

Analiza wpływu powłok przeciwzużyciowych na ostrzach skrawających na stan warstwy wierzchniej po toczeniu wykończeniowym stali C45

Analysis of the influence of antiwear coatings on cutting tools on the condition of the surface layer after finishing turning of C45 steel

MICHAŁ OCIEPA
MARIUSZ JENEK
MARIA ZHBANKOVA*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.109>

Przedstawiono wyniki badań wpływu wielowarstwowych powłok CVD oraz PVD na ostrzach skrawających z węgliku spiekanego na wybrane parametry warstwy wierzchniej po toczeniu wykończeniowym stali konstrukcyjnej C45 (1.0503). Badania wykazały, że wpływ powłok przeciwzużyciowych na stan WW jest istotny. W przypadku wszystkich badanych ostrzy odnotowano wzrost stopnia umocnienia WW wraz ze wzrostem wartości posuwu.

SŁOWA KLUCZOWE: powłoki przeciwzużyciowe, PVD, CVD, toczenie wykończeniowe, warstwa wierzchnia

The results of research on the influence of multi-layer CVD and PVD coatings on carbide cutting tools on selected parameters of the surface layer after finishing turning of C45 steel (1.0503) are described. The research showed a significant effect of anti-wear coatings on the condition of surface layer. In the case of all tested blades, an increase in the strengthening level of the surface layer was noted along with the increase of the feed rate. KEYWORDS: wear-resistant coatings, PVD, CVD, finish turning, surface layer

Stan warstwy wierzchniej (WW) elementów maszyn wynika w głównej mierze z technologii ich wykonania i powinien uwzględniać warunki pracy tych elementów. W związku z tym WW nadaje się określone właściwości mechaniczne, fizyczne oraz chemiczne [1]. Chropowatość i mikrotwardość powierzchni uznawane są za wskaźnik jakości produktu, a osiągnięcie pożądanej chropowatości powierzchni ma kluczowe znaczenie dla jego funkcjonalności [2].

Pod kątem właściwości eksploatacyjnych parametry chropowatości charakteryzują przede wszystkim przewodność cieplną danego elementu oraz jego odporność na zużycie ściernie, zmęczeniowe i na korozję. W przypadku wysokich nierówności powierzchni wierzchołki nierówności stykają się, co powoduje zwiększenie zużycia ściernego i z czasem pojawienie się zużycia adhezyjnego [3].

Postęp techniczny oraz konieczność podnoszenia produktywności i niezawodności procesów obróbkowych prowadzą do wdrażania coraz bardziej zaawansowanych materiałów narzędziowych i powłok przeciwzużyciowych. Pozwalają one na optymalizowanie kosztów produkcji elementów maszyn i jednocześnie na zwiększanie wydajności obróbki skrawaniem [4]. Obecnie ponad 90% produkowanych ostrzy skrawających z węglików spiekanych ma powłoki przeciwzużyciowe nanoszone technikami PVD, CVD lub ich kombinacjami [5].

Według [6] grubość, właściwości termiczne, naprężenia szczytkowe oraz przyczepność są odmienne dla powłok CVD i PVD, co wynika bezpośrednio z technologii ich nanoszenia na narzędzia skrawające.

Powłoki PVD, w porównaniu z CVD, są bardziej odporne na zużycie ze względu na ich wysoką twardość. Charakteryzują się także naprężeniami ściskającymi, które zapewniają większą wytrzymałość krawędzi skrawającej i wydłużają ogólną niezawodność narzędzia [6, 7].

Mimo że powłoki przeciwzużyciowe na ostrzach skrawających są wykorzystywane w przemyśle maszynowym od ponad 40 lat i przeprowadzono wiele badań w tym zakresie, nadal istnieją zagadnienia wymagające dalszych analiz.

Jednym z nich jest badanie właściwości i wpływu wielowarstwowych powłok PVC i CVD na proces skrawania [8].

Celem niniejszej pracy była analiza porównawcza wpływu wielowarstwowych powłok przeciwzużyciowych PVD oraz CVD naniesionych przez producentów na ostrza skrawające na wybrane parametry chropowatości, głębokość i stopień umocnienia WW po procesie toczenia wykończeniowego stali C45.

Warunki badań

Do badań wykorzystano jakościową stal niestopową C45 (AISI 1045) w stanie wyjściowym, której skład chemiczny przedstawiony został w tabl. I [9].

TABLICA I. Skład chemiczny stali C45 (AISI 1045), % mas.

C	Mn	Si	P	S
0,42	0,72	0,19	0,04	0,02

Zastosowano: posuwu w zakresie 0,05÷0,28 mm/obr, stałą prędkość skrawania 150 m/min oraz stałą głębokość skrawania 0,25 mm, która odpowiada warunkom obróbki wykończeniowej.

Toczenie przeprowadzono nożem z oprawką CSDPR 2020K12 o następującej geometrii ostrza: kąt przystawienia $K_r = 45^\circ$, kąt natarcia $\gamma = 5^\circ$, kąt przyłożenia $\alpha = 6^\circ$, promień naroża $r_\epsilon = 0,8$ mm. Wykorzystano węglkowe płytki wymienne SPUN 120308, których charakterystykę przedstawiono w tabl. II.

TABLICA II. Charakterystyka ostrzy skrawających wykorzystanych w badaniach

Symbol płytki	HW (SM25)	PVD 3W	CVD 3W
Powłoka	–	TiN, (TiAlSi)N, TiN	TiN, Al ₂ O ₃ , TiCN
Typ powłoki	–	PVD	CVD

* Mgr inż. Michał Ociepa (m.ociepa@ibem.uz.zgora.pl), dr hab. inż. Mariusz Jenek prof. UZ (m.jenek@ibem.uz.zgora.pl) – Wydział Mechaniczny Uniwersytetu Zielonogórskiego; inż. Maria Zbankova (zbankova.masha2011@yandex.ru) – Instytut Budowy Maszyn Moskiewskiego Państwowego Uniwersytetu Technologicznego „Stankin”

Badania wybranych parametrów chropowatości przeprowadzono na profilografometrze PMG-1C. Badanie mikrotwardości, głębokości i stopnia umocnienia przeprowadzono promieniowo na twardościomierzu Zwick ZHV 10 przy obciążeniu 0,3 N.

Wyniki badań wybranych parametrów chropowatości

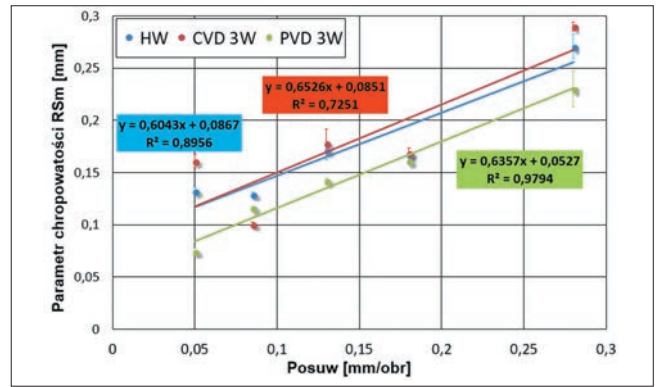
Na rys. 1–3 przedstawiono wartości wybranych parametrów chropowatości R_a , R_z , R_{Sm} w zależności od prędkości posuwu f , dla powierzchni obrobionych wszystkimi badanymi ostrzami skrawającymi.

Najniższą wartość wszystkich parametrów dla całego badanego zakresu posuwu f odnotowano w przypadku powierzchni obrobionych ostrzami PVD 3W. W stosunku do płytki HW (bez powłoki) wszystkie parametry były niższe o 13÷20%.

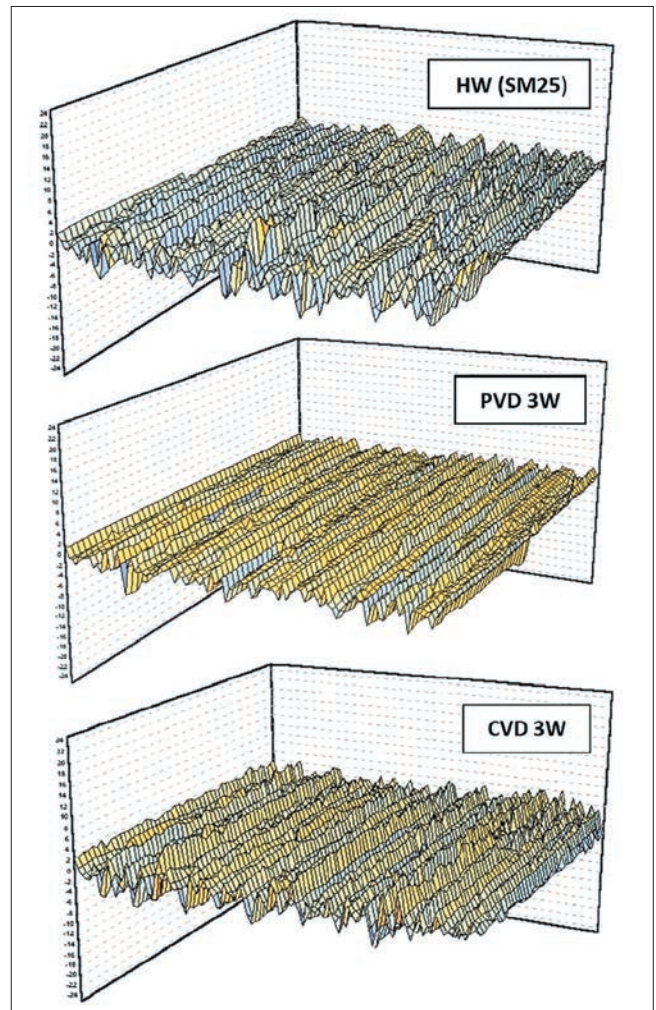
Wartości parametrów R_a oraz R_{Sm} powierzchni obrobionych ostrzami CVD 3W oraz HW były zbliżone w całym zakresie badanego posuwu f (rys. 1, 3), a różnica między nimi nie przekraczała 10% wartości parametru dla ostrza HW.

Przy posuwie $f = 0,05$ mm/obr odnotowano niższą o ok. 6% wartość parametru R_z dla ostrza HW w porównaniu z ostrzem CVD 3W. Zależność ta uległa zmianie przy większych wartościach posuwu f (z przedziału 0,15÷0,28 mm/obr) (rys. 2), dla których wartość parametru R_z dla powierzchni obrobionych ostrzem z powłoką CVD 3W utrzymywała się w przybliżeniu na stałym poziomie. Dla powierzchni obrobionych ostrzem HW rosła, osiągając różnicę ~14%.

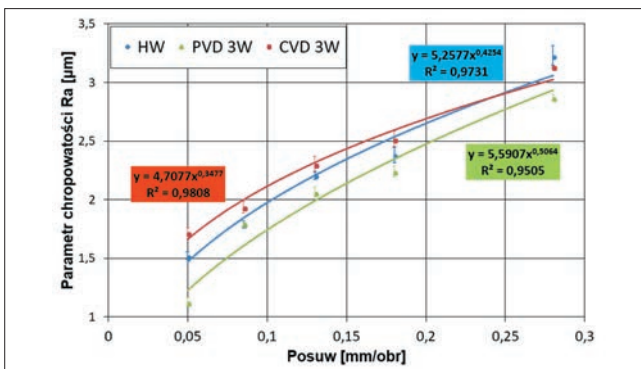
Na rys. 4 przedstawiono przykładowe widoki powierzchni 3D próbek po obróbce ostrzami HW, PVD 3W oraz CVD 3W z minimalną wartością posuwu $f = 0,05$ mm/obr. Na rys. 5. zaprezentowano wartości wybranych parametrów chropowatości uzyskane z pomiaru 3D, które potwierdzają wcześniejszą analizę 2D powierzchni. Można zauważyć, że powierzchnia obrobiona ostrzem PVD 3W charakteryzuje się najbardziej regularną strukturą.



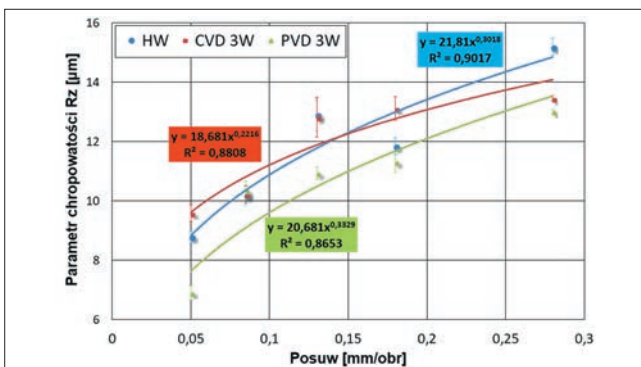
Rys. 3. Wyniki pomiarów parametru chropowatości R_{Sm}



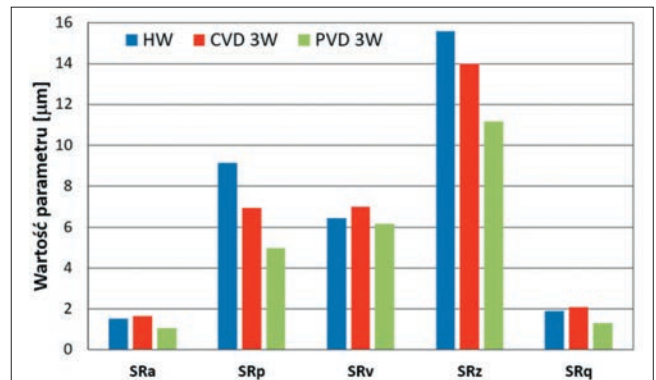
Rys. 4. Skany 3D przykładowych powierzchni próbek po skrawaniu ostrzami HW, PVD 3W oraz CVD 3W



Rys. 1. Wyniki pomiarów parametru chropowatości R_a



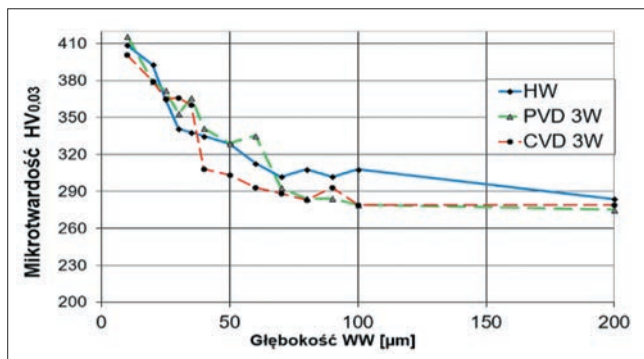
Rys. 2. Wyniki pomiarów parametru chropowatości R_z



Rys. 5. Przykładowe wartości parametrów chropowatości 3D

Wyniki badań stopnia i głębokości umocnienia WW

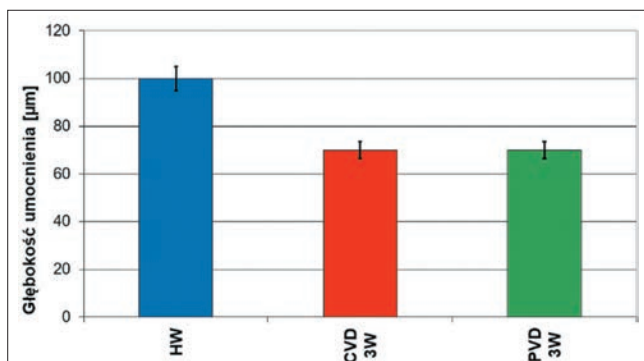
Zmiany umocnienia WW określono na podstawie pomiaru mikrotwardości. Średnie wyniki badań rozkładu mikrotwardości w głąb WW w przypadku wszystkich badanych ostrzy po obróbce z maksymalną wartością posuwu (0,28 mm/obr) przedstawiono na rys. 6.



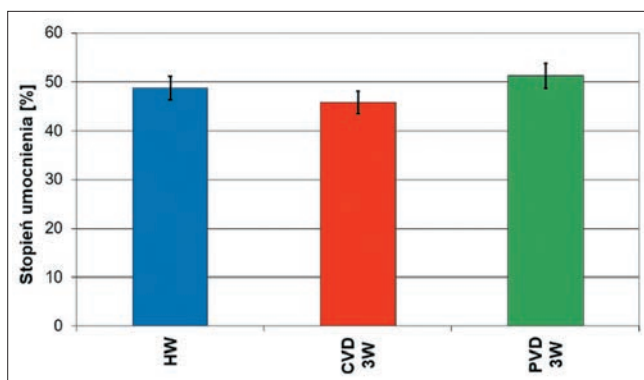
Rys. 6. Rozkład mikrotwardości w głąb WW po obróbce z posuwem $f_s = 0,28$ mm/obr.

Na podstawie zmian mikrotwardości określono stopień i głębokość umocnienia. Za warstwę umocnioną przyjęto taką, której mikrotwardość różniła się o co najmniej 10% od mikrotwardości rdzenia.

Na rys. 7 i 8 przedstawiono głębokość i stopień umocnienia WW po toczeniu badanymi ostrzami z posuwem $f_s = 0,28$ mm/obr.



Rys. 7. Wyniki pomiarów głębokości umocnienia WW po obróbce z posuwem $f_s = 0,28$ mm/obr



Rys. 8. Wyniki pomiarów stopnia umocnienia WW po obróbce z posuwem $f_s = 0,28$ mm/obr

Po uwzględnieniu rozrzutu wyników, dla wartości posuwu $f = 0,28$ mm/obr nie odnotowano istotnych różnic głębokości i stopnia umocnienia WW po obróbce ostrzami z powłokami CVD 3W oraz PVD 3W. Największą głębokość umocnienia, większą o ok. 30% w porównaniu

z WW po obróbce ostrzami z wielowarstwowymi powłokami PVD 3W oraz CVD 3W, uzyskano dla niepowlekanego ostrza HW (rys. 7).

Przedstawione na rys. 7–8 wyniki badań świadczą o mniejszej głębokości umocnienia WW powierzchni obrobionych powlekanymi ostrzami (PVD 3W, CVD 3W) w porównaniu z powierzchniami obrobionymi ostrzami niepowlekanymi (HW). Prawdopodobnie było to spowodowane oddziaływaniem powłok przeciwzużyciowych z materiałem obrabianym.

Wnioski

Wyniki badań pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- badania wykazały istotny wpływ powłok przeciwzużyciowych na stan WW,
- najmniejszą wartość parametrów chropowatości uzyskano dla powierzchni obrobionych ostrzami PVD 3W z wielowarstwową powłoką TiN/(TiAlSi)N/TiN naniesioną techniką PVD (obniżenie parametrów chropowatości do 20%),
- nie odnotowano istotnych różnic wartości badanych parametrów chropowatości dla powierzchni obrobionych ostrzami powlekanymi TiN/Al₂O₃/TiCN techniką CVD w porównaniu z ostrzami niepowlekanymi,
- powierzchnia obrobiona ostrzem z powłoką PVD 3W charakteryzuje się najbardziej regularną strukturą geometryczną,
- obecność powłoki znacząco wpływa na stopień odkształceń plastycznych w strefie skrawania, powodując zmianę głębokości umocnienia WW (do 30%),
- w przypadku powierzchni obrobionych narzędziami powlekanymi uzyskano mniejszą głębokość umocnienia WW.

LITERATURA

1. Jenek M. „Stan warstwy wierzchniej części maszyn po skrawaniu ostrzami z powłokami PVD”. Zielona Góra: Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2016.
2. Lawate S.K.A., Suryawanshi A.S., Durgavale A.S., Patil S.V. “Experimental comparison of PVD, CDV and ceramic tool inserts in turning of hardened EN 19/AISI 4140 for optimization of surface roughness and material removal rate”. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology – National Conference on Design, Manufacturing, Energy & Thermal Engineering*. 4, wyd. specj. 1 (2017).
3. Petropoulos G.P., Pandazaras C.N., Davim J.P. “Surface texture characterization and evaluation related to machining”. *Surface Integrity in Machining*. Wiosna (2010).
4. Bouzakis K., Michailidis N., Skordaris G., Bouzakis E., Biermann D., M'Saoubi R. “Cutting with coated tools: Coating technologies, characterization methods and performance optimization”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 61, 2 (2012): s. 703–723.
5. Vereschaka A.A., Grigoriev S.N., Sitnikov N.N., Oganyan G.V., Batako A. “Working efficiency of cutting tools with multilayer nanostructured Ti–TiCN–(Ti,Al)CN and Ti–TiCN–(Ti,Al,Cr)CN coatings: Analysis of cutting properties, wear mechanism and diffusion processes”. *Surface and Coatings Technology*. 332 (2017): s. 198–213.
6. Denkena B., Breidenstein B. “Residual stress distribution in PVD-coated carbide cutting tools – origin of cohesive damage”. *Tribology in Industry*. 34, 3 (2012): s. 158–165.
7. Fernandez-Abia A.I., Barreiro J., Fernandez-Larrinoa J., Lopez de Lacalle L.N., Fernandez-Valdivielso A., Pereira O.M. “Behaviour of PVD coatings in the turning of austenitic stainless steels”. *Procedia Engineering*. 63 (2013): s. 133–141.
8. Inspektor A., Salvador P.A. “Architecture of PVD coatings for metal-cutting applications; A review”. *Surface and Coatings Technology*. 257 (2014): s. 138–153.
9. Kimakh K., Chouaf A., Aghzer S., Saoud A., Malil E., Chergui M. “Improvement of fatigue life of AISI 1045 carbon steel of parts obtained by turning process through feed rate”. *Procedia Structural Integrity*. 9 (2018): s. 243–249.