



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

OBRÁBĚNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

MACHINING OF POLYMERIC MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ivo Ondráček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav materiálových věd a inženýrství
Student: **Ivo Ondráček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Obrábění polymerních materiálů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student popíše požadavky kladené na skupinu polymerních materiálů určených k obrábění a při návštěvách ve firmě Belt-Plast Brno se seznámí s rozdíly v technologii obrábění polymerních a kovových materiálů.

Cíle bakalářské práce:

Student ve své práci:

- stručně popíše technologie obrábění
- charakterizuje polymerní materiály
- blíže rozebere vlastnosti, které musí splňovat polymerní materiály zpracovávané obráběním
- uvede příklady z praxe

Seznam literatury:

Raab, M.: Materiály a člověk. Encyklopedický dům. Praha 1999. ISBN 80-86044-13-0.

Lapčík, L., Raab, M.: Nauka o materiálech II. Vysokoškolská skripta. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Zlín 2001. ISBN 80-238-6527-2.

Krebsová, M.: Nauka o polymerech, skriptum VŠST, Liberec 1978.

Meissner, B., Zilvar, V.: Fyzika polymerů, SNTL Praha, 1987.

Forejt, M., Píška, M.: Teorie obrábění, tváření a nástroje. Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Hluchý, M., Kolouch, J.: Strojírenská technologie 1: nauka o materiálu. 3. přepracované vydání. Praha 6: Scientia, 2002. ISBN 80-7183-262-6

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá obráběním polymerních materiálů a hlavními rozdíly mezi obráběním kovů a polymerů či plastů. Úvod práce popisuje hlavní mezníky v historii vzniku a používání plastů. Dále se práce zaměřuje na základní rozdělení, bližší definice pojmů a vnitřní strukturu polymerů. Jsou také rozebrány nejpoužívanější technologie obrábění i požadavky kladené na nástroje a materiály. Na závěr práce jsou blíže specifikovány vlastnosti a vybrané druhy plastů určené k obrábění. Praktické informace byly získány během návštěvy v brněnské firmě Belt Plast, s.r.o.

Klíčová slova: polymery, technologie obrábění, termoplasty, vlastnosti plastů, řezné nástroje, vnitřní struktura, polyreakce

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the machining of polymeric materials and the major differences between the machining of metals and polymers or plastics. Introduction describes the basic elements in the history of the discovery and use of plastics. The thesis focuses on the basic division, further definitions and internal structure of the polymers. There are also discussed the most widely used machining technology and requirements for tools and materials. At the end of the work we are specified properties and selected types of plastic materials intended for processing. Practical informations were obtained during the visit to Brno company Belt Plast, Ltd.

Keywords: polymers, machining technology, thermoplastic, properties of plastics, cutting tools, internal structure, polyreaction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ONDRÁČEK, I. *Obrábění polymerních materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 34 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Obrábění polymerních materiálů vypracoval samostatně s použitím odborné literatury pramenů, uvedených v seznamu a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce.

V Brně dne

.....

Ivo Ondráček

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Evě Mollikové, Ph.D., Paed IGIP, za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce a dále panu Ing. Petru Novotnému za poskytnutou spolupráci, literaturu a znalosti.

OBSAH

CÍL PRÁCE	9
1 HISTORIE	10
2 ZÁKLADNÍ POJMY	11
2.1 POLYMERY.....	11
2.2 PLASTY	11
3 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	12
3.1 ROZDĚLENÍ PODLE VNITŘNÍ STRUKTURY.....	12
3.1.1 Amorfnní plasty.....	12
3.1.2 Semikrystalické plasty.....	12
3.2 ROZDĚLENÍ PODLE TEPLOTNÍHO CHOVÁNÍ	12
3.2.1 Elastomery.....	12
3.2.2 Termoplasty.....	13
3.2.3 Rektoplasty.....	13
3.3 ROZDĚLENÍ PODLE APLIKACE.....	14
3.4 ROZDĚLENÍ PODLE POLARITY	14
3.5 ROZDĚLENÍ PODLE DRUHU PŘÍRAD	14
4 VÝROBA A STRUKTURA POLYMERŮ	16
4.1 POLYREAKCE	16
4.1.1 Polymerace	16
4.1.2 Polykondenzace.....	16
4.1.3 Polyadice	16
4.2 SLOŽENÍ ŘETĚZCE	16
4.2.1 Struktura řetězce.....	17
4.2.2 Konfigurace	17
4.2.3 Konformace	17
5 VLASTNOSTI	18
5.1 DŮLEŽITÉ VLASTNOSTI PLASTŮ Z HLEDISKA OBRÁBĚNÍ	18
5.2 PŘÍRADY A PLNIVA	18
5.2.1 Příklady hlavních přísad.....	19
6 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ	20
6.1 OBRÁBĚNÍ.....	20
6.1.1 Soustružení.....	20

6.1.2	Frézování	20
6.1.3	Vrtání	21
6.1.4	Vystružování	21
6.1.5	Broušení	21
6.2	ŘEZNÉ NÁSTROJE	21
6.2.1	Nástroje na obrábění termoplastů	21
6.2.2	Nástroje na obrábění rektoplastů	22
6.3	CHLAZENÍ	22
6.4	TOLERANCE	23
7	VYBRANÉ DRUHY PLASTŮ PRO OBRÁBĚNÍ.....	24
7.1	POLYOLEFINY	24
7.1.1	Polyethylen (PE)	24
7.1.2	Polypropylen (PP)	24
7.2	VINYLOVÉ PLASTY	25
7.2.1	Polyvinylchlorid (PVC).....	25
7.3	ACELÁTOVÉ PLASTY	25
7.3.1	Polyoxymethylen (POM)	25
7.4	POLYESTERY	25
7.4.1	Polyethylentereftalát (PET).....	26
7.5	POLYKARBONÁTY	26
7.5.1	Polykarbonát (PC).....	26
7.6	POLYAMIDY (PA)	27
8	PŘÍKLADY VÝROBKŮ FIRMY BELT PLAST.....	28
8.1	BELTA S.....	28
8.2	BELTA S 1000.....	28
8.3	BELTA N.....	29
8.4	BELTA F/P/K	29
8.5	BELTA D.....	30
	ZÁVĚR.....	31
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	32
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	33
	SEZNAM OBRÁZKŮ	34

CÍL PRÁCE

Cílem této práce je blíže se obeznámit s podstatou a základy struktury polymerů, jejich nejdůležitějšími vlastnostmi a aplikacemi, které určují výběr vhodného polymerního materiálu. Polymery mají širokou škálu chemického složení, různou vnitřní stavbu a odlišné vlastnosti, a proto je kladen důraz i na porozumění polymerům na jejich molekulární úrovni a na rozřazení polymerů do základních skupin. Dále jsou rozebírány technologie obrábění, jež jsou vhodné ke zpracování polymerních materiálů a jsou zdůrazněny jejich rozdíly vůči obrábění kovů. V závěru práce je uvedeno několik typů plastů určených k třískovému obrábění.

1 HISTORIE [7, 8, 9]

S přírodními polymery, kde jako příklad můžeme uvést kůži, dřevo nebo rostlinná vlákna, se lidstvo setkává již od pradávna. Například kaučuk je v Evropě znám již od roku 1496, kdy ho Kryštof Kolumbus objevil během jedné ze svých cest. Trvalo však dalších bezmála tři sta let, než našel uplatnění. Umělé polymery byly poprvé syntetizovány až v polovině 19. století. V té době objevil Alexandr Parkes nitrát celulózy, který byl veřejnosti poprvé představen v Londýně roku 1862. Následně s novým typem syntetického plastu přišel John W. Hyatt. Tento plast byl pojmenován celuloid a vznikl smíšením předchozího nitrátu s kafrem. Nový typ plastu se hojně používá dodnes na výrobu knoflíků, hřebců, ale i rukojetí k různým nástrojům. Ve fóliové formě se stal tento plast základem celého filmového průmyslu.

Další polymerní materiály vznikaly modifikací přírodních látek, kde mezi neznámější můžeme zařadit viskózní vlákno. Jde o přírodní polymer, který se vyrábí s celulózy a známe ho jako celofán. První plně syntetický plast byl vynalezen roku 1909 Leem Baekelandem a byl následně pojmenován jako bakelit. Jde o plast vyráběný z formaldehydu a fenolu, mezi jeho přednosti patří pevnost, tepelná odolnost, nízká váha a vyznačuje se dobrými izolačními vlastnostmi. K velkému využití plastů a jejich rozvoji došlo během 2. světové války a začátkem 50. let.

V dnešní době již polymerní materiály často střídají tradiční materiály, jako jsou dřevo, sklo, kůže, kovy, papír nebo přírodní pryž, protože použití plastů je oproti klasickým materiálům ekonomicky výhodnější a to zejména kvůli jejich některým lepším vlastnostem jako jsou např. isolační schopnost, pevnost, lehkost, trvanlivost, či snadnější zpracování. Další výhodou je fakt, že využití plastů je jednodušší i z konstrukčního a technického hlediska, ovšem nesmíme zapomenout, že oproti kovům mají plasty výraznou závislost skoro všech mechanických vlastností na teplotě a rychlosti zatěžování.

V minulosti nebyly polymery zastoupeny v průmyslových odvětvích, jako je strojírenství, pouze byly chápány jako součásti chemických procesů, avšak v posledních desetiletích zaujímají tyto materiály, jejich zpracování a technologie obrábění obrovský rozmach. Používají se téměř v každém průmyslovém odvětví, a proto bychom se v dnešní době bez nich jen těžko mohli obejít. Když si představíte, že by byly odstraněny ze světa všechny moderní spotřební i konstrukční díly vyrobené právě z polymerních materiálů, nebyly by žádné pneumatiky, interiéry automobilů, nejezdily by autobusy ani vlaky. Nefungovaly by telefony, zmizela by všechna elektronika (televize, počítače, CD), většina kuchyňského vybavení a textilu, atd..



Obr. 1 Získávání surového kaučuku z Kaučukovníku brazilského [9]

2 ZÁKLADNÍ POJMY

2.1 Polymery [3, 6, 8]

Polymer je chemicky čistá makromolekulární syntetická či přírodní látka neboli sloučenina, která má jasně definovaný chemický vzorec. V této makromolekulární sloučenině se opakuje základní merová jednotka jakožto článek řetězu, počet opakování (tzv. polymerační stupeň) merové jednotky určuje délku řetězce. Základním výstavbovým prvkem polymerů je atom uhlíku schopný tvořit čtyři kovalentní, do prostoru umístěné vazby. Jednotlivé atomy uhlíku, mohou být vázány jednoduchou anebo násobnou vazbou a to dvojnou, či trojnou. Násobné vazby jsou pevnější a kratší než vazba jednoduchá. Kromě atomů uhlíku obsahují polymerní řetězce hlavně atomy vodíku a v menším množství atomy kyslíku, dusíku a chloru.

V technické praxi jsou polymery většinou v tuhém stavu, ale technologie zpracování na výrobek občas vyžaduje i polymery ve stavu více či méně tekutém (viskózním). Tohoto stavu se dosahuje zvýšením teploty a občas i tlaku.

2.2 Plasty [3, 6, 7]

Plasty řadíme mezi technické materiály, které jsou z většiny tvořeny polymery. Za běžných podmínek jsou povětšinou tvrdé, mnohdy i křehké. Na rozdíl od polymerů plasty obsahují také přísady, které slouží k úpravě jejich vlastností, zvláště chemických, fyzikálních nebo chemických. Mezi tyto přísady patří zejména změkčovadla, stabilizátory, barviva, maziva, plniva a mnoho jiných. Tyto látky usnadňují zpracování nebo vylepšují vlastnosti a vzhled plastu.

Plasty se dělí na tři základní skupiny a to na termoplasty, rektoplasty a elastomery. Tyto skupiny plastů se významně liší zvláště strukturou, vlastnosti a výrobními postupy.

3 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ

Abychom byli schopni vyrobit součástku s lepšími vlastnosti a zároveň ekologicky a ekonomicky, tak při výběru polymeru zohledňujeme více aspektů, jako typy aditiv a technologii zpracování, navíc se stávající polymery stále upravují a dokonce se vyvíjejí nové. Proto je stále složitější zvolit si ke svému účelu vhodný polymer. Pro přehlednost či zjednodušení se polymery rozdělují podle různých hledisek a kritérií.

3.1 Rozdělení podle vnitřní struktury

3.1.1 Amorfní plasty [7, 9]

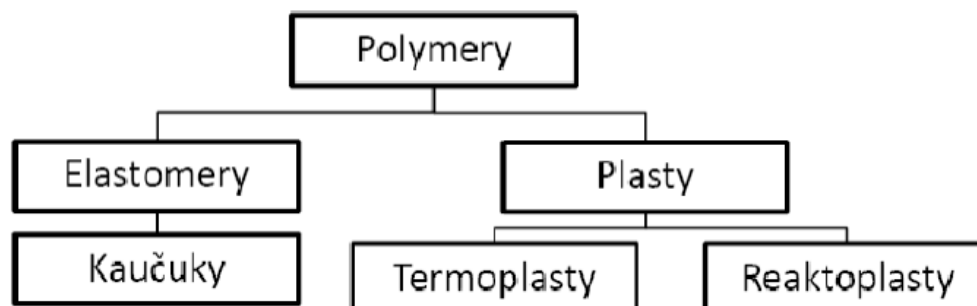
Amorfní plasty mají nepravidelně, prostorově uspořádané řetězce. Používají se až do teploty zesklnění neboli teploty skelného přechodu T_g . Tato teplota způsobuje přechod polymeru z kaučukovitého stavu do sklovitého a naopak. Amorfní plasty jsou tvrdé, křehké s vysokou pevností a mají vysoký modul pružnosti. Kvůli nízkému indexu lomu a propustnosti světla jsou transparentní. Součinitel teplotní roztažnosti α je menší, než u semikrystalických polymerů. Řadí se sem např. PC, PS a PMMA.

3.1.2 Semikrystalické plasty [7, 9]

Větší část řetězců semikrystalických plastů tvoří krystalické tvary a jsou pravidelně a natěsno uspořádány, menší zbytek má tak uspořádání amorfní. Semikrystalické plasty se používají až do teploty tání T_m , protože při této teplotě dochází k vytvoření či zrušení krystalického stavu. Semikrystalické plasty jsou mléčně zakalené, houževnaté a pevné. Mají větší index lomu a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. Krystalinita určuje míru uspořádanosti řetězců ve struktuře a lze ji během výroby ovlivňovat. K tomuto typu plastů se řadí např. PE, PP, PTFE, POM a PA.

3.2 Rozdělení podle teplotního chování

Jako další rozdělení se používá dělení na základě teplotního chování, kde se polymery dělí na elastomery a plasty (termoplasty a reaktoplasty) (obr. 2 [3]).



Obr. 2 Rozdělení polymerů dle chování za tepla [3]

3.2.1 Elastomery [3, 7]

Elastomery jsou vysoce elastické polymery, které můžeme za běžných podmínek malou silou, deformovat bez trvalého poškození, protože se jedná převážně o vratnou deformaci. Během

první fáze zahřívání, kdy začnou elastomery měknout, je možno je tvářet, ale jen po omezenou dobu, protože během další fáze dochází k chemické reakci a následnému prostorovému zesíťování struktury (nejčastěji sírou). Tento proces se nazývá tzv. vulkanizace. Vulkanizací se z kaučuků, nejrozšířenější podmnožiny elastomerů, vyrábí pryže. Pryže jsou elastomery tvořené příčnými vazbami mezi makromolekulami, které vytváří uzly prostorové sítě. Naopak u elastomerů na bázi termoplastů (TPE) ke změnám chemické struktury nedochází, proto lze proces měknutí a následné tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Tyto elastomery, tvořeny z části termoplasty jsou velmi podobné pryžím, ale nedosahují takové elasticity.



Obr. 3 Chování elastomerů při mechanickém namáhání [9]

3.2.2 Termoplasty [1, 7, 9]

Termoplasty jsou materiály polymerního typu, které při zvýšené teplotě přecházejí do plastického stavu. Jednodušeji řečeno, jsou to plasty teplem zplastizovatelné, v tomto stavu jdou pak jednoduše zpracovávat (lisovat, vyfukovat, ohýbat a táhnout).

Když se semikrystalické termoplasty ochladí pod teplotu tání T_m , tak následně přechází do tuhého stavu. Rozdílné jsou amorfní termoplasty, které přejdou do tuhého stavu ochlazením pod teplotu viskózního toku

T_f . Jedná se o teplotu, při které polymer přechází z prakticky tuhého stavu (krystalického, sklovitého nebo kaučukovitého) do stavu kapalného (plastického) a naopak. Jelikož při ohřevu a následném chladnutí nedochází ke změnám chemické struktury, ani ke změně vlastností, klesají pouze hodnoty charakteristik a protože se jedná pouze o fyzikální nevratný proces, je možné tento proces měknutí a následného tuhnutí několikrát opakovat.

Mezi základní, hojně používané, termoplasty můžeme zařadit polyamid, polyetylen, polyvinylchlorid, polypropylen a polystyren.



Obr. 4 Příklady aplikací termoplastů [9]

3.2.3 Rektoplasty [1]

Jsou to plasty teplem anebo chemicky tvrditelné. Mezi rektoplasty řadíme plasty, jež se dostanou do nerozpustného a netavitelného stavu za působení záření, tepla nebo katalyzátoru. Během tohoto děje se vytvářejí příčné kovalentní vazby mezi makromolekulami polymeru za současného vzniku prostorové sítě. V technické praxi se používá pro síťování rektoplastů pojem vytvrzování. Po vytvrzení není možno tento typ plastů roztavit, během dalšího ohřevu může dojít pouze k tepelnému rozkladu hmoty, tzv. termické degradaci.



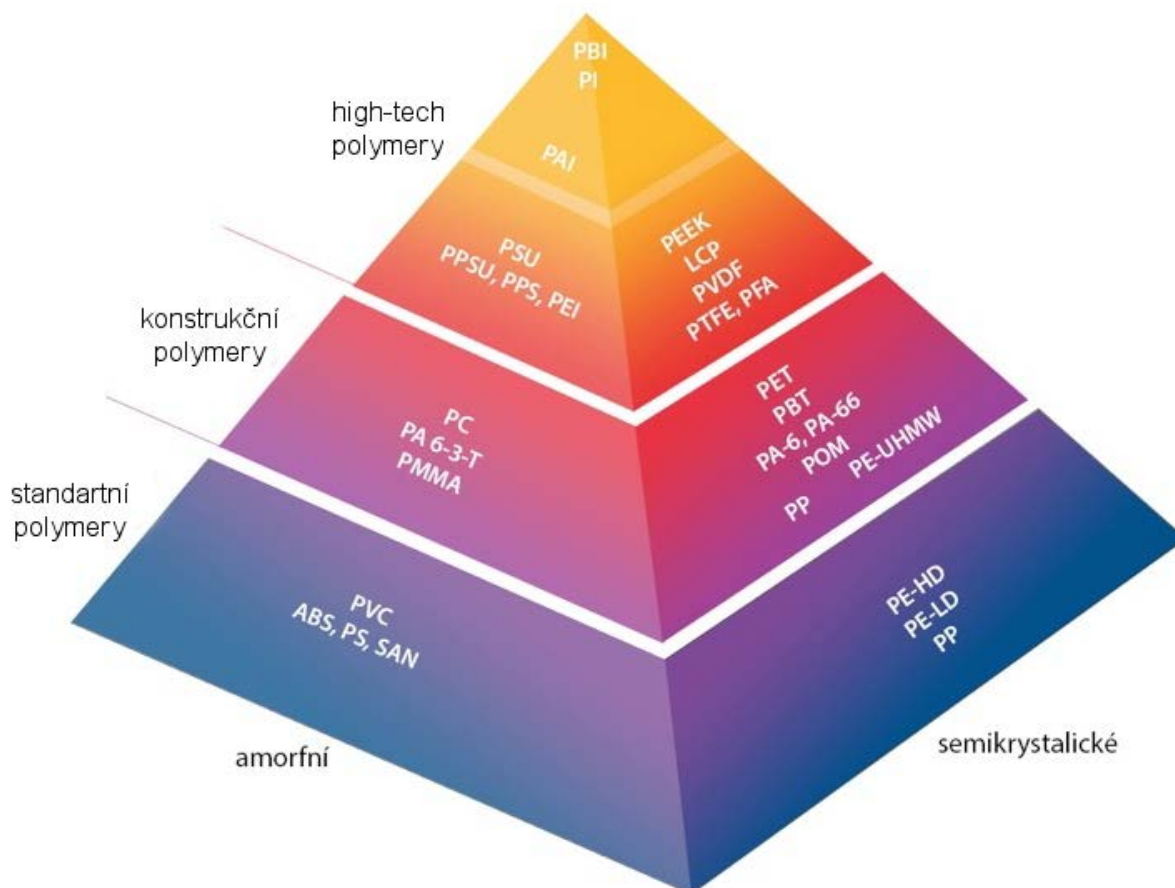
Obr. 5 Příklady aplikací rektoplastů [9]

3.3 Rozdělení podle aplikace [7]

Polymery se rozdělují podle aplikace do třech skupin (obr. 6 [9]). Na plasty pro široké využití, tzv. **standartní (komoditní) polymery**, mezi které můžeme například zařadit polyolefiny (PE, PP), polyvinylchlorid (PVC), polystyrénové (PS) a fenolformaldehydové (PF) hmoty.

Druhou skupinou jsou plasty pro inženýrské využití, tzv. **konstrukční polymery**, kam se například řadí polyamidy (PA), polykarbonáty (PC), polyoximethylen (POM), polymethylmetakrylát (PMMA), polyuretan (PU) a mnoho dalších.

Poslední skupinou jsou plasty pro špičkové aplikace, tzv. **high-tech polymery**, do kterých řadíme polytetrafluoretylén (PTFE), polyimidy (PI), polyfenylénsulfid (PPS), a další.



Obr. 6 Rozdělení podle aplikace a vnitřní struktury [9]

3.4 Rozdělení podle polaritý [7]

Polymery se rozdělují podle chování v elektrickém poli, neboli polaritý na polární a nepolární makromolekuly. **Polární** makromolekula obsahuje nesymetrické rozložení nábojů plus a mínus a proto tvoří trvalý elektrický dipól. Mezi polární plasty se řadí PVC, PA, některé pryskyřice, apod.

Nepolární makromolekuly nemají trvalý dipól, protože mají náboje rozloženy symetricky. Mezi nepolární materiály patří PE, PP, PS, apod.

3.5 Rozdělení podle druhu přísad [7]

Podle druhu přísad se plasty dělí se na dvě základní skupiny, na plasty plněné a neplněné. **Plněný plast** obsahuje plniva, která ovlivňují fyzikální a mechanické vlastnosti plastu. Základní

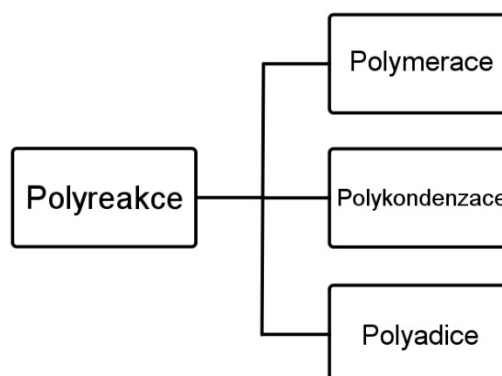
funkci pojiva a zároveň fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu určuje makromolekulární látka. (5.2 Přísady a plniva)

U **neplněného plastu** je množství přísad takové, že nijak neovlivňuje vlastnosti polymerní matrice. Vlastnosti neplněných plastů jsou především odrazem jejich chemické, molekulární a nadmolekulární struktury.

4 VÝROBA A STRUKTURA POLYMERŮ

4.1 Polyreakce [7, 9]

Polymery se vyrábí polyreakcemi. V podstatě se jedná o chemické reakce, které se mnohokrát opakují. Reakce probíhá tak, že z původní nízkomolekulární organické sloučeniny (monomeru) vznikne přechodová forma nazývaná mer a nakonec vysokomolekulární látka zvaná polymer. V polymeru je n -merů, kde n značí stupeň polymerace a určuje délku polymerního řetězce, ze stupně polymerace n se vyvozují některé vlastnosti výsledného materiálu. Polyreakce se dělí na polymeraci, polykondenzaci a polyadici (viz obr. 7).



Obr. 7 Základní typy reakcí na výrobu polymerů

4.1.1 Polymerace [9]

Polymerace je reakce, při níž za vysoké teploty, tlaku a za současného působení katalyzátorů dojde ke štěpení násobných vazeb v monomeru (nejčastěji dvojice $C=C$) a vzniku meru. Následně se konce rozštěpených vazeb jednotlivých merů vzájemně naváží a vznikne polymerní řetězec. Vznikají tak chlorové plasty, polyolefiny nebo styrenové plasty.

4.1.2 Polykondenzace [9]

Polykondenzace je reakce dvou různých organických látek, z kterých vznikne požadovaný polymer a jako vedlejší produkt nízkomolekulární kondenzát (např. molekula H_2O). Touto metodou vznikají polyamidy, polyestery a fenoplasty.

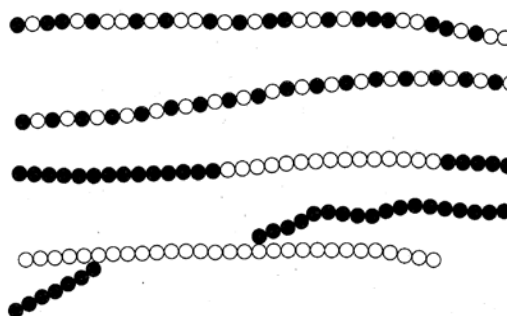
4.1.3 Polyadice [9]

Polyadice je reakce podobná polykondenzaci, reagují zde dva různé monomery, ovšem bez vzniku vedlejšího produktu (nízkomolekulárního kondenzátu). Všechny prvky reakce jsou absorbovány a přesouvá se atom vodíku. Tímto způsobem vznikají polyuretany.

4.2 Složení řetězce [17]

Řetězec homopolymeru tvoří pouze mery jednoho typu, kopolymer je složen ze dvou typů, terpolymer ze tří, atd. U polymerů se popisuje i střídání jednotlivých merů, které se dělí na čtyři základní skupiny (obr. 8 [17]).

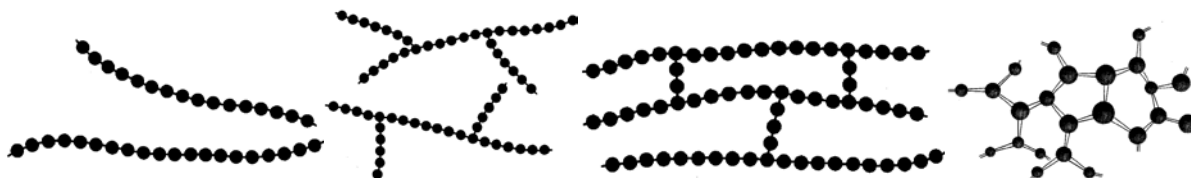
- statistický – náhodné střídání merů
- alternující – pravidelné střídání merů
- blokový – střídají se celé bloky merů
- roubovaný – na hlavní větev tvořenou jedním typem merů jsou navázány boční větve tvořené dalším typem merů



Obr. 8 Znárodnění složení řetězce Shora: statistický, alternující, blokový, roubovaný [17]

4.2.1 Struktura řetězce [7]

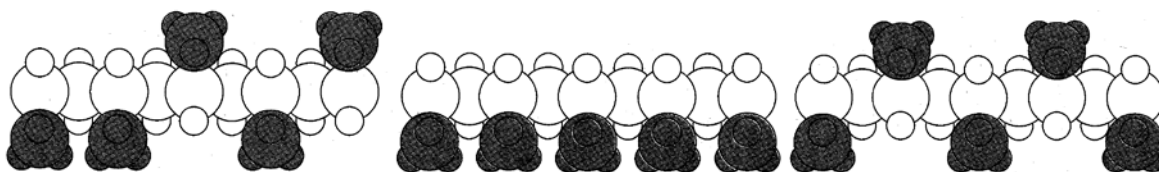
Výsledné mechanické vlastnosti polymeru jsou značnou měrou závislé na struktuře řetězce, obzvláště pak vzhledem ke směru řetězců a působících sil. V zásadě dělíme řetězce do čtyř základních skupin (obr. 9 [17]): na **lineární** strukturu, kde je pouze jeden hlavní řetězec, další skupinou je **rozvětvená** struktura, kde jsou na hlavní řetězec napojeny řetězce boční, **zesítěnou** strukturu tvoří řetězce, které jsou mezi sebou vzájemně plošně propojeny, poslední strukturou je **3D síť**, kde jak název napovídá, tvoří řetězce prostorovou síť.



Obr. 9 Znárodnění struktury řetězce
Zleva: lineární, rozvětvená, zesítěná, 3D síť [17]

4.2.2 Konfigurace [17]

Konfigurace řetězce popisuje uložení bočních skupin atomů kolem základního řetězce, dá se měnit pouze chemickým zásahem. Pravidelně uspořádané řetězce je možné poskládat blíže k sobě, čímž se výrazně zlepši pevnost materiálu. Existují tři základní typy konfigurace řetězce (obr. 10 [17]).



Obr. 10 Konfigurace řetězce
Zleva: ataktický, izotaktický, syndiotaktický [17]

- ataktický – boční skupiny uloženy náhodně
- izotaktický – boční skupiny uloženy jen podél jedné strany
- syndiotaktický – boční skupiny jsou pravidelně střídány po obou stranách

4.2.3 Konformace [17]

Konformace popisuje natočení jednoduchých vazeb, kterého jsou schopny jen řetězce s malou boční skupinou. Tyto řetězce mohou při dostatečné teplotě k překonání odporu energetických bariér konformaci změnit, řetězec tak reaguje na vnější zatížení natočením a ohnutím.

5 VLASTNOSTI [1, 9, 16, 17]

Plasty se odlišují od kovů, silikátů a keramik kromě jiného i hustotou, pevnostními charakteristikami, poměrem příčné a podélné deformace (tzv. Poissonovým poměrem (konstantou γ)), či modulem pružnosti, který je řádově nižší než v případě kovů a keramik. Polymerní materiály mají viskoelastické vlastnosti, tzn., že se za působení mechanického namáhání chovají současně jako viskózní newtonovská kapalina a pružná hookovská látka.

Polymery jsou charakterizovány velmi nízkými hodnotami součinitele tření v širokém rozsahu eventuálních provozních podmínek. Vzhledem k chemickému složení, vysoké lomové houževnatosti a částečné elasticitě polymerů je tření minimální. V závislosti na spotřebované práci a relativním pohybu jsou polymery v řadě aplikací velmi odolné vůči opotřebení a otěru.

Dalšími důležitými vlastnostmi jsou vlastnosti tepelné a elektrické. Díky chemické a polymerní struktuře nevedou elektrický proud a teplo, proto je možné polymery využít jako izolanty s velkou odolností vůči elektrickému průrazu.

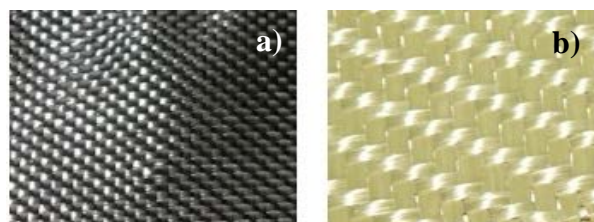
5.1 Důležité vlastnosti plastů z hlediska obrábění [1, 9, 16, 17]

- tvorba třísky (záleží na struktuře daného materiálu)
 - u vyztužených plastů se třísky vytváří štěpením nebo křehkým lomem, podobným způsobem jako u litiny
 - u nevyztužených plastů vznikají třísky prostřednictvím plastických deformací, obdobně jako u ocelí
- vyšší teploty – při působení vyšších teplot rektoplasty uhelnatí a termoplasty měknou
- vyšší tepelná roztažnost – způsobuje během obrábění součásti změnu jejího rozměru
- abrazivní otěr – při obrábění vyztužených plastů, dochází během tohoto otěru k opotřebení břitu nástroje
- velká adheze (přilnavost) – za optimálních řezných podmínek dochází k opotřebení břitu nástroje obzvláště adhezním otěrem, kvůli přilnavosti plastů k materiálu břitu nástroje
- malá tepelná vodivost – vytváří velké množství tepla, tím se zatěžuje břit nástroje a dochází k jeho následnému intenzivnímu opotřebení
- zajištění vysoké řezivosti – všechny nástroje musí být dokonale ostré, aby se předešlo špatné řezivosti

Všechny vlastnosti je možné modifikovat pomocí přísad a plniv, aby materiál splňoval požadované podmínky.

5.2 Přísady a plniva [9]

V čistém stavu se polymery využívají už jen zřídka, většinou obsahují různé typy přísad nebo plniva, kterými lze materiály upravit pro dané použití. Základní vlastnosti materiálu vždy určuje typ polymeru, přidávané přísady zlepšují vlastnosti polymerů, ovlivňují jejich zpracovatelnost anebo omezují některé ne-



Obr. 11 Vlákenná výztuž

a) uhlíková vlákna; b) aramidová vlákna [9]

žádoucí vlastnosti polymerních materiálů, kterými jsou např.

- hořlavost
- nízká tvrdost
- u některých slabá odolnost vůči některým chemikáliím
- nízká houževnatost
- nízká odolnost vůči vysokým teplotám

5.2.1 Příklady hlavních přísad [9]

- tepelné stabilizátory – hlavním úkolem je zpomalení degradačních procesů způsobených působením zvýšené teploty
- světelné stabilizátory – zpomalují degradační procesy v důsledku slunečního záření
- barviva – přidávají plastům požadovaný barevný odstín
- opticky zjasňující látky – látky pohlcující část UV záření
- maziva – usnadňují zpracování a zlepšují vlastnosti výrobku (vzhled, tepelnou a světelnou stabilitu, odolnost vůči povětrnosti)
- změkčovadla – zlepšují ohebnost a houževnatost tuhého materiálu a tekutost taveniny
- nadouvadla – přísady k přípravě lehčených hmot
- retardéry hoření – přísady zpomalující až zastavující proces hoření

Plniva jsou látky, které se využívají v podobě prášku, různé zrnitosti nebo jako vlákna různé délky. Plniva se přidávají za účelem zlepšení mechanických vlastností polymerů. Používají se plniva vyztužující a nevyztužující. Nejběžněji se používá vláknité plnivo ze skleněných a uhlíkových vláken.

6 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ [5]

U většiny produktů, které se vyrábějí standardními zpracovatelskými technologiemi (např. vstřikování, lisování), je potřeba navíc další opracování. Běžně se u plastů odstraňuje přetok, který vzniká v části, kde se rozděluje forma, nebo také kolem vtokových kanálů. Jedině tak dosáhne výrobek přesných rozměrů a požadovaného vzhledu. Všechna tato dodatečná opracování se provádějí mechanickým obráběním. Pomocí těchto operací můžeme nejen materiál upravovat, ale i dělit.

6.1 Obrábění [5, 8, 10]

Mechanické obráběním je postup, během kterého se obrobek přetváří do požadovaného tvaru o přesných, předem stanovených rozměrech a dané jakosti obrobených ploch. Materiál se odebírá ve formě třísky břitem nástroje. Jsou různé způsoby úběru materiálu, závisí na použitém nástroji, metodě obrábění, ale také na orientaci pohybů nástroje vůči obrobku.

K hlavním technologiím mechanického obrábění patří soustružení, frézování, vrtání a broušení. Nástroje i stroje používané na obrábění plastů jsou stejné jako ty, které se používají na obrábění kovů, či dřeva. Jednoduše řečeno, technické plasty lze obrábět na obyčejných kovoobráběcích nebo dřevoobráběcích strojích.

Plasty lze ve srovnání s kovy snáze a s vynaložením menšího množství energie třískově obrábět. Proto můžeme volit rychlejší posuvy a větší úběr materiálu než při kovoobrábění. Během obrábění plastů vznikají velmi dlouhé řetězce třísek, které je nutno vhodným způsobem při práci odstraňovat, aby se nezamotaly do upínací hlavy, nástroje nebo obrobku. Dále rozhoduje volba vhodných nástrojů a správných řezných podmínek (ostrost řezných hran, rychlost řezu a rychlost posuvu). Díky vhodně nastaveným podmínkám se zabrání deformacím, vzniku napětí v obrobku, změnám barvy a natavení povrchu.

6.1.1 Soustružení [4]

Jedná se o metodu obrábění, kde hlavní rotační pohyb koná obrobek upnutý ve sklíčidle, nebo mezi hroty a vedlejší přímočarý pohyb zajišťuje nástroj (soustružnický nůž) upnutý v nožové hlavě. Stroje určené k obrábění se nazývají soustruhy a vyrábí se v mnoha konstrukčních provedeních. Kvalitu obráběného povrchu ovlivňují prvky jako geometrie řezu, řezná rychlost, nebo posuv.

Nástroje používané k obrábění plastů mají stejnou konstrukci jako nástroje pro obrábění kovů. Břity k nástrojům se převážně vyrábí z rychlořezných ocelí, ale i z diamantu nebo slinutých karbidů.

6.1.2 Frézování [4]

Frézování představuje obrábění, během kterého se obrábí zejména rovinné plochy. Hlavní pohyb vykonává nástroj zvaný fréza, zatímco vedlejší pohyby provádí obrobek. Fréza má více břitů a má ostří po obvodu anebo na čele. Během obvodového frézování se používá frézování sousledné, nebo nesousledné. Sousledné frézování se charakterizuje tím, že směr posuvu souhlasí se směrem řezné rychlosti, naopak u nesousledného frézování jsou směry orientovány proti sobě. Stroj používaný při tomto typu obrábění se nazývá frézka. K obrábění plastů se používají běžně válcové, čelní nebo profilové frézy na obrábění lehkých kovů. Výhodnější jsou však frézy okružní, protože umožňují lepší odstraňování třísek.

6.1.3 Vrtání [4, 8]

Hlavní i vedlejší pohyb u vrtání vykonává nástroj upevněný v hlavě stroje. Nástrojem je šroubovitý vrták, který má dva břity a souměrná ostří. Při vrtání oba břity vnikají do materiálu a odebírají třísku, jejíž tloušťka závisí na velikosti stoupání ostří vrtáku. Pro obrábění plastů nejvíce vyhovují vysokorychlostní šroubovité vrtáky. Během vrtání se musí chladit kapalinou, nebo vrták z díry občas vysouvat, aby se předešlo měknutí, nebo dokonce pálení materiálu. K zabránění či omezení tření a další tvorby tepla se doporučuje používat vrtáky se ztenčeným dřikem, nebo vrtat otvor postupným zvětšováním průměru vrtáku až na požadovaný průměr otvoru.

6.1.4 Vystružování [8]

Nástrojem je výstružník se šroubovitými nebo přímými drážkami. Výstružníky musí být dokonale ostré z důvodu velké pružnosti plastů a následně špatnému odstraňování třísek.

6.1.5 Broušení [4]

Broušení je obrábění pomocí mnohábřitého nástroje tvořeného brusnými zrnny, které jsou spojeny vhodným tmelem. Brusný nástroj koná hlavní rotační pohyb a vedlejší pohyb vykonává obrobek. Broušením se obrábí válcové, rovinné i profilové plochy. Používá se na ostření nástrojů, odstranění přetoků, nebo k broušení polotovarů ke zlepšení jakosti a drsnosti povrchu.

6.2 Řezné nástroje [1, 8, 10]

Při obrábění polymerů jsou působící síly řádově nižší než při obrábění kovů, protože ve srovnání je polymer měkčí materiál, avšak je zase pružnější, což zásadně zhoršuje přesnost obrábění. Abychom předešli nepřesnostem, používáme výhradně nástroje s ostrými břity. To nám také zajistí vznik menšího množství tepla a ulehčí proces řezání, či obrábění. Povolené opotřebení břitu je výrazně menší než u nástrojů na obrábění kovových materiálů a kvůli tomu se na výrobu nástrojů používá speciální rychlořezná ocel, která zajistí požadované minimální opotřebení břitu. Pro větší zakázky, nebo pro materiály vyztužené skleněnými vlákny či uhlíkem je však vhodné zvolit keramické, diamantové nebo karbidové řezné nástroje.

6.2.1 Nástroje na obrábění termoplastů [1]

Při obrábění termoplastů je důležité brát ohled na dobrý odvod tepla z místa řezu. Na to se používá chladicí kapalina, tedy kromě broušení, kde to není nutné, ale je třeba odsávat vzniklé prachové částice. Obrábění termoplastů vyžaduje u nástrojů ostré a hladké břity, aby se předešlo nalepování materiálu z obrobku na břit nástroje.

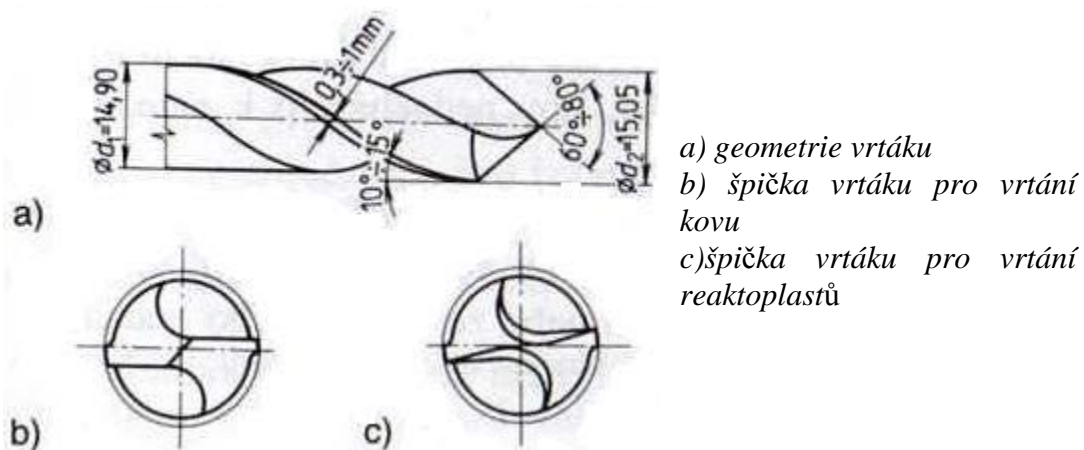
- Soustružení – nástrojem je soustružnický nůž se shodnou konstrukcí nože na obrábění kovů. Břit nástroje je vyroben z rychlořezné oceli nebo ze slinutých karbidů
- Frézování – používají se hrubozubé frézy s břitem složeným z rychlořezné oceli nebo ze slinutých karbidů a s velikou roztečí zubů.
- Vrtání – uskutečňuje se vrtáky, jež mají břit vyrobený ze slinutých karbidů či rychlořezných ocelí. Na vrtání děr o větších průměrech se využívá pilový děrovač.

- Broušení – brusky jsou shodné s bruskami na dřevo či kovy. Broušení se provádí s kotouči o velké zrnitosti.

6.2.2 Nástroje na obrábění rektoplastů [1]

Běžně se břity k nástrojům vyrábí z rychlořezných ocelí nebo ze slinutých karbidů. Nejdůležitější je používat dokonale naostřené nástroje, protože opotřeбенý břit v místě řezu materiál jen drtí a vytrhává drobné kousky plastu z povrchu obráběného materiálu, výsledkem je velmi nízká kvalita obrobeného povrchu.

- Soustružení – nástrojem je soustružnický nůž se stejnou konstrukcí, jako nůž používaný při obrábění kovů
- Frézování – pro obrábění rektoplastů se využívají stejně jako při obrábění kovů hrubozubé frézy se stejnou geometrií břitu, ale rozdíl je v použitém materiálu břitu, který je složen ze slinutých karbidů nebo z rychlořezné oceli.
- Vrtání – nejrozšířenější jsou šroubovitě vrtáky tvořené rychlořeznou ocelí nebo slinutými karbidy. Na vrtání rektoplastů se používá vrták s upravenou špičkou a břittem (obr. 12 [1]).



Obr. 12 Porovnání vrtáků [1]

- Broušení – používají se brusné kotouče s velkou zrnitostí. Během broušení je nutno hodně používat chlazení, které rovnou zajistí opláchnutí broušené součásti a zabrání tak vzniku prachu a následnému šíření.

6.3 Chlazení [1, 2, 8]

I když díky ostrému břitu nástroje snížíme množství tepla, které vzniká během tření nástroje a obrobku, stále je potřeba při procesu obrobek chladit vhodnou chladicí kapalinou (např. emulzí, vodou nebo olejem). Během delšího kontaktu některých typů polymerních materiálů s těmito kapalinami mohou plasty bobtnat, nebo mohou uvnitř materiálu vznikat praskliny a proto se běžně používá odvod tepla pomocí třisek. Kvůli tomu se však musí třiska zachovat co nejdéle. Dalšími možnostmi je chlazení tlakovým vzduchem nebo pomocí olejové mlhy. Tyto typy chlazení jsou nutné při obrábění amorfních materiálů.

Chlazení pomocí plyných prostředků není až tak rozšířené kvůli obtížnému využití, i když vhodně zvolený plyn dokáže odvádět teplo i snižovat svými chemickými vlastnostmi tření. Mezi nejrozšířenější způsoby řadíme chlazení tzv. mlhou, kde je chladicí kapalina rozptýlena ve velmi malých kapičkách. Ovšem nejpoužívanější způsob chlazení je stále pomocí chladicí

kapaliny, která kromě mazacího a chladicího účinku má i čisticí účinek. Tyto kapaliny musí splňovat určité podmínky, mezi které řadíme snadnou likvidaci, zdravotní nezávadnost a nesmí poškozovat obrobek ani stroj.

Hlavní podmínky pro volbu chladicí kapaliny se volí dle:

- vlastností materiálu nástroje
- vlastností obráběného materiálu
- požadovaných jakostí opracování povrchu
- mechanismu tvoření třísky

6.4 Tolerance [2, 8]

Pro obrábění plastů jsou tolerance výrazně vyšší, než tolerance pro části z kovu. To je způsobeno vlivem absorpce vlhkosti, bobtnáním, zvýšeným koeficientem tepelné roztažnosti a také eventuálními deformacemi způsobenými vnitřním pnutím během obrábění. Tyto deformace se vyskytují nejčastěji, když v materiálu během obrábění vznikají velké změny v průměru (např. pouzdra z širokých tyčí s kruhovým průřezem), hluboké drážky při frézování nebo změny v asymetrii obrobku. Podle zadaných požadavků na přesnost tolerance, může v následujících případech nastat nutnost použít tepelné úpravy, které se vykonají po předběžném obrobení a před obrobením do finální podoby.

7 VYBRANÉ DRUHY PLASTŮ PRO OBRÁBĚNÍ

7.1 Polyolefiny [9]

Polyolefiny patří mezi nejrozšířenější skupinu syntetických polymerů. Vznikají polymerací uhlovodíků, tzv. olefinů (neboli alkenů). Mezi polyolefiny patří kaučuky i termoplasty, jako například polyethylen nebo polypropylen.

7.1.1 Polyethylen (PE) [11, 13]

Polyethylen vzniká polymerací ethenu a je nejrozšířenějším a hojně využívaným termo-plastem, jehož základní stavební prvky tvoří pouze vodík a uhlík.

Má širokou škálu využití v řadě průmyslových segmentů a nejrůznějších aplikací, ale nejčastěji se používá díky jeho elektroizolačním vlastnostem jako materiál pro realizaci zemních rozvodů vody a plynu. S výhodou je však využíván i pro domácí technologie a hračky, nebo jako balení nejrůznějších nápojů a potravin.

Tento materiál má výborné mechanické vlastnosti, chemickou odolnost, dobrou obrobitelnost a odolnost proti otěru a opotřebení. Vyniká vysokou houževnatostí, dobrou svařitelností a vysokou pevností při nižších teplotách. Polyethylen lze použít v širokém teplotním rozpětí a navíc je odolný vůči UV záření.



Obr. 13 Příklad použití Polyethylenu - PE 300 (PE-HD) [14]

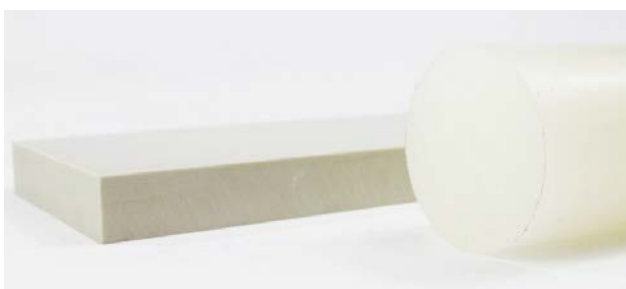
7.1.2 Polypropylen (PP) [11, 12, 13]

Polypropylen je částečně krystalický termoplast ze skupiny polyolefinů, jehož základní stavební jednotky jsou vodík, metanový radikál a uhlík.

Polypropylen je velmi univerzální materiál s výbornými vlastnostmi, mezi které patří např. tuhost, stálost, pevnost v ohybu, je lehký a tepelně odolný. Při vyšších teplotách poskytuje vynikající elektrickou a chemickou odolnost a při

zvýšeném namáhání se v materiálu netvoří žádné vnitřní pnutí ani trhliny. Polypropylen má nízkou vrubovou houževnatost, ořezuvzdornost a odolnost vůči oxidaci. Vlastnosti polypropylenu se podobají vlastnostem polyethylenu, ale jsou tam nějaké konkrétní rozdíly, jako je nižší hustota, vyšší bod tavení, vyšší tuhost a tvrdost. Kromě těchto vlastností je snadno obrobitelný téměř všemi metodami, proto má široké uplatnění.

Používá se jako obalový materiál, na výrobu textilií, kanystry a chladící kontejnery, automobilové díly nebo kajaky. Polypropylen se vyrábí na vysoké úrovni čistoty a je odolný vůči růstu bakterií, proto se používá na zdravotní a laboratorní zařízení. Jako jeden z polymerů vyrobených z monomeru propylenu, je odolný vůči řadě chemických rozpouštědel, kyselin a zásaditých látek.



Obr. 14 Polotovary z propylenu [14]

7.2 Vinylové plasty [9]

Nejvýznamnějším zástupcem skupiny vinylových polymerů je polyvinylchlorid, který je společně s PE a PP nejčastěji vyráběný syntetický plast.

7.2.1 Polyvinylchlorid (PVC) [12]

PVC je pevný, těžký, středně silný amorfní termoplast, avšak po přidání změkčovadla může být dosaženo měkčího elastického materiálu, pružného téměř jako guma tzv. měkčený polyvinylchlorid. Vyrábí se polymerací vinylchloridu a jeho struktura je složena z uhlíku, vodíku a chloru.

V závislosti na aditivech a účelu jeho použití, může být pevný nebo pružný, čirý nebo barevný, odolný vůči kapalinám nebo plynům a parám. Dále je odolný vůči většině anorganických kyselin, alkoholu a vodě. Jedná se o materiál dostatečně pevný, snadno mísitelný a obrobitelný, velmi špatně hořlavý, dobře recyklovatelný a odolný vůči venkovním vlivům.

Proto se běžně používá ve stavebnictví na rámy oken a žaluzií, střešní krytiny, trubky pro kabely a apod. Dále se používá v automobilovém průmyslu na výplně dveří, plastový interiér, vnější boční lišty atd. Kromě toho se jedná o hygienický materiál, proto se hojně používá ve zdravotnictví a pro lékařské účely zejména na kontejnery pro skladování krve a plazmy, na výrobu obalů pro farmacii a chirurgii, infuzní vaky, dýchací masky, sady pro srdeční a plicní bypassy, atd.



Obr. 15 Desky z PVC [14]

7.3 Acelátové plasty

7.3.1 Polyoxymethylen (POM) [11]

Polyoxymethylen je vysoce krystalický a rozměrově stálý strojírenský termoplast s velice nízkou nasákavostí, vhodný pro přesné třískové obrábění ve strojírenství i v elektrotechnice.

Mezi jeho přední vlastnosti můžeme zařadit velkou tvrdost, tuhost a pevnost, dobrou houževnatost, odolnost proti otěru a vůči chemikáliím. Díky těmto příznivým vlastnostem materiál úspěšně nahrazuje kovové materiály. Dále se vyznačuje dobrou odolností proti organickým rozpouštědlům a UV záření.

Materiál je rozměrově stálý, a proto se používá na výrobu jemných mechanismů a přesných součástí – např. k výrobě kluzných dílů, ozubených kol, částí čerpadel, potápěčských potřeb a dílů kancelářských strojů.



Obr. 16 Příklady polotovarů z materiálu POM [14]

7.4 Polyestery [9]

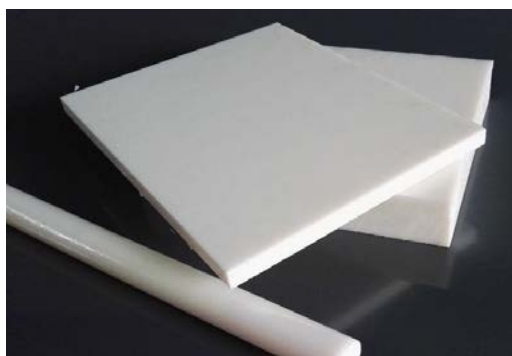
Nejpodstatnějším z termoplastických polyesterů je polyethyltereftalát (PET) a polybutyltereftalát (PBT).

7.4.1 Polyethyltereftalát (PET) [11, 12]

PET je nevyztužený, částečně krystalický termoplastický polyester a je tvořen pomocí polykondenzace kyseliny tereftalové a ethylenglykolu. Při použití pro výrobu vláken a tkanin se obvykle nazývá polyester, zatím co při použití na výrobu lahví, kontejnerů a obalů se nazývá PET.

Jeho předností je vysoká mechanická pevnost, vynikající rozměrová stabilita a stálost, která je lepší než u POM, odolnost vůči oděru a velice dobré smykové vlastnosti. Je to transparentní a bezbarvý plast s nízkou hmotností, který v závislosti na tloušťce, může mít různou tvrdost. Kromě toho vykazuje dobré elektrické vlastnosti, je samozhášivý a fyziologicky nezávadný. Má velmi malou nasákavost, která neovlivňuje mechanické a elektrické vlastnosti. Hodně nízký koeficient tepelné roztažnosti ho řadí na přední místo mezi termoplasty. Tento materiál lze dobře lepit a svářet, ale také je ideální pro tvarování za tepla a často se používá v kombinaci se skleněnými vlákny.

Díky tomu, že se jedná o nezávadný a recyklovatelný (obtěžně) materiál, tak se používá jako balení pro potraviny, nápoje a léky. Po recyklaci se materiál může znovu použít například na výrobu nádob, oblečení, nebo dílů pro automobilový průmysl. Dále se z materiálu vyrábí vysoce zatěžované kluzné prvky, lišty a kotouče, přesná kluzná ložiska a ozubená kola, části čerpadel a izolační díly v elektrotechnice.



Obr. 17 Polotovary z PET [14]

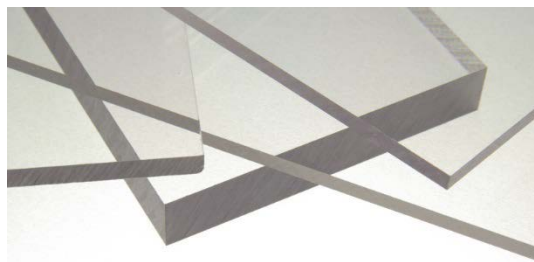
7.5 Polykarbonáty

7.5.1 Polykarbonát (PC) [11, 12]

Polykarbonáty se řadí mezi specifické vysokomolekulární amorfnní termoplasty, které lze snadno opracovávat, formovat a tepelně tvarovat. Tyto polymery se vyznačují kombinací vynikající mechanické odolnosti a pevnosti, rozměrové stálosti, sklovité průhlednosti, tuhosti, rozměrové a tvarové stálosti za tepla a dobrými elektrickými vlastnostmi.

Polykarbonát v sobě spojuje hodně dobrých vlastností kovů, skla a plastů, které nemá dohromady žádný dalšího typu termoplastů. Ve srovnání s jinými druhy plastů je pevný a má nízkou hmotnost. Přestože má vysokou odolnost proti nárazu, tak má nízkou odolnost vůči poškrábání, proto se k výrobě skel do brýlí či k vnějším součástem automobilů aplikuje speciální ochranná vrstva. Tento polymer je vysoce transparentní pro viditelné světlo, disponuje lepší propustností světla než mnoho druhů skla. Polykarbonát lze při dalším zpracování svářet a lepit.

Polykarbonát je univerzální materiál, který se používá pro širokou škálu výrobků od neprůstředných oken po kompaktní disky. Velmi rozšířený je i v elektronickém průmyslu, kde se nejčastěji používá na výrobu krytů mobilních telefonů a notebooků. Dále se z něho vyrábí světlometry automobilů, venkovní stavby (skleníky), kryty počítačů a spotřebičů.



Obr. 18 Desky z Polykarbonátu [14]

7.6 Polyamidy (PA) [4, 8, 9, 11]

Polyamid se řadí mezi semikrystalické termoplasty, jejichž vlastnosti velice silně závisí na obsahu vody. Je to tzv. konstrukční plast a jeho hlavní využití je na výrobu vysoce namáhaných technických součástí (ozubená kola, řemenice, tělesa čerpadel, kluzná ložiska, části kloubů, těsnící kroužky, řídicí válce, kluzné lišty atd.).

Hlavní předností polyamidu je vysoká mechanická pevnost a tvrdost při dynamickém nebo statickém namáhání v kombinaci s houževnatostí a pevností v tahu. Takto vyvážené vlastnosti přispěly k tomu, že polyamidy jsou jedním z nejpoužívanějších plastů ve strojírenství. K dalším vlastnostem můžeme zařadit dobré elektroizolační vlastnosti, chemickou odolnost, výbornou obrobitelnost a využití v širokém rozsahu teplot. Vzhledově má mléčně zakalenou barvu, jsou odolné vůči opotřebení, protože skvěle tlumí rázy a vibrace. Má výborné kluzné vlastnosti, díky kterým se využívá na výrobu součástí s nízkým koeficientem tření.

Polyamidy se vyrábí se z různých monomerů několika způsoby, z nichž nejrozšířenější jsou PA-6 a PA-66. Čísla za označením polyamidu charakterizují výchozí monomery podle počtu atomů uhlíku v jejich molekulách.



Obr. 19 Ozubená kola vyrobená z PA-66 [14]

8 PŘÍKLADY VÝROBKŮ FIRMY BELT PLAST

Belta je firemní označení organických polymerních materiálů využívaných k třískovému obrábění. Tyto materiály se vzájemně odlišují svou molekulární strukturou i fyzikálními a chemickými vlastnostmi.

8.1 Belta S [16]

Představuje materiál s nízkou tuhostí, vysokou houževnatostí a chemickou odolností vůči kyselinám, bázím, elektrolytům a organickým rozpouštědlům. Materiál má nízkou hustotu a je hygienicky nezávadný. Používá se jako izolační materiál (nádrže agresivních kapalin a odpadů, těsnění) a na výrobu komponentů odolávajícím rázům (vysekávací podložky, části strojů).



Obr. 20 Příklady výrobků z materiálů Belta S [16]

8.2 Belta S 1000 [16]

Materiál se samomaznými vlastnostmi, hojně využíván především k výrobě kluzných vedení řetězů, řetězových kol a kluzných ložisek. Dále se používá na komponenty pracující v korozivním a prašném prostředí (přesypy, skluzy, obložení zásobníků).



Obr. 21 Příklady výrobků z materiálů Belta S 1000 [16]

8.3 Belta N [16]

Materiál vyznačující se vyšší tuhostí, nižší houževnatostí a odolností vůči chemickým činidlům. Vazby tohoto materiálu jsou schopny na sebe vázat vodu, což způsobuje nežádoucí změny rozměrů v závislosti na vlhkosti prostředí. Materiál lze používat bez aplikování maziv. Vyrábí se z něho řetězová kola, kluzná ložiska nebo kladky.



Obr. 22 Příklady výrobků z materiálů Belta N [16]

8.4 Belta F/P/K [16]

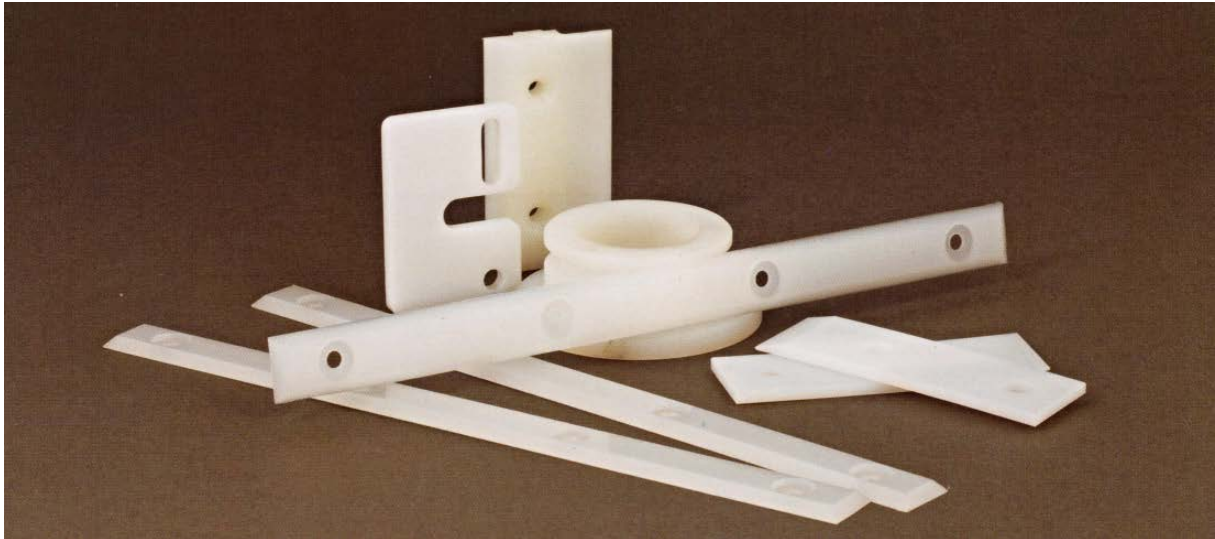
Tyto materiály jsou si velmi podobné. Mají vysokou pevnost, tuhost a hygienickou nezávadnost, proto se využívají při výrobě strojních komponent v potravinářském průmyslu (ozubená kola, ložiska, přesné strojní součásti). Rozdílný je Belta F, který má nižší lomovou houževnatost, a proto vydrží větší zatížení a vyšší rychlosti při menším opotřebení. Belta P má zase velmi vysokou houževnatost, a proto se aplikuje i při nízkých teplotách, kdy u běžných materiálů může při zatížení vrubu dojít k selhání součásti.



Obr. 23 Příklady výrobků z materiálů Belta F/P/K [16]

8.5 Belta D [16]

Materiál s velmi vysokou chemickou odolností, odolností vůči toku za studena i abrazivnímu a erozivnímu opotřebení. Proto se používají na strojní části zatížené silovými účinky a teplotou až do 150°C, k výrobě obkladů potrubí, nádrží, přesypů a násypek.



Obr. 24 Příklady výrobků z materiálů Belta D [16]

ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo seznámení čtenáře s problematikou obrábění polymerních materiálů. Jelikož se jednalo o rešeršní práci, byla tato práce zaměřena hlavně na teoretické vysvětlení problematiky čtenářům se základními technickými znalostmi.

Na úvod zde byla popsána vnitřní struktura polymerních materiálů, jejich výroba a rozdělení do skupin podle různých parametrů. Jsou uvedeny tři hlavní skupiny polymerů a to termoplasty, rektoplasty a elastomery. Dále byly v práci uvedeny nejpoužívanější technologie obrábění, jako je frézování, soustružení, vrtání a broušení včetně druhů rezných nástrojů a chladicích kapalin. Na závěr práce byly vypsány příklady plastů, jež jsou vhodné k třískovému obrábění, byly také rozebrány jejich vlastnosti a uvedeny příklady využití.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
- [2] KOČMAN, Karel. *Speciální technologie: obrábění*. 3. přeprac. v dopl. vyd., V Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2562-8.
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [4] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1*. 3. přeprac. vyd. Praha: Scientia, 2002. ISBN 80-7183-262-6.
- [5] ŠTĚPEK, Jiří, Antonín KUTA a Jiří ZELINGER. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemickotechnologické, studijní obor 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [6] SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi: Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. Verlag Dashöfer: Odborné nakladatelství technické literatury, 2001.
- [7] LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-467-2.
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [8] DULA, Jan. *Obrábění nekovových materiálů*. Uherské Hradiště: Střední odborná škola technická v Uherském Hradišti, 2012.
<http://www.uh.cz/szesgsm/files/sblizovani/pdf/obr-nekovu.pdf>
- [9] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Svitavy: Střední odborné učiliště Svitavy, 2015. ISBN 978-80-88058-68-7 <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [10] EPP Plasty. <http://www.eppplasty.cz/obrabeni.php>
- [11] PolyPLASTY s.r.o. OSTATNÍ TECHNICKÉ PLASTY.
<http://www.polyplasty.cz/ostatn%C3%AD-technick%C3%A9-plasty/>
- [12] Plastic Systems s.r.o. <http://tiefziehen.com/Plast/>
- [13] GEORG FISCHER +GF+. <http://www.georgefischer.cz/produkty/materialy>
- [14] VM Plast s.r.o. <http://www.vmplast.cz/sortiment>
- [15] HOLOUBEK PROTECT a. s. <http://www.technicke-plasty.eu/sortiment>
- [16] Prospekty firmy Belt Plast
- [17] MOLLIKOVÁ, Eva. *Konstrukční plasty a kompozity*. Studijní opora předmětu. Brno 2008

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Význam symbolu	Jednotky
T_m	Teplota tání	K, °C
T_f	Teplota viskózního toku	K, °C
T_g	Teplota zesklnění	K, °C
γ	Poissonova konstanta	
α	Součinitel teplotní roztažnosti	
H ₂ O	Voda	
PE	Polyethylen	
PP	Polypropylen	
PC	Polykarbonát	
PVC	Polyvinylchlorid	
PA	Polyamid	
POM	Polyoxymethylen	
PET	Polyethylentereftalát	
UV	Ultrafialové záření	
PBT	Polybutylentereftalát	
PS	Polystyren	
PF	Fenolformaldehyd	
PU	Polyuretan	
PMMA	Polymethylmetakrylát	
PTFE	Polytetrafluoretylén	
PI	Polyimidy	
PPS	Polyfenylénsulfid	
CD	Kompaktní disk	
TPE	Termoplastické elastomery	

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Získávání surového kaučuku z Kaučukovníku brazilského [9].....</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 2 Rozdělení polymerů dle chování za tepla [3]</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3 Chování elastomerů při mechanickém namáhání [9].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 4 Příklady aplikací termoplastů [9].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 5 Příklady aplikací rektoplastů [9].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 6 Rozdělení podle aplikace a vnitřní struktury [9]</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 7 Základní typy reakcí na výrobu polymerů</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 8 Znázornění složení řetězce [17].....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 9 Znázornění struktury řetězce [17]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 10 Konfigurace řetězce [17]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 11 Vlákenná výztuž [9]</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 12 Porovnání vrtáků [1]</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 13 Příklad použití Polyethylenu - PE 300 (PE-HD) [14].....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 14 Polotovary z propylenu [14].....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 15 Desky z PVC [14]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 16 Příklady polotovarů z materiálu POM [14]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 17 Polotovary z PET [14].....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 18 Desky z Polykarbonátu [14]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 19 Ozubená kola vyrobená z PA-66 [14].....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 20 Příklady výrobků z materiálů Belta S [16]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 21 Příklady výrobků z materiálů Belta S 1000 [16]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 22 Příklady výrobků z materiálů Belta N [16]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 23 Příklady výrobků z materiálů Belta F/P/K [16]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 24 Příklady výrobků z materiálů Belta D [16]</i>	<i>30</i>