

SENATORSKI J., SIEPRACKA B.

**ZAPOBIEGANIE TRIBOKOROZJI
PRZEZ OBRÓBKĘ CIEPLNO-CHEMICZNĄ**

**PREVENTION AGAINST TRIBOCORROSION THROUGHOUT
THERMO-CHEMICAL TREATMENT**

Słowa kluczowe:

warstwa dyfuzyjna, tarcie, zużycie, korozja

Key – words:

diffusion layers, friction, wear, corrosion

Strzeszczenie:

W referacie podano propozycję podziału laboratoryjnych badań korozyjno-tribologicznych. Propozycja ta przewiduje podział tych badań na dwie grupy: oddzielne badania korozyjne i tribologiczne oraz łączne badania korozyjno-tribologiczne. W tych ostatnich wyodrębniono dwie metody badań: niejednoczesne oraz jednoczesne. Ze względu na częstotliwość występowania narażeń badania niejednoczesne można podzielić na: pojedyncze, cykliczne i ciągłe.

Omówiono wyniki badań, wg opracowanych metod, stali ulepszanych cieplnie, a także stali z wytworzoną dyfuzyjną warstwą chromowaną i dyfuzyjną warstwą azotowaną.

WPROWADZENIE

Na pracujące części maszyn i narzędzia oddziałuje otoczenie w różny sposób i z różnym natężeniem. Oddziaływanie to odbywa się przez stykanie się z innym ciałem stałym i zwykle wtedy przekazywane są obciążenia (siły, naciski), z ciałem ciekłym (np. ośrodkiem smarującym) lub gazowym (np.: otaczającą atmosferą) i wtedy ośrodki mogą oddziaływać chemicznie. Często występuje powiązanie oddziaływań.

Każde oddziaływanie niesie niebezpieczeństwo zmiany stanu fizykochemicznego części maszyny lub narzędzia, przejawiającego się zmianą właściwości, i dlatego nosi nazwę narażeń.

Pracujące części maszyn i narzędzia podlegają narażeniom w postaci obciążeń statycznych i dynamicznych (w tym okresowo zmiennych, czyli zmęczeniowych), oddziaływania chemicznego i elektrochemicznego ośrodka ciekłego lub gazowego (korozji), tarcia, działania wysokich lub niskich temperatur, pól elektrycznych, elektrostatycznych, magnetycznych, ultradźwięków, promieniowania elektromagnetycznego o różnych częstotliwościach (radiowego, podczerwonego, widzialnego, nadfioletowego, X, Y), grawitacji ziemskiej i innych czynników, zwykle szkodliwie – ale niekiedy korzystnie wpływających na pracę i współpracę z innymi elementami, i zwykle obniżających ich właściwości użytkowe, zwłaszcza trwałość eksploatacyjną (**Rys. 1**).

Laboratoryjne badania właściwości użytkowych	=	Przedmiot badań: próbka	+	Narażenia	korozyjne - K tribologiczne - T mechaniczne - M inne - J
--	---	-------------------------	---	-----------	---

Rys. 1. Idea laboratoryjnych badań właściwości użytkowych materiałów

Fig. 1. Idea of the laboratory testing of operational properties of materials

Spośród ww narażeń najsilniejszy wpływ na zmianę właściwości użytkowych wywierają narażenia: korozyjne, tribologiczne i mechaniczne (przy najczęściej występujących narażeniach zmęczeniowych). Narażenia te tylko wyjątkowo występują pojedynczo; rzadko zdarza się, aby pracujący ele-

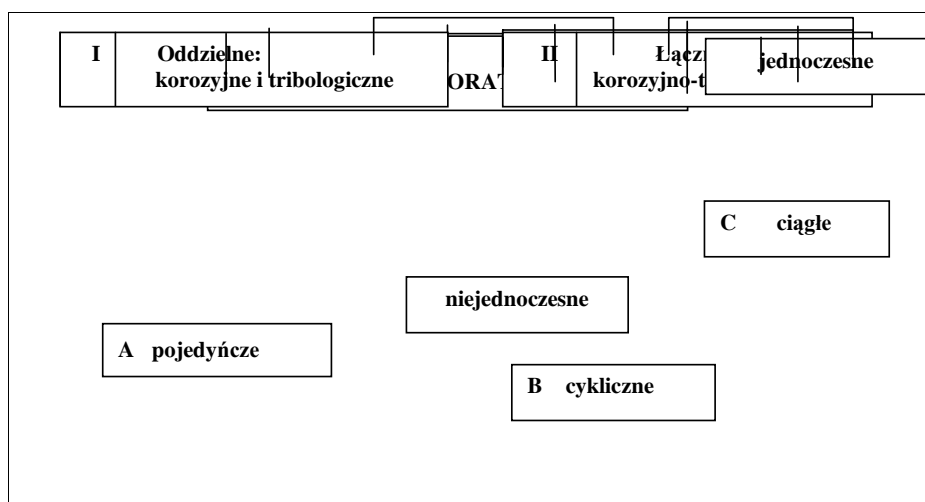
ment podlegał działaniu tylko jednego narażenia. Zwykle podlega jednoczesnemu działaniu kilku narażeń, przy czym jedno z nich lub dwa są narażeniami dominującymi.

W prawidłowo prowadzonych, konsekwentnych i kompleksowych badaniach laboratoryjnych przedmiot badań powinien podlegać wszystkim lub najważniejszym badaniom uwzględniającym wpływ ww. lub dominujących narażeń na właściwości użytkowe. Badania te powinny zostać przeprowadzone przed oddaniem przedmiotu lub jego elementów, w tym materiałów użytkowanych do jego budowy, do eksploatacji. Badania laboratoryjne właściwości użytkowych pozwalają na określenie właściwości, jakie przedmioty, elementy lub materiały będą prawdopodobnie wykazywały w czasie eksploatacji przy różnych narażeniach; badania stanowiskowe (stendowe) właściwości użytkowych są bliższe rzeczywistości, zaś najbliższe – są badania eksploatacyjne.

Warunki przeprowadzania badań laboratoryjnych powinny być jak najbardziej zbliżone do przewidywanych rzeczywistych warunków pracy badanych materiałów czy elementów.

Zatem wszystkie laboratoryjne badania właściwości użytkowych materiałów i elementów powinny zmierzać do jak najwierniejszego odtworzenia przewidywanych warunków eksploatacyjnych.

Laboratoryjne badania wpływu narażeń korozyjnych i tribologicznych na zużycie można podzielić na dwie grupy [L. 1] (**Rys. 2.**)



Rys. 2. Podział laboratoryjnych badań zużycia korozyjnego i tribologicznego

Fig. 2. Division of the laboratory testing of corrosive and tribological wear

I. Oddzielne badania korozyjne i tribologiczne realizowane wg odrębnych procedur badawczych obowiązujących w badaniach korozyjnych i w tribologii, przy wykorzystaniu typowych dla tych badań próbek i parametrów badań, uwzględniających rodzaje narażeń (np.: rodzaj współpracy tribologicznej, rodzaj środowiska korozyjnego) i intensywność ich oddziaływania (np.: nacisk, stężenie środowiska korozyjnego) oraz zmienność występowania narażenia ich w czasie.

II. Łączne badania korozyjno-tribologiczne, które można podzielić na 2 grupy:

– niejednoczesne, w których ten sam badany materiał podlega niejednoczesnym narażeniom korozyjnym i tribologicznym; zwykle występuje kolejność narażeń jw., tzn. badaniom tribologicznym poddawany jest materiał skorodowany, ale badania mogą również przebiegać w odwrotnej kolejności, jednak ten przypadek występuje rzadziej.

– jednoczesne, w których ten sam materiał badany podlega jednoczesnemu badaniu zużycia tribologicznego w obecności medium korozyjnego; zwykle badaniu podlega materiał uprzednio nie skorodowany lub uprzednio nie poddawany próbom tribologicznym, ale przypadków tych wykluczyć nie można.

Ze względu na częstotliwość występowania narażeń badania niejednoczesne można podzielić na:

– *pojedyncze* (metoda A), polegające na jednokrotnym badaniu tribologicznym materiału uprzednio poddanego narażeniom korozyjnym. Narażenia korozyjne i tribologiczne mogą trwać w różnych okresach czasu. Próbki do badań - to próbki do dowolnych badań tribologicznych. Parametry badań powinny być różne, zmienne w określonych przedziałach. Badania te symulują warunki współpracy tarciowej elementów skorodowanych i mogą dotyczyć np. materiałów węzłów tarcia skorodowanych w czasie długotrwałego postoju w atmosferze korozyjnej przed rozpoczęciem eksploatacji.

– *cykliczne* (metoda B), będące bądź badaniami niejednoczesnymi, bądź jednoczesnymi.

W przypadku niejednoczesnych badań cyklicznych powtarzające się próby tarciove są przerywane okresowym działaniem środowiska korozyjnego, w przypadku jednoczesnych badań cyklicznych – w czasie każdego cyklu występuje jednoczesne oddziaływanie korozji i tarcia, zaś cykle są rozdzielone przerwami i oddziaływaniem środowiska korozyjnego. Wielokrotność cykli może być dowolna, sugeruje się jednak, aby nie było

ich więcej niż kilkanaście. Ich ostateczna liczba jest uzależniona od budowy strukturalnej pracujących warstw powierzchniowych (różnych stref i ich liczby), a ściślej - od jednorodności strukturalnej materiału próbki. Większa różnorodność strukturalna i większa głębokość zalegania odmiennych struktur wymaga większej liczby cykli badań. Próbki do badań mogą nie odbiegać od stosowanych w metodzie A. Parametry badań mogą być różne, ale powinny być takie same we wszystkich cyklach narażeń. Czasy oddziaływania korozyjnego - różne, czasy badań tribologicznych - również. Badania te symulują okresową współpracę tarciovą elementów częściowo skorodowanych, występującą w materiałach węzłów tribologicznych okresowego działania. Przy tym okresie może być rok, miesiąc, dzień, kilka godzin lub minut. Niejednoczesne badania cykliczne dobrze symulują pracę maszyn rolniczych lub maszyn przemysłu rolno-spożywczego, które na ogół pracują okresowo: długi czas korozji - krótki czas zużycia tribologicznego (np. kampania żniwna, kampania buraczana), podobnie jak maszyny budowlane lub drogowe pracujące zwykle w dzień. Jednoczesne badania cykliczne symulują pracę węzłów tarcia w maszynach górniczych, w niektórych budowlanych, niektórych obrabiarkach, elementach ciernych układów hamulcowych, sprzęgieł, zabieraków prądowych itp.

Ciągle (metoda C), w których próbka jest jednocześnie poddawana narażeniom tribologicznym i korozyjnym. Powinno się stosować próbki typowe dla badań tribologicznych. Intensywność narażeń może być różna, ale zwykle jednakowa w czasie jednej długotrwałej próby. Zwykle intensywność narażeń korozyjnych jest niezbyt wysoka i maksymalnie zbliżona do wartości narażeń rzeczywistych występujących podczas eksploatacji. Badania te symulują najczęściej występujące przypadki narażeń eksploatacyjnych części maszyn i narzędzi w tarciovych węzłach ślizgowych i skrawaniowych.

W zakresie tak zdefiniowanych badań tribokorozji ciągle odczuwalny jest niedostatek danych eksperymentalnych. [L. 2, 3, 4, 5]. Tę lukę stara się po części wypełnić prezentowana praca.

MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

W laboratoryjnych próbach odporności tribokorozyjnych materiałów zastosowano zróżnicowane układy trące. Dla określonych systemów trących wybrano następujące materiały:

- układ tarcia czołowego typu: płytka-pierścień stanowiły; płytka o wymiarach $\phi 30 \times 5$ mm, wykonana ze stali 45 chromowanej dyfuzyjnie

lub azotowanej dyfuzyjnie i pierścien z płaską powierzchnią roboczą o wymiarach $\phi 15/13$ mm, wykonany ze stali 45 obrobionej cieplnie do twardości ok. 57 HRC,

- układ trący typu: krążek-płytkę wykonany; krążek – $\phi 40 \times 10$ mm ze stali 40H ulepszonej do twardości 35 HRC względnie chromowanej lub azotowanej dyfuzyjnie i płytkę $30 \times 10 \times 4$ mm ze stali 40HM ulepszonej do twardości 38 HRC lub chromowanej lub azotowanej dyfuzyjnie.

Przy badaniach tribokorozji zastosowano następującą metodykę badawczą:

Metoda A. Próby tarcia poprzedzone intensywnym działaniem czynnika korozyjnego. Metodyka próby, opisana szerzej w pracy [6], obejmowała:

- poddanie próbek procesowi poprzedzającej korozji w komorze solnej (5% roztwór wodny NaCl, temperatura 35°C) w czasie 48 h;

próby tarcia czołowego z zastosowaniem maszyny typu I-47-K-54 przy następujących parametrach:

- średnia prędkość tarcia, $v = 0,42$ m/s,
- stały nacisk jednostkowy, $p = 5$ MPa,
- czas próby $t = 16$ h,
- środek chłodząco-smarujący, woda + Emulkol EKO, obj. 10:1,
- środek ścierny - elektrokorund, frakcja ziarn 120/99 mm,
- sposób pomiaru zużycia - profilografometryczny pomiar zużycia liniowego z dokładnością 1 mm, w odstępach czasu 1 h.

Metoda C. Próby tarcia w warunkach stałego kontaktu powierzchni trącej z czynnikiem korozyjnym wykonano na maszynie typu A-135 Am-slera, przyjmując następujące parametry:

prędkość obrotowa krążkowej przeciwpróbki, $n = 200$ obr./min,

średnia prędkość tarcia, $v = 0,42$ m/s,

obciążenie układu trącego, $P = 25$ daN,

czas tarcia, $t = \text{ok. } 2$ h,

środek korozyjny – 50% roztwór wodny soli fizjologicznej podawany kroplowo z wydatkiem – 60 kropli/min,

sposób pomiaru zużycia – mikroskopowy pomiar zużycia liniowego, z dokładnością 5 μm , w odstępach czasu – 0,5 h.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyniki badań łącznego oddziaływania tarcia i korozji ilustrują wykresy przebiegu zużycia liniowego w funkcji czasu zamieszczone na **Rys. 3** i **4**. W **Tabeli 1** zestawiono podstawowe wskaźniki charakteryzujące próbę, tj.

całkowite zużycie liniowe próbki, intensywność zużycia liniowego, wskaźnik odporności na zużycie oraz współczynnik tarcia.

Wykresy przedstawione na **Rys. 3** i dotyczą wyników prób tarcia poprzedzonych intensywnym działaniem czynnika korozyjnego (metoda A), zaś widoczne na **Rys. 4** – próby tarcia w warunkach stałego kontaktu powierzchni trących z czynnikiem korozyjnym (metoda C).

Tabela 1. Wyniki badań tribokorozji

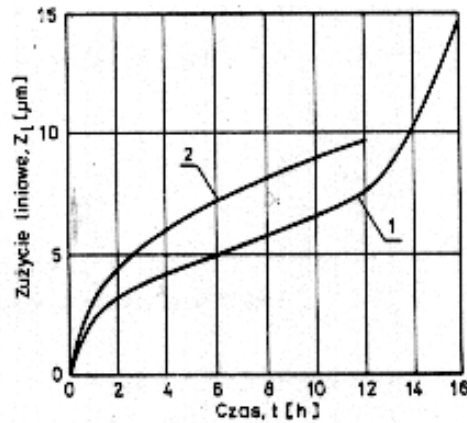
Table 1. Results of tribocorrosion investigations

Badany materiał		Metoda badań	Całkowite zużycie liniowe próbki Z_{lp} [mm]	Intensywność zużycia liniowego I_{lp} [mm/h]	Odporność na zużycie R_{lp} [h/mm]	Współczynnik tarcia μ
próbki	przeciwp próbki					
Płytkę stal 45 chromowana dyfuzyjnie	Pierścień - ulepszona stal 45	A	0,014	0,0009	1143	–
Płytkę - stal 45 azotowana dyfuzyjnie	Pierścień - ulepszona stal 45	A	0,010	0,0008	1200	–
Płytkę – ulepszona stal 40HM	Krażek – ulepszona stal 40H	C	0,220	0,15	6,8	0,28
Płytkę – stal 40HM chromowana dyfuzyjnie	Krażek – stal 40H chromowana dyfuzyjnie	C	0,024	0,024	41,7	0,18
Płytkę – stal 40HM azotowana dyfuzyjnie	Krażek – stal 40H azotowana dyfuzyjnie	C	0,172	0,069	14,5	0,28

Charakterystyki tribologiczne podane na **Rys. 3** dotyczą współpracy, przy tarcu czołowym, stali 45 chromowanej lub azotowanej dyfuzyjnie ze stalą 45 ulepszoną cieplnie. Współpracę tę poprzedziło oddziaływanie czynnika korozyjnego na materiały próbek, tzn. stal 45 chromowaną oraz azotowaną dyfuzyjnie. Obserwacja efektu oddziaływania czynnika korozyjnego na próbkę chromowaną pozwoliła stwierdzić, że w obszarze jej liczne, bardzo drobne, czarne punkty korozji rozmieszczone równomiernie na całej powierzchni próbki, zajmujące około 40% powierzchni całkowitej. Nato-

miast w przypadku próbki azotowanej korozja wystąpiła na krawędziach próbki na całym jej obwodzie. Ponadto wykryto dwa ogniska korozji, zajmujące ok. 2% powierzchni próbki.

Wyniki prób tarcia czołowego zilustrowane na **Rys. 3**, a także podane w **Tab. 1**, wskazują na wysoką odporność na zużycie warstwy chromowanej. Po okresie docierania, wynoszącym ok. 3 h, wykazuje ona bardzo małą intensywność zużywania zwiększającą się dopiero wraz z przechodzeniem procesu zużywania w materiał podłoża, co nastąpiło po ok. 13 h procesu tarcia. Natomiast nieco mniejszą odporność na zużycie w tych warunkach wykazała warstwa azotowana.

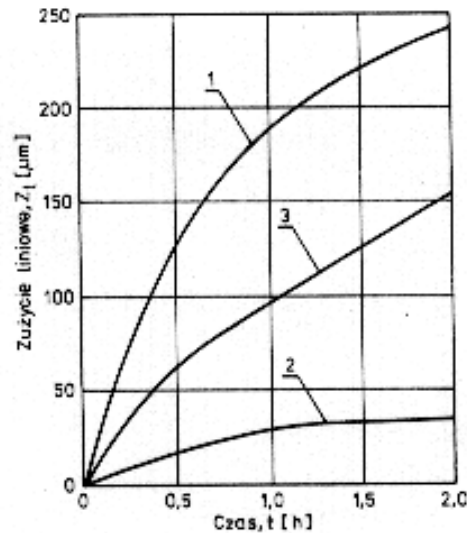


Rys. 3. Przebieg zużycia w funkcji czasu tarcia stali chromowanej (1) i azotowanej (2) dyfuzyjnie, poddanej procesowi korozji poprzedzającej (metoda A)

Fig. 3. Run of wear vs. friction time-of diffusion chromised (1) and nitrided (2) steels, after previous corrosion process (A method)

Wykresy podane na **Rys. 4** ilustrują przebieg zużycia materiałów w warunkach ciągłego doprowadzania czynnika korozyjnego do zespołu trącego. Wykresy te dotyczą współpracy stali 40HM i 40H ulepszonych cieplnie oraz współpracy tych samych stali po chromowaniu lub azotowaniu dyfuzyjnym. Z porównania wykresów zamieszczonych na **Rys. 4** oraz danych zamieszczonych w **Tab. 1**, wynika wyraźnie najwyższa odporność na zużycie, przy tarcu w obecności środka korozyjnego, stali z warstwą chromowaną. Również współczynnik tarcia stali z warstwą dyfuzyjną był najmniejszy. Trudno natomiast jest porównywać wyniki badań uzyskane według zróżnicowanych metod, tzn. metody A i C. Pomimo bowiem zastosowania podobnej prędkości tarcia, tzn. 0,42 m/s, układy trące obu stano-

wisk badawczych są bardzo zróżnicowane m.in. z uwagi na wywierane naciski jednostkowe. Układ tarcia czołowego zainstalowany na maszynie I-47-K-54 pracował bowiem w warunkach styku rozłożonego, zaś na maszynie A-135 Amslera – w warunkach styku skoncentrowanego.



Rys. 4. Przebieg zużycia stali ulepszonej cieplnie (1) chromowanej (2) oraz azotowanej (3) dyfuzyjnie narażonej na łączne oddziaływanie tarcia i korozji (metoda C)

Fig. 4. Run of wear of toughened (1), diffusion chromised (2) and nitrided (3) steels subjected to the friction and corrosion action (C method)

Różnice metodyczne związane z przebiegiem próby tarcia są na tyle istotne, iż praktycznie uniemożliwiają porównanie łącznego oddziaływania tarcia i korozji. Z przeglądu literaturowego i własnych doświadczeń wynika jednak, iż w przyszłości należy preferować badania tarcia przy stałej obecności czynnika korozyjnego, jako badania, które łatwiej można weryfikować próbami eksploatacyjnymi.

PODSUMOWANIE

Efektem metodycznych prac są opracowane i opisane w referacie dwa sposoby badań tribokorozji. Pierwszy z nich polega na prowadzeniu prób zużycia w cyklu poprzedzonym jednorazowym oddziaływaniem czynnika

korozyjnego zaś drugi - realizacji prób tarcia przy ciągłej obecności czynnika korozyjnego, wg opracowanych metod. Stale z wytworzoną dyfuzyjną warstwą chromowaną wykazały najkorzystniejsze właściwości tribokorozyjne.

LITERATURA

1. Senatorski J.: Ocena własności warstw dyfuzyjnych w warunkach narażeń tribologiczno-korozyjnych "Tribologia", nr 3, 2001, s. 403-411.
2. Senatorski J., Tacikowski J., Iwanów I.: Impregnowanie warstw azotowanych zwiększających odporność na zużycie przez tarcie i korozję. "Inżynieria Materialowa", nr 6, 2000, s. 427-429.
3. Denis R., Subramanian C., Yellup I.: Three body abrasive wear of composite coatings in dry and wet environments. Wear, 1998, t. 214, nr I. S. 112-130.
4. Nadolny K., Zwierzycki W.: Ocena tribotechnicznych właściwości wodnych roztworów sacharozy. "Tribologia" nr 3, 1997, s. 287-298.
5. Kuksenova L., Lapteva V.: Medotika inspytanij materialov na iznosostojkost i antifrikcionnost pri smazyvanii wodoj s abrazivom i solju. Sprawozdanie z pracy IMAS - Moskva, 1998.
6. Boldok Z., Senatorski J., Iwanow J., Szczygieł J.: Opracowanie metodyki badań własności wybranych technologicznych warstw wierzchnich w warunkach narażeń korozyjnych i tribologicznych. Sprawozdanie z pracy IMP, zlec. nr 12.3.01.063.1, 1999.

Recenzent:
Janusz JANECKI

Summary

Division proposal of the laboratory corrosion-tribological investigations is presented. According to this proposal investigations are divided into two groups: separate corrosion and tribological testing and joint corrosion-tribological testing. In this second group two investigation methods are to distinguish: simultaneous and non-simultaneous ones. According to the frequency of hazards occurrence the non-simultaneous investigations can be divided into single, cyclic and contentions testing. In this paper the results of investigations, after elaborated methods, of toughened steels and steels with formed chromium diffusion layers nitrided diffusion layers are presented.