

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2010

Lukáš Ondráček

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – strojírenství

Materiály a technologie

Zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Aplikace a zpracování tepelně odolných plastů

Application and processing of heat resistant plastic

Lukáš Ondráček

KSP – TP – B71

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jakub Zeman

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 54

Počet tabulek: 9

Počet obrázků: 39

Datum: 28.5.2010

A N O T A C E

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – strojírenství
Student: Lukáš Ondráček
Téma práce: Aplikace a zpracování tepelně odolných plastů
Application and processing of heat resistant plastic
Číslo BP: KSP – TP – B71
Vedoucí BP: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.
Konzultant BP: Ing. Jakub Zeman

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá speciálními, tepelně odolnými plasty. Práce obsahuje informace o zpracování a použití těchto materiálů. V první části této rešeršní práce je stručný popis chování plastů při působení teploty. Dále je zde vybráno několik nejznámějších tepelně odolných plastů s uvedenými technickými parametry, oblastmi použití a také konkrétními aplikacemi včetně obrázků. Závěrečná část práce je zaměřená na použití těchto materiálů v leteckém a strojním průmyslu.

Klíčová slova: zpracování, vstřikování, polymer, teplotní odolnost

Abstract

This bachelor thesis deals with the special heat-resistant plastics. The thesis contains information on the processing and use of these materials. In the first part of this thesis is a brief description of plastic behavior when exposed to temperature. Further there is chosen a few known heat-resistant plastics with those technical parameters, application areas and also specific applications including pictures. The final part of the thesis is focused on the use of these materials in aerospace and mechanical engineering industry.

Keywords: processing, injection moulding, polymers, heat resistant

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury

V Liberci, 28. května 2010

.....

Lukáš Ondráček

Pozorka 48

36221 Nejdek

Obsah

Obsah.....	5
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	6
1. Úvod.....	7
2. Teplotní vlastnosti plastů.....	8
3 Využití plastů.....	11
4. Plasty pro špičkové aplikace.....	12
5. Hlavní představitelé tepelně odolných plastů.....	15
5.1. Fluoroplasty.....	15
5.1.1. Polytetrafluoretylén (PTFE).....	15
5.1.2. Polyvinylidenfluorid (PVDF).....	17
5.1.3 Další druhy fluoroplastů.....	18
5.1.4 Porovnání vlastností fluoroplastů.....	18
5.1.5. Pokyny pro manipulaci a skladování fluoroplastů....	20
5.2. Další představitelé tepelně odolných plastů.....	21
5.2.1. Polyetereterketon (PEEK).....	21
5.2.2. Polyimid (PI).....	22
5.2.3. Polyamidimid (PAI).....	23
5.2.4. Polyfenylensulfid (PPS).....	24
5.2.5. Polysulfon (PSU).....	25
5.2.6. Polyetersulfon (PES).....	26
5.2.7. Polyeterimid (PEI).....	27
5.2.8. Polybenzimidazol (PBI).....	28
5.2.9. Tekuté krystalické polymery (LCP).....	29
5.3. Srovnání parametrů některých speciálních plastů.....	30
6. Výroba a zpracování tepelně odolných plastů.....	31
7. Příklady aplikací.....	37
7.1 Technologie výroby leteckých dílů z kompozitu.....	37
7.2 Plastová ložiska.....	41
7.3 Plastová ozubená kola.....	44
7.4 Plastová těsnění.....	46
8. Závěr.....	48

Seznam použitých zkratk a symbolů

T_g	Teplota zesklňování
T_f	Teplota viskózního toku
T_m	Teplota tání
T_z	Teplota degradace
PTFE	Polytetrafluoretylén
PVDF	Polyvinylidenfluorid
PEEK	Polyetereterketon
PI	Polyimid
PAI	Polyamidimid
PPS	Polyfenylensulfid
PSU	Polysulfon
PES	Polyetersulfon
EI	Polyeterimid
PBI	Polybenzimidazol
LCP	Tekuté krystalické polymery
ECTFE	Etylén chlórtrifluoretylén
PFA	Perfluor Alkoxyalkan Copolymer
FEP	Tetrafluoretylén-hexafluorpropylén
MFA	Tetrafluoretylén-perfluor-metylvinyléter
ε	Relativní prodloužení
σ_{tah}	Pevnost v tahu [MPa]

1. Úvod

Plasty jsou k vidění všude kolem nás a používají se téměř ve všech oborech. Můžeme se s nimi setkat v automobilovém průmyslu, v elektrotechnice, ve stavebnictví, ve zdravotnictví, v potravinářství atd.

Největší zlom ve výrobě polymerů nastal během 2. světové války, kdy bylo nutné najít řešení náhrady materiálů jako například ocel, sklo, dřevo za materiály syntetické. Mezi důvody proč se materiály nahrazují plasty, patří cena materiálu, hmotnost, nižší teplota zpracování nebo některé výhodné technické vlastnosti. Další výhodou polymerů je velký počet způsobů zpracování. Mezi nejpoužívanější patří vstřikování, vytlačování, vyfukování, lisování, obrábění či svařování.

Drtivá většina plastů, které je možno běžně vidět není nijak zvlášť tepelně odolná. Pro výrobu běžných kbelíků, nádob, lahví, desek, trubek a podobných výrobků se používají levné, spotřební plasty, které jsou schopné vydržet jen nízké teploty. Tato bakalářská práce se zabývá speciálními, tepelně odolnými plasty. Jsou to špičkové materiály, které je možné používat v aplikacích, kde teplota dlouhodobě přesahuje 150 °C. V této rešeršní práci je možné se seznámit s nejpoužívanějšími odolnými plasty z hlediska výroby, technických parametrů, aplikací apod. Dále je možné poznat rozdíly mezi těmito materiály, ať už z hlediska způsobů zpracování nebo teplot taveniny a formy.

2. Teplotní vlastnosti plastů

Z hlediska obecných tepelných vlastností plastů nás zajímá teplotní rozsah jejich použitelnosti, teplotní roztažnost, tepelná vodivost a měrná tepelná kapacita plastů.

Teplotní rozsah použitelnosti plastů je důležitý pro aplikace plastových součástí v praxi. Za směrodatnou hodnotu lze u amorfních plastů považovat teplotu zesklenní T_g , u krystalických je to teplota tání T_m . Tyto teploty představují teoretickou hranici použitelnosti výrobků, pokud nejsou mechanicky namáhány. Při překročení těchto teplot dochází k samovolné deformaci součásti a ztrátě její funkce. Z praktických důvodů musíme ovšem horní použitelnou teplotu volit nižší s ohledem na spolehlivou funkci součásti, a to u amorfních polymerů asi o 10 až 20 °C pod T_g , u krystalických asi o 20 až 40 °C pod T_m . Maximální teplotu je však nutné volit s přihlédnutím ke způsobu namáhání součásti a k době působení zatížení. U dlouhodobě namáhaných součástí se horní hranice snižuje.

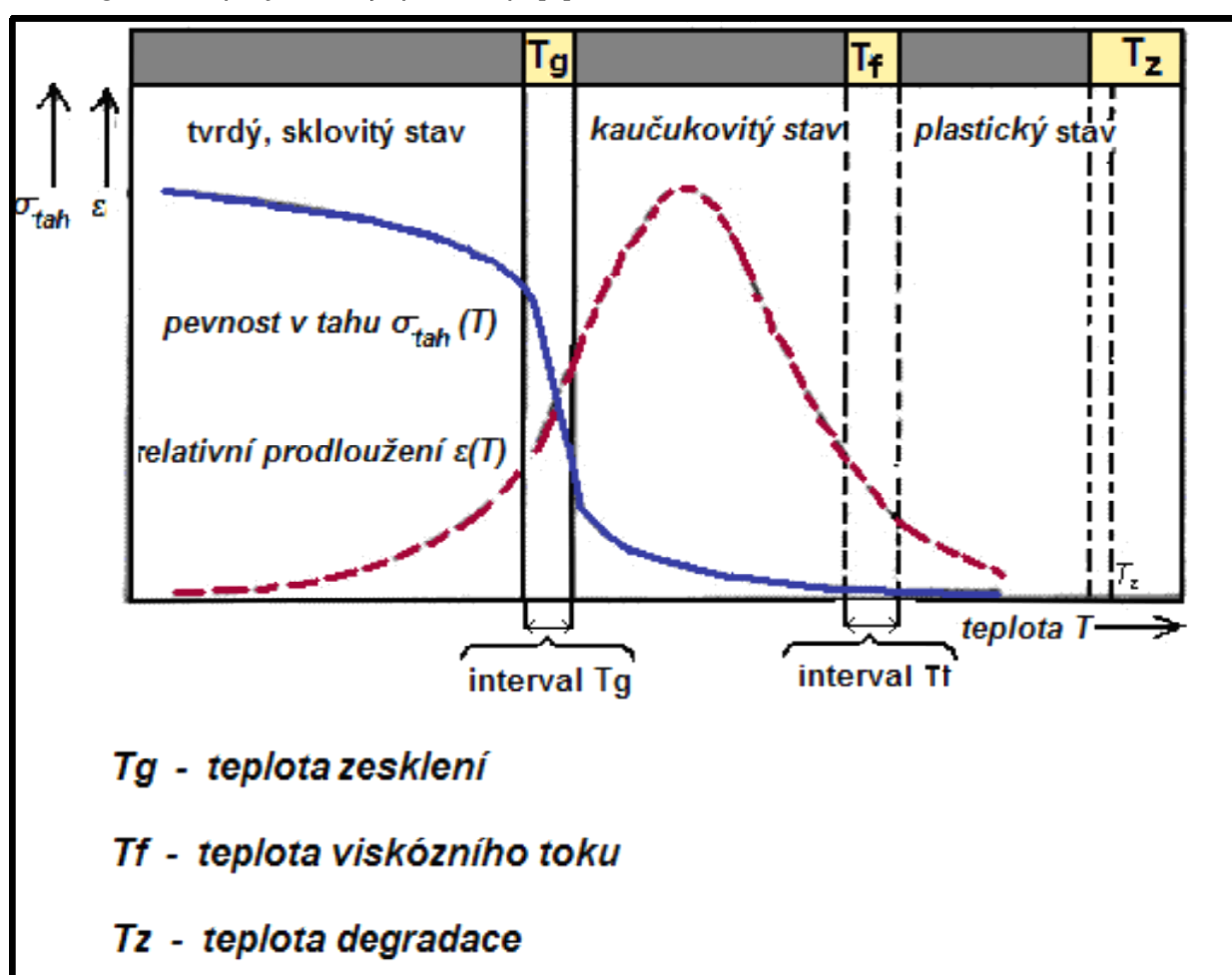
Pokud jde o odolnost plastů směrem k nízkým teplotám, nelze ji jednoznačně vymezit bez uvážení ostatních podmínek namáhání. Většina mechanických vlastností, až na houževnatost, se totiž se zvyšováním teploty zvyšuje, což bývá při působení klidné síly příznivé. [1]

U amorfních plastů se hodnota meze pevnosti v tahu (a také modulu pružnosti) v přechodové oblasti v okolí teploty zesklenní T_g mění skokově, modul pružnosti asi o tři řády, koeficient teplotní roztažnosti o 100 %. Konkrétní hodnota je závislá na velikosti mezimolekulárních sil (čím budou tyto síly větší, tím bude vyšší i teplota zesklenní) a ohebnosti řetězců (čím bude ohebnost větší a mezimolekulární síly menší, tím bude nižší teplota zesklenní). [2]

Průběh deformačních vlastností u amorfních plastů je znázorněn na obr. 1

Přídavkem změkčovadel je možné ovlivnit teplotu zesklenní, tím dojde ke snížení mezimolekulární soudržnosti a také T_g . Velmi nízkou teplotu zesklenní mají kaučuky (cca $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$) a také semikrystalické plasty (např. polypropylen $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, polyetylen $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$). Naopak u amorfních plastů jsou hodnoty teplot zesklenní vysoko nad teplotou okolí (např. polymethylmetakrylát $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, polykarbonát $144\text{ }^{\circ}\text{C}$)

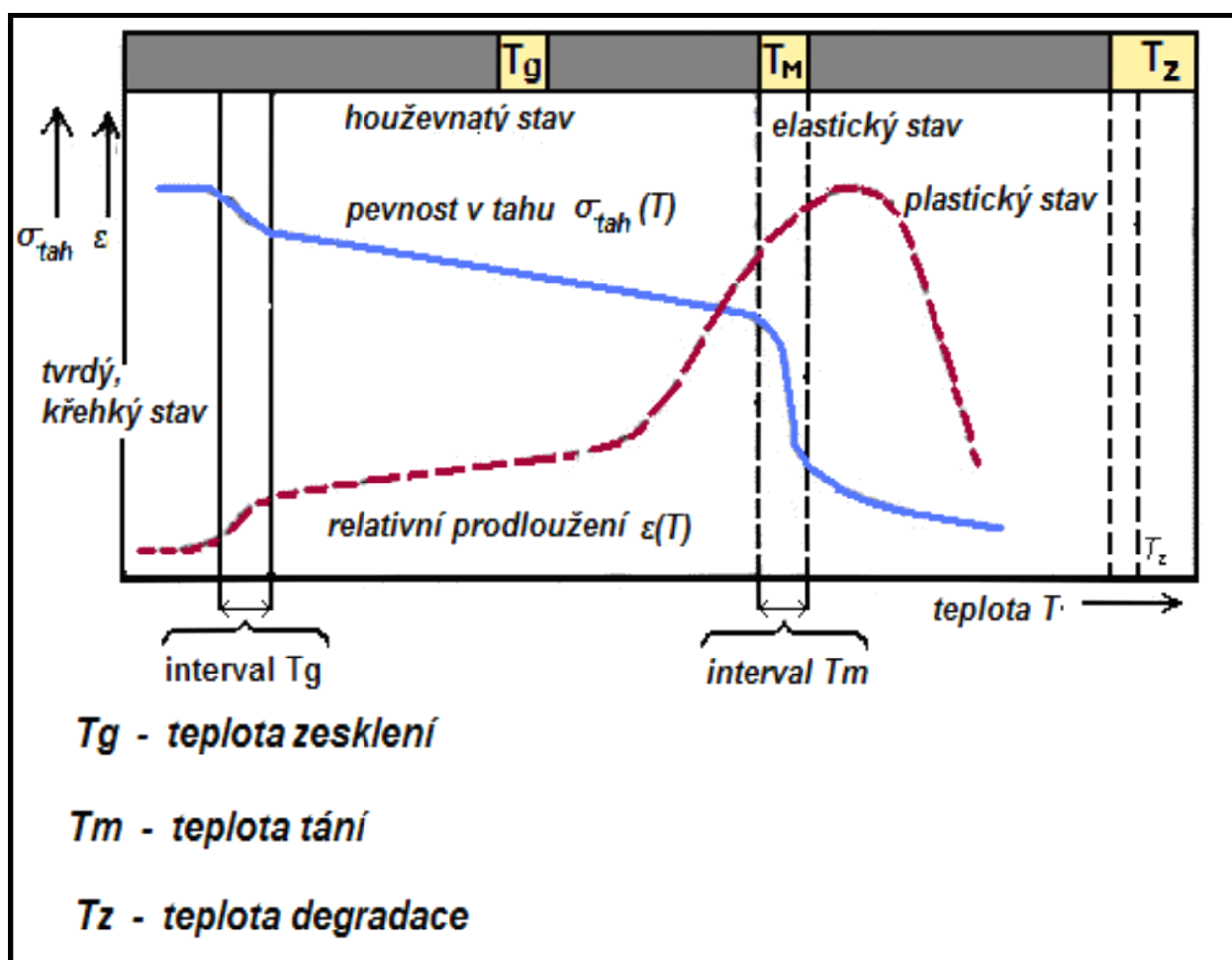
Při teplotě viskózního toku T_f narůstá intenzita změn vlastností polymeru. Při této teplotě ztrácí hmota své kaučukovité vlastnosti a mění se ve vysoce viskózní kapalinu. Nad touto teplotou leží oblast zpracovatelnosti materiálu. Zvýšením teploty klesají mezimolekulární síly a tím se snižuje i viskozita taveniny. Při dalším zvyšování teploty začne probíhat tepelná degradace polymeru (teplota T_z) [2]



Obr. 1 Průběh deformačních vlastností u amorfního plastu [2]

U semikrystalických polymerů dochází k nejrychlejším změnám vlastností v oblasti teplot, kterou charakterizuje teplota tání T_m . Při teplotě tání dochází k rozpadu a tání krystalitů, což je provázeno změnou fáze hmoty, která přechází ze stavu tuhého do stavu kapalného. [2] Průběh deformačních vlastností u semikrystalického plastu je znázorněn na obr. 2.

K tání nedochází při jedné hodnotě teploty, ale v určitém teplotním intervalu, který se liší u každého plastu. Pod teplotou T_m si tedy můžeme jen představit střední hodnotu teplotního intervalu. Podobně je tomu i s teplotou T_g . Hodnota teplotního intervalu je závislá na velikosti makromolekul a makromolekulárních sil. Čím větší jsou obě veličiny, tím vyšší je teplota tání daného plastu.

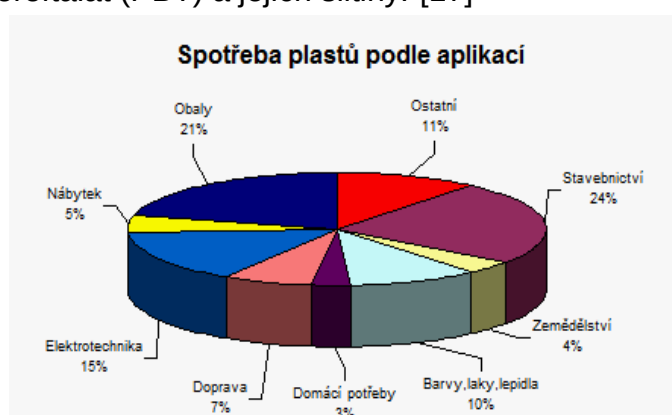
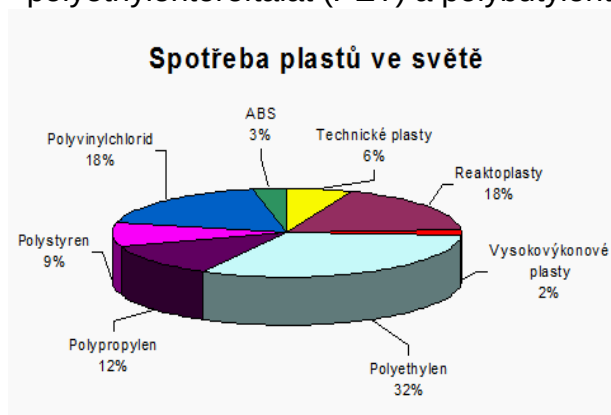


Obr. 2 Průběh deformačních vlastností u semikrystalického plastu [2]

3. Využití plastů

Druhů plastů je dnes obrovské množství a jednotlivé materiály se liší jak chemickým složením, druhem a obsahem aditiv, tak i molekulární a nadmolekulární strukturou. To umožňuje značnou proměnlivost užitných vlastností u konečných výrobků. K rozmanitým aplikacím se dnes využívá přibližně 50 základních druhů plastů a jejich kombinací. Každý druh nabízejí výrobci v několika desítkách typů, lišících se svými zpracovatelskými a užitnými vlastnostmi.

Z celkového objemu používaných plastů připadá 70% na tzv. komoditní, čili velkotonážní plasty masové spotřeby. To jsou polyetylén (PE), polyvinylchlorid (PVC), polypropylén (PP) a polystyrén (PS). Z 18% tvoří spotřebu reaktoplasty a jen asi 9% spotřeby činí konstrukční termoplasty jako ABS (akrylonitril butadien styren), polyamidy (PA), polykarbonát (PC), polyethyléntereftalát (PET) a polybutyléntereftalát (PBT) a jejich slitiny. [17]



Obr. 3 Spotřeba plastů ve světě[17] Obr. 4 Spotřeba plastů podle aplikací[17]

Největší objem plastů spotřebovuje stavebnictví a obalová technika. Např. Elektrotechnika spotřebovává 15% vyrobených plastů a na barvy, laky a lepidla je zapotřebí 10%. V posledních desetiletích jsme svědky úžasného nárůstu používání plastů v dopravě, zejména v automobilovém průmyslu. Nikoli nevýrazný segment aplikací představují výrobky pro volný čas, jmenovitě sportovní potřeby a hračky. Menší množství plastů se pak spotřebovuje v nábytkářském průmyslu, zemědělství a na výrobu domácích potřeb. [17]

4. Plasty pro špičkové aplikace

Speciální vysoce odolné plasty se vyznačují zejména odolností vůči vysokým teplotám (trvalá odolnost nad 150 °C) a malým poklesem mechanických vlastností při teplotách nad 100 °C .

Krátkodobě teploty převyšující 150 °C snese poměrně hodně druhů plastů. Pokud hledáme materiál, který tyto vyšší teploty musí vydržet dlouhodobě, tak se nám výběr podstatně zmenší. [2]

Dlouhodobá teplota použití plastů

Dlouhodobá teplota použití je definována jako maximální teplota horkého vzduchu, ve kterém mohou být plasty ponechány po dobu 10 000 nebo 20 000 hodin bez ztráty více než 50% hodnot jejich typických vlastností. [3]

Krátkodobá teplota použití plastů

Krátkodobá teplota použití plastů je maximální hodnota teploty, kterou plast snese po dobu několika minut (v některých případech dokonce několika hodin) bez poškození. Je nutno uvažovat také vliv a trvání dalšího (mechanického, chemického, atd.) namáhání. [3]

 Zájem konstruktérů se s rostoucími nároky na technické parametry součástí strojů a zařízení zákonitě přesouvá na plasty s větší pevností a tuhostí, s vyšší tepelnou a chemickou odolností a s některými výjimečnými vlastnostmi fyzikálními. Zvlášť vysoké jsou požadavky na materiály, které musí vykazovat zcela určité kombinace vlastností. Zvyšující nároky si vynutily přísnější kritéria hodnocení vlastností plastů a z tohoto hlediska se hlavní pozornost soustřeďuje na posuzování těchto vlastností:

- a) Dlouhodobé statické pevnosti a únavových vlastností
- b) Lomové houževnatosti, iniciace a šíření lomových trhlin
- c) Chemické odolnosti a stárnutí včetně koroze za napětí
- d) Teploty skelného přechodu pro použití plastů při vyšších teplotách [1]

Nejdůležitější oblasti použití vysokoteplotních plastů

strojní součásti namáhané kluzným třením (kluzná ložiska, válečky, přítlačné kotouče, těsnění), pro strojírenství jako celek, textilní a kancelářskou techniku a automobilový průmysl (zvláště se to týká motorů, spojek, převodovek a pohonů)

součásti odolné proti žáru a šokovým změnám používané ve sklářském průmyslu a v letectví a kosmonautice

v elektrotechnickém průmyslu se velmi často používají žáruvzdorné, superčisté a izolující vysokoteplotně odolné plasty

součásti pro lékařskou techniku, odolné proti sterilizaci a hydrolýze

komponenty odolné proti odplyňování a radiačně stálé pro vakuovou techniku našly využití v oblasti rentgenové a jaderné technologie

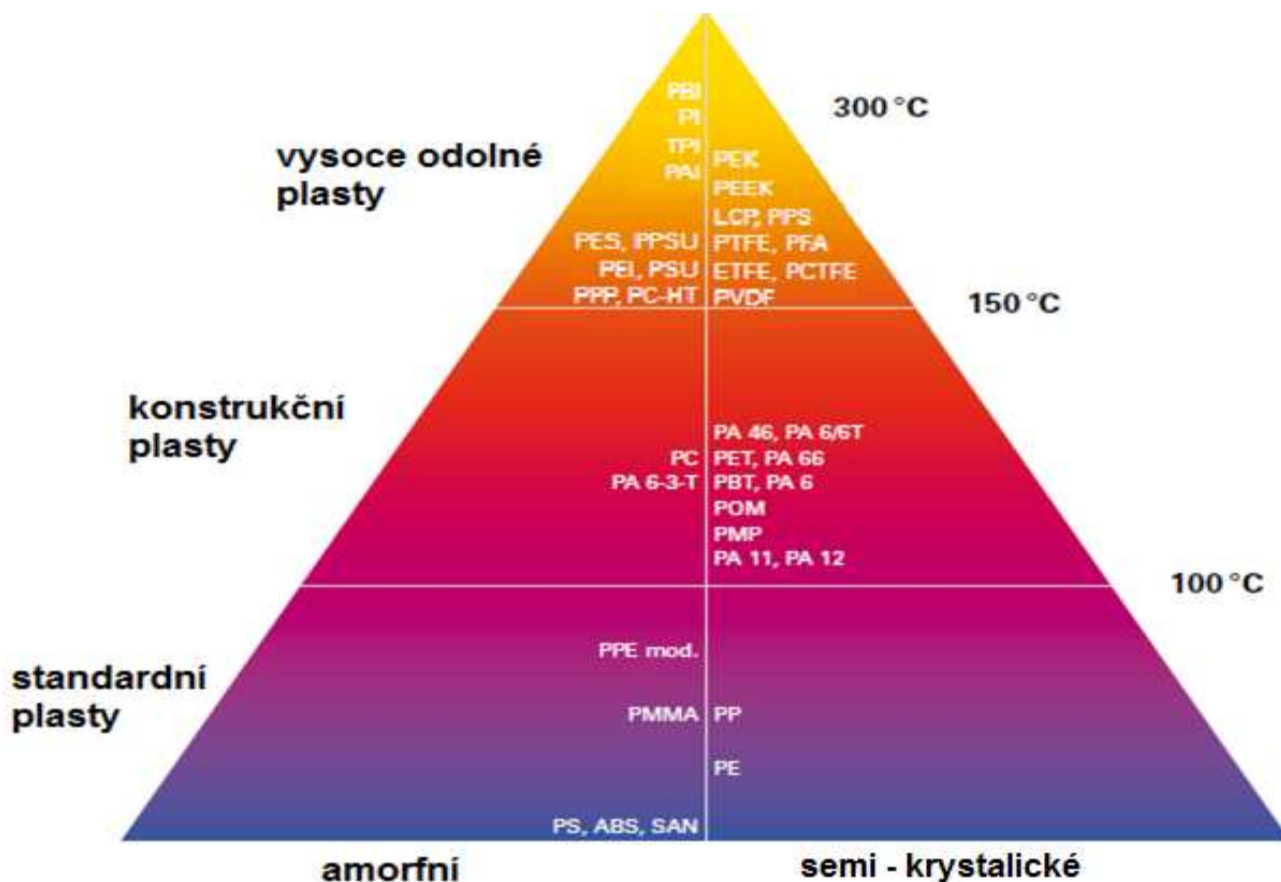
téměř univerzální komponenty odolné proti chemickým látkám a vysokým teplotám určené pro chemický průmysl

určité materiály, které jsou zdravotně nezávadné, se používají velmi často i v potravinářském průmyslu [3]

Termoplastické polymery mohou být rozděleny dle jejich struktury na amorfni a semi - krystalické. Polymery s amorfni strukturou jsou vhodné pro výrobu přesných dílů vzhledem k jejich vysoké rozměrové stálosti. Semi - krystalické plasty jsou neprůhledné, většinou těžké a vykazují dobrou chemickou odolnost.

V závislosti na jejich teplotní odolnosti je možné je rozdělit do 3 oblastí. Oblasti jsou znázorněny na obr. 5. Standardní plasty nacházející se v dolní oblasti jsou trvale odolné teplotám, které nepřevyšují 100 °C. V prostřední oblasti se nacházejí konstrukční plasty, které mají již vyšší teplotní odolnost. Jsou vhodné pro aplikace v teplotách nižších než 150 °C. V horní oblasti jsou uvedeny plasty vysoce odolné. Tyto materiály je možné používat v aplikacích, kde teploty trvale převyšují 150°C.

Na následujících stránkách jsou uvedeny nejznámější a nejpoužívanější teplotně odolné materiály včetně obchodních názvů, způsobů zpracování, vlastností a samozřejmě také aplikací, pro které se nejčastěji používají.



Obr. 5 Rozdělení plastů dle teplotní odolnosti [3]

5. Hlavní představitelé tepelně odolných plastů

5.1. Fluoroplasty

Jsou to polymery, které v molekule obsahují atomy fluoru. Vazba mezi uhlíkem a fluorem je neobyčejně pevná, proto se tyto plasty vyznačují neobyčejnou odolností vůči vysokým teplotám i proti působení chemikálií. Kvůli velké hustotě patří mezi nejtěžší plasty. Nejznámějším fluoroplastem je PTFE

5.1.1 Polytetrafluoretylén (PTFE)

Příklady obchodních názvů – TECAFLON, FLUON, TEFLON

Výroba - Výchozí surovinou je tetrachloretylen, vznikající složitou syntézou z chloroformu a bezvodého fluorovodíku přes difluorchlormetan. Tetrafluotetylen je nejedovatý plyn s bodem varu – 76°C. Vyrábí se blokovou, nebo emulzní polymerací. [17]

Zpracování - PTFE se zpracovává poměrně obtížně, tvářitelnost omezuje malá tekutost polymerů za vysokých teplot, proto se používá některých technologií práškové metalurgie. Na vytlačovacích strojích se z něj vyrábějí trubky, tyče a profily. Fólie se vyrábějí válcováním, nebo krájením z bloků. Vodní disperze se používají k ochraně povrchu stříkáním, nebo máčením. [17]

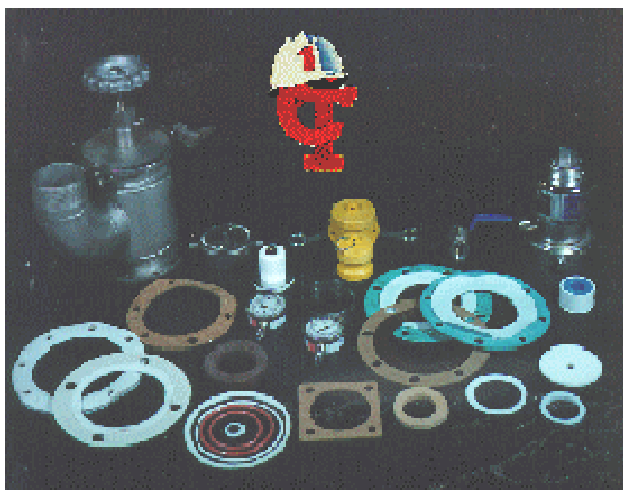
Zpracování tohoto materiálu vstřikováním je v důsledku velkých mezimolekulárních sil buď nemožné, nebo velmi obtížné.

Vlastnosti - PTFE je krystalický polymer s vysokým obsahem krystalické fáze. Má vysokou molekulovou hmotnost a obsahuje pouze atomy uhlíku a fluoru s vysokou pevností vazby, což určuje jeho charakteristické vlastnosti. Vyznačuje se velmi nízkým součinitelem tření, a jelikož jde o nepolární plast, tak má i velmi dobré elektrické vlastnosti. Další výhodou je jeho chemická odolnost, ve které ho žádný jiný plast nepřekoná. Výborně odolává všem chemikáliím, kyslíku i povětrnosti.

Tepelná stabilita - materiál je stabilní v rozmezí teplot od -170°C do $+250^{\circ}\text{C}$, přičemž je nutno respektovat změny jeho vlastností v závislosti na teplotě. Při vyšší teplotě nastává rozklad, který při měření hmotnostních ztrát je do teploty 380°C nepatrný. Od 380°C intenzita rozkladu roste a vznikají plynné rozkladné produkty, které ve styku se vzduchem a vzdušnou vlhkostí tvoří další sloučeniny. Při tepelném rozkladu vzniká např. fluorovodík, tetrafluoretylen, hexafluorpropylen, perfluorizobutylen, oktafluorcyklobutan a další. Téměř všechny jsou toxické. [18]

Zápalnost – Polytetrafluoretylén patří mezi nejméně hořlavé plasty. Při zahřívání na vzduchu bez plamene nezačne hořet do teploty 575°C . Pokud je použito přímého plamene, vznítí se v důsledku plynných rozkladných produktů a po odstranění plamene se hoření zastaví. [18]

Případy aplikací: Součástky pro letecký průmysl, ložiska, těsnící kroužky, těsnění, pánve, kabely, membrány, folie, světlomety automobilů, obal elektrických drátů, hadice, antikorozi ochrana, konstrukční součásti pro potravinářský průmysl, implantáty. Je možné ho využít také např. v chirurgii, kde se používá pro nahrazení drobných kostí v oblasti tváře apod.



Obr. 6 Příklady aplikací PTFE[4]



Obr. 7 Příklady aplikací PTFE[19]

5.1.2. Polyvinylidenfluorid (PVDF)

Příklady obchodních názvů – SOLEF, KYNAR , FORAFILON

Tento materiál se dá považovat za druhý nejznámější a nejpoužívanější termoplastický fluoroplast. Je to naprosto čistý polymer bez jakýchkoliv zbytkových částí monomerů. Neobsahuje žádné stabilizátory, aditiva, pigmenty ani jiné přísady.

Teplota trvalého použití je v širokém rozmezí od – 30 °C do 150 °C a další výhodou je jeho odolnost vůči UV záření, povětrnostním vlivům a také plamenu.

Má dobrou až velmi dobrou chemickou odolnost a ve srovnání s PTFE je podstatně tvrdší a tužší. Ve srovnání s jinými fluoroplasty nabízí PVDF v mnoha případech použití tyto výhody: lze jej snadno zpracovávat, má dobré mechanické vlastnosti a nízkou měrnou hmotnost. Díky své čistotě je doporučován pro kontakt s velmi čistou vodou a velmi čistými chemikáliemi. Kromě toho je PVDF vhodný speciálně pro antikorozi ochranu v chemickém průmyslu a další možností použití je díky jeho zdravotní nezávadnosti také ve farmaceutickém průmyslu [9]

Případy aplikací: Otočné součásti pro průmyslové použití, betonové ochranné desky, tělesa čerpadel, filtrační destičky a zvonky, zástrčky, tělesa ventilů, izolátory, příruby, válce, míchací a hnětací zařízení, těsnění, kluzné součásti, stavba čistých prostor, jaderný průmysl. [9]



Obr. 8 Příklady aplikací PVDF [10]

5.1.3. Další druhy fluoroplastů

■ Etylén chlórtrifluoretylén (ECTFE)

ECTFE je částečně krystalický vysoce účinný termoplast s velmi dobrou chemickou odolností vhodný pro maximální požadavky. Díky svému nepřilnavému a snadno čistitelnému povrchu je velmi ekonomicky výhodný a hodí se zvláště pro použití v zásaditém prostředí. [9]

Případy aplikací: Konstrukční díly potrubí, obložení nádrží, těsnění, kluzná ložiska, válce polovodiče.

■ Perfluor Alkoxyalkan Copolymer (PFA)

■ Tetrafluoretylén-hexafluorpropylén (FEP)

■ Tetrafluoretylén-perfluor-metylvinyléter (MFA)

Jsou to další termoplasticky zpracovatelné fluoroplasty, které jsou svými chemickými a tepelnými vlastnostmi podobné PTFE. Sdružují v sobě všechny vynikající vlastnosti PTFE, pouze teplota pro trvalé použití je u těchto materiálů nižší. Liší se navzájem jen nepatrně, např. PFA (+260 °C) a MFA (+250 °C) mají vyšší teplotu pro trvalé použití než FEP (+205 °C), mají však o něco menší modul pružnosti (tuhost, pevnost).

Konstrukční součásti z PFA, FEP a MFA jsou průsvitné až průhledné, bez pórů a používají se hlavně tam, kde se pracuje s velmi čistými látkami. Jsou dobře svařitelné a velmi vhodné pro obložení a konstrukce z dvojitého vrstveného materiálu při vysokých teplotách, které mají extrémní chemické zatížení. [9]

Případy aplikací: Obložení ocelových nádrží a nádrží z GFK (sklolaminát), konstrukce z dvojitého vrstveného materiálu, konstrukční součásti pro potrubí, kluzná ložiska, různá těsnění.

5.1.4 Srovnání technických parametrů fluoroplastů

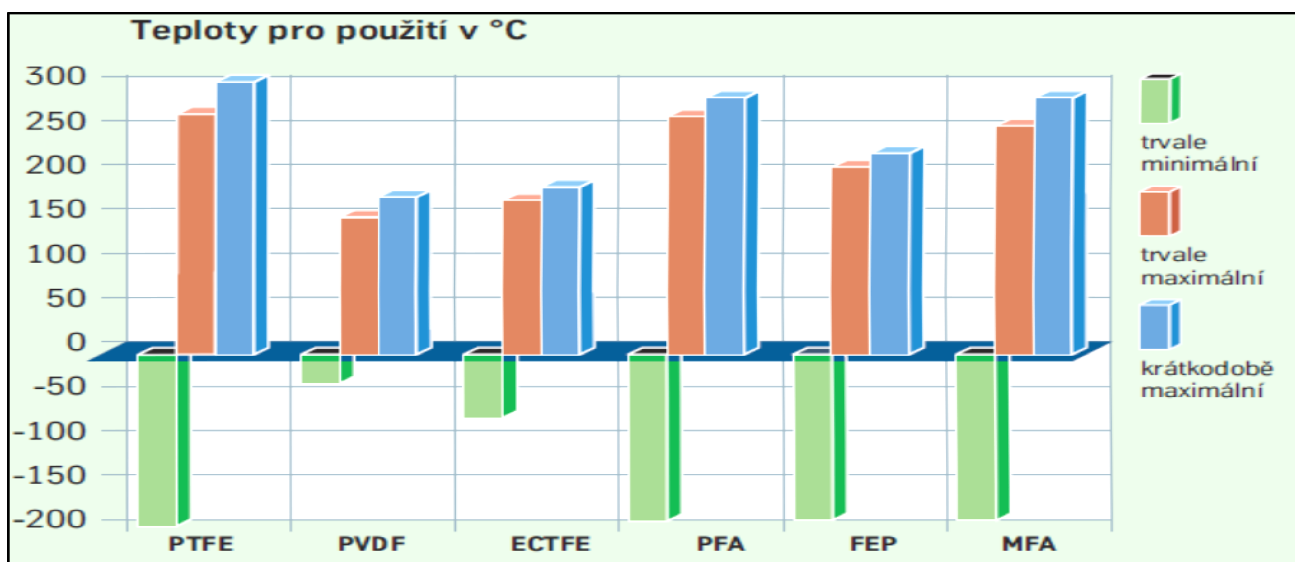
Tabulka 1 Srovnání technických parametrů fluoroplastů [9]

	PTFE	PVDF	ECTFE	PFA	FEP	MFA
Tvrdost	+	++	++	+	+	+
Pevnost v tahu	++	+++	+++	++	+	++
Protažení při přetržení	++	+	++	+++	+++	+++
Odolnost vůči chemikáliím	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Sklon k tečení	+++	+	+	++	++	++
Teplota pro trvalé použití	+++	++	++	+++	++	+++
Třísková obrobiteľnosť	++	++	++	+	+	+
Čistota	++	+++	+++	+++	+++	+++

+++ = vysoký stupeň, ++ = střední stupeň, + = nízký stupeň

■ Teploty pro trvalé použití jsou závislé na :

- trvání a intenzitě zatížení
- teplotě a trvání působení tepla
- kontaktních mediích



Obr. 9 Srovnání teplotního použití fluoroplastů [9]

5.1.5. Pokyny pro manipulaci a skladování fluoroplastů [9]

Skladování – V závislosti na teplotě a vlhkosti dochází k rozměrovým změnám. Skladování polotovaru při teplotě zpracování může minimalizovat řadu problémů, způsobených změnami formátu, podmíněnými teplotou.

Temperování – Co se týče rovností tabulí, mohou vznikat problémy v důsledku uvolnění vnitřních pnutí. Těmto problémům lze zabránit použitím kondicionovaných, temperovaných polotovarů. Lisované tabule mají podstatně menší pnutí než protlačované.

Obrábění řeznými nástroji – Rozhodující je volba správných řezných podmínek. Je nutné dbát na vysokou řeznou rychlost, ostrost nástrojů, malý posuv a dobrý odvod třísek. Nejlepším chlazením je odvod tepla nad třísku, protože termoplasty jsou špatnými vodiči tepla.

Svařování – Uvedené fluoroplasty jsou podle metod, popsanych v DIN 1910 část 3, svařitelné. Používá se především svařování plamenem za tepla, protlačovací svařování za tepla a svařování topnými články. Pro získání trvanlivých svařovaných spojů je nutné, aby polotovary a přídatné materiály měly stejnou viskozitu taveniny. Termoplasty jsou citlivé vůči vrubům, proto by měly být umístěny tak, aby byly vystaveny jen nepatrnému namáhání ohybem. Je nutné zvláště dbát na čistotu.

Hluboké tažení/hluboké lisování – Desky z fluoroplastu a obkladové lamináty mohou být díky jejich parametrům zpracovány vhodnými metodami hlubokého tažení a lisování.

Bezpečnost konstrukce přístrojů a zařízení – Pro snížení nebezpečí trhlinek způsobených pnutím je nutné dbát na přesné tepelné procesy zpracování. Při zahřívání fluoroplastů vznikají zdravotně závadné látky, proto je nutné např. používat přístroje k ochraně dýchacího ústrojí.

5.2 Ostatní představitelé tepelně odolných plastů

5.2.1. Polyetereterketon (PEEK)

Příklady obchodních názvů – TECAPEEK, VICTREX PEEK, MURPEC

Jedná se o polykrystalický polymer s vysokými mechanickými a tepelnými vlastnostmi. Dlouhodobá teplotní odolnost je až 250 °C. Další předností je dobrá odolnost vůči opotřebení a deformaci při zatížení (tečení). Materiál je také možné použít tam, kde je nutná dobrá rozměrová přesnost či vynikající elektroizolační vlastnosti.

Polyetereterketon patří do skupiny polymerů, které mají nejlepší chemickou odolnost. Zároveň poskytuje výhodnou kombinaci pevnosti, houževnatosti, tvrdosti a tuhosti, je tedy ideální pro aplikace v lékařské technice.

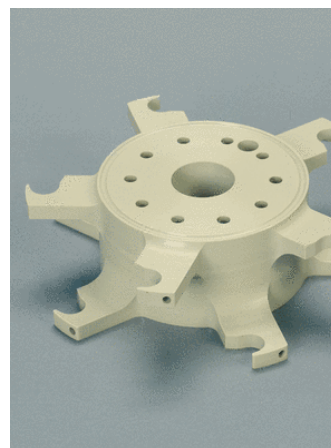
Tento plast je možno vyrobit a upravit obvyklými technologiemi, např. vstřikováním, extrudováním, obráběním nebo lisováním. [3]

Případy aplikací: Těsnění pístů, kluzná ložiska, sedla ventilu, pánve, ložiska, ozubená kola, konektory a spojovací tvarovky v chromatografii, těsnící kroužky, dílce v letectví a vesmírném průmyslu, lékařská technika.



Obr. 10 Příklady aplikací PEEK [8]

Obr. 11 Příklad aplikace PEEK [5]



5.2.2. Polyimid (PI)

Příklady obchodních názvů – KAPTON, P84 , SINTIMID

Tento materiál vyniká stejně jako předchozí materiály velmi dobrou tepelnou odolností. Dlouhodobě odolává teplotě 250 °C a krátkodobě dokonce teplotám vyšším než 400 °C. Je vhodný také pro aplikace, kde teploty klesají až pod hranici - 200 °C. Polyimid vykazuje také velmi dobrou rozměrovou a tvarovou stálost a je odolný vůči kyselinám, oxidaci i záření. Má také výjimečné kluzné vlastnosti, a jestliže se použije jako plnivo grafit, tak disponuje i výbornou otěruvzdorností. Běžnými způsoby ho není možné tavit, je těžce zápalný, a když už dojde ke spalování, tak jen s malým množstvím kouře.

Nejčastěji se zpracovává stejně jako PTFE spékáním prášku, ale je možné u některých typů PI použít i vstřikování či vytlačování. Hotový výrobek se pak většinou zhotoví obráběním.

Tyto materiály se vyznačují jedinečnou kombinací vlastností a díky tomu se používají v nejrůznějších odvětvích průmyslu. První polyamidy byly uvedeny na trh v šedesátých letech a byly využívány v aplikacích v oblasti leteckého, kosmického a raketového průmyslu.

Příklady aplikací: lepicí pásy, kluzná ložiska, kondenzátory, izolace, ložiska, v součástkách motoru, tlakové spínače, senzory, vynutí magnetů, lepidla, folie, kabely a součástky pro leteckou, lodní či vojenskou techniku



Obr. 12 Kaptonové lepicí pásy [6]



Obr. 13 Příklady aplikací PI [21]

5.2.3. Polyamidimid (PAI)

Příklad obchodního názvu – TORLON

Polyamidimid je další ze špičkových vysoce výkonných materiálů vhodných pro použití při vysokých teplotách. Jedná se o amorfnní termoplast s lineárními molekulami. Má velmi dobrou teplotní stálost a odolává dlouhodobě teplotě 250 °C. Mezi další výhody tohoto materiálu patří i vysoká pevnost, tvrdost, nehořlavost a také vynikající vlastnosti z hlediska tření a opotřebení.

Materiál se pod obch. názvem Torlon prodává ve třech základních provedeních:

a) **Torlon 4203 PAI (žluto-okrový)** - Tento druh nabízí nejvyšší tvrdost a vrubovou houževnatost ze všech provedení Torlonu. Z důvodu velkého vnitřního tepelného odporu, velké rozměrové stálosti a dobré obrobiteľnosti je velmi oblíbený pro díly high-tech zařízení. Pro své dobré elektricky izolační a dielektrické vlastnosti je používán i v oboru elektrických součástí. [7]

b) **Torlon 4301 PAI (černý)** - přidavkem PTFE a grafitu do základního materiálu získáme vysokou odolnost vůči opotřebení a nízký koeficient tření v porovnání s materiálem bez plniva. Toto provedení vyniká v drsných podmínkách působících opotřebení, jako jsou nemazaná ložiska, těsnění, ložiskové klece a součásti kompresorů. [7]

c) **Torlon 5530 PAI (černý)** – Toto provedení je vyztužené 30% skelných vláken a poskytuje vyšší tuhost, pevnost a odpor proti tečení než materiál bez pojiva. Je vhodný pro stavební aplikace se statickým zatížením při dlouhodobě vysoké teplotě. Pro své vlastnosti je považován za nejoblíbenější materiál na přesné součásti v elektronice. [7]

Příklady aplikací: chladicí technika, letectví, v astronautice, dále pro tělesa pneumatických čerpadel, ložiska, ozubená kola či kluzné součásti.



Obr. 14 Příklady aplikací PAI [13]

5.2.4. Polyfenylensulfid (PPS)

Příklady obchodních názvů – TECHTRON, TECATRON, FORTRON

Tento materiál je vysoce krystalický termoplast s lineární strukturou. Vykazuje dlouhodobou tepelnou odolnost v teplotách přesahujících 200 °C, teplota tání je 300 °C.

Vykazuje velmi dobrou tuhost a tvrdost a je odolný vůči chemikáliím, rozpouštědlům i ohni. Jde tedy v podstatě o nehořlavý materiál, ale dojde-li k zapálení, tak se jen málo objevuje kouř. Mezi další dobré vlastnosti patří malá nasákavost a jednoduchá obrobitelnost. Díky rovnoměrnému rozptýlení vnitřního maziva má materiál nízký koeficient tření a dobrou odolnost proti opotřebení.

Nejčastěji se zpracovává vstřikováním, ale je možné ho zpracovávat i spékáním prášku při teplotách kolem 350 °C. Jako plnivo se nejčastěji používají uhlíková nebo skleněná vlákna. Materiál se dá považovat za ekonomicky výhodnou alternativu k materiálům typu PI, PAI, PEEK, ale na rozdíl od těchto plastů je vhodný spíše pro méně náročné aplikace. [7], [8]

Příklady aplikací: vysoce namáhaná ložiska, hydraulické komponenty, miniaturní přesné součástky v elektronice, tělesa reflektorů, zapouzdření počítačových čipů, izolátory, příruby, díly pro automobilový průmysl (např. části oběhového čerpadla)



Obr. 15 Rozbočka z PSS [3]



Obr. 16 Oběhové čerpadlo auta z PSS[8]

5.2.5. Polysulfon (PSU)

Příklady obchodních názvů – TECASON S, UDEL, MINDEL

PSU je amorfní materiál s jantarovou transparentností, který se svým profilem vlastností podobá PES. Tento typ vysoce účinných plastů má vyvážený poměr mezi vysokou tepelnou stálostí, tuhostí, houževnatostí a vysokou odolností proti tečení. Materiál PSU je díky své vysoké mezi pevnosti při tečení a malému sklonu k tečení vhodný pro použití při působení dlouhodobého zatížení. Mechanické vlastnosti si PSU ponechává i při širokém rozsahu teplot. [9]

Teplota dlouhodobého použití se pohybuje kolem 170 °C. Plast je zdravotně nezávadný, má malý sklon k tečení a vykazuje velmi dobrou chemickou odolnost. Dále je odolný vůči ultrafialovému záření, záření gama a rentgenovému záření. Výrobky jsou průhledné, průsvitné a je možné je sterilizovat v horkém vzduchu a páře.

Polysulfony se nejčastěji zpracovávají vytlačováním nebo vstřikováním při teplotě 315 až 370 °C.

Materiál může být vyztužen skleněnými nebo uhlíkovými vlákny, tím se zlepší jeho pevnost při dlouhodobém teplotním namáhání.

Příklady aplikací: výroba přístrojů, nástrojů, laboratorních zařízení, letecké techniky a zařízení pro potravinářský průmysl. Např. čerpadla, filtrační rámy, filtrační desky, součásti počítačů, kryty baterií, lékařské nástroje, ukazatele stavu oleje, elektrické součástky a sterilizované součásti v technice a potravinářském průmyslu. [9]



Obr. 17 Příklady aplikací PSU [10]



Obr. 18 Příklady aplikací PSU [11]

5.2.6 Polyetersulfon (PES)

Příklady obchodních názvů – TECASON E, ULTRASON E, LAPEX

PES je amorfni vysoce účinný plast s mírně nahnědlou transparentností. Má velmi podobné vlastnosti jako PSU jelikož jejich chemická struktura je velmi podobná. PES má ve srovnání s PSU lepší ohnivzdornost a také teploty dlouhodobého použití, jsou vyšší. Je dlouhodobě odolný při teplotě 180 °C.

Další cennou vlastností je mizivá propustnost pro plyny, tzv. bariérová schopnost. Ta je prakticky využívána při výrobě obalů. Tento materiál je také zdravotně nezávadný a jako většina těchto špičkových materiálů odolává chemikáliím, zářením s vysokou intenzitou, hydrolýze či horkým páram. [9]

Pro zpevnění je možná plnit tento plast skleněnými vlákny, čímž docílíme zvýšení tuhosti a tvarové stálosti při vyšších teplotách nebo zlepšení chemické odolnosti.

Stejně jako u PSU se zpracovává nejčastěji vytlačováním nebo vstřikováním.

Příklady aplikací: tepelně izolované součásti v automobilovém průmyslu, konstrukční součásti v letectví, ve světelné technice, optickém průmyslu a součásti, které lze sterilizovat parou. Desky, příruby, membránové filtry, membrány, ložiska, pouzdra, elektrické svorky.



Obr. 19 Příklad aplikace PES [12]



Obr. 20 Různé membrány z PES[12]

5.2.7. Polyetherimid (PEI)

Příklady obchodních názvů – ULTEM, TECAPEI

PEI je amorfní vysoce účinný plast, u něhož jsou spojeny vysoké hodnoty účinnosti speciálních plastů s vynikajícími vlastnostmi zpracování technických plastů. Tento materiál je průhledný s transparentcí, podobnou jantaru.

Vyznačuje se jedinečnou kombinací neobyčejné pevnosti v tahu a vysokým modulem ohybu a to i při vysokých teplotách. Tento plast je mimořádně účinný proti plameni a v případě požáru zanechává jen málo dýmu a podle všech běžných norem dosahuje vždy nejvyššího stupně nesnadné zápalnosti.[9]

Ve srovnání s PEEK nebo PAI je levnější, méně teplotně stabilní a houževnatost je také menší.

Je dlouhodobě odolný při teplotě 170 °C. Dále je odolný vůči chemikáliím, UV záření, záření gama, hydrolýze či horkým páram.

I u tohoto plastu se docílí zpevnění díky skleněným vláknům. Tím se zlepší už tak velmi dobré vlastnosti PEI, co se týče tvarové a rozměrové stálosti za tepla a také vyšší tuhosti.

Příklady aplikací: Velká odolnost proti hoření v kombinaci s malou hustotou spalin umožňuje použití PEI v elektronice, lékařské technice, letectví a astronautice. Dále je vhodný pro zástrčkové přípojky, ozubena kola, ložiskové klece, součásti převodů, spínače, nádoby v mikrovlnných troubách, oběžná kola ventilátorů, součásti brzdových válců a těles karburátorů v automobilech



Obr. 21 Příklady aplikací PEI[13]

5.2.8. Polybenzimidazol (PBI)

Příklad obchodního názvu – CELAZOLE

PBI je materiál s výjimečně velkým teplotním rozsahem použití. Vyznačuje se vysokou tvrdostí, mezí pevnosti v tlaku, výbornou rozměrovou stabilitou a také chemickou odolností. Horní hranice použití v dlouhodobých aplikacích je 310 °C a krátkodobě ho lze vystavit teplotě až 500 °C. [14]

Polybenzimidazol je černý polymer, který se skládá pouze z aromatických monomerních jednotek. Materiál se netaví a není možné ho ani zapálit. Zachovává si vláknitou strukturu a pružnost, i když dojde ke kontaktu s plamenem. Vykazuje příznivé dielektrické vlastnosti a vynikající hodnoty tření a odolnosti vůči opotřebení. Přestože PBI absorbuje v bodu nasycení ještě vysoké procento vody, je stabilní vůči hydrolyze. Nevýhodu tohoto plastu můžeme vidět ve velmi vysoké ceně a také v tom, že je nasákavý, čímž se velmi rychle zhoršují jeho mechanické vlastnosti.

V současné době dosahuje PBI nejvyšší teplotní odolnosti a nejlepší stálosti mechanických vlastností ze všech dostupných termoplastů. Dá se tedy použít v aplikacích, kde ostatní typy polymerů zklamaly.

Příklady aplikací: Hlavní oblastí použití je výroba vysoce výkonného ochranného oblečení jako kabáty a obleky pro hasiče a astronauty, teplotně odolné ochranné rukavice, svářečské oblečení, kombinézy pro závodní jezdce, polovodiče, vesmírné technologie



nebo například různé membrány.

Obr. 22 Příklad aplikace PBI [16]

Obr. 23 Ochranný oděv pro hasiče z PBI [15]



5.2.9. Tekuté krystalické polymery (LCP) [21]Příklady obchodních názvů – VECTRA, ZENITE

Charakteristickým rysem tekutých krystalových polymerů je jejich molekulární struktura. Tyto polymery se skládají z pevných, tyčovitých makromolekul, které se při tavení spojují a vytváří tekuté krystalové struktury. Pokud je tekutá krystalová tavenina polymeru vystavena smykovému namáhání, ke kterému dojde při každém zpracování u termoplastů, pevné makromolekuly se srovnají do vláken a při ochlazení taveniny zamrznou.

Materiál je schopen odolávat dlouhodobě teplotě 240 °C a krátkodobě je odolný až do 300 °C. Díky velmi nízké teplotě tavení je možné výrobní cyklus podstatně zkrátit. Odolnost vůči chemickým látkám, oxidaci a ohni je velmi dobrá. Mezi hlavní nevýhody patří vysoká anizotropie materiálu, nutnost sušení před vlastním zpracováním a samozřejmě také vysoká cena.

Vlastnosti LCP jsou ovlivněny vysokou orientací molekul a vykazují již zmíněnou vysokou anizotropii. To znamená, že tuhost a pevnost je podstatně vyšší ve směru orientace než napříč. Anizotropie může být podstatně snížena použitím vyztužujících plniv. Mezi nejčastější patří např. skelná a uhlíková vlákna, minerály, PTFE, grafit a jejich kombinace.

Příklady aplikací: Elektrotechnické a elektronické aplikace, konektory, cívky, zdravotnické zařízení (chirurgické nástroje, zubní nástroje, systémy pro podávání léků), stroje pro chemické zpracování, v telekomunikačních zařízeních, v automobilovém průmyslu a rovněž také v leteckých a kosmických aplikacích.



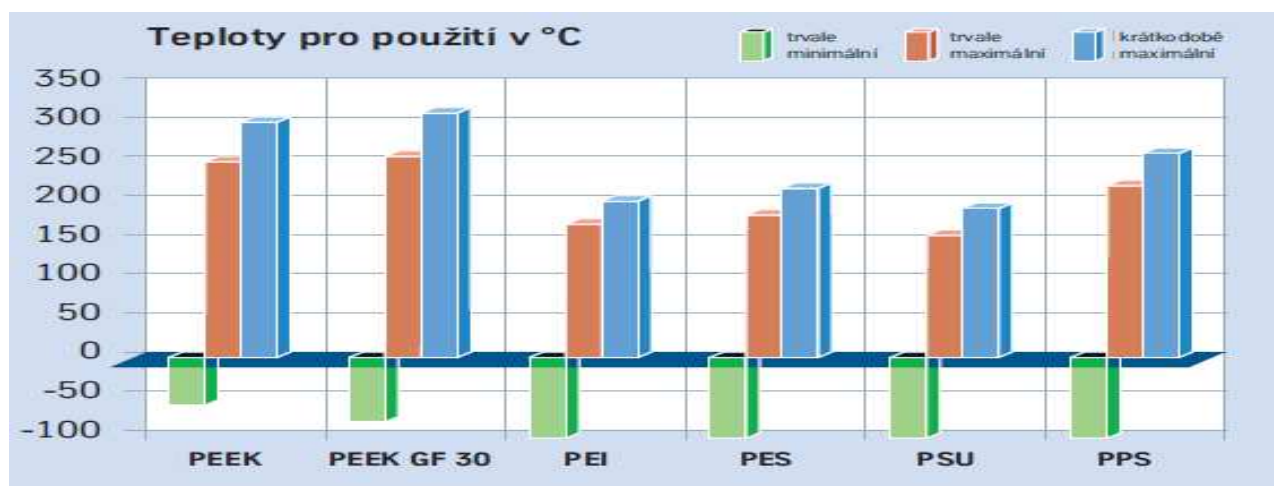
Obr. 24 Konektor telefonu vyrobený z LCP[28]

5.3. Srovnání technických parametrů některých speciálních plastů

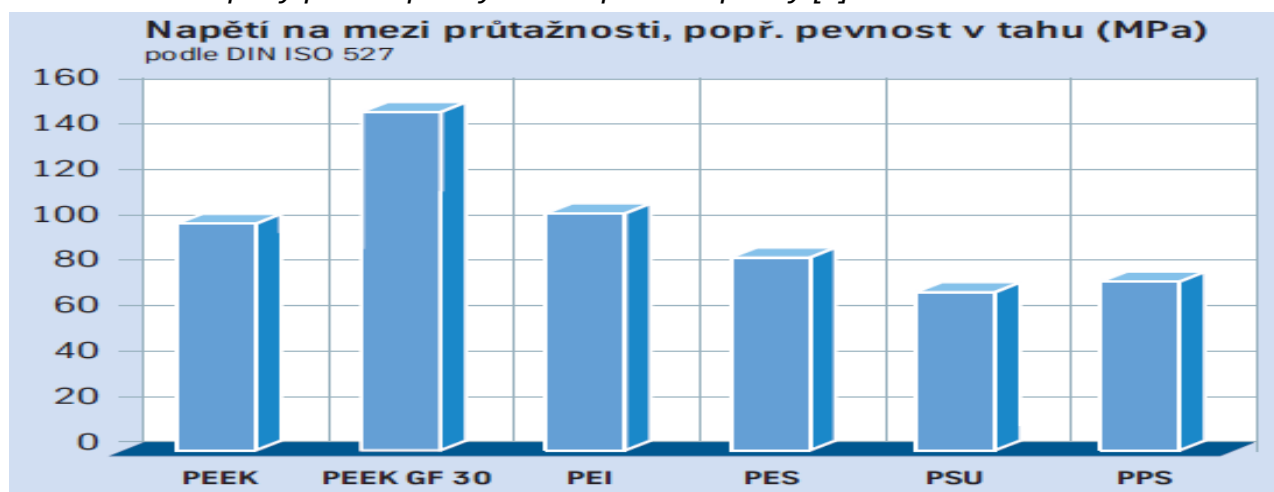
Tabulka 2 Srovnání technických parametrů některých speciálních plastů [9]

	PEEK	PEEK GF 30	PEI	PES	PSU	PPS
Tvrdost, pevnost, tuhost	+++(+)	++++	+++(+)	+++	+++	+++
Houževnatost	+++(+)	++	+++	+++	+++(+)	++
Sklon k tečení	+	+	+	+	+	+
Rozměrová stálost	+++	++++	+++	+++	+++	+++
Tepelná zatížitelnost	+++(+)	++++	+++	+++	+++	+++(+)
Odolnost vůči chemikáliím	+++	++++	+++	+++	+++	++++
Absorpce vlhkosti	+	+	+	+	+	+

++++ = velmi vysoký stupeň, +++ = vysoký stupeň, ++ = střední stupeň, + = nízký stupeň



Obr. 25 Teploty použití pro vybrané speciální plasty [9]



Obr. 26 Srovnání modulu pružnosti u speciálních plastů [9]

6. Výroba a zpracování tepelně odolných plastů

PTFE [22]

Zpracovává se velmi obtížně. Tvárnost ovlivňuje malá tekutost polymeru i za vysokých teplot nad 320 °C a blízkost bodu rozkladu. Proto se k tváření používá i některých způsobů známých z práškové metalurgie. Obvykle je proto prášek PTFE sintrován (slinován, spékan) za tlaku a nad teplotou 327 °C. Tyče, trubky a profily se vyrábějí z prášku vytlačováním.

Fólie z PTFE se vyrábějí válcováním nebo soustružením z bloků plochým nožem. Pro některé aplikace se při zpracování přidávají k PTFE různá plniva (např. azbest, skleněná vlákna, grafit a bronz), která zlepšují některé jeho vlastnosti. Žárovým, či fluidním nanášením je možno vytvářet na kovových součástech kompaktní ochranné povlaky. Kvůli velkým mezimolekulárním silám nelze zpracovávat tento materiál vstřikováním.

PVDF [23]

Nejčastěji se PVDF zpracovává vytlačováním na standardních vytlačovacích strojích s konstrukčními materiály podobným těm, které jsou použity pro zpracovávání PVC nebo PP. Většinou postačí jediný vytlačovací šnek s poměrem $L/D = 24/1$ nebo vyšším. Sušení není nutné, nicméně bylo prokázáno, že má pozitivní vliv na zmírnění skvrn na povrchu konečného výrobku. Tento materiál je citlivý na spálení a nechá-li se shromažďovat kolem „mrtvých zón“ v systému, bude pak výsledný produkt obsahovat spálené skvrny. Teploty při vytlačování se pohybují v rozmezí 200 – 240 °C.

PVDF je samozřejmě možné zpracovávat také vstřikováním. Je nutné zajistit velkorysé odvětrání na konci plnicího procesu. Materiál je vysoce krystalický a vykazuje značné smrštění. Teplota taveniny se pohybují mezi 220 – 270 °C a teplota vyhřívání formy je 50 – 90 °C. To jsou v porovnání s ostatními vysoce teplotně odolnými materiály poměrně nízké hodnoty.

PEEK [24]

Tyto materiály mohou být zpracovány na základě konvenčních termoplastických zařízení a jediným problémem je, že teploty zpracování jsou hodně vysoké. To se projeví samozřejmě na ceně zařízení, které tento plast zpracovává. Materiál je většinou dodáván ve formě pelet, prášků nebo ultra jemných prášků. Pelety jsou doporučené pro vstřikování, vytlačování a jemný prášek většinou pro lisování.

Jestliže se PEEK zpracovává vstřikováním je nutné materiál předsušit a to při teplotě 150 °C po dobu 3 hodin. Vstřikovací tlak se pohybuje kolem 1500 barů a vstřikovací rychlost může být vysoká, jelikož materiál nepodléhá degradaci.

Kromě již zmíněného vytlačování a vstřikování je možné PEEK zpracovávat i tvarováním, odléváním nebo vyfukováním.

PI [25], [26]

Tento materiál se nejčastěji zpracovává spékáním prášku, ale může být vyroben i metodami konvenčního vstřikování, lisování či protlačování. Vstřikování není příliš používané z důvodu velmi vysokých teplot nutných ke zpracování.

Před vstřikováním je nutné materiál sušit při teplotě 175 °C po dobu 5 hodin. Je nutné dosáhnout vlhkosti menší než 0,02%. Teplota taveniny se pohybuje v rozmezí 392 – 408 °C a teplota vyhřívání formy je přibližně 163 °C.

Lisováním za vysoké teploty se dají vyrobit velké díly s výbornými mechanickými vlastnostmi. Prášek je umístěn do formy a je lisován pod tlakem 400kg/cm² při teplotě asi 360 °C po dobu 3 hodin. Lisováním za pokojové teploty a tlaku 4000kg/cm² po dobu několika sekund se dají zhotovit menší díly, které jsou pak spékány bez tlaku v troubě.

PAI [27]

PAI lze vyrábět vstřikováním, vytlačováním nebo lisováním. Každý způsob zpracování má své výhody, ale také omezení. Vstřikováním se dají vyrobit výrobky s větší pevností, a pokud je požadavkem vyrobit velké množství složitých dílů, tak je tato technika nejekonomičtější díky krátké době cyklu a vynikající replikaci. Teplota taveniny při vstřikování je 315 – 360 °C a forma je vyhřívána na teplotu v rozmezí 163 – 218 °C.

Vytlačováním lze vyrábět tyče, desky, folie a trubky. Malé části s jednoduchými tvary mohou být vyrobeny ekonomicky. Lisováním se vyrábí části s tloušťkou větší než 16 mm. Náklady na výrobu jsou nižší než u jiných technik tvarování, ale výrobky budou mít menší pevnost.

PPS [28]

PPS je nabízeno většinou ve formě granulí nebo prášku. Výrobní řada zahrnuje typy pro vytlačování a vstřikování, které se liší viskozitou taveniny. Práškové typy umožňují širokou škálu použití při metodách práškového sintrování (spékání), například jako teplovzdorné pojivo nebo jako přídavek do sloučenin PTFE. Nevzdušněné granuláty se používají převážně při výrobě vláken a při zpracování vytlačováním. Upřednostňovanou metodou zpracování je však vstřikování.

PSU [28]

Nejčastěji se PSU zpracovává vstřikováním, vytlačováním nebo tvarováním. U vstřikování je nutné materiál před zpracováním vysoušet.

Nejčastěji se vysouší při teplotě 163 °C po dobu 2 hodin nebo při teplotě 149 °C po dobu 3 hodin.

Formy jsou předehřívány na teplotu v rozmezí 120 – 160 °C, jestliže ale hodláme vstříkovat materiál vyztužený plnivem, tak je nutné vyhřívat formu na vyšší teplotu pro dosažení optimální povrchové úpravy. Teplota taveniny při vstřikování se pohybuje mezi 315 – 370 °C.

U vytlačování je nutné materiál také vysoušet a teploty při tomto zpracování jsou velmi blízké teplotám při vstřikování.

Při tvarování je materiál vysoušen v horkém vzduchu nebo ve vysoušecí troubě. Teplotu formy je nutno sledovat v celém prostoru trouby a měla by se pohybovat kolem 140 °C. Formy jsou vyráběné z kovu, nejpoužívanější je ocel a hliník. Teplota při zpracování tvarováním musí být v rozmezí 232 – 260 °C.

PES [24]

PES je nejčastěji zpracováván pomocí konvenčních vstřikovacích a vytlačovacích zařízení. Stejně jako u PEEK je nutné materiál sušit při teplotě 150 °C po dobu 3 hodin před vstřikováním. Cílem je dosáhnout méně než 0,04% obsahu vody. Je nutné dbát na to, aby teploty zpracování byly ve správném rozsahu, jelikož PES má vysokou viskozitu taveniny a trpí hořením v případě příliš vysokých teplot. Vstřikovací tlak se pohybuje kolem 2000 bar, teplota taveniny je 360 °C a forma bývá předehřívána na teplotu blízkou 150 °C.

Kromě vytlačování a vstřikování se PES zpracovává i vyfukováním a lze ho ohýbat či spojovat.

PEI [29]

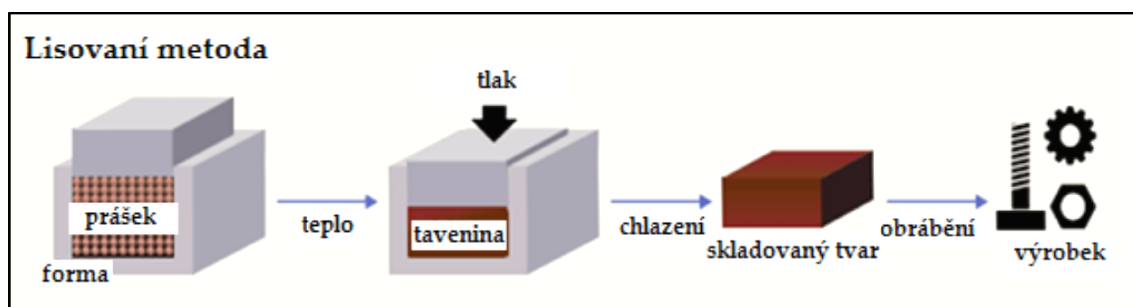
Mezi nejpoužívanější zpracování PEI patří stejně jako u většiny plastů vstřikování.

Před vlastním vstřikováním je nutné materiál sušit při teplotě 150 °C po dobu 4-6 hodin. Vlhkost po sušení nesmí být větší než 0,02%. Teplota formy se měří pyrometrem a měla by se pohybovat v rozmezí 107 – 170 °C. Vyšší teploty formy se používají pro zvýšení průtoku materiálu. PEI má velmi dobrou tepelnou stabilitu, teplota taveniny je v rozmezí 340 – 400 °C. Teploty vyšší než 380 °C mohou mít za následek posun barev kvůli neschopnosti pigmentů v některých barvách zvládat vyšší teploty. Rychlost šneku se pohybuje mezi 40 – 70 ot/min.

Kromě vstřikování se materiál zpracovává i vyfukováním nebo vytlačovacím vyfukováním. Parametry sušení a teploty při zpracování jsou velmi podobné jako u vstřikování. Další používanou technologií je lisování a po výrobě polotovaru je možné materiál svářet a obrábět.

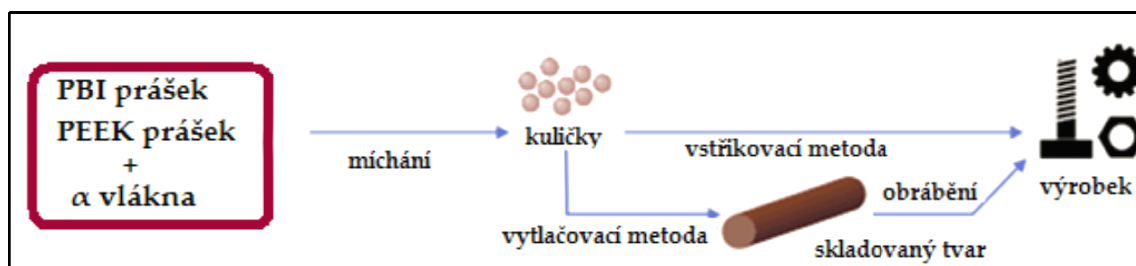
PBI [30]

Tento materiál se nejčastěji zpracovává vstřikováním, vytlačováním nebo lisováním. Schéma výroby součástí za pomoci lisování je znázorněno na obr. 25. Materiál se roztaví za pomoci topení, následuje lisování ve formě a poté chlazení. Teploty, při kterých dochází k deformaci, se blíží 410 °C. Lisováním vznikne polotovar ve tvaru kvádru, ze kterého se obráběním získá finální výrobek.



Obr. 27 Schéma zpracování PBI lisováním [30]

PBI jako samostatný materiál má velmi malou pružnost a je těžké ho zpracovávat pomocí vstřikování nebo vytlačování. Většinou se tento problém řeší přidáním PEEK. Výsledný materiál je již možno bez větších problémů uvedenými způsoby zpracovávat. Schéma zpracování je znázorněno na **Obr. 26**. V první fázi dojde ke sdružení materiálů, vyrobí se pelety. Následně získáme finální výrobek buď za pomoci vstřikování, nebo vytlačování.



Obr. 28 Schéma zpracování PBI vstřikováním a vytlačováním [30]

LCP [27] , [28]

LCP se může zpracovávat běžným vstřikováním nebo vytlačováním. Díky krátkým cyklům, konvenčnímu zpracování a možnosti míchání až s 50% přemletého materiálu je zajištěna vysoká cenová efektivnost / příznivá cena. Vzhledem k dobrým vlastnostem tečení materiálu a tendenci tvořit přetoky je možné vyrábět i tenkostěnné díly.

Vyrábí se široká škála typů LCP pro vstřikování založená na řadě základních polymerů lišících se teplotou tání, teplotní odolností, pevností apod. Díky vyztužujícím materiálům (grafit, PTFE, skelná a uhlíková vlákna) je umožněno aplikovat tyto materiály v mnoha oblastech použití.

Před vstřikováním se materiál musí sušit na teplotě 150 °C po dobu 8 hodin. Teploty taveniny se pohybují v rozmezí 320 – 360 °C a formy jsou obvykle přehřívány na teplotu 65 – 95 °C. Pokud chceme získat výrobek s vysoce lesklým povrchem, tak je nutné přehřát na teploty vyšší.

■ V tabulce 3 jsou znázorněny vysoce odolné plasty a způsoby, kterými je možné je zpracovávat. PTFE, PBI a PI je možné vstřikovat jen za určitých podmínek.

Tabulka 3 Způsoby zpracování tepelně odolných plastů [22 - 30]

Materiál	vstřikování	vytlačování	sintování	lisování	vyfukování
PTFE	x	X	X	X	
PVDF	X	X	X		
PEEK	X	X			X
PI	x	X	X	X	
PAI	X	X		X	
PPS	X	X	X		
PSU	X	X			
PES	X	X			X
PEI	X	X		X	X
PBI	x	X	X	X	
LCP	X	X			

■ V tabulce 4 jsou uvedeny tepelně odolné plasty, které je možné zpracovávat vstřikováním. Dále jsou v ní uvedeny teploty taveniny a teploty formy při tomto zpracování.

Tabulka 4 Teploty taveniny a formy při vstřikování plastů [22 - 30]

Materiál	Teplota taveniny	Teplota formy	Materiál	Teplota taveniny	Teplota formy
PVDF	220 - 270 °C	50 - 90 °C	PSU	315 - 370 °C	120 - 160 °C
PEEK	370 - 400 °C	160 - 205 °C	PES	cca. 360 °C	cca. 150 °C
PI	392 - 408 °C	cca. 163 °C	PEI	360 - 400 °C	107 - 170 °C
PAI	315 - 360 °C	163 - 218 °C	PBI	cca. 510 °C	
PPS	304 - 343 °C	135 - 149 °C	LCP	320 - 360 °C	65 - 95 °C

7. Další aplikace speciálních plastů

7. 1 Technologie výroby leteckých dílů z kompozitu [20]

Kompozity s polymerní matricí se používají běžně v širokém rozsahu aplikací. Dříve se však používaly v naprosté většině kompozity s matricí z termosetu. Teprve v posledním desetiletí se intenzivně rozšířilo použití termoplastové matrice u náročnějších dílů. To bylo umožněno díky pokroku ve vývoji plastů vhodného typu.

Používané výztuže - Pro tento typ kompozitu je možné používat obvyklé typy uhlíkových i skleněných vláken ve formě tkanin i jednosměrného uložení při obvyklém poměru jejich podílu v kompozitu. To zaručuje, že základní parametry kompozitu jako jsou modul pružnosti a pevnost v tahu budou mít podobné hodnoty jako u kompozitu s matricí termosetickou.

Používané matrice - Prvním termoplastem s vyššími termomechanickými charakteristikami, který začal být používán jako matrice je Polyetereterketon (PEEK). To bylo v 80-tých letech, kdy se hledala náhrada za termosetová. Technologie zpracování PEEK je však velmi obtížná a materiál je relativně drahý. Určité aplikace byly v té době pouze na vojenských letounech.

V roce 1989 se začal používat Polyeterimid (PEI). Jeho výhodou jsou výborné mechanické vlastnosti a nehořlavost, ale nevýhodou je nižší chemická odolnost. Dalším termoplastem, který se začal používat v roce 1997, byl Polyfenylensulfid (PPS) vyznačující se dobrou zpracovatelností. Nejnovějším materiálem používaným od roku 2003 je Polyeterketonketon (PEKK). Ten přináší výborné termomechanické charakteristiky při dobré zpracovatelnosti.

Polotovar pro výrobu - Polotovarem je výztuž, která má na sobě nanesenou matrici. To může být provedeno různou formou.

- 1) Semipreg je výztuž, která je částečně prosycena matricí. To je však obtížná operace, protože v porovnání s termosetovou pryskyřicí má termoplast podstatně vyšší viskozitu. Někdy se volí elektrostatické nanášení malých částic pojiva na tkaninu, jindy se položí na tkaninu fólie a pak se zalisuje.
- 2) Pro méně náročné aplikace se používá tkanina z výztuže, která má ve vazbě rovněž pramence termoplastu.
- 3) Dalším často používaným polotovarem je kompaktní rovná monolitní deska, která již má předepsanou skladbu vrstev a pouze se následně tváří za tepla.

Technologie zpracování

Podle polotovaru, typu a tvaru dílu se volí vhodná technologie zpracování. Základní krok je lisování vrstev za zvýšené teploty. Pokud se skládá díl ze semipregu, tak se musí při skladbě do formy každá vrstva fixovat tepelným bodovým zdrojem před vlastním lisováním. Pokládání vrstev může probíhat i strojově (obr. 24). Lisování může proběhnout v lise nebo i v autoklávu.



Obr. 29 Pokládání vrstev strojem[20]

Formy

Pro výrobu skořepin se nejčastěji používá technologie lisování s použitím lisu, který má buď vyhřívané desky, nebo ohřívanou formu. Forma se skládá z dvou částí. Můžeme se setkat s tím, že budou obě části formy kovové nebo jedna kovová a druhá silikonová. Obě kombinace mají své výhody a je nutné volit podle tvaru dílu, přesnosti tvaru, tloušťek, kvality povrchu apod.



Obr. 30
Forma kov - kov[20]

Obr. 31
Forma silikon - kov[20]



Vlastní proces

Proces sestává ze dvou hlavních kroků. Nejprve se musí připravený polotovár nahřát na požadovanou teplotu. To se obvykle provádí v IR peci. Polotovár je přitom zavěšen v systému, který umožní po dosažení požadované teploty zpracování jeho rychlé přemístění do lisovacího prostoru. Následuje lisování ve formě. Rychlosti přemístění polotovarů a zavírání formy jsou velmi důležitým parametrem, protože krystalizace probíhá během několika sekund.

Celý cyklus trvá dle tloušťky materiálu od 5 do 10 minut. Na obr. 27 je lis, který má v zadní části připojenou IR pec. Zařízení pracuje v plně automatickém režimu.



Obr. 32 Lis s pecí pro výrobu dílů[20]

Příklady aplikací

■ Nejznámější zahraniční aplikací je náběžná hrana pro letouny A340 z kompozitu C/PPS (uhlík/Polyfenylensulfid), kde bylo při montáži použito i svařování.

Obr. 33 Náběžná hrana z materiálu C/PPS[20]



■ Firma LLV vyvinula a vyrábí popsanou technologii z C/PPS mimo jiné díly do interiéru A400M, které jsou následně spojovány nýtováním. Protože se jedná o sestavu, kde se vyskytují i díly z kovu, tak má materiál C/PPS na povrchu z obou stran použitou skleněnou tkaninu.

Obr. 34 Díly z materiálu C/PPS a G/PPS [20]



Závěr - Kompozity s termoplastovou matricí mají mnoho výhodných vlastností a jejich použití v aplikacích bude stále častější. Největší nevýhodou je vysoká cena materiálů a forem.

7.2 Plastová ložiska [31]

Cestu plastům jako ložiskovým materiálům otevřel poválečný nedostatek barevných kovů. Nejprve bylo jejich použití považováno spíše za náhražku tradičních materiálů než za rovnocenný konstrukční materiál. Již po několika letech směřovalo použití ložisek a pánví překvapivě i do náročných aplikací ložiskových pánví válcovacích tratí, dopravníků uhlí, ložisek lodních hřídelí, drtičů mlýnů, rotačních pecí nebo zařízení pracujících v prašných prostředích cementáren, vápenek a míchaček betonu.

V dnešní době mají technici k dispozici širokou škálu ložisek vstříkovaných z termoplastů. K charakteristickým vlastnostem a výhodám těchto ložisek patří jejich výborné kluzné vlastnosti, nízké opotřebení, korozní odolnost, nízká hlučnost, odolnost vůči zadíráání, minimální nasákavost, jednoduchá instalace a bezúdržbový provoz. Z hlediska materiálu jde většinou o kompozity založené na bázi polyamidů (PA 66) s obsahem polytetrafluoretylenu (PTFE) a se skleněnými vlákny jako vyztužujícím plnivem. Tímto složením je možné dosáhnout u ložisek samomaznosti, odolnosti vůči opotřebení, výborné rozměrové stálosti, vysoké pevnosti v tlaku a odolnosti proti tečení, nízké teplotní roztažnosti a dobré tepelné vodivosti.

Jinou materiálovou skladbu mají kompozitní ložiska na bázi polybutylentereftalátu (PBT) s pevným mazivem a obsahem bronzového prášku, které tak získají dobré kluzné vlastnosti a odolnost vůči opotřebení. I tato ložiska jsou samomazná s dobrou rozměrovou stálostí, vysokou pevností v tlaku, nízkou teplotní roztažností a dobrou tepelnou vodivostí.

Podstatně vyšší nároky mohou být kladeny na ložiska ze špičkového vysoce tepelně odolného polymeru polyetereterketonu (PEEK). Ložiska z tohoto kompozitu mají dobré kluzné vlastnosti a odolnost vůči opotřebení za působení vysokých tlaků a teplot. Navíc vynikají vysokou odolností vůči chemikáliím a hydrolýze.

Z těchto uvedených materiálů se vyrábí např. válcová ložiska, přírubová pouzdra, ale i pouzdra nestandardních rozměrů a tvarů. Nejčastější příklady použití ložisek jsou elektromotory, domácí spotřebiče, lékařské přístroje a další přístroje vyráběné ve velkých sériích, kde se výroba potřebných vstřikovacích forem z ekonomického hlediska vyplatí.

Vývoj vstřikovaných ložisek se zaměřil i na využití dalších špičkových polymerů, které jsou schopny řešit neustále se zvyšující nároky na provozní parametry.

Pozornost se soustředila především na plněné typy následujících termoplastů:

- polyfenylensulfidů (PPS) s tepelnou odolností až do 240 °C,
- polyetereterketonů (PEEK) s tepelnou odolností až do 260 °C
- polyamidimidů (PAI) s tepelnou odolností rovněž až do 260 °C.

Kromě velmi dobrých pevnostních charakteristik mají tyto plasty také vynikající chemickou odolnost.

Tabulka 5 Materiály používané na ložiska a jejich provozní parametry [31]

Materiál ložisek	Připustná zatížení stat./dynam. [MPa]	Obvodová rychlost rotace/posuv [m.s ⁻¹]	Max. součinitel p. v. [MPa. m.s ⁻¹]	Teplota použití min./max. [°C]	Součinitel tření plast – ocel
PA 66T + PTFE + skleněná vlákna + grafit	80/40	1/3	1	-40/+140	0,15 – 0,30
PEEK + uhlíková vlákna + PTFE + grafit	150/75	1,5/5	3,5	-150/+250	0,1 – 0,2
PTFE + PA + vinutá skleněná vlákna + polymerní pojivo	200/100	0,2/-	1,8	-150/+160	0,05 – 0,30
PTFE + PBT + vinutá skleněná vlákna + polymerní pojivo	220/140	0,2/-	1,8	-100/+ 160	0,02 – 0,12

Ložiska na bázi kov – polymer [31]

Kromě vstřikovaných typů ložisek je možné pro přírubová a válcová pouzdra, kluzné axiální podložky a kluzné pásy použít tenkostěnných kovo - polymerních kluzných ložisek. Tato ložiska jsou složená z tenké vrstvy na bázi polytetrafluoretylenu (PTFE) naneseného na pevný kovový nosič. Jako nosič se nejčastěji používá ocelový nebo bronzový plech, případně hliníková tkanina a jeho úkolem je dodat ložisku pevnost. Vlastní kluzná plocha je tvořena vrstvou PTFE.

Ložiska tohoto typu jsou samomazná, vysoce zatížitelná, s vyšší odolností proti otěru a výrazně nižším součinitelem tření. Stříháním a skružováním těchto materiálů se dodávají kovo - polymerní ložiska na trh v podobě válcových nebo přírubových pouzder, radiálních kroužků, přírubových kroužků i kluzných pásů.

Tabulka 6 Materiály ložisek na bázi kov – polymer a provozní parametry [31]

Materiál ložisek	Přípustná zátěž stat./dynam. [MPa]	Oblvadová rychlost bez mazání/olej [m.s ⁻¹]	Max. součinitel p.v. [MPa . m.s ⁻¹]	Teplota použití min/max [°C]	Součinitel tření plast – ocel bez mazání/olej
ocel + slitutý bronz + PTFE + Pb	250/140	2,5/-	bez mazání trvale 1,8 proruš. 3,5	-250/+280	0,02 – 0,25/0,02 – 0,12
bronz + slitutý bronz + PTFE + Pb	140/140	2,5/-	bez mazání trvale 1,8, proruš. 3,5	-200/+280	0,02 – 0,25/0,02 – 0,12
ocel + slitutý bronz + PTFE + skleněná vlákna + aramidová vlákna	250/140	2,5/-	bez mazání 1,0	-250/+280	0,14/-
ocel + slitutý bronz + PTFE + polymer	250/140	-/10	olej 10	-200/+280	-/0,01 – 0,05
ocel + slitutý bronz + PTFE + PPS	250/140	2,5/10	bez mazání 1,4 olej 8	-200/+200	0,13/-
ocel + slitutý bronz + PEEK + PTFE + plnivo	140/100	tuk 2,5/10	tuk 2,8	-150/+250	tuk 0,08 – 0,12/0,03 – 0,08
hliníková tkanina + PTFE + Pb + skleněná vlákna	65/40	1/-	bez mazání 1,6	-60/+250	0,14/-

Použití ložisek na bázi kov – polymer směřuje převážně do automobilového průmyslu a všeobecného strojírenství. V prvním případě se jedná o ložiska čerpadel motorů, tlumičů, ventilů apod. Strojírenství je využívá pro hydraulická zubová čerpadla, pneumatické nářadí, kompresory chladících zařízení nebo různá zdvihací a manipulační zařízení.



Obr. 35 Klece valivých ložisek z polyaryleterketonu (PAEK) [31]

Kromě PTFE se také používají i špičkové termoplasty PPS a PEEK, modifikované pro zlepšení kluzných vlastností a polyamidimid (PAI). Podrobnější informace o těchto materiálech jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7 Termoplastové ložiskové materiály pro náročné aplikace [31]

Plast	Plnivo	Poznámka
polyfenylenulfid (PPS)	skleněná vlákna + PTFE	dobrý pro okrajově mazané aplikace; velmi nízká nasákavost a dobrá chemická odolnost
polyetereterketon (PEEK)	uhlíková vlákna + PTFE + grafit	vysoký výkon při vyšších teplotách a zatíženích ve srovnání s běžnými plasty; chemicky odolný
polyamidimid (PAI)	PTFE + TiO ₂	vysoká pevnost materiálu a dobrá chemická odolnost
polyamidimid (PAI)	grafit + PTFE	vhodný pro aplikace za sucha při zvýšených teplotách

7.3 Plastová ozubená kola [31]

Ozubená kola, podobně jako tomu bylo u ložisek, se začala v poválečném období vyrábět obráběním z tehdy dostupných reaktoplastových polotovarů – tvrzené bavlněné tkaniny a tvrzeného papíru pojeného fenolickou pryskyřicí. Z hlediska tepelné odolnosti bylo použití ozubených kol závislé na tepelné odolnosti tvrditelných pryskyřic, která se pohybovala v rozmezí 110 – 120 °C. Je zřejmé, že teploty použití byly jedním z hlavních faktorů, které limitovaly použitelnost těchto ozubených kol z reaktoplastu. Nicméně k výrobě ozubených kol bylo možné použít i kompozity na bázi skleněných vláken a epoxidové pryskyřice s tepelnou odolností až 180 °C. K výrobě ozubených kol se vedle strojního obrábění, zvláště v případech těchto nových typů materiálů, rozšířila technologie řezání vodním paprskem.

K zásadním změnám ve výrobě ozubených kol došlo rozmachem vstřikovaných typů termoplastů, z nichž zpočátku nejvíce dominovaly polyamidy (PA). S pokračujícím rozvojem výroby polymerů se začaly postupně uplatňovat další typy termoplastů a jejich modifikace. Co se týče špičkových tepelně odolných plastů, tak nejčastěji se uplatňují ozubená kola z polyetereterketon (PEEK), případně polyeterimid (PEI). Tyto materiály je možné navíc modifikovat pro zlepšení kluzných vlastností např. pevnými mazivy nebo práškovým polytetrafluorethylenem (PTFE)

Tabulka 8 Vlastnosti speciálních plastů pro výrobu ozubených kol [31]

Plast	Měrná hmotnost [g/cm ³]	Modul pružnosti [MPa]	Vrubová houževnatost [kJ/m ²]	Tvrdost vtiskem kuličky [MPa]	Dlouhodobá teplota použití [°C]	Součinitel teplotní roztažnosti 10 ⁻⁶
PEEK	1,32	4000	5	230	-60 až +250	50
PEI	1,27	3100	4	220	-50 až +170	45

Technologie výroby ozubených kol vstřikováním umožňuje velkosériovou výrobu kol jak celoplastových, tak v případě větších rozměrů i kol s kovovým zálskem. Vyrábět lze především kola s přímými a šikmými zuby, kuželová, ozubená kola se zuby přímými a šneky se šnekovým kolem.

Pro tyto kola není vhodné použití v soukolí, která mají přenášet velký výkon při vysokém počtu otáček. Vlivem skluzu dochází při záběru kol k nežádoucímu vývinu tepla, což může vést ke zvýšení teploty na povrchu zubů a následnému poklesu jejich pevnosti v ohybu.

Mezi hlavní výhody ozubených kol z plastu patří:

- nízká hmotnost
- schopnost tlumení hluku, vibrací a rázů
- dobré kluzné vlastnosti
- tuhost a tvrdost při dostatečné houževnatosti
- elektroizolační vlastnosti
- výborná chemická a korozní odolnost



Obr. 36 Ozubené kolo z PEEK [32]

Příklad uplatnění ozubených kol z PEEK [32]

Ozubená kola vyrobená ze speciálního plastu PEEK našla uplatnění i např. v převodech závodních aut americké série NASCAR. Původně se pro převody těchto závodních aut používaly bronzové slitiny. U těchto materiálů se ale objevoval problém ze spolehlivosti a trvanlivosti. Ve snaze o prodloužení trvanlivosti převodů se začal používat PEEK, který vykazoval až 5x delší životnost. V praxi to znamená, že místo původní životnosti převodů 700-800 kol je možné s použitím speciálního plastu dosáhnout životnosti odpovídající celé závodní sezóně. Samozřejmě, že cena je vyšší než u použití kovových slitin, ale díky vysoké trvanlivosti se investice do PEEK vyplatí.

Další výhodou je schopnost materiálů přežít vysoké teploty a hmotnost PEEK převodů je o 81% nižší než u převodů ze slitin mědi. To je velmi výhodné, jelikož i potřebná síla na provoz motoru je menší a také dochází ke zvýšení výkonu oproti původnímu řešení.



Obr. 37 Aplikace PEEK v NASCAR [32]

7.4 Plastová těsnění [31]

Těsnění představuje ve strojírenství významný konstrukční prvek. Je reprezentováno rozsáhlým sortimentem různých kroužků, manžet, plochých těsnění, ucpávek, šňůr a desek. Všechny tyto druhy těsnění jsou většinou v provozu podrobeny značnému statickému nebo dynamickému namáhání, vysokým i nízkým teplotám, působení agresivních medií a často i vlivům atmosférických podmínek. Jejich konstrukce tedy vyžaduje využití široké škály materiálů počínaje kovy, grafitem, kaučuky a plasty konče.

K plastům, které se nejvíce používají pro těsnicí účely, patří termoplastické elastomery především na bázi polyuretanů (TPU), případně polyesterů a termoplastů. Z tepelně odolných materiálů se nejčastěji používá polytetrafluoretylen (PTFE), polyvinylidenfluorid (PVDF) a polyetereterketon (PEEK). Kromě těchto plastů se pro různá těsnění dají použít i další špičkové materiály, ale zatím ne v tak velké míře. Patří sem např. fluoroplast polytrifluorchloretylen (PCTFE) nebo také polyfenylensulfidy (PPS) a polyimidy (PI). Vlastnosti těchto plastů jsou uvedeny v tabulce 9. Modifikací těchto plastů např. plnivý nebo chemickou modifikací vzniklo široké spektrum materiálů vhodných pro různé aplikace těsnících prvků.



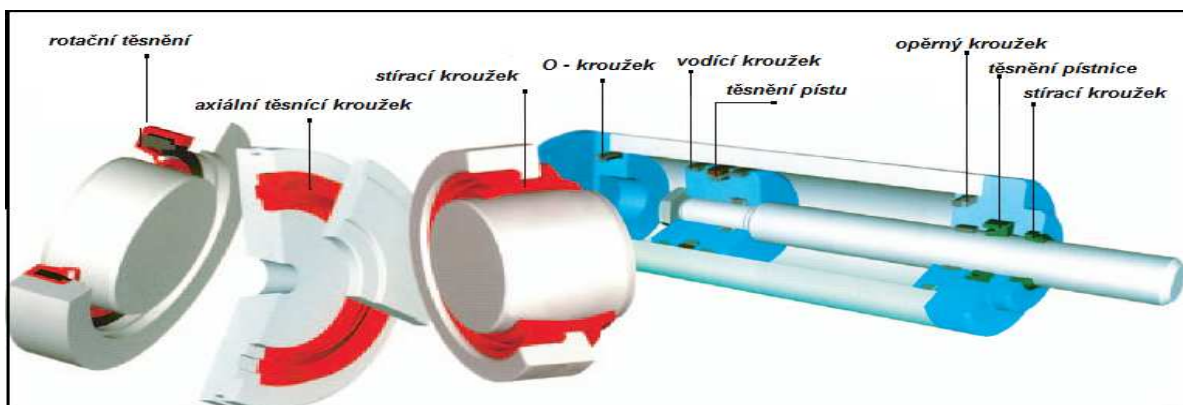
Obr. 38 Různé druhy těsnění z PTFE [33]

Tabulka 9 Vlastnosti tepelně odolných termoplastů pro těsnění [33]

Vlastnost	PTFE	PTFE + 15 % sklo + 5 % MoS ₂	PTFE + 40 % bronzu	PTFE + 25 % uhlíku	PEEK	PVDF	PCTFE	PPS	PI
Měrná hmotnost [g.cm ⁻³]	2,17	2,25	3,0	2,10	1,32	1,78	2,13	1,35	1,34
Tvrdost [Shore D]	57	60	64	65	86	78	76 – 80	81	90
Pevnost v tahu [MPa]	27	18	22	15	97	56	30 – 40	75	116
Tažnost [%]	300	200	280	180	≥ 50	>20	>50	4	9
E-modul (tah) [MPa]	–	–	–	–	3600	2000	1400	3700	4000
Max. teplota [°C]	260	260	260	260	260	150	150	220	300
Min. teplota [°C]	-200	-200	-200	-200	–	-50	-255	-20	-270

Těsnící kroužky a manžety [33]

Stírací kroužky zabráňují proniknutí nečistot a vlhkosti do hydraulických válců. Pro tyto kroužky se může použít polyuretanové elastomery nebo také např. PTFE jak s obsahem skleněných vláken, bronzu nebo uhlíku. Pro opěrné kroužky, chránící O-kroužky před jejich vtlačení do těsnících spár při rázech se osvědčil také PTFE bez plniva nebo se skleněnými vlákny. Pro vysoké tlaky od 400 do 1600 barů je možné použít těsnění z PEEK. Pro vodící kroužky používané např. pro vedení pístu v pístnici bez těsnícího elementu a O-kroužky používané v hydraulice a pneumatice se může použít PEEK nebo opět PTFE s plnivem. Pro těsnění přírub se používají desky z vícesměrně orientovaného expandovaného PTFE. Tyto izotropní desky jsou vhodné pro provozní teploty 210 – 260 °C a tlaky 80 – 85 barů. Běžné tloušťky desek jsou 1 – 3 mm a rozměry 1500 mm x 1500 mm.



Obr. 39 Různé druhy plastových těsnění [33]

Teflonové těsnící pásy [34]

Teflonové těsnící pásy s mikroporézní strukturou zajišťují vynikající mechanické a chemické vlastnosti. Díky těmto vlastnostem se přizpůsobuje všem nepravidlostem povrchu dílu, na který je použita (např. příruby). Kvůli snadnější montáži se dodávají i se samolepící vrstvou. Těsnící páska je ideální pro utěsnění skla, glazury, smaltu a plastových přírub a nádob, poklopů a dveří. Široká chemická odolnost těsnících pásky upřednostňuje uplatnění v aparátech chemického, petrochemického, plynárenského a potravinářského průmyslu.

8. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo získat informace o zpracování a aplikacích vysoce tepelně odolných plastů.

Práce byla rozdělena do několika částí. První část se zaměřuje na vlastnosti plastů v závislosti na teplotě, nejčastější využití plastů v průmyslu a také na další vlastnosti charakteristické pro tyto materiály. V druhé části práce je věnován prostor hlavním zástupcům speciálních plastů. Jsou zde uvedeny informace o přednostech i slabinách materiálů, možnostech použití, technických parametrech a u každého ze zástupců je znázorněn obrázek s příkladem použití materiálu.

Jako nejpoužívanější a obecně nejvíce známý speciální materiál je považován PTFE. Se svojí vysokou teplotní odolností, výbornými vlastnostmi (tření, chemická odolnost, pevnost) a širokou oblastí použití, nemá mezi ostatními plasty konkurenci. K jeho slabinám patří nemožnost zpracování vstřikováním.

Třetí část práce je zaměřena na výrobu a zpracování materiálů. Jsou zde informace o tom, které materiály je možné vstřikovat, vyfukovat, vytlačovat, lisovat nebo např. zpracovávat spékáním. U každého plastu byly zjištěny teploty, při kterých ke zpracování dochází, teploty formy a také zda je materiál nutné před zpracováním sušit.

Poslední část se zabývá konkrétními aplikacemi tepelně odolných plastů v oblastech, kde ostatní materiály, ať už z plastu či jiného materiálu, nejsou schopny konkurovat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Literatura

- [1] KREBS, Josef . *Teorie zpracování nekovových materiálů : část 1. Zpracování plastů*. první. Liberec : Vysoký škola strojní a textilní v Liberci, 1991. 250 s.
- [2] LENFELD, P.: Technologie II. - za podpory projektu FRVŠ 1998/2005 "Internetová podpora výuky technologie tváření kovů a plastů"
- [17] VANĚK, Vladimír. *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Ostrava : [s.n.], 2005. 60 s.

Internetové odkazy

- [3] www.ensinger.cz
- [4] www.gjarpo.sk
- [5] www.murtfeldt.cz
- [6] www.elchemco.cz
- [7] www.tribon.cz
- [8] www.ticona.cz
- [9] www.feronathyssen.cz
- [10] www.meta-plast.dk
- [11] www.labo.sk
- [12] www.carl-roth.de
- [13] www.ktkgmbh.de
- [14] www.techplasty.sk
- [15] www.sd-pro2ls.de
- [16] www.arthur-krueger.de

- [18] www.rempo.net
- [19] www.usinenouvelle.com
- [20] www.csm-kompozity.wz.cz
- [21] www.ticona.cz
- [22] www.fyzika.ft.utb.cz
- [23] www.arkema-inc.com
- [24] www.tangram.co.uk
- [25] www.p84.com
- [26] www.ldes.com
- [27] www.solvayadvancedpolymers.com
- [28] www.ticona.cz
- [29] www.GEplastics.com
- [30] www.pbi-am.com
- [31] www.mmspektrum.com
- [32] www.performanceplastics.com
- [33] www.alibaba.com
- [34] www.temac.cz

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Průběh deformačních vlastností u amorfního plastu.....</i>	<i>9</i>
<i>Obr. 2 Průběh deformačních vlastností u semikrystalického plastu.....</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 3 Spotřeba plastů ve světě.....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 4 Spotřeba plastů dle aplikací.....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 5 Rozdělení plastů dle teplotní odolnosti.....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 6 Příklady aplikací PTFE.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 7 Příklady aplikací PTFE.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 8 Příklady aplikací PVDF.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 9 Srovnání teplotního použití fluoroplastů.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 10 Příklady aplikací PEEK.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 11 Příklad aplikace PEEK.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 12 Kaptonové lepicí pásy.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 13 Příklady aplikací PI.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 14 Příklady aplikací PAI.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 15 Rozbočka z PSS.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 16 Oběhové čerpadlo auta z PSS.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 17 Příklady aplikací PSU.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 18 Příklady aplikací PSU.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 19 Příklad aplikace PES.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 20 Různé membrány z PES.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 21 Příklady aplikací PEI.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 22 Příklad aplikace PBI.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 23 Ochranný oděv pro hasiče z PBI.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 24 Konektor telefonu vyrobený z LCP.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 25 Teploty použití pro vybrané speciální plasty.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 26 Srovnání modulu pružnosti u speciálních plastů.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 27 Schéma zpracování PBI lisováním.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 28 Schéma zpracování PBI vstřikováním a vytlačováním.....</i>	<i>36</i>

<i>Obr. 29 Pokládání vrstev strojem.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 30 Forma kov - kov.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 31 Forma silikon - kov.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 32 Lis s pecí pro výrobu dílů.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 33 Náběžná hrana z materiálu C/PSS.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 34 Díly z materiálu C/PPS a G/PPS.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 35 Klece valivých ložisek z polyaryleterketonu (PAEK).....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 36 Ozubené kolo z PEEK.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 37 Aplikace PEEK v NASCAR.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 38 Různé druhy těsnění z PTFE.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 39 Různé druhy plastových těsnění.....</i>	<i>47</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Srovnání technických parametrů fluoroplastů.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabulka 2 Srovnání technických parametrů některých speciálních plastů.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 3 Způsoby zpracování tepelně odolných plastů.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 4 Teploty taveniny a formy při vstřikování plastů.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 5 Materiály používané na ložiska a jejich provozní parametry.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 6 Materiály ložisek na bázi kov-polymer a provozní parametry.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 7 Termoplastové ložiskové materiály pro náročné aplikace.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 8 Vlastnosti speciálních plastů pro výrobu ozubených kol.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 9 Vlastnosti tepelně odolných termoplastů pro těsnění.....</i>	<i>46</i>

PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo)

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL. V tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum : 28.5.2010

Podpis:

DECLARATION

I have been notified of the fact that Copyright Art No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact: in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date : 28.5.2010

Signature :