

Ewa KASPRZYCKA<sup>\*,\*\*</sup>, Mariusz KOPROWSKI<sup>\*\*\*</sup>,  
Jerzy BIELANIK<sup>\*</sup>, Sławomir PILARCZYK<sup>\*</sup>,  
Bogdan BOGDAŃSKI<sup>\*\*</sup>, Iwona BAUER<sup>\*\*\*\*</sup>

**WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE WARSTW  
HYBRYDOWYCH TYPU CRC+CRN  
WYTWARZANYCH PRZEZ POŁĄCZENIE PROCESU  
CHROMOWANIA PRÓŻNIOWEGO  
Z OBRÓBKĄ PVD**

**TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF CRC+CRN TYPE  
HYBRID LAYERS PRODUCED IN COMBINED VACUUM  
CHROMIZING PROCESS AND PVD TREATMENT**

**Słowa kluczowe:**

chromowanie dyfuzyjne, obróbka PVD, właściwości tribologiczne

**Key words:**

diffusion chromizing, PVD treatment, tribological properties

---

\* Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii, 09-400 Płock, ul. Łukasiewicza 17; Instytut Mechaniki Precyzyjnej, ul. Duchnicka 3, 01-796 Warszawa, tel.: (22) 5602911, fax (22) 663 43 32, e-mail: kasp@imp.edu.pl.

\*\* Instytut Mechaniki Precyzyjnej, ul. Duchnicka 3, 01-796 Warszawa.

\*\*\* Politechnika Warszawska, Studia Doktoranckie na Wydziale BMiP w Płocku, 09-400 Płock, ul. Łukasiewicza 17, e-mail: koprowskim@vp.pl

\*\*\*\* Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Wydział Nauk Technicznych, Olsztyn.

## Streszczenie

W pracy omówiono wyniki badań dotyczących właściwości tribologicznych warstw hybrydowych typu CrC+CrN wytwarzanych na powierzchni stali narzędziowej X210Cr12 w procesach chromowania próżniowego połączonych z obróbką PVD, wykonywaną metodą łukowo-próżniową.

Przeprowadzono porównanie warstw hybrydowych typu CrC+CrN z pojedynczymi warstwami węglkowymi typu CrC, wytwarzanymi na powierzchni stali, bez powłoki CrN. Właściwości tribologiczne (zużycie liniowe) otrzymanych warstw oceniano z wykorzystaniem metody trzy wałeczki–stożek. Wykazano, że odporność na zużycie przez tarcie warstw hybrydowych typu CrC+CrN jest ponad dwa razy większa od odporności pojedynczych warstw węglkowych typu CrC.

## WPROWADZENIE

Rozwijającym się kierunkiem badań, wg najnowszych danych literaturowych [L. 1–7], jest m.in. łączenie obróbki cieplno-chemicznej z obróbką PVD. Właściwości warstw otrzymywanych w procesach hybrydowych zależą w sposób istotny od synergicznego efektu wynikającego z połączenia dwóch pojedynczych procesów, przy czym uzyskane tą drogą właściwości są nieosiągalne w przypadku pojedynczego procesu [L. 1, 2]. Przykład stanowią mogą warstwy hybrydowe typu warstwa azotowana/powłoka CrN, o unikatowych właściwościach eksploatacyjnych, otrzymywane w kolejnych procesach: azotowania gazowego połączonego z następną obróbką – osadzaniem powłoki z azotku chromu metodą łukowo-próżniową PVD [L. 3–6]. Warstwy te, charakteryzujące się m.in. wysoką odpornością na zużycie przez tarcie oraz odpornością na duże obciążenia mechaniczne i udary cieplne, znalazły zastosowanie w przemyśle dla zwiększania trwałości eksploatacyjnej matryc kuźniczych wykonywanych ze stali do pracy na gorąco. Brak jest natomiast publikacji, poza kilkoma wzmiankami, na temat możliwości łączenia procesów chromowania dyfuzyjnego z dalszą obróbką PVD [L. 6, 7].

Badania przeprowadzone w niniejszej pracy dotyczą właściwości tribologicznych (zużycia liniowego) warstw hybrydowych typu CrC+CrN, wytwarzanych na powierzchni stali w kolejnych procesach, chromowania próżniowego połączonego z następną obróbką PVD, wykonywaną dla osadzenia powłok CrN. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że

procesy chromowania próżniowego oraz procesy PVD zaliczają się do technologii wysoko zaawansowanych i czystych ekologicznie.

## WYTWARZANIE WARSTW

Warstwy węglkowe typu CrC wytwarzano w procesie chromowania próżniowego na próbkach ze stali X210Cr12. Sposób wytwarzania warstw dyfuzyjnych w procesie chromowania próżniowego stanowi przedmiot patentu [L. 8]. Po procesie chromowania stosowano obróbkę cieplną (hartowanie i odpuszczanie).

Warstwy hybrydowe typu CrC+CrN wytwarzano w kolejnych procesach chromowania próżniowego połączonego z następną obróbką PVD, wykonywaną metodą łukowo-próżniową dla osadzenia powłok z azotku chromu CrN.

Procesy chromowania próżniowego przeprowadzono w Instytucie Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie, zaś obróbka PVD wykonana była w Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu [L. 9].

## METODYKA BADAŃ

W badaniach budowy warstw posługiwano się metodami: mikroskopii optycznej oraz rentgenowskiej analizy fazowej.

Właściwości tribologiczne (zużycie liniowe) warstw były oceniane na podstawie prób tarcia ślizgowego przy styku skoncentrowanym [L. 10]. Badania odporności na zużycie przez tarcie próbek z warstwami przeprowadzono metodą trzy wałeczki–stożek, na maszynie typu I-47-K-54, zgodnie z normą PN-83/H-04302 [11]. Pomiary zużycia liniowego próbek w układzie: trzy wałeczki–przeciwpróbka stożkowa prowadzono przy prędkości stożka  $n = 576$  obr./min oraz naciskach jednostkowych: 50, 100, 300 i 400 MPa dla czasu tarcia 100 min oraz smarowaniu olejem Lux 10 podawanym kroplowo ze stałym wydatkiem 30 kropli/min.

## WYNIKI BADAŃ

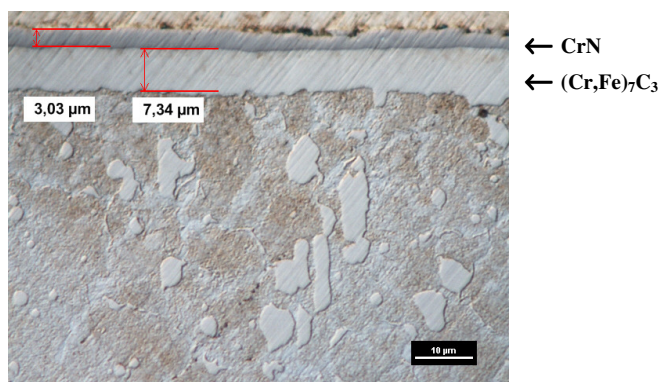
### Budowa warstw

Rentgenowska analiza fazowa chromowanych próbek ze stali X210Cr12 z warstwami węglkowymi typu CrC wykazała obecność węglka  $(Cr, Fe)_7C_3$ . Obserwacje mikrostruktury warstwy węglkowej typu CrC na zgładach metalograficznych trawionych nitałem ujawniły obecność

białej, trudnej do wytrawienia warstwy, oddzielonej wyraźną granicą od podłoża. Grubość warstwy wynosiła 7  $\mu\text{m}$ ,

Mikrostrukturę próbki z warstwą hybrydową typu CrC+CrN, ujawnioną na szlifach metalograficznych trawionych nitałem, pokazano na **Rys. 1**. Rentgenowska analiza fazowa powierzchni próbek ze stali X210Cr12 z warstwami hybrydowymi typu CrC+CrN wykazała obecność węgliku chromu typu  $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$  oraz azotku chromu CrN.

Obserwacje mikrostruktury próbki z warstwą hybrydową typu CrC+CrN ujawniły obecność dwóch stref: powłoki z azotku chromu o grubości ok. 3  $\mu\text{m}$  w obszarze przylegającym do powierzchni warstwy oraz węgliku chromu o grubości ok. 7  $\mu\text{m}$  w obszarze pomiędzy powłoką CrN a podłożem stali (**Rys. 1**). Całkowita grubość warstwy hybrydowej typu CrC+CrN wynosiła ok. 10  $\mu\text{m}$ .



**Rys. 1.** Mikrostruktura stali X210Cr12 z warstwą hybrydową typu CrC+CrN.  
Traw. 2%  $\text{HNO}_3$

Fig. 1. Microstructure of X210Cr12 steel with CrC+CrN type hybrid layer. Etched with 2%  $\text{HNO}_3$

### Właściwości tribologiczne warstw

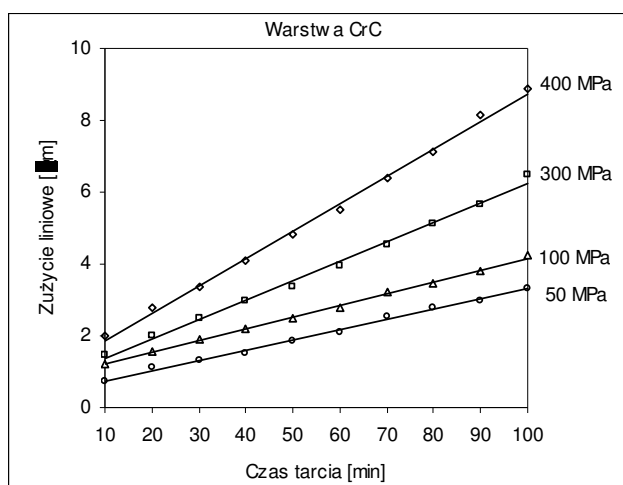
Badania odporności na zużycie przez tarcie metodą trzy waleczki–stożek przeprowadzono dla próbek ze stali X210Cr12 z warstwami:

- węglkową typu CrC, wytworzoną na powierzchni stali w procesie chromowania próżniowego,
- hybrydową typu CrC+CrN, wytworzoną w dwóch procesach: chromowanie próżniowe + osadzanie powłoki CrN metodą łukowo-próżniową PVD.

Dla porównania wyznaczono odporność na zużycie przez tarcie dla próbek ze stali X210Cr12, bez warstwy, poddanych tylko utwardzaniu cieplnemu.

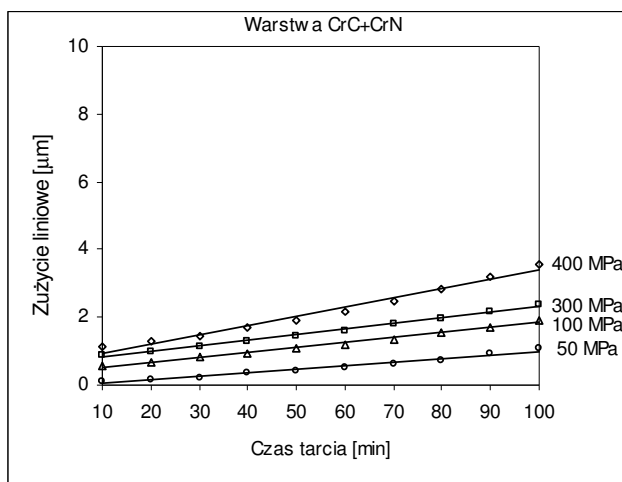
Charakterystyki tribologiczne próbek z warstwami, węglkowymi typu CrC oraz hybrydowymi typu CrC+CrN pokazano na **Rysunkach 2 i 3**.

Zużycie liniowe próbek ze stali X210Cr12 z warstwami hybrydowymi CrC+CrN, węglkowymi CrC oraz próbek bez warstwy dla różnych nacisków jednostkowych (50, 100, 300 i 400 MPa) oraz dla czasu tarcia 100 min pokazano na **Rys. 4**. Porównanie zużycia liniowego chromowanych próbek z warstwami węglkowymi typu CrC oraz próbek bez warstwy, poddanych obróbce cieplnej, wykazało prawie dwukrotny wzrost odporności na zużycie przez tarcie tych próbek po procesie chromowania próżniowego (**Rys. 4**). Kolejna obróbka – osadzanie azotku chromu CrN metodą PVD, przeprowadzona po procesie chromowania próżniowego, powoduje ponaddwukrotny wzrost odporności na zużycie przez tarcie wskutek wytworzenia warstwy hybrydowej typu CrC+CrN, np. zużycie liniowe próbek z warstwami węglkowymi CrC przy nacisku jednostkowym 400 MPa dla czasu tarcia 100 min wynosi 8,9  $\mu\text{m}$ , podczas gdy dla próbek z warstwami hybrydowymi CrC+CrN wartość ta jest równa zaledwie 3,6  $\mu\text{m}$ .



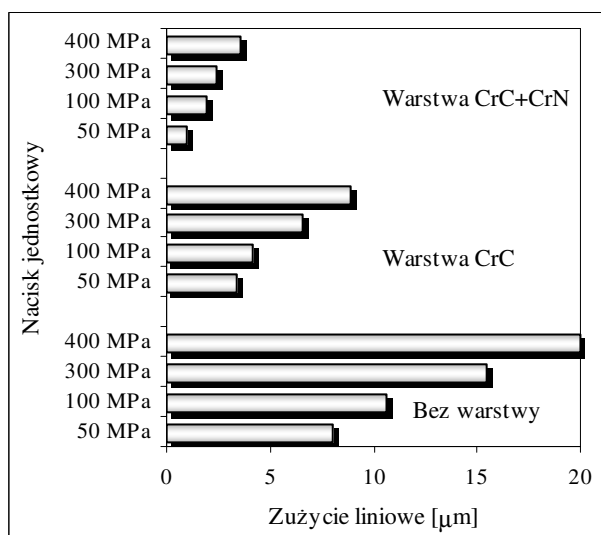
**Rys. 2. Zużycie liniowe próbek ze stali X210Cr12 z warstwami węglkowymi typu CrC, w zależności od czasu tarcia dla różnych nacisków jednostkowych**

Fig. 2. Linear wear of the X210Cr12 steel samples with the CrC type carbide layers vs. friction time and units pressure



**Rys. 3. Zużycie liniowe próbek ze stali X210Cr12 z warstwami hybrydowymi typu CrC+CrN, w zależności od czasu tarcia dla różnych nacisków jednostkowych**

Fig. 3. Linear wear of the X210Cr12 steel samples with the CrC+CrN type hybrid layers vs. friction time and units pressure



**Rys. 4. Zużycie liniowe próbek ze stali X210Cr12 z warstwami hybrydowymi typu CrC+CrN i z warstwami węglowymi typu CrC oraz próbek bez warstw, tylko po obróbce cieplnej, w zależności od czasu tarcia dla różnych nacisków jednostkowych**

Fig. 4. Linear wear of the X210Cr12 steel samples with the CrC+CrN type hybrid layers and the CrC type carbide layers and hardened samples without any layers, vs. friction time and units pressure

## PODSUMOWANIE

W przeprowadzonych badaniach skoncentrowano się na modyfikacji budowy węglikowych warstw chromowanych (warstwy typu CrC), realizowanej poprzez połączenie procesu chromowania próżniowego z obróbką PVD dla polepszenia odporności na zużycie przez tarcie. Chromowanie próżniowe stali narzędziowej X210Cr12 umożliwiło wytworzenie warstw zbudowanych z węgla chromu  $(Cr, Fe)_7C_3$ .

Warstwy hybrydowe typu CrC+CrN, wytworzone poprzez osadzanie metodą łukowo-próżniową powłoki CrN na powierzchni węgla chromu, zbudowane były z dwóch stref: pierwszej, licząc od powierzchni warstwy, zawierającej azotek chromu CrN oraz drugiej znajdującej się w obszarze pomiędzy powłoką CrN a podłożem stali, zawierającej węgiel chromu typu  $(Cr, Fe)_7C_3$  (**Rys. 1**).

Badania właściwości tribologicznych (zużycia liniowego) wykazały prawie dwukrotne zwiększenie się odporności na zużycie przez tarcie próbek ze stali X210Cr12 w wyniku wytworzenia na powierzchni stali warstw węglikowych typu CrC (**Rys. 4**). Warstwy hybrydowe typu CrC+CrN wykazywały z kolei ponaddwukrotnie większą odporność na zużycie przez tarcie w porównaniu z pojedynczymi warstwami węglikowymi typu CrC, co świadczy o ich bardzo dobrych właściwościach tribologicznych.

*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. Burakowski T.: Rozważania o synergizmie w inżynierii powierzchni. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2004.
2. Mazurkiewicz A., Smolik J.: Advanced technologies of surface engineering, Technological Innovations for Sustainable Development edited by A. Mazurkiewicz, 2009, p. 121–140.
3. Smolik J.: Rola warstw hybrydowych typu warstwa azotowana/powłoka PVD w procesie zwiększania trwałości matryc kuźniczych. Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom 2007.

4. Smolik J.: Hybrid Technology for improving durability of forging dies, Technological Innovations for Sustainable Development edited by A. Mazurkiewicz, 2009, p. 111–153.
5. Ratajski J., Olik R., Warcholiński B., Gilewicz A., Michalski J., Kwiatkowski J., Szparaga Ł.: Przeciwwzyciowa, dwustopniowa obróbka powierzchniowa narzędzi stosowanych w przemyśle drzewnym. Inżynieria Materiałowa nr 4 (2010), s. 1177–1182.
6. Kasprzycka E.: Wybrane technologie w inżynierii powierzchni, [w:] Inżyniera materiałów konstrukcyjnych, Wyd. PW, Płock 2008, s. 101–126.
7. Kasprzycka E., Smolik J., Senatorski J., Tacikowski J. Bogdański B., Korprowski M.: Właściwości tribologiczne warstw hybrydowych typu CrC+(Ni-Mo)+CrN. Tribologia nr 3/231 (2010), s. 95–103.
8. Kasprzycka E., Tacikowski J. i inni: Sposób chromowania próżniowego stali. Patent RP nr 159 324, Warszawa 1993.
9. Kasprzycka E., Smolik J., Bogdański B.: Opracowanie podstaw technologii wytwarzania multifunkcyjnych warstw dyfuzyjnych na bazie chromu i tytanu o zwiększonych właściwościach użytkowych, Sprawozdanie. Projekt badawczy: PW-004/ITE/04/2004. Warszawa 2008.
10. Senatorski J.: Podnoszenie tribologicznych właściwości materiałów przez obróbkę cieplną i powierzchniową. Wyd. IMP. Seria: Monografie IMP, Warszawa 2003.
11. PN-83/H-04302 Próba tarcia w układzie: 3 wałeczki-stożek, Warszawa 1983.

**Recenzent:**

**Jan SENATORSKI**

## Summary

**Tribological properties of the CrC+CrN type hybrid layers, produced on X210Cr12 steel in vacuum chromizing process combined with arc evaporation PVD treatment, have been investigated. A comparison of the CrC+CrN type hybrid layers with the CrC single carbide layers, produced on steel surface without CrN coating, has been performed. Tribological properties of the layers were performed by means of taper-three rolls test. It has been proved, that the wear resistance by friction of hybrid CrC+CrN type layers is above two times higher, than that for the single CrC carbide layers.**