

mgr inż. LESZEK GRABKA
dr inż. JACEK SPAŁEK
dr hab. inż. STANISŁAW SZWEDA, prof. w Pol. Śl.
Politechnika Śląska

Analiza cech materiałowych kompozytowej warstwy wierzchniej regenerowanych wałów w aspekcie współpracy ze stykowym pierścieniem uszczelniającym

Przedmiotem publikacji jest analiza cech materiałowo-konstrukcyjnych tworzyw kompozytowych stosowanych głównie w procesie regeneracji warstwy wierzchniej wałów maszyn roboczych. Ze względu na odmienne właściwości kompozytu i materiału rodzimego regeneracja warstwy wierzchniej skutkuje zmianą warunków współpracy stykowego pierścienia uszczelniającego z wałem. W opracowaniu przeanalizowano te cechy materiałów kompozytowych, które mają istotny wpływ na trwałość i hermetyczność węzła uszczelniającego.

1. WSTĘP

Materiały kompozytowe znajdują zastosowanie w różnych obszarach techniki, zapewniając odpowiednie właściwości nie tylko mechaniczne, ale również cieplne, elektryczne i tribologiczne wielu węzłów kinematycznych maszyn. W ich strukturze wewnętrznej wyróżnia się następujące główne składniki: wypełniacze, elementy wzmacniające oraz lepiszcze, stanowiące osnowę kompozytu; różnią się one pod względem rodzaju oraz składu chemicznego. Według definicji [1] kompozytem jest materiał spełniający następujące warunki:

- tworzywo jest uzyskane z zachowaniem ściśle określonego procesu technologicznego,
- składa się z co najmniej dwóch różnych chemicznie i fizycznie materiałów,
- pomiędzy składnikami struktury kompozytu istnieje wyraźna granica podziału,
- jednym ze składników kompozytu jest osnowa, której zadaniem jest spajanie struktury wzmacniającej (tzw. zbrojenia),
- zadaniem zbrojenia jest przenoszenie obciążenia zewnętrznego,
- właściwości użytkowe kompozytu są funkcją właściwości jego składników i ich udziałów objętościowych.

Kompozyty znajdują coraz szersze zastosowanie w regeneracji elementów maszyn, np. do uzupełniania ubytków w warstwie wierzchniej wałów. Odmienne właściwości kompozytu i materiału rodzimego sprawiają jednak, że regeneracja warstwy wierzchniej skutkuje zmianą warunków współpracy stykowego pierścienia uszczelniającego z regenerowanym wałem. Warunki prawidłowej współpracy węzła uszczelniającego stanowią więc ograniczenie zakresu stosowania materiałów kompozytowych do regeneracji warstwy wierzchniej wałów.

Poniżej przedstawiono przegląd materiałów kompozytowych często stosowanych w praktyce, ze szczególnym uwzględnieniem ich cech istotnie wpływających na trwałość i hermetyczność węzła uszczelniającego.

2. KLASYFIKACJA MATERIAŁÓW TWORZĄCYCH OSNOWĘ I ZBROJENIE KOMPOZYTU

Osnową materiałów kompozytowych mogą być materiały metaliczne, ceramika, tworzywa sztuczne. Spośród materiałów metalicznych stanowiących osnowę kompozytu wyróżnia się następujące cztery grupy [1, 2, 3]:

Tabela 1

Cechy fizyczne charakteryzujące podstawowe rodzaje kompozytów [1]

Material osnowy	Gęstość [kg·m ⁻³]	Temperatura topnienia, [K]	Ciepło właściwe [kJ·(kg·K) ⁻¹]	Współczynnik przewodzenia cieplnego, [W·(m·K) ⁻¹]	Mikro-twardość [GPa]	Współczynnik rozszerzalności cieplnej [10 ⁶ K ⁻¹]
MgO	3580	3073	2,09	34,2	9-11	15,6
Al ₂ O ₃ (korund)	3970	2288	1,09	30,2	10-12	6,5-8,0
TiO ₂ (rutyl)	4240	2113	0,84	6,3	7,8-19	10
SiO ₂ (kwarcyt)	2320	2011	0,75	1,7	7,5-12	7,5
ZrO ₂	5560	2900	0,46	1,6	16	7-10
SiC(β)	3200	-	1,80	45-450	21-37	3,8
TiC	4900	3140	0,42	36	18-32	7,4-9,3
C (grafit)	2250	-	1,63	11,6-175	-	-
BN (α)	2270	3023	0,92	14,3	80	1,2
Si ₃ N ₄	3180	1900	4,8	7	33	2,75

- stopy metali lekkich (Mg, Al) stosowane w kompozytach wykorzystywanych w lotnictwie oraz przemyśle samochodowym;
- stopy srebra i miedzi charakteryzujące się dobrymi właściwościami elektrycznymi oraz ciepłymi;
- stopy niklu występujące w kompozytach żarowytrzymałych;
- stopy ołowiu i cynku charakteryzujące się dobrymi właściwościami tribologicznymi.

Tworzywa sztuczne, stosowane jako osnowa kompozytu tworzą najczęściej następujące grupy substancji:

- żywice termoutwardzalne: fenoloplasty i aminoplasty,
- żywice chemoutwardzalne: żywice poliestrowe, epoksydowe, silikonowe,
- tworzywa termoplastyczne: poliamidy, polipropyleny, poliestry termoplastyczne i poliwęglany.

Osnowę w postaci ceramicznej stosowaną do wytwarzania kompozytów można podzielić na:

- materiały budowlane,
- materiały hutnicze,
- materiały stosowane w elektronice.

Tworzywo stosowane jako zbrojenie kompozytu decyduje o właściwościach użytkowych, a zwłaszcza o zakresie stosowania, jak również determinuje sposób (technologię) jego wytwarzania. Materiały stanowiące zbrojenie kompozytu to:

- cząstki rozproszone w osnowie,
- włókna ciągłe,
 - metalowe,
 - ceramiczne,
 - polimerowe.

Kompozyty stosowane do regeneracji elementów maszyn są zazwyczaj dwuskładnikowe. Osnowę stanowią chemicznie utwardzane kleje do metali (najczęściej epoksydowe z utwardzaczem alifatycznym), a zbrojeniem są drobne cząsteczki metaliczne,

ceramiczne lub włókna syntetyczne. Żywice epoksydowe charakteryzują się dobrą odpornością na ścieranie dzięki dużej twardości oraz uduchności. Posiadają one także dobrą odporność chemiczną i przyczepność do podłoża. Właściwości kompozytów zależą od rodzaju zastosowanego zbrojenia jak również ich konsystencji. W tabeli 1 zestawiono podstawowe cechy fizyczne charakteryzujące podstawowe, współcześnie stosowane materiały kompozytowe.

3. CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH WSPÓLCZEŚNIE PRODUKOWANYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH STOSOWANYCH W REGENERACJI WAŁÓW MASZYNOWYCH

Właściwości nałożonej na wał warstwy wierzchniej zależą bezpośrednio od zastosowanego kompozytu, jego grubości oraz liczby elementarnych warstw technologicznych. Konieczność uzupełnienia ubytków wału na powierzchni osadzenia uszczelnienia determinuje rodzaj, grubość oraz liczbę nakładanych warstw kompozytowych. Spośród współcześnie oferowanych kompozytów można wymienić między innymi następujące produkty:

ARC 10 i 858 firmy A.W.CHESTERTON Co,
UNIREP 3 firmy E.Wood Ltd.,

BELZONA 1111, 1131, 1812 firmy Belzona Polymers Ltd.

ARC 10 jest kompozytem polimerowo-stopowym. Osnową kompozytu jest dwuskładnikowa modyfikowana żywica epoksydowa z alifatycznym czynnikiem utwardzającym, natomiast elementem wzmacniającym jest mieszanina drobnych cząsteczek stopów oraz

włókien. Wysoka wytrzymałość na ściskanie umożliwia ich obróbkę mechaniczną; kompozyt nie podlega odkształceniu trwałemu przy zginaniu i kurczeniu się, charakteryzuje się również dobrą odpornością na korozję. Najczęściej zastępuje klasyczne napawanie lub natryskiwanie płomieniowe. Kompozyt ARC 10 nakładany jest na regenerowany element w postaci warstwy o grubości od 1,5 mm do 9,5 mm [4].

ARC 858 jest kompozytem polimerowo-ceramicznym. Osnową kompozytu jest dwuskładnikowa modyfikowana żywica epoksydowa z alifatycznym czynnikiem utwardzającym, natomiast elementem wzmacniającym jest mieszanina drobnych cząsteczek ceramicznych. Kompozyt charakteryzuje się dużą odpornością na „szoki” termiczne, dobrą odpornością na korozję jak również odpornością na działanie agresywnych substancji chemicznych. Po nałożeniu kompozytu otrzymuje się powierzchnię gładką i odporną na zużycie. Jeśli to jest konieczne nałożoną warstwę wierzchnią można obrabiać mechanicznie. Grubość warstwy kompozytu ARC 858 nakładanej na regenerowany element wynosi od 0,5 mm do 19 mm.

UNIREP 3 jest kompozytem dwuskładnikowym chemoutwardzalnym. Po zmieszaniu składników przyjmuje on postać gęstej, tiksotropowej pasty. Kompozyt może być obrabiany mechanicznie poprzez toczenie oraz szlifowanie [6].

Belzona 1812 jest kompozytem stosowanym do regeneracji powierzchni narażonych na silne zużycie ściernie. Optymalna grubość warstwy nakładanego kompozytu wynosi około 3 mm. W przypadku potrzeby nakładania kilku warstw, następną nakłada się nie później niż 3 godziny po nałożeniu poprzedniej. Kompozyt nie może być obrabiany mechanicznie [5].

Belzona 1131 jest samosmarującym kompozytem stosowanym do naprawy powierzchni ślizgowych elementów maszyn. Kompozyt może być obrabiany mechanicznie. Dla poprawy właściwości mechanicznych, chemicznych jak również termicznych nałożonej warstwy kompozytowej, może być stosowany proces wygrzewania.

Belzona 1111 jest uniwersalnym kompozytem stosowanym do regeneracji i/lub naprawy części maszyn i urządzeń. Aby poprawić właściwości nałożonej warstwy kompozytowej poddaje się ją wygrzewaniu w temperaturze od 60°C do 100°C przez co najmniej 4 minuty. Warstwa wykonana z tego kompozytu może być poddana obróbce skrawaniem w celu uzyskania wymaganych wymiarów z odpowiednią tolerancją.

W tabeli 2 zestawiono podstawowe dane techniczne wybranych kompozytów stosowanych do regeneracji wałów maszynowych i innych elementów konstrukcyjnych.

Tabela 2

Dane techniczne kompozytów stosowanych do regeneracji wałów [4,5,6]

Cecha fizyczna	Jednostka	Rodzaj kompozytu		
		ARC 10	ARC 858	UNIREP 3
Wytrzymałość na rozciąganie wg ASTM D 638	MPa	23,54	42,28	—
Wytrzymałość na ściskanie wg ASTM D 695	MPa	82,80	89,66	108,40
Wytrzymałość na zginanie wg ASTM D 790	MPa	55,10	60,82	70,00
Odporność temperaturowa	°C	120	160	250

4. PODSUMOWANIE

Istotnymi parametrami warstwy wierzchniej wału, wpływającymi na trwałość i hermetyczność węzłów uszczelniających są: stan powierzchni wału współpracującego z pierścieniem uszczelniającym, jej twardość oraz odporność cieplna. W tym aspekcie, na podstawie danych prezentowanych przez producentów kompozytów można stwierdzić, że spośród analizowanych kompozytów stosowanych do regeneracji elementów maszyn najkorzystniejsze właściwości, posiada Unirep 3 firmy E. Wood Ltd.

Z obserwacji eksploatacyjnych współpracy promieniowych pierścieni uszczelniających z wałem o warstwie wierzchniej regenerowanej za pomocą kompozytów wynika, że w tym wypadku czas pracy węzła uszczelniającego pomiędzy kolejnymi wymianami uszczelnień jest istotnie krótszy od czasu prognozowanego przez producentów uszczelnień. Jakościowe i ilościowe wyjaśnienie tego zjawiska wymaga jednak przeprowadzenia badań, zarówno stanowiskowych, jak i modelowych. Ich metodyka oraz odpowiednie stanowiska badawcze zostały opracowane w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Wyniki planowanych badań umożliwią opracowanie kryteriów optymalnego kojarzenia regenerowanej kompozytowej warstwy wierzchniej wału, postaci konstrukcyjnej oraz materiału pierścienia uszczelniającego.

Literatura

1. Śledziona J.: Podstawy Technologii Kompozytów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
2. Dobrzański L.: Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe, WNT Warszawa, 2006.
3. Godzimirski J. (red.): Tworzywa adhezyjne. Zastosowanie w naprawach sprzętu technicznego, WNT Warszawa, 2010.
4. Prospekty firmy A.W.CHESTERTON Co., 2008
5. Prospekty firmy Belzona Polymeric Ltd., 2008
6. Prospekty firmy E.Wood Ltd., 2004

Recenzent: prof. zw. dr hab. inż. Jerzy Antoniak