

Właściwości powłok TiCN wytwarzanych techniką PVD

Monika Madej, Dariusz Ozimina, Joanna Kowalczyk, Katarzyna Pawelec *

W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości powłok węglikoazotku tytanu TiCN uzyskanych w procesie fizycznego osadzania z fazy gazowej (PVD) na stali narzędziowej HS6-5-2C. Badania tribologiczne wykonano na tribometrze Anton Paar pracującym w skojarzeniu kula-tarcza w ruchu ślizgowym. Analizę struktury geometrycznej powierzchni próbek przed i po testach tribologicznych wykonano profilometrem optycznym Talysurf CCI Lite.

Badania wykazały, że powłoka dobrze spełnia swoje funkcje przecizyciowe. Jej obecność wpłynęła na zmniejszenie oporów ruchu – podczas testów uzyskano mniejszy współczynnik tarcia niż dla podłoża bez pokrycia.

Wprowadzenie

Narzędzia skrawające to reprezentatywny przykład elementów maszyn pracujących w trudnych warunkach. Ich ostrza pracują przy dużych naciskach i w wysokich temperaturach, dlatego też intensywność procesu ich zużywania jest duża. Proces zużywania prowadzi do zmian struktury i właściwości powierzchni. W celu ograniczenia tych niekorzystnych zmian, ostrza narzędzi składanych wykonuje się z twardych materiałów, np. węglików spiekanych, cermetali, ceramiki technicznej. Dodatkowo, coraz częściej pokrywa się je powłokami – rys. 1. Takie działania przyczyniają się do znaczącego zwiększenia trwałości narzędzi [3, 4].

W ostatnich latach nastąpił znaczny rozwój w dziedzinie wytwarzania nowych materiałów, w tym również różnego rodzaju powłok [1, 2]. Aby powłoka spełniała wymagania przeciwzyciowe musi charakteryzować się odpowiednimi kombinacjami właściwości, m.in.: twardością, odpornością: na ścinanie, zginanie, pękanie, zużywanie przez tarcie i korozję oraz dobrą adhezją do podłoża [8]. W celu zabezpieczenia powierzchni oraz zredukowania zużywania



Rys. 1. Ostrza narzędzi do obróbki skrawaniem powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych pokryte różnymi powłokami oraz bez nich [5]

tribologicznego powłoki muszą przede wszystkim: zmniejszać opory ruchu, zapobiegać bądź ograniczać bezpośredni styk pary trącej oraz tłumić drgania i ruchy oscylacyjne [6].

Celem badań opisanych w niniejszej pracy jest opracowanie charakterystyk tribologicznych powierzchni z powłoką węglikoazotku tytanu TiCN oraz porównanie jej cech użytkowych z cechami stali narzędziowej HS6-5-2C (bez powłoki) w warunkach tarcia technicznie suchego.

* dr hab. inż. M. Madej prof. PŚk, prof. dr hab. inż. D. Ozimina, mgr inż. J. Kowalczyk, mgr inż. K. Pawelec, Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn.

Aparatura i warunki badań

Badania tribologiczne przeprowadzono na tribometrze Anton Paar pracującym w skojarzeniu kula-tarcza. Parę trącą stanowi w nim tarcza o średnicy 36 mm ze stali narzędziowej HS6-5-2C lub tarcza ze stali HS6-5-2C z naniesioną powłoką TiCN oraz kula ze stali 100Cr6 o średnicy 6 mm.

Testy zrealizowano przy następujących parametrach:

- stałej prędkości ślizgania $v = 0,1$ m/s,
- obciążeniu $P = 20$ N,
- drodze tarcia $S = 250$ m.

Badania zrealizowano w warunkach tarcia technicznie suchego, w atmosferze laboratoryjnej przy wilgotności względnej $45 \pm 5\%$ i temperaturze $23 \pm 1^\circ\text{C}$.

Analizę struktury geometrycznej powierzchni przed oraz po testach tribologicznych przeprowadzono na interferometrze światła białego Talysurf CCI Lite.

Wyniki badań

Badania, których rezultaty prezentowane są w niniejszym opracowaniu stanowią kontynuację badań opisanych w pracy [7]. Przedstawiono w niej cechy morfologiczne próbek, których cechy użytkowe były badane w kolejnej fazie badań. Jak wyżej stwierdzono jednym z czynników zmniejszających skutki procesu zużywania jest zmniejszenie współczynnika tarcia, dlatego też ta wielkość była pierwszym z badanych czynników.

Zmiany wartości współczynnika tarcia zarejestrowane podczas tarcia technicznie suchego dla skojarzenia stal HS6-5-2C – stal 100Cr6 oraz stal HS6-5-2C z naniesioną powłoką TiCN – stal 100Cr6 przy obciążeniu 20 N przedstawiono na rysunku 2.

Mniejszą wartość współczynnika tarcia odnotowano dla skojarzenia trącego z powłoką TiCN. Na początku testu, wartość współczynnika wzrosła gwałtownie do wartości $\mu \approx 0,76$, po

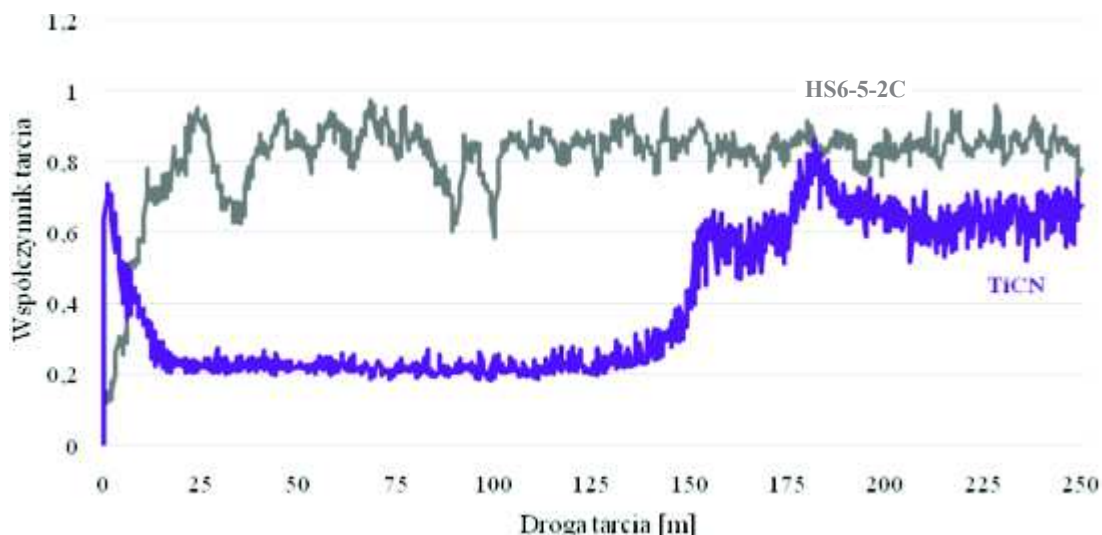
czym – także szybko – zmalała, aby po drodze tarcia ok. 15 m osiągnąć wartość $\mu \approx 0,25$. Po drodze tarcia ok. 130 m obserwuje się ponowny wzrost wartości współczynnika tarcia, aż do wartości $\mu \approx 0,8$ po drodze ok. 180 m. W dalszym czasie testu wartość analizowanej wielkości malała i pod koniec testu oscylowała wokół wartości $\mu \approx 0,6$.

Dla skojarzenia stal HS6-5-2C – stal 100Cr6 zaobserwowano szybki wzrost wartości współczynnika tarcia na początku testu do wartości $\mu \approx 0,76$ po drodze tarcia ok. 12 m. Następnie jego wartość stabilizowała się oscylując wokół wartości $\mu \approx 0,8$, i po drodze tarcia $S = 250$ m wyniosła ona $\mu \approx 0,78$.

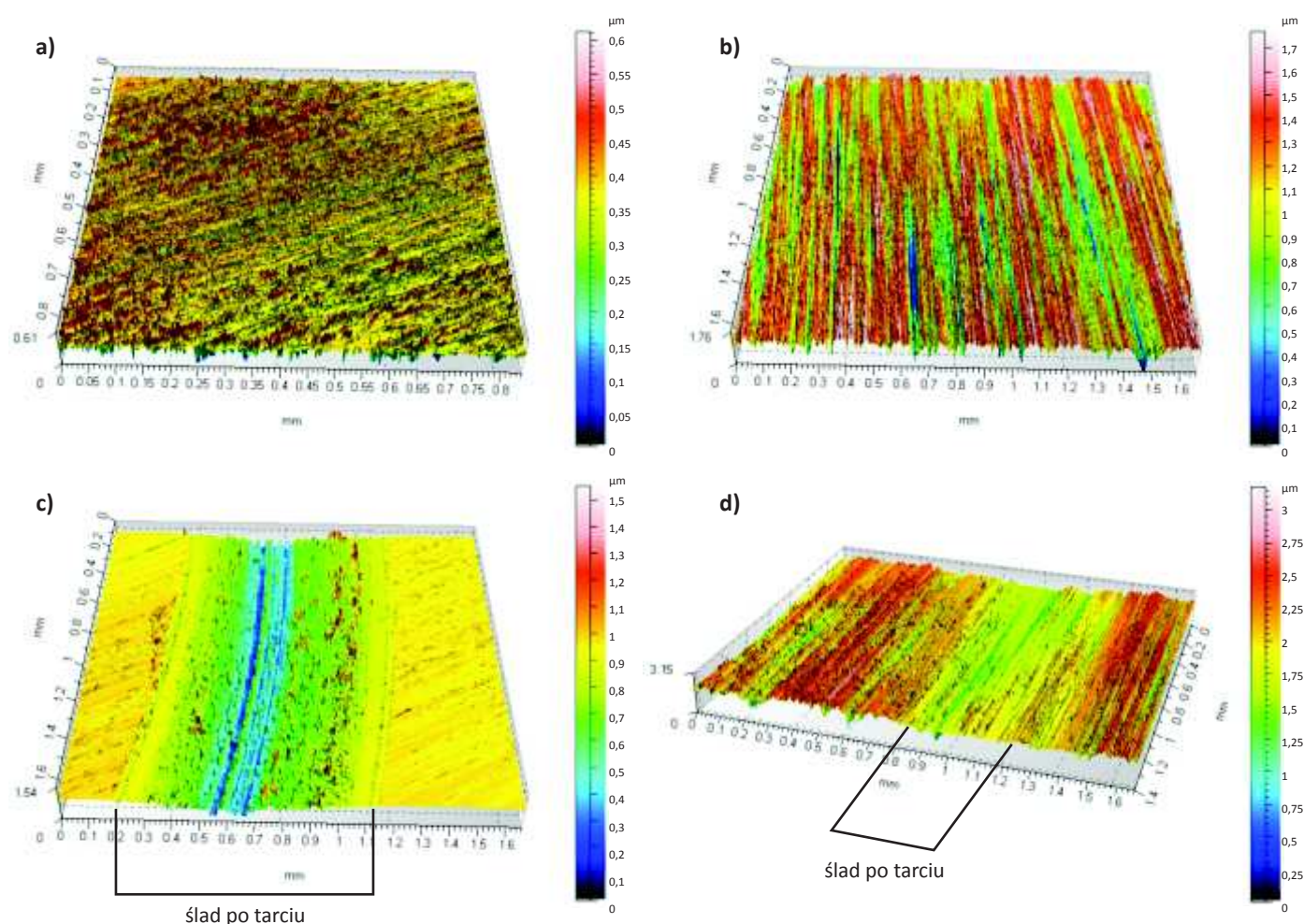
Z przeprowadzonych badań wynika, że przy prędkości 0,1 m/s, obciążeniu 20 N, po drodze tarcia 250 m (czas testu: 2500 sekund) w kontakcie ze stalą 100Cr6 wartość współczynnika tarcia dla skojarzenia z powłoką TiCN ulega niewielkim tylko zmianom.

Kolejnym czynnikiem mającym znaczący wpływ na intensywność procesu zużywania tribologicznego jest struktura geometryczna współpracujących powierzchni. Na rysunku 3 przedstawiono obrazy izometryczne powierzchni tarcz, a na rysunku 4 profile chropowatości, w obydwóch przypadkach – przed i po testach tribologicznych.

Z analizy porównawczej profili chropowatości sporządzonych dla tarcz przed i po testach tribologicznych przy obciążeniu 20 N wynika, że dla tarczy ze stali HS6-5-2C (rys. 4a i 4c) w skojarzeniu ze stalową kulą zaobserwowano zużycie w formie wgłębienia o maksymalnej głębokości równej ok. $0,84 \mu\text{m}$ i długości 9,4 mm. Na tarczy ze stali HS6-5-2C z naniesioną powłoką TiCN (rys. 4b i 4d) również odnotowano wgłębienia, lecz o maksymalnej głębokości ok. $1,11 \mu\text{m}$ i długości ok. 0,4 mm. Choć głębokości wytarć są większe dla tarczy z powłoką TiCN, to ślad po tarcu jest prawie niewidoczny, a na obrazie izometrycznym powierzchni tarczy ze stali HS6-5-2C jest on zauważalny (rys. 3c). Spowodowane jest to tym, że tarcza z naniesioną powłoką TiCN przed testem tribologicznym (rys. 3b) ma liczne i głębokie żłobienia sięgające nawet $1 \mu\text{m}$ oraz wzniesienia ok. $0,5 \mu\text{m}$, wynikające z dużego rozwinięcia powierzchni podłoża i jego od-



Rys. 2. Współczynnik tarcia podczas tarcia technicznie suchego badanych skojarzeń trących



Rys. 3. Obrazy izometryczne powierzchni tarcz: a) ze stali HS6-5-2C przed testem tribologicznym, b) ze stali HS6-5-2C z naniesioną powłoką TiCN przed testem tribologicznym, c) ze stali HS6-5-2C po teście, d) ze stali HS6-5-2C z naniesioną powłoką TiCN po teście

zwierciedleniu po osadzeniu powłoki. Po teście tribologicznym tarcza z naniesioną powłoką TiCN została w niewielkim stopniu wygładzona (rys. 3d). Można zatem wnioskować, że podczas tarcia technicznie suchego zużycie powłoki TiCN było zdecydowanie mniejsze niż elementu bez pokrycia.

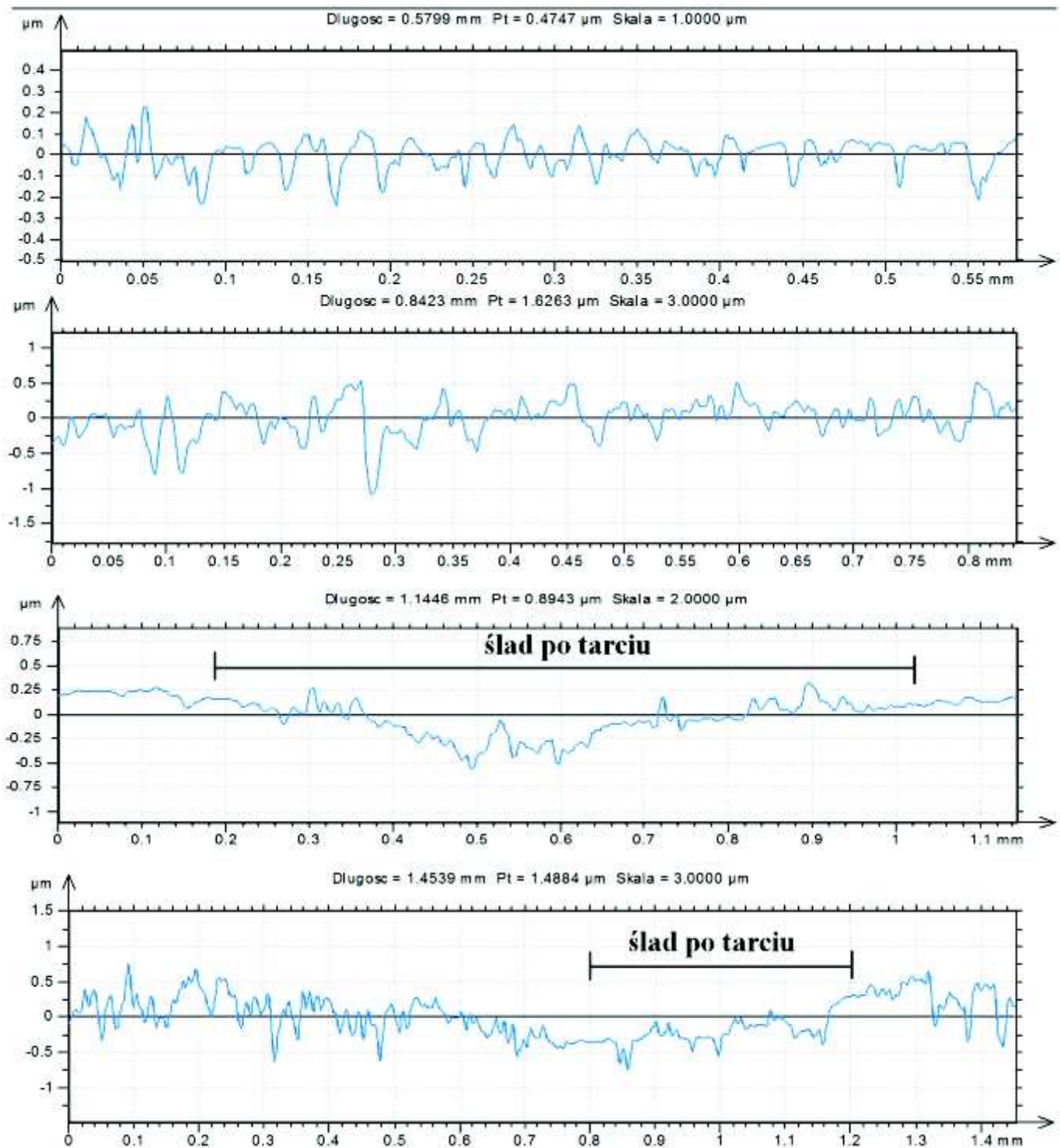
W tabeli 1 zestawiono wartości parametrów chropowatości tarcz stalowych bez powłoki TiCN oraz z nią, zmierzonych przed i po testach tribologicznych.

Analizując otrzymane wyniki parametrów chropowatości przed i po testach tarcowych dla tarczy ze stali HS6-5-2C bez powłoki, odnotowano znaczące zwiększenie prawie wszystkich parametrów. Wyjątek stanowił parametr Sku – kurtoza, którego wartość była mniejsza.

Porównując te same parametry przed i po teście tribologicznym dla tarczy ze stali HS6-5-2C z naniesioną powłoką TiCN stwierdzono, że wartości parametrów: Ssk , a także Sku

Tabela 1. Wartości parametrów chropowatości powierzchni tarcz ze stali HS6-5-2C bez i z powłoką TiCN

Próba	Próbka	Parametry chropowatości powierzchni						
		Sa	Sq	Sp	Sv	Sz	Ssk	Sku
		μm	μm	μm	μm	μm	–	–
PRZED TESTEM	HS6-5-2C	0,05	0,06	0,27	0,35	0,61	–1,06	5,28
	HS6-5-2C + TiCN	0,23	0,29	0,67	1,11	1,78	–0,76	4,10
PO TEŚCIE	HS6-5-2C	0,14	0,18	0,68	0,81	1,49	–1,18	3,89
	HS6-5-2C + TiCN	0,24	0,29	1,23	1,95	3,18	–0,27	3,60



Rys. 4. Profile chropowatości powierzchni i tarcz: a) ze stali HS6-5-2C przed testem tribologicznym, b) ze stali HS6-5-2C z naniesioną powłoką TiCN przed testem tribologicznym, c) ze stali HS6-5-2C po teście, d) ze stali HS6-5-2C z naniesioną powłoką TiCN po teście

zmały. Wartość parametru Sku przybliżyła się do wartości 3,0, charakteryzującej rozkład normalny rzędnych profilu, co świadczy o równomiernym rozłożeniu wzniesień oraz wgłębień na badanej powierzchni tarczy. Z kolei wartości parametrów Sa , Sp , Sv i Sz po teście tribologicznym zwiększyły się, przy czym średnie arytmetyczne odchylenie chropowatości Sa było większe jedynie o 1%. Maksymalna wysokość piku powierzchni – Sp , maksymalna głębokość wgłębienia powierzchni – Sv oraz maksymalna wysokość mikro-

nierówności powierzchni – Sz zwiększyły się prawie o 50%, natomiast średnie kwadratowe odchylenie wysokości – Sq pozostało bez zmian.

Wnioski

Cienkie, twarde powłoki stosowane na elementy systemów tribologicznych, m.in. na ostrza narzędzi skrawających stanowią dynamicznie rozwijający się obszar badań naukowych.



Wynikiem tego jest znaczące zwiększenie trwałości tych narzędzi. Do takich stwierdzeń upoważniają wnioski sformułowane na podstawie przedstawionych w niniejszej pracy badań:

1. Zastosowanie powłoki TiCN w systemie tribologicznym wpłynęło na zmniejszenie współczynnika tarcia oraz zużycia. Uprawnia to do stwierdzenia, że elementy maszyn z naniesioną powłoką TiCN będą charakteryzować się dłuższym czasem eksploatacji niż elementy ze stali HS6-5-2C.

2. Na badanej powierzchni tarcz po testach tribologicznych większy ślad wytarcia zaobserwowano na tarczy ze stali HS6-5-2C, a obszar wytarcia był wyraźnie widoczny. Potwierdza to obraz izometryczny powierzchni wykonany przy użyciu interferometru światła białego. Powierzchnia tarczy z powłoką TiCN uległa natomiast jedynie wygładzeniu, a ślad po tarceniu był słabo widoczny.

3. Na podstawie uzyskanych charakterystyk tarciovych stwierdzono, że powłokę TiCN można stosować w niesmarowanych węzłach tarcia. Stanowi to działanie proekologiczne ze względu na wyeliminowanie materiałów eksploatacyjnych zazwyczaj obciążających środowisko.

Cechy tribologiczne powierzchni z naniesionymi powłokami określone w rezultacie prezentowanych badań potwierdzają ich przydatność w odniesieniu do elementów par kinematycznych pracujących w trudnych warunkach, gdyż powinny się przyczynić do zmniejszenia intensywności procesu zużycia.

Literatura

1. Burakowski T.: Areologia. Wyd. ITE-PIB, Radom, 2007.
2. Burakowski T., Wierchoń T.: *Inżynieria powierzchni metali*. WNT, Warszawa, 1995.
3. Czechowski K.: Wpływ nanostrukturalnych powłok wielowarstwowych na właściwości użytkowe narzędzi. *Mechanik* nr 1/2017, s. 28-33.
4. Dobrzański L. A.: *Kształtowanie struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych*. International OCSCO World Press, Gliwice, 2009.
5. Katalogi firm produkujących narzędzia (Fonar, Gühring, Iscar, Mitsubishi, Pafana, Sandvik Coromant, Seco Tools).
6. Madej M.: The effect of TiN and CrN interlayers on the tribological behavior of DLC coatings. *Wear*, No. 317/2014, pp. 179-187.
7. Madej M., Ozimina D., Kowalczyk J., Pawelec K.: Morfologia powłok TiCN nanoszonych techniką fizycznego osadzania z fazy gazowej (PVD). *Obróbka Metalu* nr 3/2017, s. 18-21.
8. Ozimina D.: *Eksploatacja systemów tribologicznych*, M 48, Wyd. PŚk, Kielce, 2013.



SCHUNK®

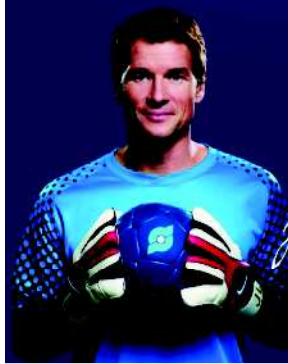
Superior Clamping and Gripping

Ponad 1 000 możliwych kombinacji dla niezawodnego mocowania detalu

Pozycjonowanie i mocowanie w jednym kroku. Krótszy czas przestoju, dzięki równoległemu mocowaniu detalu poza maszyną, w trakcie procesu produkcyjnego. System szybkiej wymiany palet VERO-S oferuje precyzyjny interfejs dla różnorodnych stacjonarnych systemów mocowania detalu.

VERO-S
system szybkiej wymiany palet

Dokładność powtórzeń
0,005 mm



J. Lehmann
Jens Lehmann, legendarny bramkarz niemiecki, od 2012r. ambasador marki SCHUNK, reprezentuje bezpieczne i precyzyjne chwytanie i trzymanie.