

TATIANA BRZozowska, JANUSZ ZIELIŃSKI

Politechnika Warszawska
Instytut Chemii w Płocku
ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock

Badanie reologicznych właściwości kompozycji polimerowo-pakowych

Streszczenie — Zbadano wpływ dodatku 10 % różnych polimerów [poli(chlorku winylu) — PVC, polistyrenu — PS, polipropylenu ataktycznego — PP-a, kopolimeru butadien/styren — SBR, żywicy kumaronowo-indenowej — CIR, nienasyconej żywicy poliestrowej — UP oraz poli(oksyetyleno)diolu — PEG] na charakterystykę reologiczną paku węglowego określaną w przedziale temperatur 90—150 °C i w przedziale szybkości ścinania do 1000 s⁻¹. Ustalono, że kompozycje te można traktować jako ciecze nienewtonowskie rozrzedzane ścinaniem, czyli układy tiksotropowe. Stwierdzono występowanie silnego oddziaływania strukturalnego pak—polimer, najsilniejszego w przypadku PET. Ze względu na możliwość destrukcji PVC w temp. > 120 °C, kompozycje pak+PVC badano stosując ograniczając destrukcję polimeru układ pomiarowy stożek+plyta zamiast używanego w odniesieniu do pozostałych kompozycji układu cylindrycznego.

Słowa kluczowe: pak węglowy, modyfikacja polimerami, charakterystyka reologiczna, tiksotropia, oddziaływania pak—polimer.

STUDY ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF POLYMER/PITCH COMPOSITIONS

Summary — The effect of addition of 10 wt. % of a polymer on rheological characteristics of coal tar pitch determined in temperature range 90—150 °C and shear rate up to 1000 s⁻¹ has been studied (Table 1 and 2, Fig. 1—5). The following polymers were used: poly(vinyl chloride) — PVC, atactic polypropylene — PP-a, butadiene/styrene copolymer — SBR, poly(ethylene terephthalate) — PET, cumarone-indene resin — CIR, unsaturated polyester resin — UP or poly(oxyethylene)diol — PEG. It was found that these compositions could be treated as shear diluted non-Newtonian fluids *i.e.* thixotropic systems (Fig. 5). Strong structural interaction pitch — polymer was found the strongest in case of PET. The system pitch — PVC was studied using cone + plate measurement system, limiting the polymer degradation (because of the possibility of PVC degradation at temp. > 120 °C). For the other compositions a cylindrical measurement system was applied.

Key words: coal tar pitch, modification with polymers, rheological characteristics, thixotropy, pitch — polymer interactions.

Paki zalicza się do kategorii substancji bitumicznych. Ważnym przedstawicielem tego rodzaju materiałów jest pak węglowy, stanowiący pozostałość po destylacji smoły węglowej. Jego właściwości i struktura zależą głównie od rodzaju użytej do przerobu smoły oraz warunków jego przerobu, warunki te bowiem mają istotny wpływ na tworzenie się poszczególnych grup podobnych związków chemicznych występujących w paku, a określanych jako składniki grupowe.

Jedną z najważniejszych właściwości fizycznych paku węglowego stanowi temperatura mięknięcia, warunkująca jego przydatność przemysłową. Temperatura ta jest ściśle związana z lepkością paku, dlatego też ma ona duże znaczenie praktyczne [1]. Korzystne właściwości termoreologiczne umożliwiają na przykład stosowanie paku do otrzymywania anod węglowych, elektrod grafitowych, materiałów ogniotrwałych i izolacyjnych, włókien węglowych, bądź adsorbentów. Paki wykorzystuje się także jako dodatki koksujące, jak również lepiszcza

w materiałach izolacyjno-uszczelniających używanych w budownictwie i drogownictwie. Obecnie obserwuje się jednak ograniczenie wykorzystywania paku węglowego w tych materiałach spowodowane obawą przed rakotwórczym działaniem zawartych w nim wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, zwłaszcza benzo[*a*]pirenu (BAP) [2].

Prowadzone w Instytucie Chemii Politechniki Warszawskiej w Płocku badania doprowadziły do opracowania metody radykalnie ograniczającej stopień kancerogenności paku węglowego. Polega ona na modyfikacji bitumów węglowych związkami wielkocząsteczkowymi z grupy poliestrów nienasyconych i polieteroli, co powoduje niemal 10-krotne zmniejszenie zawartości benzo[*a*]pirenu w bitumach [3, 4].

Pomiary właściwości reologicznych paku pozwalają na ocenę przydatności użytkowej badanych materiałów oraz przemian strukturalnych zachodzących w nich pod wpływem wzrostu temperatury. Określane w tego ro-

dzaju badaniach wielkości to lepkość oraz moduł sprężystości lub moduł odkształcenia. Właściwości te ściśle zależą od temperatury i charakteru stanu naprężeń, związane są też z oddziaływaniami międzycząsteczkowymi i rodzajem badanej struktury [5].

Prace związane z zastosowaniem układów pakowo-polimerowych w materiałach izolacyjno-uszczelniających lub w nowej generacji kompozytowych materiałów węglowych potwierdziły przydatność m.in. poli(chloru winylu) (PVC), żywicy kumaronowo-indenowej (CIR) i nienasyconej żywicy poliestrowej (UP) [6].

Celem naszej obecnej pracy było określenie wpływu wybranych rodzajów polimerów (w tym i uprzednio wymienionych) na właściwości reologiczne paku węglowego. Właściwości te ocenialiśmy na podstawie krzywych płynięcia, pomiarów wartości lepkości dynamicznej, a także charakterystyki tiksotropowej badanych układów.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiały

Pak węglowy

Pak (producent Zakłady Blachownia Holding S.A., pak „B”) o temperaturze mięknięcia 68,5 °C, penetracji (w temp. 50 °C) $8,3 \cdot 10^{-4}$ m, zawartości składników nierozpuszczalnych w toluenie 20,1 % mas. i zawartości składników lotnych 62,1 % mas.

Polimerowe modyfikatory paku węglowego

— Poli(chlorek winylu) (PVC) suspensyjny (typ „Polanvil S-67”, producent Zakłady Azotowe Anwil we Włocławku) o ciężarze cząsteczkowym 139 000, gęstości 1181,5 kg/m³ i liczbie Fikentschera $K=66,9$.

— Polistyren (PS) (typ „Owispol-S”, producent Firma Chemiczna Dwory S.A. w Oświęcimiu) o ciężarze cząsteczkowym 304 000, temperaturze mięknięcia wg Vicata 130 °C, zawartości wolnego styrenu $\leq 0,25$ % mas.

— Polipropylen ataktyczny (PP-a, producent Polski Koncern Naftowy ORLEN S.A. w Płocku), o temperaturze mięknięcia metodą Pierścienia i Kuli 135,5 °C, penetracji (w temp. 25 °C) $43,5 \cdot 10^{-4}$ m, zawartości składników lotnych 1,6 % mas., gęstości 861,9 kg/m³,

— Kopolimer butadien/styren (SBR, „Cariflex TR-1148-S”, producent Shell Chimie w Berre, Francja) o strukturze rozgałęzionej, gęstości 940 kg/m³, zawartości składników lotnych 0,3 % mas. i styrenu 30 % mas., wskaźniku szybkości płynięcia < 1 g/10 min. (temp. 200 °C, obciążenie 5 kg).

— Żywica kumaronowo-indenowa, (CIR, wysokotopliwa typu „WT I”, producent Zakłady Blachownia Holding S.A., w Kędzierzynie Koźlu), o temperaturze mięknięcia 114 °C metodą Pierścienia i Kuli.

— Nienasycona żywica poliestrowa (UP, typ „Polimal 138”, producent ZCh Sarzyna), 40—50 proc. roztwór poliestru nienasyconego w styrenie, o gęstości w temp.

25 °C 1030—1040 kg/m³, zawartości składników nielotnych (w temp. ≥ 110 °C) 44 ± 2 % mas., lepkości 340—400 mPas w temp. 25 °C.

— Poli(oksyetyleno)diol (PEG, producent Carl Roth GmbH&Co, Karlsruhe, Niemcy), o ciężarze cząsteczkowym 2000.

— Poli(tereftalan etylenu) (PET, z odpadów butelek do wody mineralnej o temperaturze mięknięcia wg Vicata 257 °C, twardości wg Brinella 12,23 HB i wskaźniku szybkości płynięcia 0,18 g/10 min (wg oznaczeń własnych).

Sposoby otrzymywania kompozycji polimerowo-pakowych

Kompozycje pakowo-polimerowe sporządzano dobierając indywidualnie parametry procesu mieszania tak, aby uzyskane mieszaniny były jednorodne i stabilne (w zależności od składu kompozycji temperatura = 100—350 °C, czas = 0,5—6 h). Homogenizację prowadzono w możliwie najniższej temperaturze, co pozwoliło na wyeliminowanie ewentualnych procesów destrukcji i/lub degradacji polimerów w paku. We wszystkich przypadkach dodawano jednakową ilość polimeru wynoszącą 10 % mas. w przeliczeniu na całość kompozycji. W ten sposób otrzymywano porównywalne materiały wyjściowe do dalszych badań [7].

Pomiary reologiczne

Badania właściwości reologicznych paku węglowego i kompozycji pakowo-polimerowych przeprowadzono w wiskozymetrze rotacyjnym „Rheotest RN 3.1” firmy Rheotest HAAKE Medingen GmbH (Niemcy). Stosowano dwa układy pomiarowe: cylindryczny układ pomiarowy S2 (szybkość ścinania $D = 0,13$ —1300 s⁻¹, przedział badanej lepkości dynamicznej $\eta = 10$ —10⁸ mPas) oraz układy stożek — płytki K6 i K6A9 (kąty 5 °, szybkość ścinania $D = 0,12$ —1200 s⁻¹, przedział badanej lepkości dynamicznej $\eta = 300$ —3 · 10⁹ mPas).

Wyznaczano:

— krzywe płynięcia w określonej temperaturze w funkcji szybkości ścinania (do 1000 s⁻¹),

— lepkość dynamiczną w funkcji temperatury (50—150 °C) i w funkcji szybkości ścinania (20, 50, 300 s⁻¹),

— właściwości tiksotropowe.

Doświadczalnie ustalono zakres temperatury pomiaru, w którym można oznaczać właściwości reologiczne, zależny od rodzaju polimeru wprowadzanego do kompozycji. Pomiarów dokonywano automatycznie, ustalając przedział szybkości ścinania oraz liczbę punktów pomiarowych.

Do interpretacji wyników badań właściwości reologicznych przeanalizowaliśmy przydatność modeli matematycznych (Newton, Oswald de Waele, Golub, Cross, De Haven, Reiner-Phillipoff, Meter, Bingham, Herschel-

-Bulkley) dostępnych w programie „Rheotest RN 3.1”. Stwierdziłmy, że modele reologiczne Binghama [równ. (1)] i Crossa [równ. (2)] z dużą dokładnością opisują krzywe płynięcia badanych przez nas paku węglowego i kompozycji pakowo-polimerowych, zaś model Crossa może służyć do wyznaczania lepkości strukturalnej ($\eta_{str} = \eta_o - \eta_u$) i jej udziału w lepkości pozornej

$$\% \eta_{str} = \frac{(\eta_o - \eta_u)}{\eta_o} \cdot 100\%$$

$$\tau = \tau_y + \eta \cdot D \quad (1)$$

gdzie: τ — naprężenie ścinające (Pa), τ_y — graniczne naprężenie ścinające (granica płynięcia, Pa), η — lepkość (Pas), D — szybkość ścinania (s^{-1}).

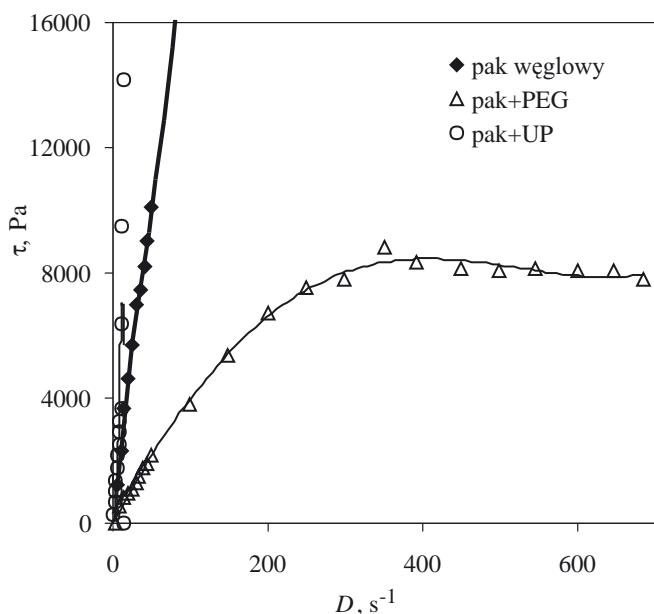
$$\tau = \eta D + [(\eta_o - \eta_u) \cdot D / 1 + (D/D_b)^n] \quad (2)$$

gdzie: η_o — lepkość graniczna (Pas) odpowiadająca bardzo małej szybkości ścinania, η_u — lepkość graniczna (Pas) odpowiadająca bardzo dużej szybkości ścinania, D_b — parametr reologiczny (s^{-1}) charakterystyczny dla danego równania, n — bezwymiarowy wykładnik reologiczny charakterystyczny dla danego równania.

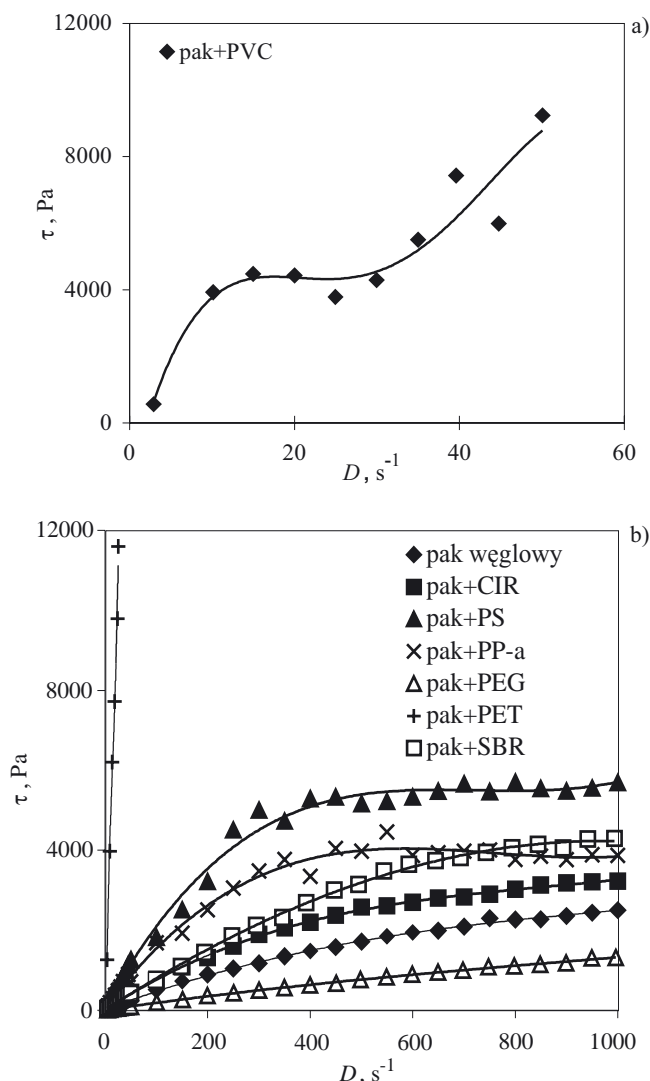
WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Krzywe płynięcia

Charakterystykę reologiczną badanych kompozycji pakowo-polimerowych przedstawiano w postaci krzywych płynięcia, czyli zależności $\tau = f(D)$. Wyznaczano je w określonej temperaturze z przedziału 90–150 °C. W temperaturze $T = 90$ °C można było wyznaczyć krzy-



Rys. 1. Krzywe płynięcia w temp. 90 °C paku węglowego, kompozycji pak+UP i pak+PEG
Fig. 1. Flow curves, at temp. 90 °C, of coal tar pitch, pitch + UP composition and pitch + PEG composition



Rys. 2. Krzywe płynięcia w temp. 120 °C paku węglowego i kompozycji pakowo-polimerowych, w układzie $\tau = f(D)$
a) pak+PVC (układ stożek-płytki)
b) pozostałe kompozycje pak+polimer (układ cylindryczny).
Fig. 2. Flow curves, at temp. 120 °C, of coal tar pitch, and pitch + polymer compositions in the system $\tau = f(D)$
a) pitch + PVC (cone + plate system)
b) the other pitch + polymer compositions (cylindrical system)

we płynięcia jedynie kompozycji paku z poli(oksytyle-no)diem (PEG) oraz z nienasyconą żywicą poliestrową (UP) (rys. 1). Pozostałe kompozycje nie ulegały jeszcze płynięciu w tej temperaturze i z tego względu wymagały wyższej wartości T pomiaru (np. 120 °C, por. rys. 2). W miarę wzrostu tej temperatury zwiększała się liczba kompozycji ulegających płynięciu ocenianemu za pomocą cylindrycznego układu pomiarowego. Wyjątek stanowiła kompozycja z żywicą poliestrową, ponieważ w żywicy tej następowało sieciowanie w temp. ≥ 100 °C. Dopiero w temp. 130 °C można było dokonać pomiarów niemal wszystkich pozostałych kompozycji za pomocą wspomnianego układu pomiarowego, oprócz oceny kompozycji z PVC, ponieważ uważa się, że początkowa

temperatura rozkładu tego polimeru wynosi ok. 120 °C. Dlatego też kompozycję tę badaliśmy w temp. 120 °C za pomocą układu stożek-plytka (rys. 2a), wykluczając dzięki temu możliwość destrukcji polimeru.

Z analizy krzywych płynięcia badanych kompozycji wynika, że dodatek polimeru zwiększa odporność paku na działające obciążenia w całym badanym zakresie temperatury. Wpływ ten maleje w kolejności: PET<PS<PP-a<CIR. Wyznaczone naprężenia graniczne dla tych kompozycji w rozmaitej temperaturze pomiaru (tabela 1) potwierdzają tę kolejność.

T a b e l a 1. Wartości naprężeń granicznych kompozycji pakowo-polimerowych

T a b l e 1. Yield strength values of pitch—polymer compositions

Rodzaj kompozycji pak+polimer	Naprężenie graniczne, τ_y (Pa) w temp. (°C)						
	90	100	110	120	130	140	150
pak+CIR	—	—	4100	—	650	—	—
pak+PS	—	—	—	5100	2300	—	—
pak+PP-a	—	—	5800	3700	1400	—	—
pak+PVC	—	—	—	—	992	994	97,5
pak+PET	—	—	—	—	—	—	3400
pak+PEG	7900	—	—	—	—	—	—
pak+UP	—	6200	—	—	—	—	—

Przebieg krzywych płynięcia (rys. 1 i 2) wskazuje na występowanie w kompozycjach struktury żelowej znacznie silniej tu zaznaczonej niż w paku niemodyfikowanym. Na przykład całkowite zniszczenie struktury wewnętrznej kompozycji w pak+PET nawet w temp. 150 °C (znacznie przekraczającej temperaturę mięknięcia kompozycji) nie jest możliwe pomimo działających bardzo dużych sił ścinających.

Wartości współczynników kierunkowych A_1 wyznaczonych z liniowej zależności $\log \tau = A_1 + A_0 \log D$ i nazywanych również charakterystycznymi współczynnikami płynięcia (tabela 2) świadczą o tym, że kompozycja paku zawierająca PET jest zagęszczana ścinaniem (wartość A_1 wyraźnie większa od 1). W przypadku paku węglowego i kompozycji pak+PEG współczynnik A_1 przybiera wartości bliskie 1, można więc przyjąć, że układy te stanowią cieczy newtonowskie. Pozostałe kompozycje należy zaliczyć do płynów rozrzedzanych ścinaniem ($A_1 < 0,9$). Najbardziej nienewtonowski charakter wykazują kompozycje pak+PS i pak+PP-a o najmniejszych wartościach A_1 . Te małe wartości świadczą o występowaniu znacznych oddziaływań strukturalnych polimer-pak.

W przypadku kompozycji pak+PVC w temp. ≥ 130 °C zaobserwowano nieregularny przebieg krzywych płynięcia. Na obecnym etapie badań zjawisko to można tłumaczyć wspomnianym już częściowym rozpadem termicznym PVC z wydzieleniem produktów gazowych. Przyniesiony rys. 2a — regularny przebieg krzy-

T a b e l a 2. Wartości charakterystycznych współczynników płynięcia (A_1) oraz współczynników regresji (A_0) i korelacji (R) wyznaczonych na podstawie krzywych płynięcia kompozycji pak+polimer w temp. 120 °C

T a b l e 2. Values of characteristic coefficients: of flow (A_1), regression (A_0) and correlation (R), determined on the basis of flow curves of pitch + polymer compositions at temp. 120 °C

Rodzaj kompozycji	Współczynniki regresji i korelacji		
	A_1	A_0	R
pak „B”	0,997	0,106	0,999
pak+CIR	0,807	1,193	0,988
pak+PS	0,659	1,907	0,969
pak+PP-a	0,671	1,738	0,954
pak+PEG	0,913	0,410	0,999
pak+PET	1,106	2,497	0,993
pak+SBR	0,887	1,080	0,993
*pak+PVC	0,813	2,539	0,849

* wyznaczone w układzie stożek-plytka

wej płynięcia kompozycji pak+PVC w temp. 120 °C — świadczy o braku w tej niższej temperaturze zakłócającego wpływu rozkładu PVC.

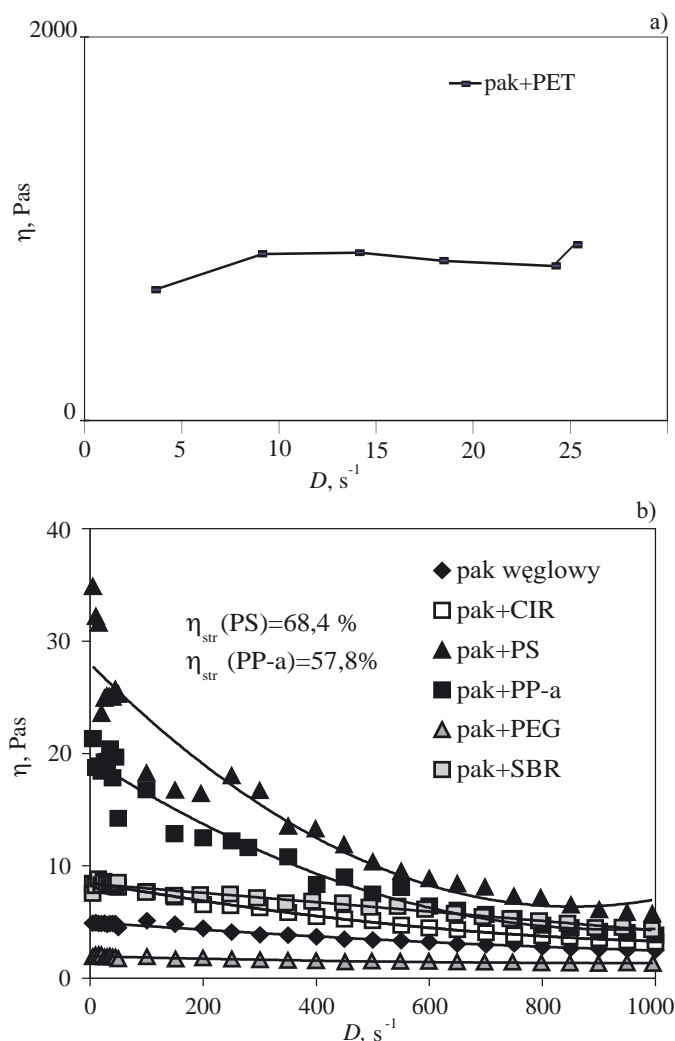
Lepkość

Wyniki pomiarów wartości lepkości pozornej (η) w funkcji szybkości ścinania i temperatury umożliwiły określenie udziału lepkości strukturalnej (η_{str}) w wartości η rozpatrywanych układów bitumiczno-polimerowych. Rysunek 3 przedstawia przykład przebiegu krzywych płynięcia badanych kompozycji w układzie $\eta = f(D)$, w temp. 120 °C. Wszystkie te kompozycje, podobnie jak niemodyfikowany pak węglowy, wykazują cechy cieczy nienewtonowskiej rozrzedzanej ścinaniem (lepkość zmniejsza się wraz ze wzrostem gradientu szybkości ścinania). W temperaturze 150 °C zależności $\eta = f(D)$ kompozycji — oprócz układów pak+PET i pak+PVC — stają się prostoliniowe, co wskazuje na ich newtonowski charakter w tej temperaturze.

Wspomniane odstępstwa występujące w układach zawierających PVC lub PET są prawdopodobnie spowodowane zachodzeniem procesu częściowej destrukcji PVC i następczych możliwych oddziaływań produktów tej destrukcji ze składnikami grupowymi paku. Natomiast w przypadku PET trudno oczekiwać, że między tym polimerem a składnikami paku zachodzą oddziaływania chemiczne — poli(tereftalan etylenu) nie rozpuszcza się przecież w środowisku bitumu. W tym układzie dominują zaś oddziaływania fizyczne sprzyjające tworzeniu się rozbudowanych obszarów micelarnych złożonych prawdopodobnie ze składników paku i makrocząstek polimeru.

Zależności lepkości od temperatury badanego przez nas paku i wybranych kompozycji (rys. 4) można przedstawić równaniem (3):

$$\log \eta = C - C_1 T \quad (3)$$



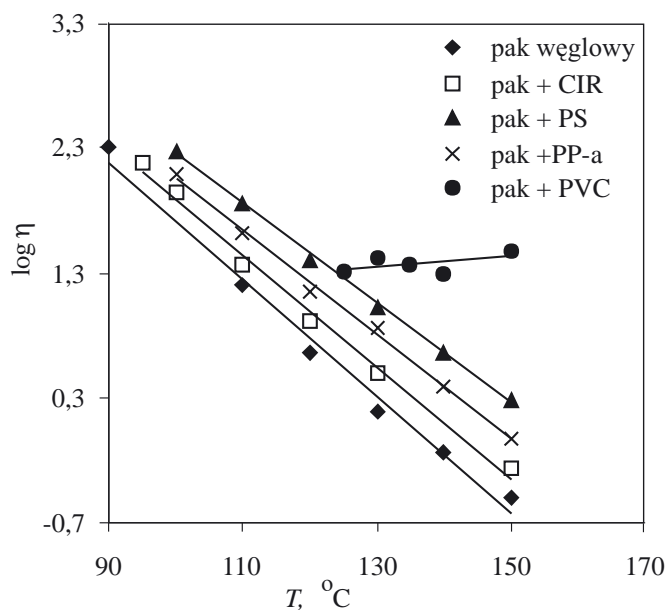
Rys. 3. Zależności lepkości (η , Pas) kompozycji pakowo-polimerowych od szybkości ścinania (D , s^{-1}) w temp. 120 °C
 a) układ pak+PET, b) pak i pozostałe kompozycje
 Fig. 3. Dependence of viscosity (η , Pas) of pitch—polymer compositions on shear rate (D , s^{-1}) at temp. 120 °C
 a) pitch — PET composition, b) pitch itself and the other compositions

T a b e l a 3. Wartości współczynników kierunkowych C_1 oraz współczynników regresji C i korelacji R odnoszących się do równania (3)

T a b l e 3. Values of the coefficients: directional (C_1), regression (C) and correlation one (R) related to equation (3)

Rodzaj kompozycji	Współczynniki regresji i korelacji		
	C_1	C	R
pak „B”	-0,047	6,411	0,987
pak+CIR	-0,045	6,365	0,992
pak+PS	-0,040	6,220	0,998
pak+PP-a	-0,042	6,196	0,997
pak+PVC	0,004	0,833	0,274

W tabeli 3 przedstawiono wartości współczynników kierunkowych C_1 oraz współczynników regresji C i ko-

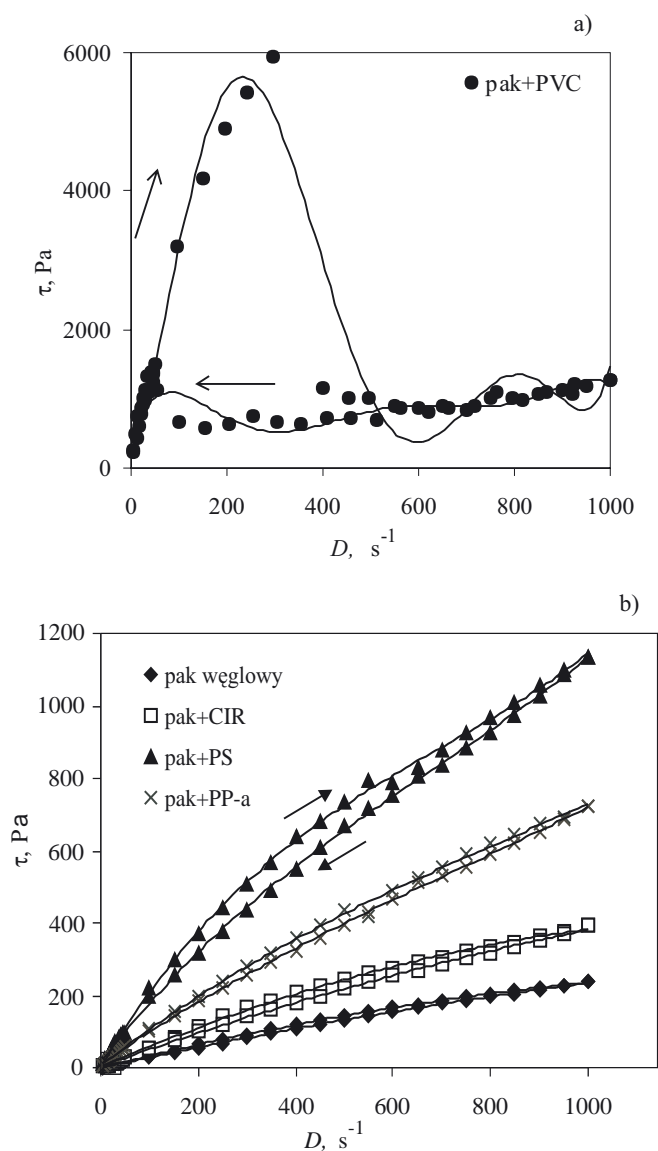


Rys. 4. Zależność $\log \eta = f(T)$ kompozycji pakowo-polimerowych ($D=50 s^{-1}$).
 Fig. 4. Dependence of $\log \eta = f(T)$ of pitch—polymer compositions ($D = 50 s^{-1}$)

relacji R odnoszących się do równania (3). Zmiany lepkości ze wzrostem temperatury, zależne od rodzaju użytego w kompozycji polimeru, podobnie jak przebieg krzywych płynięcia) świadczą o powstawaniu — w wyniku oddziaływań między składnikami badanych układów — trwałych połączeń. Podobieństwo krzywych płynięcia paku i kompozycji pakowo-polimerowych w funkcji temperatury staje się widoczne dopiero wówczas, gdy szybkość ścinania osiągnie wartość $\geq 50 s^{-1}$. Nietypowy na rys. 4 przebieg krzywej charakteryzującej układ pak+PVC ponownie potwierdza prawdopodobieństwo zachodzenia procesów destrukcyjnych tego polimeru w temp. ≥ 120 °C.

Tiksotropia

Przedstawione na rys. 5 charakterystyki niektórych badanych przez nas kompozycji pakowo-polimerowych w temp. 150 °C wskazują na ich znacznie korzystniejsze niż paku niemodyfikowanego cechy tiksotropowe. Zaobserwowano powrót krzywych określanych wartościami naprężeń ścinających τ_2 do początkowych wartości τ_1 w przypadku kompozycji pak+CIR, pak+PS i pak+PP-a, co pozwalało przypuszczać, że układy te charakteryzują się zdolnością do szybkiej regeneracji tiksotropowej i odbudowy struktury. Natomiast nietypowy jest przebieg krzywej kompozycji pak+PVC (rys. 5a). Do wartości szybkości ścinania $D \sim 400 s^{-1}$ występują znaczne różnice w wartościach naprężeń ścinających wskazujące na szczególnie silne oddziaływania strukturalne. Po przekroczeniu tej wartości D wspomniane różnice zanikają, a układ nie podlega już odbudowie w procesie regeneracji tiksotropowej.



Rys. 5. Pętle histerezy w temp. 150 °C kompozycji pakowo-polimerowych rozrzedzanych ścinaniem

Fig. 5. Hysteresis loops of shear diluted pitch—polymer compositions at temp. 150 °C

Występowanie zjawiska tiksotropii potwierdza strukturę żelową rozpatrywanych kompozycji, a ich zachowanie się pod wpływem działających naprężeń można porównać z zachowaniem się uogólnionego płynu newtonowskiego [8—14].

PODSUMOWANIE

Właściwości reologiczne kompozycji paku z polimerami w istotny sposób różnią się od właściwości paku węglowego niemodyfikowanego i zależą od rodzaju modyfikującego polimeru.

Badane kompozycje pakowo-polimerowe można traktować jak ciecze nienewtonowskie rozrzedzane ścinaniem, czyli układy tiksotropowe. Płynięcie nienewto-

nowskie charakteryzuje układy w przedziale temperatury odpowiadającym ich stanowi lepkością. W paku węglowym modyfikowanym poli(tereftalanem etylenem), polistyrenem, polipropylenem ataktycznym, kopolimerem butadien/styren, bądź żywicą kumaronowo-indenową występują silne oddziaływania strukturalne, najsilniejsze w przypadku PET.

Wykazaliśmy, że współczynnik kierunkowy krzywych płynięcia (tzw. charakterystyczny wskaźnik płynięcia) może określać stopień odstępstwa układu od płynu newtonowskiego. Potwierdzeniem istnienia wzajemnych oddziaływań pomiędzy pakiem a ww. polimerami są następujące zjawiska:

— występowanie granicznych naprężeń ścinających oraz różnice wartości naprężeń ścinających pod wpływem małych wartości szybkości ścinania,

— znaczne udziały lepkości strukturalnej w lepkości pozornej układów,

— występowanie zjawiska tiksotropii w temp. ≤150 °C.

W celu określenia cech reologicznych kompozycji pak+PVC w warunkach wykluczających destrukcję polimeru, wskazane jest prowadzenie pomiarów w układzie pomiarowym stożek—płytkę, pozwalającym na pracę w niższej temperaturze.

LITERATURA

1. Kubica K., Szen A., Podgórna H., Roszak K.: *Karbo-Energochem.-Ekol.* 1997, **42**, nr 4, 151.
2. Kubica K., Czaplicka M., Kordas T.: *Karbo-Energochem.-Ekol.* 1995, **40**, nr 7, 187.
3. Zieliński J., Osowiecka B., Polaczek J., Machowska Z.: *Polimery* 1995, **40**, 591.
4. Zieliński J., Osowiecka B., Liszyńska B., Ciesińska W., Polaczek J., Kubica K.: *Fuel* 1996, **75**, 1543.
5. Duber S., Chruściel A., Jesionek B.: *Karbo-Energochem.-Ekol.* 1996, **41**, nr 3, 85.
6. Gun R. B.: „Neftyanye bitumy”. Wyd. Khimiya, Moskwa 1989.
7. Brzozowska T.: „Badania budowy i właściwości kompozycji paków węglowych z polimerami”, Praca doktorska, Politechnika Warszawska, Płock 2000.
8. Brzozowska T., Zieliński J., Machnikowski J.: *J. Anal. Appl. Pyrol.* 1998, **48**, 45.
9. Ferguson J., Kembłowski Z.: „Reologia stosowana płynów” Wydawnictwo Markus, Łódź, 1995.
10. Zieliński J.: *Karbo-Energochem.-Ekol.*, 1995, **40**, nr 9, 233.
11. Kubica K., Topolnicka T.: *Karbo-Energochem.-Ekol.*, 1997, **42**, nr 4, 172.
12. Żuchowska D., Meissner W., Steller R.: *Polimery* 2003, **48**, 620.
13. Oleksy M., Heneczkowski M.: *Polimery* 2004, **49**, 806.
14. Zdrzilowa N., Hausnerova B., Kitano T., Saha P.: *Polimery* 2004, **49**, 819.

Otrzymano 7 II 2005 r.