

Vývoj geometrie pro spojování plastových dílů

Bc. Jan Šulák

Diplomová práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan ŠULÁK**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Vývoj geometrie pro spojování plastových dílů**

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte literární studii na dané téma
- 2) Provedte návrh geometrie spoje
- 3) Ověřte návrh simulací
- 4) Provedte praktické zkoušky
- 5) Vyhodnoťte výsledky

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle zadání vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

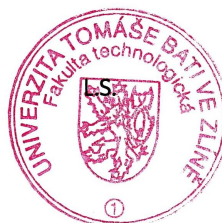
13. února 2007

Termín odevzdání diplomové práce:

25. května 2007

Ve Zlíně dne 29. ledna 2007


prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem spojovací geometrie použité pro spojení hydraulického konektoru a příruby palivového modulu, který je vyráběn ve firmě Robert Bosch České Budějovice. Komplet příruby pak je vyroben obstříknutím hydraulického konektoru.

Navržená spojovací geometrie musí zajišťovat pevný a těsný spoj po celou dobu životnosti tohoto modulu. Příruba a konektor jsou vyráběny z rozdílných granulátů POM, pro přírubu je použit konvenční granulát POM, konektor je pak vyroben z elektrostaticky vodivého nebo tepelně stabilizovaného POM.

Cílem diplomové práce je provedení literární studie, navržení spojovací geometrie a otestování spoje. Součástí diplomové práce je i analýza vstřikovacího procesu.

Klíčová slova: vstřikování, spojování plastů, POM, insert moulding

ABSTRACT

This master thesis deals with the design of a joining geometry, which is used for connecting of a hydraulic connector and a fuel module flange, which is made by Robert Bosch České Budějovice. The flange set is made by insert moulding technology.

This geometry has to provide tough and tight joint for all lifetime of the fuel module. Flange and connector are made from different POM granulates, the flange is made from a conventional POM and the connector is made from an antistatic or temperature stabilized POM.

The goal of this master thesis is to perform a literary work, to design of the joining geometry, to put the joint to the tests. An analysis of moulding process is component of the master thesis too.

Keywords: injection moulding, joining of plastics, POM, insert moulding

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou děkuji svému vedoucímu diplomové práce, Ing. Michalu Staňkovi, PhD., za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady a soustavnou pozornost, kterou mi věnoval při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat mému vedoucímu vrámci pobytu ve firmě Robert Bosch České budějovice Ing. Martinu Kryštofovi a Ing. Václavu Štrauzovi, pracovníkům technologického oddělení firmy Robert Bosch České budějovice.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 25. května 2007

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY	11
1.1 VÝROBNÍ METODY	11
1.2 TYPY PLASTŮ	13
1.3 POM (POLYOXYMETHYLEN).....	14
1.3.1 Fyzikální vlastnosti.....	17
1.3.2 Chemické vlastnosti	19
1.3.3 Zpracování.....	19
1.3.4 Typické aplikace	20
2 VSTŘIKOVÁNÍ	21
2.1 ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ VSTŘIKOVÁNÍM.....	21
2.2 PŘÍPRAVA PLASTŮ	21
2.2.1 Sušení.....	21
2.3 ZPRACOVATELSKÉ PODMÍNKY PLASTŮ	22
2.4 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	22
2.4.1 Vstřikovací jednotka	23
2.4.2 Uzavírací jednotka	24
2.4.3 Řídící jednotka.....	25
2.5 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	25
3 KONSTRUKCE VÝSTŘÍKŮ	27
3.1 NÁVRH SOUČÁSTI.....	27
3.2 VLIVY NA JAKOST PLASTOVÝCH SOUČÁSTÍ.....	27
3.2.1 Hlavní činitele ovlivňující jakost	27
3.3 ZÁSADY TVAROVÉHO ŘEŠENÍ VÝSTŘÍKŮ	28
3.4 TECHNOLOGIE VÍCE KOMPONENTNÍCH DÍLŮ.....	30
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	31
4.1 POSTUP PŘI KONSTRUKCI FOREM.....	32
4.2 VTOKOVÉ SYSTÉMY.....	32
4.2.1 Rozvodný systém.....	33
4.2.2 Vtokové ústí	33
4.3 VYHAZOVACÍ SYSTÉMY.....	33
4.4 VŠEOBECNÉ ZÁSADY PRO VYHAZOVÁNÍ.....	35
4.4.1 Kolíkové a válcové vyhazovače.....	36
4.4.2 Vyhazování stírací deskou	36
4.4.3 Pneumatické vyhazování	36

4.5	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	37
4.5.1	Odvzdušnění dělicí roviny	38
4.5.2	Odvzdušnění rozvodných kanálů	40
4.6	TEMPERACE.....	41
4.7	ÚDRŽBA.....	41
5	SPOJOVÁNÍ PLASTOVÝCH DÍLŮ	42
5.1	LEPENÍ.....	42
5.2	SVAŘOVÁNÍ.....	45
5.2.1	Svařování horkou deskou:.....	45
5.2.2	Svařování horkým plynem:.....	47
5.2.3	Elektromagnetické svařování:.....	48
5.3	SPOJOVACÍ SOUČÁSTI.....	50
5.3.1	Samořezné šrouby a zalisovací kolíky	50
5.3.2	Závitové vložky:	53
5.4	PRUŽNÝ SPOJ	54
5.5	INSERT MOULDIG.....	56
5.6	VÍCEKOMPONENTNÍ VSTŘIKOVÁNÍ.....	57
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	59
6	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	64
	SEZNAM TABULEK	66
	SEZNAM PŘÍLOH	67

ÚVOD

Lidská činnost je odnepaměti doprovázená touhou objevovat a chápat nové věci stejně jako snahou o zdokonalování věcí stávajících. Bez tohoto by lidstvo zcela jistě nebylo na dnešní technické úrovni. Touha po poznání ovšem není jediným motivem, nedílnou součástí každého výzkumu či vývoje je snaha o dosažení hmotného zisku. Již od počátků průmyslové výroby jsou uplatňovány snahy o optimalizaci výrobního procesu, zvyšování produktivity a minimalizaci nákladů. Toho lze dosáhnout jedině zaváděním nových technologií a materiálů.

Zpracovávání plastů je registrováno již od poloviny devatenáctého století. Za nejvýznamnější rozvoj lze považovat období krátce před první světovou válkou, kdy probíhalo studium chemických reakcí, při kterých došlo k objevování nových plastů nebo modifikací stávajících. Po druhé světové válce došlo k prudkému nárůstu používání a zpracování plastů v různých průmyslových odvětvích, zejména to byl průmysl strojírenský, textilní, potravinářský, zdravotnický a elektrotechnický. Nové objevy a postupy otevřely v průběhu minulého století dveře pro zcela nové trendy v technologii zpracování plastů a pro jejich následné aplikace. Tento obor se těší velké perspektivě, neboť použití plastů je výhodné jak z hlediska jeho vlastností, tak i z hlediska finančního, technologického či ekologického.

Za posledních dvacet let se polymerní materiály staly nepostradatelnými ve všech oblastech průmyslu a to hlavně díky svým charakteristickým vlastnostem, dostupnosti a poměrně snadnému zpracování. V dnešní době je velké množství výrobků vyráběných z konvenčních materiálů, jako jsou kovy, dřevo, sklo, keramika, bavlna a vlna, nahrazováno výrobky z polymerních materiálů. Hlavními přednostmi polymerních materiálů jsou: dobrá chemická odolnost, elektrické a dielektrické vlastnosti, dobrá měrná pevnost, možnost výroby konečného výrobku během jedné operace (vstříkování), nízká hmotnost.

V současné době se plasty zpracovávají různými technologiemi. Zejména se zpracování soustřeďuje na vstříkovací technologie. Tato metoda zpracování plastů se jeví jako velice progresivní, neboť umožňuje plně automatický chod výroby s vysokou produktivitou a značné zrychlení výrobního cyklu. Taktéž dodatečné operace na výrobu nejsou zpravidla nutné. Klade však vysoké nároky na konstrukci a provedení forem, které by měly vyhovovat jistým základním požadavkům - možnosti samočinného oddělování vtokového zbytku od výstřiku s následným automatickým vyhozením výstřiku a vtokového zbytku z formy, vyso-

ké odolnosti proti mechanickému opotřebení nebo náhodnému poškození některé ze součástí formy, optimální násobnost formy a minimální délka pracovního cyklu...

Nároky na funkci polymerních výrobků stoupají a zároveň jsou zde snahy o snížení jejich ceny což nezdědka vede k použití více materiálů, to má za následek vznik nových technologií vstřikování (použití zástříků, vícekomponentní vstřikování, vstřikování s plynem). Tyto technologie pak sebou přináší další nároky na konstrukci a funkci vstřikovací formy.

A právě jednou z posledních metod se zabývá tato práce, jejímž zadáním je navržení spojovací geometrie příruby a hydraulického konektoru vyrobených z odlišných granulátů POM za účelem snížení ceny výsledného výrobku. Samotné spojení pak vznikne obstříknutím insertu, který je vyroben z granulátu POM se specifickými vlastnostmi, při vstřikování příruby, jež je vyrobena z konvenčního materiálu POM.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Plasty jsou makromolekulární organické materiály vytvořené modifikací přírodních produktů, nebo syntézou vhodných látek.

V počátcích byly syntetické plasty vyráběny z acetylénu, ten se získával z karbidu vápnicku. V dnešní době jsou k dispozici ekonomičtější metody výroby z odpadních vodíkových plynů nebo zemního plynu. Od třicátých let 20. století patří mezi nejdůležitější suroviny pro syntetickou výrobu ropa a zemní plyn.

Nezbytné základní chemikálie, jako ethylen, propylen atd., jsou v současné době získávány převážně štěpením ropy v rafinériích a z olejů, plynů nebo uhlí. Překvapivě, plasty zaujímají pouze 4 % spotřeby ropy a ostatní chemické produkty zaujímají další 3%. Používají se také organické plasty vyráběné ze dřeva, bavlny a olejů (např. ricinový olej). Základní jednotky běžných plastů tvoří hlavně uhlovodíky, mohou také obsahovat anorganické prvky, např. chlor u PVC, nebo fluor u PTFE a u jiných fluoroplastů. [1]

1.1 Výrobní metody

Modifikované přírodní materiály

Produkty založené na celulóze: guma, bavlna, celulóza, umělé hedvábí, celofán, a acetáty hedvábí (acetát celulózy (CA) a acetobutyrát celulózy (CAB)). Tyto materiály jsou stále používány k výrobě předmětů denní spotřeby (např. zubní kartáčky, hřebeny, obroučky brýlí, rukojeti náradí).

Syntetické plasty

Ačkoliv je syntéza plastů mnohem obtížnější než modifikace přírodních produktů, je velmi důležitá jelikož počet možných produktů je velmi rozsáhlý a stále nejsou probádány všechny možnosti. Rozhodující roli u těchto reakcí hraje uhlík. Uhlík je čtyřvazebný prvek, to znamená, že se může spojit s čtyřmi dalšími atomy, které vytvářejí jednoduché vazby s uhlíkem.

Polymerace

Molekuly některých látek obsahují (např. ethylen) tzv. dvojnou vazbu mezi atomy uhlíku tento typ vazby je nestabilní. Tyto dvojně vazby lze otevřít pomocí tepla, vysoce energetického záření nebo užitím iniciátorů či katalyzátorů. Molekuly zbavené dvojně vazby se

spojují za vzniku dlouhého řetězce (v případě ethylenu vzniká polyethylen). Index n (stupeň polymerace) udává kolik monomerních molekul se sloučilo do makromolekuly. Přirozeně individuální makromolekuly obsahují rozdílný počet základních jednotek (merů). Distribuce molekulové hmotnosti může být široká nebo úzká, závisí na podmínkách polymerace.

Polymerace dovoluje výrobu polymerů z jednoho typu základní jednotky (homopolymeru) nebo reakcí dvou či více rozdílných monomerů (kopolymeru). U kopolymerů mohou být komponenty uspořádány individuálně nebo v pravidelném či statistickém uspořádání komponentů.

Je také možné měnit vlastnosti plastu smícháním rozdílných polymerních komponentů, ty mohou být plně mísitelné, ale mnohem častěji jsou mísitelné pouze částečně. Požadované mísitelnosti lze dosáhnout užitím compatibilizátorů, které řídí naroubování krátko-řetězcové boční větve (oligomeru) přidaného komponentu na hlavní řetězec matrice. [1]

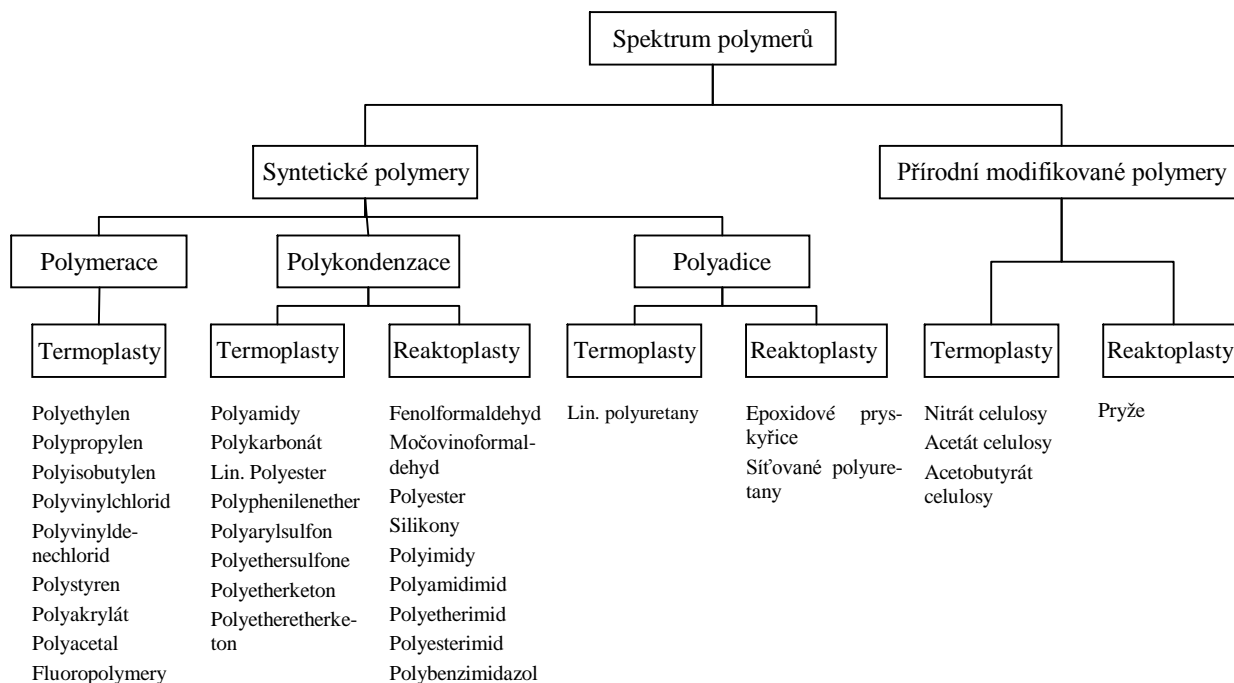
Polykondenzace

Polykondenzace je jako metoda výroby syntetických polymerů starší než polymerace. Polykondenzace, reakce mezi stejnými nebo častěji odlišnými monomery, zahrnuje vznik polymeru a odlučování nízkomolekulárních vedlejších produktů jako jsou voda, amoniak, chlorovodík a alkoholy.

Polykondenzace je postupná reakce, která probíhá v několika krocích. Meziprodukty mohou být po nějakou dobu skladovány a reakce pokračuje za vhodných podmínek později. Příkladem jsou termoplast polyamid (PA) a reaktoplast formaldehyd (PF). [1]

Polyadice

Polyadice zahrnuje obvykle reakci dvou spolufunkčních sloučenin. Atom uhlíku se odědí od funkční skupiny první sloučeniny a naruší dvojnou vazbu druhé sloučeniny, tím se uvolní volné vazby pro tvorbu řetězce. Nejsou tvořeny žádné boční řetězce. Průmyslově významnými produkty polyadice jsou polyuretany (PU) a epoxidové pryskyřice (EP). Polyadice je tak jako polykondenzace postupná reakce. Postupný charakter reakce je jasně zřetelný např. u epoxidových pryskyřic, kde poslední krok před formováním materiálu je pouze smíchání pryskyřice a tvrdidla. [1]



Obr. 1. Spektrum polymerů [1]

1.2 Typy plastů

Rozlišování plastů jako produktů polymerace, polykondenzace a polyadice není vhodné pro charakterizování všestrannosti těchto produktů, hlavně protože souvisí s metodou výroby polymeru spíše než s jejich aplikací (praktické potřeby). Aby bylo možno ohodnotit zpracovatelnost, možné zpracovatelské metody a vlastnosti důležité pro uživatele, musí být znám polymerní typ, chemické složení, dostupné tvary a stupeň polymerace (vlastnosti tečení) materiálu.

Termoplasty

Polymerní molekuly, složené z uspořádaných či statisticky rozložených monomerních jednotek, jsou drženy v řetězci „primárními silami“. Stupeň uspořádanosti, vzájemná pozice řetězců, určuje „sekundární síly“ mezi řetězci. Rozdílnost soudržných sil je charakteristikou termoplastů. Ohřevem změknu a řetězce se vzájemně posunují. Termoplasty jsou opakovatelně tvarovatelné. Boční řetězce způsobují oddálení hlavních řetězců a pokles soudržných sil. Větší vzdálenosti mezi řetězci také zvyšují transparentnost. Pokud molekuly ztuhnou nepravidelně uspořádané s chaotickým uspořádáním, jedná se amorfní polymery, (Obr. 2a). Jestliže řetězce mají alespoň částečně uspořádané oblasti, tak se jedná o semikrystalický polymer, (Obr. 2b). [1]

Reaktoplasty

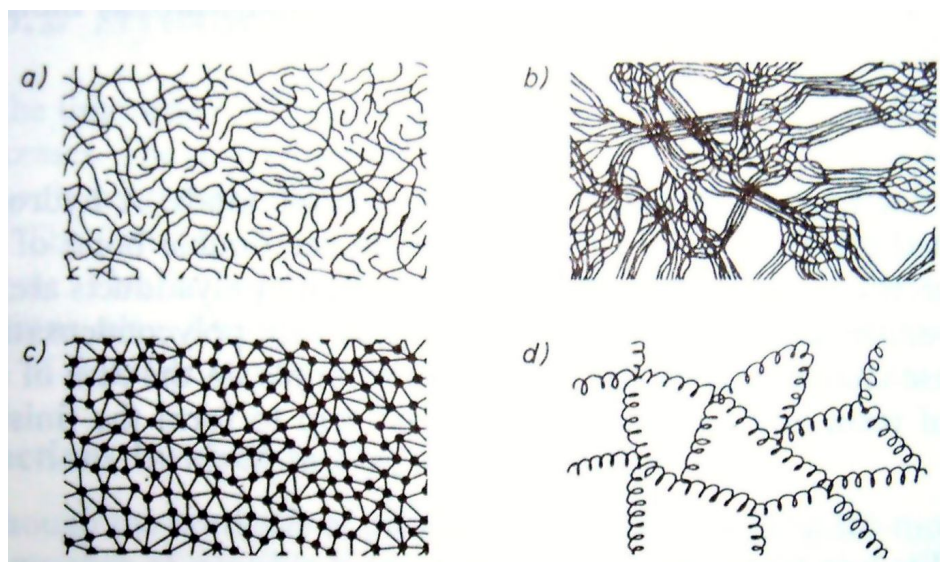
Reaktoplasty, také termosety, mají makromolekuly těsně a křížem spojeny, zesíťovány, (Obr. 2c). Mezi makromolekulami také existují chemické primární síly. Příkladem termoplastů jsou reaktivní pryskyřice. Reaktoplasty nelze opětovně ohřevem převést do plastického stavu jako termoplasty. [1]

Eleastomery

Eleastomery, také zvané gumy či pryže, mají zesíťované, křížem spojené makromolekuly, (Obr. 2d). Po deformaci se řetězce pružně vrátí zpět do původní polohy. Po zesíťování je tvar trvalý a teplotou neovlivnitelný. [1]

Termoplastické eleastomery

Tyto materiály jsou v podstatě termoplasty s vlastností opětovného tvarování. Mezi těsně sbalenými částečně krystalickými segmenty jsou velmi silné van der Waalsovy síly, zatímco flexibilní části se projevují částečným stupněm pryžové elasticity. Při ohřevu krystalické i flexibilní části změknou a jsou znovu tvarovatelné. Ochlazením je obnoveno pseudoelastické chování. [1]

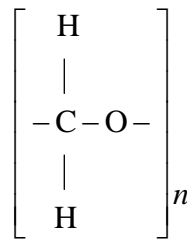


Obr. 2. Struktury polymerů [1]

1.3 POM (polyoxymethylen)

Výroba polyformaldehydů, zvláště polyoxymethylenu, začala ve velkém měřítku v roce 1958 v USA. Polyoxymethylen je homopolymer nebo kopolymer aldehydů a cyklic-

kých acetalů. Polyoxymethylen je tedy charakterizován vyskytující se uhlíko-kyslíkovou skupinou v makromolekulárním řetězci. Patří mezi C_1 nebo formaldehydové polymery. [1]



Obr. 3. Vzorec POM

Základní popis

Lineární struktura a vysoký stupeň krystalinity udávají vlastnosti tohoto termoplastu. Polyoxymethyleny se dělí na:

- vysoce pevnostní (pod teplotou -40°C),
- vysoce tuhé a tvrdé,
- teplotě odolné,
- rozměrově stabilní,
- s dobrými elektrickými a dielektrickými vlastnostmi,
- s dobrou odolností vůči rozpouštědlům,
- odolnost vůči křehkému lomu,
- s dobrými třecími a abrasivními charakteristikami,
- dobře zpracovatelné.

Tyto příznivé vlastnosti dělají z polyoxymethyleny zvláště atraktivní konstrukční materiál.

Strukturní a základní vlastnosti

POM má lineární strukturu a je schopný krystalizovat. Krystalizace může být ovlivněna komonomery. Vysoká mobilita řetězců vyplývá z relativně nízké teploty skelného přechodu $T_g = -73^{\circ}\text{C}$. Stupeň krystalinity značně závisí na teplotě chlazení (100% při 0°C , 80% při 150°C).

Nárůst teploty může vést k tvorbě velkých sférolitů s následným zhoršením rázové pevnosti. Tuhost je zachována jestliže jsou přidány nukleační činidla pro zajištění rychlého formování kvalitní struktury během chlazení. Tento efekt může být využit u vstřikování k zajištění kratšího cyklu.

Funkční přísady

Polyoxymethylen má sklon k depolymeraci a vylučování formaldehydu. Nejvýznamnější stabilizační metoda je strukturní modifikace polymeru např. kopolymerací s cyklickými ethery a blokování koncových skupin. Kyselina mravenčí vytvořená oxidací formaldehydu katalyzuje depolymeraci.

Polyoxymethylen není odolný UV. Záření s vlnovou délkou delší než 365 nm iniciuje degradaci. Bez UV stabilizace má POM tendence k praskání povrchu. Pokud je černá barva přípustná, může být uhlíková čern použita k zajištění dobré UV stabilizaci. Pro světlé barvy se používají UV absorbéry jako např. 2-(2hydroxy-5-methylfenyl)benzotriazol.

Barviva

Pigmenty používané k výrobě dílů z POM musí být schopny odolat procesním teplotám bez rozkladu a změny barvy. Kromě toho nesmí zhoršit teplotní stabilitu POM.

Plniva

Použití plniv v POM není tolik zaměřeno na ovlivnění mechanických vlastností, jako jsou tuhost nebo povrchová tvrdost, ale spíše na umožnění některých aplikací.

MoS₂ – zlepšení kluzných vlastností při velkém zatížení a malých rychlostech tečení MoS₂ snižuje rozdíl mezi statickým a dynamickým koeficientem tření.

Křída – zlepšuje se odolnost proti abrasivnímu opotřebení což je velmi výhodné pro převody a ložiska. Pevnost v tahu také roste.

PTFE – využijeme dobré kluzné vlastnosti PTFE a vysokou mechanickou pevnost POM.

Významnou aplikací jsou bez údržbová ložiska.

Kluzné vlastnosti klasického POM lze zlepšit přidáním olejových koncentrátů v poměru 1:10. Elektrickou vodivost a teplotu tepelné deformace lze zvýšit hliníkovým či bronzovým práškem.

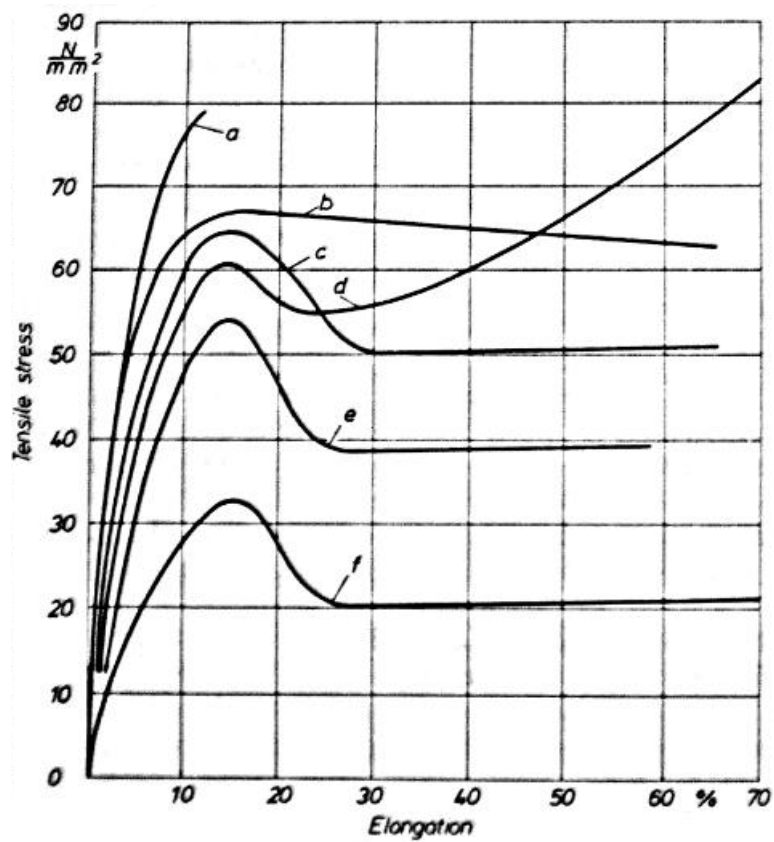
Možnosti

Hlavní rozdíly mezi různými typy POM jsou u molekulové hmotnosti a tudíž i u tokových charakteristik. Typy s velkou molekulovou hmotností jsou převážně používány k vytlačování nebo vstřikování tlustostěnných výrobků. Typy s dobrými tokovými vlastnostmi jsou používány hlavně pro vstřikování.

POM je skladován v podobě granulí velikosti 3mm a to buď jako bílý v přirozené podobě nebo barvený. Polotovary mají tvar bloků, tabulí, tyčí a trubek.

1.3.1 Fyzikální vlastnosti

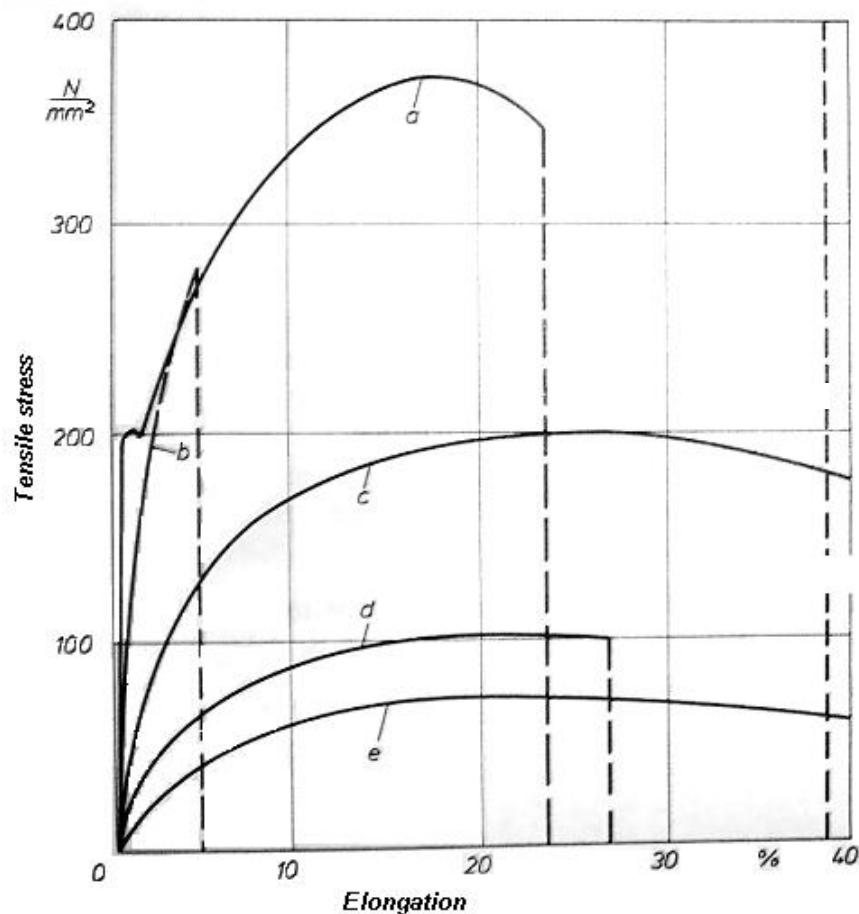
Mechanické vlastnosti



Obr. 4. Diagram tahové zkoušky POM [1]:

Zkouška probíhá při 20°C rychlostí 60 mm/min

a) PMMA ; b) POM ; c) PC ; d) PA6 ; e) PVC-U ; f) PP



Obr. 5. Diagram tahové zkoušky POM [1]

a) ocel ; b) ZnAl ; c) měď ; d) hliník ; e) polyoxymethylen

Elektrické vlastnosti

Polyoxymethylen má dobré elektrické vlastnosti, existují ale i stejně kvalitní a levnější alternativy. Jestliže je ovšem vyžadován celý rozsah elektrických a mechanických vlastností, pak polyoxymethyleny poskytují dobrou službu.

Absorpce vody

Polyoxymethylen má nízkou absorpci vody: podle metody DIN 53495 je absorpce 15 mg při ponoření na 24 hodin a 30 mg při 96 hodinách.

Propustnost plynů a par

Ve srovnání s dalšími plasty je propustnost velmi nízká. Polyoxymethylen je odolný vůči plyným palivům a proto je vhodný pro instalace plynového potrubí a kontejnery aerosolů.

1.3.2 Chemické vlastnosti

Odolnost vůči chemikáliím

Polyoxymethylen je odolný vůči slabým kyselinám, benzínu, benzenu, alkoholům, olejům, halogenovým uhlovodíkům, vodě, čistícím prostředkům. Není odolný vůči silným kyselinám a oxidačním činidlům.

Odolnost vůči povětrnostním vlivům

Polyoxymethylen je poškozován UV zářením. Z toho plyne, že změny ve vlastnostech probíhají mnohem více u stěn s menší tloušťkou. Degradace může být zpomalena světelnými stabilizátory. Jako nejefektivnější stabilizátor se ukázal aktivní uhlík. Jako méně efektivní se ukázaly organické světelné stabilizátory používané pro přírodní nebo barvený materiál. Některé barvené typy s UV absorbéry vykazují dobrou odolnost proti povětrnosti.

Odolnost vůči vysoce energetickému záření

Výrobky z polyoxymethylenu by neměly být používány v situacích kdy celková dávka radiace překračuje hodnotu $3 \cdot 10^4 \text{ J kg}^{-1}/3 \text{ Mrad}$.

Hořlavost

Stejně jako produkty formaldehydu je i polyoxymethylen hořlavý. Hoří slabým namodralým plamenem a při hoření odkapává. Po uhašení nebo kompletním shoření je cítit dusivý zápach formaldehydu.

1.3.3 Zpracování

Nejvýznamnější metodou zpracování je vstřikování. Typy s vysokou molekulovou hmotností jsou vytlačovány. Před zpracováním se doporučuje sušení.

Povrchové úpravy

Dezénování : plochy musí být čisté a dezénovací razidlo musí být použito rovnoměrně. Teploty jsou v rozmezí od 100°C do 165°C

Pokovování : vakuové pokovování umožňuje vytvořit na výstřicích z polyoxymethylenu kovově zrcadlové plochy

Tištění, barvení a lakování

Spojování:

Výrobky z POM lze spojovat všemi metodami kromě vysokofrekvenčního svařování

Svařování: tavné, třecí a ultrazvukové svařování

Lepení: kontaktní a rozpouštědlová lepidla. Pevnost lepeného spoje je překvapivě vysoká dokonce i v případě že lepené plochy nebyly upraveny, například s použitím horkých tekutých lepidel na bázi kopolymerů vinylu, kyanoakrylátových lepidel, EP pryskyřic, nebo PU lepidel.

Šroubování: samořezné šrouby, závitové vložky

Nýtování: horké i studené

1.3.4 Typické aplikace

Potrubní prvky, automobilové díly, kancelářské vybavení, domovní aplikace, převody, ložiska, šrouby, přesné díly, cívky, čerpadla, díly textilních strojů, telefony, kryty rádií, hi-fi a TV, kontejnery na aerosoly. Značný nárůst využívání polyoxymethylenu v přesném strojírenství je zejména výsledkem všestrannosti jeho použití.

Obchodní jména

Homopolymery: Delrin (Du Pont, US)

Tenac (Asahi chemical Ind.,JP)

Kopolymery: Celcon (Hoechst, DE)

Duracon (Daicel Polyplastic Co., JP)

Hostaform (Hoechst, DE)

Kematal (Hoechst, DE)

Ultraform (BASF, DE)

2 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování zahrnuje dva rozdílné procesy. První proces zahrnuje základní kroky dopravy granulátu, vytvoření taveniny, míchání, generování tlaku a tok, které jsou splněny vstřikovací jednotkou vstřikovacího stroje. Další jsou procesy tvarování a strukturování produktu které se odehrávají v dutině formy. [5]

2.1 Zpracování plastů vstřikováním

Vstřikování je nejrozšířenější způsob výroby dílů z polymerních materiálů, řadí se mezi diskontinuální technologie. V průběhu vstřikování je polymerní tavenina tlakem dopravována z vstřikovací jednotky stroje do dutiny formy, kde je ochlazována a zatuhnutím na sebe polymer převezme tvar dutiny formy.

Jedná se o velmi složitý tepelně-mechanický technologický proces tváření, na kterém se podílí:

- výchozí materiál,
- výrobní cyklus: především výrobní stroj a ostatní zařízení pro přípravu materiálu, taveniny a její dopravu do formy,
- forma jako nástroj pro vlastní tváření taveniny na součást [2].

Na konečnou kvalitu výrobku bude mít vliv kvalita použitého plastu a proto je nutné před samotným vstřikováním provést přípravu plastu.

2.2 Příprava plastů

Příprava materiálu jako součást každého výrobního procesu je předepsána technologickým postupem, který je vztážen ke konkrétnímu výrobku. Obvykle bývá součástí přípravných prací vstupní kontrola, sušení granulátu, míšení s recyklátem, barvení atd.

2.2.1 Sušení

Většina termoplastů absorbuje vzdušnou vlhkost. To při běžných zpracovatelských teplotách může vyvolat degradaci polymeru a tím i snížení kvality některých parametrů a také zhoršení kvality povrchu. Výstřiky jsou pak bez povrchového lesku, v místě vtoku mají

povrchové vady a nesnadno se vyjímají z formy. Proto je nutné materiály předsušet. Existují materiály, které absorbují vlhkost v malé míře, ty potom není třeba vysoušet.

K sušení se používají komorové pece s přirozenou cirkulací vzduchu. Výška vrstvy sušeného materiálu by neměla přesáhnout 40 mm, u PC jen 25 mm. Pro nepřetržitý provoz se hodí sušárny s nucenou cirkulací. U vstřikovacích strojů s nevytápěnou násypkou je třeba materiál spotřebovat do 30 minut.

Granulované plasty se dodávají buď vysušené ve vzduchotěsných obalech, nebo nevy-sušené v obalech papírových či plastových. Před zpracováním se materiál skladuje v suchých skladech. [2]

2.3 Zpracovatelské podmínky plastů

Velký vliv na výsledné vlastnosti hotového výrobku mají technologické podmínky. Zpracovatelské parametry (teplota, tlak, časové prodlevy) jsou určující pro některé rozměry a také pro mechanické a fyzikální vlastnosti.

Při vstřikování termoplastů také dochází ve vtokových kanálech a tvarových dutinách k orientaci makromolekul, jejich řetězce se srovnávají ve směru proudění taveniny. Po ztuhnutí jsou orientované molekuly příčinou anizotropie vlastností. Vedou také ke vzniku vnitřního pnutí a nepravidelnému smrštění.

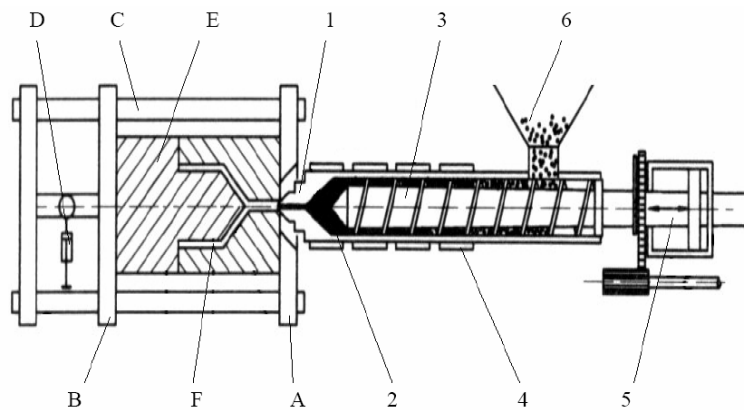
U semikrystalických termoplastů se podmínkami při zpracování dá ovlivnit stupeň krystalinity a velikost krystalů. To znamená větší krystalinitu, vyšší pevnost, zvýšený modul pružnosti i ostatních činitelů. Z toho vyplývá, že veškeré vlastnosti plastu obsažené v tabulkách a grafech jsou jen středními a průměrnými hodnotami získané při optimálních zpracovatelských podmínkách a jsou proto jen orientační. [2]

2.4 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj (Obr. 6) jako jeden z hlavních činitelů výroby zajišťuje dávkování granulátu, tvorbu taveniny, dopravu taveniny do dutiny formy (vstříknutí) a ovládání formy (otevírání, zavírání, vyhazování výstřiků a temperaci). Vstřikovací stroje mají nejrůznější uspořádání lišící se provedením, stupněm řízení, stálostí a reprodukovatelností parametrů, rychlostí výroby, snadností obsluhy a cenou.

Konstrukce stroje je charakterizována podle:

- vstřikovací jednotky
- uzavírací jednotky
- řídicí jednotky



Obr. 6. Schéma vstřikovacího stroje [4]

Vstřikovací jednotka: 1) vstřikovací tryska, 2) válec, 3) šnek,
4) topné pásy, 5) vstřikovací píst, 6) násypka

Uzavírací jednotka: upínací deska A) pevná, B) pohyblivá; C) vodící sloupy; D) uzavírací mechanismus; E) forma; F) dutina formy

Požadavky na vstřikovací stroj:

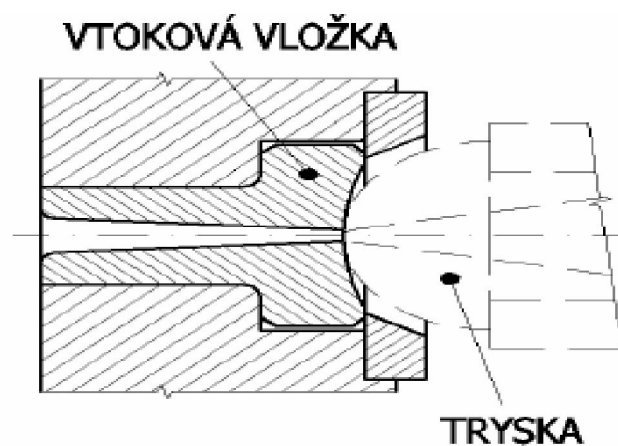
- musí být dostatečně tuhý a pevný
- konstantní tlak, rychlost a teplota
- přesnost a reprodukovatelnost technologických parametrů

2.4.1 Vstřikovací jednotka

Tavení je u vstřikovací jednotky prioritou číslo jedna týkající se návrhu a provozu. Produktem vstřikovací jednotky je tavenina nahromaděná před čelem šneku. Homogenita taveniny ovlivňuje její tečení a finální kvalitu výrobku. Je předpokládáno, že každý cyklus je vstřikovací jednotkou dosažena stejná kvalita míchání a stejnoměrná teplota taveniny. Aby došlo ke vstříknutí polymerní taveniny do dutiny formy, musí být tavenina stlačena. Toho je dosaženo dopředním pohybem šneku nebo pístu. [5]

Vstřikovací jednotka (Obr. 6) připraví a dopraví požadované množství roztaveného plastu s předepsanými parametry do formy. Množství dopravované taveniny musí být menší než je kapacita jednotky při jednom zdvihu. Maximální vstřikované množství nemá překročit 90% kapacity jednotky, je nutná rezerva pro doplnění úbytku materiálu při chlazení (smrštění). Při malých vstřikovaných objemech setrvává materiál v jednotce příliš dlouho – možnost degradace. To se dá kompenzovat zrychlením cyklu výroby. [2]

Tavná komora je ukončena vyhřívanou tryskou spojující jednotku s formou (Obr. 7). Kulové zakončení trysky zajišťuje těsné dosednutí do sedla vtokové vložky formy. [2]



Obr. 7. Dosednutí trysky vstřikovací jednotky na vtokovou vložku [2]

2.4.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka (Obr. 6) ovládá formu a zajišťuje její dokonalé uzavření i případné vyprázdnění. Velikost uzavírací síly je stavitelná a je přímo závislá na velikosti vstřikovacího tlaku a ploše dutiny a kanálů v dělicí rovině.

Hlavní části uzavírací jednotky:

- opěrná deska pevná,
- upínací deska,
- vodící sloupky,
- uzavírací mechanismus.

2.4.3 Řídící jednotka

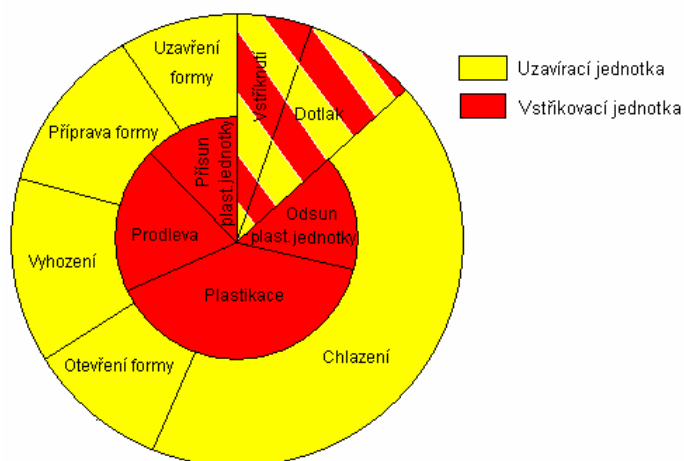
Ovládací, řídicí jednotka umožňuje nastavení veškerých parametrů výroby, včetně jejich tolerancí. Hodnoty parametrů jsou automaticky udržovány v zadaných tolerancích. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je podmínkou kvality. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se tato nerovnoměrnost na kvalitě výroby, řízení stroje má tedy rozhodující vliv na přesnost a jakost výstřiku.

Hodnotu vstřikovacího tlaku, dobu vstřiku a dotlaku, rychlost vstřiku a chlazení a velikost teploty taveniny nastavuje řídicí jednotka podle zadaného programu a pomocí zpětné vazby zajištěné sérií teplotních a tlakových.

2.5 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus (Obr. 8) ukazuje současně pozici vstřikovací jednotky, formy a procesů. Celá forma je udržována na konstantní teplotě pod teplotou T_g nebo T_m . Tavenina teče z trysky vstřikovací jednotky přes vtokovou vložku, rozvodný kanál a vtokové ústí do dutiny formy. Každá z těchto strukturních částí formy vykonává přesně definovanou funkci a ovlivňuje vstřikovací operaci.

Vstřikovací cyklus (Obr. 8) zahrnuje souběžnou činnost vstřikovací jednotky a uzavírací jednotky. Obě jednotky pracují paralelně a jejich cykly se shodují v části kdy dochází ke vstříknutí taveniny a poté k dotlaku.



Obr. 8. Schéma vstřikovacího cyklu

Po uzavření formy se přisune plastikační jednotka, dochází ke vstříknutí taveniny z plastikační jednotky do dutiny formy. Doba po kterou vstřikování trvá se nazývá doba plnění.

I po naplnění formy zůstává tavenina pod tlakem, tzv. dotlak. Funkce dotlaku je kompenzování objemových změn v důsledku tuhnutí polymerní taveniny, dotlak trvá až do okamžiku kdy zatuhne vtokové ústí dutiny. Poté už dotlak nemá smysl.

Po ukončení dotlaku se cykly vstřikovací a uzavírací jednotky liší.

Vstřikovací jednotka: po ukončení dotlaku následuje odsun plastikační jednotky a plastikace další dávky, během prodlevy dochází k homogenizaci taveniny, poté následuje přisun plastikační jednotky k formě.

Uzavírací jednotka: po ukončení dotlaku následuje chlazení výstřiku, jakmile se u výstřiku dosáhne předepsané teploty pro vyhození dochází k otevření formy, jakmile je forma otevřena je provedeno vyhození výstřiku, poté co je výstřik vyhozen provede se příprava formy (kontrola úplného vyhození výstřiku, čištění, případné vkládání zástříků atd.), je-li forma připravena dojde k uzavření formy.

Po uzavření formy a přisunutí plastikační jednotky, dochází opět ke vstříknutí taveniny a opakování celého cyklu.

3 KONSTRUKCE VÝSTŘÍKŮ

3.1 Návrh součásti

Ke konstrukčnímu návrhu součásti z plastu nelze přistupovat jako ke konstrukčnímu návrhu klasické součásti vyráběné obráběním kovů, protože se řídí úplně jinými zásadami. Již při její konstrukci musí konstruktér brát v úvahu materiál výrobku, zejména jeho vlastnosti, a jaké procesy a jakým způsobem budou ve výrobku z plastu probíhat během procesu vstřikování. Z tohoto plynou nároky na znalost technologie.

Pro realizaci plastových součástí jsou dány určité meze konstrukčních tvarů a jejich vlastností, které by se měly dodržovat, jinak vzniknou při výrobě problémy. Bez potřebných znalostí se jim lze vyhnout jen obtížně a zároveň docílit, aby vzniklá součást, vyhovovala podmínkám výroby. Všeobecně platí: Čím jednodušší je součást, tím výhodnější jsou její pevnostní podmínky, snadnější dodržení rozměrů, lacinější výroba formy a jednodušší výroba výstřiků. Ve skutečnosti však vždy je třeba hledat kompromis mezi vznášenými požadavky.

Proto je třeba zdůraznit, aby se ke konstrukci výstřiku nepřistupovalo bez znalostí zásad o specifických vlastnostech plastů a jejich zpracování. [2]

3.2 Vlivy na jakost plastových součástí

Součásti z plastů nelze vyrobit v takových jakostech jako kovové. To proto, že na jejich výrobu působí množství různých činitelů, které ji ovlivňují. Jsou to materiál, výrobní technologie, forma a její kvalita. Jejich vlivem se pak vyrobí výstřik jen určité kvality, do které se počítá přesnost výstřiku, jakost jeho povrchu a užité vlastnosti. [2]

3.2.1 Hlavní činitele ovlivňující jakost

- Smrštění při zpracování (Tab. 1), které se pro daný plast uvádí v určitém rozmezí, záleží tedy na druhu plastu, konstrukci součásti i na technologii vstřikování. Smrštěním je ovlivněna především přesnost výstřiku.
- Dodatečné smrštění bývá několikanásobně menší, než smrštění při ochlazení ve formě. Probíhá delší dobu (týdny až měsíce). Příčinou je pozvolné uvolňování vnitřního pnutí, vzniklého při vstřikování a časově závislé změny struktury.

- Tečení (creep) vzniká při větším a dlouhodobějším silovém zatížení součásti. Projevuje se plastickou deformací.
- Teplotní roztažnost je přibližně o řád větší, než u kovů. Je však změnou vratnou.
- Navlhnutím se mění rozměry podle absorpce vody z okolního prostředí. Při vysušení se rozměry opět zmenší.

Velikost vlivů jednotlivých činitelů je velmi obtížné stanovit. Ovlivňují jej druh plastu, tvar součásti i zpracovatelské podmínky.

Tab. 1. Smrštění termoplastů [2]

Zkratka plastu	Smrštění [%]	Zkratka plastu	Smrštění [%]	Zkratka plastu	Smrštění [%]
ASA	0,4 - 0,7	PA 6	1,2 - 2,0	PP/40 % CaCO ₃	1,0 - 1,5
ABS	0,4 - 0,7	PA 6/30 % SV	0,3 - 0,5	PPO/PS	0,5 - 0,7
EVA	1 - 3,5	PA 610	1,5	PPO/PS/30 % SV	0,1 - 0,3
CA	0,4 - 0,7	PA 66	1,5	PS	0,3 - 0,7
CAB	0,4 - 0,7	PA 11	1,1 - 1,8	hPS	0,4 - 0,7
CP	0,4 - 0,7	PA 11 / 30% SV	0,3 - 0,7	PSO	0,7
PBTP	0,1 - 0,3	PA 12	1,1 - 1,8	IPUR	2
PBTP/30 % SV	0,5 - 1,3	PA 12 / 30% SV	0,3 - 0,7	PVC měkčený	1,2 - 3,5
PC/30 % SV	0,2 - 0,3	PMMA kopolymer	0,4 - 0,7	PVC tvrdý	0,4 - 0,8
rPE	1,5 - 2	POM	2,5	PVC houževnatý	0,4 - 0,2
IPE	1,8 - 4	POM/30% SV	0,7 - 1,8	SAN	0,4 - 0,7
PETP	0,1 - 0,6	PP	1,5 - 2,5		
PETP/30 % SV	0,3 - 1,4	PP/30 % SV	0,3 - 0,5		

3.3 Zásady tvarového řešení výstřiků

Vzhled a provedení výstřiku jsou určeny nejen jeho budoucím použitím ale i způsobem přípravy. Velký význam zde má druh použitého plastu, typ použitého vstřikovacího stroje a konečně konstrukční možnosti formy. [2]

Hlavní zásady které je nutno dodržet při navrhování výstřiku:

- správná volba dělicí roviny (rovin), k ní se váží koncepce zaformování výrobku, úkosity, vyhazování, vtokové soustavy a odvzdušnění,
- úkosity – jsou sklony stěn výstřiku, kterými se umožňuje nebo zabraňuje vyjímání výstřiku z dutiny formy, volbu jejich velikosti ovlivňuje především smrštění,

- tloušťka stěny musí být pokud možno stejná, nahromadění materiálu popř. náhlé přechody v tloušťce stěny narušují tok taveniny a vyvolávají kroucení a propadliny ve výstřiku,
- tenkostěnné výstřiky je vhodné vyztužit žebry, ta musí být tenčí než stěny (faktor 0,5 až 0,8), tím se brání vzniku propadlých míst ve stěně proti žebřu. Technická žebra zabezpečují pevnost a tuhost součásti, technologická umožňují optimální plnění dutiny, nebo brání zborcení stěn,
- je vhodné v zájmu zvýšení tuhosti na okraji zesílit stěny nádoby vhodným okrajem,
- zcela rovné stěny se většinou deformují, vhodnější jsou stěny mírně prohnuté nebo členěné,
- pro snadné vyjmutí výstřiků z formy je vhodné, aby jejich stěny měly úkos, pro tvrdé a křehké materiály (PS) bývá úkos v případě malých výstřiků $1,5^\circ$, pro měkčí a houževnaté (PE) $0,5^\circ$, pro velké výstřiky bývá až 3° ,
- je třeba se vyvarovat navrhování výstřiku s ostrými vnějšími a vnitřními hranami, hrany se zakulacují pro usnadnění toku taveniny a zabránění koncentrace napětí v těchto místech,
- otvory a drážky – na výstřiku se doporučují volit tak, aby při výrobě činily co nejmenší potíže (vznik studených spojů), záleží hlavně na jejich poloze vzhledem k zaformování.

Tloušťka stěn by měla být pokud možno malá, aby se:

- omezila možnost vzniku povrchových propadlin (zhoršují vzhled) a vnitřních staženin (lunkrů, které zeslabují nosný průřez a mohou působit i jako vnitřní vruby),
- zmenšil časový rozdíl mezi chladnutím povrchu a jádra stěny (zmenší se tím i vnitřní pnutí ve stěně) a aby se zkrátila doba chladnutí ve formě,
- snížila spotřeba materiálu.

Minimální přípustná tloušťka stěny je určena požadovanou tuhostí, pevností a rozměrností výstřiku. Tloušťka stěny výstřiku závisí na dráze toku plastu a uzavíracím tlaku.

3.4 Technologie více komponentních dílů

Používání vkládaných dílů nebo vícekomponentní vstřikování jsou technologie, které umožňují zhotovit výrobek z rozdílných materiálů, ať už jsou to plast-plast, nebo plast-kov. Impulsem pro rozvoj těchto technologií jsou nároky na vlastnosti výrobku, snaha o ekonomičtější výrobu nebo estetické požadavky. Důvodů k využívání těchto technologií, i když jsou dražší než klasické vstřikování, může být hned několik.

U více komponentního vstřikování jsme schopni zhotovit výrobek složený z několika plastových vrstev na jednom stroji na příslušný počet pracovních cyklů. Požadovaných vlastností výrobku (např. mechanické, fyzikální nebo chemické vlastnosti) je dosaženo kombinací materiálů, z kterých se skládají jednotlivé části výrobku, např. výroba skeletu z mechanicky kvalitního materiálu a obštríknutí materiálem méně pevným, nebo použití materiálu s požadovanými vlastnostmi pouze na část výrobku. Další aplikací je výroba několika barevných výrobků.

Vstřikování s použitím vkládaných dílů je méně nákladná technologie než více komponentní vstřikování, pro plně automatickou výrobu je však nutné stroj opatřit robotem pro zakládání insertů. Vkládané díly mohou plnit hned několik funkcí, mohou tvořit mechanicky exponované části výrobku (jako jsou skelet, závity atd.), nebo jsou-li u výrobku lokálně vyžadovány speciální vlastnosti (elektrická vodivost, chemická odolnost, elektrostatická vodivost atd.), tak vkládaný díl plní tyto požadavky zatímco matrici je poté možno vyrobit z levnějšího materiálu. V některých případech jsou na různé partie výrobku kladeny zcela protichůdné nároky, v tomto okamžiku je použití více materiálů nevyhnutelné.

Pomocí vkládaných dílů je možno aplikovat na konstrukci výrobku stavebnicový systém. Obsahuje-li více výrobků stejné části a jeli je možno vyrobit odděleně a poté použít jako vkládaný díl může dojít ke zlevnění výrobního procesu a i konstrukce formy může být jednodušší. Stejně tak pokud se u různých generací téhož výrobku objevují totožné partie, je tyto možné použít jako vkládaný díl.

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástroj jehož použitím na vstřikovacím stroji vznikne výrobek z polymerní hmoty. Forma dává tavenině po ochlazení výsledný tvar a rozměry výrobku, při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Dnes používané vstřikovací formy jsou poměrně technicky komplikovaná zařízení, na které se kladou vysoké nároky z hlediska kvality, produktivity, spolehlivosti a automatizace výroby.

Z hlediska metodiky konstrukce vstřikovacích forem se tyto dělí na dvě oblasti. První je tvarová dutina, její konstrukční řešení bývají velmi rozmanitá a kromě několika pravidel technologičnosti konstrukce se její tvar řídí především funkčními, tvarovými a vzhledovými požadavky na polymerní výrobek. Druhou oblastí je vlastní konstrukční stavba nástroje, která ve většině případů vykazuje značné prvky podobnosti.

Požadavky na vstřikovací formu:

- Technické,
- ekonomické – mají zaručit co nejnižší pořizovací cenu, snadnou a vysoce produktivní výrobu,
- společenské – vyžadují dodržení bezpečnostních zásad při konstrukci, výrobě a provozu formy.

Technické požadavky na formu:

- vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch zhotovené dutiny formy a ostatních funkčních dílů,
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy i celků, pro zachycení potřebných tlaků,
- správná funkce formy, vhodný vtokový systém, vyhazování, odvzdušnění, temperování apod.,
- optimální životnost zaručená konstrukcí, materiálem i výrobou.

V dnešní době se převážná část vstřikovacích forem sestavuje ze stavebnicových systémů, které zjednodušují konstrukci i výrobu formy. Jejich využívání zkracuje dobu potřebnou k výrobě formy a v neposlední řadě snižuje výrobní náklady. Jedním z nejznámějších stavebnicových systémů je systém fa HASCO.

4.1 Postup při konstrukci forem

Výkres vyráběné součásti, v dnešní době spíše parametrický 3D model, spolu s konstrukčním návrhem a dalšími doplňujícími údaji tvoří soubor podkladů pro konstruktéra forem. Vlastní konstrukce pak má následující postup:

- posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecích podmínek. Je třeba zkontrolovat tolerance, rozdíly v tloušťce stěn a upravit ostré hrany,
- určení dělicí roviny a způsob zaformování s ohledem na funkci a vzhled,
- dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání, volba vhodného typu vtokového systému a ústí vtoku,
- stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému včetně odvodu vzdušné formy,
- návrh rámu formy s ohledem na typizaci, počet a rozmístění dutin, systém vyhazování i temperaci formy,
- vhodné uspořádání středění a upínání formy na stroj s ohledem na bezpečnost práce,
- zkontrolování funkčních parametrů formy, hmotnost výstřiku, vstřikovací tlak, uzavírací sílu a další faktory s ohledem na zvolený stroj.

Celá koncepce konstrukce vstřikovací formy by měla směřovat dle daných požadavků k co možná nejjednodušší výrobní technologii. [3]

4.2 Vtokové systémy

Vtok tvoří celkový vstup do formy. Nesmí generovat velký odpor proti tečení, a tavenina by vněm po kompletním vstříknutí měla rychle zatuhnout a musí jít bez problémů vysunout. Měl by také tvořit efektivní přechod mezi tryskou a rozvodným systémem. Všechny tyto funkce jsou dosažitelné pomocí krátkého rozšiřujícího se kuželového tvaru. [5]

4.2.1 Rozvodný systém

Funkce rozvodného systému je přivedení taveniny do dutiny formy. Toho by mělo být dosaženo s minimálními materiálovými a tlakovými ztrátami. Proto délka rozvodného kanálu musí být minimální, a přechodová sekce musí být optimálně vytvořena pro dosažení nízkých tlakových ztrát, malého materiálového odpadu a relativně pomalého chlazení, vyhnutí se předčasnému zatuhnutí a nevyplnění formy. Obvykle má rozvodný kanál kruhový průřez kvůli minimalizaci tepelných ztrát a snadné výrobě, rozměr kanálu bývá 1,5 násobek charakteristické tloušťky výrobku. Úspora polymeru a rychlejší cyklus je možno dosáhnout horkou vtokovou soustavou u které je v kanálu polymer chráněn proti zatuhnutí topnými pásy, kanály jsou uloženy v pevné části formy. Zejména u velkých výrobků je důležité izolovat horký rozvodný systém od formy. [5]

4.2.2 Vtokové ústí

Vtokové ústí určuje tok polymerní taveniny do dutiny formy. Jeho tvar, velikost a pozice jsou určeny mnoha vlivy. Pro oddělení dutiny formy a následně snadné oddělení výstříku od vtokové soustavy je vhodné aby se vtokové ústí zužovalo. Samozřejmě musí být zabráněno předčasnému zatuhnutí taveniny. Kromě toho zúžené vtokové ústí může mít i škodlivý vliv na výsledný produkt, protože způsobuje značné smykové rychlosti a napětí (nad oblastí degradace) a následný nadměrný nárůst teploty. Pokud je nutné snížit úroveň napětí používají se skloněné vějířové vtoky pro rozprostření toku. Obecně řečeno je délka vtokového ústí rovna polovině charakteristické tloušťky v místě kde je ústí umístěno (obvykle v místě silnější stěny). Vtokové ústí bývá umístěno tak, že vytvořený proud zasáhne protější stěnu. U více násobných forem plní ústí vtoku (a rozvodný systém) funkci vyrovnání vtoku, takže všechny dutiny se plní současně. Detailní matematická analýza toku polymerní taveniny skrze kanály není jednoduchá a vyžaduje použití speciálních počítačových programů. [5]

4.3 Vyhazovací systémy

Vyhazování výstříků z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výstřík. K tomu slouží vyhazovací zařízení, které doplňuje formu a svojí funkcí zajišťuje automatický cyklus.

Poté co je výrobek v dutině formy zchlazen a forma se otevře, musí z ní být produkt vyhozen. U prototypových forem se často výrobky vyjímají ručně z důvodu ušetření nákladů na vyhazovací systém. Vyhazovací systém nemusí být potřeba vůbec, např. při vyjímání některých rozsáhlých nebo neobvykle tvarovaných výrobků, které je zajištěno operátory nebo roboty s přísavkami. K usnadnění sejmutí výrobku z jádra nebo dutiny může být použit proud vzduchu. [6]

Vyhazování má dvě fáze:

- dopředný pohyb, vlastní vyhazování
- zpětný pohyb do původní polohy

Automatické vyhazování: většina forem má vyhazovací mechanismus k oddělení produktu od formy, obvykle od jádra. Výrobky jsou vyhozeny a uvolní oblast formy bez manuální práce. Všechny formy by pokud možno měly mít automatický vyhazovací systém. [6]

Semi-automatický provoz: poté co vyhazovací mechanismus vyhodí produkt musí obsluha otevřít bezpečnostní dveře a vyjmout výrobek, před startem nového cyklu pak musí bezpečnostní dveře znovu zavřít. V případech kdy musí být jakkoli přítomna obsluha (např. pro dodatečné úpravy na produktu) obvykle nedochází k zvýšení ceny výrobku. Nicméně, rozdílná obsluha, a/nebo únava stejného dělníka, může měnit délku cyklu a ovlivňovat kvalitu (rozdílný čas setrvání plastu ve stroji) a velikost (rozdílné smrštění) produktu. [6]

Jsou dva základní druhy automatického vyhazování: s volným pádem (občas též “random“) a kontrolované vyjmutí. U volného pádu: produkty padají volně do krabice nebo dopravníkový pás. U kontrolovaného vyjmutí: jsou produkty z oblasti formy vyjímány pomocí robota nebo manipulátoru.

Výhody automatického vyhazování jsou:

- stálý čas cyklu, z toho důvodu uniformita procesu,
- absence obsluhy v blízkosti stroje zvyšuje bezpečnost provozu,
- možnost rychlejšího provozu než s obsluhou, tam jsou limity jak rychle může obsluha provádět úkony semi-automatického provozu bez nadměrné únavy. S velmi krátkými cykly to může být nemožné. [6]

4.4 Všeobecné zásady pro vyhazování

Základní podmínkou dobrého vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkopy stěn ve směru vyhazování. Úkopy nemají být menší než 30°. Vyhazování výstřiku musí probíhat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení, a tím ke vzniku trvalých deformací, nebo k jinému poškození. Umístění vyhazovačů, jejich tvar a rozložení může být velmi rozmanité.

Po vyhazovacích kolících zůstanou obvykle na výstřiku stopy. Jsou-li na závadu, umístí se vyhazovače na stranu kde vzhledu nevadí, nebo se změní koncepce vyhazování. Tím se ale často změní i zaformování výstřiku a celá koncepce formy. Při vhodném uspořádání se samovolně odděluje vtokový zbytek.

Vyhazovací systém je řízen:

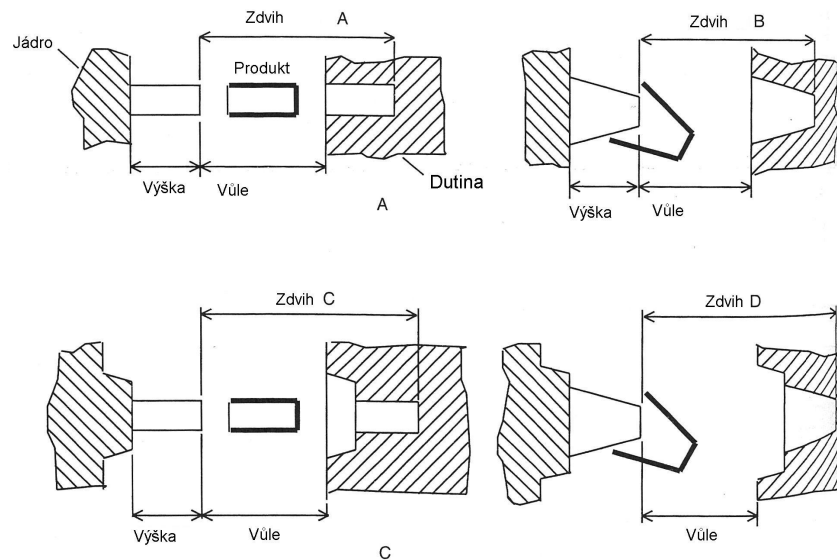
- axiálně seřiditelným nárazovým kolíkem,
- hydraulicky nebo pneumaticky,
- ručně – vhodné jen pro jednoduché zkušební formy.

Zpětný pohyb je zajištěn:

- vratnými kolíky,
- pružinami,
- speciálním mechanickým, pneumatickým nebo hydraulickým zařízením.

Vždy musí být zajištěna dostatečná vůle mezi jádrem a dutinou aby mohl výrobek volně propadnout aniž by se někde zachytil.

Zdvih formy musí zajistit dostatečnou vůli pro volné propadnutí výrobku. Produkt bez úkosu vyžaduje vůli větší než je jeho vlastní výška (Obr. 9 a), produkt s velkým úkosem nevyžaduje takovou vůli (Obr. 9 b). Jeli přítomen přídatný kužel, musíme velikost vůle zvětšit o jeho výšku (Obr. 9 c), krok musí zahrnovat výšku přidaného kužele, ale větší úkos umožňuje kratší vůli (Obr. 9 d). [6]



Obr. 9. Zdvih formy [6]

- a) produkt bez úkosů, b) produkt s velkými úkosy, c) produkt bez úkosů
a přídavný kužel, d) produkt s velkými úkosy a přídavný kužel

4.4.1 Kolíkové a válcové vyhazovače

Vyhazovače mohou být použity pro všechny tvary výrobků. Jejich výhodou je, že nejsou nijak drahé a snadno se používají. Zajišťují dobré přirozené odvětrání v místech, kde by mohlo dojít k uzavírání vzduchu a byly by nutné odvětrávací kanálky.

Nevýhodou je, že plocha kde tlačí na produkt je docela malá a výrobek musí být dobře zchlazen a dostatečně tuhý, aby při vyhazování nedošlo k deformaci nebo protržení povrchu výstřiku. [6]

4.4.2 Vyhazování stírací deskou

Alternativou vyhazovačů jsou stírače a nebo pneumatické vyhazování. Stírače mohou mít tvar desky či prstence a jsou běžnou alternativou vyhazování, jsou výhodnější než vyhazovače, protože plocha, kterou je na produkt tlačeno při vyhazování, je relativně velká. Rovněž stopy po stíracích deskách jsou méně výrazné. Nicméně mohou být použity pouze tam, kde má výrobek konturu v dělicí rovině. [6]

4.4.3 Pneumatické vyhazování

Pneumatické vyhazování je vhodnější než vyhazovače i stírací desky, protože konstrukce formy je bez pohybujících se mas vyhazovačů či stírací desky jednodušší. Výsled-

kem je delší životnost v porovnání s formou s vyhazováním pomocí vyhazovačů nebo stírací desky. Pneumatické vyhazování má však jistá omezení, nejvíce u šipkovitých produktů (kontejnery). Nevýhodou pneumatického vyhazování je nutnost zdroje tlakového vzduchu. [6]

4.5 Odvzdušnění forem

Teorie odvzdušnění je jednoduchá: vzduchu uvnitř dutiny formy musí být umožněno uniknout tak, že tekoucí tavenina může vyplnit prázdný prostor. Vzduch nebo jiné plyny se řídí základním zákonem který říká, že: tlak x objem = konstanta. [6]

Odvzdušnění je jednou z funkcí formy a při jejím navrhování by nemělo být opomíjeno, neboť nedokonalé odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výrobku nebo jeho nízkých mechanických vlastností.

Dutina formy je před vstříkovaním plastu naplněna vzduchem. Při jejím plnění během vstříkování je třeba zajistit odvod vzduchu či případných zplodin. S rostoucí rychlostí plnění dutiny musí být i odvzdušnění účinnější.

Rychlost vstříkování má vliv na optimální vlastnosti výstřiku. Rychlé plnění zajišťuje termickou homogenitu dávky taveniny a tím vede i k částečnému vyrovnání a odbourání vnesených orientací taveniny. Toho se využívá zvláště u výstřiků s malou tloušťkou stěny. [3]

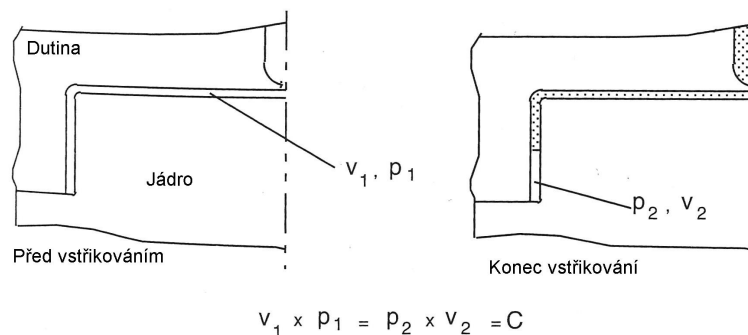
Nejčastějším jevem při rychlém plnění formy je stlačení vzduchu, který se vlivem vysokého tlaku silně ohřívá a způsobuje tzv. „Dieselův efekt“ (spálené místo na výstřiku). Když je vzduch stlačován, jeho tepelná kapacita je nyní koncentrována v malém objemu, výsledkem je vysoký nárůst teploty. Teplota může dosáhnout několika stovek stupňů celsia a způsobit na čele taveniny spáleniny. To je ze vzhledových nebo pevnostních důvodů nepřijatelné, proto odvzdušnění musí být účinné.

V průběhu plnění dutiny je do ní tavenina dopravována vstříkovacím tlakem, který na konci zdvihu dosahuje maxima. Přitom je tavenina podrobena protitlaku stlačeného vzduchu, jeho velikost je závislá na odvzdušnění. Je-li nutné zvyšovat vstříkovací tlak vlivem nedostatečného odvzdušnění, vnáší se tím do výstřiku vnitřní pnutí. [3]

Při nižších teplotách a nedostatečném tlaku a rychlosti plnění u výstřiku s tenčími stěnami, se vzduch soustřeďuje v koncových částech dutiny. Nemůže-li vzduch uniknout, vlivem protitlaku vznikne nedotečený výstřik (Obr. 10). [3]

Při určitém stavu technologických parametrů a větších tloušťkách stěn výstřiku, může vzduch, který nemá možnost být vytlačen, vniknout do taveniny a po zchladnutí v ní zůstává jako bubliny. Ty jsou obvykle ve výstřiku rozloženy na protilehlé straně vtoku. [3]

U starých metod stavby forem se k lokalizaci polohy odvzdušnění používala místa se špatným plněním a spáleninami, která se zjistila testováním formy. U dobře navržených forem musí být již v počátku navrženo adekvátní odvzdušnění. Ačkoliv zkušený konstruktér předvídá většinu míst, kde může dojít k uzavírání vzduchu, i po testování může být nutné dodělat nějaké odvzdušnění. [6]



Obr. 10. Nedostatečný výstřik [6]

v důsledku vysokého protitlaku uzavřeného vzduchu

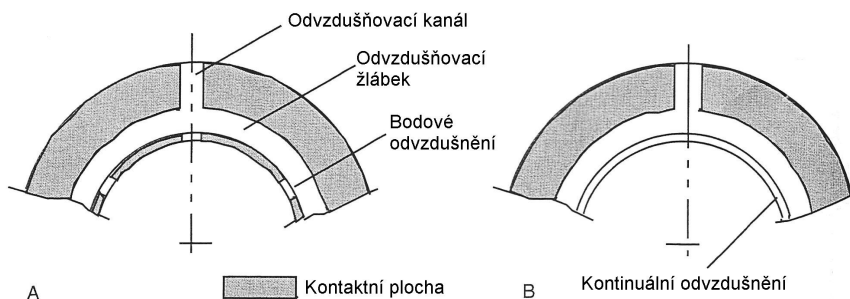
4.5.1 Odvzdušnění dělicí rovin

Vzduch z dutiny formy stačí často unikat dělicí rovinou a vůlemi mezi pohyblivými částmi. Potíže s odvzdušněním se vyskytují především u nových forem s dobře těsnící dělicí rovinou a vyhazovači. V průběhu činnosti se vůle vlivem opotřebení zvětšují a poskytují vzduchu stále větší možnosti úniku.

V opačném případě je třeba formu opatřit obdélníkovými odvzdušňovacími kanály. V dělicích rovinách se vytváří drážky 0,05-0,2 mm hluboké a 3-6 mm široké. Umísťují se na protilehlé straně vtoku.

Následující obrázky zobrazují okolí dutiny formy, ale jsou aplikovatelné v celé dělicí rovině. Nejlepší typ odvzdušnění je (Obr. 11 b) kontinuální, garantuje maximální větrací plochu, kterou může vzduch unikat. Nevýhodou je jistá ztráta opory (kontaktní plocha),

když je forma uzavřená. Bodové odvědušnění (Obr. 11 a) je možno zvolit z tohoto důvodu a rovněž také tam, kde je kontinuální odvědušnění obtížně vyrobiteľné. [6]

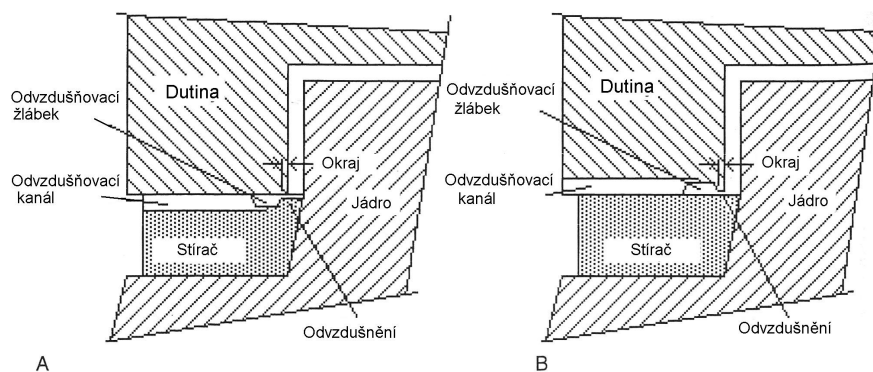


Obr. 11. Odvědušnění dělicí roviny [6]

a) bodové odvědušnění podél dílu, b) kontinuální odvědušnění po obvodu

Větrací žlábek a větrací kanál mohou být umístěny kdekoli vhodně pro výrobu formy. Odvědušnění je obvykle umístěno tam kde je plocha která zajišťuje snadný přístup pro brusný kotouč. [6]

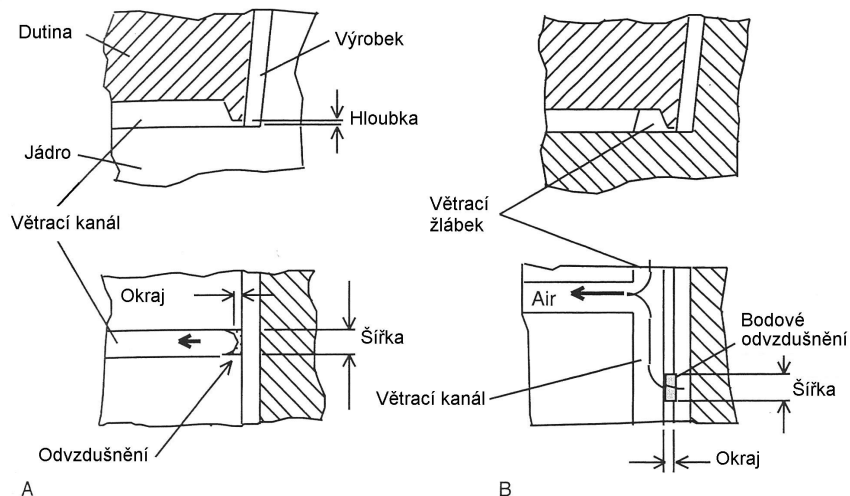
Následující obrázek (Obr. 12) je příkladem kontinuálního odvědušnění, průřez kanálu by měl být nejméně stejný jako průřez žlábků usnadňujícího únik vzduchu. [6]



Obr. 12. Příklad kontinuálního odvědušnění [6]

a) odvědušňovací kanál a žlábek ve stírači, b) odvědušňovací kanál a žlábek v dutině

Bodové odvědušnění může být připojeno přímo k odvědušňujícímu kanálu vedoucímu ven (Obr. 13 a). Také může vést k větracímu žlábků, který shromažďuje vzduch z několika odvědušňujících otvorů, jeden nebo několik kanálů pak umožňuje odvod vzduchu ven (Obr. 13 b). [6]



Obr. 13. Příklad bodového odvědnění [6]

a) odvědnění přímo do kanálu, b) odvědnění do žlábků ústí do kanálu

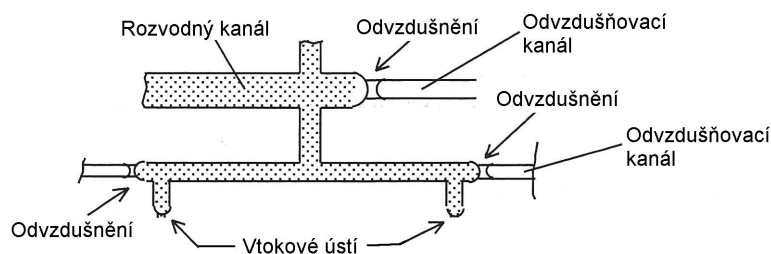
Tvar větracích kanálů a žlábků může být lichoběžníkový nebo obloukový, aby se zabránilo zachycení platu který může vniknout do těchto kanálů. Lichoběžníkový průřez má výhodu že v případě opětovného broušení dělicí roviny ovlivní méně průřez kanálu méně než v případě obloukového kanálu. Schématicky je znázorněno relativně větší redukce obloukového kanálu po následném broušení formy (Obr. 14). [6]



Obr. 14. Řez kanály [6]

4.5.2 Odvědnění rozvodných kanálů

Využití usnadňuje plnění dutiny v chladném rozvodném systému umožňuje únik části vzduchu stlačeného čelem taveniny před uzavřením vtokových ústí (Obr. 15). Odvědnění by mělo mít stejné rozměry jako odvědnění dutiny, ale může být také užší. [6]



Obr. 15. Odvědnění rozvodného systému

4.6 Temperace

Temperace slouží k udržování konstantního teplotního režimu formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu.

Během vstřikování je do formy přiváděn roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Temperace tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Každý výstřik představuje teplo, které je třeba temperačním systémem odvést.

Některé plasty se zpracovávají při vyšších teplotách formy (PC až 100-120 °C), v takovém případě jsou tepelné ztráty formy do okolí větší než ohřátí taveninou, a temperační systém musí naopak teplo dodávat. Také při zahájení každé výroby musíme formu nejprve vyhřát na pracovní teplotu.

Úkolem temperace je:

- zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu její dutiny,
- odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou, tak aby celý cyklus byl ekonomický.

Lokální nerovnoměrné rozložení teplot formy má za následek zvětšení rozměrových a zejména tvarových úchylek výstřiku. [3]

4.7 Údržba

Pro udržení dobré provozuschopnosti i dostatečné životnosti forem je třeba provádět včasnou a soustavnou údržbu. To představuje pečlivě sledovat formu se snahou udržet její funkci v optimálních podmínkách. Toho se dosáhne:

- čištěním formy od zbytků plastů a jiných chemických produktů při vstřikování,
- dobrým mazáním všech pohyblivých dílů,
- dokonalou konzervací v případě odstavení formy,
- při nadměrném opotřebení zajistit úpravu nebo náhradu dílů.

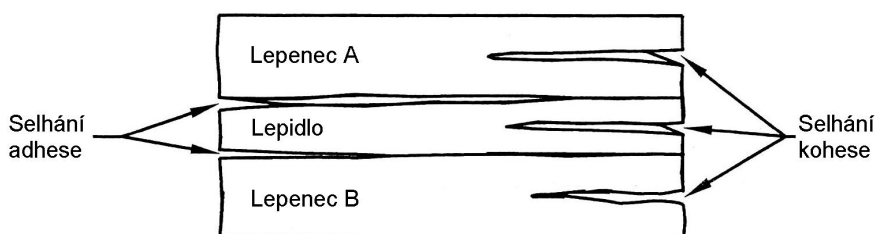
5 SPOJOVÁNÍ PLASTOVÝCH DÍLŮ

5.1 Lepení

Lepení představuje spojování dvou těles pomocí lepidla, nebo rozpouštědla. V teorii lepení jsou hlavními termíny adheze (přilnavost) a kohese (soudržnost).

Přilnavost je myšlena soudržnost dvou těles. Na schématu (Obr. 16) jsou tři taková tělesa: lepené těleso A, lepidlo a lepené těleso B. vyskytují se zde dvě přilnavosti, jedna mezi lepenecem A a lepidlem a druhá mezi lepenecem B a lepidlem. Adhezní selhání poukazuje na selhání těchto adhezí. To se obvykle stane díky nedostatečné úpravě lepených ploch. [7]

Soudržnost je myšlena síla uvnitř tělesa, která ho drží pohromadě. Porušení soudržnosti popisuje porušení uvnitř tělesa. Selhání soudržností všech tří těles je znázorněno v pravé části. [7]



Obr. 16. Selhání adheze versus selhání kohese [7]

Při testování lepeného spoje je ideálem 100% porušení soudržnosti, které naznačuje, že dosažená přilnavost byla pevnější než okolní materiál. Mějme na paměti, že lepidlo je také jedním z okolních materiálů. Jestliže lepidlo selže kohezním způsobem, je třeba zvolit pevnější nebo větší plochu. Jestliže lepený předmět selže v kohezních vlastnostech níže než je vyžadovaná pevnostní úroveň, měl by být zvolen pevnější materiál. [7]

Mechanická adheze: teorie adheze říká, že lepidlo vniká do pórů v povrchu materiálu a utváří mechanický spoj.

Adsorpční adheze: teorie adheze známá též jako *specifická adheze*, říká, že molekulární kontakt mezi dvěma plochami a z toho plynoucí povrchové síly mají za následek adhezi.

Efektivní adheze: sloučení mechanické a adsorpční adheze [7]

Používání lepidel a rozpouštědel při skládání plastových dílů je poměrně rozšířené. Lepení rozpouštědly je jednou z nejméně nákladných technik. Poslední výzkumy v technologii lepení vedly ke vzniku mnoha nových aplikací lepení. [7]

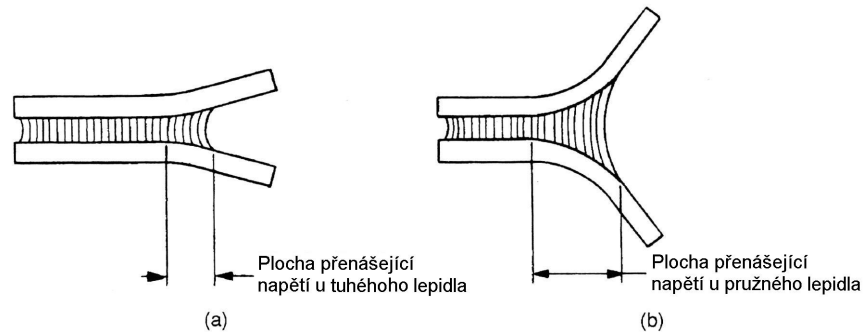
Výhody:

- *rovnoměrná distribuce napětí:* jedním z ústředních problémů spojených s návrhem plastových sestav je kontrola napětí, procesní technologie užívané při výrobě plastových dílů mají za následek proměnlivý stupeň vnitřní napjatosti,
- *spojování odlišných materiálů:* např. lepení plastů a dalších materiálů, nebo dvou plastů, které nemohou být spojeny rozpouštědly nebo svařováním,
- *zajištění materiálové integrity:* spojovací součásti, hlavní konkurenti lepení v mnoha spojovacích aplikacích, vyžadují přítomnost děr ve výrobku, které mají za následek vznik studených spojů v okolí díry, studené spoje mají sklony ke snižování pevnosti struktury,
- *maximální odolnost vůči únavě:* mnoho lepidel má schopnost absorpce vibrací, které mohou způsobit únavu materiálu pokud jsou přeneseny do jeho struktury,
- *schopnost zajištění těsného spoje:* pokud je lepidlo, nebo rozpouštědlo aplikováno kontinuálně, bude zajištěno utěsnění vnitřku sestavy od okolí,
- *redukce hmotnosti:* lepidla a rozpouštědla mají nízkou specifickou hmotnost a jsou aplikována ve velmi tenké vrstvě,
- *hladká plocha:* pro aplikace, kde vyčnívající upevňovače, nebo svary mohou být v rozporu s estetickými nebo funkčními požadavky na výrobek,
- *tenké nebo flexibilní spojení,*
- *redukce výsledné ceny produktu.* [7]

Nevýhody:

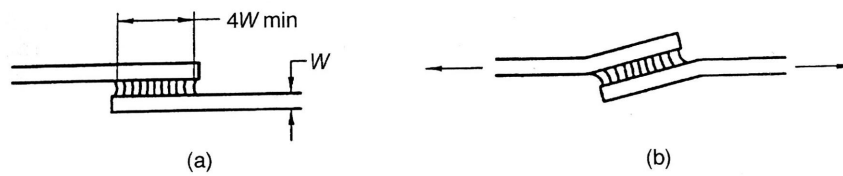
- *cena:* vysoké náklady na likvidaci odpadního lepidla,
- *obtížná recyklace:* lepidlo je znečišťující látka a musí být odstraněno,
- *neurčitost pevnosti spoje:* vlastnosti spoje se mění s jeho věkem,

- *limitovaná rychlost spojování*: díly obvykle vyžadují aretaci (problém u tvarově složitých dílů),
- *speciální zacházení*: většina rozpouštědel a lepidel je hořlavá,
- *kontrola emisí výparů*,
- *příprava lepené plochy*: plochy musí být čisté. [7]



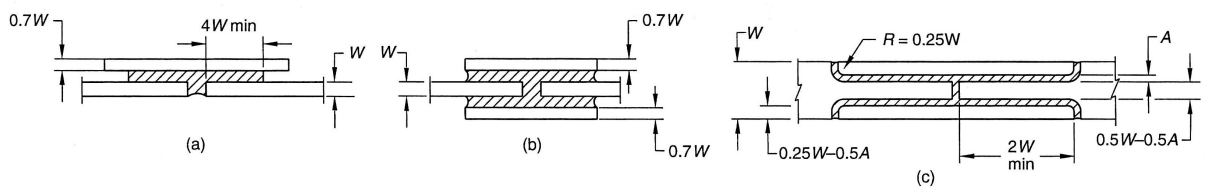
Obr. 17. Odlepování lepeného spoje [7]

a) plocha přenášející napětí u tuhého lepidla b) plocha přenášející napětí u pružného lepidla



Obr. 18. Spoj namáhaný tahem [7]

a) rozměry spoje, b) tahový efekt



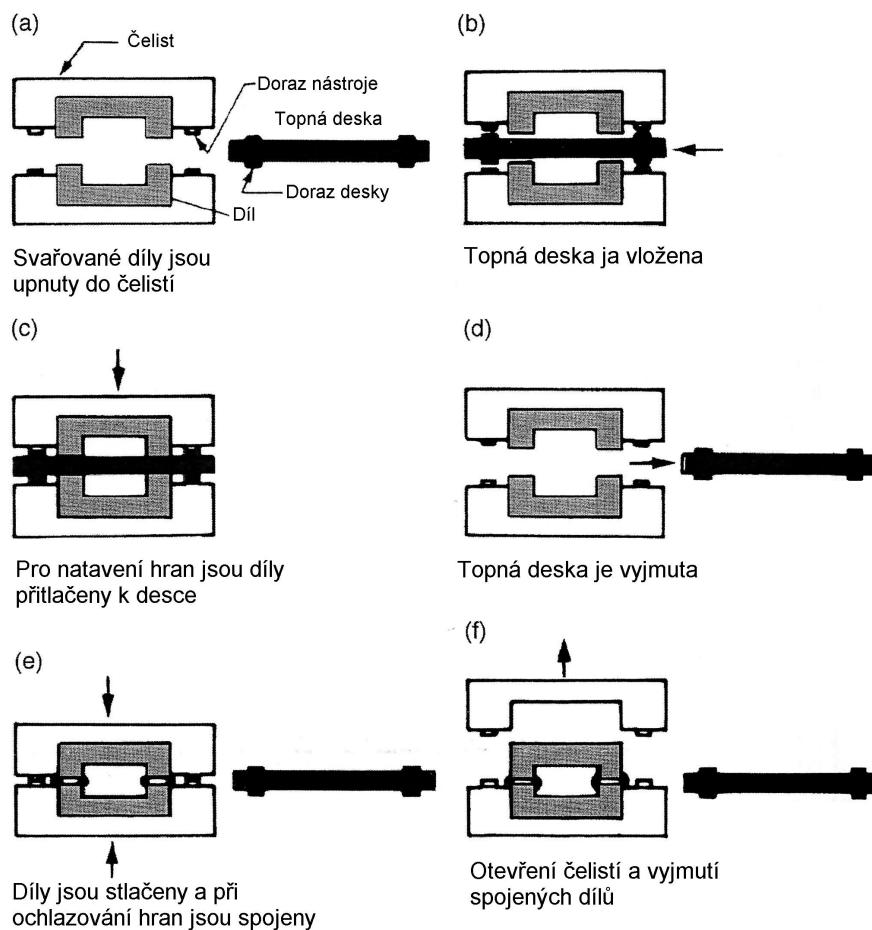
Obr. 19. Lepený spoj se třmenem [7]

a) spoj s jedním třmenem b) spoj s dvojitým třmenem
c) spoj se zapuštěným dvojitým třmenem

5.2 Svařování

5.2.1 Svařování horkou deskou:

Svařované části se umístí do čelistí (Obr. 20), poté se pomocí horké desky nahřeje místo spoje obou spojovaných částí na teplotu tavení, takto připravené části se po vyjmutí horké desky stlačí k sobě, tím vzniká svarový spoj. [7]



Obr. 20. Proces svařování s horkou deskou [7]

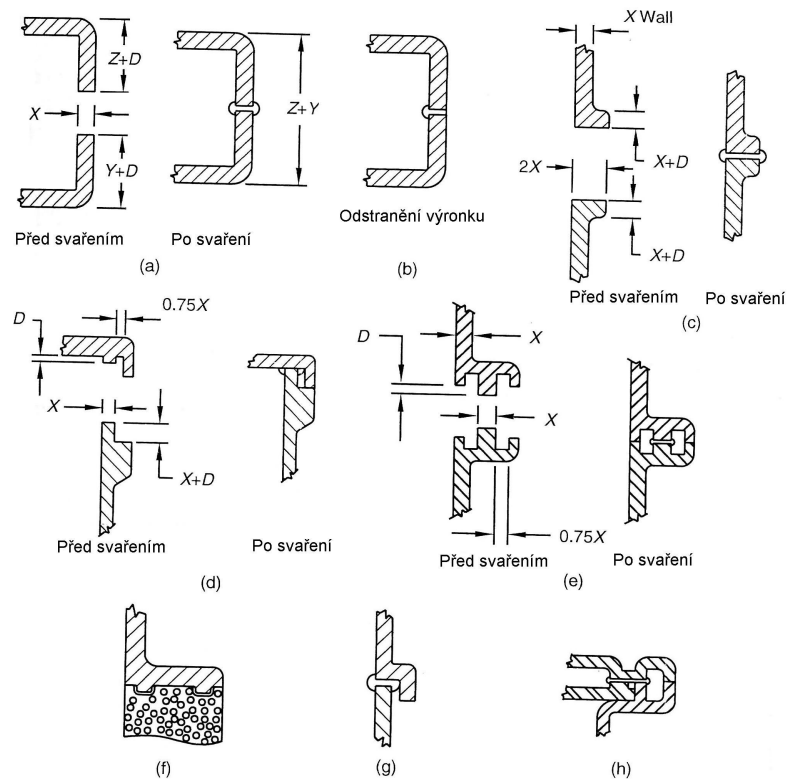
Výhody:

- žádný přídavný materiál,
- snadné sestavení sestavy,
- uchycení dalších dílů – přídavné díly mohou být uchyceny mezi svařované kusy,
- souvislost spoje,
- tvarová volnost spoje,
- možnost těsného spoje,

- čisté ovzduší bez výparů,
- vysoká produkční rychlost,
- použitelnost pro velké díly,
- nehlučnost,
- možnost umístění svaru uvnitř svařovací geometrie,
- použitelné pro Polyolefiny. [7]

Nevýhody:

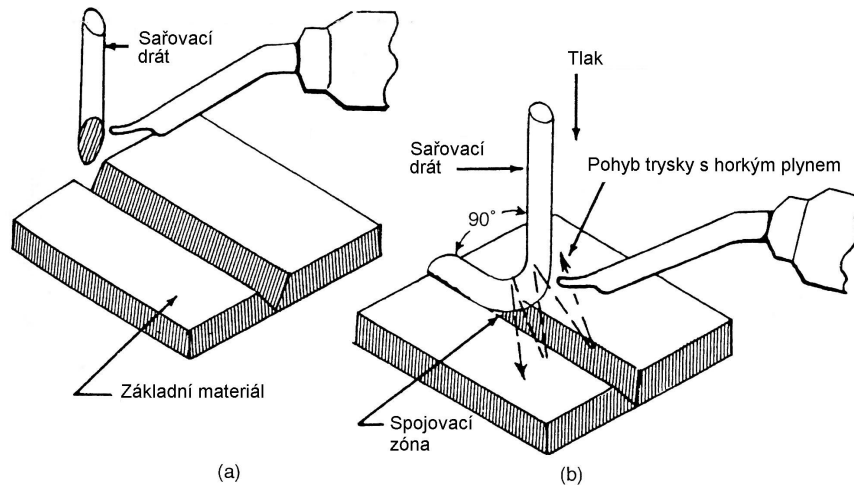
- energetická náročnost,
- pomalý start – musíme ohřát desku,
- napětí – proces může vyvolat napětí v oblasti spoje,
- čištění desky,
- cena zařízení. [7]



obr. 10-5 Typy svarů [7]

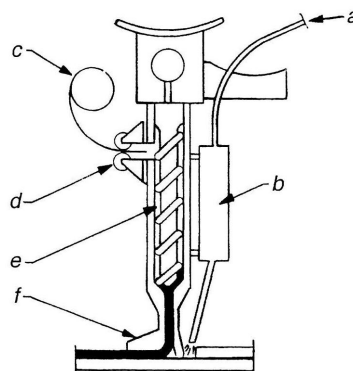
a) úzký svar, b) odstranění výronku, c) patkový svar, d) zapuštěný olemovaný svar, e) dvojitě olemovaný svar, f) patka navařená do plastické pěny, g) olemovaný svar, h) spojení tří dílů

5.2.2 Svařování horkým plynem:



Obr. 21. Svařování horkým plynem [7]

a) počátek svařování, b) průběh svařování



Obr. 22. Vatlačovací svařování [7]

a) přívod vzduchu, b) ohříváč vzduchu, c) zdroj přídavného materiálu, d) podavač přídavného materiálu, e) extruder, f) svařovací bota

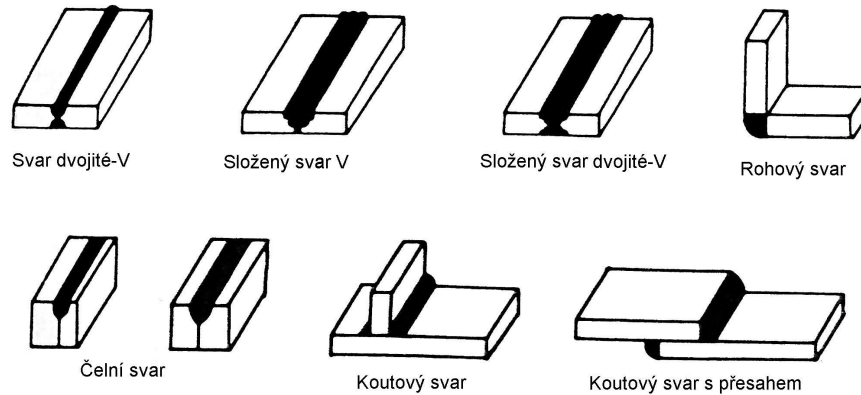
Výhody:

- nízké investice do zařízení,
- tvarová volnost spoje,
- přenosnost zařízení,
- velikost pracoviště: mobilita technologie umožňuje svařování velkých dílů,
- použitelné pro Polyolefiny. [7]

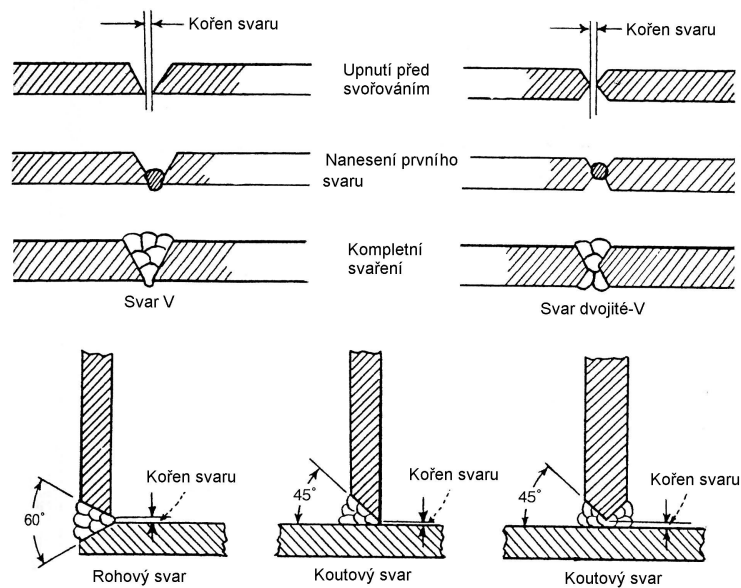
Nevýhody:

- rychlost – v porovnání s ostatními technikami svařování nejpomalejší,
- potřeba přídavného materiálu,

- *ruční technologie*
- zručnost svářeče
- mzda svářeče. [7]



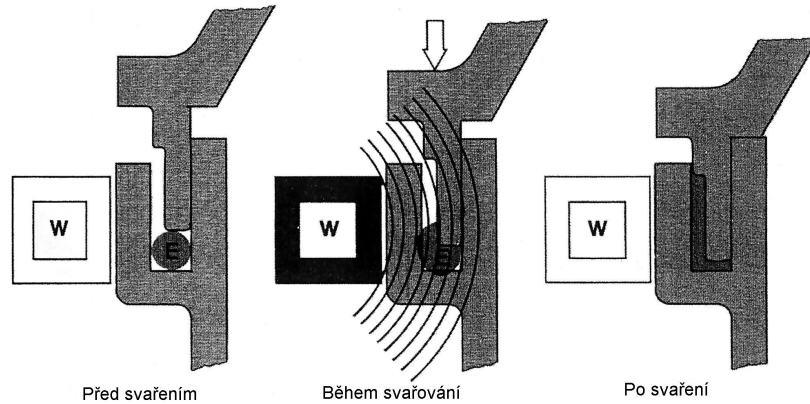
Obr. 23. Typy svarů [7]



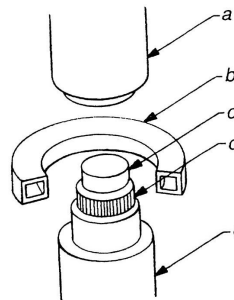
Obr. 24. Zkosení hran a příprava svařování [7]

5.2.3 Elektromagnetické svařování:

U elektromagnetického svařování se využívá elektrické indukce, proto přídavný materiál musí obsahovat kovové částice. Elektrickou indukcí dochází k ohřátí kovových částic přídavného materiálu, tyto horké částice pak roztaví polymerní matrici přídavného materiálu, poté jsou svařované kusy stlačeny a přídavný materiál vyplní určený prostor (Obr. 25). [7]



Obr. 25. Průběh svařování [7]



Obr. 26. Elektromagnetický svařovací proces [7]

a) horní díl upnut v držáku b) cívka, c) spodní díl, d) elektromagnetický přídavný materiál, e) držák

Výhody:

- vysoká produkční rychlost,
- pevnost spoje,
- uchycení dalších dílů – přídavné díly mohou být uchyceny mezi svařované kusy,
- souvislé spoje,
- rozebíratelnost,
- podobné materiály s vysokým stupněm plnění,
- rozdílné materiály,
- tvarová volnost spoje,
- těsný spoj,
- nízké tolerance,
- přesná kontrola ohřevu. [7]

Nevýhody:

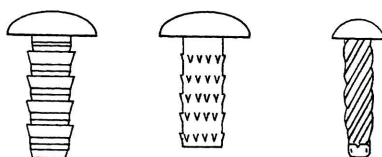
- přítomnost přídavného materiálu,
- omezení tvaru: indukční svařování je omezeno na aplikace, kde má cívka přístup ke spoji,

- *přídavné montážní operace*: indukční svařování vyžaduje umístění tří dílů do přípravku svářečky: dvě spojované části plus feromagnetický materiál,
- *indukční svařování je omezeno na aplikace, kde cívka má přístup ke spoji*,
- *koncentrace napětí*: napětí může být způsobeno kovem obsaženým v plastu ve spoji,
- *kovové inserty*: kovové části uvnitř elektromagnetického pole se ohřívají,
- *pořizovací náklady*,
- *rozklad polymerů*,
- *bezpečnost*: vlivem indukce může dojít k nárůstu teploty kovových předmětů na oděvu nebo užitkové předměty (pera, náradí). [7]

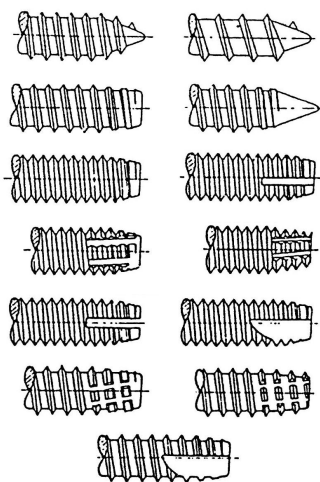
5.3 Spojovací součásti

Potřeba znovuotevření sestavy v rámci údržby omezuje množství použitelných montážních metod. Tradiční názory na rozmontování výrobku vedly k užívání spojovacích součástí, nicméně dnes je hlavním trendem omezování jejich používání. Při jejich použití vznikají přídavné náklady, a to při jejich nákupu a při montáži. Navíc, jejich vyjmutí při rozebírání produktu během recyklace může být nákladné. [7]

5.3.1 Samořezné šrouby a zalisovací kolíky



Obr. 27. zalisovací kolíky [7]



Obr. 28. Samořezné šrouby [7]

Výhody:

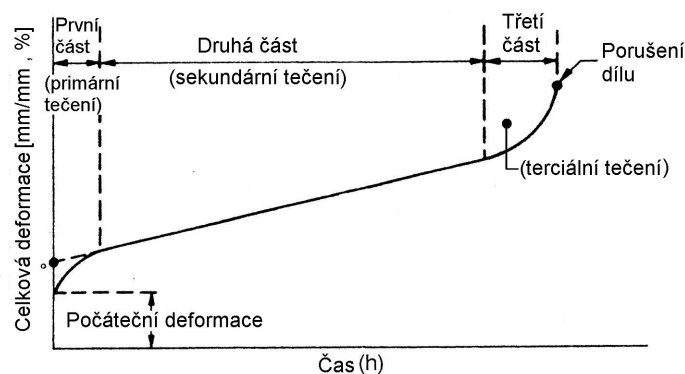
- *rozebíratelnost*: hlavní důvod pro použití většiny upevňovacích součástí spočívá v jejich schopnosti být vyjmuty,
- *nízké technologické nároky*,
- *nízká objemová kapacita*: většina upevňovacích součástí nevyžaduje žádné speciální prvky, které by znemožnily jejich použití na nejnižším výrobním stupni,
- *vysoká objemová kapacita*: s rostoucím objemem mohou být pro zrychlení procesu některé prvky vytvořeny přímo na výrobku,
- *dostupnost*,
- *spojování reaktoplastů a rozdílných materiálů*. [7]

Nevýhody:

- *koncentrace napětí*: upevňovače koncentrují svou zátěž do místa, kde jsou uloženy,
- *uvolnění*: tečení, vlhkost a relaxace napětí mohou způsobit uvolnění spojovacích součástí v plastovém díle,
- *vrubová citlivost*: mnoho plastů vykazuje vysokou citlivost na vruby, a závit šroubu není nic jiného než série vrubů,
- *crazing*: drobné praskliny, které mohou být počátkem mnohem vážnějších poruch vedoucích k úplnému selhání dílu,
- *omezení opětovného spojení*: pevnost různých plastů se výrazně liší a je velmi obtížné určit napětí způsobené při ručním utahování,
- *rozdíly v tepelné roztažnosti*: běžně jsou spojovány díly z rozdílných materiálů, rozdíly koeficientu tepelné roztažnosti mohou vést při teplotních extrémech k strukturnímu napětí,
- *ztráta vlastností díky vlhkosti*: u některých plastů je pevnost a tuhost ovlivněna vlhkostí,
- *cena spojovacích součástí*: spojovací součásti se značně liší v ceně a některé jsou velmi nákladné,
- *cena rozebírání při recyklaci*: většina spojovacích součástí je kovová, proto jsou znečištěním recyklovaného odpadu a musí být odstraněny,
- *nepříjemný vzhled*,
- *nutnost přístupu k oběma stranám dílu*: v případě že použit šroub s maticí. [7]

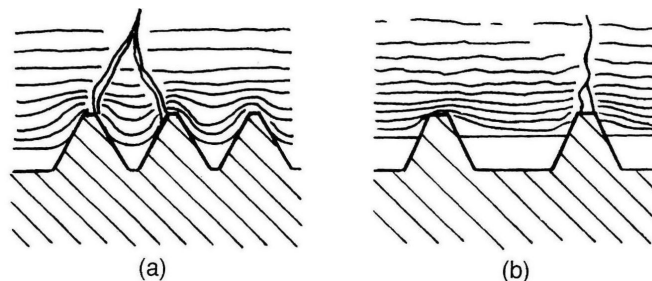
Tečení: kontinuální deformace plastu pod konstantním zatížením. Tečení může být způsobeno tahovým, ohybovým a stříhovým napětím. Rychlost tečení se pro daný materiál mění s teplotou.

Data tečení jsou obvykle zobrazena jako funkce tahové deformace a času, (Obr. 29). Průběh tečení je rozdělen na tři části. První část, primární tečení, proběhne ihned po zatížení. Druhá část, sekundární tečení, je víceméně konstantní. Závisí na materiálu, teplotě, zatížení a povětrnostní odolnosti a trvá i roky. Sekundární tečení je nevratná změna. Poslední částí je terciální tečení, projevuje vysokou rychlostí deformace před porušením. [7]



Obr. 29. Křivka tečení [7]

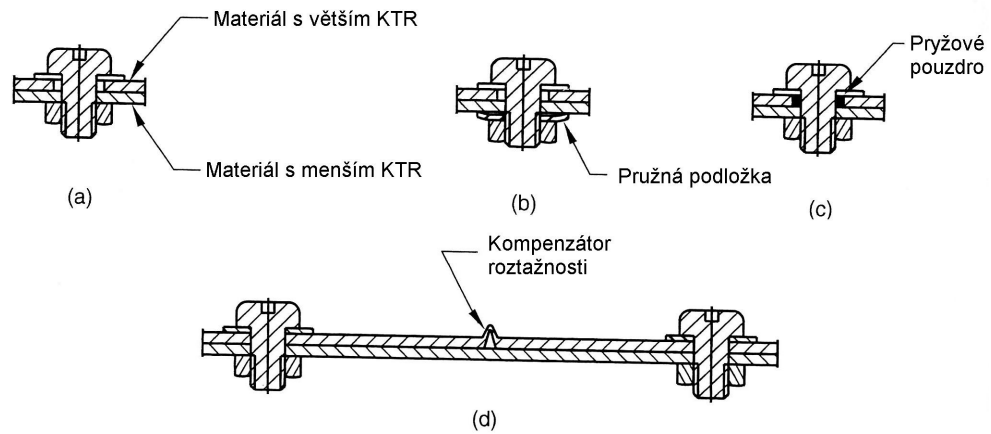
Vrubová citlivost: citlivost mnoha plastů na vruby dělá plastové závity náchylné k tomuto jevu. Jak je zobrazeno na obrázku (Obr. 30a) je závit méně citlivý na vruby při použití šroubů formujících závit než při použití šroubů závitorezných, protože dříve jmenovaný má nepatrně zaoblený profil závitů, nicméně jak je znázorněno může i tak vzniknout porušení. Tvrdé materiály vyžadují použití závitorezných šroubů. U závitorezných šroubů (Obr. 30b) musí být použit profil s ostrými hranami závitů k prořezání se povrchem plastu, u pryskyřic, jež jsou křehké dochází k větší vrubové citlivosti. [7]



Obr. 30. Vrubová citlivost [7]

Rozdílná teplotní roztažnost: spojení materiálů s rozdílnou teplotní roztažností může při teplotních extrémech a neumožnění dilatace vyvolat strukturální napětí. Ideální spojení je

navrženo tak, že jednomu dílu je vůči druhému umožněno dilatovat. Níže (Obr. 31) jsou znázorněna řešení takových spojů. [7]



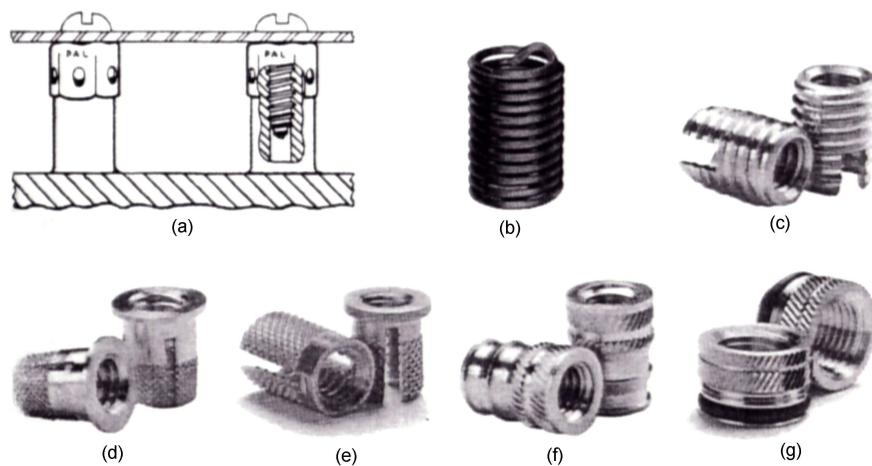
Obr. 31. Napětí uvolňující spoje [7]

- a) spoj s dilatační vůlí kolem šroubu, b) spoj s pružnou podložkou, c) spoj s pryžovým pouzdem, d) spoj s kompenzátorem dilatace

5.3.2 Závité vložky:

Výhody:

- *pevnost,*
- *znavupoužitelnost,*
- *standardní závity,*
- *kvalitní závit,*
- *odolnost proti poškození.* [7]

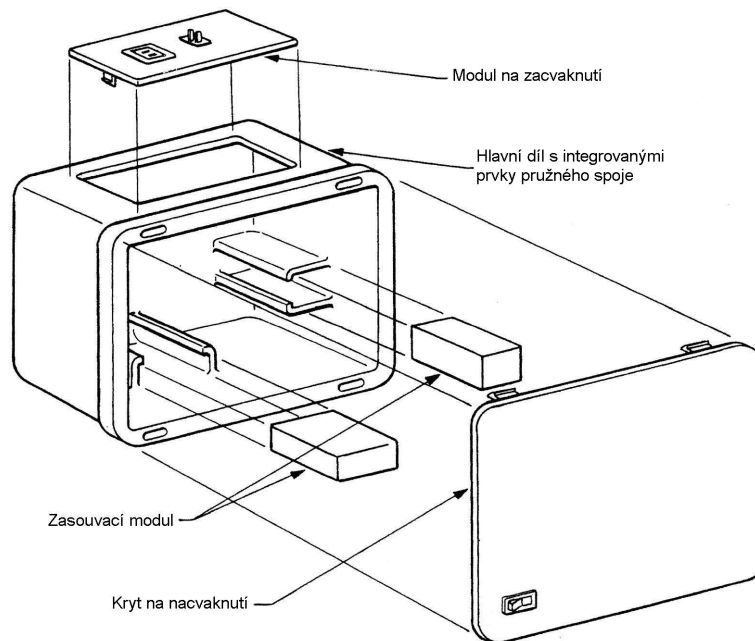


Obr. 32. Závité vložky [7]

- a) víčko nálitku (Palmut Company), b) vložka helical coil (Helicoil/Emhart), c) samořezné (Dodge/Emhart), d) rozvírací (Dodge/Emhart), e) expanzní (Dodge/Emhart), (f) ultrazvuk (Dodge/Emhart), g) těsné (Dodge/Emhart)

5.4 Pružný spoj

Pružný spoj je možno použít pro mnoho aplikací. Hlavní zřetel je brán na tvar výrobku, zatížení spoje, znovurozebíratelnost, cena formy, a zdali je spoj schopen odolat složeným efektům dlouhodobého zatížení. Také protože pružné spoje nejsou obecně vystaveny dlouhodobému napětí, je vyžadován nižší koeficient bezpečnosti. [7]



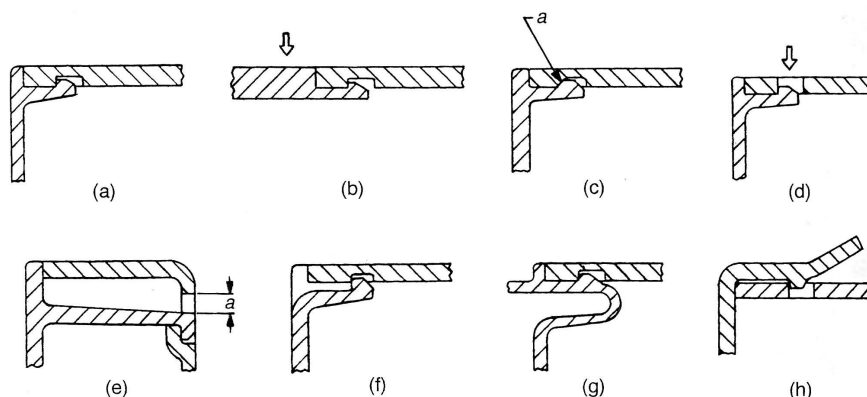
Obr. 33. Omezování spojovacích součástí [7]

Výhody:

- žádný přídavný materiál,
- snadné spojení: pružné spoje vyžadují pouze přímé vložení, tudíž mohou být složeny ve většině aplikací bez použití náradí a jsou vhodné pro automatickou montáž,
- možnost použití pro rozdílné materiály,
- permanentnost: pro permanentní sestavy jsou použity pevné pružné spoje nepřístupné z vnější strany výrobku,
- rozebíratelnost,
- tvarová volnost,
- uchycení dalších dílů: další díly mohou být uchyceny mezi dva díly pružného spoje,
- energetická efektivnost,
- čisté ovzduší: bez výparů jako u lepení,
- okamžitá manipulace,
- vysoká produkční rychlost: 20 až 60 dílů / min. [7]

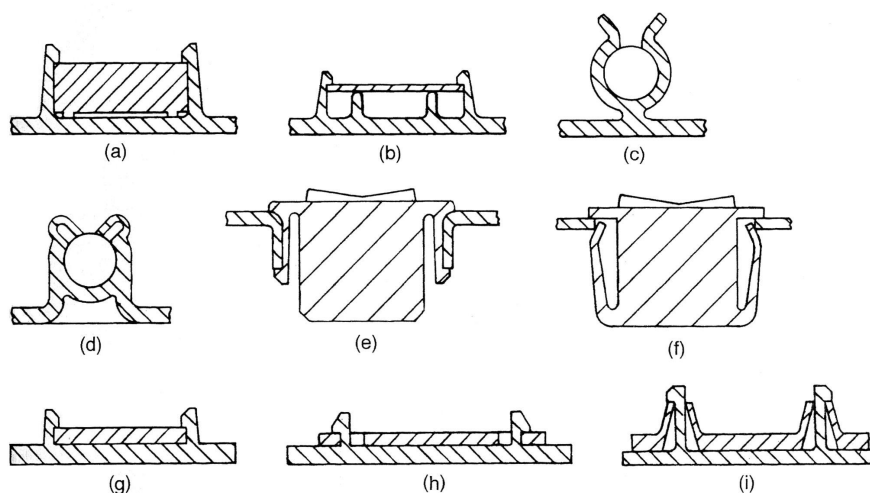
Nevýhody:

- *omezení formy*: pružný spoj má za následek omezení volnosti navrhování způsobu doformování výrobku,
- *materiálová omezení*,
- *tepelná roztažnost*: podstatné rozdíly v koeficientu tepelné roztažnosti mohou mít za následek praskání nebo uvolnění spoje.
- *absorpce vlhkosti*: roztažení následkem absorpce vlhkosti může vést k uvolnění,
- *montážní omezení*: nechráněné pružné západky jsou při montáži náchylné ke zlomení, zejména u automatické montáže,
- *omezená schopnost utěsnění*. [7]



Obr. 34. Pružné spoje [7]

a) pevný, b, c) rozebíratelný, d) rozebíratelný s bočním přístupem, e) rozebíratelný se spodním přístupem, f) rozebíratelný s čelním přístupem, g) lehce rozebíratelný – U-rameno, h) lehce rozebíratelný – západka



Obr. 35. Příklady použití pružného spoje [7]

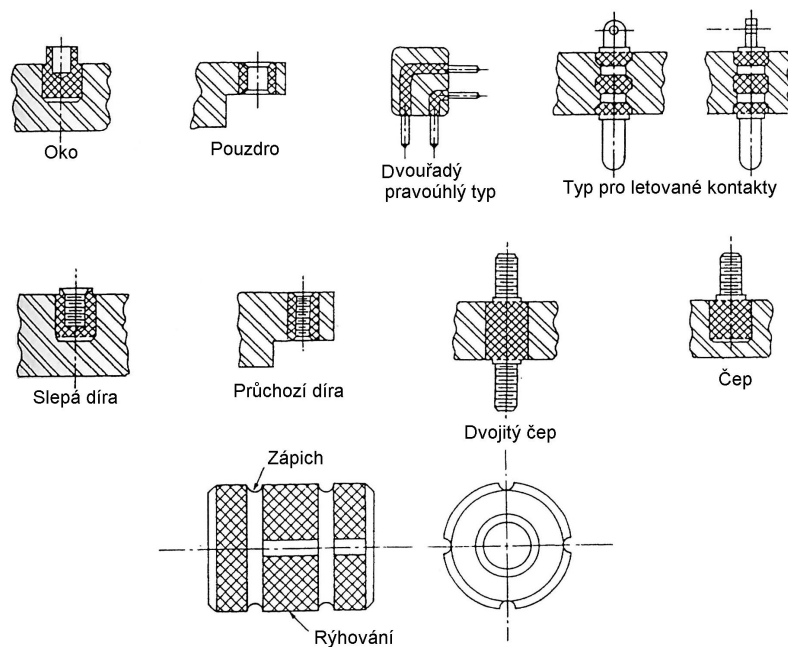
a) uchycení elektrických komponent, b) montáž potíštěných desek, c) válcový zámek, d) částečně trvalý válcový zámek, e) výklenkový zámek, f) panelový zá-

mek, g) konzolový hák s úzkou tolerancí, h) konzolový hák s širokou tolerancí,
i) bajonet se samonaváděcími prvky

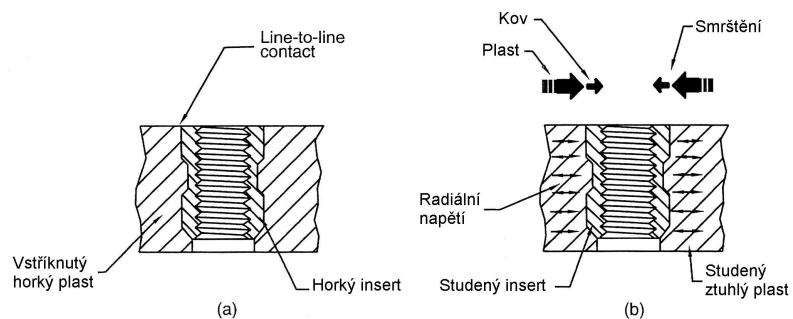
5.5 Insert moulding

Pro spojování plastových dílů lze využít vložek které budou tvořit část spoje. Vložky mohou mít různé tvary, nejčastější jsou čepy a pouzdra. Vložky bývají nejčastěji kovové, tím je dosaženo lepších mechanických vlastností v místě spoje.

Pro upevnění vložky do polymerní matrice lze využít tvaru vložky (zápichy, drážky) nebo smrštění polymeru (podobně jako nalisovaný spoj), ale zde vzniká napětí v polymeru (Obr. 36). [7]



Obr. 36. Typy insertů [7]

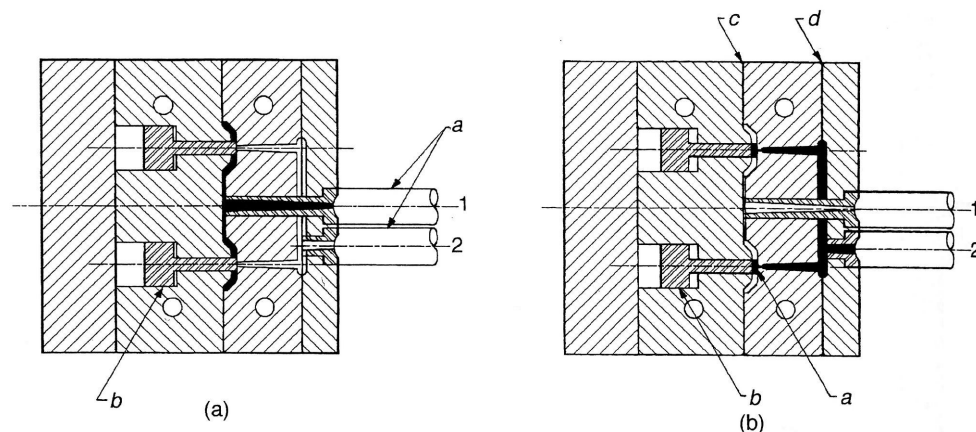


Obr. 37. Tvorba napětí při tuhnutí [7]

a) těsně po vstříknutí, b) radiální napětí vzniklé ochlazením

5.6 Vícekomponentní vstřikování

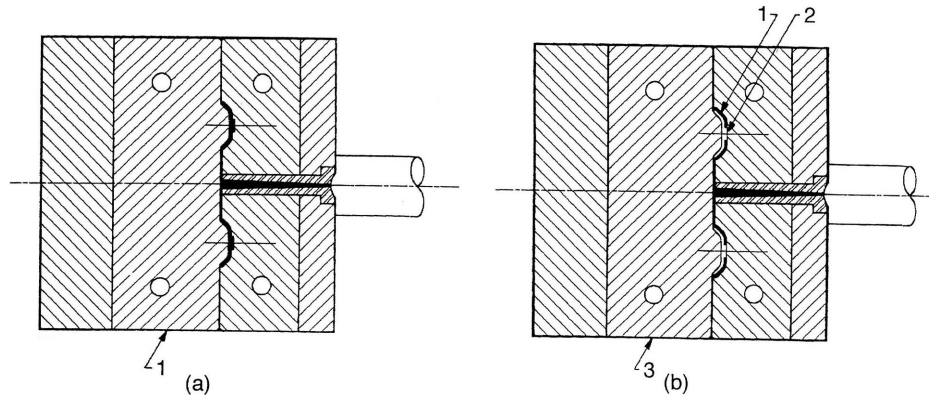
U vícekomponentního vstřikování jsou tři základní metody: zasouvací jádra, vícenásobné dutiny a otočné jádro. Dvě z nich jsou podobné v technologii a odlišné použitým zařízením. U všech technik je první materiál zpracován konvenčním způsobem. U techniky se zasouvacími jádry brání jádra vniknutí druhého materiálu do dutiny formy při vstřikování prvního materiálu. Jádra jsou poté dostatečně zatažena, aby dovolila materiálu z druhé vstřikovací jednotky vyplnit dutinu (Obr. 38) . [7]



Obr. 38. Vícekomponentní vstřikování – zasouvací jádro [7]

- (a) 1. vstříknutí: a, vstřikovací jednotky; b, jádro ve vysunutě pozici;
 (b) 2. vstříknutí: a, druhý polymer; jádro v zatažené pozici; c, hlavní dělicí rovina; d, dělicí rovina kanálu

U dalších dvou metod je druhý materiál vstřikován okolo prvního nebo na první. Obrázek (Obr. 39) zobrazuje příklad techniky s několikanásobnou dutinou, kde druhá dávka je vstřikována přes první. Díl poté co byl vystříknut (Obr. 39a), zůstává na svém jádru a je přesunut do druhé dutiny s vlastní vstřikovací jednotkou. Dutina je tvořena z části prvním dílem, takže některé jeho části tvoří překážky při plnění nové dutiny. Druhý materiál je pak vstříknut do prázdné dutiny (Obr. 39b). [7]

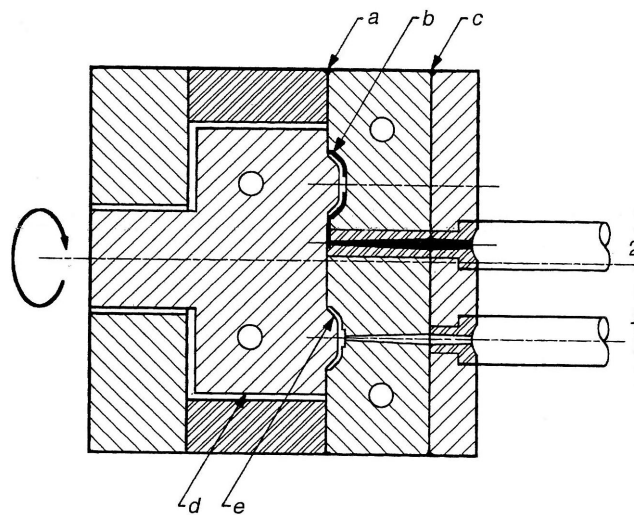


Obr. 39. Vícekomponentní vstřikování – násobné dutiny [7]

(a) vstříknutí 1. materiálu : 1) jádro s díly ; (b) vstříknutí 2. materiálu :
1) část z druhého materiálu, 2) viditelná část z prvního materiálu

Pro velké zpracovávané objemy, může tento proces využívat rotační stůl s dvěma vstřikovacími jednotkami s rozdílnou polohou okolo stolu.

Technologie s otočným jádrem vyžaduje speciální vstřikovací stroj s dvěma vstřikovacími jednotkami. Forma je vybavena otočným jádrem (Obr. 40). první část je vstříknuta do spodní dutiny. Poté je otočena do horní polohy s druhou dutinou, která se poté zaplní. Poté se forma opět otevře a výrobek je vyhozen. [7]



Obr. 40. Vícekomponentní vstřikování – otočné jádro [7]

a) hlavní dělicí rovina, b) část z druhého materiálu, c) dělicí rovina pro vyjmutí vtoku, d) otočné jádro, e) část z prvního materiálu

II. PRAKTICKÁ ČÁST

Na základě dohody o mlčenlivosti uzavřené s firmou Robert Bosch spol. s r.o. podléhá praktická část diplomové práce utajení.

6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro diplomovou práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracování literární studie,
- navržení geometrie spoje,
- provedení simulace,
- provedení praktických zkoušek,
- vyhodnocení výsledků.

Celá práce je směřována do oblasti vstřikování a spojování dílů při vstřikování, proto je i literární studie převážně zaměřena na vstřikování.

Praktickým cílem je navržení spojovací geometrie pro přírubu a hydraulický konektor, jež jsou součástí palivového modulu vyráběného firmou Robert Bosch České Budějovice.

Navržená řešení geometrie je nutné také fyzicky otestovat, aby bylo možno provést vyhodnocení a případné úpravy. Získaná data je třeba vyhodnotit a na jejich základě vytvořit závěr.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Domininghaus, Hans. *Plastics for engineers: Materiál, Properties, Applications*. Munich: Hansen Publisher, 1993. 785s. ISBN 3446157239
- [2] BOBČÍK, Ladislav a Kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. opr. vydání. Brno: UNIPLAST, 1999. 133s.
- [3] BOBČÍK, Ladislav a Kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*. 1. vydání. Brno: UNIPLAST, 1999. 214s.
- [4] PÖTSCH, Gerg., MICHAELLI, Walter. *Injection moulding – An Introduction*. Munich: Hansen Publisher, 1995. 195s. ISBN 1-56990193
- [5] Zehev, Tadmor., Costas, G. Gogos., *Principles of polymer processing*. 2. vydání. ISBN 0-471-38770-3
- [6] REES, Herbert., *Mold engineering*. 2. vydání, Munich: Hanser Publishers, 1995. 612 s. ISBN 3-446-17729-9.
- [7] Jordan, Rotheiser., *Joining of Plastics – Handbook for designers and engineers*. 2. vydání. Munich: Hansen Publisher, 2004. 565s. ISBN 1-56990-354-9
- [8] TOMIS, František., HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravky*. Brno: VUT, 1985. 278s.
- [9] ŠTĚPEK, Jiří., ZELINGER, Jiří., KUTA, Antonín. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1989. 637 s.
- [10] MENGES, Georg., MICHAELLI, Walter., MOHREN, Paul. *How to Make Injection Molds*. 3rd ed. Munich: Hanser Publisher, 2001. 612 s. ISBN 3- 446-21256-6.
- [11] TRES, P. A. *Designing plastic parts for assembly*. 5th ed. Munich: Hanser Publisher, 2003. 280 s. ISBN 3-446-22456-4.
- [12] LINDNER, E., UNGER, O. *Injection molds*. 3rd ed. Munich: Hanser Publishers, 2002. 249 s. ISBN 3-446-21448-8.
- [13] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.

- [14] BEAUMONT, J. P., NAGEL, R., SHERMAN, R. Successful injection molding. Munich: Hanser Publishers, 2002. 362 s. ISBN 3-446-19433-9
- [15] Interní literatura firmy Robert Bosch České Budějovice

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS	Akrylonitril-butadien-styren
ASA	Akrylonitril-styren-akrylát
CA	Acetát celulosy
CAB	Acetobutyrate celulosy
CP	Propionát celulosy
EVA	Etylen-vinylacetát
KTR	Koeficient tepelné roztažnosti
IPE	Lineární Polyethylen
PA	Polyamid
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polykarbonát
PET	Polyetylentereftalát
PMMA	Polymethylmetakrylát
POM	Polyoximethylen
PP	Polypropylen
PPO	Polyfenilenoxid
PS	Polystyren
PUR	Polyuretan
PVC	Polvinylchlorid
rPE	Rozvětvený Polyethylen
SAN	Styren-akrylonitril
SV	Skleněná vlákna
T _g	Teplota skelného přechodu
T _m	Teplota tavení

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.	Spektrum polymerů [1].....	13
Obr. 2.	Struktury polymerů [1]	14
Obr. 3.	Vzorec POM	15
Obr. 4.	Diagram tahové zkoušky POM [1]:.....	17
Obr. 5.	Diagram tahové zkoušky POM [1].....	18
Obr. 6.	Schéma vstřikovacího stroje [4]	23
Obr. 7.	Dosednutí trysky vstřikovací jednotky na vtokovou vložku [2].....	24
Obr. 8.	Schéma vstřikovacího cyklu	25
Obr. 9.	Zdvih formy [6]	36
Obr. 10.	Nedostatečný výstřik [6].....	38
Obr. 11.	Odvzdušnění dělicí roviny [6].....	39
Obr. 12.	Příklad kontinuálního odvzdušnění [6]	39
Obr. 13.	Příklad bodového odvzdušnění [6]	40
Obr. 14.	Řez kanály [6]	40
Obr. 15.	Odvzdušnění rozvodného systému	40
Obr. 16.	Selhání adheze versus selhání kohese [7]	42
Obr. 17.	Odlupování lepeného spoje [7].....	44
Obr. 18.	Spoj namáhaný tahem [7].....	44
Obr. 19.	Lepený spoj se třmenem [7]	44
Obr. 20.	Proces svařování s horkou deskou [7]	45
Obr. 21.	Svařování horkým plynem [7]	47
Obr. 22.	Vatlačovací svařování [7].....	47
Obr. 23.	Typy svarů [7]	48
Obr. 24.	Zkosení hran a příprava svařování [7]	48
Obr. 25.	Průběh svařování [7].....	49
Obr. 26.	Elektromagnetický svařovací proces [7].....	49
Obr. 27.	zalisovávací kolíky [7]	50
Obr. 28.	Samořezné šrouby [7].....	50
Obr. 29.	Křivka tečení [7].....	52
Obr. 30.	Vrubová citlivost [7].....	52
Obr. 31.	Napětí uvolňující spoje [7]	53

Obr. 32. Závítové vložky [7].....	53
Obr. 33. Omezování spojovacích součástí [7].....	54
Obr. 34. Pružné spoje [7].....	55
Obr. 35. Příklady použití pružného spoje [7].....	55
Obr. 36. Typy insertů [7].....	56
Obr. 37. Tvorba napětí při tuhnutí [7].....	56
Obr. 38. Vícekomponentní vstřikování – zasouvací jádro [7].....	57
Obr. 39. Vícekomponentní vstřikování – násobné dutiny [7]	58
Obr. 40. Vícekomponentní vstřikování – otočné jádro [7]	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Smrštění termoplastů [2].....	28
---------------------------------------	----

SEZNAM PŘÍLOH

- PŘÍLOHA PI: Krátkodobá způsobilost procesu Geo 1_(15)_New (strana Bosch)
- PŘÍLOHA PII: Krátkodobá způsobilost procesu Geo 1_(15)_New (zákaznická strana)
- PŘÍLOHA PIII: Krátkodobá způsobilost procesu Geo 3_(1)_New (strana Bosch)
- PŘÍLOHA PIV: Krátkodobá způsobilost procesu Geo 3_(1)_New (zákaznická strana)
- PŘÍLOHA PV: Materiálový list POM: TICONA - Hostaform® C 13031
- PŘÍLOHA PVI: Materiálový list POM: DuPont - Delrin® 300 AS BK 00
- PŘÍLOHA PVII: Materiálový list POM: BASF - Ultraform® S 2320 003
- PŘÍLOHA PVIII: Materiálový list POM: BASF - Ultraform® S 1320 003
- PŘÍLOHA PIX: Materiálový list POM: BASF - Ultraform® N 2320 003
- PŘÍLOHA PX: 1 CD
- [Výkresová dokumentace](#)
 - [Analýza v programu Mold Flow Plastic Insight 6.0](#)
 - [Řezy série z 28.2.2007](#)
 - [Řezy série z 26.3.2007](#)

PŘÍLOHA P V: MATERIÁLOVÝ LIST POM: TICONA - HOSTAFORM® C 13031

Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate	12	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	190	°C	ISO 1133
Load	2.16	kg	ISO 1133
Molding shrinkage (parallel)	2	%	ISO 2577, 294-4
Molding shrinkage (normal)	1.8	%	ISO 2577, 294-4
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	3050	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	68	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	8	%	ISO 527-1/-2
Nominal strain at break	20	%	ISO 527-1/-2
Tensile creep modulus (1h)	2750	MPa	ISO 899-1
Tensile creep modulus (1000h)	1450	MPa	ISO 899-1
Charpy impact strength (+23°C)	120	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength (-30°C)	120	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C)	6.7	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength (-30°C)	6	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (10°C/min)	170	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	107	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature (50°C/h 50N)	158	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion (parallel)	1.1	E-4/°C	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.5 mm nom. thickn.	HB	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.5	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL	-	-
Burning Behav. at thickness h	HB	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	3.0	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL	-	-
Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Relative permittivity (100Hz)	4	-	IEC 60250
Relative permittivity (1 MHz)	4	-	IEC 60250
Dissipation factor (100 Hz)	20	E-4	IEC 60250
Dissipation factor (1 MHz)	50	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	1E12	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	1E14	Ohm	IEC 60093
Electric strength, Short Time, 1mm	35	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	600	-	IEC 60112
Other properties	Value	Unit	Test Standard
Water absorption	0.65	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	0.2	%	Sim. to ISO 62
Density	1410	kg/m ³	ISO 1183
Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
Processing conditions acc. ISO	2.70E21	-	ISO-2
Injection Molding, melt temperature	195	°C	ISO 294
mold temperature	85	°C	ISO 10724
injection velocity	200	mm/s	ISO 294
pressure at hold	90	MPa	ISO 294
Injection Molding			
PROCESSING			
Max. Water content 0,2 %			
Standard injection moulding machines with three phase (15 to 25 D) plasticating screws will fit.			
Melt temperature 190-230 °C			
Mould temperature 60-120 °C			

PŘÍLOHA P VI: MATERIÁLOVÝ LIST POM: DUPONT – DELRIN® 300AS BK000

Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate	4	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	190	°C	ISO 1133
Load	2.16	kg	ISO 1133
Molding shrinkage (parallel)	0.8	%	ISO 2577, 294-4
Molding shrinkage (normal)	1.4	%	ISO 2577, 294-4
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	9000	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	58	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	5	%	ISO 527-1/-2
Nominal strain at break	8	%	ISO 527-1/-2
Charpy notched impact strength (+23°C)	4.5	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (10°C/min)	166	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	140	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load (0.45 MPa)	155	°C	ISO 75-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion (parallel)	0.24	E-4/°C	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion (normal)	1.8	E-4/°C	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at thickness h	HB	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	3.0	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL	-	-
Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Dissipation factor (100 Hz)	400	E-4	IEC 60250
Dissipation factor (1 MHz)	400	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	1E11	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	1000	Ohm	IEC 60093
Electric strength, Short Time, 1mm	21.9	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	600	-	IEC 60112
Other properties	Value	Unit	Test Standard
Water absorption	3	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	1.3	%	Sim. to ISO 62
Density	1430	kg/m ³	ISO 1183
Rheological calculation properties	Value	Unit	Test Standard
Density of melt	1210	kg/m ³	-
Thermal conductivity of melt	0.38	W/(m K)	-
Spec. heat capacity melt	2700	J/(kg K)	-
Ejection temperature	125	°C	-
Injection Molding			
<p>PROCESSING Drying Temperature = 80°C Drying Time, Dehumidified Dryer = 2-4 h Processing Moisture Content = <0.05 %</p> <p>PROCESSING</p> <p>Melt Temperature Optimum = 205°C Melt Temperature Range = 200-210°C Mold Temperature Optimum = 90°C Mold Temperature Range = 80-100°C Hold pressure range = 80-100 MPa Hold pressure time = 8-10 s/mm</p>			

**PŘÍLOHA P VII: MATERIÁLOVÝ LIST POM: BASF -
ULTRAFORM® S 2320 003**

Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate	11	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	190	°C	ISO 1133
Load	2.16	kg	ISO 1133
Molding shrinkage (parallel)	2.1	%	ISO 2577, 294-4
Molding shrinkage (normal)	2.1	%	ISO 2577, 294-4
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	2700	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	65	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	9	%	ISO 527-1/-2
Nominal strain at break	28	%	ISO 527-1/-2
Tensile creep modulus (1h)	1900	MPa	ISO 899-1
Tensile creep modulus (1000h)	1300	MPa	ISO 899-1
Charpy impact strength (+23°C)	180	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength (-30°C)	170	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C)	5.5	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength (-30°C)	5	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (10°C/min)	167	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	100	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load (0.45 MPa)	156	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature (50°C/h 50N)	150	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion (parallel)	1.1	E-4/°C	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.6 mm nom. thickn.	HB	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.6	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL	-	-
Burning Behav. at thickness h	HB	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	0.8	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL	-	-
Oxygen index	15	%	ISO 4589-1/-2
Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Relative permittivity (100Hz)	3.8	-	IEC 60250
Relative permittivity (1 MHz)	3.8	-	IEC 60250
Dissipation factor (100 Hz)	10	E-4	IEC 60250
Dissipation factor (1 MHz)	50	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	1E13	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	1E13	Ohm	IEC 60093
Electric strength, Short Time, 1mm	40	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	600	-	IEC 60112
Other properties	Value	Unit	Test Standard
Water absorption	0.8	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	0.2	%	Sim. to ISO 62
Density	1400	kg/m ³	ISO 1183
Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
Injection Molding, melt temperature	200	°C	ISO 294
mold temperature	90	°C	ISO 10724
injection velocity	200	mm/s	ISO 294
PROCESSING			
Max. Water content 0,2 %			
Usual single-flighted three-section screws with an effective screw length of at least 15 D, better 18 - 22 D are suitable for the injection molding of Ultraform.			
injection molding, Melt temperature, range: 190 - 230 °C			
injection molding, Melt temperature, recommended: 200 °C			
injection molding, Mold temperature, range: 60 - 100 °C			
injection molding, Mold temperature, recommended: 90 °C			

**PŘÍLOHA P VIII: MATERIÁLOVÝ LIST POM: BASF -
ULTRAFORM® S 1320 003**

Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate	11	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	190	°C	ISO 1133
Load	2.16	kg	ISO 1133
Molding shrinkage (parallel)	2.1	%	ISO 2577, 294-4
Molding shrinkage (normal)	2.1	%	ISO 2577, 294-4
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	3000	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	68	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	9	%	ISO 527-1/-2
Nominal strain at break	25	%	ISO 527-1/-2
Tensile creep modulus (1000h)	1450	MPa	ISO 899-1
Charpy impact strength (+23°C)	170	kJ/m2	ISO 179/1eU
Charpy impact strength (-30°C)	170	kJ/m2	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C)	5.5	kJ/m2	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength (-30°C)	5.5	kJ/m2	ISO 179/1eA
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (10°C/min)	171	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	100	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load (0.45 MPa)	159	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature (50°C/h 50N)	150	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion (parallel)	1.1	E-4/°C	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.6 mm nom. thickn.	HB	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.6	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL	-	-
Burning Behav. at thickness h	HB	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	0.8	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL	-	-
Oxygen index	15	%	ISO 4589-1/-2
Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Relative permittivity (100Hz)	3.7	-	IEC 60250
Relative permittivity (1 MHz)	3.7	-	IEC 60250
Dissipation factor (100 Hz)	20	E-4	IEC 60250
Dissipation factor (1 MHz)	50	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	1E13	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	1E15	Ohm	IEC 60093
Electric strength, Short Time, 1mm	40	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	600	-	IEC 60112
Other properties	Value	Unit	Test Standard
Water absorption	0.8	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	0.2	%	Sim. to ISO 62
Density	1410	kg/m3	ISO 1183
Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
Injection Molding, melt temperature	200	°C	ISO 294
mold temperature	90	°C	ISO 10724
injection velocity	200	mm/s	ISO 294
Rheological calculation properties	Value	Unit	Test Standard
Ejection temperature	110	°C	-
Injection Molding	Drying Temperature = 100°C-110°C Drying Time, Dehumidified Dryer = 3 h Processing Moisture Content = <0.2 % PROCESSING injection molding, Melt temperature, range: 190 - 220 °C injection molding, Melt temperature, recommended: 200 °C injection molding, Mold temperature, range: 60 - 100 °C injection molding, Mold temperature, recommended: 90 °C		

**PŘÍLOHA P IX: MATERIÁLOVÝ LIST POM: BASF - ULTRAFORM®
N 2320 003**

Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate	7.5	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	190	°C	ISO 1133
Load	2.16	kg	ISO 1133
Molding shrinkage (parallel)	2.1	%	ISO 2577, 294-4
Molding shrinkage (normal)	2.1	%	ISO 2577, 294-4
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	2700	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	65	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	9.4	%	ISO 527-1/-2
Nominal strain at break	27	%	ISO 527-1/-2
Tensile creep modulus (1h)	1800	MPa	ISO 899-1
Tensile creep modulus (1000h)	1400	MPa	ISO 899-1
Charpy impact strength (+23°C)	210	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength (-30°C)	190	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C)	6	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength (-30°C)	5.5	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (10°C/min)	167	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	100	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load (0.45 MPa)	156	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature (50°C/h 50N)	150	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion (parallel)	1.1	E-4/°C	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.6 mm nom. thickn.	HB	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.6	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL	-	-
Burning Behav. at thickness h	HB	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	0.8	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL	-	-
Oxygen index	15	%	ISO 4589-1/-2
Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Relative permittivity (100Hz)	3.8	-	IEC 60250
Relative permittivity (1 MHz)	3.8	-	IEC 60250
Dissipation factor (100 Hz)	10	E-4	IEC 60250
Dissipation factor (1 MHz)	50	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	1E13	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	1E13	Ohm	IEC 60093
Electric strength, Short Time, 1mm	40	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	600	-	IEC 60112
Other properties	Value	Unit	Test Standard
Water absorption	0.8	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	0.2	%	Sim. to ISO 62
Density	1400	kg/m ³	ISO 1183
Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
Injection Molding, melt temperature	200	°C	ISO 294
mold temperature	90	°C	ISO 10724
injection velocity	200	mm/s	ISO 294
Rheological calculation properties	Value	Unit	Test Standard
Ejection temperature	110	°C	-
Injection Molding			
Drying Temperature = 100°C-110°C, Drying Time, Dehumidified Dryer = 3h Processing Moisture Content = <0.2 % PROCESSING injection molding, Melt temperature, range: 190 - 230 °C injection molding, Melt temperature, recommended: 200 °C injection molding, Mold temperature, range: 60 - 100 °C injection molding, Mold temperature, recommended: 90 °C			