

Właściwości warstw ochronnych nanoszonych metodą galwanizacji na styki łączników aparatowych

W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych z wykorzystaniem łączników aparatowych, na styki których naniesiono warstwę ochronną z niklu, złota i srebra. Sformułowano odpowiednie wnioski praktyczne dotyczące nanoszenia warstw ochronnych na styki łączników.

1. WSTĘP

Zjawiska łączeniowe zachodzące na powierzchni styków aparatów łączeniowych w znaczący sposób przyczyniają się do pogarszania ich parametrów eksploatacyjnych. Łuk elektryczny powstający pomiędzy rozchodzącymi się stykami powoduje „wypalanie” się powierzchni stykowości, która z czasem staje się coraz bardziej chropowata, jak również przyczynia się do powstawania warstwy nalotowej.

Jedną z metod poprawy właściwości elektrycznych styków jest pokrycie ich powierzchni metalami charakteryzującymi się większą odpornością na działanie łuku elektrycznego. Zastosowanie ma tutaj między innymi metoda galwanizacji, która została wykorzystana do wykonania warstw ochronnych ze złota i niklu na stykach badanych łączników.

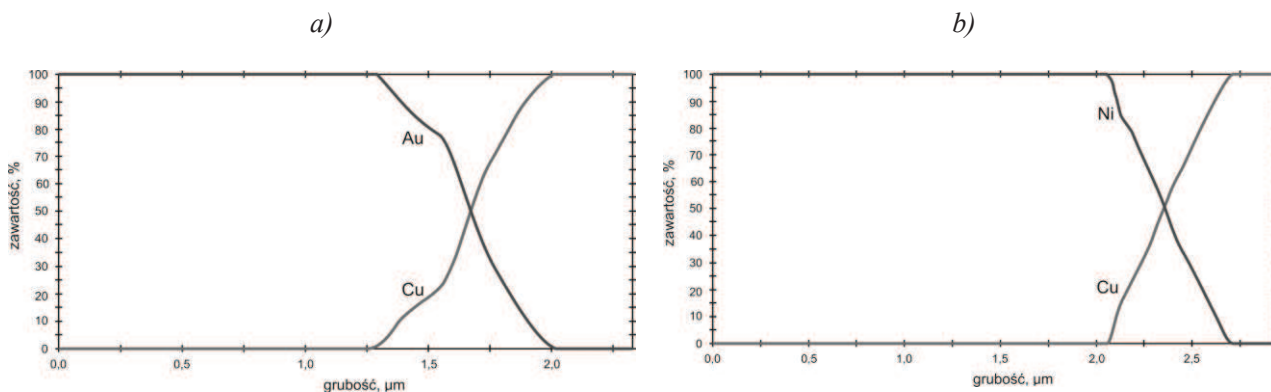
2. OBIEKT I WYNIKI BADAŃ

Do badań wykorzystano łączniki aparatowe typu W10 (rys. 1), przystosowane do pracy w obwodach o prądzie znamionowym $I = 10$ A i napięciu $U = 230$ V, z galwanicznie naniesionymi warstwami ochronnymi ze złota o grubości $1,25$ μm oraz niklu o grubości $2,1$ μm .

Pomiary rozkładu głębokościowego pierwiastków, na podstawie których określono rzeczywistą grubość naniesionej warstwy ochronnej, wykonano za pomocą spektroskopii Auger'a. Przedstawia ona zależność koncentracji jonów pierwiastków stanowiących warstwę ochronną oraz miedzi, jako materiału, z którego wykonano styk, w funkcji głębokości styku (rys. 2).



Rys. 1. Łącznik aparatowy typu W10



Rys. 2. Rozkłady głębokościowe wykonane za pomocą spektroskopii Auger'a na stykach z warstwą ochronną: a) ze złota, b) z niklu

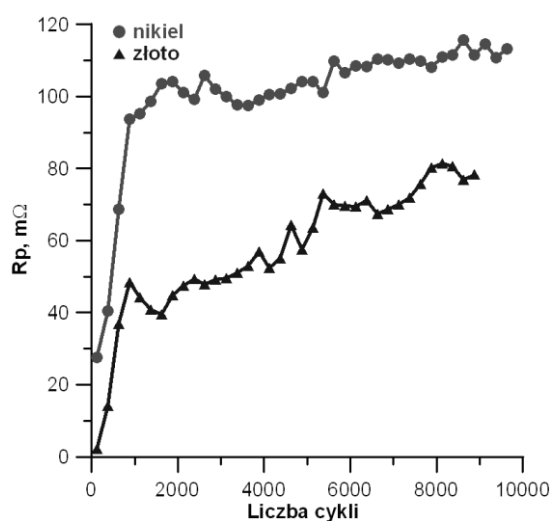
Wykorzystując stanowisko pomiarowe opisane w pracy [1], dokonano w każdym cyklu łączeniowym włącz-wyłącz komputerowej rejestracji wartości spadku napięcia ΔU na zestyku łącznika oraz temperatury T styku nieruchomego.

Na podstawie uzyskanych w ten sposób wyników określono zmiany wartości rezystancji przejścia R_p i temperatury T w każdym cyklu łączeniowym dla całego okresu eksploatacji łącznika oraz wartości średnie dla każdego 250 cykli, co przedstawiono na rysunkach 3 – 6.

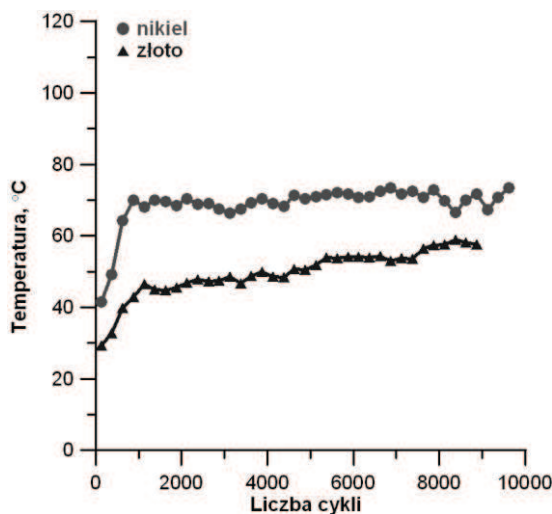
W przypadku łączników, badanych przy wartości natężenia prądu odłączanego wynoszącej $I = 4$ A (rys. 3 i 4), widać znaczącą różnicę w otrzymanych wynikach. Łącznik ze stykami z naniesioną warstwą ochronną z niklu już od pierwszych cykli łączeniowych charakteryzował się większą wartością rezystancji przejścia R_p w porównaniu do łącznika ze stykami z warstwą złota. Ta początkowa różnica może wynikać z grubości warstwy nalotowej, jaka mogła powstać na powierzchni styczności w okresie pomiędzy wyprodukowaniem łącznika a jego użyciem w badaniach. Jednak już po około 1000 cykli łączeniowych widać stabilizację wartości R_p na poziomie $100 \div 110$ m Ω (styki niklowane). Dla styków pozłacanych natomiast następował wzrost R_p do wartości około 80 m Ω w końcowym okresie eksploatacji.

Biorąc pod uwagę temperaturę T styku nieruchomego, już po pierwszych 1000 cyklach łączeniowych widać stabilizację jej wartości – odpowiednio na poziomie 70°C dla niklu i 50°C dla złota.

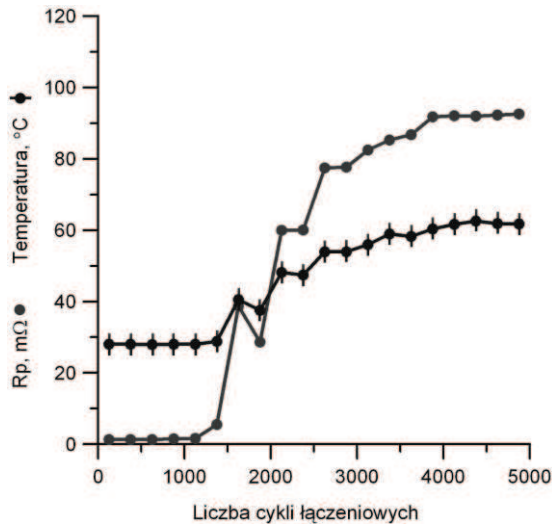
Otrzymane wyniki porównano z badaniami opisanymi w pracy [2]. Zamieszczony na rysunku 5 wykres przedstawia zależność zmian wartości rezystancji przejścia i temperatury dla styku z warstwą ochronną ze srebra. Dla tego przypadku początkowy okres eksploatacji łącznika charakteryzuje się niską wartością R_p na poziomie około 1 m Ω . Długość tego okresu zależy między innymi od grubości naniesionej



Rys. 3. Przebieg zmian rezystancji przejścia R_p w funkcji liczby cykli łączeniowych dla łączników z warstwami ochronnymi ze złota i niklu. Natężenie prądu odłączanego $I = 4$ A



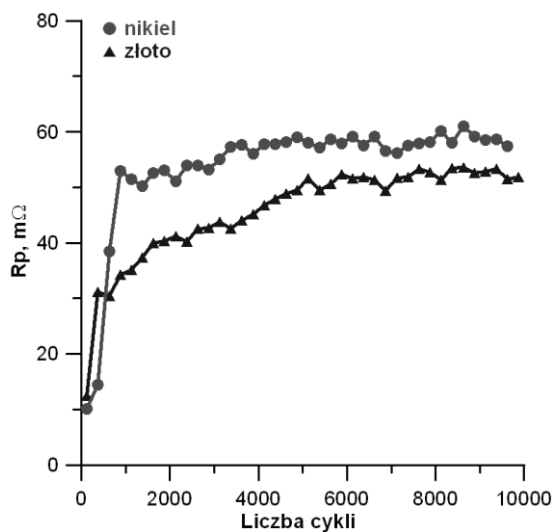
Rys. 4. Przebieg zmian wartości temperatury T w funkcji liczby cykli łączeniowych dla łączników z warstwami ochronnymi ze złota i niklu. Natężenie prądu odłączanego $I = 4$ A



Rys. 5. Przebieg zmian wartości rezystancji przejścia R_p i temperatury T w funkcji liczby cykli łączeniowych dla łącznika z warstwą ochronną ze srebra. Natężenie prądu odłączanego $I = 4$ A, grubość warstwy $5 \mu\text{m}$ [2]

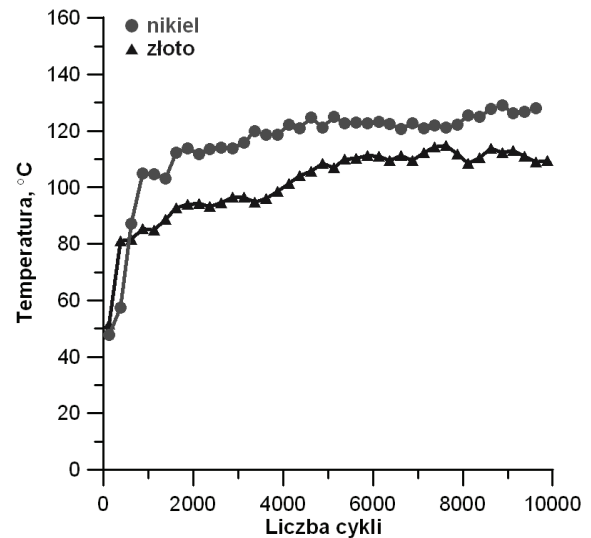
powłoki. Fakt utrzymywania się w przypadku warstwy srebra niskiej wartości rezystancji przejścia w tym okresie wynika z innej podatności tego pierwiastka na utrzymywanie się na nim warstwy nalotowej.

Takie same badania powtórzono dla łączników pracujących w obwodzie, w którym wymuszono prąd o wartości 8 A. Tutaj zarówno dla styków niklowanych jak i pozłacanych łatwo można zauważyć obniżenie się ustalonej wartości rezystancji przejścia R_p odpowiednio do 55 mΩ i 50 mΩ w porównaniu z wynikami otrzymanymi z pomiarów, podczas których przez łączniki przepływał prąd o natężeniu 4 A (rys. 6).



Rys. 6. Przebieg zmian wartości rezystancji przejścia R_p w funkcji liczby cykli łączeniowych dla łączników z warstwami ochronnymi ze złota i niklu. Natężenie prądu odłączanego $I = 8$ A

W przypadku temperatury, z racji większej wartości natężenia prądu odłączanego, a także dłuższego czasu palenia się łuku elektrycznego [3], nastąpiło podwyższenie się jej ustalonej wartości do poziomu 120°C dla łącznika ze stykami z naniesioną warstwą ochronną z niklu i do 105°C dla styków pozłacanych (rys. 7).



Rys. 7. Przebieg zmian wartości temperatury T w funkcji liczby cykli łączeniowych dla łączników z warstwą ochronną naniesioną ze złota i niklu. Wartość prądu odłączanego $I = 8$ A

Dla tak cienkich warstw ochronnych, jak wykonane na stykach badanych łączników, trudno jest zaobserwować wpływ wartości natężenia prądu odłączanego na trwałość tych powłok.

Przedstawione wyniki świadczą, że już po kilkuset pierwszych cyklach łączeniowych, zarówno w obwodzie o natężeniu prądu 4 A jak i 8 A, następuje odparowanie w miejscu zestyku naniesionej powłoki ochronnej. Świadczy to przede wszystkim o konieczności stosowania większych grubości tych powłok.

Niższe wartości rezystancji przejścia R_p łączników pracujących w obwodzie, w którym $I = 8$ A w porównaniu z obwodem, w którym wartość prądu odłączanego wynosiła $I = 4$ A, wynikają z innych warunków palenia się łuku elektrycznego. Łuk ten powoduje odparowywanie warstwy ochronnej i powstawanie półprzewodzącej warstwy nalotowej w jednym cyklu, zwiększając tym samym wartość R_p , a w kolejnym doprowadza do jej przebicia i obniżenia rezystancji przejścia. Jak wynika z przeprowadzonych badań, wartość prądu odłączanego wynosząca $I = 4$ A jest zbyt mała do przebicia określonej grubości warstwy nalotowej, w związku z czym wraz z upływem okresu eksploatacji wartość rezystancji przejścia R_p systematycznie rośnie.

Tabela 1

Procentowa zawartość pierwiastków wchodzących w skład warstwy powierzchniowej styków

	Liczba cykli łączeniowych	Ni [%]	Cu [%]	O [%]	C [%]
Łącznik ze stykami niklowanymi	500	64,02	9,74	8,01	16,95
	1000	58,95	17,86	4,08	18,28
	1500	56,9	23,67	6,5	12,41
	2000	47,18	24,05	8,61	23,98
	5000	42,72	36,74	5,51	8,38
	Liczba cykli łączeniowych	Au [%]	Cu [%]	O [%]	C [%]
Łącznik ze stykami niklowanymi	500	58,71	13,81	6,9	20,58
	1000	51,09	19,29	6,34	23,28
	1500	44,46	28,13	9,54	17,87
	2000	29,84	30,71	6,69	32,75
	5000	19,58	44,33	9,32	26,43

Po wykonaniu zadanej liczby cykli, stosując mikroanalizę rentgenowską [4], określono zawartość pierwiastków wchodzących w skład warstwy powierzchniowej styków badanych łączników. Uzyskane rezultaty zostały przedstawione w tabeli 1.

Taka metoda badań pozwala na określenie stopnia zużycia warstwy ochronnej w dowolnym momencie eksploatacji. Jak widać z wyżej zamieszczonych wyników, w trakcie pracy łącznika następuje stopniowe odparowanie naniesionej powłoki. Jednocześnie w miejscu palenia się łuku odsłonięta zostaje miedź. W ciągu całego okresu eksploatacji następuje systematyczne zmniejszanie się powierzchni pokrytej warstwą ochronną, a zwiększa się obszar odsłoniętej miedzi. Zmienna zawartość tlenu i węgla na powierzchni styczności spowodowana jest ciągłą zmianą grubości warstwy nalotowej, co znajduje również odbicie w przedstawionych na rysunkach 3 - 7 wykresach.

3. PODSUMOWANIE

Nanoszenie warstw ochronnych na powierzchnie styków w aparatach łączeniowych to znana metoda poprawy ich parametrów eksploatacyjnych. Z prze-

prowadzonych badań wynika jednak, że bardzo często takie warstwy nie spełniają swojej roli, ulegając w trakcie eksploatacji zbyt szybkiej degradacji. O właściwym jej doborze świadczy zatem nie tylko materiał, z którego została naniesiona, ale również jej grubość. Dla materiałów badanych w niniejszej pracy (i wartości prądów odłączanych – jak w przeprowadzonych pomiarach), naniesiona grubość warstwy ochronnej okazuje się niewystarczająca, ponieważ poprawia parametry eksploatacyjne użytych łączników jedynie przez krótki okres ich pracy.

Optymalizacja grubości nanoszonych powłok z uwzględnieniem warunków pracy, w jakich znajdzie zastosowanie dany łącznik oraz właściwy wybór materiału, z którego wykonana będzie warstwa ochronna, zapewnią odpowiednie parametry eksploatacyjne przez cały okres użytkowania takiego łącznika.

Literatura

1. *Kolasik M.*: Stanowisko do badania łączników powszechnego użytku. *Pomiary, Automatykacja, Kontrola*, 11 (2007), nr 53, p. 47-49.
2. *Kolasik M.*: Właściwości powłok ochronnych z niklu i srebra. *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, 7/461, Katowice, 2009, p. 117-119.
3. *Żukowski P., Kolasik M., Karwat Cz., Kozak Cz., Luhin V.G.*: Badania szybkości degradacji powłok ochronnych styków łączników prądu przemiennego za pomocą elektronowej mikroskopii skaningowej i mikroanalizy rentgenowskiej. *Przegląd Elektrotechniczny* 2008, nr 3, p. 283-284.

Recenzent: dr inż. Marcin Habrych

PROPERTIES OF ELECTRO-PLATED PROTECTIVE LAYERS APPLIED ON THE CONTACTS OF APPARATUS CONNECTORS

The article features the results of tests conducted with the use of apparatus connectors on whose contacts a protective nickel-gold-silver layer was applied. Suitable practical conclusions were formulated with respect to the application of protective layers on the contacts of apparatus connectors.

ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ, НАНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ ГАЛЬВАНИЗАЦИИ НА КОНТАКТЫ АППАРАТНЫХ РАЗЪЕМОВ

В статье представлены результаты испытаний, проведенных с использованием аппаратных разъемов, на контакты которых нанесен защитный слой из никеля, золота и серебра. Сформулированы соответствующие практические выводы по нанесению защитных слоев на контакты разъемов.