

Ocena możliwości zwiększenia siły adhezji twardych powłok do ostrzy skrawających poprzez ich nagrzewanie laserowe

Estimation of possibilities of increase of adhesion of hard coatings to cutting edges by its laser heating

MACIEJ JAN KUPCZYK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.106>

Celem badań była ocena możliwości zwiększenia siły adhezji (wartości obciążenia krytycznego mierzonego testem na zarysowanie) twardych powłok do ostrzy skrawających z węglików spiekanych poprzez ich nagrzewanie laserowe.
SŁOWA KLUCZOWE: ostrza skrawające, twarde powłoki, nagrzewanie laserowe

Evaluation of the possibilities of increasing of adhesion force (values of the critical load measured by the scratch test) of hard coatings to cutting edges made of cemented carbides by their laser heating was a purpose of researches.
KEYWORDS: cutting edges, hard coatings, laser heating

Ze względu na bardzo istotny wpływ siły adhezji powłoki do podłoża na jakość eksploatacyjną [1–9], zwłaszcza powlekanych narzędzi skrawających, dokonano oceny możliwości zwiększenia przyczepności wybranych twardych powłok do wymiennych płytek skrawających z węglików spiekanych poprzez ich nagrzewanie laserowe. Przedstawione badania stanowią kontynuację prac nad uzyskaniem jak najwyższej przyczepności twardych powłok do ostrzy narzędzi skrawających [6].

Warunki badań zasadniczych

Pomiary przyczepności (wartości obciążenia krytycznego L_c mierzonego z użyciem testu na zarysowanie) dokonywano na podstawie oceny poziomu emisji akustycznej i sygnału drganiowego, mierzonych poziomem amplitudy przyspieszeń drgań A_{cc} ($m \cdot s^{-2}$) w badanym paśmie częstotliwości (rys. 1). Urządzenie do pomiaru adhezji wyposażono w dwa niezależne tory pomiarowe, tj. z akcelerometrem piezoelektrycznym oraz z sonometrem [7].

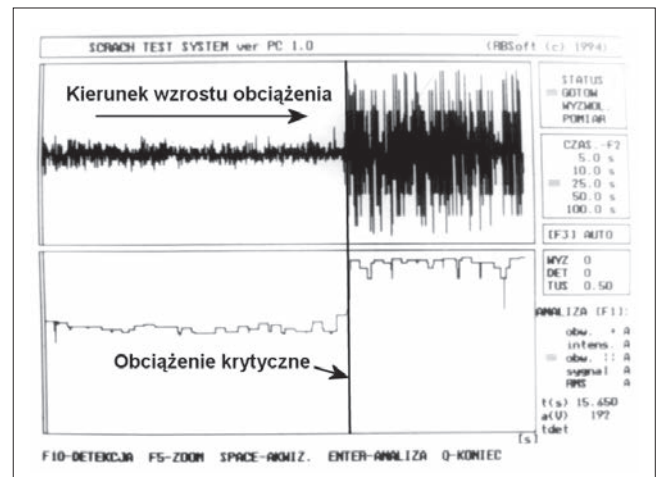
Na podstawie przedstawionych w pracy [6] wyników badań wpływu parametrów wewnętrznych testu na zarysowanie na wartość obciążenia krytycznego przyjęto następujące wartości parametrów:

- prędkość rysowania $dx/dt = 7,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
- szybkość obciążania $dL/dt = 300 \text{ N} \cdot \text{min}^{-1}$,
- stosunek $dL/dx = 40 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$,
- promień wierzchołka ryłca $R = 0,20 \text{ mm}$.

Takie wartości parametrów wewnętrznych testu na zarysowanie uznano za najkorzystniejsze pod względem następujących kryteriów [6]:

- czasu pomiaru,
- rozrzutu wyników pomiarów,
- zmienności L_c w funkcji dL/dt dla przyjętej wartości dx/dt ,
- zmienności L_c w funkcji dx/dt dla przyjętej wartości dL/dt ,
- zmienności L_c w funkcji dL/dx dla przyjętej wartości R .

* Prof. dr hab. inż. Maciej Jan Kupczyk (maciej.kupczyk@put.poznan.pl) – Instytut Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej



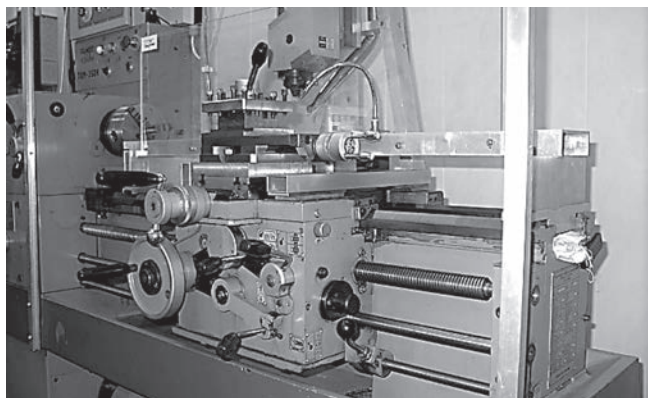
Rys. 1. Ekran monitora z przykładowym przebiegiem sygnału drganiowego powstałego podczas zarysowania próbki z twardą powłoką (gwałtowny wzrost amplitudy przyspieszeń drgań znamionuje utratę przyczepności powłoki do podłoża)

W badaniach siły adhezji zastosowano wymienne płytki skrawające w gatunku NTH2 typu SNGN120408 (z ortogonalnym kątem przyłożenia $\alpha_0 = 0^\circ$), tj. z węglików spiekanych H20S (M10-M25, K05-K25) powleczonych twarłą, dwuwarstwową powłoką TiC + TiN z wykorzystaniem techniki CVD (zakłady Baildonit). Płytki te są przeznaczone do obróbki zgrubnej i kształtującej (średnio dokładnej) żeliw. Nadają się również do obróbki stali żaroodpornych, szarych, szarych, a także stopów lekkich oraz tworzyw sztucznych [5].

Wymienione ostrza skrawające poddano nagrzewaniu laserowemu z użyciem lasera technologicznego CO₂ TLF 2600T zainstalowanego w Laboratorium Techniki Laserowej Instytutu Technologii Mechanicznej. Laser technologiczny sprzężony z tokarką przedstawiono na rys. 2.

W procesie nagrzewania laserowego płytek skrawających zastosowano następujące wartości parametrów obróbkowych:

- średnica wiązki (szerokość ścieżki) $\varnothing = 4 \text{ mm}$;
- moc wiązki:
 - $P_1 = 15\%$ maksymalnej mocy lasera,
 - $P_2 = 20\%$ maksymalnej mocy lasera,
 - $P_3 = 25\%$ maksymalnej mocy lasera,
 - $P_4 = 30\%$ maksymalnej mocy lasera,
 - $P_5 = 40\%$ maksymalnej mocy lasera;
- gęstość mocy:
 - $q_1 = 3105 \text{ W/cm}^2$,
 - $q_2 = 4140 \text{ W/cm}^2$,
 - $q_3 = 5175 \text{ W/cm}^2$,
 - $q_4 = 6210 \text{ W/cm}^2$,
 - $q_5 = 8280 \text{ W/cm}^2$;
- prędkość skanowania: $v_f = 1,28 \text{ m/min}$.



Rys. 2. Tokarka z instalacją doprowadzającą wiązkę laserową do strefy obróbki (głowicą skupiającą wiązkę laserową), pulpiti i szafy sterujące wchodzące w skład stanowiska do nagrzewania laserowego próbek

Wyniki badań zasadniczych

W tablicy przedstawiono wyniki badań siły adhezji (wartości obciążenia krytycznego mierzonego w teście na zarysowanie) w różnych warunkach procesu nagrzewania laserowego.

TABLICA. Wyniki badań przyczepności powłok TiC+TiN – nienagrzewanych i nagrzewanych laserowo – do podłoża z węglików spiekanych H20S (wartości średnie z pięciu pomiarów)

Warunki nagrzewania (% maksymalnej mocy lasera)	Wartość obciążenia krytycznego L_c , N
0	34,5 ±4,9
15	40,7 ±6,3
20	75,1 ±8,0
25	Pęknięcia powierzchniowe płytek
30	Pęknięcia powierzchniowe lub dekohezja płytek
40	Dekohezja płytek (pęknięcie na wskroś)

Badania weryfikacyjne

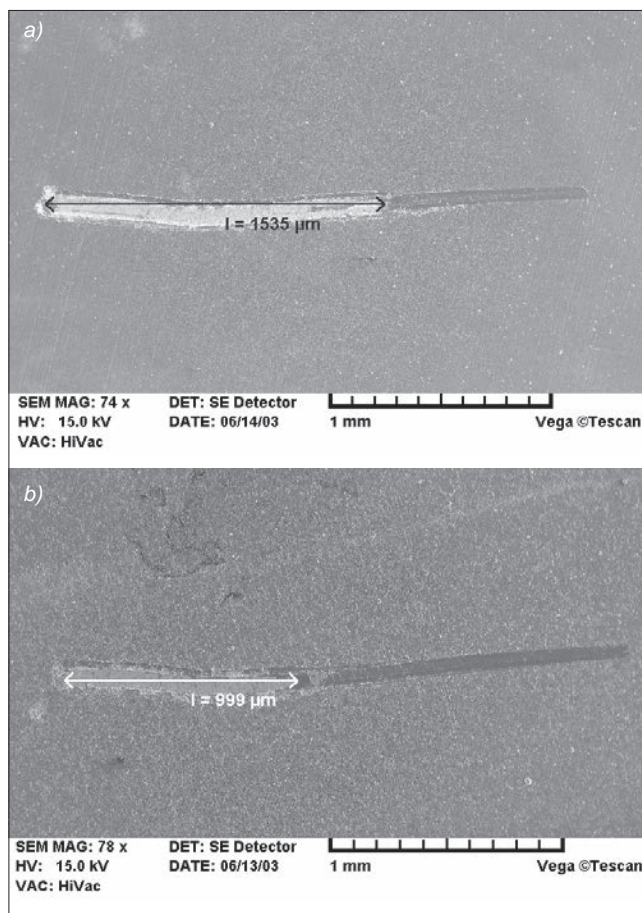
Aby potwierdzić wyniki badań siły adhezji (obciążenia krytycznego) mierzonej testem na zarysowanie na podstawie oceny sygnału akustycznego i drganiowego, przeprowadzono obserwacje zarysowań z zastosowaniem:

- mikroskopii skaningowej (obrazów utworzonych przez elektrony wtórne; SE),
- profilometru (obrazów 3D),
- mikroanalizy rentgenowskiej (mikroanalizy jakościowej powierzchniowej).

Należy podkreślić, że porównanie wyników siły adhezji uzyskanych na podstawie oceny sygnałów akustycznego i drganiowego z wartościami obciążenia krytycznego L_c (critical load, N), określonymi za pomocą obrazów mikroskopii skaningowej lub mikroanalizy rentgenowskiej, jest możliwe wyłącznie wtedy, gdy wystąpi uszkodzenie powłoki w postaci złuszczenia odsłaniającego podłoża [6]. Taki przypadek miał miejsce w omawianych badaniach.

Pomiar długości zarysowania dokonywano automatycznie na wspomaganym komputerowo mikroskopie skaningowym VEGA – TS 5135 angielskiej firmy TESCAN – Digital Microscopy Imaging, w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Poznańskiej.

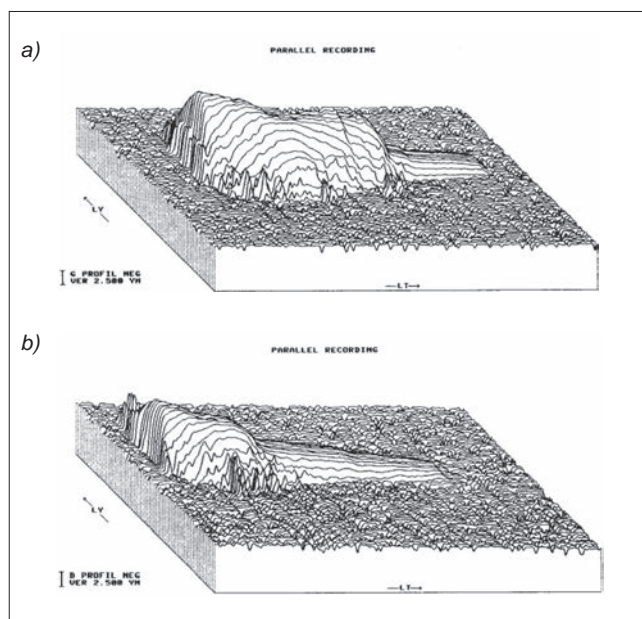
Na rys. 3 przedstawiono obrazy SE zarysowania płytki skrawającej w gatunku NTH2 (H20S+(TiC+TiN)) z automatycznym pomiarem długości odcinka, na którym nastąpiło odsłonięcie podłoża.



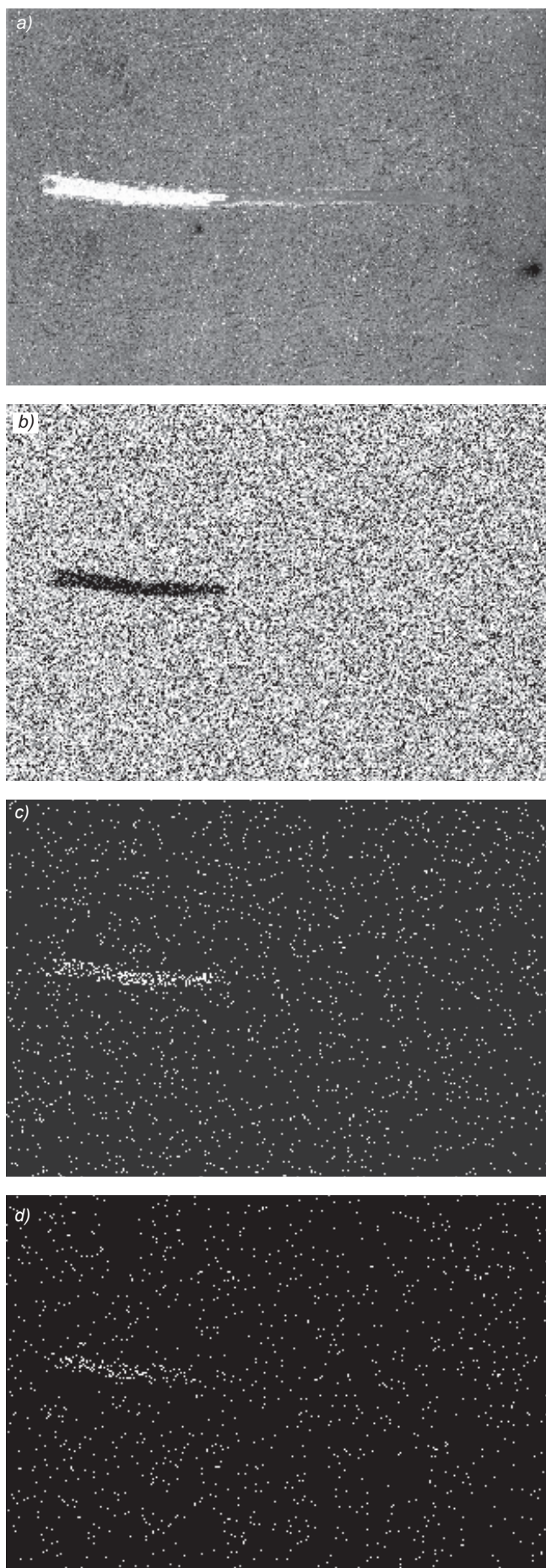
Rys. 3. Przykładowy obraz SE zarysowania powłoki TiC+TiN osadzonej na węgliku spiekany H20S: a) nienagrzewanej laserowo, b) nagrzewanej laserowo ($P_1 = 15\%$ maksymalnej mocy lasera)

Na rys. 4 przedstawiono negatywowe obrazy 3D zarysowań wykonanych z zastosowaniem profilometru.

Na rys. 5 przedstawiono obrazy mikroanalizy powierzchniowej jakościowej zawartości tytanu, kobaltu, wolframu na powierzchni płytki z powłoką TiC+TiN osadzonej na węgliku spiekany H20S, nagrzewanej laserowo ($P_1 = 15\%$ maksymalnej mocy lasera).



Rys. 4. Obrazy negatywowe 3D zarysowania powłoki TiC+TiN osadzonej na węgliku spiekany H20S: a) nienagrzewanej laserowo, b) po nagrzewaniu laserowym ($P_2 = 20\%$ maksymalnej mocy lasera)



Rys. 5. Przykładowe obrazy: a) SE oraz mikroanalizy powierzchniowej jakościowej zawartości: b) tytanu, c) kobaltu, d) wolframu na powierzchni płytki z powłoką TiC+TiN osadzonej na węglu spiekany H₂O₂, nagrzewanej laserowo ($P_1 = 15\%$ maksymalnej mocy lasera)

Obserwacje dokonane z wykorzystaniem mikroskopii skaningowej zarysowanych powłok jednoznacznie potwierdzają, że zmierzona wartość obciążenia krytycznego określona na podstawie sygnału akustycznego odpowiada odłączeniu się powłoki TiC+TiN od podłoża.

Obrazy negatywowe 3D, wykonane z zastosowaniem profilometru, również potwierdziły wyniki pomiarów z użyciem sonometru i akcelerometru piezoelektrycznego (pomiar amplitudy przyspieszeń drgań) wartości obciążenia krytycznego L_c , podobnie jak obrazy mikroanalizy powierzchniowej jakościowej zawartości tytanu, kobaltu i wolframu.

Podsumowanie

Na podstawie badań siły adhezji dwuwarstwowej powłoki wytworzonej metodą CVD na wymiennych płytkach skrawających z węglików spiekanych stwierdzono:

- znaczny wzrost przyczepności powłoki TiC+TiN do podłoża z węgla spiekane H₂O₂ po nagrzewaniu laserowym (z L_c od 34 N do 75 N) dla zastosowanej 20% maksymalnej mocy lasera (gęstości mocy wynoszącej 4140 W/cm²);
- nagrzewanie na poziomie 25, 30 i 40% maksymalnej mocy lasera prowadzi do powstania pęknięć powierzchniowych lub dekohezji płytki skrawającej na wskroś.

Z tego wynika, że tylko w ściśle określonych warunkach nagrzewania laserowego można uzyskać istotny wzrost przyczepności twardych powłok przeciwzuzyciowych do podłoża z węglików spiekanych. Pozytywny wynik uzyskany po nagrzewaniu laserowym wskazuje na potrzebę podjęcia podobnych badań z zastosowaniem innych materiałów, które znajdują obecnie szerokie zastosowanie jako powłoki osadzone na ostrzach skrawających.

Należy również kontynuować badania w celu określenia wpływu nagrzewania laserowego na właściwości powłok.

Autor składa podziękowanie dr. inż. A. Cellaremu, dr. inż. M. Jankowiakowi, dr. inż. Karolowi Józwiakowi i I. Nowakowi z Politechniki Poznańskiej za udostępnienie aparatury badawczej.

Pracę wykonano ze środków finansowych projektu badawczego nr 02/22/DSPB/1433DS.

LITERATURA

1. Burakowski T. „Rozważania o synergizmie w inżynierii powierzchni”. *Physico-Chemical Mechanics of Materials*. 1 (2000): s. 639.
2. Burnett P.J., Rickerby D.S. „The scratch adhesion test: an elastic-plastic indentation analysis”. *Thin Solid Films*. 157 (1988): s. 233.
3. Greene J.E., Pestes M. „Adhesion of sputter-deposited carbide films to steel substrates”. *Thin Solid Films*. 37 (1976): s. 373.
4. Hammer B., Perry A.J., Laeng P., Steinmann P.A. „The scratch test adhesion of TiC deposited industrially by chemical vapour deposition on steel”. *Thin Solid Films*. 96 (1982): s. 45.
5. Katalog „Płytki wielostrzowe”. Baildonit, Huta Baildon.
6. Kupczyk M. „Jakość technologiczna i użytkowa ostrzy skrawających z powłokami przeciwzuzyciowymi”, Monografia, 1997, 232, Seria: Rozprawy, No 320. Poznań: Wyd. Politechniki Poznańskiej, 1997.
7. Kupczyk M., Wieczorowski K. „Zespół do pomiaru przyczepności do podłoża warstw przeciwzuzyciowych zwłaszcza osadzonych na powierzchniach narzędzi skrawających”. Patent Pat-981/PP/1993 oraz P 301807/1994.
8. Lee G.H., Cailler M., Kwon S.C. „Adhesion studies of magnetron-sputtered copper films on nickel substrates”. *Thin Solid Films*. 186 (1990): s. 21.
9. Perry A.J. „The adhesion of chemically vapour-deposited hard coatings to steel – the scratch test”. *Thin Solid Films*. 78 (1981): s. 77.
10. Tang J., Zabinski J.S., Bultman J.E. „TiC coatings prepared by pulsed laser deposition and magnetron sputtering”. *Surface and Coatings Technology*. 91 (1997): s. 69.