

EXPERIMENTÁLNE OVERENIE ULTRAZVUKOVÉHO ZVÁRANIA PLASTOV

Ing. Lýdia Sobotová, PhD.

Ing. Ľudmila Dulebová

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta

Katedra technológií a materiálov

E-mail : Lydia.Sobotova@tuke.sk

Anotácia

Cieľom príspevku je riešenie problematiky spájania plastov ultrazvukom a podať základné informácie o plastických materiáloch, počnúc ich rozdelením až po jednotlivé technológie ich spracovania. Podrobnejšie je opísaná technológia spájania plastov ultrazvukom.

Kľúčové slová: ultrazvukové zváranie, parametre ultrazvukového zvárania, polypropylén, skúška ťahom

Úvod

Používanie plastov pre najrôznejšie priemyslové výrobky prešlo rôznymi štádiami vývoja. Spočiatku sa plasty aplikovali na spotrebný tovar, druhou veľkou oblasťou rozvoja aplikácie plastov sa stala elektrotechnika.

Dnešná doba je však v znamení termoplastov, ktoré možno úspešne spájať zváraním. Zváranie v priemyselnej praxi zvýraznilo vynikajúce vlastnosti termoplastov, ktoré sú dnes už nepostrádateľným materiálom najmä v ich aplikácii v automobilovom priemysle.

1. Plasty – rozdelenie, vlastnosti, skúšanie

Plasty sú podľa normy STN 64 0001 materiály, ktorých podstatu tvoria makromolekulové látky, ktoré možno formovať teplom alebo tlakom, prípadne oboma činiteľmi súčasne na rôzne tvary. Medzi plastické hmoty patria všetky tie látky, ktorých molekuly majú relatívnu molekulovú hmotnosť (t.j. súčet atómových hmotností jednotlivých atómov v molekule) vyše 10 000 a počet ich atómov v molekule prevyšuje 1 000 [1].

Podľa pôvodu a spôsobu výroby plasty rozdeľujeme na:

- Plasty z prírodných makromolekulových látok,
- Syntetické plasty,

Podľa správania sa za tepla plasty rozdeľujeme na:

- Plastoméry (termoplasty),
- Duroméry (reaktoplasty, termosety)
- Elastoméry (kaučuky, guma) [2].

Schéma rozdelenia prírodných a syntetických polymérov je na obr.1 [13].

Správne hodnotenie fyzikálno-mechanických vlastností makromolekulárnych látok je základom ich vhodnej aplikácie. Aby sa jednotlivé hodnoty mohli

vzájomne porovnávať, boli vypracované záväzné normy pre ich stanovenie.

Najčastejšie sa hodnotia tieto hlavné skupiny vlastností plastov:

- mechanické vlastnosti,
- fyzikálne vlastnosti,
 - tepelné vlastnosti
 - elektrické vlastnosti
 - optické vlastnosti
 - magnetické vlastnosti
- chemické vlastnosti.

V príspevku sa zameriame na mechanické vlastnosti plastov, ktoré možno najčastejšie získať z noriem a z prospektových materiálov výrobcov. Každý výrobok z termoplastu vystavený mechanickému namáhaniu môže reagovať deformáciou alebo porušením prípadne lomom.

Deformácia obvykle zasahuje veľkú časť objemu materiálu a vytvorí sa trhlinka bez výraznejšej predchádzajúcej deformácie. Porušenie prípadne lom je viac menej lokalizovaný (poznáme krehké a tvárne porušenie materiálu) a pred vrcholkom trhliny sa vytvorí oblasť plasticky zmeneného, orientovaného materiálu.

Plasty so svojimi mechanickými vlastnosťami sa výrazne odlišujú od materiálov kovových. Pre plasty je charakteristická veľká závislosť deformačného a pevnostného chovania sa od teploty a času. [2] Takéto chovanie sa nazýva viskózne-pružné alebo viskoelastické.

Plasticita, elasticita, oneskorená elasticita a relaxácia sú základné vlastnosti, ktoré sa prejavujú pri namáhaní polymérov.

Skúšobné metódy k hodnoteniu mechanických vlastností plastov možno rozdeliť do piatich základných skupín:

- krátkodobé skúšky,
- dlhodobé skúšky,
- skúšky hotových výrobkov,
- skúšky životnosti,
- defektoskopické skúšky.

Pri technickom použití plastov je zaujímavá väčšinou ich mechanická pevnosť proti rôznemu pôsobeniu sily. Používané skúšobné metódy podľa pôsobenia sily možno rozdeliť do troch skupín: [2]

➤ Statické skúšky

Pri týchto skúškach je materiál namáhaný pomaly sa meniacimi silami. Sila sa zväčšuje

rovnomerne pomaly, obvykle do okamžiku zničenia telieska.

➤ **Dynamické skúšky**

Pôsobenie sily sa mení buď rázom, alebo za veľmi krátky časový úsek. Niekedy sa pracuje tak, že pôsobenie sily je dlhodobé, ale jej veľkosť sa mení periodicky v extrémne krátkom čase.

➤ **Únavové skúšky**

Mechanické vlastnosti sa skúšajú dlhobo za predpísaných podmienok časovo premenného namáhania, obvykle až do porušenia materiálu. Pre jednotlivé druhy plastov tieto skúšky bývajú rozličné.

Celý rad mechanických skúšok spočíva v tom, že sa skúšobné telesá pod určitým napätím nejakou deformujú v ťahu, tlaku, ohybe, šmyku alebo v krute.

2. Technológie spracovania plastov

Technológie spracovania plastických hmôt delíme na:

- **Obrábanie**
rezníe, strihanie, sústruženie, frézovanie, vŕtanie, pílvanie, brúsenie, razenie, sekanie, rezníe závitov a hobľovanie.
- **Spájanie**
mechanické: pomocou rôznych spojok, tvarovou úpravou,
spájanie lepením: rozpúšťadlami, lepidlami,
spájanie zvaraním.
- **Dodatočná úprava**
vzorovanie, potlačovanie, leštenie, leptanie,
pokovovanie, patinovanie. [1]

Spájanie plastických látok – zvaranie plastov

Plastické hmoty podobne ako kovy možno spájať tromi základnými spôsobmi:

- mechanicky,
- lepením,
- zvaraním.

Rozlišujeme nasledovné metódy zvarania:

- zvaranie horúcim plynom,
- zvaranie horúcim zrkadlom,
- polyfúzne zvaranie,
- ohraňovanie,
- zvaranie horúcim klinom,
- zvaranie tepelnými impulzmi,
- vysokofrekvenčné zvaranie,
- zvaranie trením,
- zvaranie plameňom,
- zvaranie žiarením,
- vytlačanie (extrúderové zvaranie).

Keďže poznáme veľký rozsah technológií spájania plastov zvaraním, v príspevku sa budeme zaoberať technológiou spájania plastických látok ultrazvukovým zvaraním.

3. Zvaranie plastov ultrazvukom

Podstatou technológie zvarania plastov ultrazvukom je prenos ultrazvukových kmitov nástrojom nazývaným sonotróda na jednu zo zvaraných súčastí. Ultrazvukové kmity s frekvenciou približne 20 kHz sa šíri touto časťou až k miestu styku obidvoch spojovaných súčastí. Tu sa energia kmitov rýchle mení na teplo, polymér sa nataví a pod malým tlakom sonotródy (0,2 až 0,3 MPa) sa obidve súčasti zvaria. Zvaracia doba je kratšia ako 2 sekundy. Výhodou ultrazvukového zvarania je jeho rýchlosť, možnosť ručného alebo automatického zvarania podľa sériovosti výroby, veľké možnosti aplikácie (zvarenia, nitovania, vkladania kovových vložiek) a pomerne malá spotreba energie. Nevýhodou je potreba ultrazvukového zvaracieho prístroja a nutnosť presnej úpravy stykových plôch pred zvaraním [3].

Ultrazvukové zvaranie sa vyznačuje mnohými zvláštnosťami :

- K ohrevu materiálu na teplotu zvarania dochádza veľmi rýchle – ohrev trvá rádovo sekundy až zlomky sekúnd. U väčšiny materiálov možno zaistiť prednostne ohrev v miestach spájaných povrchov bez nutnosti roztavenia celého objemu.
- Pôsobenie ultrazvukových vln na ohriaty materiál urýchľuje tvorbu spoja, skraca celý cyklus a umožňuje zvarať i pri nižších teplotách.
- Mnohé materiály možno zvarať v miestach značne vzdialených od povrchu, na ktorý je privádzaná energia.
- Nie je nutné predchádzajúce očistenie spojovaných povrchov od nečistôt.
- Na zvaracom nástroji nie je elektrický potenciál. [6]

Prednosti a charakteristické vlastnosti ultrazvukového zvarania a spájania plastov sú:

- nenáročnosť na čistotu zvarových plôch,
- zlepšenie hygieny a bezpečnosti práce,
- zvýšená kvalita spájaných dielcov a dokonalý estetický vzhľad spojov,
- možnosť spájania aj nezvariteľných materiálov ultrazvukovým nitovaním a vtlačanie kovových súčiastok, možnosť mechanizácie a automatizácie práce.

Ultrazvukové zvaranie je vhodné pre:

- **Tvrde plasty** ako je PS a jeho kopolyméry,

PMMA, atď., ktoré majú nízky koeficient útlmu.

- **Polotvrdé plasty** ako je PP, PC, PETP sa už zvarujú obťažnejšie.
- **Mäkké plasty** ako je napr. PA 6, PE.

Pevnosť zvaru závisí na jeho umiestnení. Lôžko zvaru sa preto upravuje tak, aby sa energia koncentrovala na malé plochy [7].

4. Metodika experimentu a použitý materiál

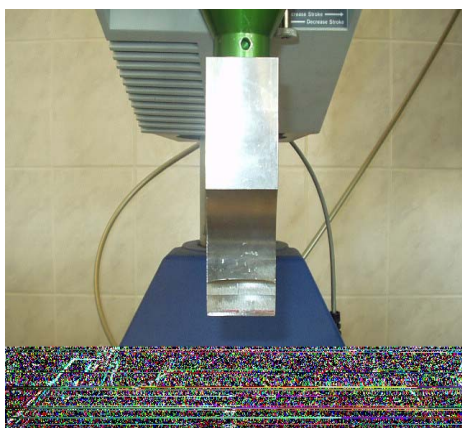
Zváranie ultrazvukom bolo realizované na ultrazvukovej zväračke typu Branson 2000, obr.2 vo firme EMERSON, divízia Branson, Nové Mesto ⁿ/Váhom.

Parametre ultrazvukového zvárania sú uvedené v tab.1. Na experimenty bol použitý nástroj – titánová stupňová sonotróda, obr. 3, o rozmeroch:

- 40 x 50 mm budiaca plocha,
- 44 x 18,5 mm výstupová plocha.



Obr. 2 Ultrazvuková zväračka Branson 2000



Obr.3 Stupňová sonotróda

Tab. 1 Parametre ultrazvukového zvárania

| Čas zvárania | t [s] | t ₁ = 2 t ₂ = 1 |
|--------------------------|---------------------|--|
| Frekvencia | f [kHz] | 20 |
| Amplitúda | A [μm] | 22 |
| Prítlačná sila | F _p [kN] | 0,93 |
| Spúšťačia sila | F _s [N] | 185 |
| Chladiaci čas pod tlakom | t _{ch} [s] | 1 |

Pred samotným zváraním, po nastavení parametrov sa zmerala prítlačná sila. Pre ultrazvukové zváranie bol použitý prípravok, aby sa zabránilo posunutiu skúšobných vzoriek v pozdĺžnom a v priečnom smere a preto bol použitý systém úpiniek.

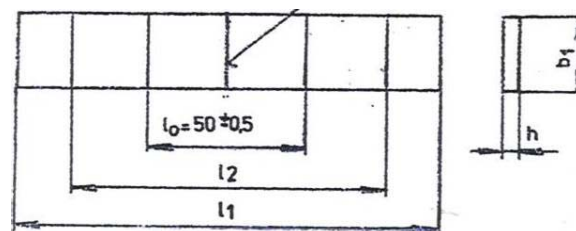
Na experimenty bol použitý skúšobný materiál polypropylén (PP), ktorý patrí do skupiny polyolefinov. Dosahuje až 95% kryštalinity. V dôsledku jeho veľmi pravidelnej kryštalickej štruktúry má výborné mechanické vlastnosti, ktoré sú uvedené v tab. 2 a tab. 3. Jeho relatívna molekulová hmotnosť je 40 000 až 60 000 [2].

Skúšobné vzorky boli vyrobené podľa normy STN 05 6821, o rozmeroch 20 x 155 mm, (obr. 4, tab. 2) zo skúšobného materiálu PP. Materiál bol dodaný v tabuliach o rozmeroch:

- 1 tabuľa 2 x 1000 x 2000 mm, označený ako materiál A
- 1 tabuľa 3 x 1000 x 2000 mm, označený ako materiál B
- 1 tabuľa 4 x 1000 x 2000 mm, označený ako materiál C

Pre daný experiment sa použili nasledujúce kombinácie vzoriek: AA, BB, CC, AB, AC, BC, pričom každá kombinácia vzoriek sa opakovala 6 – krát. Spolu bolo vykonaných 72 experimentov.

Pred skúšaním sa skúšobné telesá kondicionovali v štandardnom prostredí podľa STN EN ISO 291 najmenej 16 hod. pri teplote 23 ± 2 °C a pri relatívnej vlhkosti vzduchu 50 ± 5 %.



Obr. 4 Skúšobné teleso zo zvarenej dosky [10]

Tab. 2 Rozmery zvareného skúšobného telesa [10]

| | | |
|---------------------------------|-------|--------------|
| Šírka upínacej časti [mm] | b_1 | $15 \pm 0,5$ |
| Hrúbka [mm] | h | 1 až 10 |
| Začiatková meraná dĺžka [mm] | l_0 | $50 \pm 0,5$ |
| Celková dĺžka [mm] | l_1 | 250 |
| Upínacia vzdialenosť [mm] | l_2 | 170 ± 5 |

Na zisťovanie únosnosti spoja vytvoreného ultrazvukovým zvaraním bola použitá ťahová skúška podľa STN EN ISO 05 6821 - Krátkodobá skúška zvarových spojov plastov ťahom. Skúškou sa zisťovala maximálna únosnosť zvarov skúšaných materiálov pri hore uvedených kombináciách zvarných vzoriek pri namáhaní ťahom F_{max} do roztrhnutia vzorky.

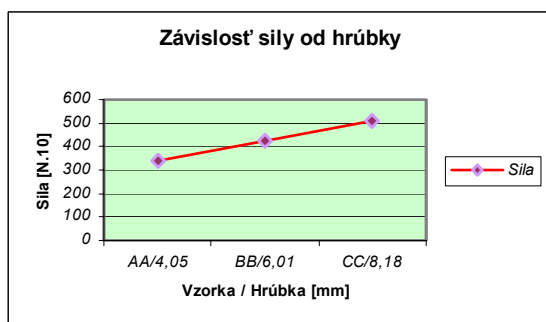
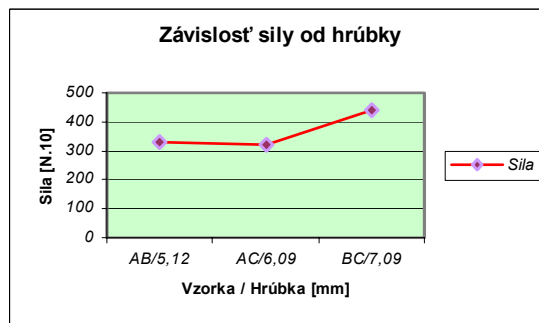
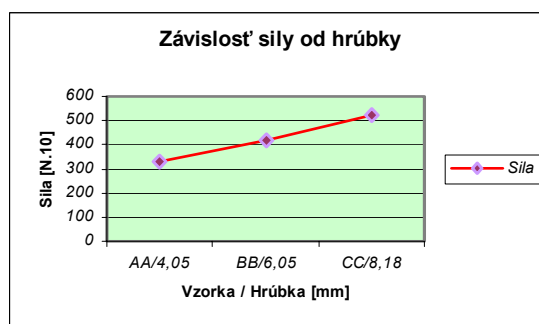
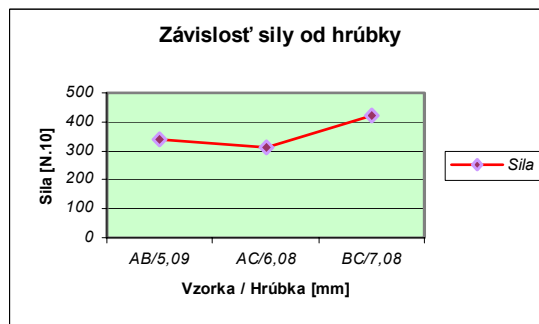
Skúška bola vykonaná na skúšobnom stroji ZDM 10/91, VEB Werkzeugmaschinenkombinat Fritz Heckert, Nemecko.

5. Dosaiahnuté výsledky

Veľkosť priemernej sily potrebnej na porušenie spájaných vzoriek v rôznej kombinácii hrúbky pri dvoch časoch zvarania t_1 a t_2 je znázornená na obr. 5 až obr. 8. Hodnoty priemernej sily potrebnej na roztrhnutie zvarnej skúšobnej vzorky pri rôznych kombináciách sú uvedené v tab. 3.

Tab. 3 Priemerné hodnoty síl potrebných na roztrhnutie vzorky pri zvaracom čase t_1 a t_2

| pri čase t_1 : | pri čase t_2 : |
|------------------|------------------|
| AA = 3392 N | AA = 3283 N |
| BB = 4225 N | BB = 4192 N |
| CC = 5108 N | CC = 5233 N |
| AB = 3325 N | AB = 3375 N |
| AC = 3208 N | AC = 5133 N |
| BC = 4408 N | BC = 4242 N |

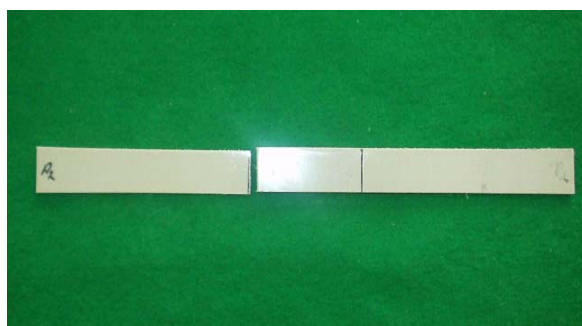
Obr. 5 Veľkosť priemernej sily, ktorá bola potrebná na porušenie vzoriek AA, BB a CC o danej priemernej hrúbke pri čase t_1 Obr. 6 Veľkosť priemernej sily, ktorá bola potrebná na porušenie vzoriek AB, AC a BC o danej priemernej hrúbke pri čase t_1 Obr. 7 Veľkosť priemernej sily, ktorá bola potrebná na porušenie vzoriek AA, BB a CC o danej priemernej hrúbke pri čase t_2 Obr. 8 Veľkosť priemernej sily, ktorá bola potrebná na porušenie vzoriek AB, AC a BC o danej priemernej hrúbke pri čase t_2

Z nameraných hodnôt pevnosti v ťahu vyplýva, že vyššie hodnoty sily potrebnej na roztrhnutie zvarných skúšobných vzoriek boli dosiahnuté pri väčších hrúbkach materiálu čo potvrdilo aj náš predpoklad.

V prevažnej väčšine došlo k porušeniu vzoriek mimo zvarnej časti, niektoré sa porušili hneď za zvarom a len ojedinele došlo k porušeniu vzorky v mieste zvaru – obr.9,10,11.



Obr. 9 Porušenie vzorky mimo zvarenej časti



Obr. 10 Porušenie vzorky hneď za zvarom



Obr. 11 Porušenie vzorky v mieste zvaru

Záver

Na základe experimentálnych skúšok a štúdií uvedenej problematiky možno vysloviť nasledujúce závery :

- Pri ultrazvukovom zváraní daného materiálu bol vytvorený nerozoberateľný spoj, čo vyplynulo aj z následne vykonanej ťahovej skúšky, kde sa potvrdilo, že daný zvar bol pevnejší ako základný materiál.
- Počas ultrazvukového zvárania bol menený ako jediný parameter čas zvárania.

- Pri ultrazvukovom zváraní na kvalitu spoja mal vplyv čas zvárania, ako jeden z hlavných parametrov ultrazvukového zvárania..

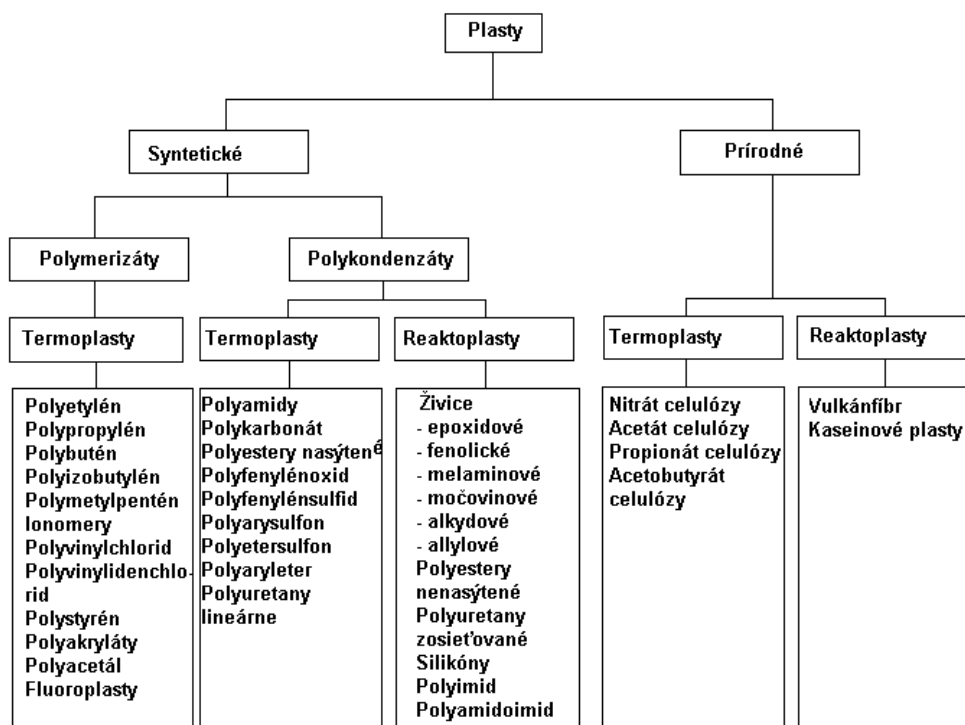
Jednotlivé metódy zvárania plastov sa uplatňujú v praxi niekoľko málo desiatok rokov, preto by bolo vhodné pre získanie nových poznatkov o správaní sa rôznych materiálov pri ultrazvukovom zváraní a následných skúškach pre zistenie vlastností, spájať polypropylén aj s iným materiálom, resp. spájať rôzne materiály navzájom. Problémy stanovenia vhodných technologických parametrov zvárania plastov vyplývajú z požiadaviek praxe a to napr. otázok stanovenia požadovanej akosti zvarov, funkčnosti jednotlivých zváraných dielov a únosnosti zváraných konštrukcií.

Pokrok vo zváraní plastov možno vidieť len v zdokonaľovaní a prispôsobovaní nekonvenčných technológií špecifickým požiadavkám praxe.

Literatúra

1. KOVAČIČ, E. – BÍNA, J.: Plasty (vlastnosti, spracovanie, využitie). Bratislava : ALFA, 1974.
2. HIDVÉGHY, J. – DUSZA, J.: Nekonvenčné konštrukčné materiály. Košice : Technická univerzita. Strojnícka fakulta, 1998.
3. KOLOUCH, J.: Strojnírenské součásti z plastů vyráběné vstřikováním. Praha : SNTL, 1986.
4. MARTINEC, L.: Zvariteľnosť a zváranie plastov. Trnava : Slovenská technická univerzita. Materiálovo-technologická fakulta, 1994.
5. ZÁMORSKÝ, Z. et. al.: Spojovanie plastov. Bratislava : Dom techniky ČSVTS, 1988.
6. HERMAN, A.: Zváranie plastických látok. Bratislava : Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1982.
7. ŠVEHLA, Š. – FIGURA, Z.: Ultrazvuk v technológii. Bratislava : ALFA, 1984.
8. STN EN ISO 05 6821 : Krátkodobá skúška zvarových spojov plastov ťahom, 1985.
9. STN EN ISO 64 0001 : Plastikárske a gumárske názvoslovie, 1995.
10. STN EN ISO 291 : Plasty, štandardné prostredie na kondicionovanie a skúšanie, 1997.
11. MOHYLA, M.: Nekonvenční strojírenské materiály. Ostrava, 1994.
12. VÁRKOLY, L. et al.: Technické plasty, výroba, spracovanie a skúšanie.1.vyd. Žilina: VŠDS, 1995.
13. SKOČOVSKÝ, P. et.al.: Náuka o materiály pre odbory strojnícke. Žilina : Žilinská univerzita, 2001.
14. Materiálový list polypropylén, ISO 1873-PP-H, M, 16-05-M200.

Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia grantového vedeckého projektu VEGA č. 1/2202/05



Obr.1 Schéma rozdelenia prírodných a syntetických polymérov [13]

Tab. 2 Vlastnosti skúšaného materiálu - polypropylénu [18]

| Špecifikačné vlastnosti | | | |
|---|---|---|-------------------------------|
| Modul pružnosti v ťahu [Mpa] | Vrbová húževnatosť Charpy [kJ.m ⁻²] | Index toku taveniny 230/2.16 [g.10 ⁻¹ .min ⁻¹] | Hustota [kg.m ⁻³] |
| 1300-1800 | 3-4 | 12-23 | 905-910 |
| Mechanické vlastnosti | | | |
| Modul pružnosti v ťahu [MPa] | | 1300-1800 | |
| Napätie na medzi klzu [MPa] | | 30-35 | |
| Pomerne predĺženie na medzi klzu [%] | | 8-11 | |
| Nominálne pomerne predĺženie pri pretrhnutí [%] | | >50 | |
| Krípový modul pri namáhaní v ťahu [Mpa] | 1h | | 1000h |
| | 850-950 | | 440 |
| Rázová húževnatosť Charpy [kJ.m ⁻²] | 23°C | | -30°C |
| | 100-110 | | 10-17 |
| Vrbová húževnatosť [kJ.m ⁻²] | 23°C | | -30°C |
| | 3-4 | | 1-1,15 |
| Tvrdosť vtláčením guľičky, 30s | | 70-80 | |

Tab. 3 Vlastnosti skúšaného materiálu - polypropylénu [18]

| Tepelné vlastnosti | | |
|--|----------------|-----------------|
| Teplota tavenia, DSC, 10 ⁰ C.min ⁻¹ [°C] | 163-165 | |
| Teplota priehybu pri zaťažení [°C] | 1,8 MPa | 0,45 MPa |
| | 53-56 | 83-90 |
| Teplota mäknutia podľa [°C] (rýchlosť zvyšovania teploty 50 ⁰ C.min ⁻¹) | 10 N | 50 N |
| | 150-155 | 85-92 |
| Súčiniteľ diaľkovej teplotnej rozťažnosti (23-55 ⁰ C) [10 ⁻⁶ .°C ⁻¹] | 110-200 | |
| Tepelná vodivosť [W.m ⁻¹ .°C ⁻¹] | 0,17-0,22 | |
| Merná tepelná kapacita [kJ.kg ⁻¹ .°C ⁻¹] | 1,7 | |
| Horľavosť UL 94 pri normálnej hrúbke telesa 1,6 mm | Trieda HB | |