

20

NOWOCZESNE METODY REGENERACJI ZUŻYTYCH ELEMENTÓW MASZYN

20.1 WPROWADZENIE

Ciągły wzrost wymagań stawianych elementom maszyn zmusza konstruktorów i technologów do szukania nowych tworzyw o odpowiednich właściwościach mechanicznych, fizyko-chemicznych, a także technologicznych (zwłaszcza tribologicznych), które można zastosować do regeneracji zużytych elementów maszyn. Do takich tworzyw należą kompozyty o osnowie polimerowej. Wykazują się one dobrymi parametrami mechanicznymi, a technologia nanoszenia powłoki na regenerowane powierzchnie nie wymaga stosowania specjalistycznych narzędzi czy urządzeń. Nie są również wymagane kosztowne obróbki wykańczające, przywracające naprawianym powierzchniom odpowiednią chropowatość. Z tego względu metody napraw z użyciem kompozytów polimerowych są wydajniejsze i tańsze w porównaniu z tradycyjnymi. Technologie te są wciąż rozwijane i znajdują zastosowanie w coraz szerszym zakresie.

20.2 PROCESY ZUŻYWANIA SIĘ I STARZENIA ELEMENTÓW MASZYN

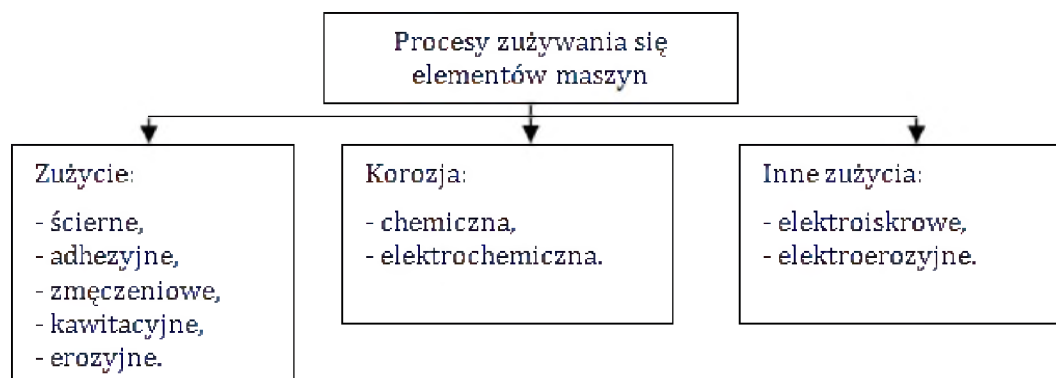
Zużywanie to niepożądany, ale niemożliwy do uniknięcia proces zmiany stanu części, węzła kinematycznego, zespołu lub całej maszyny, powodujący utratę ich właściwości użytkowych. Zarówno „starzenie” jak i „zużycie” odnosi się przede wszystkim do warstwy wierzchniej, którą definiuje się jako zewnętrzną warstwę elementu, powstałą w wyniku oddziaływania procesów fizycznych lub chemicznych, jakościowo różniącą się od reszty materiału (rdzenia).

Starzeniem fizycznym nazywa się procesy fizyczne zachodzące w materiałach części maszyn na skutek wymuszeń wewnętrznych (mechanicznych, chemicznych) i/lub zewnętrznych (atmosfera, podłoże, środowisko), powodujących nieodwracalne zmiany własności użytkowych części. Procesy starzenia rozpoczynają się z chwilą wytworzenia (zakończenia produkcji) części i trwają aż do jej likwidacji – nawet wówczas, gdy obiekt nie wykonuje swojej funkcji, np. w czasie przechowywania.

Zużycie to proces stopniowego niszczenia części pod wpływem czynników fizyko-chemicznych, obciążenia i czasu pracy w całym okresie eksploatacji. Procesy zużywania się zachodzą tylko podczas wykonywania procesów roboczych (funkcjonowania) obiektu. Procesy zużyciowe obiektów mechanicznych związane są głównie z przetwarzaniem energii w pracę mechaniczną i towarzyszącymi im siłami, którymi oddziałują na siebie jej elementy.

Bez względu na to, czy mamy do czynienia z procesem starzenia się, czy też zużycia elementów maszyn (nie wnikając w jego istotę), rezultatem obu jest pogorszenie stanu maszyny, co wymaga podjęcia działań regeneracyjnych bądź naprawczych, o ile chcemy maszynę nadal wykorzystywać. Obydwa procesy powodowane są różnymi czynnikami. Do głównych należą (rys. 20.1):

- mechaniczne:
 - ścierne
 - adhezyjne,
 - zmęczeniowe,
 - kawitacyjne,
 - erozyjne
- korozyjne:
 - chemiczna,
 - elektrochemiczna.
- inne:
 - zużycie elektroiskrowe,
 - zużycie elektroerozyjne.



Rys. 20.1 Rodzaje zużycia elementów maszyn

Źródło: [5]

Na intensywność procesu zużycia wpływa wiele czynników, do których zaliczamy [1]:

- rodzaj współpracujących materiałów,
- dokładność wykonania współpracujących powierzchni,
- twardość materiału,
- wartość i sposób działania nacisku jednostkowego,
- porowatość warstwy wierzchniej i jej struktura,
- skłonność do korozji,
- dyfuzyjność warstwy wierzchniej,
- prędkość względna ruchu wzajemnego,
- czas trwania styku suchego,
- parametry docierania.

W węzłach kinematycznych, w których elementy współpracują w skojarzeniach ruchowych najczęściej mamy do czynienia z tzw. zużyciem tribologicznym, wywołanym tarcieniem. Ma ono charakter mechaniczno-fizyczno-chemiczny. Towarzyszy zawsze tarceniu suchemu i mieszanemu, w których występuje:

- zużycie mechaniczne, polegające na oddzielaniu cząstek ze współpracujących powierzchni przez mikroskrabanie występami mikronierówności lub luźnymi cząstkami ściernymi,
- zużycie fizyczne, które związane jest z adhezją trących się ciał, (szczepianie, zrastanie, dyfuzja), wywoływane przez oddzielenie cząstek z jednego ciała i nanoszenie ich na ciało współpracujące,
- zużycie chemiczne, gdy reakcja zachodzi pomiędzy trącymi się materiałami i ośrodkiem, w którym przebiega proces tribologiczny [2].

Zjawiska opisane wyżej zachodzą w łożyskach, przekładniach zębatych, prowadnicach, cylindrach hydraulicznych itp. Ponieważ nieodwracalnie prowadzą one do pogorszenia się ich stanu technicznego, istnieje konieczność dokonania ich wymiany lub naprawy. Czynnikiem decydującym o podjęciu właściwej decyzji jest przeważnie koszt zakupu elementu nowego w odniesieniu do kosztu naprawy elementu zużytego. Poniżej zajmiemy się opisem metod regeneracji, pomijając kryteria dokonywania wyboru.

20.3 SPOSOBY REGENERACJI ELEMENTÓW ZUŻYTYCH

Przy wyborze odpowiedniego sposobu regeneracji należy kierować się kryteriami:

- konstrukcyjno-technologicznymi,
- trwałościowymi,
- jakościowymi,
- ekonomicznymi.

Kryterium konstrukcyjno-technologiczne uwzględnia cechy wytrzymałościowe takie jak:

- przenoszone obciążenia i odkształcenia elementów,
- możliwość uzyskania wymaganych wymiarów i jakości powierzchni,
- sposób wykonania i ewentualną obróbkę mechaniczną, cieplną lub cieplno-chemiczną regenerowanej powierzchni.

Kryterium trwałości określa przydatność sposobu regeneracji w zależności od wymaganego okresu użytkowania. Trwałość po regeneracji powinna zapewniać prawidłowe działanie w założonym okresie czasu w zadanych warunkach eksploatacyjnych.

Kryterium jakości wyznacza maksymalny poziom zakłóceń, jaki może wywoływać regenerowany element w pracy całej maszyny. Kryterium to związane jest z kryteriami trwałości i nakładami finansowymi na wykonanie procesu regeneracji.

Kryterium ekonomiczne określa dopuszczalny koszt regeneracji w odniesieniu do kosztów zakupu elementu nowego. Kryterium to jest mniej istotne w przypadku wystąpienia długotrwałego przestoju, spowodowanego niedostępnością części zamiennej lub zbyt długim czasem oczekiwania na jej dostawę.

Tradycyjne technologie regeneracji zużytych elementów polegają na zastosowaniu metod nanoszenia powłok metodą napawania, a następnie wykonania obróbki mechanicznej, ewentualnie cieplnej, która przywraca elementom wymagany kształt, wymiary i inne parametry niezbędne do dalszej pracy.

Czasami korzysta się z tzw. tulejowania. Polega ono na obrobeniu czopa na mniejszy wymiar i zastosowaniu dodatkowej tulei, która zapewnia uzyskanie poprzedniego wymiaru i pasowania wymaganego w danym połączeniu. Można wykonać również tulejowanie otworu. W tym przypadku roztacza się otwór, w którym dodatkowa tuleja swoim wymiarem wewnętrznym będzie zapewniała odpowiednie pasowanie czopa.

Wymienione wyżej „klasyczne” technologie regeneracji wymagają zastosowania obróbki mechanicznej naprawianych części. Zwłaszcza w przypadku elementów wielkogabarytowych wymagają demontażu naprawianego elementu z maszyny oraz posiadania odpowiedniego parku maszynowego, który umożliwi dokonanie odpowiedniej obróbki.

Technologia napraw i regeneracji kompozytami polimerowymi polega na nakładaniu na uszkodzone miejsce tworzywa, który uzupełni rodzimy materiał danego elementu, wypełni braki, zastąpi materiał zużyty oraz umożliwi nałożenie warstwy „regenerującej”. Zazwyczaj ma ona niewielką grubość, lecz skutecznie zabezpiecza wewnętrzne warstwy materiału przed dalszym zużyciem.

W porównaniu z tradycyjnymi metodami napraw technologia regeneracji z zastosowaniem kompozytów polimerowych ma wiele zalet. Możemy do nich zaliczyć:

- małe koszty w stosunku do innych porównywalnych sposobów naprawy,
- możliwość przeprowadzenia naprawy bez demontażu lub tylko przy częściowym demontażu naprawianego urządzenia,
- możliwość uniknięcia naprężeń powstających przy stosowaniu innych metod np. napawania,
- możliwość przeprowadzenia naprawy na miejscu wystąpienia awarii,
- prosta technologia, zazwyczaj nie wymagająca stosowania specjalistycznego oprzyrządowania,
- bardzo dobra szczelność połączeń i wypełnień,
- bardzo dobra odporność na erozję i korozję, często większa niż materiału rodzimego.

20.4 CHARAKTERYSTYKA KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH

Kompozyty to materiały uzyskiwane przez połączenie z sobą co najmniej dwu różnych materiałów o różnym charakterze i postaci. W rezultacie materiału końcowego są „wypadkową” właściwości składników i ich udziałów objętościowych [4].

Osnową materiałów kompozytowych mogą być zarówno materiały metaliczne, jak i ceramika oraz tworzywa sztuczne. Polimerowe kompozyty tworzy się przez połączenie polimerowej osnowy z włóknami bardzo sztywnymi i wytrzymałymi, w przeważającej większości nieorganicznymi, które wykazującymi cechy niemal idealnej

sprężystości. Do zalet kompozytów polimerowych możemy zaliczyć:

- mniejszą masę w stosunku do masy materiału podstawowego,
- zwiększenie sztywności i/lub wytrzymałości,
- podniesienie odporności korozyjnej,
- zwiększenie odporności na pękanie,
- zwiększenie odporności na ścieranie,
- zwiększenie stabilności rozmiarów.

Postęp techniczny oraz konkurencyjność w wytwarzaniu, budownictwie i eksploatacji obiektów oraz urządzeń technicznych sprawiły, że koniecznym stało się zwiększenie ich trwałości i niezawodności.

Poprawa trwałości związana jest ze wzrostem wymagań stawianych materiałom w zakresie właściwości mechanicznych, w tym odporności na zmęczenie, odporności na oddziaływanie cieplne oraz właściwości fizyko-chemiczne uodparniające na korozyjny „atak” środowiska. W celu zwiększenia trwałości eksploatacyjnej, a także w aby umożliwić regenerację części maszyn i urządzeń wytwarza się na ich powierzchniach specjalne warstwy o z góry założonych powtarzalnych własnościach. Technologie regeneracji oraz modernizacji powierzchni kompozytami polimerowymi muszą zapewnić spełnienie powyższych wymagań. Poniżej pokazano kilka zastosowań tych kompozytów w procesach regeneracji i naprawy różnych urządzeń technicznych [3].

20.5 PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA REGENERACJI CZĘŚCI MASZYN KOMPOZYTAMI POLIMEROWYMI

Jednym z wielu zastosowań jest np. regeneracja czopów wałów. Do tego stosuje się specjalny rodzaj kompozytu polimerowego zawierającego w osnowie kryształy stali krzemowej, przez co osiąga dużą wytrzymałość (statyczną i zmęczeniową). Pozwala to skutecznie regenerować takie elementy maszyn jak: czopy wałów, oprawy łożyskowe, pęknięte korpusy, ale także poprawia znacząco trwałość i obciążalność różnych węzłów konstrukcyjnych: łożyskowych, połączeń wciskowych i ślizgowych, itp. Przykładami takich kompozytów są Belzona (1111) Super Metal firmy BELZONA® [6] lub Chester Metal Super firmy Chester Molecular LTD® [7].

Na rys. 20.2 pokazano zużyty czop wału. Uszkodzenie powstało na skutek wytarcia w miejscu jego osadzenia w łożysku ślizgowym. Regeneracja poprzez napawanie wymagałaby demontażu wału oraz wykonania skomplikowanych czynności naprawczych (napawanie i obróbka mechaniczna). W przypadku regeneracji z zastosowaniem kompozytów możliwe jest to przy częściowym demontażu (w tym przypadku rozebrano tylko łożysko). Po naniesieniu powłoki (rys. 20.3), jeżeli robione to jest starannie przez doświadczonego pracownika, często nie trzeba wykonywać żadnej obróbki, ewentualnie niewielkie poprawki można wykonać za pomocą narzędzi ręcznych [3].



Rys. 20.2 Wygląd czopa wału po demontażu łożyska

Źródło: [3]



Rys. 20.3 Wygląd czopa wału po regeneracji

Źródło: [3]

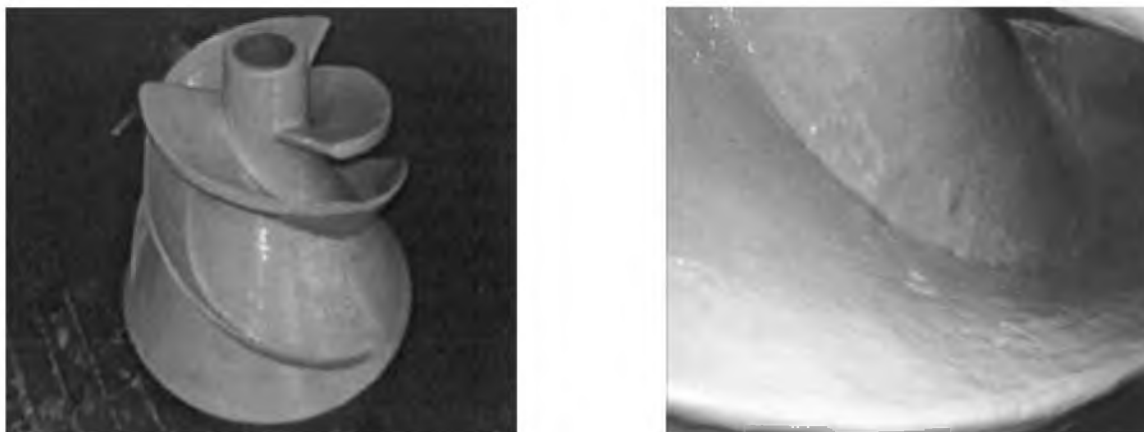
Innym przykładem może być regeneracja wirnika pompy diagonalnej, w którym powstało wiele ubytków na skutek działania kawitacji. Praktycznie wirnik był tak zużyty, że wymagał wymiany na nowy (rys. 20.4). Ze względu na brak dostępności w/w elementu jako części zamiennej zdecydowano o jego naprawie. Podczas regeneracji nie tylko uzupełniono ubytki, ale również odtworzono kształt wirnika.



Rys. 20.4 Wirnik pompy przed regeneracją

Źródło: [3]

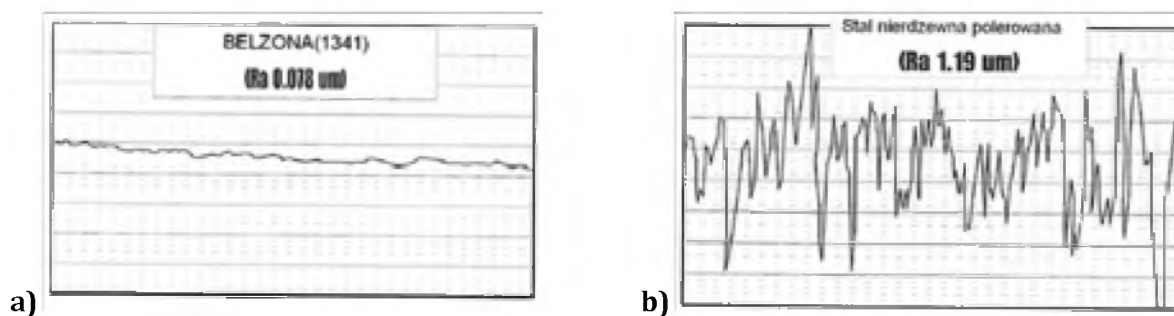
Jak widać na rys. 20.5, po regeneracji cały wirnik został pokryty kompozytem polimerowym. Zabezpieczy to powierzchnię przed działaniem agresywnego środowiska w którym wirnik pracuje [3].



Rys. 20.5 Wirnik pompy po regeneracji

Źródło: [3]

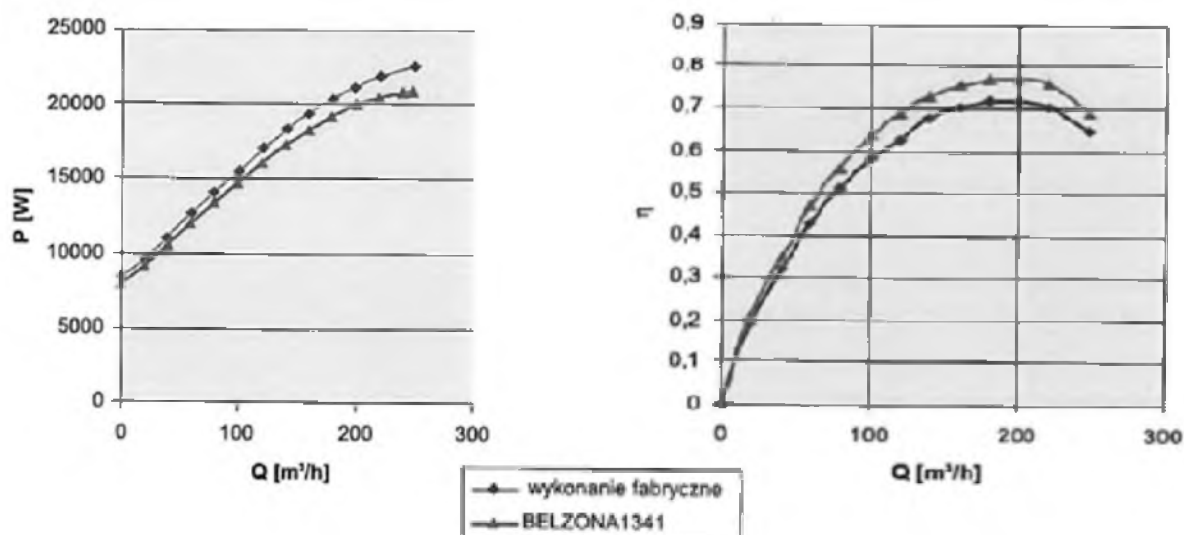
Wirnik zregenerowano kompozytem BENZONA 1341 Supermetal Glide firmy BELSE. Jest on przeznaczony do ochrony i modyfikacji metalowych powierzchni głównie pomp i innych maszyn przepływowych. Składniki kompozytu zestawiono tak, że osiąga on po zestaleniu wyjątkowo niską energię swobodną powierzchni. Hydrofobowa i bardzo gładka powierzchnia kompozytu pozwala stosować go jako powłokę radykalnie obniżającą straty hydrauliczne w przepływie. Dzięki zastosowaniu go w pompach wirowych, można zwiększyć sprawność oraz trwałość elementów. Materiał może również kontaktować się z wodą pitną [8]. Po wykonaniu regeneracji wykonano pomiary chropowatości powierzchni wirnika. Jest ona znacznie mniejsza niż np. stalowa powierzchnia polerowana (rys. 20.6).



Rys. 20.6 Porównanie chropowatości powierzchni
a) kompozytu polimerowego, b) polerowana stal nierdzewna

Źródło: [3]

Następnie całą pompę poddano badaniom. Wykonano porównawcze charakterystyki wysokości podnoszenia w stosunku do pobieranej mocy pompy zregenerowanej oraz w wykonaniu fabrycznym. Jak widać pompa po regeneracji ma lepsze parametry. Ma to związek z tym, że gładsza powierzchnia polimerowa obniża straty hydrauliczne przepływu. Drugie badanie związane było z określeniem sprawności zespołu pompowego w zależności od obciążenia. Sprawność pompy po regeneracji była większa, a różnica ta dochodziła do 5%. Zastosowanie powłok polimerowych można więc traktować nie tylko jako remont, ale również jako modernizację sprawnościową. Wyniki badań pokazano na rys. 20.7.



Rys. 20.7 Porównanie charakterystyk zużycia energii elektrycznej i sprawnościowej dla pompy fabrycznej i po regeneracji

Źródło: [3]

PODSUMOWANIE

Jak widać z przedstawionych wyżej przykładów regeneracja elementów maszyn za pomocą kompozytów polimerowych z różnymi wypełniaczami znajduje coraz szersze zastosowanie w różnych dziedzinach przemysłu. Szeroki asortyment oferowanych materiałów umożliwia precyzyjny dobór właściwego kompozytu do wymaganego zastosowania. Kompozyty zapewniają lepsze parametry chropowatości powierzchni. Przez to poprawiają się parametry eksploatacyjne maszyn przepływowych. Dzięki temu, po regeneracji można również osiągnąć wymierne korzyści związane z obniżeniem kosztów eksploatacji.

W niektórych przypadkach (brak możliwości dostępu do odpowiedniej części zamiennej, brak dokumentacji technicznej czy też zakończenie działalności przez producenta), wręcz wymusza korzystanie z tej formy naprawy. Postęp w dziedzinie jakości produkowanych materiałów kompozytowych wskazuje, że metody regeneracji części maszyn z ich użyciem będą się dalej dynamicznie rozwijały.

LITERATURA

- 1 Biały W.: Podstawy maszynoznawstwa. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- 2 Gierek A.: Zużycie tribologiczne. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
- 3 Famulski A.: Efekty zastosowania kompozytów polimerowych do regeneracji elementów urządzeń energetycznych. Projekt inżynierski napisany pod kierunkiem dr inż. A Stawinogi, Politechnika Śląska, Gliwice 2013.
- 4 Królikowski W.: Polimerowe kompozyty konstrukcyjne. PWN, Warszawa 2012.
- 5 Legutko S.: Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń. WSiP, Warszawa 2010.
- 6 http://www.belse.com.pl/service_249.html, [dostęp: 28.03.2014].

- 7 <http://www.chester.com.pl/>, [dostęp: 28.03.2014].
- 8 <http://olx.pl/oferta/belzona-1341-supermetal-glide-0-75-kg-CID628-ID4XZMW.html>, [dostęp: 28.03.2014].

NOWOCZESNE METODY REGENERACJI ZUŻYTYCH ELEMENTÓW MASZYN

Streszczenie: W artykule przedstawiono nowoczesne metody regeneracji zużytych elementów maszyn. Wykorzystuje się w nich kompozyty, które posiadają nie gorsze, a w wielu przypadkach lepsze właściwości mechaniczne w porównaniu z dotychczas stosowanymi tworzywami i metodami tradycyjnymi. Również technologie regeneracji z wykorzystaniem tych tworzyw pozwalają na szybsze wykonanie naprawy z zachowaniem odpowiednich parametrów użytkowych regenerowanych elementów. Technologia stosowania kompozytów nie powoduje zmian właściwości warstwy wierzchniej tworzywa, na który jest nakładana, tak jak to się dzieje np. przy napawaniu. Również koszt wykonania regeneracji jest niższy w porównaniu z metodami tradycyjnymi. Z tego względu taki sposób regeneracji jest coraz częściej stosowany w różnych dziedzinach przemysłu.

Słowa kluczowe: Starzenie i zużycie części maszyn, technologie i metody regeneracji, kompozyty polimerowe

MODERN METHODS OF REGENERATION OF USED PARTS OF MACHINES

Abstract: The article presents modern methods of regeneration of worn machine parts. Using in theme composites, which have not inferior mechanical properties, and in many cases better, improved compared to the previously used conventional methods. Regeneration technologies, using these materials, allow to recover faster the appropriate performance characteristics of regenerated parts of machines. Technology use of composites does not change the properties of the surface layer of material to which it is applied, as it happens, for example, during welding. Also, the cost of regeneration is lower in comparison with traditional methods. For this reason, the method of regeneration is increasingly being used in various industries.

Key words: Aging and wear of machines, technologies and methods of recovery, polymer composites

dr inż. Alojzy STAWINOGA
dr inż. Jerzy MIZGAŁA
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Inżynierii Produkcji
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze
e-mail: Alojzy.Stawinoga@polsl.pl, Jerzy.Mizgala@polsl.pl