

Aspecte ale comportării polimerilor la solicitări de tracțiune

EUGEN GHIBĂ¹, GILBERT-RAINER-GILLICH², ILARE BORDEA¹U^{1*}, MIRCEA VODĂ¹, CĂTĂLIN TROF

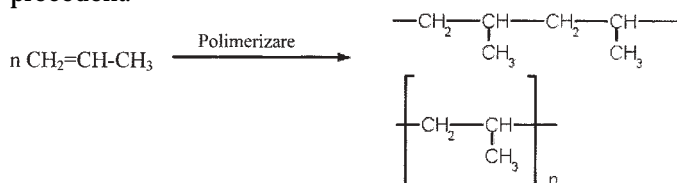
¹Universitatea Politehnica Timișoara, Bdul. Mihail Viteazul, Nr.1, 300222, Timișoara, România

²Universitatea "Eftimie Murgu" din Reșița, Piața Traian Vuia, Nr. 1- 4, 300225, Reșița, România

Polypropylene or polypropene (PP) is a thermoplastic polymer, made by the chemical industry and used in a wide variety of applications, including food packaging, ropes textiles, plastic parts and reusable containers of various types, laboratory equipment, loudspeakers, polymer banknotes and vehicle components. The authors had tested the behaviour of polypropylene used in the fabrication of some vehicle components (internal part of doors, instrument panels, seat elements aso.) under axial stress in various conditions (different speed levels for the applied force, simulated damages like holes and initial application of stress cycles). Some mechanical properties of polypropylene, which permit to fix the conditions in which it can be used successfully in vehicle components manufacture have been estimated. A comparative analysis between the polypropylene versus LDPE and HDPE has been performed.

Keywords: polymer, polypropylene, mechanical properties, vehicle elements

Polipropilena sau polipropena ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$)_n este un polimer termoplastic care se obține prin polimerizare din monomerul de propilenă ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$) așa cum este prezentat în reacția chimică de mai jos. În ultimii ani, acest material a atins o dezvoltare și o varietate de aplicații fără precedent.



Majoritatea polipropilenelor comercializate în prezent au un nivel de cristalinizare și un modul de elasticitate longitudinal cuprins între cel al polietilenei cu densitate scăzută (LDPE - low density polyethylene) și cel al polietilenei de înaltă densitate (HDPE - high density polyethylene) [1]. Polipropilena are caracteristici fizico-chimice apropiate de HDPE, are o densitate mai mică, dar în ciuda acestui fapt rigiditatea și duritatea sa sunt mai mari. Este cel mai rigid dintre polimerii poliolefinici și își menține această caracteristică până la 100°C [1, 2, 3]. Rezistența sa la abraziune și la căldură este remarcabilă, dar trebuie consemnate în același timp și excelentele caracteristici dielectrice și izolatoare, precum și rezistența sa extraordinară la plieri repetate. Polipropilena este mai puțin

fragilă decât HDPE și mai puțin flexibilă decât LDPE. Este un polimer stabil în medii agresive. Spre deosebire de polietilenă, ea devine moale la temperaturi mai mari de 160-170°C și are o rezistență la rupere mai mare decât aceasta [1].

Cele mai importante proprietăți fizice ale polipropilenei analizate în lucrare, în comparație cu LDPE și HDPE sunt prezentate în tabelul 1.

Polipropilena poate fi translucidă când este incoloră, dar nu complet transparentă așa cum poate fi realizat polistirenul și alte materiale plastice [2]. Ea poate să fie și opacă, fiind posibilă alegerea unei nuanțe dintr-o gamă largă de culori.

Un domeniu aparte în care este utilizată polipropilena îl constituie producția de componente pentru vehicule. Astfel, se pot realiza fețe de uși, bordul integral sau panouri de instrumente de bord, părți ale scaunelor, instalației audio etc. Fâșii subțiri de polipropilenă sunt folosite ca materiale izolatoare (dielectrice) pentru instalația electrică a autovehiculului, cu înalte performanțe capacitive.

Studiul întreprins de autori, având ca finalitate cunoașterea comportării componentelor vehiculelor realizate din polimeri, pornește de la faptul că acestea prezintă, înainte de rupere, pentru solicitările la tracțiune simplă sau la cicluri repetate de tracțiune (încărcare-descărcare) deformații (alungiri) și gătuiri ale căror valori depind de următorii factori [7]:

Tabelul 1
PROPRIETĂȚI FIZICE [1, 2]

Materialul	Polipropilenă (PP)	Polietilena de joasă densitate (LDPE)	Polietilena de înaltă densitate (HDPE)
Densitatea la 20 °C (g/cm ³)	0.90	0.91 - 0.925	0.959 - 0.965
Cristalinitatea	30% - 50%	30% - 50%	80% - 91%
Culoare naturală	Transparentă	Transparentă	Translucidă albă
Intervalul de temperatură de utilizare	0 - 135°C	-50 - +80 °C	-100 - +120°C
Temperatura de trecere în stare sticloasă	-20°C	-100°C	-100°C
Temperatura de topire	175°C	98-115°C	130-137°C
Tensiunea maximă (MPa)	31 - 38	4 - 16	34 - 41
Alungirea maximă	100 - 600%	100 - 650%	10 - 1300%

* Tel.: 0723650248

- forma piesei;
- timpul de acțiune al forței;
- viteza de încărcare;
- numărul de cicluri;
- temperatura în piesă.

Figura 1 ilustrează, calitativ, modul de rupere al unei epruvete din polipropilenă supusă la încercarea de tracțiune, fiind puse în evidență patru zone distincte: zona elastică (E), zona plastică (P), zona găturii (G) și punctul de rupere (R).

Partea experimentală

Determinarea caracteristicilor mecanice s-a efectuat pe mașina de încercare Instron 4302, ale cărei caracteristici tehnice sunt prezentate în tabelul 2.

Au fost utilizate următoarele echipamente auxiliare: o cameră video destinată înregistrării deformării epruvetei, un PC și o imprimantă. Sistemul este prezentat în figura 2.

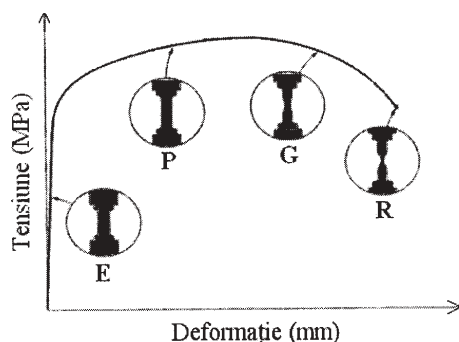


Fig.1. Curba de tracțiune pentru polimeri cu evidențierea zonelor caracteristice

Încercările s-au efectuat la temperatura ambiantă, cu posibilități de adaptare ale unui sistem de menținere constantă a temperaturii [5]. Parametrii măsurărilor și controlați au fost:

- forța, cu ajutorul unor captoare rezistive;
- deplasarea tijei, cu ajutorul unor captoare inductive (deplasări înregistrate +/-50 mm);
- deformația, cu extensometre cu cușite cu baza de măsurare de: 12,5; 25 și 50 mm.

Epruvetele confecționate prin injectare, au avut grosimea de 4 mm, culoare neagră și forma și dimensiunile din figura 3, în conformitate cu normele și prescrierile specifice domeniului [6]. Pentru a pune în evidență diferențele mari dintre diverșii parametri obținuți în urma unor încercări la tracțiune, cercetările s-au realizat pe epruvete care au avut practicată o gaură (orificiu) cu

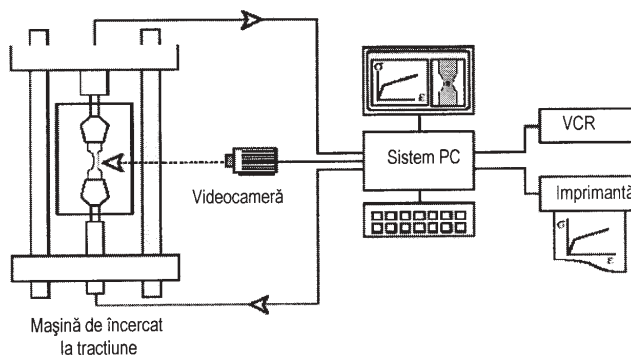


Fig.2. Schema sistemului de videotracțiune

diametrul de 3 mm. Determinările experimentale au fost efectuate atât pe epruvete întregi cât și pe cele prevăzute cu găuri. Pentru determinarea deformațiilor pe epruvete se pot aplica 2, 4, 5 sau 7 marcaje. Având în vedere precizia cerută de încercările la tracțiune, s-a dovedit practic faptul că sunt suficiente două marcaje, așa cum este ilustrat în figura 4.

Deformația volumică este un fenomen care apare în cazul materialelor plastice supuse la tracțiune și constă în faptul că alungirea longitudinală are valori mai mari decât contracția lășimii și a grosimii epruvetei. Astfel, volumul materialului crește odată cu aplicarea forței. Pentru a determina deformația volumică, presupunând o izotropie transversală, sunt necesare 7 marcaje dispuse pe aceeași față a epruvetei. Utilizând aceste marcaje, încercarea ne va furniza rezultate mai precise, mai ales pentru

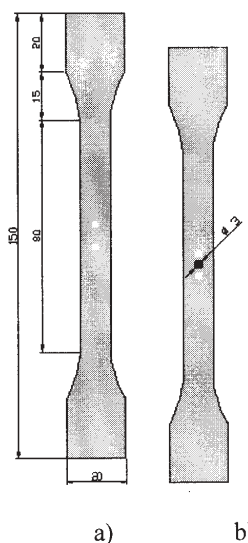


Fig.3. Epruveta cu marcaje - simplă (a) și cu gaură (b)

Tabelul 2
DATELE TEHNICE ALE MAȘINILOR DE ÎNCERCAT

Marca mașinii	Instron 4302
Tipul mașinii	electro-mecanică
Solicitare	tracțiune-compresiune
Capacitate	+/- 0,5 ... 10 kN
Cursa	970 mm
Viteza de încărcare	0,5 – 500 mm/min
Tipuri de încărcări posibil a fi simulate	- solicitări monotone, încărcări-descărcări - solicitări ciclice cu frecvența sub 50 Hz
Modul de variație a încărcării	- sinusoidal - liniar
Oprirea încărcării	- după un număr de cicluri dat - după un parametru*
* fixat de utilizator – de exemplu detectarea variației secțiunii piesei în timpul încercării	

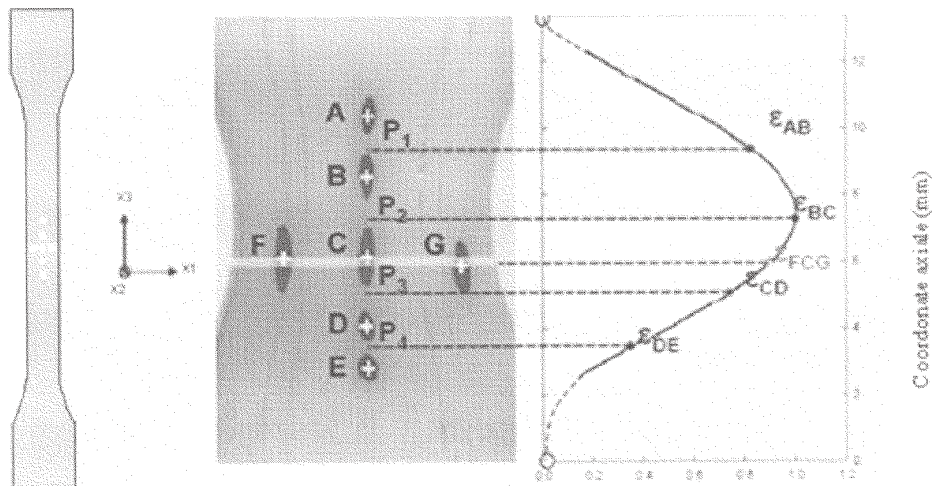


Fig. 4. Determinarea deformației volumice pe epruveta cu 7 marcaje

determinarea deformației transversale la nivelul celor trei marcaje aliniate orizontal (F, C, G).

Datele sunt prelucrate cu ajutorul unui software specializat, furnizat de firma Instron, care prelucrează datele și înregistrează în permanență următorii parametri: forța axială relativă în epruvetă, timpul, deformațiile axiale relative ale distanței dintre centrele geometrice a două marcaje verticale vecine (A-B, B-C, C-D, D-E), respectiv orizontale vecine (F-C, C-G).

De asemenea, evaluarea deformațiilor se poate estima și prin utilizarea următoarelor expresii matematice [2]:

$$\varepsilon_{33}^{AB} = \ln\left(\frac{AB}{A_0B_0}\right) \quad (1)$$

$$\varepsilon_{33}^{BC} = \ln\left(\frac{BC}{B_0C_0}\right) \quad (2)$$

$$\varepsilon_{33}^{CD} = \ln\left(\frac{CD}{C_0D_0}\right) \quad (3)$$

$$\varepsilon_{33}^{DE} = \ln\left(\frac{DE}{D_0E_0}\right) \quad (4)$$

Deformația axială reală, la nivelul marcajelor F, C, G, este realizată prin interpolare polinomială de gradul cinci cu două puncte de deformație presupusă zero și cu patru puncte corespunzătoare centrelor geometrice ale marcajelor. Presupunând materialul ca având izotropie transversală, se obține deformația transversală următoare:

$$\varepsilon_{11} = \varepsilon_{22} = \frac{1}{2} \left(\ln\left(\frac{FC}{F_0C_0}\right) + \ln\left(\frac{CG}{C_0G_0}\right) \right) \quad (5)$$

Având aceste date s-au trasat curbele tensiune reală în funcție de deformația axială reală, iar cu ajutorul acestora s-au determinat modulul de elasticitate și rezistența la rupere. Întrucât în studiul comportării polipropilenei la tracțiune interesează deformația măsurată, la încercările efectuate s-au folosit epruvete cu două marcaje, care satisfac din punct de vedere al preciziei [6].

Rezultate și discuții

Cercetările au urmărit reflectarea modului de comportare la tracțiune a polimerului folosit în fabricarea diverselor componente ale vehiculelor. În prima etapă

s-au realizat încercări pe epruvete simple și epruvete cu orificii solicate la tracțiune cu aplicarea forței la diverse viteze: 2, 5, 10 și 15 mm/min. Rezultatele sunt prezentate în tabelele 3 și 4:

Datele prezentate în tabelul 3 arată că alungirea epruvetelor înainte de rupere, solicate la tracțiune cu diferite viteze, are valori apropiate pentru viteze de 2, 5 și 10 mm/min, dar prezintă o scădere bruscă a valorii acesteia la viteza de tracțiune de 15 mm/min. Considerăm că această scădere se datorează capacității de adaptare reduse a materialului la viteze mai mari de deformație și la solicitări dinamice.

Din datele prezentate în tabelul 4, cu privire la valoarea tensiunii maxime atinse în timpul încercării, se poate trage concluzia că tensiunea maximă nu depinde nici de viteza de tracțiune și nici de faptul că epruveta are sau nu

Tabelul 3
ALUNGIREA EPRUVETELOR SIMPLE SUPUSE LA
DIFERITE VITEZE DE ÎNCĂRCARE

Viteza de încărcare [mm/min]	Încercarea numărul	Deformația [mm]
2	1	86
	2	79.04
	Media:	82.52
5	1	75.34
	2	76.01
	Media:	86.71
10	1	97.41
	2	76.01
	Media:	86.71
15	1	61.18
	2	35.8
	Media:	48.49

practicat un orificiu. În toate cazurile, valorile tensiunilor maxime au variat între 21,525 MPa și 23 MPa.

Camera video a surprins și modul de deformare (alungirea și gătuirea) a epruvetelor simple solicate cu viteza de 2 mm/min, imaginile fiind prezentate în figura 5 (I-V). Sunt evidențiate următoarele faze succesive:

I - la începutul încărcării epruveta prezintă numai deformație elastică și secțiunea sa variază puțin;

II - după depășirea limitei elastice se observă o diminuare mai rapidă a secțiunii, iar în același timp tensiunea maximă începe să scadă.

III - datorită deformațiilor plastice, în partea centrală a epruvetei își face apariția o zonă de culoare mai deschisă;

IV - zona de culoare deschisă se extinde și la un moment dat micșorarea secțiunii epruvetei încetează;

V - în scurt timp după acel moment epruveta se rupe.

Tabelul 4
TENSIUNEA MAXIMĂ PENTRU EPRUVETE SIMPLE ^{a1} CU GAURĂ
SUPUSE LA DIFERITE VITEZE DE ÎNCĂRCARE

Viteza de încărcare [mm/min]	Încercarea numărul	Tensiune maximă [MPa]
2 – epruvetă simplă	1	21.525
	2	23
	3	22.84
	4	21.525
	Media	22.222
2 – epruvetă cu orificiu	1	22.958
	2	22.086
	Media	22.522
5 – epruvetă simplă	1	22,047
10 – epruvetă simplă	1	22,45
	2	21645
	Media:	22,047
15 – epruvetă simplă	1	22,542
	2	22,522
	Media:	22,532

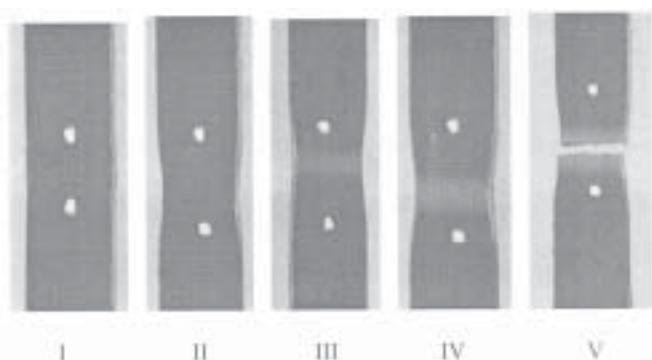


Fig. 5. Faze de deformare în timpul unei încercări de tracțiune

Din rezultatele obținute a fost posibilă și construirea curbelor caracteristice pentru epruvete simple și cu orificiu solicitate la tracțiune cu viteza de 2 mm/min (fig. 6). Se observă că orificiul nu influențează comportarea elastică, dar alungirea înainte de rupere este mult inferioară celei apărute la epruvetele simple.

Următorul pas al cercetării a fost determinarea modului în care o serie de solicitări semnificative (cu 0,3; 0,6 sau 0,8 din forța maximă F_e), anterioare încercării la rupere prin tracțiune, afectează tensiunea maximă și alungirea. În acest sens, un număr de 6 epruvete au fost supuse la 10 cicluri de destindere (încărcare-descărcare) cu viteza de 2 mm/min. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 5.

Din tabelul 5 rezultă că valorile alungirii epruvetelor simple, înainte de rupere, pentru cele ce au fost supuse la

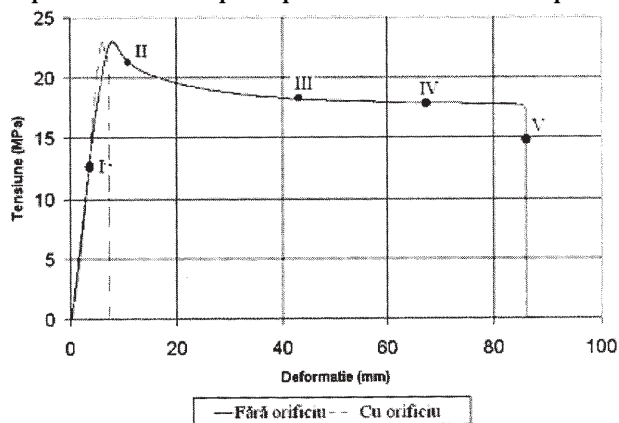


Fig.6. Comparație între o încercare de tracțiune pe o epruvetă simplă și una cu un orificiu

10 cicluri de încărcare-descărcare până la diferite forțe, sunt similare pentru încărcări de până la $0,3 \cdot F_e$ și $0,8 \cdot F_e$. De asemenea, se constată o creștere foarte importantă a lungirii înainte de rupere, pentru epruvete ce au fost supuse înainte de încercarea la tracțiune la cicluri de încărcare-descărcare până la $0,6 \cdot F_e$. Tot din tabelul 5 se observă că valorile tensiunilor admisibile maxime au valori sensibil egale pentru epruvete ce au fost supuse, în prealabil, la cicluri de încărcare-descărcare cu $0,3 \cdot F_e$ și $0,6 \cdot F_e$ prezintă o creștere ceva mai importantă la tracțiune după 10 cicluri de încărcare-descărcare cu $0,8 \cdot F_e$. Cum valorile medii obținute se încadrează în limitele 20,797 MPa și 21,832 MPa apreciem că acest fenomen este cauzat de

Tabelul 5
LUNGIREA și TENSIUNEA MAXIMĂ PENTRU EPRUVETE SIMPLE CARE AU FOST SUPUSE LA DIFERITE 10 CICLURI DE ÎNCĂRCARE - DESCĂRCARE

Limită de încărcare	Numărul încercării	Deformația (mm)	Tensiunea maximă (MPa)
0,3·Fe	1	136.8	21.395
	2	74.24	20.885
	3	163.4	20.812
	Media:	124.81	21,031
0,6·Fe	1	201.7	20,885
	2	208.4	20,797
	Media:	205.05	20,841
0,8·Fe	1	102.8	21,832

aparitia unei uoore ecruisări, create în timpul procesului de solicitare.

În ansamblu se observă că dacă epruveta e supusă în prealabil la 10 cicluri de încărcare-descărcare cu diferite procente din forța maximă admisibilă (30, 60, 80%), limita sa elastică scade cu 5,08% (de la o medie de 22,372 MPa la 21,234 MPa). În același timp, alungirea la rupere crește substanțial, între 74,8% și 152,5% (de la 82,52 mm la 144,22 mm, cu un maxim de 208,4 mm), pentru încărcare-descărcare cu $0,6 \cdot F_e$.

Concluzii

În cadrul lucrării se face o descriere a polipropilenei și a domeniului de utilizare, simultan cu prezentarea caracteristicilor care îi conferă un domeniu larg de aplicații în construcția autovehiculelor.

Încercările de laborator, realizate pe diferite epruvete, cu mărimea de încercări la tracțiune INSTRON 4302, au permis construirea curbelor de tracțiune și evaluarea limitei de elasticitate, a deformațiilor și tensiunilor maxime de rupere, esențiale în alegerea lor la fabricarea componentelor de autovehicule.

S-a evidențiat că limita de elasticitate nu depinde de viteza de solicitare la tracțiune și nici de existența sau absența unui orificiu, practicat în epruvetă.

S-a arătat că solicitarea prealabilă a epruvetei, la 10 cicluri de încărcare-descărcare, cu diverse procente din forța maximă admisibilă, limita elastică scade cu 5,08% și alungirea crește cu 78,8 %-152,5 %, ceea ce constituie avantaje ale propilenei față de alți polimeri cum sunt LDPE și HDPE.

Totodată rezultatele cuprinse în lucrare deschid drumul spre noi cercetări, în special cele legate de fenomenul de oboseală.

Bibliografie

1. WARD, I.M., Mechanical properties of solid polymers, John Wiley, 2nd edition 1990, p. 357
2. PEREZ, J. O., "Physique et mécanique des polymères amorphes", Lavoisier, Tech. et Doc., Paris, 1992, p. 360
3. GHEORGHIU, H., HADAR, A., CONSTANTIN, N., Calculul structurilor din materiale izotrope și anizotrope, Editura Printech, București, 1998, p. 59
4. HADAR, A., Structuri din compozite stratificate, Editura Academiei și Editura AGIR, București, 2002, p. 30
5. GAUCHER-MIRI, V., Etude de la plasticité des polyéthylènes en traction uniaxiale, These de docteur, Université des Sciences et Technologies de Lille, 1995, p. 182
6. G'SELL, G., HIVER, J.M., Nouvelles méthodes d'essais mécaniques pour la détermination des lois de comportement des polymères, Ecole des mines de Nancy, 1998
7. GILLICH, G.R., SAMOILESCU, G., BERINDE, F.C., CHIONCEL, C.P., Determinarea experimentală a caracteristicii de rigiditate și a modulului de elasticitate a cauciucului utilizând reprezentarea timp-frecvență, Mat. Plas., **44**, Nr. 1, 2007

Intrat în redacție: 5.06.2007