
WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

NUMER 2

INSTYTUT AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

Beata KAŁWAK, Andrzej BAIER*

Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów
Wytwarzania, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice

* andrzej.baier@polsl.pl

ZUŻYCIE ŚCIERNE KOMPOZYTÓW WŁÓKNISTYCH

Streszczenie: Ze względu na liczne zalety materiałów kompozytowych coraz częściej stosowane są jako zespoły i podzespoły środków technicznych. Na szczególną uwagę zasługują wytwarzane z materiałów polimerowych produkty o budowie warstwowej. Połączenie ze sobą różnych materiałów polimerowych, a także materiałów polimerowych z innymi materiałami np. metalami zapewnia dzięki swej strukturze korzystne kształtowanie własności mechanicznych eksploatacyjnych oraz estetycznych wytworzonych z nich produktów [1]. Niezbędnym jest zapewnienie wzajemnej przyczepności każdej z warstw. Zjawisko zużycia ściernego jest jednym z kluczowych parametrów określających mechaniczne własności materiału. Materiały będące obiektem badań mają docelowo znaleźć zastosowanie do budowy burt wagonów towarowych. Istotnym elementem zaprojektowanego stanowiska badawczego jest rzeczywiste odwzorowanie warunków panujących podczas transportu materiałów wagonem towarowym. W artykule przedstawiono metodologię badań zużycia ściernego materiałów polimerowych o budowie warstwowej.

1. Wstęp

W celu lepszego dostosowania własności materiałów do stawianych wymagań praktycznych coraz szersze zastosowanie znajdują materiały polimerowe (w szczególności materiały polimerowe o budowie warstwowej – laminaty). Laminaty to rodzaj kompozytów zbudowanych z co najmniej dwóch materiałów o odmiennych własnościach mechanicznych oraz fizycznych, w których zbrojenie układane jest w postaci warstw, między którymi znajduje się osnowa (tzw. lepiszcze). Warstwy wzmocnienia mogą występować w kilku postaciach: cząstek, włókien oraz strukturalnej.

Do najważniejszych zalet laminatów należą: wysoka twardość powierzchni, wysoka odporność na warunki atmosferyczne, wysoka wytrzymałość mechaniczna, odporność na działanie środków chemicznych, odporność na zabrudzenia.

W najbliższym czasie można spodziewać się dalszego rozwoju technologii kompozytowych, zwłaszcza ze względu na oczekiwane opracowanie technologii taniej produkcji nanorurek węglowych o bardzo dużej wytrzymałości.

2. Metodologia badań

Do badań zastosowano stanowisko badawcze znajdujące się w laboratorium Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej. Metodologia dotychczas prowadzonych badań została poszerzona o nowe rodzaje ścierniwa, ułożenie pionowe próbek, zmianę wymiarów próbki oraz dodatki umożliwiające poprawienie odporności materiałów kompozytowych na ścieranie.

2.1. Materiał badawczy

W tab.1. przedstawiono morfologię materiałów przeznaczonych do badania odporności na ścieranie:

Tab.1. Parametry morfologiczne wybranych laminatów [2]
Tab.1. Morphological parameters of chosen of laminates [2]

Nr próbki	Osnowa	Zbrojenie	Ilość żywicy /m ² tkaniny	Utwardzacz
1	Żywica epoksydowa Epidian 6	Tkanina szklana o splocie skośnym 450g/m ²	330g	Utwardzacz PAC w il.80g utwardzacza na 100g żywicy
2	Żywica poliestrowa Polimal 1094 AWTP-1	Roving szklany 400g/m ²	350g	Utwardzacz Luperox K-1 w il.1,5%
3	Żywica epoksydowa Epidian 6	Roving szklany 400g/m ²	350g	Utwardzacz PAC w il.80g utwardzacza na 100g żywicy
4	Żywica poliestrowa Polimal 1094 AWTP-1	Roving szklany 400 g/m ²	350g	Utwardzacz Luperox K-1 w il.1,5%
5	Żywica epoksydowa Epidian 6	Tkanina szklana o splocie skośnym 450 g/m ²	330g	Utwardzacz PAC w il.80g utwardzacza na 100g żywicy
6	Żywica epoksydowa Epidian 6	Tkanina szklana powleczona aluminium o splocie skośnym 290 g/m ²	125g	Utwardzacz PAC w il.80g utwardzacza na 100g żywicy
7	Żywica epoksydowa Epidian 6	Tkanina węglowa o splocie skośnym 280 g/m ²	330g	Utwardzacz PAC w il.80g utwardzacza na 100g żywicy

2.2. Wymiary próbki

Ze względu na mocowanie próbki na drzewczkach zaadaptowanej do celów badawczych pralki automatycznej, wielkość badanej próbki została uzależniona od ich wymiarów.

Długość badanej próbki powinna zawierać się pomiędzy 170-190 mm, natomiast szerokość pomiędzy 30 a 100 mm (grubość próbki nie powinna przekraczać 10 mm). Wybór rzeczywistych wymiarów mieszczących się w tych przedziałach uzależniony jest od badań wstępnych, które zapewnią odpowiedni dobór wielkości badanej próbki. Pomiary te zostaną wykonane dla próbek o wymiarach minimalnych tj. 170x30 mm oraz maksymalnych tj. 190x100 mm w celu określenia wpływu ścierniwa na wielkość badanej próbki.

Kolejnym zagadnieniem dotyczącym wielkości próbki jest jej zamocowanie. Dotychczas materiał mocowany był tylko w sposób poprzeczny. Dalsze badania przeprowadzone zostaną również dla próbek umocowanych pionowo. Pozwoli to na obiektywne oszacowanie zarysowań powstałych w trakcie kontaktu z materiałem ścierającym w obu położeniach.

2.3. Ścierniwo

Wybór materiału będącego ścierniwem odbywa się na drodze doświadczałnej. Największą trudnością w doborze materiału ścierającego jest jego szybkie zużywanie w trakcie badania. W dotychczasowych badaniach użyto następujących materiałów [2]: kamień, guz budowlany, tłuczeń kwarcytowy, granit.

Aby w trakcie przeprowadzania próby, zapewnić warunki zbliżone do rzeczywistych, dobór odpowiedniego materiału ścierającego jest bardzo istotny. Burty wagonów towarowych przeznaczone są do transportu wielu rodzajów materiałów. Najczęściej transportowanym materiałem jest węgiel kamienny. Jednak jego własności wytrzymałościowe (np. kruchość oraz szybkie zaokrąglanie krawędzi) sprawiają, iż nie może on zostać wykorzystany w doświadczeniu jako materiał ścierający.

Na podstawie normy EN-ISO 10545-7, zaproponowano wykorzystanie następujących materiałów jako materiał ścierający:

- 20 kg kul stalowych o $\varnothing 3$ mm – istotną zaletą kul stalowych jest ich kształt nie powodujący wzajemnego ścierania materiału będącego wsadem, ze względu na swoje własności chemiczne najlepszym materiałem, z którego wykonane powinny być kulki jest stal manganowa.
- 20 kg elektrokorundu o wielkości ziarna F80. Materiał ten jest ścierniwem syntetycznym opartym przede wszystkim na tlenku glinu (ok. 95%). Posiada ostro krawędziowy kształt ziarna oraz twardość powyżej 9 w skali Mohsa, co czyni z niego materiał o znacznej wytrzymałości oraz twardości. Jest najtwardszym syntetycznym ścierniwem stosowanym do powszechnego użytku.

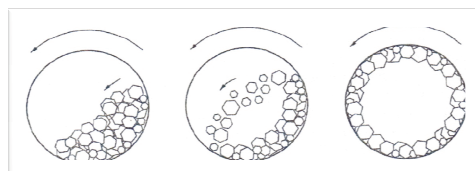
Na drodze doświadczalnej do właściwego eksperymentu zostanie zastosowany materiał, który w próbach wstępnych cechował się będzie najlepszą wytrzymałością. Aby we właściwy sposób dokonać selekcji materiałów użytych do próby wstępnej koniecznym jest aby, po każdym przeprowadzonym badaniu został sprawdzony ubytek masy materiału ścierającego oraz ocena wizualna ścierniwa oraz próbki. Dzięki temu możliwe będzie określenie stopnia zużycia materiału stanowiącego wsad urządzenia oraz jego wpływ na badaną próbkę. Ważną zaletą obydwu materiałów jest ich dostępność oraz ich stosunkowo niska cena.

2.4. Parametry pracy urządzenia

Prędkość obrotowa

Prędkość obrotowa to parametr mający istotny wpływ na przebieg procesu badania ścieralności materiałów. W zależności od prędkości obrotowej bębna, ścierniwo znajdujące się we wnętrzu zbiornika może poruszać się na trzy różne sposoby:

- kaskadowy (Rys.1a)
- wodospadowy (Rys.1b)
- odśrodkowy (Rys.1c)



Rys.1 Sposób poruszania się ścierniwa w obracającym się bębnie: a – kaskadowy, b – wodospadowy, c – odśrodkowy [3]

Fig.1. The method of moving in turning drum abrasive material: a - cascade, b –waterfall model, c - decentralizing [3]

Prędkość krytyczna n_{kr} definiowana jest jako wartość prędkości obrotowej cylindrycznego zbiornika, przy której materiał znajdujący się w jego wnętrzu nie będzie odrywał się od ściany. Wartość prędkości krytycznej można zdefiniować wzorem [3]:

$$n_{kr} = \frac{0,706}{\sqrt{D}} [s^{-1}] \quad \text{gdzie: } D - \text{średnica wewnętrzna bębna [m]} \quad (1)$$

W warunkach rzeczywistych wartość n_{kr} uzależniona jest od stopnia wypełnienia bębna φ . Rzeczywista prędkość dośrodkowania n_s określona jest wzorem [3]:

$$\begin{aligned} \varphi = 0,3 \quad n_s &= 110\%n_{kr} \\ \varphi = 0,4 \quad n_s &= 114\%n_{kr} \\ \varphi = 0,5 \quad n_s &= 119\%n_{kr} \end{aligned} \quad (2)$$

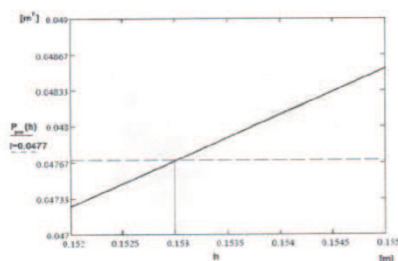
Optymalna wartość prędkości obrotowej zapewniającej najwyższą wartość energii kinetycznej materiału w chwili jego upadku na ścianę powinna zawierać się w przedziale [3]:

$$n_{opt} = 0,75 \div 0,85n_s \quad (3)$$

Stopień wypełnienia bębna

Aby zapewnić wsadowi poruszanie się wewnątrz zbiornika wg Rys.1. konieczne jest, aby współczynnik φ zawierał się w zakresie 0,3-0,55 [2]. W obliczeniach przyjęto $\varphi=0,3$. Na podstawie tych założeń obliczono wysokość, do której należy wypełnić bęben ścierniwem przed rozpoczęciem badań. Uwzględniając cylindryczny kształt bębna, wysokość wyznaczono poprzez określenie przy jakiej wartości pole powierzchni zakreskowanego odcinka kołowego stanowi 30% całego koła [2].

Analizując wykres [Rys.2.] możliwy staje się odczyt wartości wysokości h przy odpowiedniej wartości pola odcinka kołowego. Wartość jaką przyjmuje funkcja $P_{pok}(h)$ w miejscu przecięcia z prostą $l=0,0477$ wynosi ok. 0,153 m. Wartość ta jest wysokością, do której napełniany zostanie bęben.



Rys.2. Zależność między polem powierzchni odcinka kołowego (P_{pok}) oraz jego wysokością h [1]
Fig.2. The dependence between field of surface of circular section (P_{pok}) as well as his the height the h [1]

Na podstawie uzyskanych wyników określono właściwą prędkość obrotową zbiornika cylindrycznego, przy której ścierniwo nie będzie odrywało się od ściany zbiornika zapewniając przy tym maksymalną wartość energii kinetycznej elementów jako 52-59 obr/min.

2.5. Pomiar chropowatości próbki

Dokonując pomiaru ścieralności konieczne jest, określenie parametrów materiałów opisujących stopień zużycia ściernego badanej próbki w trakcie próby. Poniżej przedstawiono parametry badanego materiału, niezbędne do określenia ścieralności:

- Ocena wizualna próbki – umożliwia określenie wpływu oddziaływania ścierniwa na próbkę (obarczona jest dużą niedokładnością).
- Ubytek masowy próbki – próbkę należy zważyć przed i po wykonaniu eksperymentu. Może stanowić również czynnik porównawczy pomiędzy poszczególnymi rodzajami laminatów. Próbkę waży się z dokładnością do 0,01 g.
- Ubytek masowy ścierniwa – wsad należy zważyć przed oraz po wykonaniu próby. Masę wsadu podaje się z dokładnością 0,01 g.
- Pomiar chropowatości próbki

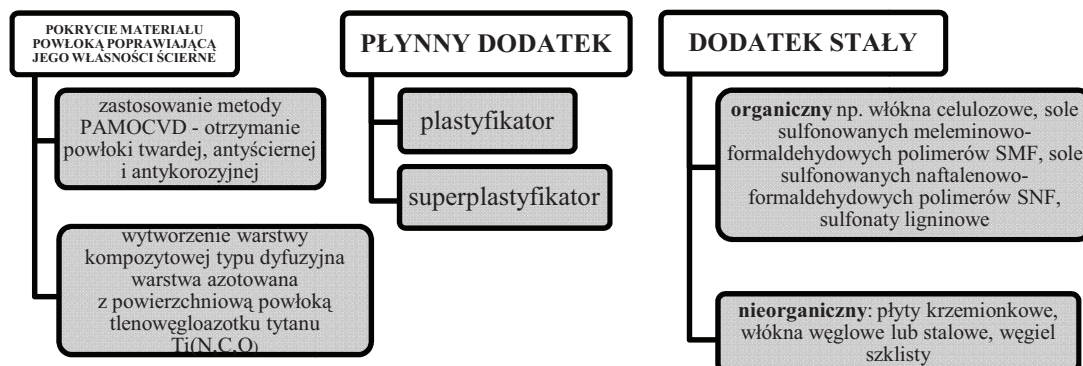
Pomiaru chropowatości próbki dokonuje się na odcinku elementarnym określonym przez Polskie Normy. Długość odcinka elementarnego zależy od wartości parametru chropowatości i może przyjmować jedną z sześciu wartości wyrażonych w mm: 25, 8, 2.5, 0.8, 0.25, 0.08. W celu pomiaru chropowatości badanego kompozytu można wykorzystać jedną z następujących metod:

- Metoda porównawcza – ocena chropowatości poprzez porównanie stanu powierzchni próbki z wzorcem chropowatości powierzchni zgodnym z PN-85/M-04254.
- Metoda optyczna
 - Przekroju świetlnego – przekrój świetlny badanej powierzchni płaską wiązką światła padającą pod kątem 45° przez wąską szczelinę na mierzoną powierzchnię,
 - Cienia – do badanej powierzchni przyłożona zostaje płytka szklana, na której nacięte zostają rysy o głębokości 1-1,5mm. Płytkę oświetla się poprzez układ optyczny,
 - Interferencyjna – zasada pomiaru w tej metodzie oparta jest na interferencji dwóch wiązek światła. Podczas pomiaru ścieralności na powierzchni próbki powstają rysy, zadrapania lub chropowatość co skutkuje tym, że prążki zostają „ugięte” (tzn. odbiegają od prostoliniowości).
- Metoda stykowa - polega na wykorzystaniu igły o znanej geometrii przesuwającej się po badanej powierzchni ze stałą prędkością. Przemieszczenia pionowe igły zostają przekształcane na sygnał elektryczny. Wzmocniony sygnał może być przetwarzany na wartości liczbowe żądanych parametrów chropowatości lub rejestrowany w postaci profilogramu o znanym powiększeniu pionowym oraz poziomym. Stykowa metoda pomiaru chropowatości jest aktualnie zdecydowanie dominująca i stała się, najbardziej uniwersalna. Jest podstawą norm dotyczących pomiaru chropowatości powierzchni.

2.6. Poprawienie własności na ścieranie materiałów kompozytowych

Ze względu na to, że powierzchnia kompozytu wykonana jest z żywicy, to głównie ona decyduje o właściwościach ściernych danego kompozytu. Badania wykazały, że większą odporność na ścieranie posiadają materiały zbudowane z żywicy epoksydowej. Na laminatach wykonanych z tej żywicy zaobserwowano płytsze zarysowania a cała próbka miała niższy ubytek masy w porównaniu z żywicą poliestrową. Odporność laminatów na ścieralność zależy również od gramatury tkaniny, jaką wykorzystano do produkcji danego typu materiału. Zastosowanie większej gramatury tkaniny skutkowało mniejszym ubytkiem masowym próbek oraz mniejszą głębokością zarysowań powierzchni. Dalszym etapem badań

będzie podniesienie odporności kompozytów na ścieranie. Rys. 3. przedstawia propozycje poprawy własności ściernych materiałów kompozytowych.



Rys.3. Propozycje poprawy własności ściernych materiałów kompozytowych
Fig.3. Suggestions of improvement of property abrasive fibrous composites

Wybór odpowiedniej koncepcji uzależniony będzie od stopnia poprawy własności ściernych badanego materiału. Istotne znaczenie mają również koszty dodatku, który zostanie wykorzystany. W doborze optymalnego dodatku lub powłoki istotnym jest dokonanie takiego wyboru, który będzie kompromisem pomiędzy kosztami a własnościami danego materiału.

3. Podsumowanie

Konieczne jest dążenie do uzyskania takiej grubości warstwy, która zapewni badanemu materiałowi wybrane własności odporności na ścieranie. Docelowo materiały te, mają zostać wykorzystane do budowy burt wagonów towarowych. W powyższym artykule przedstawiono propozycje poprawy odporności kompozytów na ścieranie oraz omówiono metodologię badań laminatów w warunkach rzeczywistych.

Literatura

1. Dobrzański L.A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. WNT, Warszawa 2002.
2. Baier A., Żółkiewski S.: Badanie zużycia ściernych materiałów kompozytowych. Zeszyty naukowe WSOWL, nr 1(159) 2011.
3. Nawrocki J., Ryncarz A., Węglarczyk J.: Teoria i praktyka rozdrabniania. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1989.

THE ABRASIVE WEAR OF FIBROUS COMPOSITES

Summary: The effect of abrasive wear is one of the fundamental parameters of defining properties of material. The materials used in the building of freight truck boards (reference to an abrasive environment) have to fulfill high requirements because of the abrasive properties. The key element in designing the research workshop is simulating the actual conditions during the transportation of materials in freight trucks. In this article the research methodology concerning the wear of abrasive fibrous composites is presented.