

Bogdan BOGDAŃSKI*, **Ewa KASPRZYCKA****, **Jerzy SMOLIK*****,
Jan TACIKOWSKI*, **Jan SENATORSKI***, **Wiktor GRZELECKI***

WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE POWŁOK ELEKTROLITYCZNYCH ZE STOPÓW NIKLU PO OBRÓBCE CIEPLNEJ

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF NICKEL ELECTROLITYCAL ALLOYS AFTER HEAT TREATMENT

Słowa kluczowe:

stopy niklu, obróbka cieplno-chemiczna, właściwości tribologiczne

Key words:

nickel alloys, thermo-chemical treatment, tribological properties

Streszczenie

W artykule omówiono właściwości tribologiczne (zużycie liniowe) elektrolitycznie nakładanych powłok ze stopów niklu Ni-Mo i Ni-W zawierających pierwiastki węglilotwórcze Mo i W po poddaniu ich obróbce

* Instytut Mechaniki Precyzyjnej, ul. Duchnicka 3, 01-796 Warszawa, tel.: (22) 5602641, fax. (22) 5602922, e-mail: bogdan@imp.edu.pl.

** Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii, 09-400 Płock, ul. Łukasiewicza 17, e-mail: ewa.maria.kasprzycka@neostrada.pl

*** Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, 26-600 Radom, ul. Pułaskiego 6/10, tel. (48) 364-42-41, fax (48) 36-447-65.

cieplnej lub cieplno-chemicznej. Powłoki ze stopów niklu Ni-Mo, Ni-W oraz z niklu Ni, osadzano na powierzchni próbek ze stali C90U i następnie wygrzewano w temperaturze 1125°C przez 8 h, przy obniżonym ciśnieniu 10^{-2} ÷10 Pa. Przeprowadzono również badania warstw typu duplex CrC+(Ni-Mo) oraz CrC+(Ni-W), wytwarzanych w procesie chromowania próżniowego na powierzchni próbek ze stali C90U pokrytych tymi samymi stopami niklu przed chromowaniem. Właściwości tribologiczne warstw określono metodą trzy wałeczki–stożek. Stwierdzono, że uzyskane w wyniku obróbki cieplnej warstwy dyfuzyjne typu Ni-W mają wyższą odporność na zużycie przez tarcie, niż warstwy typu Ni-Mo. Lepszą z kolei odporność niż obie warstwy dyfuzyjne mają warstwy duplex uzyskane przez chromowanie próżniowe stali C90U pokrytej powłokami Ni-W lub Ni-Mo.

WPROWADZENIE

W badaniach nad kształtowaniem budowy warstw duplex typu CrC+(Ni-W) oraz CrC+(Ni-Mo), wytwarzanych w procesie chromowania próżniowego na powierzchni stali narzędziowych pokrytych elektrolitycznie powłokami ze stopów niklu, zawierającymi pierwiastki węglilotwórcze, wolfram lub molibden, istotne znaczenie miało określenie oddziaływania tych powłok ze stalowym podłożem, podczas wygrzewania w warunkach obniżonego ciśnienia [L. 1–3]. Zmiany w układzie powłoka galwaniczna–podłoże stalowe spowodowane były procesami dyfuzyjnymi podczas wygrzewania bądź chromowania próżniowego w wysokich temperaturach. Należy nadmienić, że warstwy duplex typu CrC+(Ni-W) oraz CrC+(Ni-Mo), wytwarzane w procesie chromowania próżniowego na powierzchni stopowych stali narzędziowych do pracy na zimno, pokrytych elektrolitycznie powłokami Ni-W lub Ni-Mo, charakteryzują się bardzo dobrą odpornością na korozję oraz równocześnie dobrymi właściwościami tribologicznymi [L. 4–6].

Przedmiotem badań w niniejszej pracy były właściwości tribologiczne węglowej stali narzędziowej pokrytej elektrolitycznie powłokami ze stopów niklu, Ni-Mo, Ni-W, zawierających pierwiastki węglilotwórcze, Mo i W, poddanej następnie obróbce cieplnej lub cieplno-chemicznej (chromowaniu próżniowemu).

WYTWARZANIE WARSTW

W badaniach zastosowano elektrolitycznie nanoszone powłoki ze stopów niklu Ni-Mo i Ni-W, z pierwiastkami węglilotwórczymi – molibdenem i wolframem, osadzone na próbkach ze stali C90U. Powłoki ze stopów Ni-Mo, Ni-W i Ni osadzano metodą elektrochemiczną z wodnych roztworów, odpowiednio: soli niklu i molibdenu lub niklu i wolframu, z dodatkiem kwasu cytrynowego oraz zasady sodowej, dla regulacji pH kąpeli. Elektrolizę przeprowadzano w temperaturze 60°C, przy jednoczesnym mieszaniu mechanicznym. Powłoki zawierały odpowiednio: 70% Ni+30% Mo oraz 70% Ni+30% W, a ich grubość wynosiła ok. 5 μm . Powłoki ze stopów niklu Ni-Mo i Ni-W, osadzone na próbkach ze stali C90U, wygrzewano, przy obniżonym ciśnieniu $10^{-2}\div 10$ Pa, w temperaturze 1125°C w czasie 8 h, a także wygrzewano przy tych samych parametrach w procesie chromowania próżniowego. Sposób wytwarzania warstw w procesie chromowania próżniowego stanowi przedmiot patentu [L. 7].

METODYKA BADAŃ

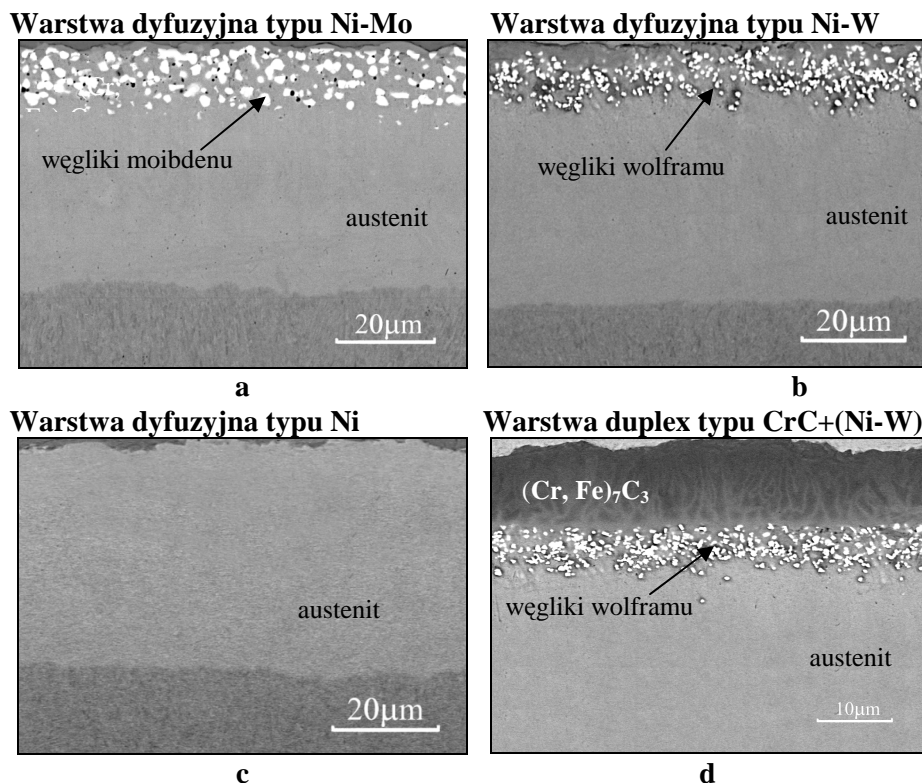
W badaniach budowy warstw posługiwano się metodami: mikroskopii optycznej oraz rentgenowskiej analizy fazowej. Właściwości tribologiczne (zużycie liniowe) warstw dyfuzyjnych były oceniane na podstawie prób tarcia ślizgowego przy styku skoncentrowanym. Badania odporności na zużycie przez tarcie próbek w układzie trzy wałeczki–przeciwpróbka stożkowa przeprowadzono zgodnie z normą PN-83/H-04302 [L. 8]. Pomiarzy zużycia wykonano na maszynie typu I-47-K-54 przy prędkości stożka – $n = 576$ obr/min, naciskach jednostkowych: 50, 100, 300 i 400 MPa dla czasu tarcia 100 min, stosując smarowanie olejem Lux 10 podawanym kroplowo ze stałym wydatkiem 30 kropli/min.

WYNIKI BADAŃ

Budowa warstw

Obrazy skaningowe warstw dyfuzyjnych typu Ni-Mo, typu Ni-W oraz typu Ni, uzyskanych w wyniku wygrzewania stali C90U w temperaturze 1125°C, w czasie 8 h, przy obniżonym ciśnieniu $10^{-2}\div 10$ Pa, pokrytej elektrolitycznymi powłokami ze stopów Ni-Mo, Ni-W oraz z czystego niklu, a także warstw duplex typu CrC+(Ni+W) i uzyskanych w wyniku chromowania próżniowego pokazano na **Rys. 1**.

Podstawowy składnik warstw dyfuzyjnych typu Ni-W, typu Ni-Mo oraz typu Ni, jak wykazała rentgenowska analiza fazowa, stanowi austenit. Jednak różna jest budowa tych warstw oraz ich twardość. Warstwy dyfuzyjne Ni-W oraz Ni-Mo, wytwarzane ze stopów niklu z pierwiastkami węglcotwórczymi, Mo lub W, zawierają rozproszone w austenicie drobne węgliki, odpowiednio molibdenu lub wolframu, widoczne na obrazach skaningowych w postaci białych bardzo drobnych wydzielin, na **Rys. 1a i b**. Warstwy te są twarde (910–950 HV 0,02), podczas gdy warstwy dyfuzyjne otrzymywane z czystego niklu, zawierające wyłącznie austenit (**Rys. 1c**), są miękkie (200 HV 0,02).



Rys. 1. Obrazy skaningowe warstw dyfuzyjnych: a – typu Ni-Mo, b – typu Ni-W, c – typu Ni, d – duplex typu CrC+(Ni-W), na stali C90U

Fig. 1. The SEM images of diffusion layers: a – the Ni-Mo type, b – the Ni-W type, c – the Ni type, d – the CrC+(Ni-W) type duplex layer

Rentgenowska analiza fazowa próbek z warstwami duplex typu CrC+(Ni-Mo) i CrC+(Ni-W), otrzymanymi w procesie chromowania próżniowego na stali C90U pokrytej wcześniej stopami Ni-Mo i Ni-W, wykazała obecność warstwy węgliku chromu typu $(Cr, Fe)_7C_3$ przy powierzchni (**Rys. 1d**). W obszarze pomiędzy węglikiem chromu a podłożem stali stwierdzono obecność fazy austenitycznej z węglikami molibdenu lub wolframu (**Rys. 1d**), widocznymi na obrazach skaningowych w postaci białych drobnych wydzielań.

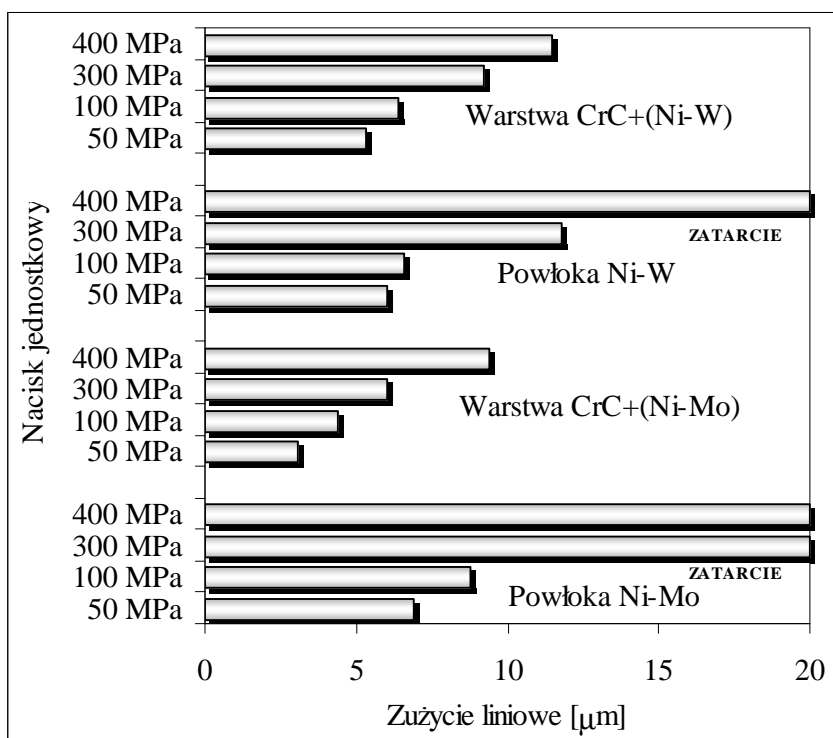
Właściwości tribologiczne warstw

Badania odporności na zużycie przez tarcie przeprowadzono dla następujących rodzajów próbek z:

- warstwami dyfuzyjnymi typu Ni-Mo, wytworzonymi przez wygrzewanie stali C90U z osadzoną powłoką ze stopu Ni-Mo,
- warstwami dyfuzyjnymi typu Ni-W, wytworzonymi przez wygrzewanie stali C90U z osadzoną powłoką ze stopu Ni-W,
- warstwami duplex typu CrC+(Ni-Mo), wytworzonymi w procesie chromowania na powierzchni stali C90U pokrytej stopem Ni-Mo,
- warstwami duplex typu CrC+(Ni-W), wytworzonymi w procesie chromowania na powierzchni stali C90U pokrytej stopem Ni-W.

Próbek z warstwami typu Ni (austenitycznymi) nie poddano badaniom z uwagi na ich niską twardość. Zużycie liniowe próbek z warstwami typu Ni-W, Ni-Mo oraz typu CrC+(Ni-W) i CrC+(Ni-Mo) dla różnych nacisków jednostkowych oraz czasu tarcia 100 min pokazano na **Rys. 2**.

Badania wykazały, że warstwy dyfuzyjne Ni-W i Ni-Mo, otrzymane przez wygrzewanie elektrolitycznych powłok, wykazują dobrą odporność na zużycie przez tarcie dla nacisków jednostkowych 50 i 100 MPa. Warstwa dyfuzyjna Ni-W wykazała dobrą odporność na zużycie przez tarcie nawet przy nacisku jednostkowym 300 MPa. Przy wyższych naciskach (400 MPa) zaobserwowano zatarcie warstw. Chromowanie próżniowe stali C90U, pokrytej stopami niklu z pierwiastkami węglotwórczymi, wolframem lub molibdenem, w wyniku którego otrzymuje się warstwy duplex typu CrC+(Ni-W) i CrC+(Ni-Mo), powoduje podwyższenie właściwości tribologicznych w porównaniu z warstwami dyfuzyjnymi Ni-W i Ni-Mo. Warstwy duplex typu CrC+(Ni-W) i CrC+(Ni-Mo), mają dobrą odporność na zużycie przez tarcie również przy nacisku jednostkowym 400 MPa.



Rys. 2. Zużycie liniowe próbek ze stali C90U z warstwami dyfuzyjnymi typu Ni-W i Ni-Mo oraz z warstwami duplex typu CrC+(Ni-W) i CrC+(Ni-Mo), przy różnych naciskach jednostkowych

Fig. 2. Linear wear of the C90U steel samples with diffusion layers, the Ni-W type and the Ni-Mo, and with duplex layers of the CrC+(Ni-W) type and the CrC+(Ni-Mo) type, vs. units pressure

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania dotyczyły określenia właściwości tribologicznych (zużycia liniowego) elektrolitycznie nakładanych powłok ze stopów niklu, Ni-Mo i Ni-W, zawierających pierwiastki węglotwórcze, Mo i W, po poddaniu ich obróbce cieplnej lub cieplno-chemicznej. Powłoki ze stopów niklu Ni-Mo, Ni-W oraz z niklu Ni osadzano na powierzchni próbek ze stali C90U i następnie wygrzewano w temperaturze 1125°C przez 8 h, przy obniżonym ciśnieniu 10^{-2} ÷10 Pa. Przeprowadzono również badania warstw typu duplex CrC+(Ni-Mo) oraz CrC+(Ni-W), wytwarzanych w procesie chromowania próżniowego na powierzchni pró-

bek ze stali C90U pokrytych tymi samymi stopami niklu przed chromowaniem. Wykazano, że mimo iż podstawowy składnik warstw dyfuzyjnych typu Ni-W, typu Ni-Mo oraz typu Ni, stanowi austenit, to różna jest ich budowa oraz twardość. Warstwy dyfuzyjne Ni-W oraz Ni-Mo, wytwarzane ze stopów niklu z pierwiastkami węglilotwórczymi, Mo lub W, są twarde (910–950 HV 0,02), gdyż zawierają rozproszone w austenicie drobne węgliki, odpowiednio molibdenu lub wolframu. Natomiast warstwy dyfuzyjne otrzymywane z czystego niklu, zawierające wyłącznie austenit, są miękkie (200 HV 0,02). Warstwy duplex typu CrC+(Ni-Mo) i CrC+(Ni-W), otrzymywane w procesie chromowania próżniowego na stali C90U pokrytej wcześniej stopami Ni-Mo i Ni-W, zbudowane są z węglików chromu typu $(Cr, Fe)_7C_3$ przy powierzchni oraz fazy austenitycznej wraz z rozproszonymi, drobnymi węglnikami molibdenu lub wolframu w obszarze pomiędzy węglikiem chromu a podłożem stali.

Badania właściwości tribologicznych wykazały, że warstwy dyfuzyjne Ni-W i Ni-Mo, otrzymywane przez wygrzewanie powłok ze stopów niklu, wykazują dobrą odporność na zużycie przez tarcie dla nacisków jednostkowych 50 i 100 MPa. Warstwa dyfuzyjna Ni-W ma dobrą odporność na zużycie przez tarcie nawet przy nacisku jednostkowym 300 MPa. Przy wyższych naciskach (400 MPa) obie warstwy ulegały zatarciu. Chromowanie próżniowe stali C90U, pokrytej stopami niklu, Ni-W lub Ni-Mo, w wyniku którego otrzymywano warstwy duplex typu CrC+(Ni-W) i CrC+(Ni-Mo), powodowało podwyższenie właściwości tribologicznych, w porównaniu z warstwami dyfuzyjnymi Ni-W i Ni-Mo. Warstwy duplex typu CrC+(Ni-W) i CrC+(Ni-Mo) miały dobrą odporność na zużycie przez tarcie również przy nacisku jednostkowym 400 MPa.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonana w ramach Programu Wieloletniego nr PW-004/ITE/04/2004 pn. „Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004–2008”.

LITERATURA

1. Bogdański B.: Kształtowanie struktury warstwy węglkowej w procesie chromowania próżniowego wybranych gatunków stali pokrytych elektrolitycznie stopami niklu. Rozprawa Doktorska, Warszawa, IMP (2010).
2. Bogdański B., Kasprzycka E., Tacikowski J., Senatorski J., Koprowski M.: Warstwy węglkowe wytwarzane w procesie chromowania próżniowego na powierzchni stali pokrytej stopami niklu z pierwiastkami węglkotwórczymi. Tribologia nr 4 (2010) 23–31.
3. Kasprzycka E., Bogdański B., Senatorski J., Tacikowski J.: Właściwości warstw duplex typu CrC+(Ni-W), wytwarzanych w procesie chromowania próżniowego połączonym z obróbką galwaniczną. Inżynieria Powierzchni nr 2 (2010) 74–77.
4. Kasprzycka E., Senatorski J., Bogdański B.: Tribological Properties of Duplex Layers Produced in Vacuum Chromizing Process Together with Galvanic Treatment. 5th International Conference on Tribology, 20–22 September 2006, Parma, Italy.
5. Bogdański B., Kasprzycka E.: Multifunkcjonalne warstwy węglkowe typu CrC+(Ni-Mo) wytwarzane w procesie chromowania próżniowego. Inżynieria Materiałowa nr 6 /166 (2008) 819–822.
6. Kasprzycka E., Bogdański B., Senatorski J., Tacikowski J.: Właściwości warstw duplex typu CrC+(Ni-W), wytwarzanych w procesie chromowania próżniowego połączonym z obróbką galwaniczną. Inżynieria Powierzchni nr 2 (2010) 74–77.
7. Kasprzycka E., Tacikowski J. i inni: Sposób chromowania próżniowego stali. Patent RP nr 159 324, Warszawa (1993).
8. PN-83/H-04302 Próba tarcia w układzie: 3 wałeczki-stożek, Warszawa (1983).

Recenzent:

Tadeusz BURAKOWSKI

Summary

This paper describes the tribological properties (linear wear) of the electrolytic coatings containing nickel alloys, Ni-Mo and Ni-W, which contain carbides forming elements. These coatings were also subjected to heat treatment and thermo-chemical treatment. Coatings made of nickel alloys Ni-Mo, Ni-W and of nickel Ni, were deposited on the surface of samples from C90U steel and heated to a

temperature 1125°C for 8 h, under lowered pressure 10^{-2} -10 Pa. The research also included examinations of duplex layers, CrC+(Ni-Mo) and CrC+(Ni-W), manufactured in the process of vacuum chromizing on the surface of specimens from C90U steel, which were coated with the same nickel alloys before chromizing. Tribological properties of layers were determined with the 3 roller-cone method. Test indicated that diffusion layers Ni-W, obtained during the heat treatment, have higher wear resistance than layers Ni-Mo. However, duplex layers, obtained during the vacuum chromizing of C90U steel coated with Ni-W or Ni-Mo coatings, have higher wear resistance than both other layers.

