

Wojciech GAMON
 WSB University (Akademia WSB)

SLIDING WEAR EXAMINATION OF NEW PROTECTING COATINGS ON RAILWAY BUFFER HEADS

Badania ścieralności nowych powłok zabezpieczających na tarczach zderzaków kolejowych

Abstract: *The paper presents the results of tests of sliding wear of bronze coatings made on the surface of specimen made of S355J2 steel by laser cladding method. On the basis of the conducted tests it was found that the wear of the specimens with CuAl9Fe3 bronze coating is characterized by average values which are close to lubricated specimens. In addition, the registration of friction coefficients of particular couples showed very similar characteristics of these two friction couples and friction coefficient values at a very similar level. This allows to assume that the currently used method of protecting railway buffer heads, consisting of periodically covering their surface with lubricant, can be replaced with another, more durable, based on bronze protection coatings.*

Keywords: railway buffer, sliding wear, laser cladding, bronze coatings

Streszczenie: *W artykule przedstawiono wyniki badań zużycia ściernego powłok z brązów wytworzonych na powierzchni próbek wykonanych ze stali S355J2 metodą napawania laserowego. Na podstawie badań stwierdzono, że zużycie próbek z napoinami z brązu CuAl9Fe3 cechuje się wartościami średnimi zbliżonymi do próbek smarowanych. Ponadto, rejestracja współczynników tarcia poszczególnych skojarzeń wykazała bardzo zbliżone charakterystyki tych dwóch par ciernych oraz wartości współczynników tarcia na bardzo podobnym poziomie. Pozwala to na założenie, że obecnie stosowana metoda zabezpieczania zderzaków kolejowych, polegająca na okresowym pokrywaniu ich powierzchni smarem, może zostać zastąpiona inną, trwalszą, bazującą na wykonywaniu powłok zabezpieczających z brązów.*

Słowa kluczowe: zderzak kolejowy, zużycie ściernie, napawania laserowe, powłoki z brązu

1. Introduction

The wear of elements of infrastructure and means of transport is a serious problem, among others from the operational point of view. It leads to the decrease the level of safety, availability, reliability and to the increase in the cost of use and maintenance. This wear may be of a very different nature (e.g. aging, corrosion, adhesive wear, fatigue wear, etc.), and its consequences for the operation of objects may have a very significant or less important impact. At the same time, for some wear processes occurring during the life cycle of the object, the operators have a very limited, almost negligible influence (an example is all aging processes, depending only on time), while for others can often have a significant impact, shaping the desired parameters according to current needs (e.g. using anti-corrosion protection) [1, 2, 7, 13].

This phenomenon is very clearly visible in the case of rail transport, in which means of transport and transport infrastructure are subject to continuous, various processes of wear, which consequently lead to the necessity of using preventive or intervention maintenance procedures. The most popular and the most recognizable example is the wear of railway wheels, which in contact with the harder railhead, are subject to constant wear, among others sliding, losing its normative, guaranteeing safety, profile, allowing for proper running of the wheel on the rail. Therefore, the railway wheels are subjected to periodic reprofiling operations, restoring the normative geometry and allows further operation of the railway wheel. It is obvious that a similar treatment cannot be carried out indefinitely, and after some time the railway wheel (or the rim itself) must be replaced with a new wheel having appropriate material stock (sufficient diameter). In the area of railway transport, another example of this type of phenomena may be the pantograph slide plates, which, by staying in continuous contact with the overhead wire during the movement of the electric vehicle, ensures the supply of the necessary electrical energy. Similarly to wheels, the pantograph slide plates are periodically replaced when the level of their wear reaches the limit values qualifying for the exclusion from operation.

Due to the necessity to perform periodic maintenance activities and, as a last resort, replacement of entire worn components, along with the development of technology, new materials and technologies can be observed, characterized by better operational properties, allowing for longer periods of reliable operation (an example here can be replacement pantograph slide plates on European railways from copper to graphite which have more advantageous properties, including tribological ones).

The presented examples are not, however, isolated cases of components of rail vehicles subject to wear and, as a consequence, exchange for new ones. A very important system of a railway vehicle, which has not been thoroughly researched in this respect, is the buffer and chain coupler system, which ensures proper cooperation of individual vehicles in the train. From the safety point of view, a very important element of this system is the railway buffer, and more precisely its head, which stays in contact with the head of the adjacent vehicle, guaranteeing the proper dynamics of the moving train, in particular when negotiating turnouts and track curves. Due to the contact between buffer heads of adjacent

vehicles and large masses of vehicles, buffer heads undergoes flattening fig. 1 eliminating normative [4, 11] convexity, which might cause even to tear up the buffer from the vehicle headstock.

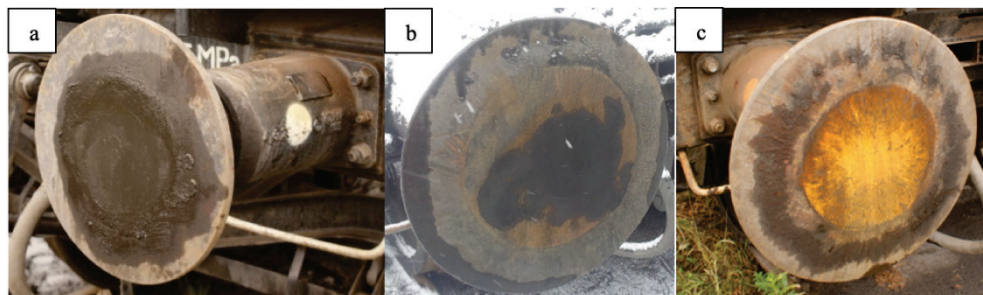


Fig. 1. Railway buffer heads flattered during operation

In order to increase the durability of the buffer head and at the same time enable to giving up the currently used buffer heads protection method (periodically covering its work surface with lubricant), a new method of its protection was proposed by creating a durable metallic coating with advantageous tribological properties.

2. Material and test method

As materials with desirable properties, bronzes have been chosen for the protection coating of the buffer heads, which show advantageous tribological properties at dry friction nodes in which occur high-value forces [5, 8, 10]. Due to the necessity to create a durable coating, resistant to impact loads and strongly associated with the substrate material, as a method for its production, laser cladding was selected, which allows to achieve the desired effects in make the overlays, including the copper-based ones [3, 12]. Previous metallographic and mechanical examinations carried out so far [9], enabling the assessment of created structures proved that it is possible successfully depositing aluminium (CuAl9Fe3) and manganese (CuMn11Al8Fe3Ni3) bronzes on a S355J2 steel substrate, used as material from which buffer heads are made, both in the form of specimens (fig. 2a) as well as on the real object (fig. 2b).

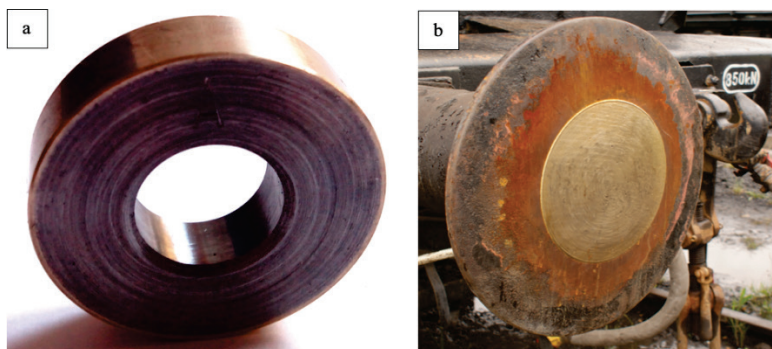


Fig. 2. Bronze coats: on specimen for wear bench test (a) and on real object (b)

After assessing the structural properties of the obtained overlays [9], in order to evaluate their tribological properties, were carried out tests using a modified Amsler tribometer. The device on which the tests were carried out was equipped with a control and measurement device that enabled, among others, registration of friction force, and thus determination of friction coefficients of individual friction couples. The test parameters were selected on the basis of previously conducted tests carried out on moving freight wagons [6]. This allowed obtaining conditions similar to the actual operation of railway buffer heads. The counter-specimen in the tribometer was immobilized (to ensure 100% sliding friction), while the specimen rotation speed was about 10 rpm. which corresponded to the actual linear velocity of the buffer heads relative to each other. The force pressing the specimen against the counter-specimen was 350N, which corresponds approximately to the actual compressive forces acting on the buffer heads and was determined on the basis of the Hertz's theory of contact stresses. During the testing of sliding and adhesive wear, the specimens performed 200 revolutions, and every 25 revolutions were weighed to evaluate their wear by measuring the weight loss. Four types of couples were tested, in each case the counter-specimen was made of S355J2 steel and was not covered with any coating and was not lubricated. Similarly, in each case the specimens were made of the same type of steel. The following variants were tested:

- a) steel specimen – steel counter-specimen,
- b) steel specimen with CuAl9Fe3 bronze coating – steel counter-specimen,
- c) steel specimen with CuMn11Al8Fe3Ni3 bronze coating – steel counter-specimen,
- d) lubricated steel specimen (graphite grease compatible with ISO 6743-9) – steel counter-specimen.

3. Research results and discussion

For a force of 350N, for all four couples, four series of measurements were carried out. In each case, the specimens were weighed every 25 revolutions on the AND HM-300

laboratory scale, to determine the weight loss due to sliding and adhesive wear. Due to the modification of the measurement bench, the friction force occurring in individual couples at one-second intervals was also recorded throughout the duration of the test. Table 1 presents the averaged results of the carried-out tests for all measurement series, in the range of specimen wear (weight loss) and the registered average friction force.

Table 1

Results of measurement of specimens wear and friction force

Item	Couple	The number of specimen revolutions	Average wear [mg]	Average friction force [N]
1	Steel – steel	25	0,8	92,19
2		50	2,4	
3		75	7,9	
4		100	18,5	
5		125	37,4	
6		150	52,5	
7		175	72,0	
8		200	88,2	
9	Steel with CuAl9Fe3 coating - steel	25	0,6	63,78
10		50	1,3	
11		75	2,5	
12		100	4,0	
13		125	5,1	
14		150	6,2	
15		175	7,7	
16		200	9,4	
17	Steel with CuMn11Al8Fe3Ni3 coating – steel	25	1,7	97,63
18		50	4,7	
19		75	8,3	
20		100	11,7	
21		125	16,3	
22		150	20,9	
23		175	24,4	
24		200	28,3	
25	Lubricated steel – steel	25	1,3	43,41
26		50	2,0	
27		75	3,0	
28		100	4,1	
29		125	4,9	
30		150	5,7	
31		175	6,3	
32		200	7,6	

Figure 3 presents the results of the average wear of specimens, measured as the loss of their mass, every 25 revolutions.

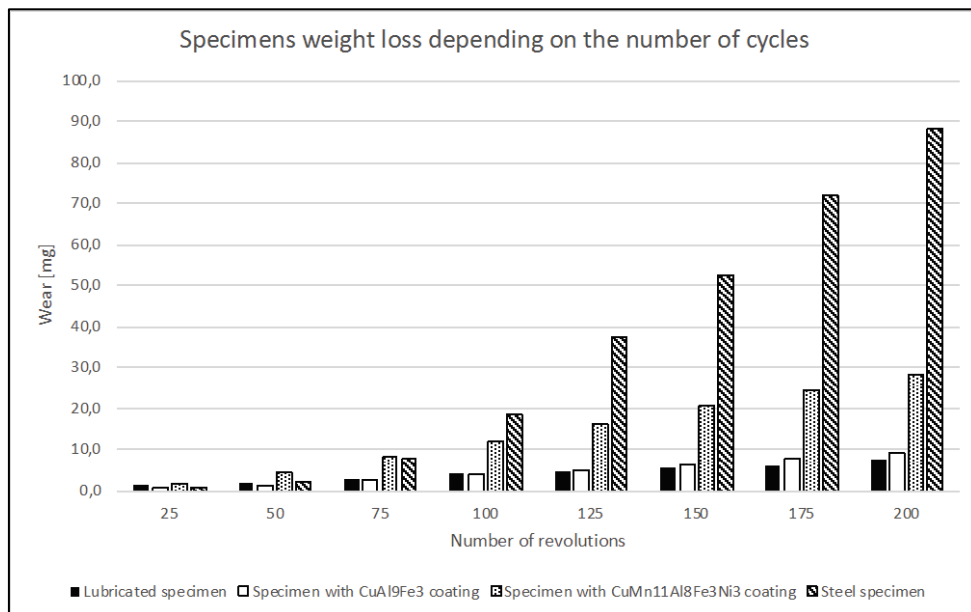


Fig. 3. Results of measurements of sliding wear

The data presented in tab. 1 and fig. 3 shows that the highest average wear is found in steel specimens without lubrication and without a coating made of another material - the average wear after the specimen has run 200 revolutions was 88.2 mg. This value is an order of magnitude greater than for specimens with aluminium bronze coating (CuAl9Fe3) and lubricated specimens (9.4 mg and 7.6 mg on average), which during the test showed the smallest, very similar wear. During the test, the friction force was also measured, the average values of which are shown in tab. 1. It can be observed definitely higher value of the average friction force for a specimen of steel and covered with a manganese bronze (CuMn11Al8Fe3Ni3) - respectively 92.19 N and 97.63 N. The other two types of couples were characterized by significantly lower values of forces. Based on the obtained results, it can be assumed that it is possible to replace the currently used method of protecting railway buffer heads (consisting of periodically covering them with lubricant) with a durable bronze coating that is free from a number of disadvantages resulting from the use of lubricant.

Due to the modification of the measurement bench, which enabled the measurement of friction force, it was also possible to determine the friction coefficients of individual couples. Due to the fact that data on the friction force was recorded at one-second intervals, and thus the possibility of determining the friction coefficient with such a frequency, the set of obtained data was characterized by a very large number. Therefore, in order to present the average results for the analysis, the measured friction coefficients averaged for all

measurement series, including 25 specimen revolutions in the middle phase of the measurements (from 100 to 125 specimen revolutions) were selected. The results of the conducted analysis are presented in graphs - figs. 4-7.

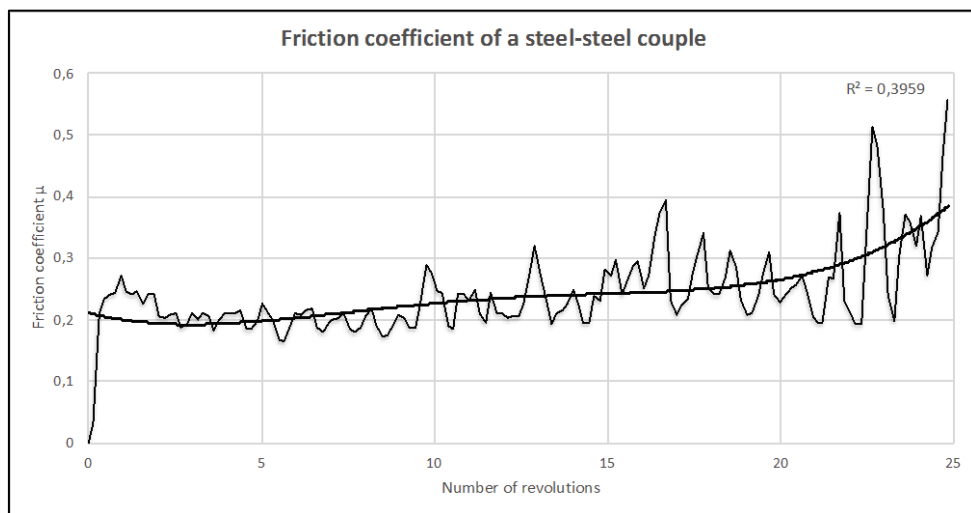


Fig. 4. Results of measurement of friction coefficient for steel-steel couple

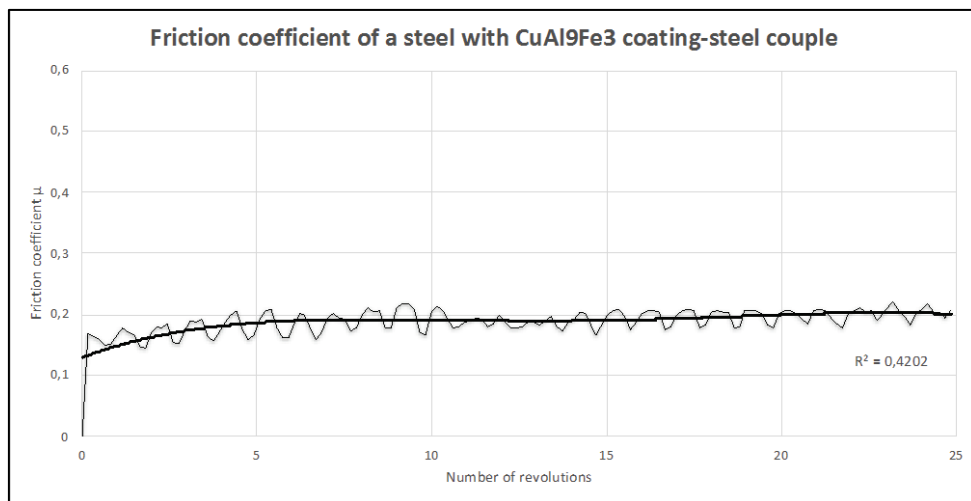


Fig. 5. Results of measurement of friction coefficient for steel with aluminium bronze coating-steel couple

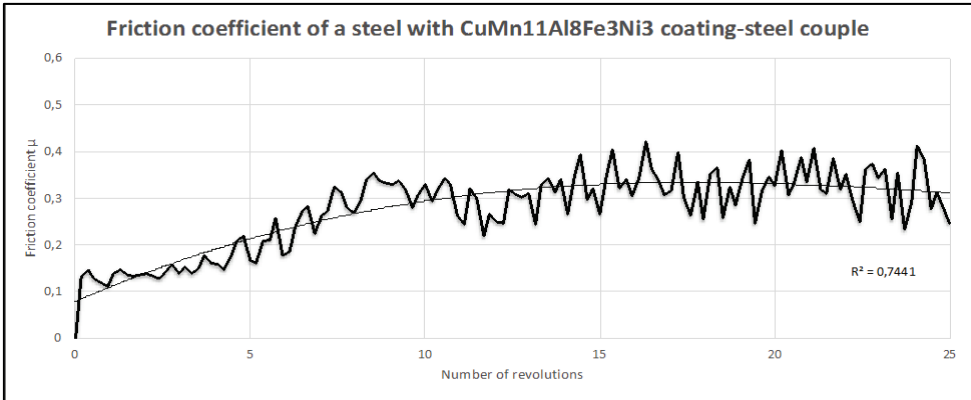


Fig. 6. Results of measurement of friction coefficient for steel with manganese bronze coating-steel couple

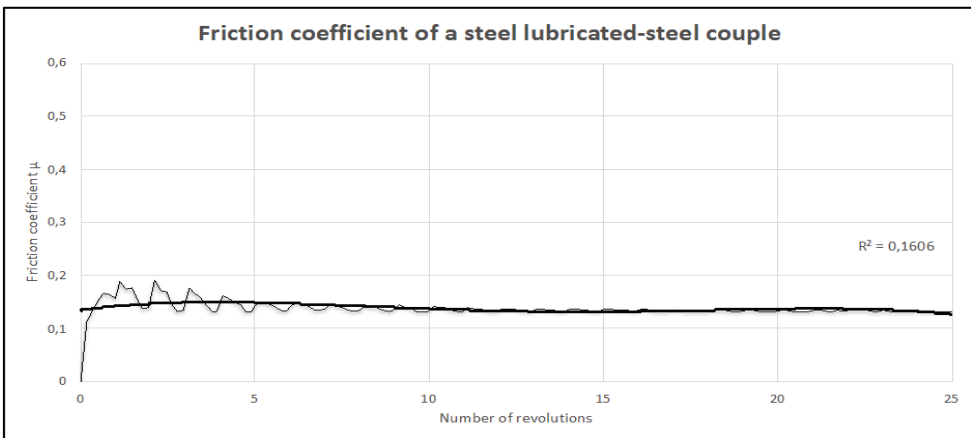


Fig. 7. Results of measurement of friction coefficient for lubricated steel-steel couple

On the basis of the friction coefficient graphs as a function of the friction path (number of specimen revolutions), can be observed significant discrepancies in its values and course depending on the type of the couple being tested. The highest values are taken for a friction couple consisting of a steel specimen (without any surface modification) and counter-specimen - reaching even $\mu \approx 0,55$. At the same time, this type of couple is characterized by the most uneven course and dynamic changes in the friction coefficient value over time. The specimen covered with a CuMn11Al8Fe3Ni3 bronze coating is characterized by a course similar to a steel specimen (large fluctuation of the friction coefficient) and also its high values – maximum $\mu \approx 0,4$. In the case of a lubricated steel specimen and a specimen covered with a CuAl9Fe3 bronze coating, the friction coefficient is characterized by much lower values (on average $\mu \approx 0,15-0,2$), and its changes in time are less dynamic and have

a smaller range. Thus, it allows to state that the tribological parameters of these two types of couples combine some similarity not only in terms of resistance to sliding and adhesive wear, but also in the wear process itself. In order to better visualize changes of the friction coefficient over time, a trend line designated by the quartic function was added to each of the graphs.

4. Summary and conclusions

The wear of railway buffer heads by flattening them during use is a serious problem both in the operational, economic and safety dimension. As with other components of rail vehicles, it is desirable to use a method that makes it possible to increase their durability, increase reliability, or reduce the need for maintenance work. The proposed new method of protecting buffer heads by creating bronze overlays on their working surface by laser cladding method can be very popular with railway operators, mainly carriers and entities dealing with vehicle maintenance.

On the basis of the conducted tests it was found that this type of overlays may have tribological parameters similar to the currently used graphite grease. Giving up of the currently used method (lubricant) will allow to avoid a number of drawbacks that are associated with its use. Based on the presented research findings, the following conclusions were formulated:

- It is possible to create permanent overlays from CuAl9Fe3 and CuMn11Al8Fe3Ni3 bronzes on the substrate of S355J2 steel by laser cladding method.
- Sliding and adhesive wear measuring on Amsler tribometer is similar for steel specimens lubricated and covered with CuAl9Fe3 bronze coating (average ca. 7,6 mg and 9,4 mg).
- Overlays of CuMn11Al8Fe3Ni3 bronze are characterized by much worse parameters than in the case of CuAl9Fe3 bronze both in the measurement of wear (28.3 mg and 9.4 mg respectively), friction forces (97.63 N and 63.78 N) and the friction coefficient (maximum ca. $\mu \approx 0,4$ and $\mu \approx 0,22$).
- Friction coefficient measured for specimens with CuAl9Fe3 bronze coating
- and lubricated steel specimens is characterized by very similar changes in time and similar values (on average ca. $\mu \approx 0,20$ and $\mu \approx 0,16$).

5. References

1. Aniołek K., Kupka M., Barylski A.: Characteristics of the tribological properties of oxide layers obtained via thermal oxidation on titanium Grade 2, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, Vol. 233/2019, DOI 10.1177/1350650118769116.

2. Barylski A., Aniołek K., Kupka M., Dworak M.: The effect of precipitation hardening on the structure and mechanical and tribological properties of magnesium alloy WE54. *Vacuum*, Vol. 139/2017, DOI 10.1016/j.vacuum.2017.02.015.
3. Devojno O.G., Feldshtein E., Kardapolava M.A., Lutsko N.I.: On the formation features, structure, microhardness and tribological behavior of single tracks and coating layers formed by laser cladding of Al-Fe powder bronze. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 358/2019, DOI 10.1016/j.surfcoat.2018.11.014.
4. EN15551, Railway applications. Railway rolling stock. Buffers.
5. Equey S., Houriet A., Mischler S.: Wear and frictional mechanisms of copper-based bearing alloys. *Wear*, Vol. 273/2011, DOI 10.1016/j.wear.2011.03.030.
6. Gamon W.: Movement analysis of cooperating railway buffer heads. *Archives of Transport*, Vol. 33/2015, DOI 10.5604/08669546.1160922.
7. Morończyk B., Ura-Bińczyk E., Kuroda S., Jaroszewicz J., Molak R.M.: Microstructure and corrosion resistance of warm sprayed titanium coatings with polymer sealing for corrosion protection of AZ91E magnesium alloy. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 363/2019, DOI 10.1016/j.surfcoat.2019.02.023.
8. Sharma V.K., Singh R.C., Chaudhary R.: Experimental Study of Tribological Behavior of Casted Aluminium-Bronze. *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5/2018, DOI 10.1016/j.matpr.2018.10.041.
9. Sitarz M., Kurc-Lisiecka A., Gamon W.: Surface analysis of railway buffers heads covered with bronze using laser cladding. *Archives of Foundry Engineering*, Vol. 17/2017, DOI 10.1515/afe-2017-0057.
10. Tao X.P., Zhang S., Zhang C.H., Wu C.L., Chen J., Abdullah A.O.: Effect of Fe and Ni contents on microstructure and wear resistance of aluminum bronze coatings on 316 stainless steel by laser cladding. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 342/2018, DOI 10.1016/j.surfcoat.2018.02.032.
11. UIC 526-1 Wagons - Buffers with a stroke of 105 mm.
12. Wang A.H., Xie C.S.: Microstructural study of laser-clad Fe-Al bronze on Al-Si alloy. *Journal of Materials Science*, Vol. 36, Iss. 8/2001.
13. Zieja M., Barszcz P.: The method for corrosion prevention and corrosion processes monitoring of structural components in aircrafts. *Journal of KONBiN*, 4(20), 2011, DOI 10.2478/v10040-012-0044-2.

BADANIA ŚCIERALNOŚCI NOWYCH POWŁOK ZABEZPIECZAJĄCYCH NA TARCZACH ZDERZAKÓW KOLEJOWYCH

1. Wprowadzenie

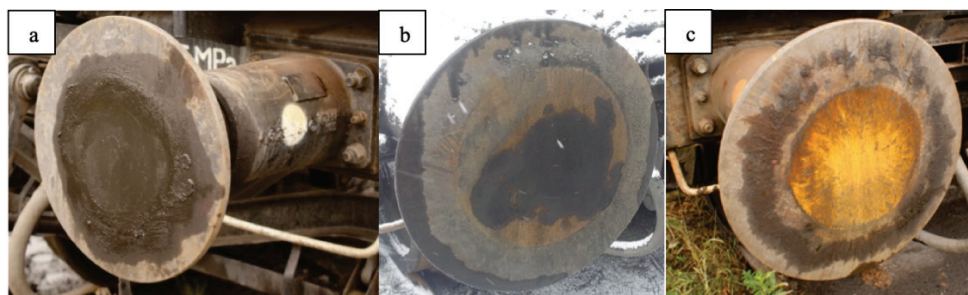
Zużywanie się elementów infrastruktury i środków transportu jest poważnym problemem m.in. z eksploatacyjnego punktu widzenia. Prowadzi do obniżenia poziomu bezpieczeństwa, dostępności, niezawodności oraz do wzrostu kosztów użytkowania i utrzymania. Zużycie to może mieć bardzo różny charakter (np. starzenie, korozja, zużycie adhezyjne, zmęczeniowe itd.), a jego konsekwencje dla eksploatacji obiektów mogą cechować się bardzo istotnym lub mniej znaczącym wpływem. Jednocześnie, na niektóre procesy zużycia zachodzące podczas cyklu życia obiektu eksploatujący mają bardzo ograniczony, wręcz znikomy wpływ (przykładem są tutaj wszelkie procesy starzenia, zależne wyłącznie od czasu), na inne natomiast można często w istotny sposób wpływać, kształtując pożądane parametry według aktualnych potrzeb (np. stosując zabezpieczenia antykorozyjne) [1, 2, 7, 13].

Zjawisko to jest bardzo dobrze widoczne w przypadku transportu kolejowego, gdzie środki transportu oraz infrastruktura transportowa podlegają ciągłym, najróżniejszym procesom zużycia, które w konsekwencji prowadzą do konieczności stosowania prewencyjnych bądź interwencyjnych zabiegów utrzymaniowych. Najpopularniejszym i najbardziej rozpoznawalnym przykładem jest zużywanie się kół kolejowych, które w kontakcie z twardszą główką szyny podlegają nieustannemu zużyciu m.in. ściernemu, tracąc swój normatywny, gwarantujący bezpieczeństwo, profil toczny, pozwalający na właściwe prowadzenie koła po szynie. W związku z tym, koła kolejowe poddawane są okresowym czynnościom reprofilacji, która przywraca normatywny kształt oraz pozwala na dalszą eksploatację koła kolejowego. Oczywiście jest, że podobnego zabiegu nie można przeprowadzać w nieskończoność i po pewnym czasie koło kolejowe (lub sama obręcz) musi zostać poddane wymianie na nowe, z odpowiednim zapasem materiału (wystarczającą średnicą). elektrycznego, zapewnia dostarczanie niezbędnej energii elektrycznej. Podobnie jak w przypadku kół, nakładki ślizgowe pantografów, pozostające w ciągłym kontakcie z przewodem jezdnym w trakcie ruchu pojazdu, podlegają okresowym wymianom, gdy poziom ich zużycia osiągnie wartości graniczne, kwalifikujące do wykluczenia z eksploatacji.

Wraz z rozwojem techniki stosowane są nowe materiały i technologie, cechujące się lepszymi z eksploatacyjnego punktu widzenia właściwościami, pozwalającymi na

zapewnienie dłuższych okresów niezawodnej pracy (przykładem może być tutaj wymiana nakładek ślizgowych odbieraków prądu na kolejach europejskich z miedzianych na grafitowe, które posiadają bardziej korzystne własności m.in. tribologiczne).

Przedstawione przykłady nie są odosobnionymi przypadkami elementów pojazdów kolejowych podlegających zużyciu, a w konsekwencji wymianie na nowe. Bardzo istotnym systemem pojazdu kolejowego, niepoddawany do tej pory wnikliwym badaniom w tym zakresie, jest układ ciągnowo-zderzny, który zapewnia prawidłową współpracę poszczególnych pojazdów w składzie pociągu. Z punktu widzenia bezpieczeństwa bardzo ważnym elementem tego układu jest zderzak kolejowy, a dokładniej jego tarcza, która pozostaje w kontakcie z tarczą sąsiedniego pojazdu, gwarantując odpowiednią dynamikę poruszającego się pociągu, w szczególności podczas pokonywania rozjazdów i łuków torów. W związku z kontaktem tarcz sąsiednich pojazdów oraz ich dużymi masami, tarcze zderzakowe ulegają spłaszczeniu (rys. 1), niwelując normatywną [4, 11] wypukłość, co może doprowadzić nawet do oderwania zderzaka od czołownicy pojazdu.



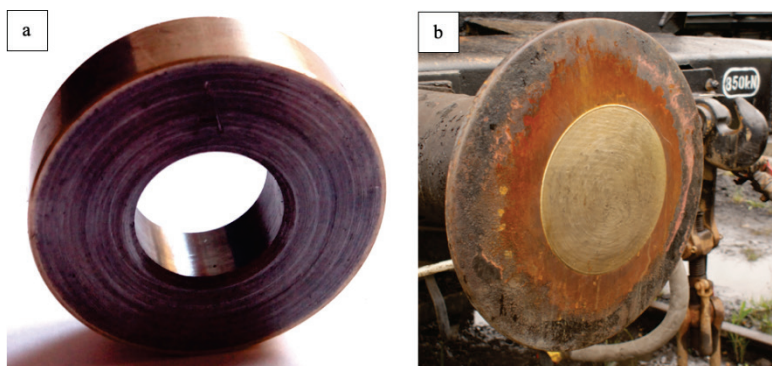
Rys. 1. Tarcze zderzakowe spłaszczone w trakcie eksploatacji

W celu zwiększenia trwałości tarczy zderzakowej oraz jednocześnie umożliwienia rezygnacji z obecnie stosowanej metody jej zabezpieczania (okresowe pokrywanie jej powierzchni roboczej smarem) zaproponowano nową metodę zabezpieczania poprzez wytworzenie trwałej, metalicznej powłoki o korzystnych własnościach tribologicznych.

2. Materiał i metoda badań

Jako materiały o pożądanych właściwościach do zastosowania na powłokę zabezpieczającą tarczę zderzaka kolejowego wybrano brązy wykazujące korzystne własności tribologiczne przy suchych węzłach tarcia, w których występują siły o dużej wartości [5, 8, 10]. Ze względu na konieczność wytworzenia trwałej powłoki, odpornej na obciążenia udarowe oraz silnie związanej z materiałem podłoża, jako metodę służącą jej wytworzeniu wytypowano napawanie laserowe, które pozwala na osiągnięcie pożądanych efektów przy wytwarzaniu napoin, w tym również na osnowie miedzi [3, 12]. Wcześniejsze badania metalograficzne i mechaniczne przeprowadzone do tej pory [9], umożliwiające ocenę

wytworzonych struktur udowodniły, że możliwe jest pomyślne zdeponowanie brązów aluminiowego (CuAl9Fe3) i manganowego (CuMn11Al8Fe3Ni3) na podłożu ze stali S355J2, stosowanej jako materiał, z którego wytwarzane są tarcze zderzaków kolejowych, zarówno w postaci próbek (rys. 2a), jak również na obiekcie rzeczywistym (rys. 2b).



Rys. 2. Powłoki z brązu a) na próbce do badań stanowiskowych zużycia b) na obiekcie rzeczywistym

Po ocenie właściwości strukturalnych uzyskanych napoin [9], w celu oceny ich własności tribologicznych przeprowadzono badania z wykorzystaniem zmodyfikowanego tribometru Amslera. Urządzenie, na którym prowadzono badania, wyposażone zostało w układ sterująco-pomiarowy, który umożliwiał m.in. rejestrację siły tarcia, a tym samym wyznaczenie współczynników tarcia poszczególnych par ciernych. Parametry badań dobrano na podstawie uprzednio przeprowadzonych badań prowadzonych na poruszających się wagonach towarowych [6]. Pozwoliło to na uzyskanie warunków zbliżonych do rzeczywistej eksploatacji tarcz zderzaków kolejowych. Przeciwpróbka w tribometrze została unieruchomiona (w celu zapewnienia 100% tarcia ślizgowego), natomiast prędkość obrotowa próbki wynosiła ok. 10 obr/min, co odpowiadało rzeczywistej prędkości liniowej tarcz zderzakowych względem siebie. Siła dociskająca próbkę do przeciwpróbki wynosiła 350 N, co w przybliżeniu odpowiada rzeczywistym siłom ściskającym działającym na tarcze zderzaków i została wyznaczona na podstawie teorii naprężeń kontaktowych Hertza. Próbki w trakcie badania zużycia ścierno-adhezyjnego wykonywały 200 obrotów, przy czym ważono je co 25 obrotów w celu oceny ich zużycia poprzez pomiar ubytku masy. Badano cztery rodzaje skojarzeń, w każdym przypadku przeciwpróbka wykonana była ze stali S355J2 oraz nie była pokryta jakąkolwiek powłoką i nie była smarowana. Podobnie, w każdym przypadku próbki były wykonane z tego samego rodzaju stali. Badaniom poddano następujące skojarzenia:

- a) próbka stalowa – przeciwpróbka stalowa,
- b) próbka stalowa z powłoką z brązu CuAl9Fe3 – przeciwpróbka stalowa,
- c) próbka stalowa z powłoką z brązu CuMn11Al8Fe3Ni3 – przeciwpróbka stalowa,
- d) próbka stalowa smarowana (smar grafitowany zgodny z ISO 6743-9) – przeciwpróbka stalowa.

3. Wyniki badań oraz ich omówienie

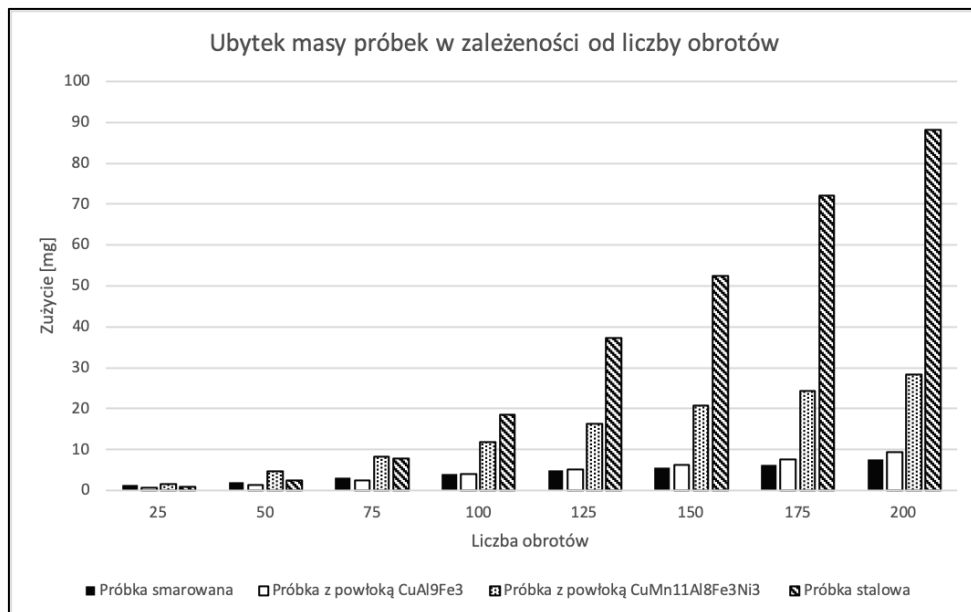
Dla siły o wartości 350 N, dla wszystkich czterech skojarzeń, przeprowadzono cztery serie pomiarowe. W każdym przypadku próbki ważone były co 25 obrotów na wadze laboratoryjnej AND HM-300, w celu określenia ubytku masy wskutek zużycia ściernoadhezyjnego. Dzięki modyfikacji stanowiska pomiarowego dokonano również rejestracji siły tarcia występującej w poszczególnych skojarzeniach w odstępach jednosekundowych, przez cały czas trwania badania. W tab. 1 przedstawiono uśrednione wyniki uzyskanych badań dla wszystkich serii pomiarowych, w zakresie zużycia próbek (ubytek masy) oraz zarejestrowanej, średniej siły tarcia.

Tabela 1

Wyniki pomiarów zużycia próbek oraz siły tarcia

L.p.	Skojarzenie	Liczba obrotów próbki	Średnie zużycie (Z) [mg]	Średnia siła tarcia (\bar{T}) [N]
1	Stal - stal	25	0,8	92,19
2		50	2,4	
3		75	7,9	
4		100	18,5	
5		125	37,4	
6		150	52,5	
7		175	72,0	
8		200	88,2	
9	Stal z powłoką CuAl9Fe3 - stal	25	0,6	63,78
10		50	1,3	
11		75	2,5	
12		100	4,0	
13		125	5,1	
14		150	6,2	
15		175	7,7	
16		200	9,4	
17	Stal z powłoką CuMn11Al8Fe3Ni3 - stal	25	1,7	97,63
18		50	4,7	
19		75	8,3	
20		100	11,7	
21		125	16,3	
22		150	20,9	
23		175	24,4	
24		200	28,3	
25	Stal smarowana - stal	25	1,3	43,41
26		50	2,0	
27		75	3,0	
28		100	4,1	
29		125	4,9	
30		150	5,7	
31		175	6,3	
32		200	7,6	

Na rys. 3 przedstawiono wyniki średniego zużycia próbek, mierzone jako ubytek ich masy co 25 obrotów.

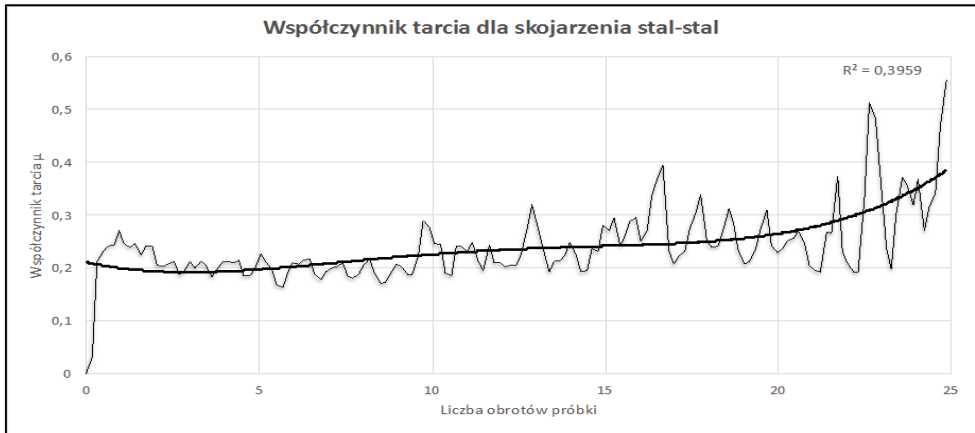


Rys. 3. Wyniki pomiarów zużycia ścierno-adhezyjnego

Z danych przedstawionych w tab. 1 oraz na rys. 3 wynika, że największym średnim zużyciem cechują się próbki stalowe bez smarowania oraz bez powłoki z innego materiału – średnie zużycie po wykonaniu przez próbkę 200 obrotów wyniosło 88,2 mg. Wartość ta jest o rząd wielkości większa niż w przypadku próbek z powłoką z brązu aluminium (CuAl9Fe3) oraz próbek smarowanych (średnio 9,4 mg oraz 7,6 mg), które podczas badania wykazały najmniejsze, bardzo do siebie zbliżone zużycie. W trakcie badania mierzono również siłę tarcia, której wartości średnie przedstawiono w tab. 1. Zaobserwować można zdecydowanie większe wartości średniej siły tarcia dla próbki stalowej oraz z powłoką z brązu manganowego (CuMn11Al8Fe3Ni3) – odpowiednio 92,19 N oraz 97,63 N. Znacznie mniejszymi wartościami sił cechowały się pozostałe dwa typy skojarzeń. Na podstawie uzyskanych wyników można założyć, że możliwe jest zastąpienie obecnie stosowanej metody zabezpieczania tarcz zderzaków kolejowych (polegającej na okresowym pokrywaniu ich smarem) nową, polegającą na wytworzeniu trwałej powłoki z brązu, która pozbawiona jest szeregu wad wynikających ze stosowania smaru.

Dzięki modyfikacji stanowiska pomiarowego, która umożliwiła pomiar siły tarcia, możliwe stało się również wyznaczenie współczynników tarcia poszczególnych skojarzeń. Ze względu na fakt rejestracji danych w odstępach jednosekundowych, a tym samym

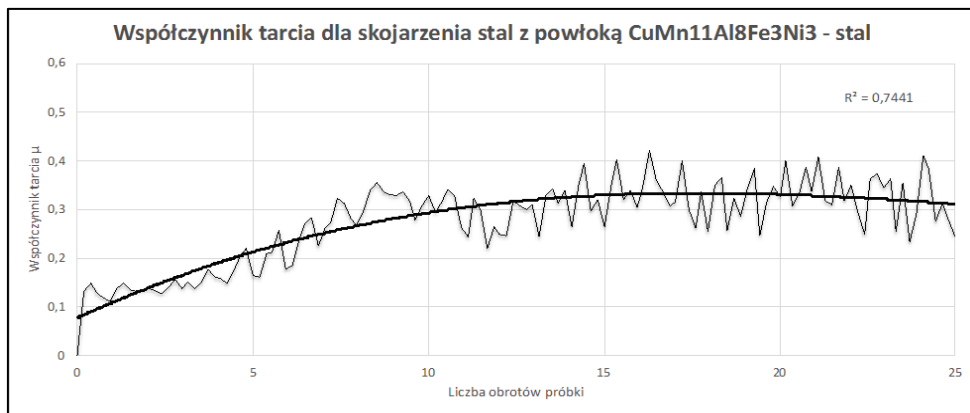
możliwość wyznaczenia współczynnika tarcia z taką właśnie częstotliwością, zbiorów uzyskanych danych charakteryzował się bardzo dużą liczebnością. W związku z tym w celu przedstawienia wyników średnich do analizy wybrano zmierzone wartości współczynnika tarcia uśrednione dla wszystkich serii pomiarowych, obejmujące 25 obrotów próbki w środkowej fazie pomiarów (od 100. do 125. obrotu próbki). Wyniki przeprowadzonej analizy przedstawiono na wykresach – rys. 4–7.



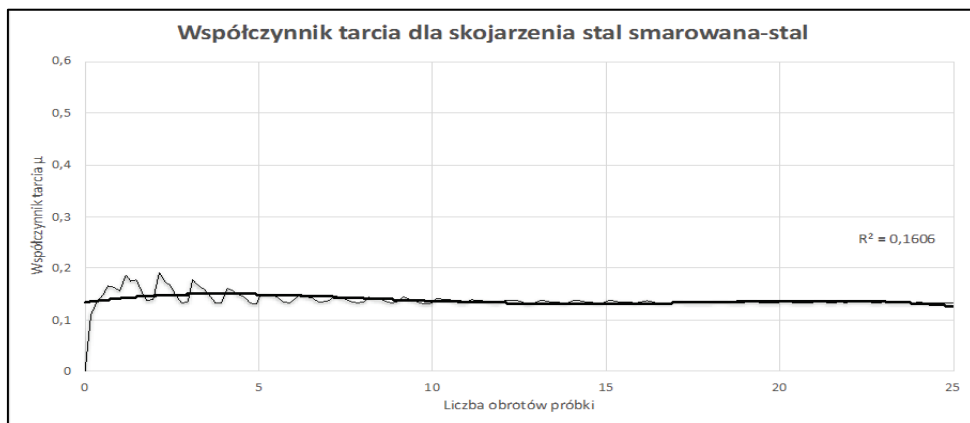
Rys. 4. Wyniki pomiaru współczynnika tarcia skojarzenia stal – stal



Rys. 5. Wyniki pomiaru współczynnika tarcia skojarzenia stal z powłoką z brązu aluminiowego – stal



Rys. 6. Wyniki pomiaru współczynnika tarcia skojarzenia stal z powłoką z brązu manganowego – stal



Rys. 7. Wyniki pomiaru współczynnika tarcza skojarzenia stal smarowana – stal

Na podstawie wykresów współczynnika tarcia w funkcji drogi tarcia (liczba obrotów próbki) zaobserwować można znaczne rozbieżności w jego wartościach oraz przebiegu w zależności od rodzaju badanego skojarzenia. Największe wartości przyjmuje on dla pary ciernej składającej się ze stalowej próbki (bez jakichkolwiek modyfikacji powierzchni) i przeciwpróbki – sięgające nawet $\mu \approx 0,55$. Jednocześnie ten rodzaj skojarzenia charakteryzuje się najbardziej nierównomiernym przebiegiem i dynamicznymi zmianami wartości współczynnika w czasie. Próbka pokryta powłoką z brązu CuMn11Al8Fe3Ni3 charakteryzuje się przebiegiem zbliżonym do próbki stalowej (duże wahania wartości współczynnika tarcia) oraz również wysokimi jego wartościami – maksymalnie $\mu \approx 0,4$. W przypadku próbki stalowej smarowanej oraz próbki pokrytej powłoką z brązu CuAl9Fe3 współczynnik tarcia cechuje się zdecydowanie mniejszymi wartościami (średnio $\mu \approx 0,15-0,2$), a jego zmiany w czasie są mniej dynamiczne i charakteryzują się mniejszym zakresem. Pozwala

to więc na stwierdzenie, że parametry tribologiczne tych dwóch rodzajów skojarzeń łączy pewne podobieństwo nie tylko w zakresie odporności na zużycie ścierno-adhezyjne, ale również w zakresie samego przebiegu procesu zużycia. W celu lepszego zobrazowania zmian współczynnika tarcia w czasie do każdego z wykresów dodano linię trendu wyznaczoną funkcją wielomianu stopnia czwartego.

4. Podsumowanie i wnioski

Zużywanie się tarcz zderzaków kolejowych poprzez ich spłaszczanie w trakcie użytkowania jest poważnym problemem zarówno w wymiarze eksploatacyjnym, ekonomicznym, jak i bezpieczeństwa. Podobnie jak w przypadku innych elementów pojazdów szynowych, pożądane jest zastosowanie metody umożliwiającej zwiększenie ich trwałości, podniesienie niezawodności, czy ograniczenie konieczności prowadzenia prac utrzymaniowych. Zaproponowany sposób zabezpieczania tarcz zderzakowych poprzez wytworzenie napoin z brązu na ich roboczej powierzchni metodą napawania laserowego, może spotkać się z dużym zainteresowaniem operatorów kolejowych, przede wszystkim przewoźników oraz podmiotów zajmujących się utrzymaniem pojazdów.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że napoiny tego typu mogą cechować się parametrami tribologicznymi zbliżonymi do obecnie wykorzystywanego smaru grafitowanego. Umożliwienie rezygnacji z obecnie stosowanej metody (smar) pozwoli na uniknięcie szeregu niedogodności, które wiążą się z jego stosowaniem. Po wykonaniu badań wyciągnięto następujące wnioski:

- Możliwe jest wytworzenie trwałych napoin z brązów CuAl9Fe3 i CuMn11Al8Fe3Ni3 na podłożu ze stali S355J2 metodą napawania laserowego.
- Zużycie ścierno-adhezyjne mierzone na tribometrze Amslera jest zbliżone dla próbek stalowych smarowanych oraz pokrytych powłoką z brązu CuAl9Fe3 (średnio ok. 7,6 mg i 9,4 mg).
- Napoiny z brązu manganowego CuMn11Al8Fe3Ni3 cechują się zdecydowanie gorszymi parametrami niż w przypadku brązu CuAl9Fe3 , zarówno w zakresie pomiaru zużycia (odpowiednio 28,3 mg i 9,4 mg), siły tarcia (97,63 N i 63,78 N), jak i współczynnika tarcia (maksymalnie ok. $\mu \approx 0,4$ i $\mu \approx 0,22$).
- Współczynnik tarcia mierzony dla próbek z powłoką z brązu CuAl9Fe3 oraz próbek stalowych smarowanych cechuje się bardzo podobnymi zamianami w czasie oraz zbliżonymi wartościami (średnio ok. $\mu \approx 0,20$ oraz $\mu \approx 0,16$).

5. Literatura

1. Aniołek K., Kupka M., Barylski A.: Characteristics of the tribological properties of oxide layers obtained via thermal oxidation on titanium Grade 2, Proceedings of the

- Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, Vol. 233/2019, DOI 10.1177/1350650118769116.
2. Barylski A., Aniołek K., Kupka M., Dworak M.: The effect of precipitation hardening on the structure and mechanical and tribological properties of magnesium alloy WE54. *Vacuum*, Vol. 139/2017, DOI 10.1016/j.vacuum.2017.02.015.
 3. Devojno O.G., Feldshtein E., Kardapolava M.A., Lutsko N.I.: On the formation features, structure, microhardness and tribological behavior of single tracks and coating layers formed by laser cladding of Al-Fe powder bronze. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 358/2019, DOI 10.1016/j.surfcoat.2018.11.014.
 4. EN15551, Railway applications. Railway rolling stock. Buffers.
 5. Equey S., Houriet A., Mischler S.: Wear and frictional mechanisms of copper-based bearing alloys. *Wear*, Vol. 273/2011, DOI 10.1016/j.wear.2011.03.030.
 6. Gamon W.: Movement analysis of cooperating railway buffer heads. *Archives of Transport*, Vol. 33/2015, DOI 10.5604/08669546.1160922.
 7. Morończyk B., Ura-Bińczyk E., Kuroda S., Jaroszewicz J., Molak R.M.: Microstructure and corrosion resistance of warm sprayed titanium coatings with polymer sealing for corrosion protection of AZ91E magnesium alloy. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 363/2019, DOI 10.1016/j.surfcoat.2019.02.023.
 8. Sharma V.K., Singh R.C., Chaudhary R.: Experimental Study of Tribological Behavior of Casted Aluminium-Bronze. *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5/2018, DOI 10.1016/j.matpr.2018.10.041.
 9. Sitarz M., Kurc-Lisiecka A., Gamon W.: Surface analysis of railway buffers heads covered with bronze using laser cladding. *Archives of Foundry Engineering*, Vol. 17/2017, DOI 10.1515/afe-2017-0057.
 10. Tao X.P., Zhang S., Zhang C.H., Wu C.L., Chen J., Abdullah A.O.: Effect of Fe and Ni contents on microstructure and wear resistance of aluminum bronze coatings on 316 stainless steel by laser cladding. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 342/2018, DOI 10.1016/j.surfcoat.2018.02.032.
 11. UIC 526-1 Wagons - Buffers with a stroke of 105 mm.
 12. Wang A.H., Xie C.S.: Microstructural study of laser-clad Fe-Al bronze on Al-Si alloy. *Journal of Materials Science*, Vol. 36, Iss. 8/2001.
 13. Zieja M., Barszcz P.: The method for corrosion prevention and corrosion processes monitoring of structural components in aircrafts. *Journal of KONBiN*, 4(20), 2011, DOI 10.2478/v10040-012-0044-2.