

Dariusz M. BIELIŃSKI^{1,2}, Otmar DOBROWOLSKI¹, Jan DUL²,
Piotr PRUBA³, Krystyna MICHALSKA⁴

STANOWISKOWE BADANIA PORÓWNAWCZE OKŁADZIN HAMULCOWYCH ZE SPOIWEM POLIMEROWYM NOWEJ GENERACJI

COMPARATIVE BENCH TESTS OF NEW GENERATION POLYMER RESIN BONDING FRICTION BRAKES

Słowa kluczowe:

okładziny hamulcowe, polimerowe spoiwo żywiczne, skuteczność hamowania

Key-words:

brake lining, polymer resin bonding, braking efficiency

Streszczenie

Obiekt badań stanowiły prototypowe okładziny hamulcowe ze zmodyfikowanym spoiwem polimerowym. Idea modyfikacji polegała na uelastycznieniu żywicy fenolowo-formaldehydowej za pomocą dodatku 5–30% wag. elastomerów, wprowadzanych do niej na drodze tribochemicznej. Kompozyty żywiczne zawierały kauczuk butadienowo-akrylo-nitrylowy (konwencjonalny bądź uwodorniony), akrylowy, chloroprenowy, silikonowy lub polisilsekwioksany (POSS) z funkcjonalnymi grupami metylowymi bądź fenylowymi.

¹ Instytut Technologii Polimerów i Barwników, Politechnika Łódzka.

² Oddział Zamiejscowy Elastomerów i Technologii Gumy, Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników w Toruniu.

³ Laboratorium Hamulców, Przemysłowy Instytut Motoryzacji.

⁴ PPHU „Tomex-C”, Budzyń.

Badania stanowiskowe mechanizmu hamulcowego kół przednich samochodu FIAT „Seicento”, wyposażonego w klocki z nowym spoiwem polimerowym, przeprowadzono na stanowisku bezwładnościowym w Laboratorium Badań Hamulców PIMOT, wykonując próby skuteczności hamowania „na zimno” oraz badania czułości na prędkość według p. 3 Regulaminu EKG ONZ nr 90. Uzyskane wyniki porównano do oryginalnych zespołów okładziny hamulcowej Ferit I/D 458 FG oraz Fers-TC. Dodatkowo oznaczono właściwości cierne okładzin (tzw. próba Kraussa), według p. 8 Regulaminu EKG ONZ nr 90.

WPROWADZENIE

Kompozytowy materiał okładzin hamulcowych odrywa kluczową rolę z punktu widzenia skuteczności hamowania – podstawowego wymagania, jakie stawiane jest przed układem hamulcowym [L. 1]. O właściwościach mechanicznych i tribologicznych kompozytu decyduje spoiwo polimerowe łączące jego składniki [L. 2]. Stosowana w tym celu jeszcze do niedawna żywica fenolowo-formaldehydowa odznacza się wysoką odpornością termiczną, wytrzymałością mechaniczną oraz zapewnia bardzo dobrą adhezję do cząstek napełniaczy wchodzących w skład kompozytów ciernych [L. 3]. Jej wadą jest jednak ograniczona zdolność do tłumienia drgań, przejawiająca się kruchością materiału poddanego obciążeniom dynamicznym oraz słabe przewodnictwo cieplne, które prowadzi do topnienia, a nawet degradacji polimeru, w następstwie czego dochodzi do obniżenia skuteczności hamowania – zjawiska zwanego fadingiem [L. 4]. Badania stanowiskowe wykonuje się w odniesieniu do całego zestawu okładziny hamulcowej dla danego typu pojazdu. Ich zadaniem jest sprawdzenie skuteczności hamowania w warunkach pracy „na zimno”, ustalenie wpływu prędkości na wartość współczynnika tarcia oraz określenie jego spadku w następstwie wielokrotnego hamowania, powodującego znaczący wzrost temperatury w strefie kontaktu, nierzadko przekraczającej 500°C. Badania stanowiskowe nie obejmują oznaczania wielkości zużycia ściernego materiału okładzin hamulcowych. Trwałość materiału klocków hamulcowych, która ma również wpływ na skuteczność hamowania jest weryfikowana w próbie drogowej na pojeździe [L. 5].

CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

Obiekt badań

Prototypowe okładziny hamulca tarczowego z udziałem produkcyjnego zestawu napełniaczy 14A, zostały wykonane w firmie „TOMEX C - Ha-

mulce” z Budzynia. Zawierały one spoiwo polimerowe w formie żywicy fenolowo-formaldehydowej zmodyfikowanej na drodze tribochemicznej [L. 6] poprzez wprowadzenie od 5 do 30% wag. elastomeru – **Tab. 1.**

Tabela 1. Oznaczenia i skład lepiszcza żywicznego badanych próbek kompozytów
Table 1. Designation and composition of polymer resin bonding of the composites studied

| Lp. | Oznaczeniepróbki | Skład lepiszcza żywicznego |
|-----|------------------|---|
| 1 | Ferit I/D 458FG | materiał oryginalnych zespołów okładziny hamulcowej |
| 2 | Fers-TC | żywica fenolowo-formaldehydowa modyfikowana kauczukiem butadienowo-akrylonitrylowym, produkcji f-my Sumitomo Bakelite Co., Ltd. |
| 3 | P2 | żywica fenolowo-formaldehydowa |
| 4 | P3 | żywica fenolowo-formaldehydowa, zaw. 10% wag. kauczuku butadienowo-akrylonitrylowego |
| 5 | P4 | żywica fenolowo-formaldehydowa, zaw. 10% wag. kauczuku akrylowego |
| 6 | P5 | żywica fenolowo-formaldehydowa, zaw. 10% wag. kauczuku silikonowego |
| 7 | P6 | żywica fenolowo-formaldehydowa, zaw. 5% wag. polisil-seswioksanu (POSS) metylosilikonowego |
| 8 | P7 | żywica fenolowo-formaldehydowa, zaw. 5% wag. polisil-seswioksanu (POSS) fenylosilikonowego |
| 9 | P8 | żywica fenolowo-formaldehydowa, zaw. 30% wag. karboksylowanego kauczuku nitrylowego |
| 10 | P9 | żywica fenolowo-formaldehydowa, zaw. 10% wag. uwodnionego kauczuku butadienowo-akrylonitrylowego |
| 11 | P10 | żywica fenolowo-formaldehydowa, zaw. 10% wag. kauczuku chloroprenowego |

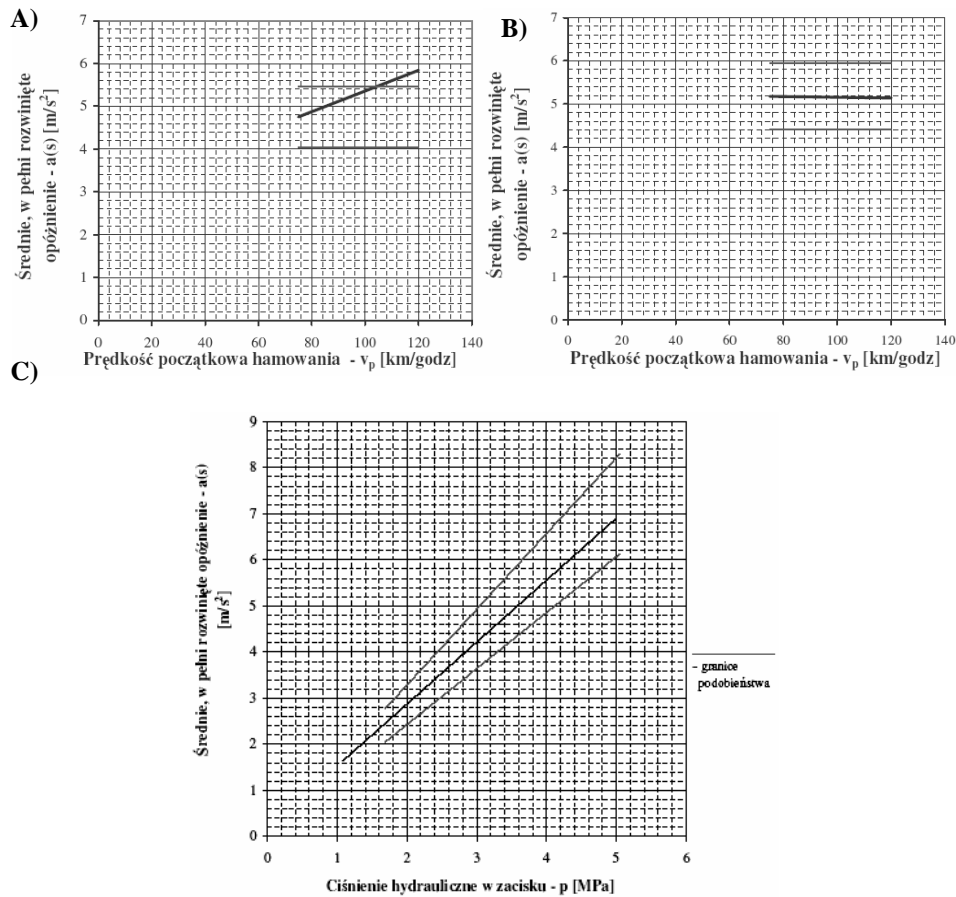
Handlowe okładziny Ferit I/D 458FG i Fers-TC oraz kompozyt P2, posłużyły jako materiały odniesienia dla okładzin zawierających żywice poddane modyfikacji.

Metodyka badań

Badania stanowiskowe mechanizmu hamulcowego kół przednich samochodu FIAT „Seicento”, wyposażonego w klocki z nowym lepiszczem polimerowym, przeprowadzono na stanowisku bezwładnościowym w Laboratorium Badań Hamulców PIMOT, wykonując próby skuteczności hamowania „na zimno” oraz badania czułości na prędkość według p. 3 Regulaminu EKG ONZ nr 90 [L. 1]. Uzyskane wyniki porównano do oryginalnych zespołów okładziny hamulcowej Fomar 479 FF, Ferit I/D 458 FG oraz TOMEX C - Hamulce. Dodatkowo oznaczono właściwości cierne okładzin (tzw. próba Kraussa), według p. 8 Regulaminu EKG ONZ nr 90 [L. 1].

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

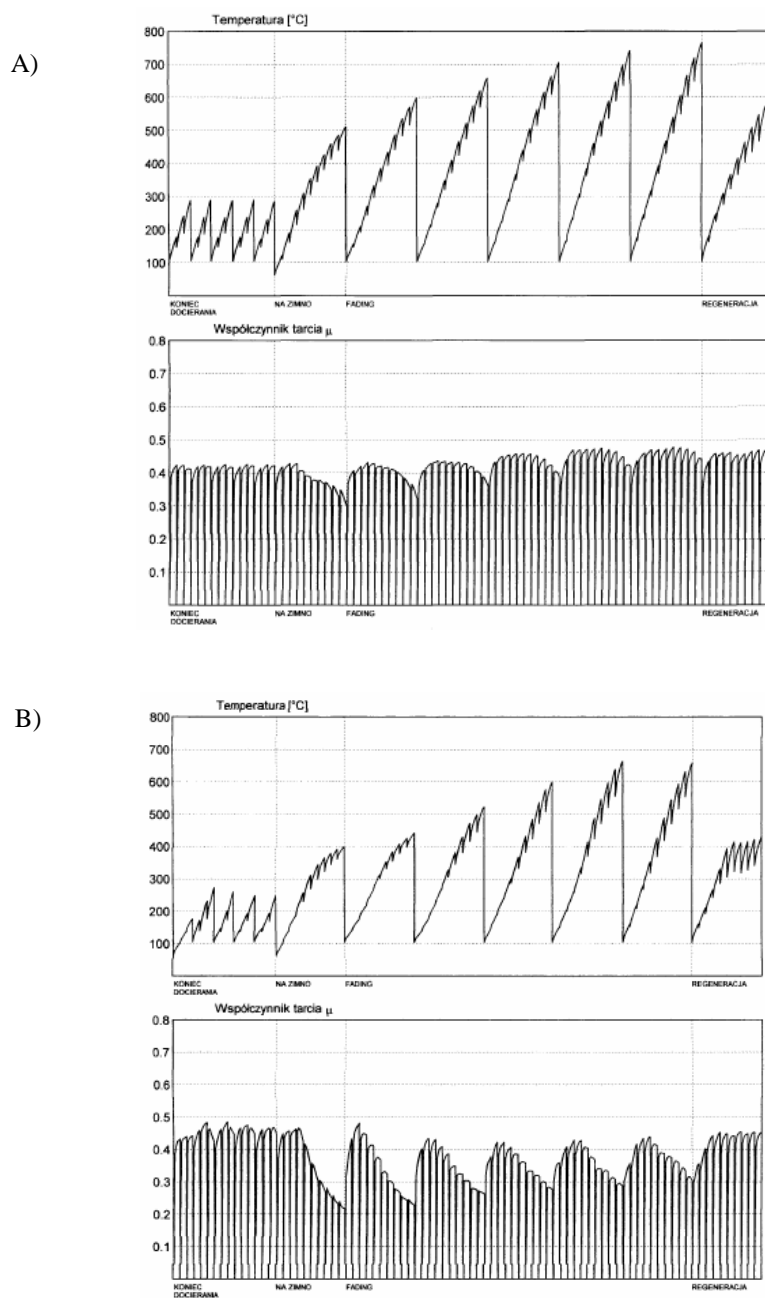
Wszystkie z badanych kompozytów mieszczą się w dopuszczalnych granicach parametrów wymienionych w p. 3 Regulaminu EKG ONZ nr 90 [L. 1]. Najlepsze wyniki, porównywalne do zachodnich okładzin referencyjnych, uzyskano dla kompozytów ze spoiwem na bazie żywicy fenolowo-formaldehydowej, modyfikowanej 10% wag. kauczuku butadienowo-akrylonitrylowego. Wybrane rezultaty testów zostały przedstawione na **Rys. 1**.

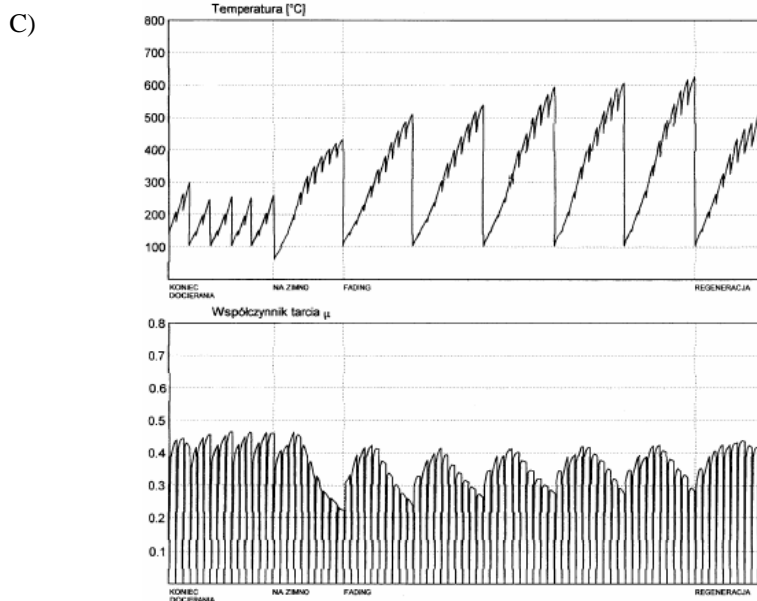


Rys. 1. Skuteczność hamowania na zimno w funkcji prędkości – tzw. czułość na prędkość: A – Ferit I/D 458FG B – P3 C – równoważność skuteczności zamiennika P3 oraz oryginału

Fig. 1. Braking efficiency under „cold” conditions in the function of speed – the so-called speed sensitivity: A – Ferit I/D 458FG B – P3 C – efficiency equivalence of original material and P3 replacement

Rezultaty próby Kraussa wskazują na nieznacznie mniejsze wartości współczynnika tarcia oraz większy fading opracowanych przez nas okładzin – Rys. 2.





Rys. 2. Właściwości cierne okładzin hamulcowych w próbie wielokrotnego hamowania na stanowisku bezwładnościowym AB784 (LBH PIMOT): A – Ferit I/D 458FG, B – żywica Fers-TC, C – P3

Fig. 2. Tribological properties of braking composites determined in multiple braking test using an inert mass stand AB784 (LBH PIMOT): A – Ferit I/D 458FG, B – Fers-TC resin, C – P3

Pewną wadę stanowią również mniejsze wartości minimalnego i operacyjnego współczynnika tarcia – **Tab. 2**, które zasugerowały konieczność podjęcia prac w kierunku modyfikacji składu zespołu napędziaczy. Stopień pokrycia cząstek fazy stałej przez lepizzcze, determinowany przez ich zwilżalność, decyduje o jednorodności i trwałości kompozytu [L. 7].

Tabela 2. Parametry procesu tarcia badanych okładzin hamulcowych, wyznaczone w próbie Kraussa

Table 2. Friction parameters of the braking composites studied, determined in Krauss' test

| Lp. | Materiał | μ_{zimno} | μ_{max} | μ_{min} | $\mu_{operacyjny}$ |
|-----|-----------------|---------------|-------------|-------------|--------------------|
| 1 | Ferit I/D 458FG | 0,373 | 0,478 | 0,304 | 0,367 |
| 2 | Fers-TC | 0,375 | 0,481 | 0,217 | 0,312 |
| 3 | P3 | 0,354 | 0,463 | 0,223 | 0,307 |

Nie wszystkie z badanych kompozytów (**Tab. 1**) zaliczyły próbę Kraussa. Zdecydowały o tym przede wszystkim zbyt niskie wartości operacyjnego współczynnika tarcia ($\mu_{\text{operacyjny}}$) i współczynnika tarcia „na zimno” (μ_{zimno}), w skrajnych przypadkach, takich jak np. okładzina na bazie spoiwa P4 czy P5 osiągające zaledwie wartości odpowiednio $\mu_{\text{operacyjny}}=0,280$ i $\mu_{\text{zimno}}=0,186$. Zamienny zespół okładziny hamulcowej, w skład którego weszły kompozyty cierne na bazie wytypowanej, zmodyfikowanej kauczukiem butadienowo-akrylonitrylowym żywicy fenolowo-formaldehydowej i zespołu napełniaczy 15A firmy „TOMEX-C Hamulce”, uzyskał homologację Ministerstwa Infrastruktury na podstawie Regulaminu nr 90 [**L. 1**].

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Okazuje się, że wyniki testów skuteczności hamowania „na zimno” i tzw. czułości na prędkość nie do końca znajdują przełożenie na zachowanie się okładzin hamulcowych w próbach na stanowisku bezwładnościowym. Na przykład okładziny Ferit I/D 458 FG, które sprawną się znakomicie w próbie wielokrotnego hamowania (test Kraussa), z trudem mieściły się w akceptowalnym zakresie wartości parametru średniego opóźnienia hamowania „na zimno”.
2. Generalnie, wszystkie z badanych materiałów lepiej lub gorzej spełniają wymagania p. 3 Regulaminu nr 90 EKG ONZ. Ich jakość wyraźnie różnicuje jednak próba Kraussa, charakteryzująca zmianę właściwości ciernych okładzin w kolejnych cyklach hamowania – p. 8 Regulaminu.
3. Na podstawie wyników badań stanowiskowych do prób drogowych na pojeździe wytypowano kompozyty ze spoiwem na bazie żywicy fenolowo-formaldehydowej zmodyfikowanej kauczukiem butadienowo-akrylonitrylowym (NBR). W tym przypadku uzyskano parametry najbardziej zbliżone do wzorcowych okładzin produkcji krajowej. Za takim wyborem przemawia dodatkowo powtarzalność i efektywność tribochemicznej modyfikacji żywicy za pomocą NBR, potwierdzona wcześniejszymi badaniami mikroskopowymi [**L. 8**]. Powstaje układ mikroheterogeny, w którym cząsteczki kauczuku są zaszczipione na łańcuchach żywicy.

Praca została wykonana w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr R05 044 02 pt. „*Spoivo polimerowe nowej generacji w zastosowaniu do narzędzi ściernych i okładzin hamulcowych*”, finansowanego przez MNiSW.

LITERATURA

1. Regulamin EKG ONZ nr 90.
2. Dobrowolski O., Bieliński D.M., Dul J., Mandryk R., Nyszko G.: Zastosowanie analizy termicznej i termowizji w badaniach materiałów okładzin hamulcowych. *Tribologia* **218** (2), 2008, 145–152.
3. Łączyński B.: Tworzywa wielkocząsteczkowe. Rodzaje i własności. WNT, Warszawa 1982, s. 77.
4. Eggleston D.: Automotive Friction Materials. EURAC Technical Bulletin 00010433.
5. Dyrektywa Komisji Europejskiej 91/422/EWG z dn. 15 lipca 1991 r.
6. Kaynak C., Cagatay O.: Rubber Toughening of Phenolic Resin by Using Nitrile Rubber and Amino Silane”, *Polymer Testing* **25** (3), 2006, 296–305.
7. Strzemiecka B., Voelkel A.: Zastosowanie odwróconej chromatografii gazowej do kontroli jakości półproduktów do produkcji narzędzi ściernych, *Przem. Chem.* **85** (8–9), 2006, 658–660.
8. Bieliński D.M., Dobrowolski O., Nyszko G.: Zastosowanie termowizji w badaniach tribologicznych materiałów polimerowych, *Tribologia* **212** (2007), 43–53.

Recenzent:
Janusz JANECKI

Summary

Prototype friction brakes with lining made of modified resin bonding were the subject of the studies. The idea of polymer modification in a tribochemical way, leading to a decrease of its toughness, resulted in grafting of 5-30 wt. % of elastomer. Resin composites: The following elastomers were tried as modifiers: butadiene-acrylonitrile rubber (conventional Or hydrogenated), acrylic rubber, chloroprene rubber,

silicone rubber or polysilsesquioxanes (POSS) with methyl or phenyl functional groups.

Bench tests on front axle braking system of FIAT „Seicento” having brake blocks containing new polymer bonding, were run on an inert mass stand at Braking System Laboratory of Automotive Industry Institute (PIMOT). Efficiency of braking under „cold conditions” as well as its speed sensitivity, according to p. 3 of the Regulation EKG ONZ no. 90 were tested. The results obtained were compared to commercial brake blocks: Ferit I/D 458 FG and Fers-TC, used as references. Tribological properties of the blocks were tested using the Krauss test, according to p. 8 of the Regulation EKG ONZ no. 90 were additionally determined.

