

Materiale pentru protecția anticorozivă a fagurilor metalici din preîncălzitoarele de aer rotative ale instalațiilor energetice

1. Modificarea și caracterizarea reologică a unor rășini epoxidice

ADRIANA BANTA^{a1}, LELIAN CIOROIANU¹, GABRIELA CIOROIANU¹, MINODORA LECA^{2*}, ALEXANDRA PICA³, CLAUDIU MARCOVSCU³

¹S.C. Filiala Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice ICEMENERG S.A., Energeticienilor 8, 032092, București

²Universitatea din București, Facultatea de Chimie, Bd. Regina Elisabeta 4-12, 050107, București

³Institutul de Cercetări pentru Protecții Anticorozive, Lacuri și Vopsele ICEPALV, Theodor Pallady 49 A, 74585, București

Celular bodies from the cold region of the heat exchange surface of rotatory air preheaters from energetic installations are strongly affected by sulphuric corrosion and, can be protected using heat conducting and thermally resistant coatings. Epoxy resins, modified firstly with tall and soy fatty acids to increase their elasticity and then reacted with acrylic acid and styrene to increase chemical, heat and corrosion resistance, adherence and elasticity, correspond to the qualities required for the film-forming material. The thermal conductivity of coating can be increased by introducing finely dispersed metal powders. Rheological measurement emphasizes that the resins esterified with both kinds of fatty acids have relatively low viscosities, ranging between 3500 and 8600 mPa.s, and ideal plastic fluid behaviour; the higher the epoxy equivalent of the resin the lower the viscosity of the esters. Treatment of resins (previously esterified with tall fatty acids) with the two monomers increases the viscosity and modifies the rheological behaviour, transforming it into a pseudoplastic one. The increase of viscosity is huge for the resin having lower epoxy equivalent and its behaviour becomes thixotropic. Given the high specific weight of metal powders, it is expected that this last modified resin gives the most stable film-forming disperse systems with metal powders.

Keywords: modified epoxy resins, rheological behaviour, corrosion protection, viscosity

Pentru a mări randamentul cazanelor termoelectrice de mare capacitate, a obține temperaturi de ardere mai mari în focar și a realiza o ardere mai completă, aerul este preîncălzit în preîncălzitoare regenerative rotative cu masă acumulatorie de căldură, prevăzute cu corpuri celulare sau faguri. Suprafața de schimb termic se realizează prin construirea acestora sub formă de casete, în interiorul cărora sunt introduse table ondulate, presate între ele. Suprafața de schimb termic, aflată în mișcare de rotație continuă, este constituită din două zone: zona caldă - partea de intrare și zona rece - partea de ieșire a gazelor arse și de intrare a aerului de combustie.

Una dintre cauzele care afectează funcționarea cazanelor de mare capacitate, producând scăderea randamentului, este corozivitatea preîncălzitoarelor de aer rotative. În situația cea mai dezavantajoasă se găsesc corpurile celulare din zona rece, la care efectul corosiv al gazelor de ardere este mai intens. Corozivitatea este determinată de formarea acidului sulfuric în fază lichidă, care rezultă din dioxidul și trioxidul de sulf prezente în gazele de ardere. Atacul corosiv se manifestă intens la mai puțin de 10000 ore de funcționare, când combustibilii conțin 2-3% sulf. Deoarece funcționarea economică a cazanului este legată direct de capacitatea de utilizare maximă a eficienței termice și de minimalizarea pierderilor excesive de căldură prin gazele de ardere, evitarea limitării semnificative a schimbului de căldură prin corosiune devine extrem de importantă.

Pinând seama de regimul de lucru al preîncălzitoarelor de aer rotative și de cauzele care provoacă funcționarea defectuoasă a acestora, o soluție eficientă constă în utilizarea de acoperiri pe bază de polimeri cu capacitate protectoare ridicată. Acestea trebuie să asigure

performanță în condițiile severe de exploatare, prin asocierea unor proprietăți care nu pot fi asigurate de nici un polimer pelicologen: rezistență termică și anticorozivă, flexibilitate și rezistență la șoc termic, aderență, rezistență la eroziune și conductivitate termică. Astfel, nu se modifică semnificativ procesul de transfer de căldură, fagurii fiind - din punct de vedere funcțional - schimbătoare de căldură. Dacă celelalte proprietăți pot fi imprimate peliculelor de polimeri pe baza relațiilor structură-proprietăți cunoscute, conductivitatea termică mărită se poate obține doar prin introducerea de pulberi metalice cu grad înalt de dispersie [1].

Seria de lucrări are ca scop prepararea unor acoperiri organo-metalice capabile să asigure protecția fagurilor metalici din preîncălzitoarele de aer rotative ale instalațiilor energetice. Prima notă prezintă selectarea polimerilor care întrunesc cel mai bun raport calitate/preț, modificarea acestora în scopul amplificării/imprimării proprietăților cerute de aplicație și caracterizarea acestora din punctul de vedere al comportării reologice, importantă atât pentru aplicarea pe suprafețele metalice, cât și pentru stabilitatea sistemelor disperse pelicologene finale.

Partea experimentală

Tabelul 1 prezintă rășinile epoxidice selectate, acizii grași cu care s-a efectuat esterificarea, rapoartele dintre echivalenții celor două componente, temperaturile de lucru, catalizatorii utilizați și concentrația acestora. În toate reacțiile, drept cosolvent s-a utilizat butilglicolul.

Rășinile din țările 3 și 4 s-au modificat apoi prin tratare cu acid acrilic și stiren în următoarele condiții: raport monomer/ester epoxidic - 1,5/2,0, temperatură 160°C, concentrație inițiator 2% în cazul țării 5, respectiv 1,6/2,0, 150°C și 3% pentru țara 6.

* Tel.: 0740049001

Tabelul 1
RĂȘINILE EPOXIDICE SELECTATE, ACIZII CU CARE S-A REALIZAT ESTERIFICAREA ȘI CONDIȚIILE DE REACȚIE

Nr. șarjă	Rășină epoxidică	Acizi grași	Echivalent acid gras/echivalent epoxidic	Temperatură, °C	Catalizator/concentrație, ppm
1	Epilox A 50-02	Soia	0,30/1,00	200	Trifenilfosfit/480
2	Epilox A 50-02	Tall	0,66/1,00	220	Trifenilfosfit/750
3	Epilox A 50-02	Tall	0,60/1,00	240	Trifenilfosfit/859
4	Epoxi CHS 210	Tall	0,70/1,00	260	Trifenilfosfit/520
5*	Epilox A 50-02	Tall	0,70/1,00	260	Acid fosforos/20
6*	Epoxi CHS 210	Tall	0,70/1,00	240	Trifenilfosfit/520

*Șarjele 3, respectiv 4, modificate apoi cu acid acrilic și stiren

Comportarea reologică s-a studiat la temperatura de $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$ utilizând un viscosimetru de rotație Haake VT 550, care dezvoltă viteze de forfecare, $\dot{\gamma}$, cuprinse între 3 și 1312 s^{-1} , tensiuni de forfecare, τ , în intervalul 10^3 - 10^8 mPa și, în funcție de sistemul de senzori utilizat, măsoară viscozități aparente, η^* , cu valori cuprinse între 10^{-3} și $10^6 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Măsurătorile s-au efectuat începând cu vitezele de forfecare cele mai mici și s-au continuat până la cea maximă la care se pot înregistra valori pentru tensiunea de forfecare. Cu valorile obținute s-au trasat reogramele. Apoi s-au micșorat vitezele de forfecare, pentru a stabili dacă reogramele se suprapun sau nu, adică dacă rășinile respective suferă sau nu modificări de structură sub acțiunea tensiunilor de forfecare, ceea ce înseamnă o comportare reologică dependentă de timp reversibilă - tixotropă sau reopexă. În situațiile reogramelor care nu s-au suprapus, s-au continuat ciclurile mărire-micșorare ale tensiunilor de forfecare, până când curbele s-au suprapus (ceea ce reflectă faptul că structura nu se mai modifică).

Rezultate și discuții

Alegerea polimerilor pelculogeni pentru protecția preîncălzitoarelor rotative s-a făcut utilizând relațiile structură-proprietăți cunoscute pentru polimeri [2,3]: sunt rezistenți termic polimerii ce conțin în catena principală cicluri aromatice și/sau heterocicluri - care au atât rezistență termică cât și oxidativă intrinsecă, dar polimerii ce conțin asemenea structuri nu se pot aplica prin metodele obișnuite, deoarece sunt insolubili și rigizi și au temperatură de vitrifiere mare [4,5]; rezistența la temperatură, la agenți chimici și duritatea se pot mări prin reticulare, dar aceasta aduce după sine reducerea solubilității și flexibilității. Flexibilitatea este imprimată de prezența grupelor eter, ester, amidă etc. (flexibile) în lanțul principal, iar aderența la suprafețele metalice este dată de grupele polare, aceasta crescând cu polaritatea.

Rășinile epoxidice constituie o familie versatilă de rășini termoreactive, în general amorfe, cunoscute pentru stabilitate dimensională, rezistență termică și chimică, aderență la o mare varietate de suporturi printre care și substraturi metalice [6], rezistență la impact și la abraziune și flexibilitate, dacă sunt formulate corespunzător [7]. Date fiind proprietățile de mai sus, s-au selectat pentru prepararea sistemelor pelculogene destinate protecției fagurilor metalici rășini din această clasă. În plus, acestea prezintă și avantajul de a avea cel mai redus raport calitate/preț.

Aderența deosebită a rășinilor epoxidice se explică prin polaritatea grupelor hidroxil și eter, prezente atât în lanțul macromolecular inițial cât și în sistemul rezultat în urma întăririi, care favorizează adsorbția fizică și/sau chimică a rășinilor pe suprafața substraturilor [8-11]. Mai mult, acestea sunt blocate și mecanic în porii suprafeței.

Pe baza datelor din literatură, pentru modificarea proprietăților rășinilor epoxidice s-au selectat acizii grași de soia și tall, precum și monomerii acid acrilic și stiren. Modificarea cu acizi grași de soia sau de tall constă în producerea de esteri nesaturați în urma esterificării grupelor epoxidică și hidroxil [12]. Reacția dintre acidul acrilic și o rășină epoxidică conduce la formarea unui compus cu legături duble la capete. Acesta, prin polimerizare, favorizează reticularea și întărirea sistemului. Produsul rezultat are rezistență chimică excelentă, întărirea este rapidă și se produce fără contracție apreciabilă a peliculei, care prin prezența polimerului acrilic câștigă în elasticitate [13], iar aderența, rezistența chimică și mecanică, duritatea și luciul sunt excelente [14]. Esterii nesaturați rezultă în urma reacțiilor cu acizii de soia sau tall se pot reticula cu monomerii vinilici, cum este stirenul, prin grefarea polimerului vinilic obținându-se pelicule cu duritate foarte mare. Prezența legăturilor duble doar la capetele lanțului macromolecular face ca gradul de reticulare să nu fie prea mare, ceea ce evită efectele negative asupra adeziunii.

Cunoașterea comportării reologice are o importanță deosebită atât în ceea ce privește aplicarea materialelor pelculogene pe suprafețe, influențând proprietățile peliculelor obținute, cât și pentru stabilitatea sistemelor disperse pelculogene ce urmează a fi obținute prin dispersarea pulberilor metalice.

Rășina Epilox A 50-02 esterificată cu acizi grași de soia (șarja 1) are viscozitate relativ redusă, ceea ce a făcut ca măsurătorile reologice să poată fi efectuate doar la viteze de forfecare mici, cuprinse între $9,0$ și $48,6 \text{ s}^{-1}$. Reograma corespunzătoare, reprezentată în figura 1, arată o comportare newtoniană de fluid ideal plastic (Bingham): valoarea viscozității este independentă de tensiunea de forfecare sau de viteza de forfecare ($\dot{\gamma}$), dar curgerea nu începe la tensiune de forfecare zero. Ecuația reogramei este:

$$\tau = -1220,28 + 8587,17 \dot{\gamma} \quad (1)$$

coeficientul de corelație având valoarea foarte apropiată de unitate ($r = 0,99995$). Din aceasta rezultă pentru viscozitate valoarea de $8.587,17 \text{ mPa}\cdot\text{s}$.

Esterificarea aceleiași rășini cu acizi grași de tall, dar la un raport dublu acid gras/rășină, la o temperatură cu 20°C mai ridicată și o concentrație mai mare de catalizator (șarja 2), conduce la un produs cu viscozitate mai mică, măsurătorile putându-se efectua într-un interval de viteze de forfecare mai îngust, cuprins între 3 și 27 s^{-1} . Comportarea sa este tot de fluid ideal plastic în intervalul de tensiuni de forfecare menționat, așa cum arată reograma din figura 2.

Dreapta care descrie dependența din figura 2 are ecuația:

$$\tau = 929,02 + 4188,00 \dot{\gamma} \quad (2)$$

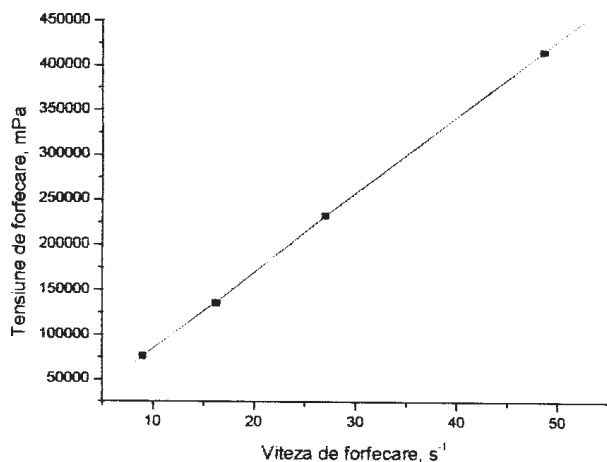


Fig. 1. Reograma rășinii esterificate 1

coeficientul de corelație având valoarea mai apropiată de unitate, și anume 0,99998. S-a obținut valoarea viscozității de 4.188 mPa.s, de peste două ori mai mică decât a 1-ului anterior. Dat fiind faptul că rășina este aceeași, se poate afirma că viscozitatea mai mică se datorează cantității mai mari de acizi grași utilizați la esterificare. Comparând valorile ordonate la origine, se constată însă că produsul din 1 începe să curgă ceva mai greu decât cel din prima 1, tensiunea de la care începe curgerea având valoarea de 929 mPa.

Ridicarea temperaturii de reacție și mărirea concentrației catalizatorului are ca efect creșterea viscozității produsului obținut, dacă se menține raportul acid gras/rășină practic constant (1,60/1,00 în loc de 1,66/1,00) (1). Măsurătorile reologice, efectuate pe intervalul de viteze de forfecare 3,0-16,2 s⁻¹, conduc la reograma liniară B din figura 3, care corespunde ecuației:

$$\tau = 626,59 + 6653,44 \dot{\gamma} \quad (3)$$

S-a obținut viscozitatea de 6.653,44 mPa.s și tensiunea limită de curgere 626,6 mPa (coeficient de corelație 0,9997). În schimb, la micșorarea vitezelor de forfecare, reograma nu mai este liniară, ci indică o comportare pseudoplastică (fig. 3, curba C). Reograma C este situată deasupra reogramei B, ceea ce înseamnă că sistemul prezintă o comportare reologică dilatantă și buclă de histererezis. Din cele de mai sus rezultă că forfecarea (agitarea) favorizează structurarea.

Comparând valorile viscozităților rășinii epoxidice modificate prin esterificare cu acizi grași de tall - 1-urile 2 și 3, se observă că viscozitatea este cu atât mai ridicată cu

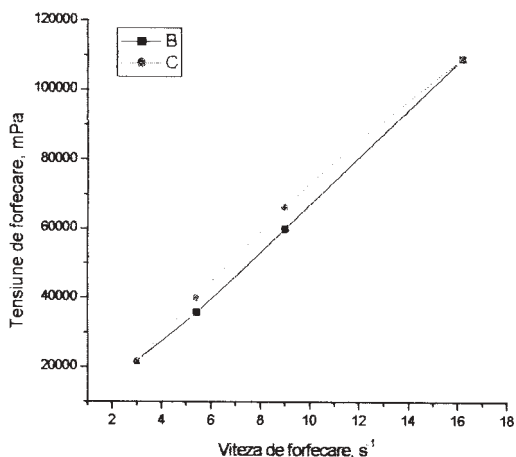


Fig. 3. Reograma rășinii esterificate 3

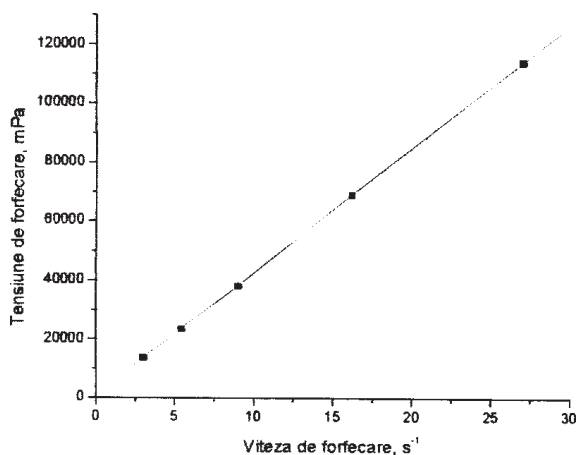


Fig. 2. Reograma rășinii esterificate 2

cât raportul echivalent acid/echivalent epoxidic este mai mic.

Pentru obținerea 1-ului 4 s-a utilizat o altă rășină epoxidică, Epoxi CHS 210, cu un echivalent epoxidic mai mare, și anume 530, care s-a esterificat tot cu acizi grași de tall, raportul celor doi echivalenți fiind 0,7/1,0. Viscozitatea produsului acestei 1 este mult mai mică decât a celei anterioare, fapt ce a determinat efectuarea măsurătorilor pe intervalul de viteze de forfecare cuprins între 5,4 și 27,0 s⁻¹, așa cum se poate vedea din figura 4.

Comportarea 1-ului 4 este tot de fluid ideal plastic, iar ecuația dreptei care leagă tensiunea de forfecare de viteza de forfecare este:

$$\tau = -2185 + 3536,11 \dot{\gamma} \quad (4)$$

S-a obținut viscozitatea cu valoarea 3.536,11 mPa.s, de circa 1,9 ori mai mică decât a rășinii anterioare. Valorile tensiunilor de forfecare la micșorarea vitezelor de forfecare, precum și la al doilea ciclu mărirea-micșorare, sunt identice, demonstrând că materialul se comportă independent de timp.

1-ului 5, modificată cu monomerii acid acrilic și stiren în condițiile descrise în partea experimentală, are o comportare reologică diferită de a rășinilor esterificate. Astfel, comportarea sa este uor pseudoplastică (figura 5) și, totodată, dependentă de timp, specifică soluțiilor concentrate de polimeri și/sau celor cu masă molară mare. Curbele obținute la mărirea și micșorarea vitezelor de forfecare nu se mai suprapun în primele două cicluri mărirea-micșorare, dar se suprapun în cel de al treilea ciclu. Măsurătorile au fost posibile în intervalul de viteze de forfecare cuprins doar între 3 și 9 s⁻¹.

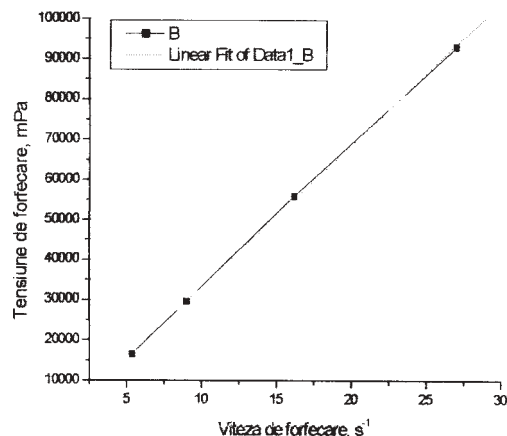


Fig. 4. Reograma rășinii modificate 4

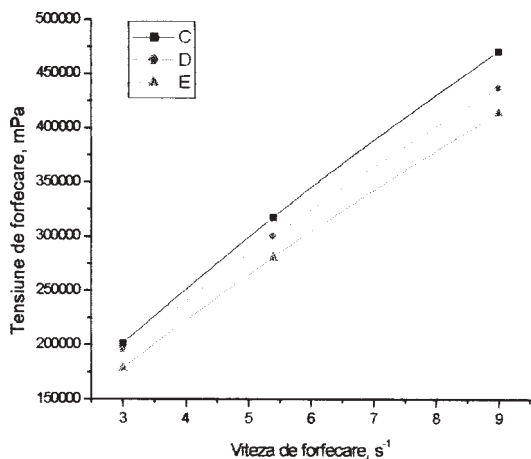


Fig. 5. Reogramele 5: C-prima mărirea a vitezelor de forfecare; D-a doua mărirea; E -a treia mărirea

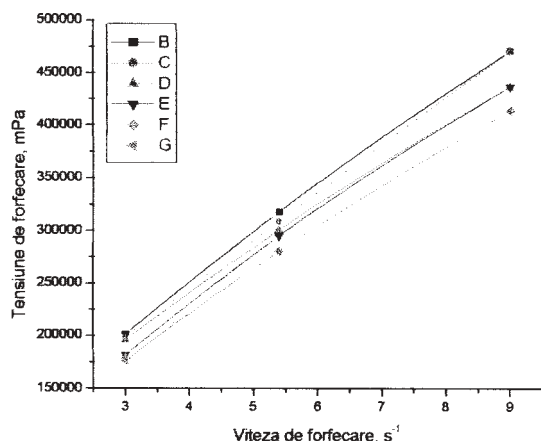


Fig. 6. Reogramele 5 la cele trei mărirea și micorări ale vitezelor de forfecare

Comportarea pseudoplastică se explică prin alinierea moleculelor în direcția forfecării, ceea ce crează o cale de rezistență minimă la curgere și scăderea temporară a viscozității. Dacă nu are loc distructurarea sistemului, sau degradarea lanțurilor macromoleculare sub acțiunea vitezei de forfecare, micorarea vitezei readuce viscozitatea la valoarea inițială și reogramele obținute la mărirea și micorarea vitezelor de forfecare se suprapun. Scăderea viscozității este deci reversibilă și nu se observă efecte dependente de timpul de forfecare. În cazul în care sistemul se destrucurează (interacțiunile dintre macromolecule se reduc), sau polimerul se degradează sub acțiunea tensiunii de forfecare, viscozitatea nu mai revine la valoarea anterioară prin reducerea vitezei de forfecare și comportarea sa este ireversibilă, dependentă de timpul și viteza de forfecare. De menționat că valoarea viscozității depinde și de forfecările anterioare la care a fost supus sistemul, precum și de timpul scurs de la acestea, comportare denumită "dependentă de timp".

Pentru o imagine mai completă asupra modificărilor de viscozitate suferite de rășina din 5 în decursul a trei cicluri mărirea-micorare a vitezelor de forfecare, în figura 6 s-au reprezentat toate cele șase reograme. Se constată următoarele:

- cu cât vitezele de forfecare sunt mai mari, cu atât diferențele dintre tensiunile de forfecare la cele trei mărirea sunt mai mari, ceea ce demonstrează accentuarea distructurării sistemului la mărirea vitezelor de forfecare;
- distructurarea sistemului este mai puternică la a doua mărirea a vitezelor de forfecare decât la a treia mărirea;
- structura sistemului nu se refacă la cea de a doua micorare a vitezelor de forfecare;

- reogramele se suprapun la cel de al treilea ciclu mărirea-micorare a vitezelor de forfecare, deci sistemul își păstrează structura în aceste condiții.

5, modificată cu cei doi monomeri, are viscozitate mai mare decât 4, de la care s-a obținut prin tratare cu cei doi monomeri, iar măsurătorile s-au putut efectua pe un interval mai mare de viteze de forfecare, cuprins între 3,0 și 48,6 s⁻¹, respectiv între 27,0 și 243,0 s⁻¹ atunci când s-au utilizat senzori de viscozitate diferiți.

Reograma obținută pentru primul interval de viteze de forfecare, mai îngust și cu valori mai mici, este prezentată în figura 7. Valorile înregistrate la mărirea și micorarea vitezelor de forfecare sunt identice, confirmând că 5 are comportare uor pseudoplastică independentă de timp.

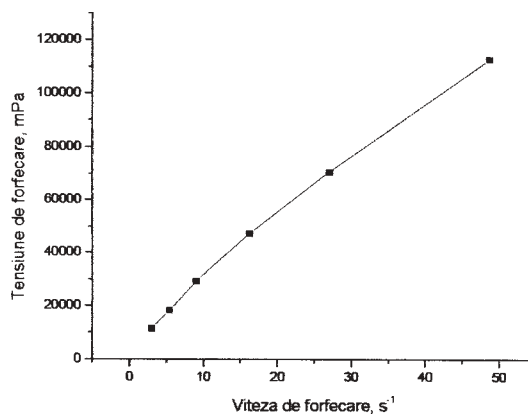


Fig. 7. Reograma 6 la viteze de forfecare cuprinse între 3,0 și 48,6 s⁻¹

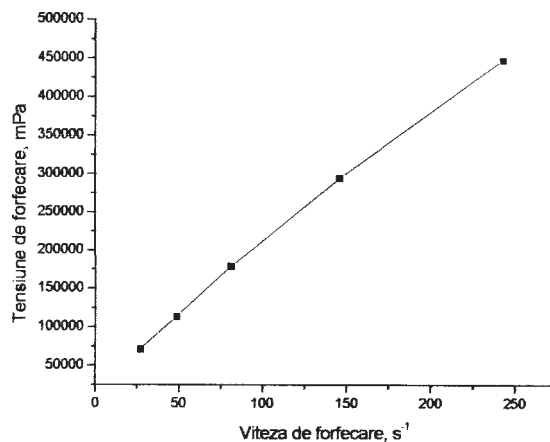


Fig. 8. Reograma 6 pe intervalul de viteze de forfecare 27-243 s⁻¹

Liniarizarea datelor furnizate de reograma din figura 7 a condus la ecuația:

$$\ln \eta^* = 8,45357 - 0,17682 \ln \gamma \quad (5)$$

cu un coeficient de corelație având doar valoarea 0,99668. Pentru viscozitatea la viteză de forfecare zero s-a obținut, din ordonata la origine, valoarea 4.691,79 mPa.s, de aproape 1,33 ori mai mare decât a 4, de la care provine.

În figura 8 este reprezentată reograma obținută pe intervalul de viteze de forfecare mai mari. Din figură se constată că sistemul se comportă ideal plastic pe intervalul de viteze de forfecare cuprins între 27 și 81 s⁻¹ și că la 81 s⁻¹ se produce o uoară scădere de pantă (o micorare de viscozitate), ceea ce indică o oarecare distructurare la această viteză de forfecare. Liniaritatea datelor rezultate

Tabelul 2
VALORILE VISCOSITĂȚILOR RĂȘINILOR DIN TABELUL 1, TIPURILE DE COMPORTĂRI REOLOGICE
ÎN CONDIȚIILE ÎN CARE S-AU OBTINUT

Rășina epoxidică modificată	Viscozitate, mPa.s	Tip comportare	Observații
Șarja 1	8.587,17	Fluid Bingham	
Șarja 2	4.188,00	Fluid Bingham	
Șarja 3	6.653,44	Fluid Bingham	Devine dilatantă după forfecare
Șarja 4	3.536,11	Fluid Bingham	
Șarja 5	86.123,71	Slab pseudoplastică, tixotropă	Prima măsurare a $\dot{\gamma}$
	87.640,63	Slab pseudoplastică, tixotropă	A doua măsurare a $\dot{\gamma}$
	77.116,30	Slab pseudoplastică, tixotropă	A treia măsurare a $\dot{\gamma}$
Șarja 6	4.691,79	Pseudoplastică	$\dot{\gamma} = 3,0 \div 48,6 \text{ s}^{-1}$
	4.059,07	Ușor pseudoplastică	$\dot{\gamma} = 27,0 \div 243,0 \text{ s}^{-1}$
	1898,00	Ideal plastică	$\dot{\gamma} = 27,0 \div 145,8 \text{ s}^{-1}$

din reogramă este însă mai bună decât cea anterioară, coeficientul de corelare având valoarea 0,9996. Ecuația dreptei are forma:

$$\ln \eta^* = 8,30871 - 0,14341 \ln \dot{\gamma} \quad (6)$$

ce conduce la o valoare a viscozității la viteză de forfecare zero de 4.059,07 mPa.s, de 1,15 ori mai mică decât cea obținută pentru intervalul de viteze de forfecare mai mici. Acest lucru era de așteptat pentru un fluid pseudoplastic, mărirea vitezelor de forfecare accentuând destrucția. Trebuie menționat că forfecarea s-a făcut în ordinea în care sunt prezentate datele: mai întâi pe intervalul de viteze mai mici, apoi s-a continuat pe cel de viteze mai mari.

Reprezentarea separată a punctelor din reograma din figura 8 pentru care comportarea este liniară (punctele 1-3) conduce la ecuația:

$$\eta = 19495,76 + 1898,37 \dot{\gamma} \quad (7)$$

cu coeficientul de corelație apropiat de unitate (0,99968). Din aceasta rezultă viscozitatea de 1.898,37 mPa.s, care sugerează că sistemul se distruge accentuat (are predominant o comportare pseudoplastică) la viteze de forfecare mari, indicând că agitatrea înainte de utilizare micșorează viscozitatea, urmând aplicarea pe substrat, fără a afecta stabilitatea la stocare.

Pentru o mai corectă comparare a comportării reologice a celor patru rășini epoxidice modificate, în tabelul 2 sunt rezumate valorile viscozităților, comportarea reologică a acestora, acolo unde este cazul, condițiile în care s-au obținut viscozitățile.

Concluzii

Determinările experimentale pentru obținerea reogramelor au arătat că rășinile epoxidice esterificate cu acizi grași de soia și de tall au o comportare reologică de fluid ideal plastic.

Cu cât raportul dintre echivalenții acid și epoxidic este mai mare, cu atât viscozitatea rășinii modificate este mai scăzută.

Reacția cu acid acrilic și stiren a rășinii epoxidice Epilox A 50-02 esterificate cu acizii grași de tall mărște de aproximativ 20 ori viscozitatea sistemului și modifică comportarea din ideal plastică în pseudoplastică dependentă de timp (comportare tixotropă).

Modificarea cu monomerii acid acrilic și stiren a rășinii epoxidice cu echivalent epoxidic mai mare (Epoxi CHS 210) esterificate cu aceeași acizi conduce la un produs cu comportare pseudoplastică independentă de timp și viscozitate comparabilă cu a rășinii cu echivalent epoxidic mai mic, modificată numai cu acizi grași de tall (șarja 2).

Ținând seama de greutatea specifică mare a pulberilor metalice, este de așteptat ca cele mai stabile sisteme disperse peliculogene să se obțină cu șarja 5, dată fiind viscozitatea foarte mare a acesteia comparativ cu a celorlalte șarje, deși pot să apară complicații în ceea ce privește dispersarea și aplicarea.

Bibliografie

- MAMUYA, Ye. P., DAVYDENKO, V. V., PISSIS, P., LEBEDEV, E. V., Eur. Polymer J. **38**, 2002, p. 1887
- CHEREMISINOFF, N. P., Concise Encyclopedia of Polymers, Butterworth-Heinemann, London, 2001
- EHRENSTEIN, G. W., Polymeric Materials, Hanser Gardner, Cincinnati, 2001
- WARTUSCH, J., Macromol Chem., Macromol. Symp., **75**, 1993, p. 67
- GLOOR, W. H., J. Polymer Sci. Part. C **19**, 1967, p. 3
- *** <http://www.chemsystems.com/newsletters>, PERP Program - Epoxy Resins, New Report Alert, June 2006
- *** <http://www.epoxyproducts.com/fc2100.html>
- BARTHES-LABROUSSE, M. G., J. Adhesion **57**, 1996, p. 65
- SWADENER, J. G., LIECHTI, K. M., LOZANNE, A., J. Mech. Phys. Solids **47**, 1999, p. 223
- KISHI, H., UESAWA, K., MATSUDA, S., MURAKAMI, A., J. Adhes. Sci. Technol. **19**, 2005, p. 1277
- GRUNDMEIER, G., STRATMANN, M., Ann. Review Materials Res. **35**, 2005, p. 571
- LEE, H., NEVILLE, K., Epoxy Resins: Their Applications and Technology, McGraw-Hill, New York, 1957.
- RATNA, D., BANTHIA, A. K., Polym. Int. **49**, 2000, p. 309
- *** <http://www.reichhold.com>

Intrat în redacție: 20.03.2007