

Databáze pro identifikaci polymerů

Jakub Kalus

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

RESUMÉ

Anotace česky

Účelem práce bylo vytvořit databázi pro identifikaci polymerů, která by byla využitelná širokou veřejností. Byl vytvořen soubor specifických analytických zkoušek, který jednoduchým způsobem umožňuje rozlišení většiny běžných plastů.

Anotace ve světovém jazyce

The aim of this work was to compile database for polymer identification, which could be used by general community. A set of specific analytic methods, which enables identification of the majority of plastics by simple ways, was introduced.

Děkuji všem kolegům, kteří se spolupodílejí na Expertním systému identifikace polymerů.

Děkuji také těm, kteří přispěli radami nebo vzorky plastů ke správnému nastavení systému.

Vysoce si cením spolupráce s Romanem Čermákem, vedoucím této bakalářské práce.

Děkuji.

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

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

Ve Zlíně, 24. května 2005

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD.....	6
1 TABULKA VLASTNOSTÍ.....	8
2 PROVEDENÍ IDENTIFIKACE	12
2.1 PŘÍPRAVA VZORKU K IDENTIFIKACI.....	13
2.2 RECYKLAČNÍ TROJÚHELNÍK	14
2.3 OPTICKÉ VLASTNOSTI	15
2.4 OMAK MATERIÁLU.....	17
2.5 HOUŽEVNATOST MATERIÁLU	19
2.5.1 Odříznutí třísky	20
2.5.2 Vlastnosti třísky.....	21
2.6 VPICH KOVOVÉHO HROTU	22
2.7 CHOVÁNÍ VE VODĚ	25
2.8 LEPENÍ	27
2.9 ZKOUŠKY S PLAMENEM.....	30
2.9.1 Hořlavost	30
2.9.2 Barva plamene	33
2.9.3 Kouř při hoření	34
2.9.4 Odkapávání a vlastnosti taveniny.....	36
2.9.4.1 Odkapávání taveniny	38
2.9.4.2 Vlastnosti dopadnuté taveniny	38
2.9.5 Zápach po zhasnutí.....	39
2.9.6 Vytáhnutí vlákna	41
2.9.7 Zbytek po sfouknutí.....	43
ZÁVĚR	45
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	46
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	47
SEZNAM PŘÍLOH.....	48

ÚVOD

Plasty se staly již před mnoha lety běžnou součástí našeho života. Najdeme je v domácnosti, v průmyslu stejně jako na oběžné dráze. Posunuly hranice a otevřely nové oblasti, bez kterých bychom sotva mohli nazvat dnešní dobu moderní. Ať chceme či nikoliv, vydobýly si pevné místo po boku kamene i oceli.

S jejich nástupem však nastaly i nové problémy. Všichni je známe. Čerpání fosilních surovin, znečišťování krajiny plastovými odpady. Oboje lze sice částečně vyřešit recyklací, která se už v mnoha případech úspěšně provádí, stále tu však zbývá ekonomická stránka, podle níž je výhodnější výroba panenského polymeru. V poslední řadě bohužel nestojí ani zodpovědný přístup společnosti k systematickému třídění odpadu.

Je-li recyklace jednodruhového odpadu prakticky vyřešena, neplatí to a zřejmě ani v budoucnu platit nebude pro směsný odpad. Pokud se vůbec zpracovává, vyžaduje to náročnější postupy; hotové výrobky navíc nikdy nemohou dosahovat kvality shodné s jednodruhovým recyklátem. Směsný odpad je tak nakonec často odsouzen na skládky nebo v lepším případě slouží jako energetická surovina. Můžeme proto jen doufat, že s úbytkem primárních zdrojů surovin se stane recyklace plastů prioritní záležitostí a s ní i zmíněné systematické třídění.

Zatímco u běžných materiálů obvykle stačí hrubé dělení na dřevo, sklo, železo, u plastů je situace odlišná. Je to pochopitelně z důvodu velkého počtu typů se zcela rozdílnými vlastnostmi. Přitom určení polymeru se ukazuje výhodné nejen kvůli zmíněné recyklaci nebo opravě, ale i celkové osvětě, uvědomění.

Samotná identifikace tedy představuje jistý problém. Moderní analytické metody sice umožňují rychle a přesně určit složení plastu, málokdo ale může takovou metodu použít. Samozřejmě, existují i klasické způsoby založené na systematickém analytickém rozboru. K většině z nich je však zapotřebí alespoň základní laboratorní vybavení včetně spousty chemikálií. Přitom množství polymerů, s nimiž se člověk běžně setkává, není vysoké. Jedná se o několik málo skupin. Především to jsou polyolefiny, dále styrenové plasty a samozřejmě polyvinylchlorid. Ostatní jsou zastoupeny v mnohem menší míře. Jde tedy jen o nalezení jednoduchého způsobu, podle něhož by bylo možné tyto a některé další základní polymery rozpoznávat.

Protože, jak se zdá, nic podobného není v současné době k dispozici, byla na základě výše popsané situace vypracována jednoduchá databáze pro identifikaci polymerů. Cílem bylo provedení v běžných podmínkách, použití snadno dostupných prostředků a přitom dostatečná rozlišovací schopnost. Celý systém sestává z několika jednoduchých zkoušek vlastností neznámého vzorku a je dostupný přes internetovou síť (v současné době na adrese <http://fyzika.ft.utb.cz/klic>), kde je uveden podrobný postup jednotlivých zkoušek. Po jejich provedení a zodpovězení otázek proběhne vyhodnocení a počítač zobrazí výsledek, tedy identifikovaný polymer. Velkou výhodou přitom je, že není nutné provádět zkoušky všechny. Při provedení méně zkoušek se jen sníží pravděpodobnost správnosti výsledku identifikovaného polymeru, jenž se zobrazí i s procentuální pravděpodobností spolu s dalšími možnými polymery. Vlastního naprogramování expertního systému se úspěšně zhostil Radim Mikulaj z Ústavu informačních technologií, bez jehož spolupráce by tato kooperace chemie a výpočetní techniky nemohla vzniknout.

V této práci jsou zveřejněny všechny důležité materiály *Expertního systému identifikace polymerů*. První částí je tabulka vlastností, sloužící pro vlastní funkci systému. V dalších částech najde čtenář pokyny pro správné provedení a pochopení identifikace.

1 TABULKA VLASTNOSTÍ

Tabulka vlastností (viz dále) slouží jako podklad při vyhodnocení neznámého polymeru. Na každou zkoušku existuje otázka s výběrem odpovědi. Ty byly navrženy podle chování více vzorků téhož polymeru, aby se zamezilo chybám v důsledku rozdílných výrobních technologií.

V prvním, druhém a čtvrtém řádku tabulky jsou uvedeny zkratky, názvy a možná označení jednotlivých polymerů. V prvním sloupci jsou vypsány otázky a pod nimi vždy možné odpovědi. Za každou otázkou následují v druhém až pátém sloupci čtyři písmena A nebo N, která vymezují tvary, pro něž bude otázka položena. Jednotlivé tvary jsou v pořadí vlákno, fólie, blok a pěna, přičemž písmeno A znamená, že pro daný tvar bude otázka položena a N, že otázka položena nebude.

V šestém sloupci následuje vnoření, tedy zda položení otázky závisí na odpovědi otázky předchozí. V sedmém sloupci je odkaz na otázky s vnořením o jedno menší a konečně v osmém sloupci jméno souboru, který danou zkoušku popisuje.

Odpovědi na otázky jsou hodnoceny čísly –5 až 5, přičemž hodnota –5 danou možnost odpovědi s nejvyšší pravděpodobností vylučuje a hodnota 5 naopak silně podporuje. Odpovědi jednotlivých zkoušek se pro každý polymer hodnotí právě v tomto rozmezí.

Zkratka	LDPE	HDPE	PP	PVC_T	PVC_M	PS	HIPS
Název	polyethylen o nízké hustotě	polyethylen o vysoké hustotě	polypropy- len	polyvinyl- chlorid tvrdý	polyvinyl- chlorid měkčený	polystyren standardní	polystyren houževnatý
Recyklační trojúhelník	A	A	A	A	L0		trojuheln
Možné označení polymeru	LDPE/4/04	HDPE/2/02	PP/5/05	PVC/3/03	PVC/3/03	PS/6/06	PS/HIPS/6/06
Optické vlastnosti	N	N	A	N	L0		optvlastn
průhledný	0	0	0	0	0	1	-2
průsvitný	0	0	0	0	0	0	0
neprůsvitný, světlý	0	0	0	0	0	0	0
neprůsvitný, tmavý	0	0	0	0	0	0	0
Omak materiálu	N	N	A	N	L0		omakmater
voskový	2	1	-1	-1	0	-1	-1
kaučukový	-2	-2	-2	-2	2	-3	-3
tvrdý	-1	0	1	1	-2	2	2
Odfříznutí třísky	N	A	A	N	L0		odtrisky
lze provést	3	3	3	3	3	1	2
nelze provést	-3	-3	-3	-2	-3	-2	-2
Vlastnoti třísky	N	A	A	N	L1	1	vlastntri
houževnatá	3	3	2	1	3	-2	2
křehká	-3	-3	-2	-2	-3	2	-2
Vpich kovového hrotu	N	A	A	N	L0		vpichhrot
otvor se zacílí	-2	-2	-2	-2	2	-2	-2
vpich nelze provést nebo se otvor nezacílí	2	2	2	2	-2	2	2
Chování ve vodě	A	A	A	N	L0		chovevode
plave	3	2	3	-3	-3	-3	-3
neplave	-3	-2	-3	3	3	3	3
Lepení	A	A	A	A	L0		lepenivzo
lze provést	-3	-3	-3	-2	0	3	3
nelze provést	3	3	3	2	0	-3	-3
ethanol, konc.	A	A	A	A	L1	1	lepenivzo
ano	-4	-4	-4	-4	-3	-4	-4
ne	4	4	4	4	3	4	4
benzín	A	A	A	A	L1	1	lepenivzo
ano	-3	-3	-3	-3	-1	2	2
ne	3	3	3	3	1	-2	-2
toluen	A	A	A	A	L1	1	lepenivzo
ano	-3	-3	-3	-2	0	4	3
ne	3	3	3	2	0	-4	-3
aceton	A	A	A	A	L1	1	lepenivzo
ano	-3	-3	-3	-2	0	4	4
ne	3	3	3	2	0	-4	-4
Hořlavost	A	A	A	A	L0		horlavost
po zapálení a vyjmutí z plamene dále hoří	2	2	3	-1	1	3	3
v plameni hoří, po vyjmutí z plamene postupně uhasíná	-1	-1	-3	3	2	-2	-2
v plameni hoří, po vyjmutí z plamene ihned uhasne	-3	-3	-4	-2	-3	-3	-3
Barva plamene	A	A	A	A	L0		barvaplam
svítivý plamen, bez základny	-2	-2	-2	-1	-1	2	2
svítivý plamen, modrá nebo zelená základna	2	2	2	1	1	1	1
nesvítivý modrý plamen	0	0	-2	-3	-3	-4	-4
Kouř při hoření	A	A	A	A	L0		kourhoren
tmavý, čadivý, saze ve vzduchu	-3	-3	-3	-1	-1	3	3
intenzivní, tmavý	-2	-2	-2	3	2	2	2
světlý	-1	-1	-1	-1	-1	-3	-3
málo zřejmý nebo žádný	3	3	3	-3	-3	-4	-4
Tavenina odkapává	A	A	A	A	L0		tavodkapa
ano	3	3	3	-2	-2	1	1
ne	-3	-3	-3	2	2	-1	-1
Vlastnosti dopadlé taveniny	A	A	A	A	L1	1	vlastntav
placka, lze mírně ohnout	2	-2	-2	0	0	-1	-1
placka, mírným ohybem praskne	-1	-1	2	0	0	1	1
šupina se zdvihlými okraji, zmáčknutím praskne	-3	2	-3	0	0	-2	-2
kuličky nebo pecky	-2	1	-2	0	0	-1	-1
Zápach po zhasnutí	A	A	A	A	L0		zapachzha
po parafinu	2	2	2	-2	-2	-2	-2
kyselý	-2	-2	-2	2	2	-2	-2
po styrenu	-2	-2	-2	-2	-2	2	2
po dentakrylu	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
medový	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
fenolický	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
štiplavý	-1	-1	-1	1	1	-2	-2
po spálení rohovině	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
po žluklém másle	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
po amoniaku	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
fenolický a jako doutnající dřevo	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
jako doutnající papír	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
neurčitý	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
Vytáhnutí vlákna	A	A	A	A	L0		vytvlakna
lze provést	2	1	2	-2	-1	1	1
nelze provést	-2	-1	-2	2	1	-1	-1
Zbytek po sfouknutí	A	A	A	A	L0		zbyposfou
hladký, nahnědlé barvy	2	2	2	-2	-2	-2	-2
drsňý, nahnědlé barvy	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
černý	-2	0	-2	2	2	2	2
očazený	-3	-3	-3	1	1	3	3
doutná a zanechává popel	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3

Zkratka	ABS	SAN	PMMA	PETP	PC	PA	POM
Název	terpolymer akrylonitril- butadien- styren	kopolymer styren- akrylonitril	polymethyl- methakrylát	polyethylen- tereftalát	polykarbo- nát	polyamid	polyoxy- methylen
Recyklační trojúhelník							
Možné označení polymeru	ABS/7/07	SAN/7/07	PMMA/7/07	PET/PETP/1	PC/7/07	PA/7/07	POM/7/07
Optické vlastnosti							
průhledný	-2	2	2	1	1	-1	-2
průsvitný	0	1	1	0	0	0	0
neprůsvitný, světlý	0	-1	-1	0	0	0	0
neprůsvitný, tmavý	0	-1	-1	0	-1	0	0
Omak materiálu							
voskový	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-1
kaučukový	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-2
tvrdý	2	2	2	2	2	1	1
Odrážnutí třísky							
lze provést	2	-2	-2	2	3	3	3
nelze provést	-2	2	2	-2	-3	-3	-3
Vlastnoti třísky							
houževnatá	2	-2	-3	2	2	3	3
křehká	-2	2	3	-2	-2	-3	-3
Vpich kovového hrotu							
otvor se zacelí	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-2
vpich nelze provést nebo se otvor nezacelí	2	2	3	2	2	2	2
Chování ve vodě							
plave	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
neplave	3	3	3	3	3	3	3
Lepení							
lze provést	3	3	-2	-3	3	-3	-3
nelze provést	-3	-3	2	3	-3	3	3
ethanol, konc.							
ano	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
ne	4	4	4	4	4	4	4
benzín							
ano	-2	-2	-2	-4	-2	-4	-4
ne	2	2	2	4	2	4	4
toluen							
ano	3	3	-2	-4	4	-4	-4
ne	-3	-3	2	4	-4	4	4
aceton							
ano	4	4	-2	-4	4	-4	-4
ne	-4	-4	2	4	-4	4	4
Hořlavost							
po zapálení a vyjmutí z plamene dále hoří	3	3	3	2	-1	2	2
v plameni hoří, po vyjmutí z plamene postupně uhasíná	-2	-2	-2	1	1	-1	-2
v plameni hoří, po vyjmutí z plamene ihned uhasne	-3	-3	-3	-2	0	-3	-3
Barva plamene							
svítivý plamen, bez základny	2	2	0	1	1	0	-4
svítivý plamen, modrá nebo zelená základna	1	1	1	2	0	1	0
nesvítivý modrý plamen	-4	-4	-3	-3	-3	-2	3
Kouř při hoření							
tmavý, čadivý, saze ve vzduchu	3	3	-3	2	2	-3	-4
intenzivní, tmavý	2	2	-2	1	1	-2	-3
světlý	-3	-3	1	-1	-1	1	-1
málo zřejmý nebo žádný	-4	-4	3	-2	-2	2	4
Tavenina odkapává							
ano	1	1	-3	1	-2	2	0
ne	-1	-1	3	-1	2	-2	-1
Vlastnosti dopadlé taveniny							
placka, lze mírně ohnout	-1	-1	0	-2	0	1	-1
placka, mírným ohybem praskne	1	1	0	2	0	0	-1
šupina se zdvihlými okraji, zmáčknutím praskne	-2	-2	0	-2	0	-2	-2
kuličky nebo pecky	-1	-1	0	-1	0	0	1
Zápach po zhasnutí							
po parafinu	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
kyselý	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1
po styrenu	2	2	-2	-2	-2	-2	-2
po dentakrylu	-2	-2	2	-2	-2	-2	-2
medový	-2	-2	-2	2	-2	-2	-2
fenolický	-2	-2	-2	-2	2	-2	-2
štiplavý	-2	-2	-2	-1	-1	-1	2
po spálení rohovině	-2	-2	-2	-2	-2	2	-2
po žluklém másle	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
po amoniaku	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
fenolický a jako doutnající dřevo	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
jako doutnající papír	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
neurčitý	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
Vytáhnutí vlákna							
lze provést	1	2	-2	2	2	2	1
nelze provést	-1	-2	2	-2	-1	-2	-1
Zbytek po sfouknutí							
hladký, nahnědlé barvy	-2	-2	-1	-2	-2	1	-1
drsňý, nahnědlé barvy	-2	-2	2	-2	-2	-1	2
černý	2	2	-2	2	2	-1	-2
očazený	3	3	-2	1	1	-2	-3
doutná a zanechává popel	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3

Zkratka	PTFE	PVB	PF	UF	MF	CEL	SIK
Název	polytetrafluorethylen	polyvinylbutyral měkčený	fenolformaldehydová pryskyřice	močovinoformaldehydová pryskyřice	melaminformaldehydová pryskyřice	celulóza, celofán	silikonový kaučuk
Recyklační trojúhelník							
Možné označení polymeru	PTFE/7/07	PVB/7/07	PF/7/07	UF/7/07	MF/7/07	PAP/20	SI/7/07
Optické vlastnosti							
průhledný	-2	0	-2	-2	-2	0	0
průsvitný	0	0	-2	-1	-1	0	0
neprůsvitný, světlý	0	-1	-1	2	2	0	0
neprůsvitný, tmavý	0	-1	2	-2	-2	0	0
Omak materiálu							
voskový	1	-1	-2	-2	-2	0	-1
kaučukový	-2	1	-3	-3	-3	0	2
tvrdý	0	-2	2	2	2	0	-2
Odrážnutí třísky							
lze provést	3	3	-3	-3	-3	3	3
nelze provést	-3	-3	3	3	3	-3	-3
Vlastnoti třísky							
houževnatá	3	3	-3	-3	-3	2	3
křehká	-3	-3	3	3	3	-2	-3
Vpich kovového hrotu							
otvor se zacelí	-1	2	-3	-3	-3	-2	3
vpich nelze provést nebo se otvor nezacelí	1	-2	3	3	3	2	-3
Chování ve vodě							
plave	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
neplave	3	3	3	3	3	3	3
Lepení							
lze provést	-3	2	-3	-3	-3	-3	-4
nelze provést	3	-2	3	3	3	3	4
ethanol, konc.							
ano	-4	4	-4	-4	-4	-4	-4
ne	4	-4	4	4	4	4	4
benzín							
ano	-4	0	-4	-4	-4	-4	-4
ne	4	0	4	4	4	4	4
toluen							
ano	-4	0	-4	-4	-4	-4	-4
ne	4	0	4	4	4	4	4
aceton							
ano	-4	3	-4	-4	-4	-4	-4
ne	4	-3	4	4	4	4	4
Hořlavost							
po zapálení a vyjmutí z plamene dále hoří	-4	2	1	-2	-2	3	2
v plameni hoří, po vyjmutí z plamene postupně uhasíná	0	-1	2	1	1	-1	-1
v plameni hoří, po vyjmutí z plamene ihned uhasne	3	-3	-2	2	2	-2	-2
Barva plamene							
svítivý plamen, bez základny	0	0	0	1	1	1	-1
svítivý plamen, modrá nebo zelená základna	0	2	2	0	0	0	2
nesvítivý modrý plamen	0	-3	-2	-2	-2	-3	-2
Kouř při hoření							
tmavý, čadivý, saze ve vzduchu	-4	-3	-3	-3	-3	-3	-2
intenzivní, tmavý	-4	-2	-2	-2	-2	-2	-2
světlý	-2	0	1	-1	-1	0	2
málo zřejmý nebo žádný	4	2	-1	1	1	1	1
Tavenina odkapává							
ano	-4	2	-4	-4	-4	-4	-3
ne	4	-2	4	4	4	4	3
Vlastnosti dopadlé taveniny							
placka, lze mírně ohnout	0	-2	0	0	0	0	0
placka, mírným ohybem praskne	0	2	0	0	0	0	0
šupina se zdvihlými okraji, zmáčknutím praskne	0	-2	0	0	0	0	0
kuličky nebo pecky	0	-1	0	0	0	0	0
Zápach po zhasnutí							
po parafinu	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
kyselý	1	-2	-2	-2	-2	-2	-2
po styrenu	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
po dentakrylu	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
medový	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
fenolický	-2	-2	1	-2	-2	-2	-2
štiplavý	0	-1	-1	-1	-1	-1	0
po spálení rohovině	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
po žluklém másle	-2	2	-2	-2	-2	-2	-2
po amoniaku	-2	-2	-2	2	2	-2	-2
fenolický a jako doutnající dřevo	-2	-2	2	-2	-2	-1	-2
jako doutnající papír	-2	-2	1	-2	-2	2	-2
neurčitý	0	-2	-2	-2	-2	-2	2
Vytáhnutí vlákna							
lze provést	-3	2	-3	-3	-3	-3	-2
nelze provést	3	-2	3	3	3	3	2
Zbytek po sfouknutí							
hladký, nahnědlé barvy	2	1	-1	-2	-2	-1	-2
drsňý, nahnědlé barvy	0	0	-1	-1	-1	-1	-2
černý	-2	-1	1	1	1	-1	-2
očázený	-3	-2	1	2	2	-2	-2
doutná a zanechává popel	-3	-3	3	-1	-1	3	2

2 PROVEDENÍ IDENTIFIKACE

Na dalších stranách je uveden celý postup identifikace neznámého vzorku polymeru od jeho přípravy k analýze až po praktický popis zkoušek. Postupy zkoušek se zobrazují jako *Help information* v levé části okna. Po provedení zkoušky se přes počítač vybere z několika možností zjištěné chování vzorku. Kdykoliv během vyplňování je možné zobrazit okamžitý výsledek identifikace. Jak tento postup vypadá je možné vidět v příloze P I a P II.

2.1 PŘÍPRAVA VZORKU K IDENTIFIKACI

Úspěšnému provedení identifikace neznámého polymeru předchází jeho příprava a následné zařazení ke správnému tvaru. Stejnou pozornost jako vlastní identifikaci je proto třeba věnovat i těmto krokům.

Příprava vzorku

Vzorek, jenž přichází k identifikaci musí být čistý a suchý. Nečistoty odstraníme mýdlem nebo organickými rozpouštědly (ethanol, benzín), vlhkost řádným vysušením. Bezpodmínečně nutné je též odstranění případného nátěru pomocí škrabky nebo přebroušení smirkem. Jsou-li na povrchu nálepky, etikety a jiné cizí materiály, odstraníme je též. Zbytků lepidla se zbavíme nejrychleji pomocí benzínu.

Zkoušky neprovádíme na zdegradovaném či jinak poškozeném povrchu plastu, pouze po jeho odstranění přebroušením.

Zařazení podle tvaru

Neznámý materiál dělíme podle tvaru do čtyř skupin a to na:

- *vlákno* – zde řadíme všechny textilie, provázky či lana
- *fólie* – nejčastěji se jedná o obalové materiály; za *fólii* považujeme materiál do tloušťky 0,25 mm
- *blok* – zde řadíme materiály nejrůznějších tvarů od kelímků až po trubky
- *pěna* – rozumíme materiál obsahující póry používaný převážně k izolačním účelům (tepelným, zvukovým, mechanickým)

2.2 RECYKLAČNÍ TROJÚHELNÍK [1]

Důvod volby zkoušky

Označení složení výrobku jeho výrobcem je informace, která nejrychleji vede ke správné identifikaci vzorku. Tato zkouška by se proto měla vždy provádět na prvním místě.

Provedení

Výrobek si dobře prohlédneme. Někde na jeho povrchu (nejčastěji na spodní straně) nebo na štítku nalezneme malý trojúhelník, jenž má uprostřed každé strany ve směru hodinových ručiček šipku. Někde v blízkosti tohoto trojúhelníku by měl být uveden číselný kód či zkratka daného polymeru, případně oboje. Zjištěnou informaci napíšeme do příslušného okénka nebo přímo vyhodnotíme podle níže uvedené tabulky.

Namísto recyklačního trojúhelníku můžeme najít i jiné symboly (kruh). Nenalezneme-li žádný symbol, hledáme čistě značku nebo číselný kód. Kód bývá od dalších případných číslic oddělen a dle polymeru má hodnotu 1 až 7 (viz tabulka).

Zkratky a číselné kódy polymerů:

Název polymeru	Zkratka	Číselný kód
polyethyltereftalát	PETP, PET	1
polyethylen o vysoké hustotě	HDPE	2
polyvinylchlorid	PVC	3
polyethylen o nízké hustotě	LDPE	4
polypropylen	PP	5
polystyren	PS	6
jiný polymer		7

Poznámky

- Najdeme-li na výrobku číselný kód hodnot 01-07, je situace analogická hodnotám 1-7.

Hodnocení odpovědí

Tato zkouška má proti ostatním nejvyšší hodnocení. Nevýhodou ale je, že recyklační symbol udává pouze obsah referentního polymeru, nelze tedy rozeznat standardní PS od houževnatého PS apod.

2.3 OPTICKÉ VLASTNOSTI [2, 3, 4]

Důvod zařazení zkoušky

Provedením zkoušky lze rozlišit styrenové plasty. Velký význam má zkouška také při identifikaci skupiny formaldehydových pryskyřic. Při zkoušce materiál zařadíme do jedné ze čtyř skupin. Zkouška se provede u vzorků tvaru *folie* a *blok*.

Princip

Optickými vlastnostmi polymerních materiálů se v této zkoušce rozumí jejich průhlednost (čirost), průsvitnost (zákal) nebo odstín. Jmenované vlastnosti závisejí na nadmolekulární struktuře materiálu a přítomnosti aditiv. Podle toho se může materiál jevit jako:

- 1) *Průhledný*. Tato situace je běžná u amorfních nebo málo krystalických polymerů, které neobsahují podstatné množství aditiv, hlavně plniv a barviv¹.
- 2) *Průsvitný* a to ze dvou možných příčin:
 - a) Materiál je tvořen vícefázovým systémem. To způsobuje, že při průchodu světla dochází k rozptylu a materiál se jeví zakalený. Tato situace nastane u krystalických polymerů, v nichž krystalické útvary v okolní amorfni oblasti fungují jako částice a světlo se na nich rozptyluje. Přesně tak se také chovají klasická plniva.
 - b) Materiál se ale může jevit průsvitný i ze zcela jiné příčiny, kterou je jeho povrchová úprava. Nejčastěji se jedná o dezénování nebo zdrsnění. Často se tak záměrně zvyšuje rozptyl na krycích sklech směrových, brzdových a ostatních světelných dopravních prostředků. Optické vlastnosti se také snižují stárnutím nebo mechanickým poškozením materiálu.
- 3) *Neprůsvitný, světlý nebo tmavý*. Materiál není ani průhledný, ani průsvitný, protože světlo dopadající na jeho povrch se odráží nebo pohlcuje. Popsaná situace nastane u vysoce krystalických či plněných materiálů a závisí také na jejich tloušťce.

¹ Existují však i plniva, která průhlednost nesnižují. Dokonce některá aditiva, tzv. vyjasňovací činidla, průhlednost naopak zvyšují. Působí jako zárodečná centra růstu krystalických útvarů, sférolitů. Tím počet sférolitů vzroste, ale jejich velikost je menší.

U některých materiálů je technologie plnění natolik ustálená, že se můžeme při identifikaci s výhodou spolehnout na jejich barevný odstín.

Provedení

Do vzdálenosti asi 1 cm za vzorek plastu umístíme text. Není-li možné text přečíst, podíváme se přes vzorek proti světlu (z okna). Pokud světlo přes vzorek ani neprosvítá, určíme odstín materiálu. Podle výsledku zkoušky hodnotíme materiál některou z odpovědí:

- *průhledný* – je možné přečíst text umístěný za vzorkem
- *průsvitný* – text umístěný za vzorkem není možné přečíst a současně při pohledu přes vzorek proti světlu světlo prosvítá
- *neprůsvitný, světlý* – vzorek je neprůhledný, neprůsvitný a má světlý odstín
- *neprůsvitný, tmavý* – vzorek je neprůhledný, neprůsvitný a má tmavý odstín

Hodnocení odpovědí

Polymerní materiály, které mají podle způsobu výroby nebo dalšího zpracování výsledné optické vlastnosti různé, mají hodnoty odpovědí voleny neutrálně, tj. hodnoceny číslem 0. Materiály vyvinuté pro optické účely nebo materiály tradičně vyráběné vysoce plněné a tudíž neprůhledné i neprůsvitné, mají váhu své odpovědi středně vysokou.

2.4 OMAK MATERIÁLU [2, 3, 5]

Důvod zařazení zkoušky

Většina polymerů má svůj charakteristický omak, do něhož se promítá mnoho vlivů z chemické i nadmolekulární stavby. Podle omaku je tedy možné polymery přímo identifikovat. Protože to ale vyžaduje dlouhodobější praxi a navíc výsledky nemusejí být spolehlivé z důvodu povrchových úprav, přítomnosti aditiv či degradace, sledují se při zkoušce jen jednoznačně odlišné vlastnosti. Zkouška se provede u vzorků tvaru *blok*.

Princip zkoušky

Omak materiálu je do značné míry subjektivní záležitost a jednotlivé druhy omaků se těžko zdůvodňují. Omezíme se proto jen na vyjmenování faktorů, které mohou omak nejvíce ovlivnit:

- 1) Tvrdost, která je definovaná jako odolnost materiálu proti vnikání cizího tělesa.
- 2) Modul pružnosti definovaný jako podíl napětí a napětím vyvolané deformace.
- 3) Uspořádání polymerních řetězců v nadmolekulární úrovni.
- 4) Fyzikálně chemické vlastnosti polymeru jako jsou polarita či povrchové napětí.

Podle popsaných faktorů může být omak materiálu:

- Tvrdý. Takový omak mají materiály ze skupiny termoplastů a reaktoplastů s vyšším modulem pružnosti.
- Voskový. Voskový omak najdeme u materiálů s nižším modulem. Do jisté míry závisí na uspořádání řetězců a jejich polaritě.
- Kaučukovitý. Ten mají materiály s velmi nízkým modulem, látky vysoce elastické, síťované i nesíťované elastomery a měkčené termoplasty. Důvodem kaučukovitého omaku u elastomerů je tzv. entropická elasticita, kterou způsobuje velké množství poloh, jež mohou řetězce zaujmout. U měkčených termoplastů je kaučukovitý omak projevem snížených mezimolekulárních sil a zvýšením ohebnosti řetězců (segmentů).

Provedení

Zkouška spočívá v ohmatání vzorku mezi prsty a zarytí nehtem palce do povrchu. Po provedení zkoušky vybereme některou z odpovědí:

- *voskový* - omak materiálu je podobný jako u voskové svíce, zarytím nehtem palce lze na povrchu vytvořit rýhu, ta však nemusí zůstat trvale
- *kaučukovitý* - materiál má typické vlastnosti kaučuku či pryže (snadná vratná deformace ve všech směrech)
- *tvrdý* - materiál je na omak tvrdý, nelze do něj nehtem vytlačit rýhu

Poznámky

- Zkouška se nejlépe provede na hladkém povrchu vzorku.
- Vytvořená rýha je obvykle málo znatelná, po zarytí nehtem si vzorek důkladně prohlédneme proti světlu.
- Protože mechanické vlastnosti plastů jsou silně závislé na teplotě, je nutné zkoušku provádět při pokojové teplotě, tj. asi při 20°C.

Hodnocení odpovědí

Přes subjektivní povahu zkoušky jsou odpovědi hodnoceny středními hodnotami. Rozlišení kaučukového a tvrdého omaku je jednoznačné, voskový omak zná každý, kdo měl někdy v ruce voskovou svíčku. Aditiva v běžně dostupných výrobcích pro nízké množství zkoušku neruší, vliv plniv se projevuje až při vyšší koncentraci. Protože všechny mechanické vlastnosti plastů jsou závislé na teplotě, je třeba dbát na provedení zkoušky při pokojové teplotě, při které byl systém nastaven. Její vliv na výsledek pak nemusíme uvažovat.

2.5 HOUŽEVNATOST MATERIÁLU [2, 3, 5, 6]

Důvod zařazení zkoušky

Zkouška se skládá ze dvou částí. V první části se zjistí, zda je možné ze vzorku plastu odebrat tenkou třísku. Pokud ano, provede druhá část, při níž se zjišťují mechanické vlastnosti třísky. Podle zjištěných mechanických reakcí materiálu je možné rozlišovat styrenové plasty nebo identifikovat formaldehydové pryskyřice. Zkouška se provede u vzorků tvaru *fólie* a *blok*.

Princip zkoušky

Jednou z významných mechanických vlastností tuhých materiálů je jejich houževnatost, což je schopnost odolávat bez porušení velkým mechanickým napětím a deformacím v oblasti plastické deformace. Pokud materiál takovou vlastnost má, označuje se jako houževnatý, pokud ne, označuje se jako křehký. Je však třeba zdůraznit, že toto dělení na houževnaté a křehké materiály není zcela správné, protože houževnatost je měřitelná veličina a křehkost nemusí být nutně chápána jako její opak.

Fyzikálně můžeme houževnatost definovat jako celkovou energii potřebnou k porušení tělesa. Na tom je také založeno její měření, které se u plastů nejčastěji provádí úderem kladiva. Podle způsobu upevnění vzorku se rozeznává houževnatost podle Charpyho nebo Izoda. Na vzorku s vrubem se měří houževnatost vrubová, na neporušeném vzorku houževnatost rázová.

Houževnatost je možné odhadovat také z jiných veličin. V případě modulu pružnosti platí hrubé pravidlo, že s rostoucím modulem houževnatost klesá a naopak přitom roste křehkost. Modul popisuje tuhost materiálu. Čím větší je modul pružnosti, tím je materiál tužší.

Houževnatost je silně závislá na teplotě a na obsahu aditiv, hlavně změkčovadel a plniv. Změkčovadla houževnatost zvyšují, u plniv je situace nejednoznačná, záleží na druhu a jejich množství v systému.

Zkouška se skládá ze dvou částí. Jejich provedením zařadíme materiál podle houževnatosti do jedné ze tří skupin.

V první části s názvem *Odříznutí třísky* se nejprve zjistí, zda je možné nožem nebo nůžkami odebrat tenkou třísku. Tím odlišíme velmi křehké materiály od ostatních. Pokud je možné třísku odebrat, zjišťujeme v další části s názvem *Vlastnosti třísky*, zda se tříska při ohybu láme. Tím odlišíme méně křehké materiály od houževnatých.

Poznámky

- Výsledek obou zkoušek ovlivňuje zdegradovaný povrch materiálu, proto je raději provedeme na vnitřní straně vzorku, anebo zdegradovanou vrstvu odstraníme, např. smirkovým papírem.
- Protože mechanické vlastnosti plastů jsou silně závislé na teplotě, je nutné zkoušky provádět při pokojové teplotě, tj. asi při 20°C.

Hodnocení odpovědí

Odpovědi jsou hodnoceny relativně vysoko. Je to umožněno rozlišováním zvlášť měkkčených a zvlášť neměkkčených termoplastů a plastů s modifikovanou houževnatostí (některé styrenové plasty). Množství plniv v běžných plastech houževnatost výrazně neovlivňuje, u tradičně vysoce plněných materiálů (pryskyřice) jiná situace ani nenastane, s jejich působením byl systém nastaven.

Protože všechny mechanické vlastnosti plastů jsou závislé na teplotě, je třeba dbát na provedení zkoušky při pokojové teplotě. Vliv teploty na výsledek pak nemusíme uvažovat. Na výsledek zkoušky má také významný vliv degradace polymeru. Protože však nastává spíše v povrchové vrstvě, jejím odstraněním, jak je také psáno v postupu, se vliv degradace ruší.

2.5.1 Odříznutí třísky

Použité pomůcky

- nůžky
- ostrý nůž, nejlépe modelářský, odlamovací

Provedení

Z okraje vzorku u tvaru *fólie* nebo z hrany u tvaru *blok* se pokusíme odříznout nožem tenkou třísku o šířce asi 1 mm a délky okolo 1 cm. Místo nože je možné v některých případech použít nůžky. Podle toho, zda je možné třísku odříznout, vybereme jednu z odpovědí:

- *lze provést* - je možné odříznout celistvou třísku požadovaných rozměrů
- *nelze provést* - tříska se při odebírání láme na velmi krátké úseky (1 mm), ostří nástroje „skáče“ po povrchu

2.5.2 Vlastnosti třísky**Provedení**

Třísku uchopíme v polovině její délky mezi špici nehtu palce a ukazovák pravé (levák pochopitelně levé) ruky, takže svírá s nehtem úhel 90°. Nyní třísku prsty druhé ruky přes nehet přehneme a k němu přitlačíme, čímž se zohnutá polovina třísky dostane s nehtem do rovnoběžné polohy. Podle reakce třísky na mechanické namáhání vybereme jednu z odpovědí:

- *houževnatá* - při ohybu tříska nepraskne
- *křehká* - při ohybu tříska praskne

Poznámky

- Protože mechanické vlastnosti plastů jsou silně závislé na teplotě, je nutné zkoušku provádět při pokojové teplotě, tj. asi při 20°C.
- Zohnutí třísky se provede pouze jedním směrem a nesmí se více opakovat.

2.6 VPICH KOVOVÉHO HROTU [2, 3, 5]

Důvod zařazení zkoušky

Význam této zkoušky spočívá především v možnosti rozlišení materiálů plastomerní a elastomerní povahy. Je to jediný jednoduchý a spolehlivý způsob odlišení elastomerů a měkčených termoplastů od ostatních polymerních materiálů. Zkouška se provede u vzorků tvaru *fólie* a *blok*.

Princip zkoušky

Zkouškou se sledují mechanické vlastnosti materiálu a to hned několik. První a nejdůležitější vlastností je tvrdost, odolnost materiálu proti vnikání cizích těles. Tvrdost se při přesném měření zjišťuje z podílu síly a plochy vytlačené do materiálu normovaným tělesem², tedy velmi podobně, jako v naší zkoušce.

Další vlastností je modul pružnosti, podíl napětí a napětím vyvolané deformace. Modul pružnosti popisuje především tuhost materiálu. Čím větší je modul pružnosti, tím je materiál tužší.

Poslední důležitou vlastností je elasticita, vratná deformace, což je schopnost materiálu odolávat bez porušení velkým deformačním silám.

Podle uvedených vlastností můžeme všechny polymerní materiály rozdělit do tří skupin:

- 1) Elastomery a měkčené termoplasty. Tyto materiály, zvláště elastomery, vykazují vysokou elasticitu, ale nízký modul pružnosti a tvrdost. U elastomerů to má za následek entropická elasticita způsobená velkým množstvím poloh, jež mohou řetězce zaujmout. U měkčených termoplastů je projevem snížených mezimolekulárních sil a zvýšené ohebnosti řetězců (segmentů).

² Jedná se o tzv. statickou metodu. Při dynamické metodě se tvrdost zjišťuje např. z odskoku pružného tělesa od měřeného materiálu. Existují ještě i další metody měření tvrdosti, tzv. vrypové. Všechny metody jsou do jisté míry uzanční, záleží na době a velikosti působících sil, tvaru tělesa apod., postupy jsou proto normovány.

- 2) Polymery s nízkým modulem. Tvrdost mají mnohem vyšší než elastomery a měkčené termoplasty, o elasticitě u nich už nelze hovořit. Typickými představiteli jsou polyolefiny.
- 3) Polymery s vyšším a vysokým modulem a tvrdostí, bez elastického chování. Vesměs se jedná o konstrukční materiály s nízkou ohebností řetězce. Při změně jeho konfigurace se musí překonávat silné mezimolekulární síly a rotace okolo jednoduchých vazeb je energeticky náročná.

Sledované parametry závisejí především na chemické struktuře, v níž se například projevuje vliv objemných bočních substituentů či mezimolekulární vazby a interakce. Na mechanické vlastnosti polymeru má samozřejmě vliv také nadmolekulární uspořádání řetězců.

Použité pomůcky

- ostrý kovový hrot, nejlépe na kružítku

Provedení

Pokud to tvrdost materiálu dovolí, kolmo na jeho povrch provedeme vpich kovového hrotu do hloubky alespoň 3 mm. Vzorky tenčí než 3 mm propíchneme. Po vytáhnutí hrotu sledujeme, zda se otvor zacelí. Podle toho vybereme jednu z odpovědí:

- *otvor se zacelí* - vpich lze provést, po vytáhnutí hrotu se otvor zacelí
- *vpich nelze provést nebo se otvor nezacelí* - vpichu brání tvrdost materiálu nebo po jeho provedení a vytáhnutí hrotu se otvor nezacelí

Poznámky

- Protože mechanické vlastnosti plastů jsou silně závislé na teplotě, je nutné zkoušku provádět při pokojové teplotě, tj. asi při 20°C.
- Zacelení otvoru očekáváme do 10 sekund.

Hodnocení odpovědí

Odpovědi jsou hodnoceny středními hodnotami. Vyhodnocení zkoušky je jednoznačné, vliv plniv u elastomerů ani měkčených termoplastů nebyl pozorován. Zkouška má však poněkud nižší vypovídací hodnotu.

Protože všechny mechanické vlastnosti plastů jsou závislé na teplotě, je třeba dbát na provedení zkoušky při pokojové teplotě, při které byl systém nastaven. Vliv teploty na výsledek pak nemusíme uvažovat.

2.7 CHOVÁNÍ VE VODĚ [2, 3]

Důvod volby zkoušky

Zkouška je nejrychlejší a nejjednodušší způsob oddělení polyolefinů od ostatních plastů. Pokud si uvědomíme, že polyolefiny jsou v současné době největší skupinou synteticky vyráběných polymerů pak je jasné, že pravděpodobnost jejich výskytu ve formě vzorku k identifikaci je vysoká. Tuto primitivní zkoušku pak můžeme považovat za nejdůležitější a měla by být prováděna vždy. Zkouška se provede u vzorků tvaru *vlákno*, *fólie* a *blok*.

Princip

Při zkoušce se porovnává měrná hmotnost³ vzorku plastu a hustota vody. Je-li měrná hmotnost plastu menší než je hustota vody⁴, bude plast na vodě plavat. Je-li ale větší, pak plast klesne ke dnu. Teoreticky může nastat i rovnost v hustotách obou látek. Bude to ale natolik ojedinělý a nestabilní případ, že jej není třeba uvažovat.

Z běžných plastů mají nižší hustotu než voda jen polyolefiny, budou tedy na vodě plavat. Jejich nízkou hustotu způsobuje jednoduchá uhlovodíková kostra, složená z atomů uhlíku a vodíku spojených jednoduchými meziatomárními vazbami. Struktura je navíc rozvolněná bočními skupinami u PP nebo větvením u PE.

Na rostoucí hustotu látky tedy má vliv:

- 1) Přítomnost těžších atomů v molekule. (PVC)
- 2) Rostoucí uspořádání („nahuštění“) struktury látky, u polymerů rostoucí krystalinita nadmolekulární struktury (podle tohoto pravidla by ve vodě neplavaly ani 100% krystalické polyolefiny).

Oba vlivy se samozřejmě mohou projevovat i současně. Takovým příkladem je PTFE s mimořádně vysokou hustotou zdůvodněnou obsahem těžkých atomů fluoru a vysokým stupněm krystalinity.

³ O hustotě mluvíme jen u homogenních materiálů, což plasty zrovna nebývají.

⁴ Hustota vody při pokojové teplotě, tj. 20°C, je asi 1000 kg/m³.

Použité pomůcky

- nádoba (kýbl, hrnek) s pitnou vodou, teploty asi při 20°C

Provedení

Zkoumaný vzorek pokojové teploty (asi 20°C) ponoříme pod hladinu vody v nádobě nebo jej do nádoby jednoduše vhodíme. Musíme však dbát na to, aby na povrchu neulpěly bublinky a aby voda skutečně pronikla do všech částí vzorku. Podle výsledku zkoušky vybereme jednu z odpovědí:

- *plave* – vzorek po ponoření nebo vhození do nádoby s vodou vyplave na hladinu
- *neplave* – vzorek po ponoření nebo vhození do nádoby s vodou klesne ke dnu

Poznámky

- Nemáme-li jistotu, zda ve vzorku není uzavřena vzduchová bublina, anebo jeho povrch je členitý, odřízneme nožem z okraje vzorku třísku a s tou zkoušku provedeme.
- Materiál tvaru *vlákno* ve vodě několikrát zmáčkne, aby došlo k nasání vody do celého objemu.
- U napěněných materiálů se zkouška neprovádí!

Hodnocení odpovědí

Váha odpovědí je volena vysoko. Mohlo by se sice zdát, že hlavní účel zkoušky, tj. odlišení polyolefinů, je silně omezen jejich plněním ovlivňujícím měrnou hmotnost. Ve skutečnosti se polyolefiny výrazně neplní a už vůbec ne plnivy vysoké hustoty. Výsledný vážený průměr hustot polymeru a plniva tak nakonec bývá nižší, než je hustota vody, plast tedy bude na vodě plavat.

Hustota, jak známo, silně závisí na teplotě. Protože se ale v postupu uvádí provedení zkoušky se vzorkem i vodou běžné teploty, tj. 20°C, nemůže být při jeho dodržení správnost výsledku snížena.

2.8 LEPENÍ [2, 3, 7]

Důvod zařazení zkoušky

Zkouška *Lepení* je obdobou tradiční zkoušky rozpustnosti vzorku v různých rozpouštědlech. Chování polymeru v rozpouštědle souvisí s jeho chemickou i nadmolekulární stavbou, která se tak nepřímým sleduje. Podle kombinace interakcí vzorku s rozpouštědly je možné některé polymery identifikovat. Zkouška se provede u vzorků všech tvarů.

Princip zkoušky

Rozpouštění vysokomolekulární látky je děj, při němž interaguje polymer s rozpouštědlem. Podle zákonů termodynamiky bude docházet k rozpouštění jen tehdy, je-li hodnota Gibbsovy energie záporná. Pokud se ale chceme v dalším popisu vyhnout matematickým vzorcům, shrňme teorii rozpouštění do následujících pravidel. Samovolnost rozpouštění závisí na:

- délce řetězce – s délkou řetězce (počtu jednotek tvořících řetězec) rozpustnost klesá
- příbuznosti polarity rozpouštědla a polymeru (známé pravidlo nízkomolekulárních sloučenin *podobné se rozpouští v podobném* sice u vysokomolekulárních platí také, občas ale selhává)
- hustotě uspořádání, která představuje odpor proti difúzi nízkomolekulární látky – s rostoucí krystalinitou rozpustnost klesá

V zásadě mohou při rozpouštění nastat tři situace⁵:

- 1) Polymer se v daném rozpouštědle rozpustí.
- 2) Rozpouštění se zastaví ve fázi zbotnění. Taková situace může nastat u řídce, avšak celistvě sesít'ovaných polymerů v důsledku zvýšení tlaku rozpínáním sítě. V jiném případě nejsou vhodné termodynamické podmínky pro rozpouštění (teplota).
- 3) Polymer se v daném rozpouštědle nerozpustí.

⁵ Chemickou reakci neuvažujeme, protože mezi rozpouštědly a polymery zařazenými do systému chemická reakce nenastane.

Při tradiční zkoušce rozpustnosti se vzorek vhodí do zkumavky s rozpouštědlem a sleduje se, zda se rozpouští či nikoliv. Pro urychlení se zkumavkou třepe. Zkoušku je možné provést za studena a podle výsledku zopakovat při vyšší teplotě.

Mezi některé nedostatky zkoušky patří značná časová náročnost. Pro znatelný úbytek vzorku rozpouštěním je třeba vždy alespoň několik minut. Dalším problémem je špatná viditelnost často bezbarvých vzorků ve zkumavce. Někdy se i stává, že vlivem paralaxy oblého dna zkumavky je vzorek přehlédnut a mylně považován za rozpuštěný.

Především jmenovaná negativa nemá modifikovaná zkouška rozpustnosti – lepení. Samozřejmě i ta má své nedostatky - možnost provedení jen za studena, nutnost mít větší kousky vzorku a další. Hlavním důvodem její volby však byla rychlost provedení spolu s dostupností použitých pomůcek. Zkouška je navíc uzanční, takže ani příliš nevadí, že rozpouštění může dojít jen do svého určitého stádia.

Při pozitivním výsledku zkoušky rozpouštědlo nejprve difunduje do povrchových vrstev materiálu, přičemž se vytvoří značně viskózní roztok. Po přiložení jiné části téhož materiálu nejprve opět dochází k narušení povrchu rozpouštědlem. V důsledku přitažlivých sil se roztoky z obou povrchů mísí a po odstranění rozpouštědla (odpařování s difusí) dojde k zafixování řetězců.

Použité pomůcky

- organická rozpouštědla: ethanol, konc., dostačující čistota *technický*, v nouzi lze použít alespoň 50% ethanol; benzín (*natural*, *technický*); toluen, dostačující čistota *technický*; aceton, dostačující čistota *technický*
- tyčinka, nejlépe skleněná, délky nutné k jejímu namočení v láhvi s rozpouštědlem

Bezpečnostní opatření

Rozpouštědla, se kterými budeme pracovat, patří mezi vysoce hořlavé látky a jsou navíc zdraví škodlivá při vdechování. Při zkoušce proto nejíme, nepijeme a především odstraníme z okolí všechny potenciálně nebezpečné zdroje ohně.

Provedení u tvaru blok

Jednu ze dvou částí vzorku potřeme pomocí tyčinky rozpouštědlem na ploše asi 1 cm² a na tuto plochu přitiskneme druhou část. Prsty stlačíme k sobě a asi jednu minutu podržíme.

Poté se snažíme obě části od sebe oddělit. Zkoušku provedeme s každým rozpouštědlem zvlášť, přičemž tyčinku po každém použití pečlivě otřeme bavlněným hadříkem. Zda ke slepení došlo či nikoliv určíme následovně:

- *došlo ke slepení* – obě části od sebe nelze odtrhnout, nebo k jejich odtržení použijeme sílu asi jako k odlepení lepicí pásky, nebo mezi oběma částmi po oddělení se táhnou vlákna, nebo je povrch vzorku po oddělení naleptaný, nehtem z něj škrábeme těstovitou hmotu
- *nedošlo ke slepení* – oddělení částí nic nebrání, resp. jen adheze rozpouštědla

Provedení u tvaru vlákno, fólie nebo pěna

Tyčinkou namočenou v rozpouštědle potřeme *vlákna*, *fólii* nebo *pěnu*. Pozitivní reakcí po potření, analogií *došlo ke slepení*, je destrukce povrchu materiálu. Ta se například projeví u *vlákna* jeho smrštěním, u *fólie* vznikem otvoru a u *pěny* vznikem důlku. Zkoušku provedeme s každým rozpouštědlem zvlášť, přičemž tyčinku po každém použití pečlivě otřeme bavlněným hadříkem.

Poznámky

- Vzorek musí být při zkoušce čistý a suchý. Případné povrchové úpravy nebo poškozený povrch odstraníme přebroušením smirkovým papírem, nečistotu mýdlem nebo rovněž přebroušením.
- Lepení provádíme nejlépe na rovné ploše vzorku.
- K úplnému slepení obou částí by došlo po několikahodinovém schnutí.

Hodnocení odpovědí

Odpovědi jsou hodnoceny relativně vysoko. Vyhodnocení není subjektivní, zkouška má pro zařazené polymery a rozpouštědla dostatečnou mez postřehu. U běžně dostupných plastů se neprojevuje vliv aditiv ani způsob výroby a následného zpracování.

2.9 ZKOUŠKY S PLAMENEM

Použité pomůcky

- čajová svíčka v hliníkovém kalíšku
- rovná kovová deska z oceli, nejlépe nerez, velikosti cca 150×200 mm a tloušťky asi 1 mm. Deska je položena např. na rozložených novinách na stole.
- menší kleště
- špachtle k očištění desky
- rukavice z husté bavlny nebo kůže
- ochranné brýle

Bezpečnostní opatření

Je na každém z nás, zda bude používat ochranné pomůcky. Roztavená, kapající a často hořící tavenina totiž způsobí na kůži popáleniny až III. stupně. S tím souvisí i protipožární prevence. Před začátkem práce s ohněm odstraníme z pracovní plochy rozpouštědla a jimi nasáklé hadry použité při zkoušce *Lepení*, neboť se jedná o nebezpečné hořlaviny! *Zkoušky s plamenem* provádíme nejlépe v místnosti bez průvanu. Při práci mějte vždy po ruce:

- jedlou sodu, NaHCO_3 , k případnému uhašení hořícího plastu jeho posypáním
- kýbl s vodou k uhašení hořících novin, ochlazení lehčí popáleniny. Bude se hodit i při dalších zkouškách.

2.9.1 Hořlavost [3, 8, 9]

Důvod zařazení zkoušky

Hořlavost spolu s ostatními zkouškami s plamenem patří mezi tradiční zkoušky používané k identifikaci polymerů. Samotná zkouška umožňuje hrubé rozdělení materiálů do tří skupin podle hořlavosti. Zkouška se provede u vzorků všech tvarů.

Princip

Hoření je z hlediska kvalitativního popisu složité, protože při něm probíhá současně několik dějů, které jsou v různých fázích hoření řídící, anebo probíhají navzájem v určité rovnováze. Mezi tyto děje patří:

- vlastní exotermní chemická reakce
- sdílení tepla vedením, prouděním a sáláním
- konvekční a difúzní sdílení hmoty

Při zkoušce zjišťujeme, zda polymerní materiál hoří a za jakých podmínek. Při zapalování vzorek obvykle umístíme do bezprostřední blízkosti plamene (svíčky). U polymeru začne probíhat degradace za současného uvolňování různě hořlavého nebo nehořlavého plynu. Dosáhne-li jeho koncentrace ve směsi se vzduchem (vzdušným kyslíkem) intervalu výbušnosti, charakteristické pro každý hořlavý plyn, dojde ke vzplanutí. To, zda se materiál vznítí, resp. zda bude hořet jen při dodávání vnější tepelné energie nebo zda bude hořet i po vyjmutí z plamene a s jakou intenzitou, závisí na energetické bilanci.

V zásadě mohou nastat čtyři situace:

- 1) Látka nehoří ani v plameni. To je důsledkem toho, že plyn není za podmínek zkoušky schopen hoření. Taková situace u plastů nenastává.
- 2) Látka hoří jen v plameni, po vyjmutí z něj ihned uhasne. Děje se tak proto, že uvolňovaný plyn při svém hoření není schopen dodat z nějaké příčiny dostatek energie potřebné k dalšímu rozkladu materiálu.
- 3) Látka po vyjmutí z plamene postupně uhasíná. Situace zde je podobná výše popsané, avšak systém se destabilizuje pomaleji. Příčiny postupného uhasnutí navíc mohou být i tyto:
 - a) v materiálu jsou přítomny retardéry hoření
 - b) při hoření vzniká vrstva, znemožňující kontakt uvolňovaného plynu se vzduchem.
- 4) Látka po vyjmutí z plamene dále hoří.

Některá aditiva přidávaná do polymerů mohou pozitivně nebo negativně ovlivňovat hořlavost. To má při identifikaci za následek posunutí plastu do jiné kategorie hořlavosti. Mezi taková aditiva patří na prvním místě retardéry hoření ve samozhášivých materiálech, s nimiž se ale zatím běžně nesetkáváme. Výjimku tvoří samozhášivý pěnový polystyren, používaný k tepelně izolačním účelům ve stavebnictví. Jedná se však o tak známý materiál,

že se ani nepředpokládá jeho identifikace. Další aditiva, která výrazně ovlivňují hoření, jsou změkčovadla. Protože ale v systému rozlišujeme měkčené a neměkčené termoplasty, je do hodnocení jejich vliv zahrnut.

Provedení

Vzorek plastu držíme v prstech nebo v kleštích, okrajem těsně nad žlutým plamenem svíčky. Je to z důvodu maximálního využití žáru plamene. Současně však nesmí dojít k ožehnutí vzorku plamenem svíčky, aby se na něm nevyloučil černý uhlík, který by posléze znesnadnil identifikaci.

Sledujeme hoření plastu nad plamenem a po vyjmutí nad kovovou deskou. Po provedení zkoušky vybereme některou z odpovědí:

- *po zapálení a vyjmutí z plamene dále hoří* – hoří dokud nedohoří nebo se nerozteče
- *v plameni hoří, po vyjmutí z plamene postupně uhasíná* – plast není schopen trvalého hoření a po vyjmutí z plamene různě rychle uhasne
- *v plameni hoří, po vyjmutí z plamene ihned uhasne* – plast hoří pouze nad plamenem svíčky nebo je vidět jeho ubývání, vlastní plamen nemusí být ani viditelný

Poznámky

- Ke zkoušce přistupujeme spíše s očekáváním hořlavosti, proto nebude-li vzorek hořet nebo bude zhasínat, zopakujeme zkoušku na jiné straně.
- U vzorků tvaru *blok* je ideální tloušťka materiálu 2-3 mm. Máme-li proto vzorek s větší tloušťkou a ten nehoří nebo po vyjmutí z plamene postupně zhasíná, opatrně jej nad svíčkou nahřejeme do změknutí (lze-li tak učinit) a po vytáhnutí z plamene jej zmáčkne čelistmi plochých kleští. Dále již pokračujeme uvedeným postupem.

Hodnocení odpovědí

Protože ve skutečnosti ovlivňuje hoření ještě daleko více různých faktorů, ať už je to tvar materiálu, jeho vlhkost a spousta dalších, které nelze žádným postupem eliminovat, byly při hodnocení odpovědí, ostatně jako u všech ostatních zkoušek, sledovány vlastnosti téhož polymeru pro různé aplikace. Výsledné hodnocení je tak určitým průměrem vlastností. Z uvedených důvodů je váha odpovědí volena spíše nižší.

2.9.2 Barva plamene [3, 10]

Důvod zařazení zkoušky

Každá hořlavá látka má podle své struktury charakteristické vlastnosti plamene. Toho také při požáru využívají zkušení hasiči k určení druhu hořící látky. Při této zkoušce se však plamen hořícího plastu hodnotí jen podle barev jednotlivých pásů a na základě toho se zařadí do některé ze tří skupin. Zkouška se provede u vzorků všech tvarů.

Princip

Hořící plasty mají podle svého složení rozdílnou barvu jádra a základny plamene, což v optimálním případě závisí pouze na chemické struktuře přítomného polymeru, resp. plynu, který se z něj uvolňuje. Podle jeho uvolňovaného množství a hořlavosti pak může nastat některá z následujících situací. Jádro plamene bude:

- 1) Svítivé, s barvou žlutou až červenou. Svítivou barvu plamene způsobují rozžhavené částice (uhlíku) vyletující z plamene. Tento případ nastává při neúplném prohoření paliva, tedy nevhodném poměru kyslíku a plynu. Obecně platí, že čím je proces spalování méně dokonalý, tím je plamen více červený.
- 2) Nesvítivé, s barvou světle modrou. Modrá barva jádra plamene je známkou dokonalého prohoření plynu.

V základně plamene je lepší kontakt plynu se vzdušným kyslíkem, proto zde nastává dokonalejší spalování. V této oblasti také můžeme pozorovat zbarvení plamene vlivem přítomnosti těkavých sloučenin halogenů nebo přísad v plastech, nejvíce plniv, barviv a změkčovačů. Podstatou plniv a barviv bývají anorganické sloučeniny kovů. Zvláště významné je proto zbarvení emisí elektromagnetického záření volnými atomy kovů těkavých solí. Všechny jmenované případy mohou způsobit zbarvení jen základny plamene. Zbarvení jádra svítivého plamene je téměř vyloučeno.

Provedení

Sledujeme barvu plamene a jeho základny. U zhasínajícího vzorku po vyjmutí z plamene, u hořícího vzorku v době po rozhoření a před případným odkapáváním taveniny. Po provedení zkoušky vybereme některou z odpovědí:

- *svítivý plamen, bez základny* – plast hoří pouze svítivým plamenem, modrá nebo zelená základna je téměř neznatelná
- *svítivý plamen, modrá nebo zelená základna* – nad hořícím plastem je nejprve nesvítivá modrá základna a nad tou vlastní svítivý plamen
- *nesvítivý modrý plamen* – v podstatě pouze modrá základna bez vlastního svítivého plamene

Poznámky

- Základna plamene má zpravidla modrou (zelenou) barvu, u hořící svíčky ji najdeme poblíž knotu. Jelikož nevydává téměř žádné světlo, mluvíme o nesvítivém plameni. Vlastní plamen se nalézá nad základnou a vydává žluté (oranžové, červené) světlo. Zde hovoříme o svítivém plameni.

Hodnocení odpovědí

Odpovědi jsou hodnoceny středními hodnotami, protože přítomnost základny plamene může být ovlivněna přísadami nebo dobou hoření. Vliv přísad na barvu základny se nemusí uvažovat, protože odpovědi jsou voleny pouze na přítomnost základny právě s ohledem na možný obsah těkavých látek.

2.9.3 Kouř při hoření [3, 10]

Důvod zařazení zkoušky

Při hoření polymerních materiálů vzniká kouř charakteristických vlastností. Jsou to jeho chemické složení a fyzikálně měřitelné veličiny, jako je například tepelná vodivost. V této zkoušce se soustředíme na jeho barvu, související s chemickým složením. Zkouška se provede u vzorků hořících po vyjmutí z plamene svíčky, tedy i u těch, které zhasínají.

Princip

Kouř je doprovodným jevem nedokonalého hoření. Je tvořen směsí plynů a pevných částic z nespáleného paliva nebo vedlejších produktů hoření. Přesné složení závisí na hořícím materiálu, teplotě při hoření a množství kyslíku. Protože zkouška probíhá za normálních

podmínek volným hořením na vzduchu s prakticky neměnným obsahem kyslíku, bude jeho působení na dynamiku i produkty hoření vždy stejné.

To jaký a kolik kouře při hoření polymeru vzniká tedy záleží hlavně na chemické struktuře polymeru a aditiv. Platí celkem spolehlivé pravidlo, že polymery s benzenovým jádrem v řetězci (PS, PETP, PC) produkují hustý, černý kouř se saze. Naopak polymery s jednoduchou uhlovodíkovou strukturou bez dvojných vazeb při volném hoření na vzduchu neuvolňují téměř žádný kouř. Příkladem jsou polyolefiny.

Plasty ovšem vedle polymeru obsahují také nejrozličnější aditiva. Tyto látky, které se mohou přímo účastnit na procesu hoření a výrazně tak přispívat k produkci kouře, jsou často organické povahy. Jsou to například změkčovadla, maziva, barviva, ale paradoxně to mohou být i retardéry hoření. Také zde do jisté míry platí již uvedené pravidlo o benzenovém jádře či jednoduché struktuře. Zcela odlišně působí další aditivum s širokým spektrem použití, saze. Při hoření plastu jsou jednoduše unášeny zplodinami.

Provedení

Sledujeme typ kouře. U zhasínajícího vzorku po vyjmutí z plamene po dobu jeho hoření, u hořícího vzorku v době po rozhoření a před případným odkapáváním taveniny. Podle výsledku zkoušky vybereme některou z odpovědí:

- *tmavý, čadivý, saze ve vzduchu* - pohledem proti bílé stěně či papíru je patrná tmavá barva čadivého kouře, v němž se vznášejí krátké nitky sazí
- *intenzivní, tmavý* - pohledem proti bílé stěně či papíru je patrná tmavá barva kouře
- *málo zřejmý nebo žádný* - z hořícího plastu vychází buď žádný, nebo jen nepatrný kouř

Poznámky

- Při hoření některých plastů vznikají černé saze, které po dopadu a rozetření špiní.

Hodnocení odpovědí

Odpovědi jsou hodnoceny relativně vysoko. Je to umožněno poměrně širokou škálou možných odpovědí a přitom jejich dobrým vzájemným rozlišením. Výsledek zkoušky ale může být zkreslen déletrvající dobou hoření, po které se může barva kouře změnit. Obsah

sazí se u běžných termoplastů obvykle neprojevuje, protože jsou na rozdíl od kaučuků dávkovány jen v malém množství. Totéž v podstatě platí i pro ostatní aditiva.

Ovlivnění barvy kouře dobou, resp. teplotou hoření se zamezí správným provedením zkoušky.

2.9.4 Odkapávání a vlastnosti taveniny [3, 7]

Důvody zkoušky

Zkouška se skládá ze dvou částí. V první části se zjistí, zda z hořícího plastu odkapává tavenina. V případě pozitivního výsledku se provede i druhá část, při níž se zjišťuje tvar a mechanické vlastnosti dopadnuté taveniny.

Provedení této zkoušky velmi výrazně přispívá ke správnému výsledku identifikace, protože odpovědi jsou překvapivě rozdílné i pro strukturně blízké polymery. Je to také jediný způsob odlišení jednotlivých polyolefinů. Z těchto důvodů by se mělo důsledně dbát na provádění zkoušky. Zkouška se provede u všech vzorků hořících po vyjmutí z plamene svíčky, tedy i u těch, které zhasínají.

Princip

Aby mohla při hoření plastu odkapávat tavenina, musí být nutně splněny tyto podmínky:

- Nesmí jít o sesíťovaný materiál (reaktoplasty, síťované elastomery). U takových látek chybí teplotní interval, ve kterém tepelný pohyb segmentů překonává mezimolekulární síly a látka začíná téci.
- Sdílením tepla mezi plamenem a hořícím povrchem plastu musí být dodáno takové množství tepla, které umožní vznik taveniny a navíc ji zahřeje na teplotu, při které je viskozita už tak nízká, že působením vnější síly tavenina teče.
- Působící vnější síla, v našem případě gravitační, musí překonat všechny síly poutající taveninu k povrchu plastu.

Na uvedených podmínkách se plast podílí chemickou a nadmolekulární strukturou polymeru a přítomností aditiv. Dalšími podmínkami je, aby důsledkem probíhajících dějů

nedocházelo na hořícím plastu ke vzniku vrstvy uhlíku, sazí a podobných produktů, které odkapávání omezují nebo úplně zastavují.

Odkápnutá tavenina se pádem (při zkoušce z výšky 20-30 cm) částečně ochladí, čímž poklesne její viskozita a polymer může přejít z taveniny (viskózního stavu) do některé jiné oblasti, teoreticky až do viskoelastické, tedy pod teplotu tání či tečení, charakteristické pro většinu polymerů za normálních podmínek. Podle teploty, resp. viskozity polymerní taveniny a dalších veličin, z nichž je důležité především povrchové napětí, dochází po dopadu ke zformování taveniny na nějaký geometrický tvar, který se dále určuje.

Posledním parametrem sledovaným při zkoušce jsou mechanické vlastnosti dopadnuté taveniny, pokud se zformuje na tvar „placka“. Sleduje se její houževnatost při mírném ohybu. To, zda plast při ohybu praskne závisí na jeho tloušťce⁶, chemické struktuře pozměněné termooxidativní degradací a novým uspořádáním řetězců v nadmolekulární úrovni.

Poznámky

- Je třeba připomenout nebezpečí popálení kapající taveninou, proto použijeme ochranné brýle a rukavice.

Hodnocení odpovědí

První část zkoušky, tedy *Odkapávání taveniny*, je hodnocena relativně vysoko. Umožňuje to jednoznačné vyhodnocení. Na druhou stranu výsledky mohou být ovlivněny molekulovou hmotností, modifikací mazivy nebo odlišným tvarem. To vše se může projevit i ve druhé části, *Vlastnosti dopadnuté taveniny*, která je proto hodnocena spíše středními hodnotami.

⁶ S rostoucí tloušťkou křehkého materiálu se zvětšuje poloměr ohybu, při kterém nedochází k lomu.

2.9.4.1 Odkapávání taveniny

Provedení u tvarů blok a pěna

Vzorek držíme nad kovovou deskou hořící stranou šikmo dolů. Sledujeme, zda po vyjmutí z plamene u zhasínajícího vzorku nebo po rozhoření u hořícího vzorku odkapává tavenina. Pokud ano, necháme na různá místa kovové podložky dopadnout z výšky asi 20–30 cm několik (10) kapek a poté hořící plast sfoukneme. Po provedení zkoušky vybereme jednu z odpovědí:

- *ano* - tavenina odkapává
- *ne* - tavenina neodkapává

Provedení u tvarů vlákno a fólie

Chumel vláken nebo provázky zakroutíme do válečku o rozměrech přibližně 0,5×8 cm. Dále již postupujeme stejným způsobem jako u tvarů *blok* a *pěna*.

Vzorek *fólie* nebo *vlákno* ve formě textilie nejprve několikrát přehneme a poté zakroutíme do válečku o rozměrech přibližně 0,5×8 cm. Dále již postupujeme stejným způsobem jako u tvarů *blok* a *pěna*.

2.9.4.2 Vlastnosti dopadnuté taveniny

Provedení

Určíme tvar a vyzkoušíme uvedené vlastnosti sloupnuté kapky. Po provedení zkoušky vybereme některou z odpovědí:

- *placka, lze mírně ohnout* - při mírném ohybu v prstech se chová pružně
- *placka, mírným ohybem praskne* - při mírném ohybu v prstech se chová křehce
- *šupina se zdvihlými okraji, zmáčknutím praskne* - jejím přitlačením k podložce praskne
- *kuličky nebo pecky* - tvar koule, kapek, půlpecek apod.

Poznámky

- K vyhodnocení tvaru a vlastností vybereme z kapek dopadnutých na podložku nejčastěji zastoupený tvar.

2.9.5 Zápach po zhasnutí [2, 3]**Důvody zkoušky**

Zápach zplodin je pro každý polymer natolik charakteristický, že je podle něj často možné okamžitě a přesně identifikovat neznámý vzorek. Zkouška se provede u všech vzorků, ať již hoří nad plamenem nebo po vyjmutí z něj.

Princip

Po sfouknutí plamene hořícího plastu dochází ještě krátký okamžik k uvolňování plynu, podílejícího se na hoření. Protože u každého polymeru probíhají při hoření jiné chemické reakce, jsou odlišné také jejich plynné produkty. Polymery jsou organické sloučeniny, většina z nich má tedy svůj charakteristický zápach. Podle něj můžeme vzorek identifikovat. Nutnou podmínkou je ovšem znalost zápachu polymerů zařazených do systému.

Každý polymer má natolik nezaměnitelný zápach, že různá aditiva přidávaná v malém množství jej nemohou ovlivnit. Ve větším množství jsou přidávaná jen plniva, ty jsou ale nejčastěji anorganického původu. Výjimku tvoří fenolformaldehydové polymery, dostupné nejčastěji ve formě pryskyřic plněných dřevní moučkou (bakelit). Souhra polymeru i plniva v konečných vlastnostech, dostupnost v tradičním výsledném zpracování jsou důvodem zařazení a hodnocení materiálu v systému jako celku.

Hodnocení odpovědí

Za předpokladu, že zkouška bude prováděna jen v případě znalosti zápachů, je vyhodnocení snadné a nesubjektivní. Protože nebyl zjištěn ani vliv aditiv na zápach kromě změkčovadel, bylo možné nastavit relativně vysoké hodnoty odpovědí.

Zápach uvolňovaných změkčovadel z PVC není výraznější než zápach samotného PVC. V případě měkčeného PVB se používají jako změkčovadla výhradně estery kyseliny máselné, s nimiž byl systém nastaven.

Provedení

K plastu, hořícímu pouze nad plamenem svíčky opatrně přičichneme po jeho vyjmutí z plamene, u plastu zhasínajícího po vyjmutí z plamene po jeho zhasnutí a u hořícího plastu po jeho sfouknutí. Identifikovaný zápach přiřadíme k jedné z těchto odpovědí:

- *po parafinu* – zápach, jenž cítíme po sfouknutí svíčky, (PE, PP)
- *kyselý* – charakteristický zápach, (PVC)
- *po styrenu* – charakteristický zápach, (PS, HIPS, ABS)
- *po dentakrylu* – charakteristický zápach, (PMMA)
- *medový* – charakteristický zápach, (PET)
- *fenolický* – charakteristický zápach, (PC)
- *po spálené rohovině* – zápach, jenž cítíme při hoření nebo broušení rohoviny, nehtu, (PA)
- *štiplavý* – charakteristický, nepříjemný zápach, (POM)
- *po žluklém másle* – charakteristický zápach, (PVB)
- *po aminech* - charakteristický zápach, (UF, MF)
- *fenolický a jako doutnající dřevo* – zápach doutnajícího dřeva a zápach po fenolu, (bakelit)
- *jako doutnající papír* – zápach, jenž cítíme po zhasnutí papíru, při doutnání textilu, (celulóza)
- *neurčitý* – nelze přiřadit k žádnému předchozímu zápachu, (SIK)

Pomůcka k určení zápachu

Za každým typem zápachu jsou v závorce uvedeny polymery, které daný zápach po zhasnutí produkují. Podle recyklačních značek na výrobcích si můžeme plasty najít a na nich se naučit zápachy rozeznávat.

Poznámky

- Provádění zkoušky omezíme na co nejkratší dobu, abychom zbytečně nečichali možný zdraví škodlivý zápach.
- Zápach někdy lépe ucítíme poté, co vyjdeme na chvíli z místnosti na čerstvý vzduch.

2.9.6 Vytáhnutí vlákna [2, 3, 6]

Důvod zařazení zkoušky

Zkouška je volena jako doplňková. Pokud se při používání systému ukáže, že její poměrně náročné provedení nezvyšuje pravděpodobnost výsledku, bude ze systému vyřazena.

Pomocí zkoušky je možné odlišit snadno zvláknitelné termoplasty od ostatních termoplastů a reaktoplastů, anebo odlišit kopolymery s obsahem snadno zvláknitelných polymerů. Zkouška se provede u všech vzorků, ať již hoří nad plamenem nebo po vyjmutí z něj.

Princip zkoušky

Při tažení zárodku krystalu z taveniny krystalického polymeru nastává orientace řetězců ve směru tažení. Vznikne fibrilární struktura, charakteristická pro syntetická vlákna. Ta se nejčastěji skládá z centrálního vlákna, které je tvořeno rovnoběžně orientovanými řetězci. Na centrálním vlákně „rostou“ epitaxiálně orientované monokrystaly ze skládaných řetězců. Popsaným způsobem se syntetická vlákna skutečně také průmyslově vyrábí. Výchozí polymery musejí splňovat některé podmínky. Jsou to především:

- Termoplastický charakter.
- Dostatečný odstup mezi teplotou tání a rozkladu.

- Možnost pravidelného ukládání alespoň částí řetězce vedle sebe, tedy schopnost krystalizace. Důležitá je proto jednoduchá, lineární stavba bez postranního větvení.
- Proti jiným aplikacím raději nižší molekulová hmotnost (délka řetězce) umožňující pravidelné ukládání bez zaplétání řetězců.

Jak je z výčtu zřejmé, má na tažení vlákna vliv řada vlastností. Na prvním místě je sice chemická a nadmolekulární stavba polymeru, nelze však podceňovat ani způsob provedení, hlavně teplotu taveniny a rychlost tažení vlákna. To může mít ještě větší význam než přítomná aditiva, která, jak bylo zjištěno, v obvyklých koncentracích výsledek zkoušky neovlivní.

Provedení

V jedné ruce držíme v prstech nebo v kleštích vzorek plastu, ve druhé máme připravený jiný kousek téhož vzorku. Okamžitě po sfouknutí nebo zhasnutí plamene na prvním vzorku se jeho roztavenou stranou dotkneme druhého (studeného) vzorku a poté obě ruce se vzorky od sebe odtáhneme. Pokud u daného vzorku lze vlákno vytáhnout a vytáhli jsme jej správně, mělo by být bezbarvé a při sebemenším závanu by se mělo vznášet ve vzduchu. Po provedení zkoušky vybereme jednu z odpovědí:

- *lze provést* - vlákno lze vytáhnout
- *nelze provést* - vlákno nelze vytáhnout

Poznámky

- U této zkoušky záleží hodně na šikovnosti, proto ji při negativním výsledku raději zopakujeme, třeba s mírnou změnou rychlosti odtáhnutí rukou.
- Při zkoušce si brýlemi chráníme zrak!

Hodnocení odpovědí

Odpovědi jsou hodnoceny nižšími hodnotami, protože výsledek může být ovlivněn hned několika faktory. Prvním z nich je už zmíněná technická náročnost. Naopak po delším cviku se může podařit vytáhnout vlákno i z takových plastů, jako je měkčený PVC. Mezi další faktory patří způsob výroby polymeru, jeho další zpracování, druh a množství přísad (aditiv).

2.9.7 Zbytek po sfouknutí [2, 3]

Důvod volby zkoušky

Podle vzhledu ohořelé části vzorku a jejím porovnáním s neporušenou částí je možné zpětně usuzovat na složení plastu. Provedením zkoušky zařadíme vzorek do některé skupiny plastů velmi podobné struktury nebo vlastností. Tím podstatně snížíme riziko zcela mylného výsledku identifikace. Zkouška se provede u vzorků všech tvarů.

Princip zkoušky

Při dokonalém hoření čisté organické látky nezůstává významné množství pevného zbytku. Vznikají spíše plynné zplodiny, v ideálním případě jen oxid uhličitý a voda. Prakticky nakonec bývá ohořelý zbytek podle původní struktury látky, probíhajících dějů a teplotě dosahované při hoření otavený, zuhelnatělý nebo jinak pozměněný.

Protože většina běžných plastů je organické struktury, platí pro ně v podstatě totéž. Významný rozdíl mezi plasty a nízkomolekulárními organickými látkami je v přítomnosti dalších složek, aditiv, jejichž struktura se velmi liší podle působení. Protože *Zkoušky s plamenem* se navíc provádějí volným hořením vzorku na vzduchu, jsou skutečné děje velmi komplikované. Částečně již byly popsány u jiných zkoušek.

Pokud pomineme spolupůsobení přítomných aditiv, má na vzhled ohořelého zbytku vliv hlavně chemická struktura polymeru. Polymery s jednoduchou uhlovodíkovou strukturou bez dvojných vazeb snadno depolymerují a tají (PO). Jejich ohořelý zbytek se proto nebude výrazně odlišovat od původního, bude jen zesklenný, otavený. U některých plastů probíhá depolymerace za teplot hoření tak výrazně, že budou mít povrch materiálu drsný až napěněný v důsledku unikajícího plynu (PMMA). Polymery s benzenovým jádrem v řetězci (PS, PETP, PC) zase při hoření produkují saze, které se usazují na materiálu a mění jeho vzhled.

Konečně může vznikat také popel. V případě SIK ovšem tento název není výstižný, protože se jedná o sloučeninu podobnou křemenu, jen s jinou krystalickou mřížkou. Typický uhlíkový popel vzniká pouze při hoření polysacharidů. Pozorované červené žhnutí popele způsobuje tepelná kapacita.

Jak je zřejmé, jsou vlastnosti ohořelého zbytku ve skupině strukturně blízkých polymerů charakteristické. Významný vliv aditiv přidávaných v malém množství nebyl pozorován. Kromě toho ve zpracování převažuje určitá tradice, proto v některých případech byl systém nastaven i s jejich působením. Typickým příkladem jsou vysoce plněné pryskyřice.

Provedení

Po zhasnutí nebo sfouknutí plamene zjistíme, zda vzorek doutná a zda přitom zanechává světlý popel. Červené žhnutí je zvláště patrné ve tmě. Po vychladnutí si vzorek důkladně prohlédneme, přičemž si všímáme barvy ohořelé části, zjistíme, zda se otírají saze a hmatem určíme povrch. Po provedení zkoušky vybereme některou z odpovědí:

- *hladký, nahnědlé barvy* – při přejíždění prsty cítíme hladký povrch, v ohořelé části převládá původní nebo nahnědlá barva
- *drsny, nahnědlé barvy* – při přejíždění prsty cítíme různě drsný povrch, v ohořelé části převládá původní nebo nahnědlá barva
- *černý* – v ohořelé části převládá černá barva
- *očazený* – na prsty se otírají černé saze z povrchu vzorku
- *doutná a zanechává popel* – na místě plamene po jeho zhasnutí nebo sfouknutí vidíme červené žhnutí a přitom zůstává popel; vše připomíná žhnutí dřeva

Hodnocení odpovědí

Odpovědi jsou hodnoceny středně vysoko. Výsledek zkoušky závisí na obsahu aditiv, hlavně plniv a do značné míry také na tvaru a době hoření vzorku. Vyhodnocení zkoušky se také může zdát subjektivní.

ZÁVĚR

Celý *Expertní systém identifikace polymerů* byl vypracován s cílem rychle a přesně analyzovat nejběžnější polymery. Přestože od svého vzniku byl už mnohokrát vyzkoušen a shledán funkčním, teprve jeho dlouhodobější používání ukáže, do jaké míry se tento úmysl zdařil.

V současné době je možné provádět identifikaci dvaceti jedna polymerů. Podle možností se v budoucnu bude systém rozšiřovat a samozřejmě aktualizovat podle požadavků doby. V nejbližším čase zřejmě ještě přibude druhá, profesionální verze identifikace prováděná systematickým chemickým rozbořem. K tomu ale už bude zapotřebí vybavená laboratoř a znalost práce v laboratoři.

Mou snahou je vytvořit spolehlivě pracující systém identifikace plastů pro každého jednotlivce. Přál bych si, aby se systém používal nejen při třídění plastů, ale hlavně k jejich poznávání. Třeba se tak konečně otevře široké veřejnosti plně reálný pohled na tyto v mnoha ohledech tak výjimečné materiály.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] <http://pvc.arnika.org/obaly.shtml>
- [2] Mleziva J., Šňupárek J.: Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití, Sobotáles, Praha 2000
- [3] Hagen V., Zámorský Z.: Laboratorní cvičení z nauky o polymerech, SNTL, Praha 1986
- [4] Šimek L., Hrnčířík J.: Fyzikální chemie II, ediční středisko VUT Brno, Zlín 1979
- [5] <http://www.arachne.cz/toISO-8859-2.apm/dir/www.delter.cz/Dokumenty/Komplet.doc>
- [6] Fortelný I.: Struktura polymerů a jejich použití, texty přednášek aplikované makromolekulární chemie
- [7] Horák Z.: Reologie, mechanické vlastnosti polymerů, texty přednášek aplikované makromolekulární chemie
- [8] Horák Z.: Vlastnosti polymerů, jejich modifikace a hodnocení, texty přednášek aplikované makromolekulární chemie
- [9] Sazima M. a kol.: Technický průvodce 2 - Teplo, SNTL, Praha 1989
- [10] <http://www.szu.cz/svi/ahemyfull/full-2001-01.doc>
- [11] Braun D.: Identification of plastics, Hanser Gardner, 1999
- [12] Kolektiv autorů: Termoplasty v praxi, Verlag Dashöfer, Praha 2003

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS	terpolymer akrilonitril-butadien-styren
CEL	celulóza, celofán
HDPE	vysokohustotní polyethylen (lineární, nízkotlaký)
HIPS	houževnatý polystyren
LDPE	nízkohustotní polyethylen (rozvětvený, vysokotlaký)
FFM	fenolformaldehydová pryskyřice
MF	melaminformaldehydová pryskyřice
PA	polyamid
PC	polykarbonát
PETP, PET	polyethylentereftalát
PMMA	polymethylmethakrylát
PO	polyolefin
POM	polyoxymethylen
PP	polypropylen
PS	polystyren
PTFE	polytetrafluorethylen
PVB	polyvinylbutyral
PVC	polyvinylchlorid
SAN	kopolymer styren-akrylonitril
SIK	silikonový kaučuk
UF	močovinoformaldehydová pryskyřice

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Vyplňovaná stránka při identifikaci vzorku plastu.
- P II Stránka se zobrazenými výsledky identifikace.

PŘÍLOHA P I: VYPLŇOVANÁ STRÁNKA PŘI IDENTIFIKACI VZORKU PLASTU

Expertní systém identifikace polymerů

About	Identifikace polymerů	Vlastnosti polymerů	Obchodní názvy	O autorech
-------	------------------------------	---------------------	----------------	------------

Help information:
Zbytek po sfouknutí
Provedení
 Po zhasnutí nebo sfouknutí plamene zjistíme, zda vzorek doutná a zda přitom zanechává světlý popel. Po vychladnutí si vzorek důkladně prohlédneme, přičemž si všímáme barvy ohořelé části, zjistíme, zda se otírají saze a hmatem určíme povrch. Po provedení zkoušky vybereme některou z odpovědí:
 -hladký, nahnědlé barvy - při přejíždění prsty cítíme hladký povrch, v ohořelé části převládá původní nebo nahnědlá barva
 -drsňý, nahnědlé barvy - při přejíždění prsty cítíme různě drsný povrch, v ohořelé části převládá původní nebo nahnědlá barva
 -černý - v ohořelé části převládá černá barva
 -očázený - na prsty se otírají černé saze z povrchu vzorku
 -doutná a zanechává popel - na místě plamene po jeho zhasnutí nebo sfouknutí vidíme červené žhnutí a přitom zůstává popel; vše připomíná žhnutí dřeva

Identifikace polymeru Vzorek: Fólie

Recyklační trojúhelník	
Odříznutí třísky	---- Nejistěno ----
Vpich kovového hrotu	vpich nelze provést nebo se otvor nezacelí
Chování ve vodě	neplave
Lepení	lze provést
➤ ethanol, konc.	ne
➤ benzín	ne
➤ toluen	---- Nejistěno ----
➤ aceton	ano
Hořlavost	po zapálení a vyjmutí z plamene dále hoří
Barva plamene	---- Nejistěno ----
Kouř při hoření	tmavý, čadivý, saze ve vzduchu
Tavenina odkapává	---- Nejistěno ----
Zápach po zhasnutí	---- Nejistěno ----
Vytáhnutí vlákna	nelze provést
Zbytek po sfouknutí	očázený

O.K.

PŘÍLOHA P II: STRÁNKA SE ZOBRAZENÝMI VÝSLEDKY IDENTIFIKACE

Expertní systém identifikace polymerů

About	Identifikace polymerů	Vlastnosti polymerů	Obchodní názvy	O autorech
Help information: Parametry vyhledávání: <u>Vpich kovového hrotu</u> - vpich nelze provést nebo se otvor nezacelí <u>Chování ve vodě</u> - neplave <u>Lepení</u> - lze provést <u>ethanol, konc.</u> - ne <u>benzín</u> - ne <u>aceton</u> - ano <u>Hořlavost</u> - po zapálení a vyjmutí z plamene dále hoří <u>Kouř při hoření</u> - tmavý, čadivý, saze ve vzduchu <u>Vytáhnutí vlákn</u> - nelze provést <u>Zbytek po sfouknutí</u> - očázený - zobrazí podrobné informace o daném polymeru - obchodní názvy				
Polymer nejvíce vyhovující údajům zadaným ve formuláři: Terpolymer Akrylonitril-Butadien-Styren Vlastnosti ABS vzhledem k vlastnostem vyplněným ve formuláři: Údaje vyplněné ve formuláři, které neodpovídají charakteristickým vlastnostem polymeru ABS: Vytáhnutí vlákn nelze provést lze provést		ABS 26 pts 96%		
Polymer téměř vyhovující údajům zadaným ve formuláři: Kopolymer Styren-Akrylonitril Vlastnosti SAN vzhledem k vlastnostem vyplněným ve formuláři: Údaje vyplněné ve formuláři, které neodpovídají charakteristickým vlastnostem polymeru SAN: Vytáhnutí vlákn nelze provést lze provést		SAN 25 pts 93%		
Polymer téměř vyhovující údajům zadaným ve formuláři: Polystyren Standardní Vlastnosti PS vzhledem k vlastnostem vyplněným ve formuláři: Údaje vyplněné ve formuláři, které neodpovídají charakteristickým vlastnostem polymeru PS: benzín ne ano Vytáhnutí vlákn nelze provést lze provést		PS 22 pts 88%		
Polymer téměř vyhovující údajům zadaným ve formuláři: Polystyren Houževnatý Vlastnosti HIPS vzhledem k vlastnostem vyplněným ve formuláři: Údaje vyplněné ve formuláři, které neodpovídají charakteristickým		HIPS 22 pts 88%		