

MIRJANA C. JOVIČIĆ
RADMILA Ž. RADIČEVIĆ

Tehnološki fakultet, Univerzitet u
Novom Sadu, Novi Sad, Srbija

NAUČNI RAD

UDK 667.633.26:665.944:66.09

DOI: 10.2298/HEMIND0906629J

KINETIKA UMREŽAVANJA SMEŠA ALKID/MELAMINSKA SMOLA

Smeše alkidnih i melaminskih smola se primenjuju u lakovima koji očvršćavaju na povišenim temperaturama. U ovom radu istraživano je umrežavanje alkidnih smola na bazi ricinusovog ulja i dehidratiranog ricinusovog ulja sa melaminskom smolom, DSC metodom sa programiranim zagrevanjem i u izotermnim uslovima. Vrednosti za stepen reagovanja smeša smola dobijene u neizotermnim uslovima umrežavanja transformisane su u izotermne korišćenjem Ozawa izokonverzijskog modela i poređene sa eksperimentalnim rezultatima dobijenim u izotermnom DSC režimu. Dobro slaganje predviđenih i eksperimentalnih rezultata omogućava primenu Ozawa modela za istraživanje kinetike umrežavanja ispitivanih smeša smola, odnosno za izračunavanje kinetičkih parametara reakcija umrežavanja u izotermnim uslovima korišćenjem samo eksperimentalnih rezultata dobijenih u dinamičkom DSC režimu rada.

Alkidne smole se najčešće koriste kao vezivno sredstvo u premazima. Uglavnom se ne koriste same, već se modifikuju sa drugim sintetskim smolama. Smeše alkidnih i melaminskih smola, koje se primenjuju u lakovima, daju filmove premaza koje karakteriše dobra elastičnost (zahvaljujući alkidnoj smoli) i odlična hemijska otpornost i tvrdoća (zbog prisustva melaminske smole) [1]. Melaminska smola predstavlja umrežavajuće sredstvo u smešama i dodaje se u manjim količinama nego alkidna smola.

“Sušenje” premaza na bazi smeša alkidne i melaminske smole odvija se umrežavanjem preko funkcionalnih grupa u smolama, na povišenim temperaturama [2,3]. Bez obzira što se te smeše koriste u industriji premaznih sredstava već dugi niz godina, mehanizam umrežavanja nije u dovoljnoj meri istražen zbog složenosti reakcionog sistema [3]. Vargha i Kiss su izučavali umrežavanje “kratkoulnih” alkidna melaminskom smolom termogravimetrijskom metodom, te zaključili da tokom umrežavanja smeša smola paralelno teku hetero i homopolikondenzacije [4]. Umrežavanje alkidnih smola na bazi palminog ulja sa melaminskom smolom istraživali su Gan i Tan [3] metodom IR spektroskopije. Autori su zapazili da samokondenzacija amino smole nije značajno prisutna [3]. Bauer i Budee su razvili kinetički model koji opisuje zavisnost stepena umreženosti premaza od vremena umrežavanja i odnosa alkid/melaminska smola [5]. U radu Tiwari-a i saradnika [6] istraživano je umrežavanje smeša alkidna na bazi mahua ulja i melaminske smole. Jovičić i saradnici su istraživali umrežavanje smeša polusušivih alkidna i amino smole DSC metodom, a dobijene vrednosti za kinetičke parametre ukazuju na složenost ovih reakcija [7]. U radu Radičević i Budinski-Simendić [1] istraživao je uticaj masenog odnosa alkidne smole na bazi čistih masnih kiselina i melaminske smole, kao i temperature umrežavanja na stepen umreženosti i svojstva filma premaza.

Nađeno je da stepen umreženosti raste sa porastom udele melaminske smole u smeši i sa porastom temperature umrežavanja [1]. Praćene su promene reakcionog sistema tokom umrežavanja smeša alkidna/melaminska smola ¹³C-NMR spektroskopijom [8]. Kinetika umrežavanja alkid/polietilentereftalat premaza praćena je DSC metodom u dinamičkom režimu od 80 do 203 °C, a proces umrežavanja se može opisati Šesták-Berggreen modelom za heterogene sisteme [9]. Istraživano je umrežavanje smeša hiperrazgranatih alkidna na bazi ricinusovog ulja i melaminskih smola sa ciljem projektovanja sastava i strukture lakova sa manjim sadržajem organskih rastvarača u odnosu na premaze u kojima se koriste klasične alkidne smole [10]. Za određivanje kinetičkih parametara reakcija umrežavanja termoreaktivnih polimera se koriste različite metode. Zadovoljavajući rezultati dobijeni su na osnovu Arrhenius-ovog zakona i Ozawa izokonverzijskog modela za umrežavanja u izotermnim i dinamičkim uslovima [11–13].

EKSPERIMENTALNI DEO

Istraživano je umrežavanje komercijalnih alkidna na bazi ricinusovog i dehidratiranog ricinusovog ulja sa butilovanom melaminformaldehidnom smolom da bi se ispitaio uticaj tipa alkidne smole i odnosa komponenata na kinetiku umrežavanja. Kinetika umrežavanja praćena je DSC metodom u izotermnim uslovima, kao i metodom sa programiranim zagrevanjem. Korišćenjem Ozawa izokonverzijskog modela vrednosti za stepene reagovanja dobijene u dinamičkim DSC uslovima transformisane su u izotermne, i iste poređene sa eksperimentalnim rezultatima dobijenim u izotermnom DSC režimu. Iz izotermnih DSC kriva izračunati su konstanta brzine i red reakcije, kao i prividna energija aktivacije.

Materijali

Alkidna smola na bazi ricinusovog ulja (17 mas% ulja), kao 70% rastvor u butilacetatu (Duga, Beograd); kiselinski broj: 17 mgKOH g⁻¹; specifična masa na 20 °C: 1,080 g cm⁻³; indeks boje: 3.

Autor za prepisku: M. Jovičić, Tehnološki fakultet, Bulevar cara Lazara 1, Novi Sad, Srbija.

E-pošta: jovicic.mirjana@gmail.com

Rad primljen: 20. oktobar 2009.

Rad prihvaćen: 3. novembar 2009.

Alkidna smola na bazi dehidratisanog ricinusovog ulja (35 mas% ulja), kao 60% rastvor u smeši ksilena i izobutanola, komercijalnog naziva ARALKYD COD33 (CoRes System, Beograd): kiselinski broj: 20 mgKOH g⁻¹; viskoznost na 23 °C: 1250 mPa·s; indeks boje: 6; specifična masa na 20 °C: 1,010 g cm⁻³.

Trofunkcionalna butilovana melaminska smola kao 56% rastvor u smeši ksilena i butanola, komercijalnog naziva Melcross 22 (P&ID CO., LTD, Koreja): kiselinski broj: 3 mgKOH g⁻¹; viskoznost na 23 °C: 600 mPa·s; specifična masa na 20 °C: 1,10 g cm⁻³; srednjeg stepena alkilovanja.

Pripremanje smeša smola

Za ispitivanje kinetike umrežavanja alkidna i melaminska smola su umešavane na sobnoj temperaturi u određenim odnosima. Pripremljene su četiri smeše:

smeša 1: 90 mas% alkida na bazi ricinusovog ulja + 10 mas% melaminske smole;

smeša 2: 70 mas% alkida na bazi ricinusovog ulja + 30 mas% melaminske smole;

smeša 3: 90 mas% alkida na bazi dehidratisanog ricinusovog ulja + 10 mas% melaminske smole;

smeša 4: 70 mas% alkida na bazi dehidratisanog ricinusovog ulja + 30 mas% melaminske smole.

Praćenje umrežavanja smeša smola DSC metodom

Umrežavanje smeša smola praćeno je DSC metodom sa programiranim zagrevanjem i u izotermnim uslovima. Korišćen je diferencijalni kalorimetar DSC Q20 TA Instrument i hermetičke posude za uzorke. Pre hermetičkog zatvaranja posudice sa uzorcima su stavljane u vakuum sušnicu da bi otpario rastvarač. Umrežavanje je vršeno od sobne temperature do 250 °C, sa tri različite brzine zagrevanja: 5, 10 i 20 °C min⁻¹. Za transformaciju neizotermnih DSC rezultata u izotermne primenjen je Ozawa izokonverzijski model [14,15]. Umrežavanje smeša smola u izotermnim uslovima istraživano je DSC metodom na sledećim temperaturama:

za smešu 1: 180, 190 i 200 °C;

za smešu 2: 170, 180 i 190 °C;

za smešu 3: 140, 150 i 160 °C;

za smešu 4: 120, 130 i 140 °C.

Temperature izotermne polimerizacije smeša smola su odabrane na osnovu termograma dobijenih DSC metodom sa programiranim zagrevanjem (slike 1–4). Step reaganja određivan je iz izotermnih DSC kriva metodom opisanom u literaturi [16,17]. Količina neproreagovane smeše smola je određivana zagrevanjem uzorka od temperature izotermne reakcije do 300 °C [1,7,17].

Ozawa izokonverzijski model [14,15]

Ozawa izokonverzijski model je primenjen za transformaciju neizotermnih DSC rezultata u izotermne. Ozawa metod se zasniva na sledećoj jednačini:

$$\log \beta = A' - 0.4567 \frac{E_a}{RT} \quad (1)$$

gde je β brzina zagrevanja (K min⁻¹), E_a energija aktivacije (J mol⁻¹), R gasna konstanta (8,31 J mol⁻¹ K⁻¹), T temperatura (K) i A' se može izraziti kao:

$$A' = \log \left[\frac{k_0 E_a}{R g(\alpha)} \right] - 2.315 \quad (2)$$

gde je α prividni stepen reaganja, k_0 predeksponencijalni faktor i $g(\alpha)$ funkcija stepena reaganja:

$$g(\alpha) = \int_0^\alpha \frac{d\alpha}{f(\alpha)} = \int_0^t k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} dt = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT} t} \quad (3)$$

Vrednosti A' i E_a dobijene iz jednačine (1), za različite vrednosti prividnog stepena reaganja se koriste za određivanje vrednosti nove konstante, A :

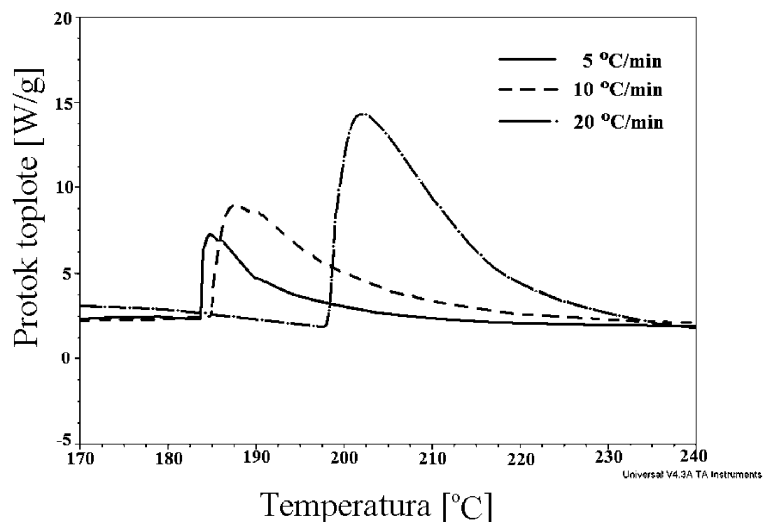
$$A = \ln \left[\frac{g(\alpha)}{k_0} \right] \quad (4)$$

Konstanta A omogućava transformaciju dinamičkih u izotermne podatke, jednačina (5):

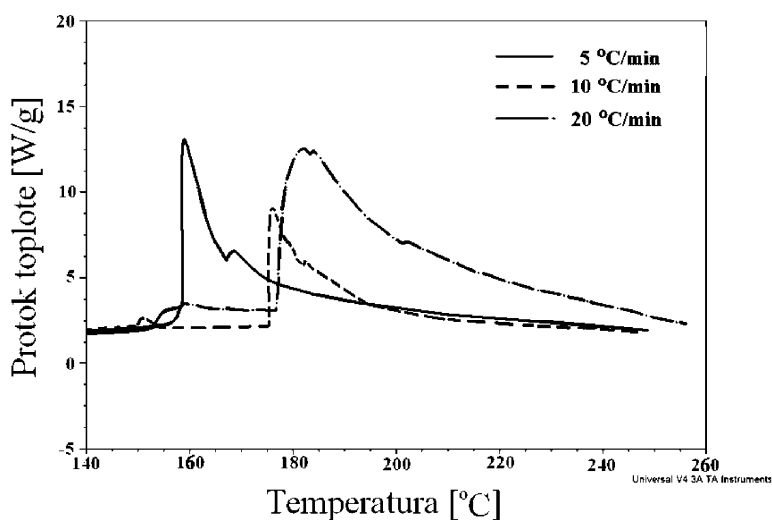
$$\ln t = A + \frac{E_a}{RT} \quad (5)$$

REZULTATI I DISKUSIJA

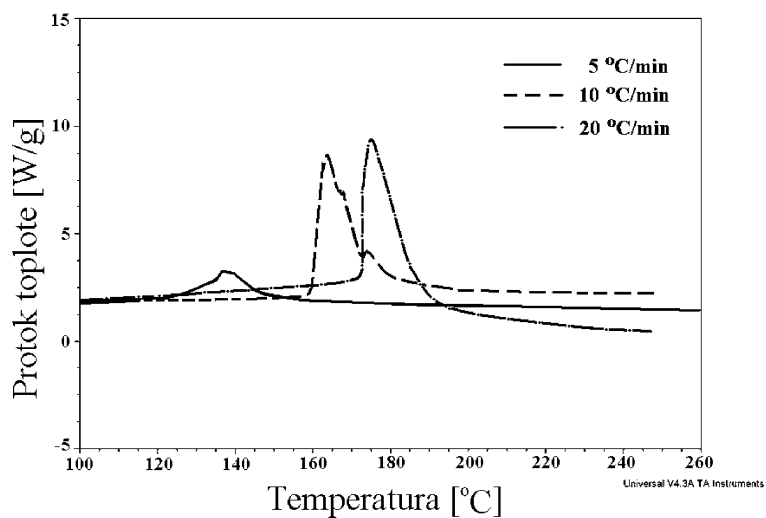
Na slikama 1–4 prikazane su DSC krive umrežavanja ispitivanih smeša alkidnih i melaminske smole. Iz dinamičkih DSC termograma se uočava da se maksimum na krivama pomera ka nižim vrednostima sa porastom udela melaminske smole u smešama, što je i očekivano s obzirom na veliku funkcionalnost melaminske smole [1,7]. Treba naglasiti da brzina zagrevanja uzoraka ima značajan uticaj na vrednosti temperatura pri kojima je maksimalna brzina umrežavanja (T_{maks}). Iz prikazanih slika 1–4 vidi se da alkidna smola na bazi dehidratisanog ricinusovog ulja (slike 3 i 4) u smeši sa butilovanom melaminskom smolom umrežava na nižim temperaturama u odnosu na alkidnu smolu na bazi ricinusovog ulja. Pri brzini zagrevanja 5 °C min⁻¹, T_{maks} je 185 °C za smešu 1, 160 °C za smešu 2, 140 °C za smešu 3 i 120 °C za smešu 4. To je, verovatno, posledica hemijskog sastava dehidratisanog ricinusovog ulja koje spada u polusušiva ulja i može umrežavati sa ili bez dodatka melaminske smole. Očekivalo se da alkid na bazi ricinusovog ulja, koje sadrži 87% ricinolne kiseline, a ista u svom sastavu ima OH grupu preko koje se može odigravati umrežavanje sa funkcionalnim grupama iz melaminske smole, reaguje na nižim temperaturama. To nije bio slučaj, a razlog je prvenstveno u količini ulja u smoli (17 mas%).



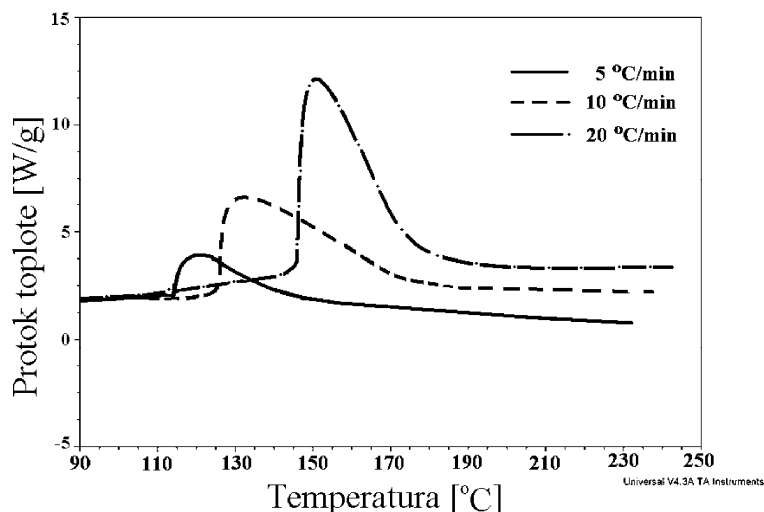
Slika 1. DSC krive umrežavanja smeše 1 (90 mas% alkidne smole na bazi ricinusovog ulja).
Figure 1. DSC curves of curing of mixture 1 (90 wt% of alkyd resin based on castor oil).



Slika 2. DSC krive umrežavanja smeše 2 (70 mas% alkidne smole na bazi ricinusovog ulja).
Figure 2. DSC curves of curing of mixture 2 (70 wt% of alkyd resin based on castor oil).



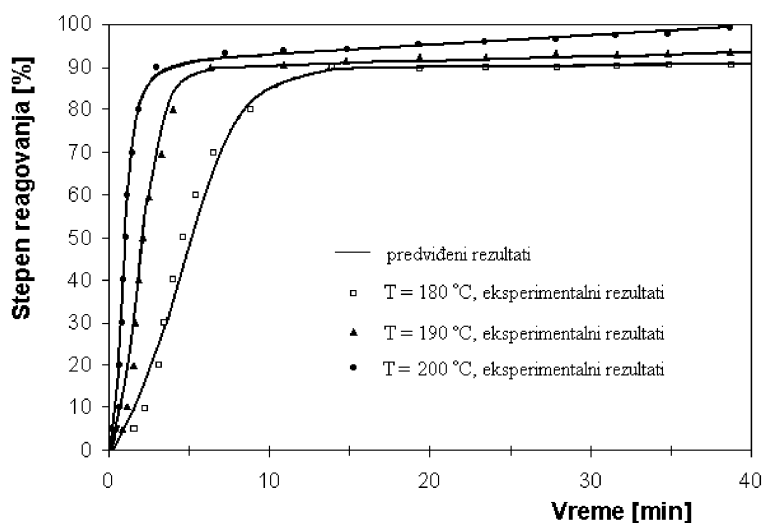
Slika 3. DSC krive umrežavanja smeše 3 (90 mas% alkidne smole na bazi dehidratiranog ricinusovog ulja).
Figure 3. DSC curves of curing of mixture 3 (90 wt% of alkyd resin based on dehydrated castor oil).



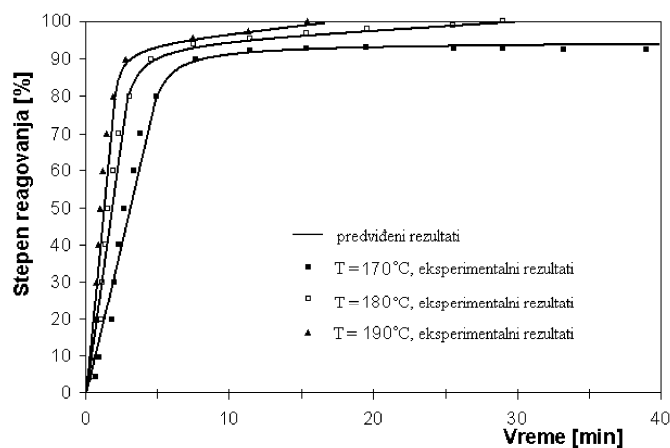
Slika 4. DSC krive umrežavanja smeše 4 (70 mas% alkidne smole na bazi dehidratisanog ricinusovog ulja).
Figure 4. DSC curves of curing of mixture 4 (70 wt% of alkyd resin based on dehydrated castor oil).

Na slikama 5–8 prikazane su krive zavisnosti promene stepena reagovanja sa vremenom reakcije za ispitivane smeše smola dobijene primenom Ozawa izokonverzijskog modela, dok su tačkama predstavljeni eksperimentalni rezultati dobijeni DSC metodom u izotermnim uslovima. Uočava se dobro slaganje predviđenih i eksperimentalnih rezultata, što omogućava primenu Ozawa izokonverzijskog modela za istraživanje kinetike umrežavanja smeša alkidna/melaminska smola, odnosno za izračunavanje kinetičkih parametara reakcija u izotermnim uslovima korišćenjem samo eksperimentalnih rezultata dobijenih u dinamičkom DSC režimu rada. Na osnovu krivih prikazanih na slikama 5–8 izračunati su kinetički parametri reakcije umrežavanja primenom opšteg izraza za brzinu polimerizacije kao funkciju stepena reagovanja [15]. Rezultati su prikazani u tabeli 1.

Red reakcije, n , umrežavanja smeša smola na bazi dehidratisanog ricinusovog ulja iznosi od 1,12 do 1,37, a za smeše u kojima je korišćen alkid na bazi ricinusovog ulja od 1,74 do 2,03 (tabela 1). Konstanta brzine reakcije, k , raste sa porastom temperature umrežavanja i udela melaminske smole u smeši, što je očekivano i u saglasnosti sa rezultatima objavljenim u literaturi [1,2,7]. Primenom Arrhenius-ovog zakona, koji opisuje promenu k sa temperaturom, izračunate prividne energije aktivacije umrežavanja iznose: za smešu 1, $E_a = 114 \text{ kJ mol}^{-1}$; za smešu 2, $E_a = 76,4 \text{ kJ mol}^{-1}$; za smešu 3, $E_a = 58,7 \text{ kJ mol}^{-1}$ i za smešu 4, $E_a = 51,3 \text{ kJ mol}^{-1}$. Energija aktivacije se smanjuje sa porastom udela melaminske smole u smeši, što je posledica veće reaktivnosti melaminske

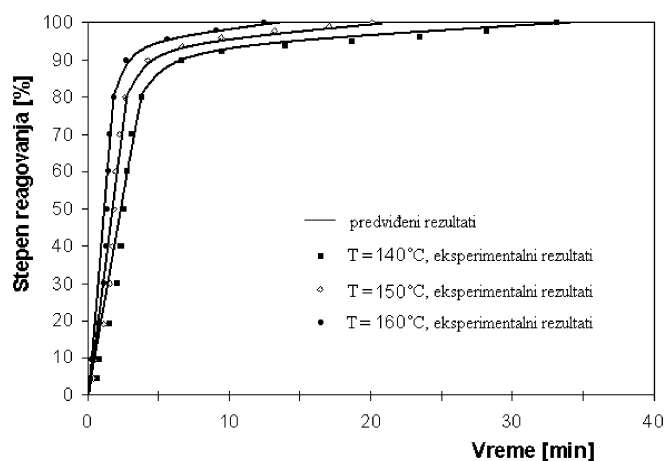


Slika 5. Poređenje eksperimentalno određenih stepena reagovanja sa predviđenim (Ozawa model) za smešu 1 (90 mas% alkidne smole na bazi ricinusovog ulja).
Figure 5. Comparison between experimental and predicted (Ozawa model) curing degree of mixture 1 (90 wt% of alkyd resin based on castor oil).



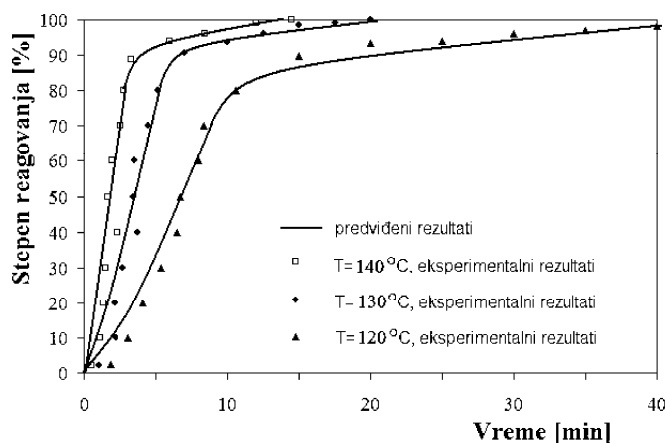
Slika 6. Poređenje eksperimentalno određenih stepena reagovanja sa predviđenim (Ozawa model) za smešu 2 (70 mas% alkidne smole na bazi ricinusovog ulja).

Figure 6. Comparison between experimental and predicted (Ozawa model) curing degree of mixture 2 (70 wt% of alkyd resin based on castor oil).



Slika 7. Poređenje eksperimentalno određenih stepena reagovanja sa predviđenim (Ozawa model) za smešu 3 (90 mas% alkidne smole na bazi dehidratisanog ricinusovog ulja).

Figure 7. Comparison between experimental and predicted (Ozawa model) curing degree of mixture 3 (90 wt% of alkyd resin based on dehydrated castor oil).



Slika 8. Poređenje eksperimentalno određenih stepena reagovanja sa predviđenim (Ozawa model) za smešu 4 (70 mas% alkidne smole na bazi dehidratisanog ricinusovog ulja).

Figure 8. Comparison between experimental and predicted (Ozawa model) curing degree of mixture 4 (70 wt% of alkyd resin based on dehydrated castor oil).

smole u odnosu na alkidnu. Smeša 4 (70 mas% alkida na bazi dehidratisanog ricinusovog ulja i 30 mas% melaminske smole) ima najnižu energiju aktivacije, a to je u saglasnosti sa DSC krivama umrežavanja iz kojih je bilo vidljivo da ta smeša umrežava na nižim temperaturama od ostalih.

Tabela 1. Red reakcije, n , i konstante brzine reakcije, k , za ispitivane smeše smola
Table 1. Reaction order, n , and rate constants, k , of investigated resin mixtures

Smeša broj	Temperatura umrežavanja (°C)	n	k (s ⁻¹)
1	180	1,99	0,4869
	190	1,86	0,9510
	200	1,74	1,8143
2	170	2,03	0,9170
	180	1,98	1,4514
	190	1,94	2,2547
3	140	1,31	0,6087
	150	1,23	0,9370
	160	1,18	1,4733
4	120	1,33	0,4746
	130	1,37	0,9219
	140	1,12	1,1382

ZAKLJUČAK

Istraživana je kinetika umrežavanja alkida na bazi ricinusovog i dehidratisanog ricinusovog ulja trofunkcionalnom butilovanom melaminskom smolom, DSC metodom u neizotermnim i izotermnim uslovima. Smeše alkida na bazi dehidratisanog ricinusovog ulja i melaminske smole umrežavaju na nižim temperaturama u odnosu na one u kojima je korišćena alkidna smola na bazi ricinusovog ulja. Korišćenjem Ozawa modela vrednosti za stepene reagovanja dobijene u dinamičkim DSC uslovima transformisane su u izotermne. Dobro slaganje predviđenih i eksperimentalnih rezultata, omogućava primenu Ozawa izokonverzijskog modela za istraživanje kinetike umrežavanja smeša alkidna/melaminska smola, odnosno za izračunavanje kinetičkih parametara reakcija u izotermnim uslovima korišćenjem samo eksperimentalnih rezultata dobijenih u dinamičkom DSC režimu rada. Red reakcije umrežavanja smeša alkida na bazi dehidratisanog ricinusovog ulja i melaminske smole se kreće od 1,12 do 1,37, a za smeše u kojima je korišćena alkidna smola na bazi ricinusovog ulja od 1,74 do 2,03. Prividna energija aktivacije zavisi od tipa alkidne smole i količine melaminske smole u smeši, a najniža je kod smeše 4 (70 mas% alkida na bazi dehidratisanog ricinusovog ulja i 30 mas% melaminske smole). Stepene reagovanja smeša smola bitno utiču na postupak nastajanja prevlaka na bazi lakova, posebno tvrdoću i elastičnost filma premaza. Na osnovu dobijenih vrednosti za

stepene reagovanja može se zaključiti da se smeše alkida na bazi dehidratisanog ricinusovog ulja i melaminske smole mogu primeniti u praksi (temperatura umrežavanja 120–160 °C).

Zahvalnica

Autori se zahvaljuju Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije na finansijskoj pomoći tokom izrade ovog rada (Projekat broj 166007).

LITERATURA

- [1] R. Radičević, J. Budinski-Simendić, The effects of alkyd/melamine resin ratio and curing temperature on the properties of the coatings, *J. Serb. Chem. Soc.* **70** (2005) 593–599.
- [2] P. Kalenda, A. Kalendová, Possibilities of affecting the chemical resistances of the coatings formed by reaction of amino resins with alkyd resins, *Pigm. Res. Techn.* **31** (2002) 27–32.
- [3] S. Gan, B. Tan, FTIR studies of the curing reactions of palm oil alkyd-melamine enamels, *J. Appl. Polym. Sci.* **80** (2001) 2309–2315.
- [4] V. Vargha, Gy. Kiss, Time-temperature transformation analysis of an alkyd-amino resin system, *J. Therm. Anal. Cal.* **76** (2004) 295–306.
- [5] D.R. Bauer, G.F. Budde, Crosslinking chemistry and network formation in organic coatings containing hexamethoxymethylmelamine, *J. Appl. Polym. Sci.* **28** (1983) 253–266.
- [6] S. Tiwari, M. Saxena, S.K. Tiwari, Mahua-oil-based resins for the high-temperature curing of fly ash coatings, *J. Appl. Polym. Sci.* **87** (2002) 110–120.
- [7] M. Jovičić, R. Radičević, J. Budinski-Simendić, Curing of alkyds based on semi-drying oils with melamine resin, *J. Therm. Anal. Cal.* **94** (2008) 143–150.
- [8] G.L. Marshall, A ¹³C-NMR study of stoving alkyd systems, *Eur. Polym. J.* **22** (1986) 217–230.
- [9] D.S. Dias, M.S. Crespi, C.A. Ribeiro, J.L.S. Fernandes, H.M.G. Cerqueira, Application of non-isothermal cure kinetics on the interaction of poly(ethylene terephthalate)-alkyd resin paints, *J. Therm. Anal. Cal.* **91** (2008) 409–412.
- [10] C. Karakaya, G. Gündüz, L. Aras, I.A. Mecidoğlu, Synthesis of oil based hyperbranched resins and their modification with melamine-formaldehyde resin, *Prog. Org. Coat.* **59** (2007) 265–273.
- [11] M.V. Alonso, M. Oliet, J. Garcia, F. Rodriguez, J. Echeverria, Transformation of dynamic DSC results into isothermal data for the curing kinetics study of the resol resins, *J. Therm. Anal. Cal.* **86** (2006) 797–802.
- [12] N. Gabilondo, M. Lopez, J.A. Ramos, J.M. Echeverria, I. Mondragon, Curing kinetics of amine and sodium hydroxide catalyzed phenol-formaldehyde resins, *J. Therm. Anal. Cal.* **90** (2007) 229–236.
- [13] X. Ramis, J.M. Salla, Time-temperature transformation (TTT) cure diagram of an unsaturated polyester resin, *J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys.* **35** (1997) 371–388.

- [14] T. Ozawa, Kinetic analysis by repeated temperature scanning. Part 1. Theory and methods, *Thermochim. Acta* **356** (2000) 173–180.
- [15] Z. Petrović, Z. Zavargo, Reliability of methods for determination of kinetic parameters from thermogravimetry and DSC measurements, *J. Appl. Polym. Sci.* **32** (1986) 4353–4367.
- [16] A. Atarsia, R. Boukhili, Relationship Between Isothermal and Dynamic Cure of Thermosets *via* the Isoconversion Representation, *Polym. Eng. Sci.* **40** (2000) 607–620.
- [17] H. Szocik, R. Jantas, Calorimetric study of cross-linking polymerization of methyl methacrylate in the presence of a multimonomer, *J. Therm. Anal. Cal.* **78** (2004) 897–904.

SUMMARY

CURING KINETICS OF ALKYD/MELAMINE RESIN MIXTURES

Mirjana C. Jovičić, Radmila Ž. Radičević

Faculty of Technology, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

(Scientific paper)

Alkyd resins are the most popular and useful synthetic resins applied as the binder in protective coatings. Frequently they are not used alone but are modified with other synthetic resins in the manufacture of the coatings. An alkyd/melamine resin mixture is the usual composition for the preparation of coating called “baking enamel” and it is cured through functional groups of resins at high temperatures. In this paper, curing kinetics of alkyd resins based on castor oil and dehydrated castor oil with melamine resin, has been studied by DSC method with programmed heating and in isothermal mode. The results determined from dynamic DSC curves were mathematically transformed using the Ozawa isoconversional method for obtaining the isothermal data. These results, degree of curing *versus* time, are in good agreement with those determined by the isothermal DSC experiments. By applying the Ozawa method it is possible to calculate the isothermal kinetic parameters for the alkyd/melamine resin mixtures curing using only calorimetric data obtained by dynamic DSC runs. Depending on the alkyd resin type and ratio in mixtures the values of activation energies of curing process of resin mixtures are from 51.3 to 114 kJ mol⁻¹. The rate constant of curing increases with increasing the content of melamine resin in the mixture and with curing temperature. The reaction order varies from 1.12 to 1.37 for alkyd based on dehydrated castor oil/melamine resin mixtures and from 1.74 to 2.03 for mixtures with alkyd based on castor oil. Based on the results obtained, we propose that dehydrated castor oil alkyd/melamine resin mixtures can be used in practice (curing temperatures from 120 to 160 °C).

Ključne reči: Alkidne smole • Melaminska smola • Umrežavanje • DSC • Ozawa izokonverzijski model
Key words: Alkyd resins • Melamine resin • Curing • DSC • Ozawa isoconversional model