

Andrzej N. WIECZOREK

DOŚWIADCZALNE BADANIA ŁĄCZNEGO WPŁYWU CZYNNIKÓW KOROZYJNYCH I ŚCIERNIWA KWARCOWEGO NA PROGNOZOWANĄ TRWAŁOŚĆ KÓŁ ŁAŃCUCHOWYCH PRZENOŚNIKÓW ZE STALI 34CrNiMo

W pracy przedstawiono wyniki porównawczych badań zużycia stref współpracy koła łańcuchowego ze stali 34CrNiMo z łańcuchem pod wpływem działania ścierniwa kwarcowego oraz skojarzonego działania ścierniwa kwarcowego i czynnika korozyjnego - wody. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono większe o ok. 45% wartości zużycia dla wariantu zużywania ścierniwa skojarzonego z czynnikiem korozyjnym.

WSTĘP

W przypadku węzłów tarciovych maszyn i urządzeń transportowych, zużywanie poszczególnych elementów następuje wskutek jednoczesnych oddziaływań tarciovych i korozyjnych, tzw. tribokorozyji. Tribokorozyja to proces zużywania wywołany jednoczesnym działaniem wymuszeń mechanicznych oraz czynników środowiska korozyjnego [1÷5], z reguły stanowiący istotny problem eksploatacyjny. Zużywanie tribokorozyjne występuje najczęściej w systemach tribologicznych złożonych z dwóch lub trzech ciał, które przemieszczają się względem siebie.

W warunkach rzeczywistych, podczas których zachodzą jednocześnie procesy tarciove i elektrochemiczne obserwuje się synergistyczny skutek działania obu procesów, znacząco większy niż suma ich pojedynczego oddziaływania [6,7]. Efekt synergii uwydatnia się najbardziej dla materiałów wykazujących zdolność do pasywacji (np. stali) [2].

Istotą procesu jest usuwanie lub przerwanie ciągłości przez czynniki mechaniczne np. twarde ścierniwo, ochronnej warstwy pasywnych tlenków, co skutkuje odtworzeniem się w wyniku elektrochemicznych nowej warstwy pasywnych tlenków na odsłoniętej powierzchni. Usunięcie wskutek procesów tribologicznych pasywnej warstwy tlenków przyspiesza korozję, gdyż następuje szybkie roztwarzanie powierzchni leżącej pod warstwą usuniętą. Dodatkowym czynnikiem intensyfikującym zużywanie tribokorozyjne jest intensywne działanie ściernie twardych cząstek z usuwanych warstw tlenkowych. Procesy usuwania i odtwarzania warstw tlenkowych zachodzą cyklicznie wraz z każdorazowym działaniem czynnika mechanicznego.

Przykładem elementów poddanych skojarzonemu działaniu czynników mechanicznych (ziaren ścierniwa) i korozyjnych (Rys. 1) są koła łańcuchowe przenośników zgrzeblowych, wykorzystywanych np. w układach nawęglania elektrowni i elektrociepłowni, w górnictwie podziemnym, odkrywkowym i tunelowym. Przenośniki zgrzeblowe, są bardzo często stosowane do transportu surowców mineralnych i energetycznych, w czasie których dochodzi do przedostawania się twardych ziaren tych materiałów oraz wodnych roztworów elektrolitycznych do strefy współpracy koła napędowego z łańcuchem. Intensywność tribokorozyji zależy przede wszystkim od cech materiałów, z których wykonane są elementy węzła oraz warunków wymuszeń [1].



Rys. 1. Przykładowy widok zanieczyszczonego piaskiem i wodą fragmentu przenośnika zgrzeblowego w strefie wysypu

Dodatkowo elementy przenośników zgrzeblowych są narażone w trakcie procesu użytkowania na działanie szeregu innych niekorzystnych czynników, zwykle przyczyniających się do obniżenia ich trwałości. Do najważniejszych należy zaliczyć [8,9]:

- duża liczba rozruchów,
- duża zmienność obciążenia w czasie pracy ustalonej,
- podwyższona temperatura pracy wywołana tarciami.

1. CHARAKTERYSTYKA PRÓB ŻYCIOWYCH

W niniejszej pracy podjęto się określenia ilościowego wpływu obecności czynnika korozyjnego – wody – na zużycie koła łańcuchowego ze stali 34CrNiMo eksploatowanego w obecności rozkruszonego ścierniwa kwarcowego. W ramach testów przeprowadzono dwa cykle zużyciowe: przy obecności tylko suchego ścierniwa kwarcowego i ścierniwa kwarcowego zawierającego ok. 10 % wody.

1.1. Stanowisko badawcze

Badania zużycia tribokorozyjnego koła łańcuchowego ze stali 34CrNiMo przeprowadzono na stanowisku [10,11] umożliwiającym odtworzenie skojarzonego oddziaływania czynników niszczących. Schemat stanowiska badawczego przedstawia Rysunek 2.

Oddziaływanie luźnego ścierniwa kwarcowego zrealizowano poprzez wypełnienie skrzyni stanowiska suchym ścierniwem, natomiast obecność czynnika korozyjnego (wody wodociągowej) - poprzez okresowe dodawanie ustalonych ilości wody w trakcie testów zużyciowych, tak aby zachować ok. 10 % udział wody. Początkowy udział

wody w ścierniwie ustalono poprzez odmierzenie 1000 kg płukanego piasku kwarcowego o wielkości ziarna do 1 mm i dodanie 100 litrów wody. W trakcie pracy stanowiska dochodziło do odparowania wody z mieszaniny ścierniej. W celu przeciwdziałania możliwości pracy stanowiska z wysuszonym ścierniwem, co 2 godziny dolewano do mieszaniny wodę w ilości 10 litrów, co przywracało wyjściową jej konsystencję (Rys. 3). Jednakże pod koniec prób zużyciowych z uwodnioną mieszaniną piasku zaobserwowano jakościową zmianę konsystencji tej mieszaniny spowodowaną obecnością w niej usuniętych pasywnych warstw tlenkowych (Rys. 4).

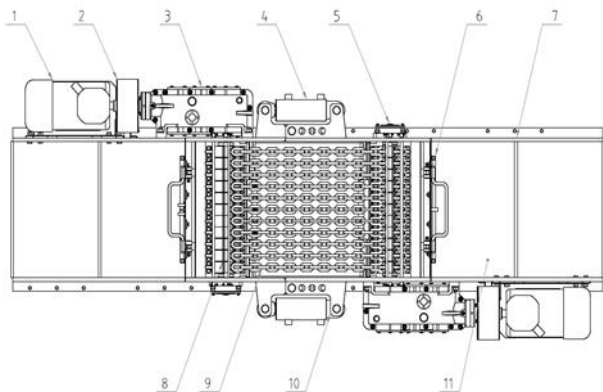


Fig. 2. Schemat stanowiska badawczego; oznaczenia: 1 - Silnik indukcyjny 22 kW, 2 - Sprzęgło elastyczne, 3 - Reduktor stożkowo-walcowy, 4 - Siłownik hydrauliczny, 5 - Półoś, 6 - Układ zraszania komory badawczej, 7 - Korpus stanowiska, 8 - Próbkę badawczą, 9 - Łańcuch, 10 - Uchwyt montażowy siłownika, 11 - Dodatkowa komora kruszywa.



Rys. 3. Widok stanowiska zużyciowego wypełnionego mieszaniną ścierną złożoną z piasku kwarcowego i wody w początkowej fazie traktacji badań zużycia tribokorozyjnego.

1.2. Obiekt i metoda badań

Do badań zużyciowych użyto dwóch identycznych kół łańcuchowych ze stali ulepszonej cieplnie 34CrNiMo poddanych hartowaniu powierzchniowemu, gdzie jedno z nich zostało użyte w próbie z udziałem samego ścierniwa, natomiast drugie testowano w warunkach skojarzonego działania ścierniwa i wody.



Rys. 4. Widok stanowiska zużyciowego wypełnionego mieszaniną ścierną złożoną z piasku kwarcowego i wody w końcowej fazie traktacji badań zużycia tribokorozyjnego.

Koła łańcuchowe zostały wykonane metodą obróbki skrawaniem ze znormalizowanych i ulepszonych cieplnie odkuwek ze stali 34CrNiMo. Skład chemiczny rozpatrywanej stali został przedstawiony w Tabelcy 1, natomiast właściwości mechaniczne zestawiono w Tabelcy 2. Po końcowej obróbce skrawaniem, koła poddano hartowaniu powierzchniowemu metodą płomieniową (temperatura austenityzacji wynosiła ok. 800 °C), a chłodzenie realizowano w 6% roztworze chłodziwa wodno-polimerowego. Twardość powierzchni badanych kół była w zakresie 541±555 HB.

Tab. 1. Skład chemiczny stali 34CrNiMo [%]

Gatunek stali	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
34CrNiMo	0,377	0,269	0,602	1,010	0,952	0,194

Tab. 2. Właściwości mechaniczne stali 34CrNiMo

Gatunek stali	R _m , MPa	R _e , MPa	A ₅ , %
34CrNiMo	1030±3,8	880±3,7	10±0,1

W trakcie badań stosowano jednakowy, stały naciąg łańcucha gwarantujący właściwą pracę układu bez nadmiernych obciążeń dynamicznych pochodzących od tzw. bicowania luźnym łańcuchem. Przy ustalonym naciągu łańcucha, wywołanym przez rozparcie siłownika hydraulicznego, sumaryczna moc pobierana przez oba silniki wynosiła 15 kW. Zasadnicze badania zużyciowe w obecności luźnego ścierniwa kwarcowego i ścierniwa zawierającego wodę trwały sumarycznie po 200 godzin (po 100 godzin dla każdego kierunku obrotów silników).

Jako miarę charakteryzującą zużycie ściernie przyjęto uśrednioną wartość maksymalnego wgłębienia powierzchni gniazda koła łańcuchowego δ_{AVR_MAX} . W celu wyznaczenia tego parametru, przed i po testach zużyciowych dokonywano pomiaru 24 powierzchni współpracy koła z łańcuchem z wykorzystaniem maszyny pomiarowej Zeiss Acura. W trakcie pomiaru było odczytywane i zapisywane ok. 300 punktów wzdłuż ustalonej trasy głowicy pomiarowej maszyny.

Dla każdego punktu trasy głowicy pomiarowej wyznaczano zużycie abrazyjne δ_i zgodnie z zależnością:

$$\delta_i = \sqrt{(x_{i,1} - x_{i,2})^2 + (y_{i,1} - y_{i,2})^2 + (z_{i,1} - z_{i,2})^2} \quad (1)$$

gdzie:

- $x_{i,1}$ – współrzędna x i-tego punktu przed próbą,
- $x_{i,2}$ – współrzędna x i-tego punktu po próbie,
- $y_{i,1}$ – współrzędna y i-tego punktu przed próbą,
- $y_{i,2}$ – współrzędna y i-tego punktu po próbie,
- $z_{i,1}$ – współrzędna z i-tego punktu przed próbą,
- $z_{i,2}$ – współrzędna z i-tego punktu po próbie.

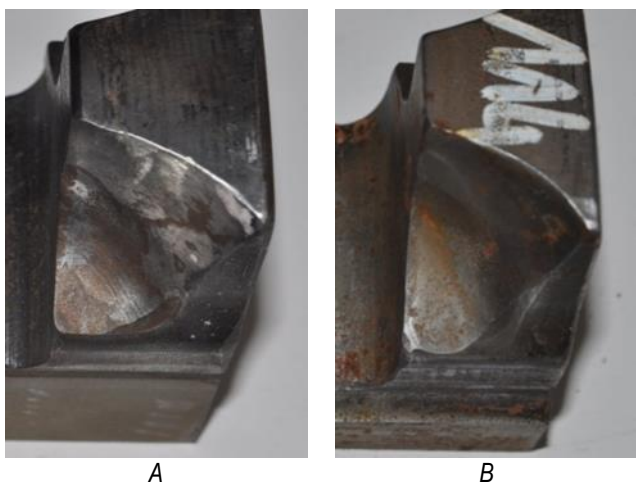
Następnie, dla obliczonych wartości δ_i wyznaczano wartość maksymalną wgłębienia powierzchni gniazda koła łańcuchowego δ_{i_MAX} oraz uśrednioną wartość δ_{AVR_MAX} [12,13].

2. WYNIKI BADAŃ

2.1. Testy zużyciowe

W trakcie testów zużyciowych dochodziło do wypełnienia strefy współpracującej koła z łańcuchem ogniowym mieszaniną ścierniwa kwarcowego z wodą. W wyniku obracania się koła łańcuchowego dochodziło do częściowego obrotu ogniwa łańcucha, co skutkowało przesuwaniem się ziaren ścierniwa w strefie współpracy koła i łańcucha. Ruchowi ścierniwa towarzyszyło mikroskrwanie powierzchni koła. Jednocześnie z procesami ściernymi zachodziło rozkruszanie tych ziaren. W ciągu 10 godzin pracy stanowiska doszło do całkowitego rozkruszenia ziaren piasku kwarcowego. Mimo zmniejszenia wielkości ziarna ścierniwa, w dalszym ciągu obserwowano intensywne zużycie ściernie. Z uwagi na obecność wody, dochodziło do wytworzenia się na świeżo odsłoniętej przez ziarno ścierniwa powierzchni, tlenkowej warstwy spasywowanej, która łatwo była usuwana przez pomniejszone ziarna ścierniwa. Uszkodzenia strefy współpracy koła z łańcuchem miały postać płytkich wytarc (Rys. 5). Wartości maksymalnego zużycia abrazyjnego δ_{AVR_MAX} wraz z miarami rozrzutu testowanych kół łańcuchowych w obecności samego ścierniwa i mieszaniny ścierniwa z wodą zestawiono w Tablicy 3. Wyznaczone dla obu wariantów niszczenia przebiegi zużycia abrazyjnego strefy współpracy gniazda koła łańcuchowego i łańcucha w funkcji położenia na torze głowicy pomiarowej przedstawia Rys. 6.

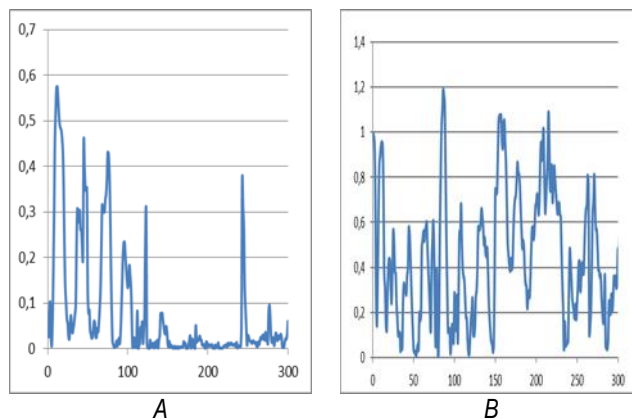
Porównując uzyskane wyniki zużycia pod względem wpływu obecności czynnika korozyjnego (wody), łatwo można zauważyć większe wartości zużycia dla wariantu zużywania tribokorozyjnego. Stwierdza się znaczący wzrost zużycia o ok. 45 % wariantu zużycia ściernego skojarzonego z działaniem korozyjnym wody względem wariantu zużycia ściernego w suchym ścierniwie kwarcowym.



Rys. 5. Ślady wytarc powierzchni zębów badanych kół łańcuchowych ze stali 34CrNiMo; A – wariant zużywania z udziałem ścierniwa kwarcowego, B – wariant zużywania z udziałem ścierniwa kwarcowego i czynnika korozyjnego (wody)

Tab. 3. Wyznaczone parametry charakteryzujące zużycie ściernie δ_{AVR_MAX} stali 34CrNiMo dla rozpatrywanych materiałów; Corr – wariant z udziałem czynnika korozyjnego (wody)

Gatunek stali	δ_{AVR_MAX} , mm	S_{δ} , mm
34CrNiMo	0,623	0,041
34CrNiMo (Corr)	0,903	0,049



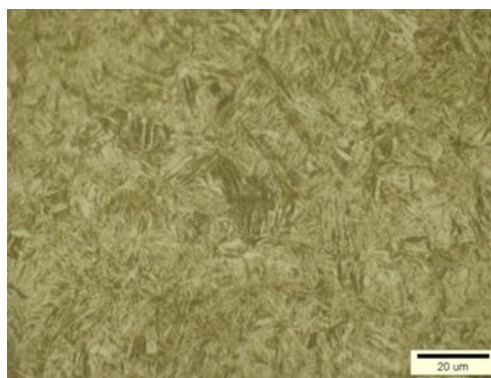
Rys. 6. Przebiegi zużycia strefy współpracy koła łańcuchowego ze stali 34CrNiMo wzdłuż ścieżki pomiarowej; A – wariant zużywania z udziałem ścierniwa kwarcowego, B – wariant zużywania z udziałem ścierniwa kwarcowego i czynnika korozyjnego (wody)

2.2. Badania metalograficzne

Próbki do badań metalograficznych po zakończeniu testów zużyciowych były pobrane z zęba koła łańcuchowego, które następnie były szlifowane i polerowane. W celu wyznaczenia mikrostruktury, próbki były trawione 3% roztworem Nitalu.

Obserwacje z użyciem mikroskopu optycznego wykazały dla obu wariantów zużycia:

- w strefie przypowierzchniowej warstwy zahartowanej (do ok. 5 mm) strukturę martenzytu iglastego (Rys. 7),
- w strefie 5÷10 mm od powierzchni strukturę martenzytu iglastego i bainitu,
- na pozostałej części warstwy zahartowanej mieszaninę struktur martenzytu, bainitu i perlitu,
- poza strefą zahartowaną strukturę perlitu z niewielką ilością ferrytu,
- liczne uszkodzenia powierzchni w kształcie klinowym spowodowane działaniem rozkruszonego ścierniwa kwarcowego.



Rys. 7. Mikrostruktura koła łańcuchowego ze stali 34CrNiMo zużywanego w obecności samego ścierniwa kwarcowego w obszarze przypowierzchniowym

PODSUMOWANIE

Zużywanie tribokorozyjne ma duży wpływ na ekonomiczność procesu eksploatacji systemów technicznych, w tym także transportowych, z uwagą na możliwe ich awarie, co wpływa na koszty napraw oraz utraconych korzyści [1,14]. Niniejsza praca stanowi próbę oszacowania przedwczesnej utraty trwałości elementów napędowych przenośników zgrzeblowych. W szczególności, w pracy przedstawiono porównawcze badania zużycia kół łańcuchowych przenośników zgrzeblowych wyznaczonego dla warunków typowych dla rzeczywistej eksploatacji tych maszyn transportowych: obecności suchego ścierniwa oraz skojarzonej obecności ścierniwa i czynnika korozyjnego (warunków typowych dla zużywania tribokorozyjnego).

Na podstawie przeprowadzonych testów zużyciowych stwierdzono znaczącą intensyfikację zużycia kół łańcuchowych ze stali 34CrNiMo o ok. 45 % dla skojarzonego oddziaływania ścierniwa kwarcowego i korozyjnego działania wody w porównaniu z samym oddziaływaniem suchego ścierniwa. Uzyskany wynik jest w zgodności z obserwacjami wynikającymi z rzeczywistej eksploatacji kół łańcuchowych, stwierdzającymi znaczne ograniczenie trwałości tych kół w warunkach znacznego zawodnienia transportowanego urobku.

Stwierdzony wzrost zużycia był spowodowany, typową dla zużycia tribokorozyjnego, synergią negatywnych skutków oddziaływania procesów zużycia ściernego i korozyjnych. Duży udział w intensyfikacji procesów zużyciowych miały twarde cząstki warstw tlenkowych, usuwane z powierzchni kół i łańcuchów w trakcie testów zużyciowych przez rozkruszone ścierniwo, które stanowiły obok piasku kwarcowego zasadniczy składnik mieszaniny ścierniej.

BIBLIOGRAFIA

1. Stachowiak A.: Problemy modelowania zużywania tribokorozyjnego w układach ślizgowych. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Radom, 2012.
2. Landolt D.: Electrochemical and materiale aspect of tribocorrosion systems. „Journal of Physics D: Applied Physics” vol. 39, nr 15, 2006, s. 3121-3127.
3. Fischer A., Mischler S.: Tribocorrosion: fundamentals, materials and application. „Journal of Physics D: Applied Physics”, vol. 39, nr 15, 2006, s. 3128-3129.
4. Mathew M.T., Srinivasa Pai P., Pourzal R., Fischer A., Wimmer M.A.: Significance of tribocorrosion in biomedical applications: overview and current status. *Advances in Tribology*, 2009, s. 1-12.
5. Celis J.P., Ponthiaux P.: Tribocorrosion. „Wear”, vol. 261, nr 6, 2006, s. 937-938.
6. Noel R.E.I., Ball A.: On the synergistic effects of abrasion and corrosion during wear. „Wear”, vol. 87, 1983. s. 351-361.
7. Batchelor A.W., Stachowiak G.E: Predicting synergism between corrosion and abrasive wear. „Wear”, vol. 123. 1988. s. 281-291.
8. Spalek J.: Problemy inżynierii smarowania maszyn w górnictwie. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
9. Burdzik R., Fołęga P., Łazarz B., Stanik Z., Warczek J.: Analysis of the impact of surface layer parameters on wear intensity of frictional couples, *Archives of Metallurgy and Materials* 57(4), 2012, 987-993.
10. Wieczorek A. N., Myszk D., Szromek J.: Stanowisko do badania procesów zużyciowych gwiazd napędowych przenośników zgrzeblowych. TEMAG 2013, XXI Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna, Ustroń, 23-25 października 2013. Biblioteka TEMAG ; vol. 21, 2013, s. 327-333.
11. Wieczorek A. N.: The role of operational factors in shaping of wear properties of alloyed Austempered Ductile Iron. Part I. Experimental studies abrasive wear of Austempered Ductile Iron (ADI) in the presence of loose quartz abrasive. *Archives of Metallurgy and Materials*, 59 (4), 2014, 1665-1674.
12. Wieczorek A. N.: Eksploatacyjnie zorientowana metoda badania zużycia bębnow łańcuchowych przenośników zgrzeblowych. TEMAG 2014. XXII Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna, Ustroń, 22-24 października 2014. Biblioteka TEMAG ; vol. 22, 2013, s. 277-285.
13. Wieczorek A. N., Polis W.: Operation-oriented method for testing the abrasive wear of mining chain wheels in the conditions of the combined action of destructive factors. *Management Systems in Production Engineering* No 3(19), s. 175-178, 2015.
14. Wieczorek A.N.: Designing machinery and equipment in accordance with the principle of sustainable development. *Management Systems in Production Engineering* No 1(17), s. 28-34, 2015.

Experimental studies on the combined impact of corrosive agents and quartz abrasive on the predicted service life of the chain wheels made of 34CrNiMo steel which are used in conveyors

The paper presents results of comparative tests of the wear in the areas of mating between a chain wheel made of 34CrNiMo steel and a chain, resulting from the combined action of the quartz abrasive and corrosive agent (water). On the basis of the measurements, it has been found that the values of the wear were higher by approx. 45% for the variant of the abrasive wear combined with the corrosive agent.

Praca zrealizowana w ramach projektu „Innowacyjna technologia produkcji elementów ciągnowych systemów transportowych wykorzystująca materiały lane” nr POIG.01.04.00-24-100/11.

Autor:
dr inż. **Andrzej N. Wieczorek** – Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Mechanizacji Górnictwa, andrzej.n.wieczorek@polsl.pl.