhli lepšího proudění taveniny, je lepší používat oblé tvary. Čím větší je rádius zaoblení, tím menší jsou hydraulické odpory proti průtoku materiálu a tím menší je kontrakce napětí v místě ohybu. Stěna musí mít stejnou tloušťku v místě zakřivení. To platí i při spojování dvou stěn. Zaoblení zlepšuje jakost, pevnost a odolnost proti nárazům. Snižuje možnost prasknutí a vnitřní pnutí. Zároveň zaoblení usnadňuje výrobu forem.

Vnější rádius zaoblení stěny bývá o tloušťku stěny větší, nežli vnitřní rádius, tím má stěna v celém průběhu zakřivení stejný průřez. Minimální rádius zaoblení stěny má být asi jedna čtvrtina tloušťky stěny.

Zaoblení by mělo být provedeno jak na vnější tak na vnitřní stěně a poloměr zaoblení by měl být ¼ až ¾ tloušťky stěny v daném místě. Další zvětšování poloměrů již nemá význam.

U vnitřních hran, rohů a koutů je důležitější zaoblení, protože snižuje tření a víření taveniny a zvyšuje pevnost. Poloměr zaoblení by měl vzrůstat s výškou výlisku.



Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

**Ostré rohy na výlisku**

Ostré hrany, vnější ostré hrany, se navrhují tam, kde stěna výstřiku končí v dělící rovině formy. V běžných případech bývá úhel hrany 90°. Ostatní vnější hrany mají být z bezpečnostních důvodů (nebezpečí říznutí) zaobleny rádiusem minimálně 0,3 mm. Vnitřní hrany se zaoblují vždy, a to rádiusem minimálně rovným jedné čtvrtině tloušťky stěny.

**Konstrukce úkosů**

Pro jednodušší vyjmutí dílu z formy se používají úkosy, které jsou rovnoběžné se směrem otvírání formy. Doporučené úkosy jsou pro vnitřní stěnu $1^0$ až $2^0$ a pro vnější stěnu $0{,}5^0$ až $1^0$. Úkosy se také mohou lišit, zda je povrch drénovaný nebo ne. Pro povrchy bez dezénu platí uvedené hodnoty. Pro výrobky s dezénem platí, že na každý $1^0$ výrobního úkosu může být hloubka dezénu max. 0,02 mm.

**Konstrukce úchytů**

Úchyty jsou jednou ze základních komponent při návrhu plastového dílu. Jednak zvyšují pevnostní kvalitu plastu a také slouží jako spojovací element při tvorbě sestavy. Podobně jako u žeber, i u konstrukce úchytů je třeba zvažovat tloušťku jejich stěn. Následující pravidla pomáhají se vyhnout povrchovým nedokonalostem, jako jsou vnitřní kapsy, známky poklesu povrchu a nepředvídatelná smrštění. Tloušťka úchytu by měla být 60% nominální tloušťky stěny. Je-li tloušťka stěny dílu větší než 4 mm, tloušťka úchytu by neměla přesáhnout 40% této nominální tloušťky. Výška úchytu by neměla být větší než je 2,5 násobek průměru díry úchytu. Úchyty v rozích, včleněné do stěn, způsobí zhutnění materiálu.

**Vstřikování plastových dílů**

Vstřikování plastů probíhá při stanovených technologických podmínkách. Vstřikované množství plastů i potřebné síly pro dopravu taveniny do vstřikovací formy a její bezporuchovou funkci, při stanovené technologii, zajišťuje vstřikovací stroj. Forma, která má těmto požadavkům vyhovovat, musí být s ohledem na tyto podmínky dimenzována.



Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

Z technologických výpočtů a na základě zkušeností se stanoví technologické podmínky vstřikovacího stroje, tak i rozměry formy.

Kontroluje se:

Množství taveniny, která se přivede do formy (vstřikovací kapacita) spolu s plastikačním výkonem stroje.

Velikost uzavírací síly.

Dostatečná konstrukční tuhost formy v kritických místech od sil vyvolaných vstřikovacím i uzavíracím tlakem stroje.

## Vstřikovací formy

### Vtokové systémy forem

Vtoková soustava zajišťuje dopravu taveniny z plastifikační komory do dutiny formy.

Ústí vtoku by mělo být navrženo tak, aby umožnilo maximální dobu působení dotlaku k vyrovnání objemové kontrakce v dutině formy.

Vtok do dutiny formy by měl být konstruován tak, aby byl nejtlustším místě výlisku. Pokud by bylo použito nadouvadlo měl by vtok směřovat do nejslabšího místa.

### Rozváděcí kanály

Rozváděcí kanály by měly mít co nejmenší poměr obvodu kanálu vůči ploše kanálu. Díky tomu je zaručen nejmenší hydraulický odpor v kanálu při průtoku taveniny.

Pokud je použita vícenásobná forma musí být dodrženo odstupňování jednotlivých vtokových kanálů už od hlavního vtoku. Vtokové kanály by měly být co nejkratší pokud možno stejně dlouhé pro všechny dutiny formy. Díky tomu budou všude stejné tlakové podmínky.

### Zásady pro umístění vtoků

Počet a rozmístění vtoků je důležitý pro zatečení taveniny do dutiny formy.



Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

Nevstřikovat do míst na výlisku, kde při provozu dílu je největší napětí. Tedy kde působí největší síly, kroutící a ohybové momenty. Vzhledem ke koncentraci pnutí jsou místa vtoku vždy nejslabšími místy výlisku.

**Odvzdušnění vstřikovacích forem**

Pokud plníme formu, musíme zajistit odvod vzduchu, který je v dutině formy obsažen. Rychlost odvzdušňovaní je závislá na rychlosti plnění formy plastem. Doba plnění má vliv na vlastnosti plastového výstřiku a proto jí nelze přizpůsobovat potřebám resp. chybám v odvzdušňování.

Pokud nebude moci vzduch z dutiny formy uniknout, dojde:

a) k zatlačení vzduch do výlisku, při větších tloušťkách stěny,
b) ke spálení materiálu tzv. Dieselův efekt.

Správné umístění odvzdušnění lze určit ze zkušenosti konstruktéra nebo u komplikovaných výstřiků s více vtoky je nutno zajistit odvzdušnění pomocí simulačních metod a analýz plnění. Dodatečné odvzdušnění lze řešit vložkami, mikrootvory nebo vyhazovacím otvorem.

**Studené spoje**

Vznikají spojením dvou proudů taveniny. Například spojením proudů taveniny vlivem více vtoků, vlivem hydraulických odporů v rozdílných tloušťkách stěn apod. Studený spoj může vzniknout vlivem překážky proudu taveniny. Většinou jde studený spoj kombinací s uzavřeným vzduchem. Tyto studené spoje způsobují nejen snížení mechanických vlastností dílů, ale i nežádoucí vzhledové vady.

Z technologického hlediska je lze částečné eliminovat zvýšením teploty taveniny, vstřikovací rychlosti včetně zvýšení teploty formy a odvzdušněním prostory mezi toky taveniny.

**Smrštění**

Je to objemová změna při tuhnutí polymerních tavenin, jejichž základní příčinou je

stlačitelnost, tepelná rozpínavost a kontrakce plastů, u částečně krystalických plastů ještě přistupují krystalizační změny. Jedny ze základních podmínek, které jsou kladeny na výstřik je, že výstřik musí mít požadované rozměry, definovanou jmenovitou hodnotou a tolerancemi, jak rozměrovými, tak i tolerancemi tvaru a polohy. Dutina formy by měla být upravena v místě smrštění a v daném místě by měla být zvětšena. Tento požadavek se ale v praxi těžko realizuje. Důvodem je že na výsledné smrštění působí velké množství faktorů. Mezi, které počítáme výrobní tlaky, teploty, časy, typ a vlastnosti zpracovávaného termoplastu amorfní, částečně krystalické materiály, plněné, neplněné plasty, druh a obsah plniva konstrukce výstřiků, resp. formy zejména tloušťka stěn výstřiku, tvary ovlivňující smrštění apod.

**Temperace forem**

Uspořádaní forem a dimenzováni systému ve formě má vliv na vlastnosti výstřiku, jeho deformace a na dosažení doby chlazení. Ačkoliv je tento požadavek znám, neexistuje přesné teoretické a konstrukční řešení jak optimálně, při značné variabilitě tvaru plastového dílu a materiálů, takový systém navrhnout. Je tedy dobré mít aspoň teoretické znalosti, které povedou aspoň k optimalizaci řešení. Nejlepší a nejvhodnějším prostředkem jak najit vhodně navrhnout formu je za použití simulačních analýz vstřikovacího procesu.

Pomocí simulace můžeme zjistit, zda navržená temperanční soustava respektuje požadavek na chladnutí taveniny po celém výstřiku. Je to jeden ze základních požadavků na dosažení kvalitního výstřiku. A to je minimalizace deformací, pnutí, rozdílů smrštění, povrchové kvality, vzhledu, případně jiných anizotropií souvisejících s použitým typem plastu a tvarem výlisku.

teplotní nestabilita se projeví hlavně při přerušení výroby nejen mezi cykly po vyhození výlisku a novým nástřikem. Také bychom měli používat izolační desky pod upínací deskou stroje. Hlavně u vyhřívaných vtokových soustav, které vyžadují z pohledu dosažení příslušných vlastností vyšší teploty forem.



Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky