

## **ANALIZA ZUŻYCIA MECHANICZNO-ŚCIERNO-KOROZYJNEGO WYSTĘPUJĄCEGO W BRANŻY CUKROWNICZEJ**

Przemysław Tyczewski, Karol Nadolny

*Institut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Politechnika Poznańska*

**Streszczenie:** Praca zawiera wyniki badań wykonanych w złożonych warunkach zużycia mechaniczno-ścierno-korozyjnego występującego w branży cukrowniczej.

**Słowa kluczowe:** badania eksperymentalne, zużycie ściernie, korozyjne

### **Wprowadzenie**

Różnorodność środowisk technologicznych występujących w maszynach i urządzeniach branży spożywczej powoduje, iż elementy węzłów ruchowych ulegają wyjątkowo szybkiemu zużyciu pod wpływem jednoczesnego oddziaływania wymuszeń tarciovych, ciepłych i korozyjnych [Nadolny, Tyczewski 2000; Watson 1995].

Na przykładzie urządzeń w przemyśle cukrowniczym procesy destrukcyjne mają charakter złożony. Z reguły występuje nie tylko jeden elementarny proces zużycia, ale często wszystkie i to z różnym natężeniem. Dominującą rolę odgrywają procesy: korozja oraz zużywanie ściernie. W tabeli 1 przedstawiono rezultaty badań oceny intensywności tych procesów w oparciu o dane literaturowe oraz pochodzące z praktyki zawodowej autora [Tyczewski 2002].

W tabeli 1 zastosowano następującą klasyfikację intensywności procesów destrukcyjnych: +++ zużycie bardzo intensywne, ++ zużycie intensywne, + zużycie o małej intensywności.

Jak wynika z przeglądu literatury, dotychczasowe badania przeprowadzone przez wielu badaczy wskazują, iż nie ma jednoznacznego ilościowego opisu skutków procesu zużycia ścierno-korozyjnego [Tyczewski 2002].

W celu poznania relacji ilościowych między skutkami zużyciowymi, będącymi efektami jednoczesnego działania procesów destrukcyjnych tarciovych i korozyjnych, przy występowaniu oddziaływań fazy stałej w węzłach trybologicznych, wykonano eksperymentalne badania poznawcze według wcześniej opracowanego modelu.

Tabela 1. Występowanie zużycia ściernego i korozyjnego w wybranych urządzeniach przemysłu cukrowniczego

Table 1. Occurrence of abrasive and corrosive wear in sugar factories

Nazwa urządzenia / procesu	Zużycie	
	Ściernie	Korozyjne
Rozładunek surowca		
Przenośnik buraków zanieczyszczonych	+++	
Pompa buraczana	+++	+
Oddzielnik ogonków	+	+
Przygotowanie surowca		
Krajalnice	+++	
Ekstraktor	+++	+++
Urządzenia oczyszczające mleko wapienne	+++	
Wytworzenie produktu		
Wyparki		+
Mieszadła cukrzycy	+	
Brykietciarki	++	

### Koncepcja sformułowania interpretacyjnych modeli zużywania w złożonych warunkach wymuszeń

W rozważanym modelu [Tyczewski 2002] zużywanie ( $I_C^T$ ) można przedstawić jako superpozycję składowych będących skutkiem oddziaływań mechanicznych ( $I_M$ ), korozyjnych ( $I_K$ ), ściernych ( $I_S$ ) oraz skutków ich wzajemnych współoddziaływań ( $I_\Delta$ ) (1) [Tyczewski 2002]. W modelu tym założono, że wszystkie składowe z założenia dałoby się jednoznacznie wyznaczyć ich wartości w specyficznych sterowanych warunkach wymuszeń, niekiedy poza węzłem tribologicznym.

$$I_C^T = I_M + I_K + I_S + I_\Delta \quad (1)$$

Składową interakcyjną  $I_\Delta$  można przedstawić jako sumę składników będących efektem procesów destrukcyjnych: ścierno–mechanicznych ( $I_{\Delta SM}$ ), korozyjno–mechanicznych ( $I_{\Delta KM}$ ), ścierno–korozyjnych ( $I_{\Delta SK}$ ) oraz jednoczesnego wpływu procesów ścierno–korozyjno–mechanicznych ( $I_{\Delta SKM}$ ):

$$I_\Delta = I_{\Delta SM} + I_{\Delta KM} + I_{\Delta SK} + I_{\Delta SKM} \quad (2)$$

Oddziaływanie ścierno – mechaniczne jest zależne od wpływu czynnika ściernego na procesy mechaniczne oraz wpływu czynnika mechanicznego na procesy ściernie:

$$I_{\Delta SM} = I'_{\Delta SM} + I'_{\Delta MS} \quad (3)$$

Podobnie oddziaływanie korozyjno – mechaniczne jest zależne od wpływu czynnika korozyjnego na procesy mechaniczne oraz wpływu czynnika mechanicznego na procesy ściernie:

$$I_{\Delta KM} = I'_{\Delta KM} + I'_{\Delta MK} \quad (4)$$

Oddziaływanie ścierno-korozyjne jest zależne od wpływu czynnika ściernego na procesy korozyjne oraz wpływu czynnika korozyjnego na procesy ściernie:

$$I_{\Delta SK} = I'_{\Delta SK} + I'_{\Delta KS} \quad (5)$$

Podstawiając sformułowane zależności do równania (1) otrzymuje się model w najogólniejszej postaci:

$$I_C^T = I_M + I_K + I_S + I'_{\Delta SM} + I'_{\Delta MS} + I'_{\Delta KM} + I'_{\Delta MK} + I'_{\Delta SK} + I'_{\Delta KS} + I_{\Delta SKM} \quad (6)$$

Występowanie zużycia ściernego wymaga doprowadzenia ścierniwa do powierzchni współpracujących. Kontakt ścierniwa z powierzchnią współpracującą może się odbyć tylko z jednoczesnym udziałem wymuszeń mechanicznych. Należy, zatem rozpatrywać zużywanie  $I_{\Delta S}$  jako sumę oddziaływań czynnika ściernego oraz wpływu czynnika ściernego na intensywność zużywania mechanicznego:

$$I_{CS} = I_S + I_{\Delta SM} \quad (7)$$

Należy zauważyć, iż obecność ścierniwa może też mieć wpływ na procesy zużywania korozyjnego, jak i korozyjno-mechanicznego:

$$I_{CSKM} = I_{\Delta SK} + I_{\Delta SKM} \quad (8)$$

Dla uproszczenia dalszej analizy zrezygnowano z rozdzielania jednostkowych oddziaływań ścierno-mechanicznych ( $I_{\Delta SM}$ ), korozyjno-mechanicznych ( $I_{\Delta KM}$ ) oraz ścierno-korozyjnych ( $I_{\Delta SK}$ ).

Zatem teoretyczny model opisujący zużywanie z jednoczesnym udziałem procesów przyjmie postać:

$$I_C^T = I_M + I_K + I_{CS} + I_{\Delta KM} + I_{CSKM} \quad (9)$$

W celu znalezienia poszczególnych składowych zaproponowanego modelu, wykonano badania czynnikiowe według wariantów metodycznych przedstawionych w tabeli 2 (eksperymenty od I–VI).

Tabela 2. Warianty metodyczne badań pierwiastkowych  
Table 2. Characteristics of experiments

Eksperyment	Wymuszenia – czynnik			Model
	Mechaniczny P = 20 [N] n = 1,25 [obr·s <sup>-1</sup> ]	Ścierny D = 0,2 [mm]	Korozyjny m = 4 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
I	X	-	-	$I_I = I_M$
II	-	X	-	-
III	-	-	X	$I_{III} = I_K$
IV	X	X	-	$I_{IV} = I_M + I_S + I_{\square SM}$
V	X	-	X	$I_V = I_M + I_K + I_{\square MK}$
VI	-	X	X	-
VII	X	X	X	$I_{VII} = I_C^E = I_M + I_K + I_S + I_{\square}$

X – czynnik występujący w danym doświadczeniu  
- – czynnik nie występujący w danym doświadczeniu

Z zaproponowanych wariantów eksperymentów otrzymujemy składowe:  $I_M$ ,  $I_K$ ,  $I_{\Delta MK}$ ,  $I_{CS} = I_S + I_{\Delta SM}$ . Wartością nieznaną zatem jest  $I_{CSM} = I_{\Delta SK} + I_{\Delta SKM}$ .

Otrzymujemy wartość całkowitego zużycia wyznaczonego na podstawie rozważań teoretycznych  $I_C^T$  (wzór 9) oraz całkowitego zużycia wyznaczonego na drodze eksperymentu  $I_C^E$  (eksperyment nr VII z tabeli 2).

Zatem współoddziaływanie zależne od oddziaływania ścierniwa ( $\Delta J$ ) będzie różnicą między całościowym zużyciem eksperymentalnym, a sumą składowych wyznaczanych w eksperymentach pierwiastkowych:

$$\Delta J = I_C^E - I_C^T = I_C^E - [I_M + I_K + (I_S + I_{\Delta SM}) + I_{\Delta KM}] = I_{\Delta KS} + I_{\Delta SKM}. \quad (10)$$

Jeżeli  $\Delta J > 0$ , to występuje synergizm między oddziaływaniem ściernym, mechanicznym i korozyjnym wpływu czynnika ściernego.

Jeżeli  $\Delta J = 0$ , to nie występuje interakcja między oddziaływaniem ściernym, mechanicznym i korozyjnym wpływu czynnika ściernego.

Jeżeli  $\Delta J < 0$ , to występuje interakcja (hamowanie) wyrażająca się zmniejszeniem intensywności procesów destrukcyjnych i zmniejszeniem zużycia globalnego.

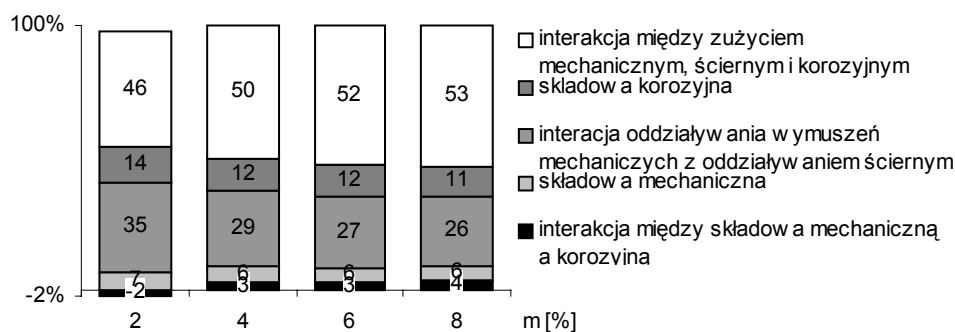
## Wyniki badań

Badania wykonano na zmodernizowanej maszynie tarciovej UMT-2168, według planu wieloczynnikowego [Tyczewski 2002].

Wykonane badania zużycia modelowego wężła tarciovej w złożonych warunkach wymuszeń – według przedstawionej koncepcji przyniosły rezultaty, które szczegółowo przedstawiono w pracy [Nadolny, Tyczewski 2002].

Podstawiając otrzymane wyniki składowych zużycia do równań modelowych (od 1 do 5) i porównując ich sumę ze zużyciem całkowitym  $I_C^E$  (wariant VII), z równania (6) można oszacować skutki oddziaływań interakcyjnych ( $I_{\Delta KS} + I_{\Delta SKM} = \Delta J$ ).

Zestawione na rysunku 1 rezultaty wyników badań stanowią interpretacyjne modele graficzne zmian udziałów procentowych składowych zużycia całkowitego.



Rys. 1. Wartości składowych zużycia dla procesu zużywania przy zmiennych oddziaływaniach ścierniwa

Fig. 1. Values composition wear at variables corrosive extortions caused with differentiation of content of corrosive factor

## Interpretacja wyników

Z przedstawionego wykresu (rys. 1) wynikają następujące wnioski szczegółowe:

1. W globalnym zużywaniu składowa będąca skutkiem tylko oddziaływań mechanicznych (tarcie cierne) kształtuje się na poziomie od kilku do kilkunastu procent.
2. Wartości składowej korozyjnej kształtują się na nieco wyższym poziomie – kilkunastu procent.
3. Wartości zużycia na skutek oddziaływań interakcyjnych: mechanicznych i korozyjnych kształtują się na poziomie kilku procent. W jednym z wariantów badań odnotowano skutek o charakterze niesynergicznym (-2%).
4. Udział składowej będącej wynikiem jednoczesnego oddziaływania mechanicznego i ściernego to przeciętnie około 1/3 globalnego zużycia.
5. Składowa sumaryczna oddziaływań interakcyjnych: mechaniczno-ścierno-korozyjnych mieści się w większości przypadków w zakresie 40-50%.

Analizując uzyskane wyniki badań (rys. 1) można jednoznacznie stwierdzić, iż zużycie na skutek jednoczesnego występowania niszczących procesów: ciernych (mechanicznych), korozyjnych i ściernych nie jest prostą superpozycją ich zindywidualizowanych skutków. Wyniki z badań wskazują, iż interakcyjne współoddziaływanie w złożonych warunkach wymuszeń mechanicznych, korozyjnych i ściernych, spowodowane procesami ściernymi jest znaczące.

W odniesieniu do zaproponowanego modelu (9) uzyskane wyniki jednoznacznie obrazują wpływ wzajemnych interakcji. Z analizowanego przypadku wynika, iż składowe od pojedynczych procesów zużycia wynoszą około 50%, reszta to wzajemna oddziaływanie poszczególnych procesów. Największą składową interakcyjną uzyskano dla przypadku oddziaływania korozji z procesami mechanicznymi. Uwzględniając tylko składniki znaczące (powyżej 10% oddziaływania) można zmodyfikować zaproponowany wcześniej model do następującej postaci (11):

$$I_C^T = I_K + I_{C\dot{S}} + I_{C\dot{S}KM}. \quad (11)$$

## Bibliografia

- Nadolny K., Tyczewski P.** 2000. Czynniki wpływające na zużycie cierne i korozyjne w maszynach przemysłu cukrowniczego Mat. konf. IX Konferencja Budowa i eksploatacja maszyn przemysłu spożywczego. Opole. s. 245-251.
- Nadolny K., Tyczewski P.** 2002. Experimental study of process abrasive–corrosive. Functional Surfaces, Trencin.
- Tyczewski P.** 2002. Modele interpretacyjne mechanizmu zużycia ścierno–korozyjnego. Rozprawa doktorska Politechnika Poznańska.
- Watson S.W., Friedersdorf F.J., Madsen B.W., Cramar S.D.** 1995. Methods of measuring wear – corrosion synergism. Wear 181-183. s. 476-484.

## **ANALISYS OF MECHANICAL-ABRASIVE-CORROSIVE WEAR IN SUGAR FACTORIES**

**Summary.** In paper was present experimental test result concerning the simultaneous mechanical-abrasive-corrosive wear in sugar factories.

**Key words:** experimantal tests, abrasive wear, corrosive wear

**Adres do korespondencji:**

Przemysław Tyczewski; e-mail: przemyslaw.tyczewski@put.poznan.pl  
Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych  
Politechnika Poznańska  
ul. Piotrowo 3  
60-965 Poznań