

Polypropylén roubovaný maleinanhydridem

Ingrida Berkyová

Bakalářská práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ingrida Berkyová**
Osobní číslo: **T12322**
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Polypropylen roubovaný maleinanhydridem**

Zásady pro vypracování:

1. Cílem bakalářské práce je vytvořit ucelenou rešerši pojednávající o polypropylen roubovaném maleinanhydridem.
2. Izotaktický polypropylen se komerčně velmi využívá na různé aplikace, protože poskytuje dobré vlastnosti při nízké ceně a výborném zpracování.
3. Práce by se měla zaměřit na výrobu, vlastnosti a použití tohoto materiálu.



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Karger-Kocsis, J.: Polypropylene An A-Z Reference, Springer Verlag, 1999, ISBN: 0-412-80200-7.
2. Maier, C.; Calafut, T.: Polypropylene The Definitive User's Guide and Databook, William Andrew Publishing/Plastics Design Library, 1998, ISBN: 1-884207-58-8.
3. Pasquini, N.; Addeo, A.: Polypropylene Handbook, 2nd ed., Munich: Hanser, 2005, 584 s. ISBN 3446229787.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jana Navrátilová, Ph.D.

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce:

15. ledna 2016

Termín odevzdání bakalářské práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 1. března 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



Ing. Lubomír Beníček, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Berkyová Ingrida

Obor: Chemie a technologie materiálů

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 23.5.2016

Ingrida Berkyová

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlíádne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cieľom bakalárskej práce je vytvoriť ucelenú rešerš pojednávajúcu o polypropyléne roubovaném maleinanhydridom. Izotaktický polypropylén sa komerčne veľmi využíva na rôzne aplikácie, pretože poskytuje dobré vlastnosti pri nízkej cene a výbornom spracovaní. Polypropylén je však nepolárny, neobsahuje funkčné skupiny, takže jeho funkcionalizácia značne rozširuje aplikačný potenciál, najmä v kompozitoch. Najvýznamnejším komerčným funkcionalizovaným polypropylénom je polypropylén modifikovaný maleinanhydridom, kvôli výhodnej kombinácii, nízkej cene maleinanhydridu, vysokej účinnosti a dobrej spracovateľnosti. Tento upravený polypropylén sa potom uplatňuje v mnohých oblastiach, napr. sklom vystužený polypropylén, nekorozívne povlaky na kovové trubky a nádoby, viacvrstvové fólie na potravinové obaly alebo v polymérnych zmesiach či nanokompozitoch. Práca by sa mala zamerať na výrobu, vlastnosti a použitie tohto materiálu.

Kľúčové slová: polypropylén roubovaný maleinanhydridom, izotaktický polypropylén, PP-g-MAH

ABSTRACT

The aim of this Bachelor thesis is to create a compact view of polypropylene grafted maleic anhydride. The isotactic polypropylene is commercially used for very different applications, because it provides good properties and excellent processing in low price. However, polypropylene is non-polar, free of functional groups, so that the functionalization greatly extends the application potential, especially in composites. The most important commercial functionalized polypropylene is polypropylene grafted maleic anhydride, because of its good combination of low prices of maleic anhydride, high efficiency and good processability. The modified polypropylene is then applied in many fields, for example. glass reinforced polypropylene, non-corrosive coatings for metal pipes and containers, multilayer films for food packaging or polymer blends and nanocomposites. The work should focus on the production, properties and applications of this material.

Keywords: polypropylene grafted maleic anhydride, isotactic polypropylene, PP-g-MAH

Chcela by som poďakovať vedúcej mojej bakalárskej práce Ing. Janě Navrátilové, Ph.D., za cenné rady a čas, ktorý mi venovala pri spracovaní bakalárskej práce. Ďalej by som chcela poďakovať svojej rodine a priateľom za podporu počas štúdia.

Motto: Pre mňa je každý krok, krokom k cieľu, to platí taktiež pre kroky späť.

Ernst Jünger

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČASŤ	10
1 POLYPROPYLÉN	11
2 VÝROBA	13
2.1 SPÔSOBY VÝROBY	13
2.1.1 Výroba reakčnou extrúziou taveniny	15
2.1.1.1 Príprava.....	15
2.1.1.2 Čistenie a frakcionácie.....	16
2.1.2 Výroba ultrazvukom.....	17
3 ŠTRUKTÚRA A KRYŠTALIZÁCIA	18
4 VLASTNOSTI	19
5 APLIKÁCIE	21
5.1 KOMPATIBILIZÁTORY	22
5.1.1 Kompatibilizátory vo forme prášku	22
5.1.2 Kompatibilizátor do sklenených vlákien PP	23
5.1.3 Kompatibilizátor do bariérových obalov	23
5.2 BOKOMPOZITY	24
5.3 NÁTERY POMOCOU ELEKTROSTATICKÉHO SPREJA.....	25
5.4 METALIZOVANÉ VIACVRSTVOVÉ OBALY	26
ZÁVER	27
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	28
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	32
ZOZNAM OBRÁZKOV	33
ZOZNAM TABULIEK	34

ÚVOD

V posledných desaťročiach sa ukázalo, že polymérne materiály sú veľmi dôležité hlavne pre priemysel a ako náhrada bežných materiálov ako je sklo alebo kov. Existuje veľmi veľká škála polymérov, ktoré sa dajú vyrábať s rôzne upravenými vlastnosťami pre širokú oblasť aplikácií. Navyše ich spracovanie je ekonomické a relatívne jednoduché. [1]

Až do polovice roku 1950 boli jedinými známymi polyolefinmi polyetylén (PE), polyizobutylén a izobutylén-izoprén (butyl). Pokusy pre získanie nových materiálov z iných olefinov viedli len k príprave materiálov s nízkou molekulovou hmotnosťou bez zjavného komerčného významu. Avšak v roku 1954 Natta Milan v nadväznosti na dielo K. Ziegler zistil, že určité katalyzátory sú schopné produkovať polyméry s vysokou molekulovou hmotnosťou a to hlavne z polypropylénu (PP) ale aj mnoho iných olefinov. Rada rôznych typov PP sa dá vytvoriť zmenou formy katalyzátoru, pričom PP sa vo veľkej miere odlišujú vlastnosťami. [2]

PP je lineárny uhľovodíkový polymér, ktorý obsahuje žiadnu alebo len malú nenasýtenosť. Je veľmi podobný PE a to najmä vo svojich vlastnostiach a správaní. V závislosti na orientácii metylových skupín pripojených na atómy uhlíka môže byť izotaktický, syndiotaktický alebo ataktický. V dôsledku pravidelného opakujúceho sa usporiadania má izotaktický PP vysoký stupeň kryštalizácie. Komerčné polyméry sú z 90-95% izotaktické. Mnoho polymérov je prevažne izotaktických obsahujúcich len malé množstvo ataktického. [2, 3]

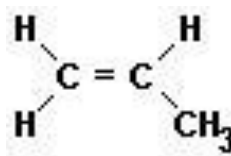
Je to univerzálny termoplastický materiál, ktorý je kompatibilný s viacerými technikami spracovania a taktiež je používaný v mnohých komerčných aplikáciách. Najznámejšia je modifikácia s anhydridom kyseliny maleínovej (MAH), ktorý sa väčšinou vykonáva pre zlepšenie adhézie ku kovom PP, do sklenených vlákien alebo pre iné polyméry ako je napríklad nylon. PP roubovaný MAH (PP-g-MAH) sa obyčajne koná v prítomnosti iniciátora za tvorby radikálov v roztoku. [3, 4]

Za posledné roky získala modifikácia bežných polymérov štiepením obrovský akademický a praktický záujem. História modifikácie PP s MAH siaha až do roku 1969, kedy bola vyvinutá metóda reakcie MAH na izotaktický PP pod jeho bodom topenia. Odvtedy štúdie zahŕňajú roubovanie izotaktického aj syndiotaktického PP za rôznych podmienok. Roubovacie mechanizmy ešte stále nie sú úplne presne známe, ale boli navrhnuté viaceré reakčné cesty. [5, 6]

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 POLYPROPYLÉN

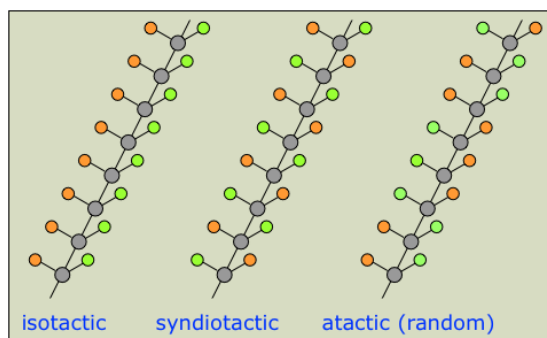
Polypropylén (PP) je druh termoplastického polyméru. Je to jednoduchý konštrukčný materiál s dobrou chemickou odolnosťou, ľahko tvarovateľný a zvariteľný. Využíva sa v mnohých aplikáciach, ako konštrukčný plast alebo na vlákna. Vyrába sa polymerizáciou monomérnych jednotiek, ktoré vytvoria veľmi dlhé molekuly polyméru alebo reťazce. Monomérom je propylén a má chemické označenie C_3H_6 (Obr. 1). Získava sa krakováním nafty. [7, 8, 9, 10]



Obr. 1 Propylén [3]

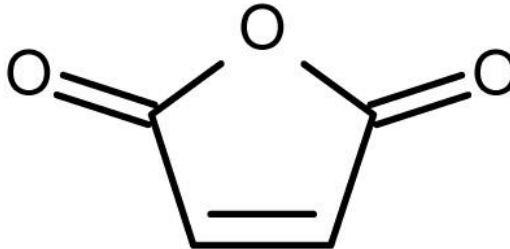
PP je uhlíkovodíkový lineárny polymér, klasifikovaný ako polyolefín a má malú alebo žiadnu nenasýtenosť. Spôsobov ako prepojiť monoméry je mnoho, ale najpoužívanejšou formou je výroba s katalyzátormi, ktoré produkujú kryštalizovateľné polymérne reťazce. Vznikne čiastočne kryštalický produkt s dobrými vlastnosťami. Výroba PP sa uskutočňuje v roztoku, suspenzii alebo v plynnej fázi pri pomerne nízkej teplote a tlaku za prítomnosti katalyzátoru. Rozdiely v katalyzátore a vo výrobných podmienkach sa používajú na zmenu vlastností. [8, 10]

Charakteristická je metylová skupina (CH_3). Podľa toho ako je v priestore usporiadaná k hlavnému uhlíkovému reťazcu sa PP rozdeľuje na izotaktický PP s CH_3 skupinami usporiadanými na jednej strane reťazca, syndiotaktický PP so striedavými skupinami CH_3 , a ataktický s nepravidelným usporiadaním skupín CH_3 (Obr. 2). [10, 11]



Obr. 2 Molekulárna štruktúra PP [12]

Izotaktický PP je veľmi zaujímavý polyolefín, vďaka jeho širokému rozsahu aplikácií. Trpí však nedostatkom reaktivity a polaritu, čo vedie k zníženej kompatibilitu s inými polymérmi. Zvýšenie sa dá dosiahnuť modifikáciou. Najznámejšia je s anhydridom kyseliny maleínovej (MAH) (Obr. 3). [6]



Obr. 3 Maleinanhydrid [13]

MAH je hospodársky významný. Je predmetom hydrolyzy kyseliny a je to biela hygroskopická pevná látka, ktorá vytvára ortorombické kryštalicke ihlice. Funkcionalizácia PP za prítomnosti MAH bola intenzívne študovaná v uplynulých desaťročiach. Výsledné produkty rocesu roubovania PP s MAH sú dobre známe ako medzifázové činidlá, používané na zlepšenie polaritu a reaktivity. [6, 14]

2 VÝROBA

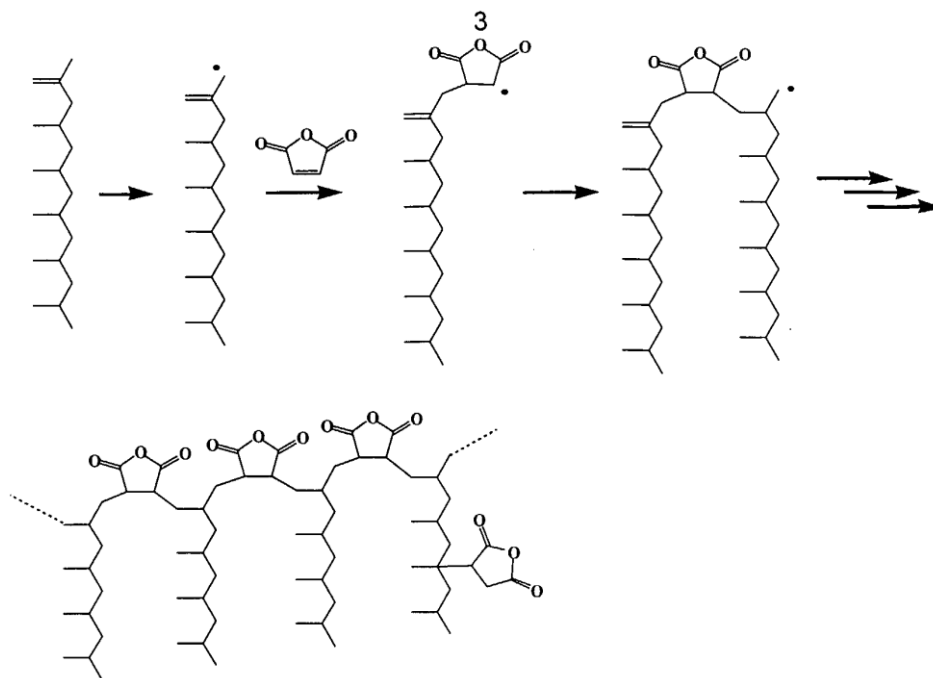
Najväčším nedostatkom použitia PP je, že nemá polárne funkčné skupiny schopné reagovať. Tento problém sa dá vyriešiť pridaním MAH, ktorý tieto skupiny obsahuje. [15]

Výroba PP pomocou MAH sa dá uskutočniť pomocou viacerých metód, ktoré sa snažia dosiahnuť kompatibilitu medzi polárnymi a nepolárnymi polymermi. Keďže PP je nepolárny polymér má obmedzené interakcie s ostatnými látkami. Štiepenie s MAH mu umožňuje vytvárať nové a zaujímavé funkcie napríklad adhézie alebo kompatibilizácie. Roubovanie MAH sa väčšinou vykonáva za prítomnosti iniciátora, ktorým sú najčastejšie organické peroxidy, za tvorby radikálov. Proces môže prebiehať v pevnom stave, tavenine alebo v roztoku. [4, 16, 17]

Bežná je výroba reaktívnym vytláčaním. Hlavnou výhodou je neprítomnosť rozpúšťadla, avšak vysoké teploty vedú k sekundárnym reakciám a rekačné výťažky sú všeobecne nižšie ako tie získané z roztoku. [17]

2.1 Spôsoby výroby

1. Spôsobom prípravy je použitie prítomnosti peroxidov najčastejšie dilaurylperoxidu, ktorý slúži ako iniciátor voľných radikálov. Výsledný produkt sa používa najmä pri príprave PP vystuženého sklenenými vláknami. Tento spôsob prípravy obsahuje menej ako 4 hmot. % MAH.
2. Iným spôsobom zahŕňa výrobu kde sú PP a MAH v molárnom pomere 1:1, čím PP bude mať jednu nenasýtenú a jednu anhydridovú skupinu. Nechá sa reagovať s ďalším MAH v prítomnosti voľných radikálov, čím sa získa produkt s vyšším obsahom MAH. [15]
3. PP s MAH sa dajú ďalej pripravovať za prítomnosti metallocenových katalyzátorov, ktoré produkujú PP s jednoduchou vinylidenovou skupinou na konci každej molekuly (Obr. 4). Najčastejšie sa uskutočňujú v prítomnosti vodíka, ktorý urýchľuje polymerizáciu a znižuje molekulovú hmotnosť polyméru. Izotaktický PP získaný pomocou metallocenových katalýz a roubovaný MAH, môže byť súčasťou zloženia koextrúzie spojiva. [15, 18]



Obr. 4 Schéma polymerizácie [15]

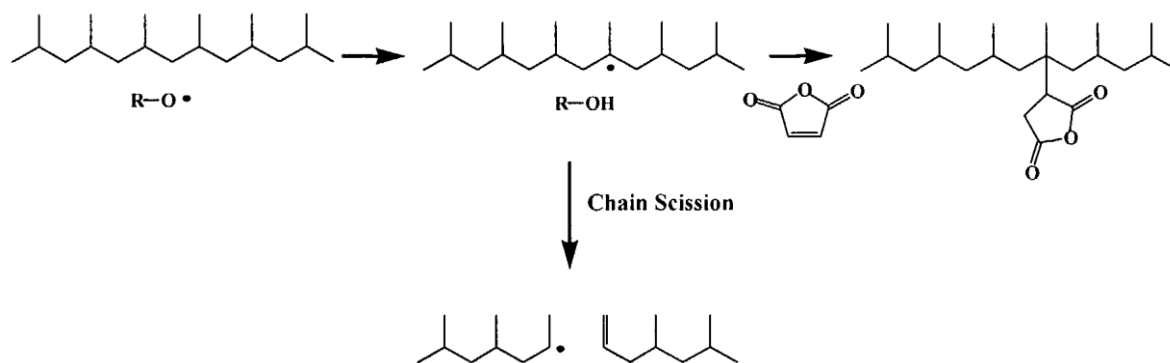
Reaktanty vyššie zmienenej reakcie sa miešajú a potom je zmes zahrievaná. Vykonáva sa pri teplote 2 000 °C po dobu 12 až 24 hodín. Miešacie a zahrievacie časy môžu byť aj dlhšie, avšak teplota by nemala presiahnuť 2 400 °C. Pri reakcii môže byť taktiež použitý tlak a keďže MAH je prchavý rekcia sa vykonáva v uzavretej nádobe.

Pri inom prevedení kde ma PP nenasýtenú aj MAH časť, môže sa rozpustiť v rozpúšťadle a tak zahrievanie pri miešaní reaktantov môže byť znížené alebo eliminované. Medzi vhodné rozpúšťadlá patria xylény, toluény a ich zmesi.

Molekulová hmotnosť PP môže nadobúdať hodnôt od 500 do asi 150000 daltonov (Da). Číselná priemerná molekulová hmotnosť M_n sa určuje gélovou permeačnou chromatografiou (GPC) a to proti štandardu PP. [15]

Množstvo MAH sa udáva číslom kyslosti alebo SAP číslom kyseliny. Je definované ako počet miligramov hydroxidu draselného (NaOH), ktorý je potrebný na neutralizáciu 1 g polyméru.

PP s vysokým obsahom MAH zodpovedajú približne 4 hmot. % MAH, takže jeho číslo kyslosti sa pohybuje okolo 40 až 45. Bolo zistené, že v množstvách nad 45 % hmotnosti má tendenciu produkovať nežiadúci farebný materiál. Zvyšovanie obsahu MAH je veľmi zložité. MAH sa na PP pripája štepením reťazca radikálneho procesu (Obr. 5). [15]



Obr. 5 Roubovanie AMK na PP [15]

Takýto PP roubovaný MAH (PP-g-MAH) sa vyrába napr. pod obchodným názvom Kayabrid. Vykazuje výbornú kombináciu vysokej molekulovej hmotnosti a vysoký obsah roubovaného MAH. S takýmito vlastnosťami je vhodný pre zlepšovanie mechanických vlastností, kompozitných materiálov a môže byť pridávaný vo veľmi nízkych koncentráciách. Používa sa hlavne do sklom vystužených vlákien PP, polymérnych zliatin a mnoho ďalších. [19, 20]

2.1.1 Výroba reakčnou extrúziou taveniny

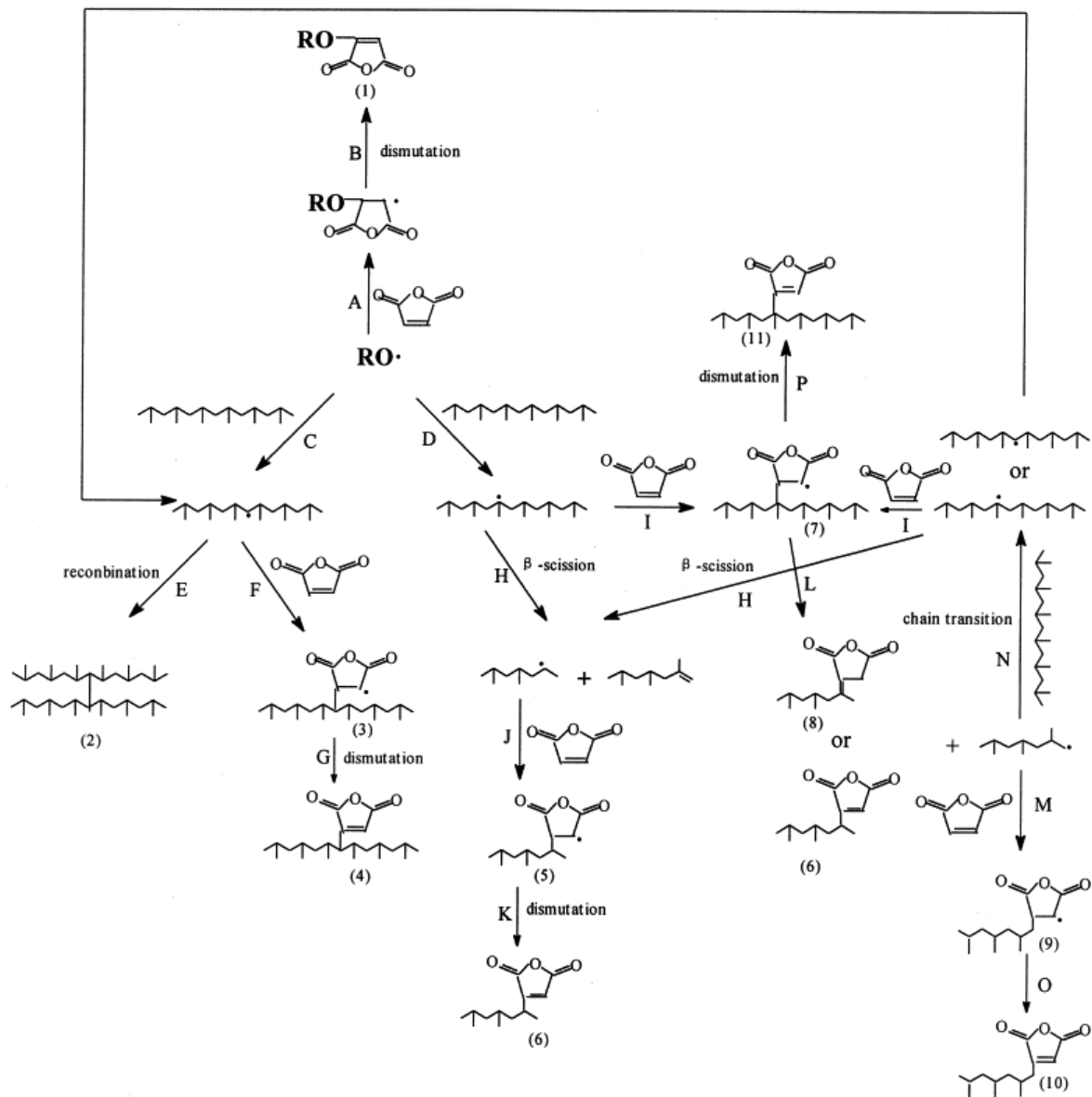
Pri výrobe PP-g-MAH je pozorovaná chemická štruktúra a molekulárne parametre. Vďaka homolytickému štiepeniu dikumylperoxidu sa dajú počiatočné radikály kombinovať s MAH monomérmi rovnako dobre ako s reťazcami PP (Obr. 6).

Reakcie v tavenine sú veľmi výhodné, najmä kvôli jednoduchému ovládaniu, nízkym investíciám do zariadenia, kontinuálnej výroby a nízkym nákladom.

V ostatných metódach ktoré nepracujú v tavenine je nevýhodou, že sa ťažko dajú študovať ich chemické štruktúry a roubovacie reakčné mechanizmy, pretože molekulové hmotnosti sušených zrazenín sú často veľmi vysoké a len niektoré rozpúšťadlá (napr. xylén, trichlórbenzén) ich môžu rozpustiť pri teplote vyššej ako 80 °C. [12, 21]

2.1.1.1 Príprava

Vzorky PP-g-MAH sa pripravujú súbežne rotujúcim extrudérom s dvojitou skrútkou, ktorý sa skladá z 11 segmentov samostatne vykurovaných. Prevádzková teplota by mala byť 360 °C s rozmedzím ± 5 °C. Použitie činidlo dikumylperoxid (DCP) sa suší pri izbovej teplote pod tlakom a MAH sa pred zmiešaním s PP melie na prášok. Použité látky (PP, MAH, DCP) sa miešajú v rotačnej miešačke ešte pred pridaním do násypky vytlačovacieho stroja. [12, 21]

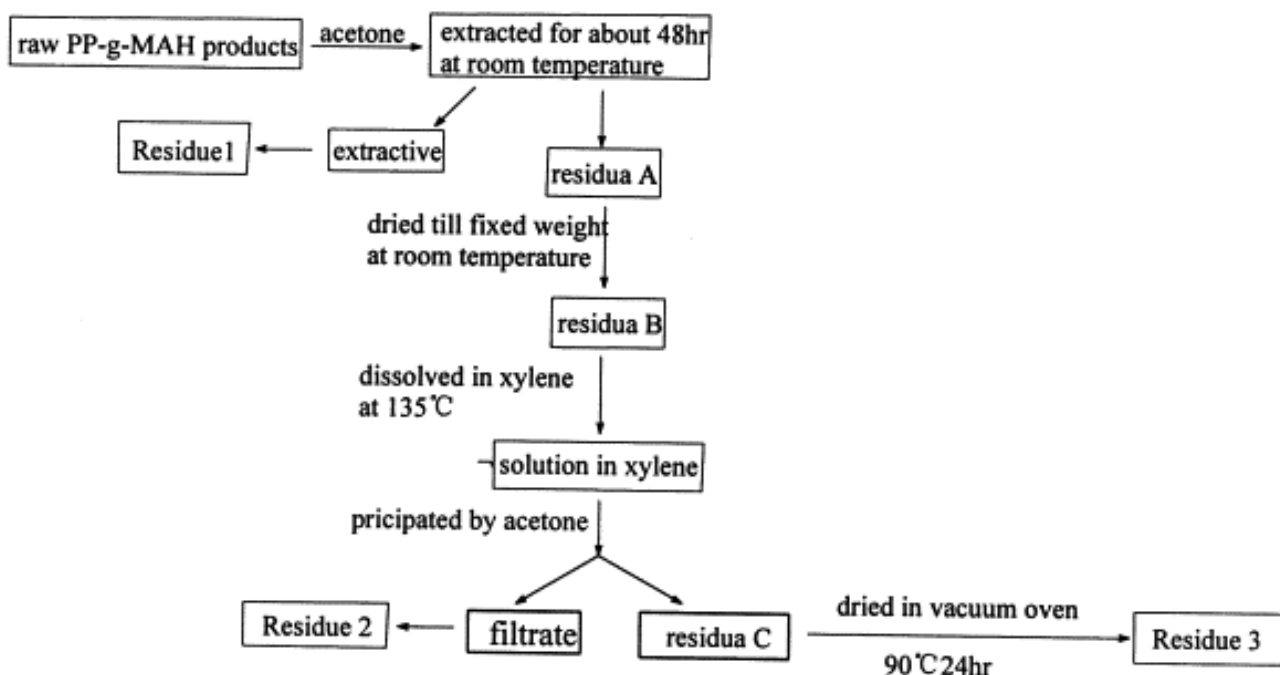


Obr. 6 Navrhované štiepenie mechanizmu PP-g-MAH pomocou reaktívnej extrúzie [21]

2.1.1.2 Čistenie a frakcionácie

Surový roubovaný PP sa lisuje do tenkých vrstiev (0,1mm) horúcim lisom pri teplote 190 až 200°C. Tieto fólie sa potom extrahujú aspoň 24 hodín s acetónom pri izbovej teplote.

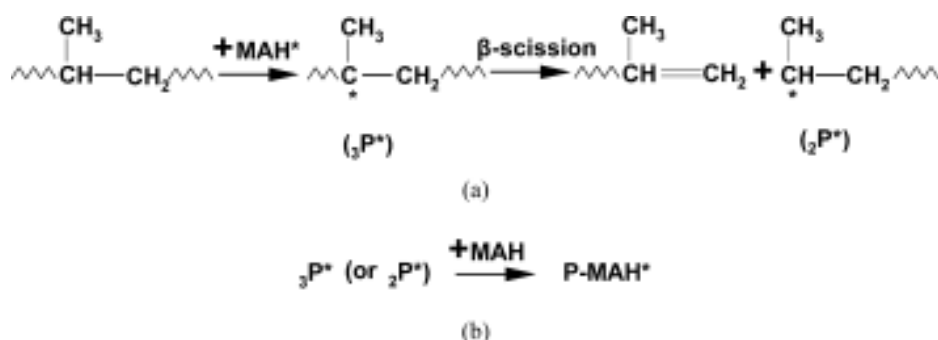
Týmto sa získa asi 1 g acetónu nerozpustného roubovaného PP, ktorý sa ďalej rozpúšťa v xyléne pri 130 °C a výsledný roztok sa pridáva pomaly do acetónu. Väčšia časť PP o vysokej molekulárnej hmotnosti sa vyzráža a menšia časť PP s nízkou molekulárnou hmotnosťou (Residue 2 na Obr. 7) sa drží v materskom lúhu. Izoluje sa tým, že sa vo vákuovej sušiarňi odstráni zmesi acetónu a xylénu pod tlakom (Residue 3 na Obr. 7). [21]



Obr. 7 Schéma postupu výroby [21]

2.1.2 Výroba ultrazvukom

Reakcia výroby PP roubovaného MAH pomocou ultrazvuku prebieha bez pridania iniciátora vytlačovaním (Obr. 8). S narastajúcou ultrazvukovou energiou sa zvyšuje účinnosť roubovania. Vyšší výkon ultrazvuku a nízka teplota v hubici zvyšuje stupeň štiepenia. Zvýšenie obsahu MAH môže viesť k zvýšeniu stupňa štiepenia ale znižuje sa účinnosť. Výroba prebieha na základe výsledkov indexu toku taveniny. Reakčná teplota a ultrazvuková energia sú riadené. Stupeň štepu sa stanoví titráciou pomocou organickej bázy v etanole. Výsledky výskumov ukázali, že ideálne podmienky pre štiepenie boli v ultrazvukovej intenzite 300 W s koncentráciou MAH 25% hmotnostných. [22, 23]



Obr. 8 Reakcia medzi MAH a PP retazcom [22]

3 ŠTRUKTÚRA A KRYŠTALIZÁCIA

Fyzikálne vlastnosti polymérov ktoré sú semikryštalické závisia na ich kryštalinite a mikroštruktúre, pretože poruchy materiálov prebiehajú na mikroskopickej úrovni. Získavanie kryštalickej formy môže prebiehať pomalým ochladením alebo izotermickou kryštalizáciou medzi teplotou zosklenia a teplotou topenia. Kryštalizácia izotaktického PP bola široko skúmaná rôznymi metódami. Čas na dosiahnutie maximálneho stupňa kryštalizácie, rastie so zvyšujúcou sa teplotou kryštalizácie. V porovnaní s izotaktickým PP dosiahne PP-g-MAH maximálny stupeň kryštalizácie skôr, najmä pri vysokých teplotách kryštalizácie. Veľmi úspešná je Avramiho rovnica, ktorá sa používa na analýzu experimentálnych dát izotermickej kryštalizačnej kinetiky. Za izotermných aj neizotermných podmienok, nemá vplyv zavedenie bočných skupín pozdĺž reťazca na spôsob kryštalizácie, ale zvyšuje rýchlosť kryštalizácie. Izotermické podmienky sú často obmedzené nejakým úzkym teplotným intervalom. Z technologického hľadiska neizotermické podmienky sa používajú preto, lebo bližšie približujú priemyselné podmienky spracovania polymérov, takže štúdium za týchto podmienok má veľký praktický význam. Často sa používajú na doplnenie izotermických dát.

U izotaktického PP prebieha kryštalizácia dvojitým mechanizmom heterogénne aj homogénne, u PP-g-MAH predovšetkým prostredníctvom heterogénnej nukleácie. Celková miera kryštalizácie je ovplyvnená oboma procesmi. Vykonáva sa osobitné sledovanie týchto účinkov. V oblasti teploty topenia homogénna nukleácia a rastový proces sú oneskorené, pretože voľná energia pri raste jadier je veľmi vysoká, v takom prípade riadi rýchlosť kryštalizácie heterogénna nukleácia a rastový proces. Pri vysokých teplotách alebo pri chladení, je heterogénna nukleácia oveľa väčšia ako homogénna. Heterogénna nukleácia tvorí jadrá súčasne hneď po dosiahnutí teploty kryštalizácie, zatiaľ čo homogénna nukleácia začína samovoľne agregáciou reťazca pod teplotou topenia a vyžaduje dlhšie časy. Počet kryštalizačných zárodokov je u PP-g-MAH asi desaťkrát vyšší. [24, 25]

4 VLASTNOSTI

PP má vlastnosti veľmi podobné vysokohustotnému polyetylénu (HDPE). Je to nepolárny plast, ktorý odoláva polárnym rozpúšťadlám, kyselinám, zásadám a soliam. Táto odolnosť je vyššia než u polyetylénu (PE) a to najmä za vyšších teplôt. Medzi jeho ďalšie typické vlastnosti patrí horľavosť, malá odolnosť mrazu a nízka hustota. Jeho hustota je najnižšia zo všetkých neľahčených plastov. Má vysokú tuhosť, tvrdosť, odolnosť oderu a dobrú tvárovú stálosť za zvýšených teplôt vďaka vyššej teplote topenia. Odoláva vzniku napätových trhliniek.[26]

PP majú vysokú pevnosť v ohybe a v ťahu a vyšší modul pružnosti než PE kvôli pevnejšiemu polymérmu reťazcu v dôsledku usporiadania metylových skupín. [3]

PP je semikryštalický termoplast, ktorého vlastnosti sú značne závislé na indexe izotakticity. Najčastejšie používaný PP je izotaktický. Znamená to, že všetky metylové skupiny sú na rovnakej strane reťazca. [26, 27]

Izotaktický PP má vzhľadom ku svojej konštrukcii najvyššiu kryštalinitu, čo vedie k dobrým mechanickým vlastnostiam ako je tuhosť a pevnosť v ťahu (Tab. 1). Zvyšovaním ataktického podielu v izotaktickom PP by sme zvýšili odolnosť proti nárazu a rozťažnosť, ale znižuje sa zákal, tuhosť a kvalita farieb. [3]

Polypropylén	Izotaktický	Syndiotaktický	Ataktický
Hustota [g/cm ³]	0,905	0,890	0,850
Teplota topenia [°C]	176	135	nemá
Medz pevnosti [MPa]	vysoká	stredná	veľmi nízka
Rozpustnosť v uhľovodíkoch pri 23 °C	nerozpustný	stredne rozpustný	ľahko rozpustný

Tab. 1 Vlastnosti polypropylénu (PP) v závislosti na priestorovom usporiadaní substituentov v makromolekule [26]

	PP-g-MAH	PP
Teplota topenia [°C]	157	130
Hustota [g/cm ³]	0,910	0,946
Pevnosť v ťahu [MPa]	39	35
Pevnosť v ohybe [MPa]	42	25
Vrubová húževnatosť [J/m]	23	64
Modul pružnosti v ťahu [MPa]	1 500	1 654
Modul pružnosti v ohybe [MPa]	2 000	1 465

Tab. 2 Porovnanie vlastností PP a PP-g-MAH [28]

Pri zavedení MAH na nepolárnu kostru PP prekoná sa nízka povrchová energia polyméru, čo zlepši hydrofilnosť. PP-g-MAH má veľmi dobré fyzikálne vlastnosti. Používa sa ako chemické spojovacie činidlo pre sklo, mastenec, sľudu a vystužený PP, ktorý dáva zvýšené tepelné a fyzikálne vlastnosti. Pôsobí ako spojovací prostriedok pre minerálny a sklom naplnený PP. Taktiež je to dobrý kompatibilizátor zmesi recyklovaného nylonu a PP, ktorý dáva zvýšenú hydrolytickú stabilitu a pevnostné vlastnosti. Jeho využitie je aj pre celulózu plnené vlákna PP, ktoré vedú k zmenšeniu absorpcie vody a zvyšujú pevnosť v ťahu a pevnosť v ohybe. [5, 28]

5 APLIKÁCIE

PP roubovaný MAH má veľmi široké využitie. Hlavné využitie vynášaných produktov je ako kompatibilizátory, voskové prísady, uvoľňovacie a dispergačné činidlá. Ponúkajú veľa výhod, vrátane dobrej odolnosti proti poškrabaniu a oteru, sklzu a zlepšujú adhéziu na rôznych podkladoch. Sú hydrofóbne voči poveternostným vplyvom. Ďalšou výhodou je kompatibilita medzi polárnymi a nepolárnymi komponentami (napr. živice, vosky, plniva).

Využitie týchto produktov je hlavne v atramentových a náterových aplikáciách na báze vody, rozpúšťadiel, obalovanie práškom, radiačné vytvrdzovanie. Náterové aplikácie zahŕňajú hlavne povlaky používané v automobilovom priemysle, námorníctve, na drevo, plast, cievky, obaly, magnetické drôty, izolačné laky a podobne. Ďalej zahŕňajú architektonické farby (interiér, exteriér, strechy, paluby) a špeciálne nátery.

Medzi atramentové aplikácie patrí kníhtlač, hĺbkotlač, digitálne a špeciálne atramenty. Produkty sa dajú využiť taktiež ako tonery (kvapalnú, suchú), textilné tlačiarenské pasty a podobne. Použitie pre tieto výrobky môžu byť aj ako aditíva pre zlepšenie pigmentovej disperzie a na pomoc pri vývoji farby pigmentov a farbív.

Ďalším odvetvím kde sa tieto produkty dajú využiť sú vlasové a stylingové prípravky pre zlepšenie odolnosti proti vode a ochranu proti slnečnému žiareniu. Ďalšie sú prípravky pre osobnú starostlivosť, ako je umývanie tela, telové mlieko a starostlivosť o pleť.

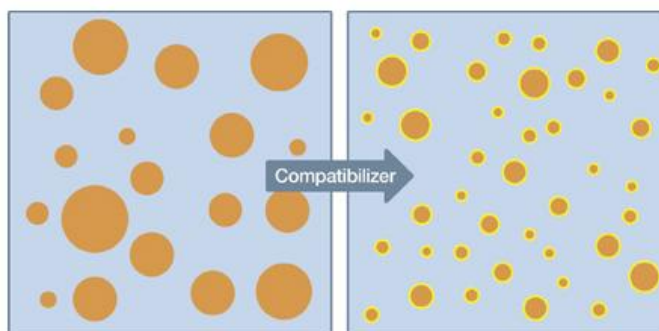
PP-g-MAH vyrobené ako plastové fólie sa používajú ako bariérové vrstvy vo viacvrstvových štruktúrach alebo ako spojovacie vrstvy na podporu adhézie.

Ďalšie využitie nachádzajú ako povrchovo aktívne látky, leštidlá (napr. na podlahy, nábytok, automobilové leštidlá) a modifikátory rázovej húževnatosti pre nylon alebo ako mazi-vo pre vlákna.

Uplatnenie týchto polymerov sa nachádza aj ako kondenzačné činidlá a kompatibilizátory, najmä pre kompatibilizáciu polárnych a nepolárnych polymérov, v polymérnych systémoch, ktoré obsahujú inertné plniva ako mastenec, uhličitán vápenatý alebo laminát. Taktiež sú to dispergátory pigmentu pre pigmentové polyméry. [15]

5.1 Kompatibilizátory

Hlavnou úlohou kompatibilizátorov je pôsobiť na rozhraní dvoch nekompatibilných polymérov. Ak ide o prípad zmesí, výsledkom je menšia veľkosť rozptýlenej domény, čo je dôsledkom zlepšenia mechanických vlastností (Obr. 9). [24]



Obr. 9 Účinok kompatibilizátoru [29]

Jednou z najúspešnejších techník kompatibilizácie je použitie roubovaného kopolyméru MAH. Kompatibilizátory, ktoré nazývame aj ako spojovacie činidlá, sú prísady, ktoré po pridaní do zmesi nemiesateľných látok počas procesu vytlačovania modifikujú ich vlastnosti a stabilizujú ich po roztavení.

Výhodou týchto materiálov je, že dokážu podstatne zlepšovať vlastnosti zmesi taveniny medzi rôznymi materiálmi. Vlastnosti materiálov v zmesiach sú dané ich morfológiou, ktorá popisuje ako sa polymér alebo aditívna fáza začleňuje a disperguje do inej polymérnej fáze.

Termoplastické MAH kopolyméry ponúkajú veľmi účinný prostriedok k zmene odlišnej fáze a zlepšujú tepelné, fyzikálne a optické vlastnosti zmesi polyméru. [29]

5.1.1 Kompatibilizátory vo forme prášku

Prášková forma je špeciálne navrhnutá, aby kompatibilizátor pracoval ako chemické kupačné činidlo pre taveniny zmesí PP a PE s anorganickými prísadami alebo plnivami, s prírodnými a sklenenými vláknami, drevenou múčkou, papierovými vláknami a s mnoho ďalšími materiálmi. Inou výhodou práškovej formy je, že vedie k rovnomernosti suchej zmesi a zabraňuje segregácii komponentu pri zamiešavaní práškovej zložky pri príprave do extrudéru. Koniec segregácie nastáva, keď sa oddeľujú častice v dôsledku rozdielu ich veľkosti, hustoty a tvaru. [29]

Materiál má vysokú molekulovú hmotnosť a preto vykazuje vysokú húževnatosť. Je vyrobený vo forme prášku s roubovanými polárnymi skupinami pre lepší výkon v špeciálnych aplikáciách. Je charakteristický vynikajúcou mechanickou pevnosťou, odolnosťou proti nasiakavosti a teplu, taktiež je odolný voči zásadám, kyselinám a organickým soliam. Používa sa hlavne na farby a nátery, v kozmetike a textile. [30]

Tieto kompatibilizátory sa dajú okrem práškovej formy vyrábať aj ako pelety. Majú veľmi podobné vlastnosti ako tie v práškovej forme. [29]

5.1.2 Kompatibilizátor do sklenených vlákien PP

Využitie kompozitu sklenených vlákien PP sa v poslednej dobe veľmi rozrástlo a to hlavne kvôli ich výhodám oproti bežným materiálom. Jedným z hlavných problémov pri ich výrobe je adhézia medzi zložkami. Je potrebné, aby sa kompatibilizovala nepolárna matrica PP s polárnym povrchom sklenených vlákien. Musia sa používať kopulačné činidlá, ako je PP-g-MAH, ktoré zvýšia adhézne vlastnosti. PP-g-MAH je najúčinnnejšie činidlo. Zvyčajne sa naštepí na kostru PP. Použitie PP vystuženého sklenenými vláknami sa používa v mnohých odvetviach ako je automobilový priemysel, hlavne pre výrobu zložitých tvarov s nízkou hmotnosťou za nízke náklady. Adhézia medzi vláknom a matricou sa kvantifikuje pomocou medzifázovej šmykovej pevnosti (IFSS). Dobrá adhézia ponúka lepší prenos napätia medzi vláknom a matricou a zlepšuje silu kompozitu. Bolo dokázané, že medzifázová šmyková pevnosť sa skutočne zlepšuje so zvyšovaním koncentrácie PP-g-MAH. Najvyššia hodnota IFSS bola dosiahnutá pre 5 % PP-g-MAH, pri tlaku 16,17 MPa v porovnaní s 6,47 MPa pre 0 % PP-g-MAH. Tieto výsledky dokazujú účinnosť PP-g-MAH takže až 5 % by významne ovplyvnilo termomechanické vlastnosti matrice. [19]

5.1.3 Kompatibilizátor do bariérových obalov

Výroba plastových výrobkov určených na obaly s vysoko bariérovými vlastnosťami sa väčšinou vyrába z vrstvených materiálov s využitím koextrúzných procesov. Viacvrstvá štruktúra takýchto produktov sa dá získať ak skombinujeme rôzne vrstvy v matrici pred ich vytlačením ako predlisok. Takýto predlisok sa ďalej vyfúkne a tvaruje vo forme až na konečný produkt. Na výrobu takejto viacvrstvovej štruktúry je zapotrebi aspoň dva vytlačovacie stroje s niekoľkými pomocnými systémami. Ide o zložité a nákladné technológie a konečné materiály sú ťažko recyklovateľné. Dôležité sú tiež adhézne vrstvy, ktoré musia dať dokopy funkčné vrstvy s konštrukčnými vrstvami. Vytlačovanie polyméru vyzerá ako

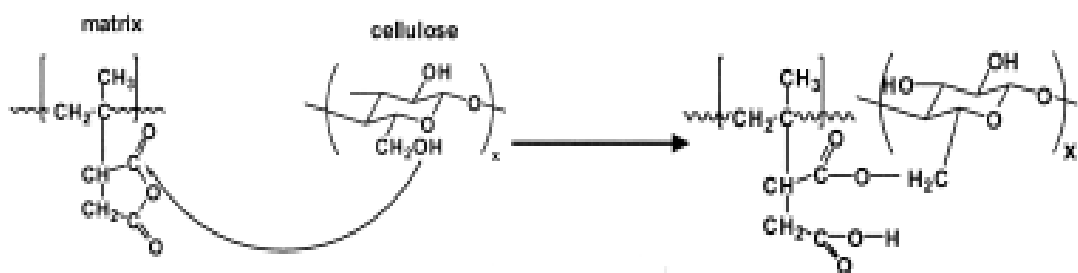
vhodnejšia alternatíva, ktorá je výhodná v tom, že umožňuje nastavenie vlastností materiálu v závislosti od požadovanej konkrétnej aplikácie a recyklácie konečného produktu.

Pridanie malého množstva materiálu s dobrými bariérovými vlastnosťami ako je PP alebo PE do polymérnej nízko nákladovej matrice môže viesť aj k nízkym nákladom konečného produktu so zlepšenými bariérovými vlastnosťami. PP a PE majú dobré mechanické vlastnosti a vynikajúce bariérové výkony vo vode a preto sú užitočné pre balenie potravín. Ich nevýhodou sú zlé bariérové vlastnosti pre kyslík (O_2) a oxid uhličitý (CO_2), čo ich v tejto oblasti celkom obmedzuje. Mechanické vlastnosti sa u filmov vylepšujú použitím komerčného kompatibilizátora PP-g-MAH. Bolo zistené, že ak sa polymér vyrobí vytlačaním s následným natiahnutím extrudovanej fólie na výstupe z matrice, získa sa film s bariérovými vlastnosťami. Vytvára dlhé a široké prekryté lamely po natiahnutí na matricu. Taktiež sa zistilo, že takáto kompatibilizácia vedie k zníženiu priepustnosti pre kyslík. Hlavným cieľom výroby takýchto filmov pomocou vytlačovania je získať morfológiu, ktorá ukazuje najvyššie bariérové vlastnosti. [20, 32]

5.2 Biokompozity

V posledných rokoch došlo k nárastu v oblasti vývoja, výskumu a aplikácií biokompozitov. Látka môže byť považovaná za biokompozit, ak obsahuje aspoň jednu zložku, ktorá pochádza z ľahko obnoviteľných zdrojov. Väčšina materiálov až okolo 95 % sa skladá z drevitej múčky alebo vlákien používaných na plnivá do termoplastov. Ako výstuž sa používajú vlákna z ľanu, konope, juty a kokosové vlákna. Niektoré vlákna sú ľahko dostupné a lacné, pretože sú už v odpade. Využívaním takýchto vlákien sa znižuje množstvo odpadu a šetrí sa energia pri výrobe materiálov nových. Látky ako biokompozity ponúkajú výhody ako dobré tepelne izolačné vlastnosti, nízka hustota a merná hmotnosť. V poslednej dobe sa ako dobrá alternatíva prírodných vlákien považujú aj zbytky poľných plodín ako je slama, ryžové šupky, kukuričné stonky alebo klasy. Sú vhodné do kompozitu drevo/plast. Hlavným cieľom pri zlučovaní termoplastov s drevenou múčkou je zvýšenie pevnosti a tuhosti. Ďalším zaujímavým materiálom, ktorý sa dá použiť je perie z hydiny. Majú výborné vlastnosti vďaka keratínovým vláknam ktoré obsahujú, sú nenákladné a preto sa používajú do mnohých kompozitných aplikácií ako sú interiéry a obloženia do automobilov, kancelárií a tovární. Nevýhodou použitia je, že tepelná stabilita použitia termoplastov ako je PP s vláknami peria je $195\text{ }^\circ\text{C}$. Avšak, miešanie taveniny a následné vstrekovanie plnených PP sa robí pri $200\text{ }^\circ\text{C}$ a viac, čím je vlákno peria na istý čas vystavené degradácií.

Najdôležitejšou úlohou v kompozite je vzájomné pôsobenie matrice a vlákna a sila ich prepojenia závisí od použitých kondenzačných činidiel. Podmienkou pre spojenie PP s kompozitným materiálom a biovláknom je spojenie polárnej celulózy s nepolárnou PP maticou a keratínovým vláknom. Nedostatok adhézie a chemickej kompatibility v kompozitnom systéme môže spôsobiť slabé rozhranie, čím sa môže oddeliť matica od vlákna. Pridanie väzobných činidiel zvyčajne slúži na zlepšenie medzifázovej zmáčateľnosti a pripojeniu polymérnej matrice k vláknu. Aby k tomuto spojeniu došlo je potrebné pridať MAH. Jeho použitie poskytuje účinnú kompatibilizáciu pre biokompozity pre zlepšenie medzifázovej interakcie medzi prírodným plnivom a maticou. MAH skupiny pripojené na PP reťazci sa viažu na hydroxylové skupiny (OH) na vláknach (Obr. 10). Zvýši sa tým pevnosť vlákien. V zmesi s celulórou OH skupiny porušia C-O väzbu v skupine MAH a vytvorí sa nová väzba medzi atómom uhlíka C od MAH a kyslíka O z celulózy. Zvýši sa tým väzba medzi maticou a vláknom. [29, 37]



Obr. 10 Schéma MAH skupiny spojovanej s hydroxylovou skupinou celulózy [34]

Reakcia PP-g-MAH môže prebiehať aj s perím teda s keratínom. Túto reakciu skúmal Schuster, ktorý pridával 2 % hmotnostné peria do PP-g-MAH (2 % hmotnostné MAH). Tavenina PP-g-MAH sa zmieša s vláknami peria a lisuje sa za horúca pri teplote 180°C tlaku 5 MPa. Už s tak malým pridaným množstvom sa pevnosť v ťahu zlepši o 50 % a energia nárazu o 20 %. [33, 34, 35]

5.3 Nátery pomocou elektrostatického spreja

PP sa nanáša na uhlíkovú oceľ pri izbovej teplote, aby sa dosiahlo rovnomerného povlaku. Substráty z ocele na ktorých je práškový povlak sa zahrievajú vo vákuovej peci pri rôznych teplotách až do 250°C pri určitom tlaku. Do PP sa pridáva MAH a DCP kvôli zmene chemickej štruktúry a lepším vlastnostiam. Najlepšie mechanické vlastnosti vykazuje PP s 5 % hmot. MAH. [36]

5.4 Metalizované viacvrstvé obaly

Homopolyméry boli rozsiahlo používané pre potravinárske a nepotravinárske obaly, vďaka ich žiadúcim vlastnostiam, ako sú odolnosť voči vlhkosti vzduchu a výborné mechanické vlastnosti. Avšak ich využitie malo určité nevýhody, napr. nedostatočne vysoká pevnosť zvaru a mnoho z nich je obtiažne pokryť kovovou vrstvou proti poškrabaniu na ochranu kovov. Pokiaľ by sa odstránili tieto nedostatky, umožnilo by to výrobu metalizovaných filmov oveľa vhodnejších pre baliace aplikácie. Takýmto materiálom je aj PP-g-MAH. Metalizovaná viacvrstvá fólia, obsahuje fóliový podklad, ktorý má v priereze stredovú vrstvu z izotaktického PP homopolyméru, ktorý je v zmesi s PP-g-MAH. Homopolymér PP by mal byť z 93 až 99 % izotaktický a mať kryštalinitu 70 až 80 %. Film má vynikajúce mechanické vlastnosti a používa sa na viacvrstvé obaly potravín alebo pri tvorbe vriec a kartónov. [38]

ZÁVER

PP má významné postavenie medzi plastmi, má široký obsah aplikácií, ponúka výborné vlastnosti a hlavne za nízku cenu. Najvýznamnejšia modifikácia je s anhydridom kyseliny maleínovej, ktorou sa táto práca zaoberala.

V práci boli zhrnuté poznatky o polypropyléne roubovanom maleinanhydridom (PP-g-MAH) so zameraním na výrobu, štruktúru, vlastnosti a aplikácie.

PP-g-MAH sa dá vyrábať viacerými spôsobmi. Bola popísaná výroba ultrazvukom bez prítomnosti iniciátora a reakčnou extrúziou z taveniny za použitia iniciátora. Môže sa taktiež pripravovať za prítomnosti peroxidov alebo metallocenených katalyzátorov.

V práci bola ďalej spomenutá kryštalizácia a štruktúra. PP-g-MAH kryštalizuje predovšetkým prostredníctvom heterogénnej nukleácie, teplota kryštalizácie je teda zpravidla vyššia než v prípade bežného izotaktického polypropylénu.

PP-g-MAH sa vyznačuje veľmi dobrými fyzikálnymi vlastnosťami.

Existuje široké spektrum jeho využitia, pričom najčastejšie sa používa ako kompatibilizátor na zvýšenie adhézných vlastností. Zlepšuje taktiež mechanické vlastnosti a vlastnosti zmesi taveniny medzi rôznymi materiálmi. Používa sa do sklenených vlákien, bariérových obalov ale aj ako biokompozit a v atramentových a náterových aplikáciách. Najdôležitejšie je dosiahnutie kompatibility medzi polárnymi skupinami MAH a nepolárnymi skupinami PP.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

1. Lenka Chvátalová, Controlling innovative polyolefin properties by structural transformations, disertační práce, Tomas Bata University in Zlín, Faculty of technology, 2011
2. Brydson, J.A. *Plastics Materials*. 3rd ed. London: Newnes-Butterworths, 1975, 721, ISBN 0 408 00142 9
3. Maier, C., Calafut, T. *Polypropylene The Definitive User's Guide and Databook*, William Andrew Publishing, Plastics Design Library, 1998, 425, ISBN 1-884207-58-8
4. Yazdani-Pedram, M., Vega, H., Quijada, R. *Macromolecular rapid communications: Functionalization of polypropylene by grafting with itaconic acid*, 1996, Vol. 17, issue 8, 577-582, ISSN 1521-3927, DOI: 10.1002/marc.1996.030170811
5. Rzaev, Z. *IRECHE: Graft Copolymers of Maleic Anhydride and Its Isostructural Analogues*, 2011, Vol. 3, No. 2, 153-215, ISSN 2035-1763
6. Henry, G.R.P., Drooghaag, X., Sclavons, M., et al. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 2008, Vol. 46, issue 9, 2936 - 2947, ISSN 1099-0518, DOI: 10.1002/pola22628
7. TechPlasty [online] dostupné z <http://www.techplasty.sk/material/polypropylen/pp-polypropylen> [cit. 8.5.2016]
8. Polypropylene [online] dostupné z <http://composite.about.com/od/Plastics/a/What-Is-Polypropylene.htm> [cit. 8.5.2016]
9. Karian, H.G. *Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites*. 2nd ed. New York: Marcel Dekker Inc., 2009, 653, ISBN 0-8247-4064-5
10. BPF [online] dostupné z <http://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/pp.aspx> [cit. 8.5.2016]
11. Petroleum [online] dostupné z <http://www.petroleum.cz/vyrobky/polypropylen.aspx> [cit. 8.5.2016]
12. Lou, J., Luo, Z. Li, Y. *Journal of Applied Polymer science: The effect of epoxy and tetramethyl thiuram disulfide on melt-grafting of maleic anhydride onto polypropylene by reactive extrusion*, 2016, Vol. 133, issue 22, ISSN 1097-4628, DOI: 10.1002/app.43422

13. Maleic Anhydride Chemical Structure [online] dostupné z https://www.google.cz/search?q=maleic+anhydride&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiwr5S6gPPMAhVMvhQKHbqQBn0Q_AUIBygB&biw=1366&bih=667#imgrc=3Pb3mrCBMouoZM%3A [cit. 8.5.2016]
14. Trivedi, B.C., Culbertson, B.M. Maleic Anhydride. New York: Springer Science + Business Media, 1982,819, ISBN 978-1-4757-0940-7
15. Baker Hughes Incorporated, Polypropylene having a high maleic anhydride content, Hanna, P., Truong D. US, patentový spis US 20060084764 A1, 20.04.2016
16. Chongprakobkit, S., Opaprakasit, M., Chuayjuljit, S. Journal of Metals, Materials and Minerals: Use of PP-g-MA Prepared by solution Process as Compatibilizer in Polypropylene/Polyamide 6 Blends, 2007, Vol. 17, No. 1, 9-16, ISSN 0857-6149
17. Berzin, F., Flat, J.J., Vergnes, B. Journal of Polymer Engineering: Grafting of maleic anhydride on polypropylene by reactive extrusion, 2013, Vol. 33, issue 8, 673-682, ISSN 2191-0340, DOI: 10.1515/polyeng-2013-0130
18. Atofina, Grafted isotactic polypropylene obtained by metallocene catalysis, Pradel, J.L. US, patentový spis US 20030040579 A1, 27.02.2003
19. AkzoNobel Polymer Chemistry [online] dostupné z https://www.akzonobel.com/polymer/our_products/polymer_additives/kayabrid/ [cit. 8.5.2016]
20. Maleic anhydride grafted polypropylene [online] dostupné z <https://www.linkedin.com/pulse/maleic-anhydride-grafted-polypropylene-pp-g-mah-kashif-bhatti> [cit. 8.5.2016]
21. Shi, D., Yang, J., Yao, Z., et al. Polymer: Functionalization of isotactic with maleic anhydride by reactive extrusion, 2001, Vol. 42, issue 13, 5549-5557, ISSN 0032-3861, DOI: 10.1016/S0032-3861(01)00069-6
22. Peng, B., Wu, H., Bao, W., et al. Polymer Engineering & Science: Ultrasound initiated maleic anhydride grafted onto a novel polypropylene copolymer, 2012, Vol. 52, issue 3, 518-524, ISSN 1548-2634, DOI: 10.1002/pen.22112
23. Ye, Y., Qian, J., Xu, Y. Journal of Polymer Research: Ultrasonic induced grafting of maleic anhydride onto polypropylene in melt state, 2011, Vol. 18, issue 6, 2023-2031, ISSN 1572-8935

24. Seo, Y., Kim, J., Kim, K.U., Kim, Y.Ch. Polymer: Study of the crystallization behaviors of polypropylene and maleic anhydride grafted polypropylene, 2000, Vol. 41, issue 7, 2639-2646, ISSN 0032-3861, DOI: 10.1016/S0032-3861(99)00425-5
25. Yu, J., He, J. Polymer: Crystallization kinetics of maleic anhydride grafted polypropylene ionomers, 2000, Vol. 41, issue 3, 891-898, ISSN 0032-3861, DOI: 10.1016/S0032-3861(99)00271-2
26. Běhálek, L. Polymery, Střední odborné učiliště Svitavy, Svitavy, 2014, ISBN 978-80-88058-68-7
27. Polypropylene [online] dostupné z <http://pslc.ws/macrog/pp.htm> [cit. 8.5.2016]
28. SpecialChem [online] dostupné z <http://polymer-additives.specialchem.com/product/a-addivant-polybond-3150> [cit. 8.5.2016]
29. Correa, C.A., Razzino, C.A., Hage, E. Journal of Thermoplastic Composite Materials: Role of Maleated Coupling Agents on the Interface Adhesion of Polypropylene-Wood Composites, 2007, Vol. 20, No. 3, 323-339, ISSN 1530-7980, DOI: 10.1177/0892705707078896
30. PolyGroup Inc. [online] dostupné z <http://www.polygroupinc.com/Pages/Compatibilizers.aspx> [cit. 8.5.2016]
31. Day, R., Reznik, S. Advanced Composite Materials and Technologies for Aerospace Applications. Glyndwr University, 2012, 141, ISBN 978-0-946881-76-5
32. Sierra, J.D., Osswald, T.A. et al. SPE/ANTEC Proceedings. UK: Plastics Bridging the Millennia, 1999, ISBN 9781566768047
33. Ait-Kadi, A., Bousmina, M., Yousefi, A.A., Mighri, F. Polymer Engineering & Science: High performance structured polymer barrier films obtained from compatibilized polypropylene/ethylene vinyl alcohol blends, 2007, Vol. 47, issue 7, 1114-1121, ISSN 1548-2634, DOI: 10.1002/pen.20794
34. Bullions, T.A., Gillespie, R.A., Price-O'Brien, J., Loos, A.C. Journal of Applied Polymer Science: The effect of maleic anhydride modified polypropylene on the mechanical properties of feather fiber, kraft pulp, polypropylene composites, 2004, Vol. 92, issue 6, 3771-3783, ISSN 1097-4628, DOI: 10.1002/app.20369
35. Bagheri, R., Golazar, M.A. Journal ESTEGHLAL: Mechanical Properties of Polypropylene Coating Containing Maleic Anhydride on Plain Carbon Steel, 2007, Vol. 25, No. 2, 191-204, ISSN 1025-2851

36. Salmah, H., Marliza, M.Z., Selvi, E. Biocomposites from Polypropylene and Corn Cob: Effect Maleic Anhydride Polypropylene. ACEM14, Korea, 24.-28.08.2014
37. Bullions, T.A., Gillespie, R.A., Price-O'Brien, J., Loos, A.C. Journal of Applied Polymer science: The effect of maleic anhydride modified polypropylene on the mechanical properties of feather fiber, kraft pulp, polypropylene composites, 2004, Vol. 92, issue 6, 3771-3783, ISSN 1097-4628, DOI: 10.1002/app.20369
38. PolymerAlloys [online] dostupné z <http://www.crayvalley.com/applications/compatibilization/polymer-polymer-alloys> [cit. 8.5.2016]

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

PE	Polyetylén
PP	Polypropylén
MAH	Anhydrid kyseliny maleínovej
PP-g-MAH	Polypropylén roubovaný maleinanhydridem
CH ₃	Metylová skupina
Da	Dalton
SAP	Číslo zmydelnenia
NaOH	Hydroxid draselný
ESI-MS	Elektrosprejová ionizačná spektrometria
DCP	Dikumylperoxid
HDPE	Vysokohustotný polyetylén
IFSS	Medzifázová šmyková pevnosť
O ₂	Kyslík
CO ₂	Oxid uhličitý
OH	Hydroxylová skupina
C	Uhlík
MPa	Megapascal

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1 Propylén [3].....</i>	11
<i>Obr. 2 Molekulárna štruktúra PP [12].....</i>	11
<i>Obr. 3 Maleinanhydrid [13].....</i>	12
<i>Obr. 4 Schéma polymerizácie [15].....</i>	14
<i>Obr. 5 Roubovanie AMK na PP [15].....</i>	15
<i>Obr. 6 Navrhované štepenie mechanizmu PP-g-MAH pomocou reaktívnej extrúzie [21].....</i>	16
<i>Obr. 7 Schéma postupu výroby [21].....</i>	17
<i>Obr. 8 Reakcia medzi MAH a PP retazcom [22].....</i>	18
<i>Obr. 9 Účinok kompatibilizátoru [29].....</i>	23
<i>Obr. 10 Schéma MAH skupiny spojovanej s hydroxylovou skupinou celulózy [34].....</i>	26

ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 1 Vlastnosti polypropylenu (PP) v závislosti na prostorovém uspořádání substituentů v makromolekule [26].....</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 2 Porovnanie vlastností PP a PP-g-MAH [28].....</i>	<i>21</i>