

Układ kompensacji zakłóceń wywołanych parciem wiatru z obserwatorem stanu

JACEK CINK
ANDRZEJ KOSUCKI
JERZY TOMCZYK

W Zakładzie Maszyn Roboczych i Napędów Hydraulicznych Politechniki Łódzkiej opracowany został przed kilku laty układ kompensacji zakłóceń wywołanych parciem wiatru na wiotko zawieszony na linach ładunek, opisany w pracach [1, 2].

Istotą działania wspomnianego układu była konieczność określenia w każdej chwili poprawki położenia punktu zawieszenia lin ładunku w zależności od prędkości i kierunku wiatru, tak aby wychylony przez wiatr ładunek poruszał się po założonym torze. Działanie systemu zostało sprawdzone w badaniach symulacyjnych dla transportu poziomego realizowanego za pomocą suwnic pomostowych oraz żurawi portowych wypadowych. Obecnie trwają badania eksperymentalne mające na celu potwierdzenie poprawnego działania układu. Główną wadą proponowanego układu kompensacji jest konieczność obliczania poprawki, co musi być obciążone błędem, ponieważ siła parcia wiatru na ładunek jest określana analitycznie w sposób przybliżony przy założeniu stałego współczynnika opływu. Niezbędny jest również ciągły pomiar prędkości i kierunku wiatru na poziomie ładunku.

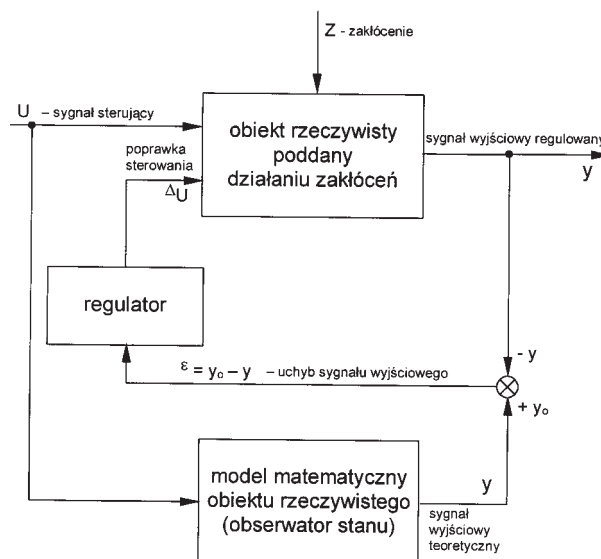
W artykule przedstawiony został nowy układ kompensacji działania wiatru na ładunek dla hakowej suwnicy pomostowej o udźwigu 5 t i długości lin ładunku 7 m, który jest pozbawiony wad układu poprzedniego. Jest to układ z obserwatorem stanu, którego schemat blokowy pokazano na rys. 1.

Układ zawiera dwie zasadnicze części: obiekt rzeczywisty oraz pracujący jednocześnie z nim w czasie rzeczywistym jego model matematyczny zwany obserwatorem stanu. Zarówno obiekt rzeczywisty, jak i obserwator stanu poddane są działaniu tego samego sterowania u . Obiekt rzeczywisty poddany jest działaniu zakłóceń z , natomiast obserwator stanu

jest od nich wolny. Zakłócenie z zmienia w sposób niepożądany zachowanie obiektu rzeczywistego, tak że przebiegi czasowe jego zmiennych wyjściowych y różnią się od zbliżonych do teoretycznych (bez zakłóceń) przebiegów zmiennych wyjściowych y_0 obserwatora stanu. Uchyb ε będący różnicą między wielkością wyjściową teoretyczną i rzeczywistą, jest podawany do regulatora, który dokonuje poprawki sterowania Δu obiektu rzeczywistego, dopóki uchyb ε nie zostanie ograniczony do zera lub wartości minimalnej.

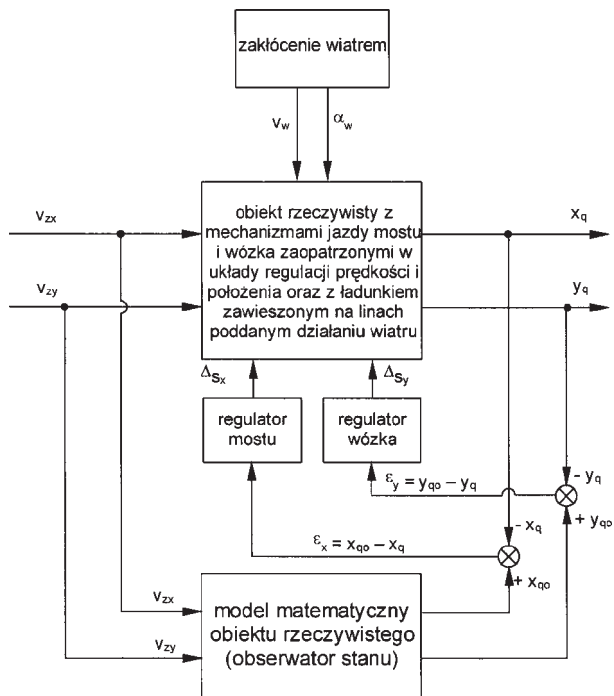
Układ kompensacji działania wiatru na ładunek

Schemat układu kompensacji działania wiatru na wiotko zawieszony na linach ładunek przy jego transporcie poziomym dla skojarzonych ruchów me-



Rys. 1. Schemat blokowy układu z obserwatorem stanu

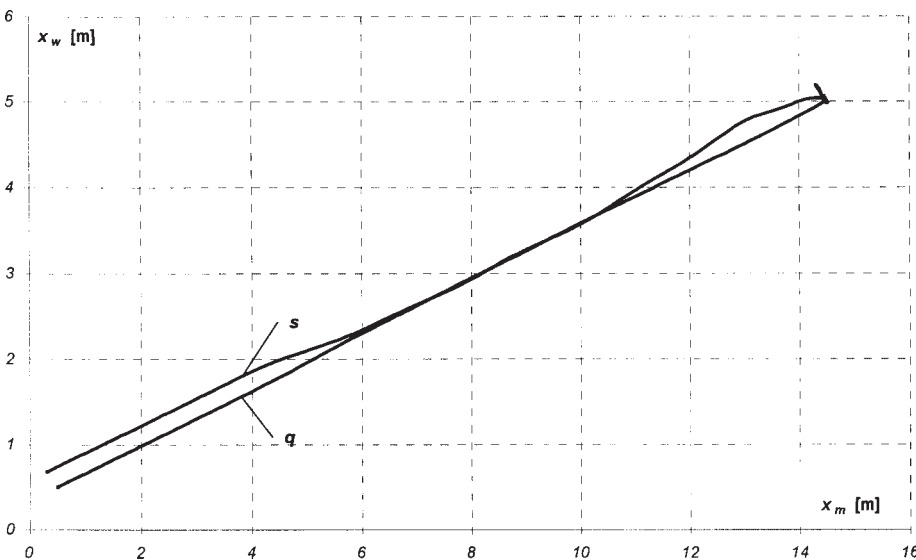
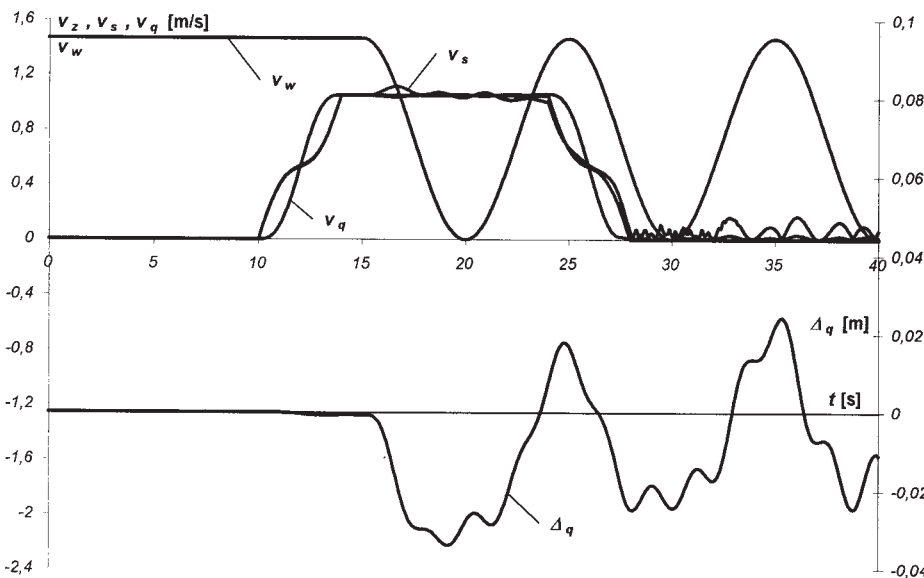
Dr hab. inż. Jacek Cink i dr inż. Andrzej Kosucki są pracownikami Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej, a prof. dr hab. inż. Jerzy Tomczyk jest pracownikiem tego wydziału i OBRDiUT „Detrans”- Bytom.



Rys. 2. Schemat układu kompensacji działania wiatru na ładunek

chanizmów jazdy mostu i wózka suwnicy pomostowej pokazano na rys. 2. Należy przy tym pamiętać, że mechanizmy jazdy mostu i wózka muszą być zaopatrzone w działające w sposób ciągły układy regulacji prędkości i położenia. Opisy konstrukcji i działania takich układów oraz ich badania symulacyjne i eksperymentalne zawarte są w pracach [3, 4].

Obiekt rzeczywisty, czyli suwnica pomostowa realizująca transport poziomy zawieszony na linach ładunku przy skojarzonych ruchach mechanizmów jazdy mostu i wózka, oraz rozwiązywany w czasie rzeczywistym model matematyczny obiektu (obserwator stanu) poddane są działaniu tego samego sterowania. W rozpatrywanym przypadku są to zadane prędkości jazdy mostu v_{zx} i wózka v_{zy} . Są one wyznaczone tak, aby układ realizował transport ładunku wzdłuż założonego toru, np. wzdłuż linii prostej poziomej, przy założeniu pogody bezwietrznej. Zgodnie z tym, co wspomniano we wstępie, ładunek w obiekcie rzeczywistym poddany jest działaniu wiatru o prędkości v_w i kierunku α_w , natomiast obserwator stanu jest rozwiązywany przy jego braku.



Wobec tego zachowanie obiektu jest inne, niż zachowanie obserwatora. W rozpatrywanym przypadku przez zachowanie obiektu i obserwatora rozumie się wahania ładunku, a w szczególności ich składowe odpowiednio w kierunku ruchu mostu x_q i x_{q0} oraz w kierunku ruchu wózka względem mostu y_q i y_{q0} .

Wymaga się, aby przebiegi rzeczywistych wahań ładunku x_q , y_q odpowiadały teoretycznym x_{q0} , y_{q0} . W proponowanym układzie określone są uchyby wahań w obu kierunkach: $\epsilon_x = x_{q0} - x_q$ oraz $\epsilon_y = y_{q0} - y_q$, które przekazywane są do regulatorów typu PI mostu i wózka. One z kolei określają poprawki zadanego położenia mostu Δs_x i wózka Δs_y dla układu rzeczywistego.

Zbudowany został zatem pewien układ regulacji wahań ładunku, który w warunkach stabilnej pracy dąży do ograniczenia uchybu ϵ_x i ϵ_y , czyli niezależnie zachowanie ładunku w układzie rzeczywistym od zakłóceń wywołanych parciem wiatru.

Rys. 3. Przykładowy wynik badań symulacyjnych dla układu z obserwatorem stanu

Wyniki badań symulacyjnych

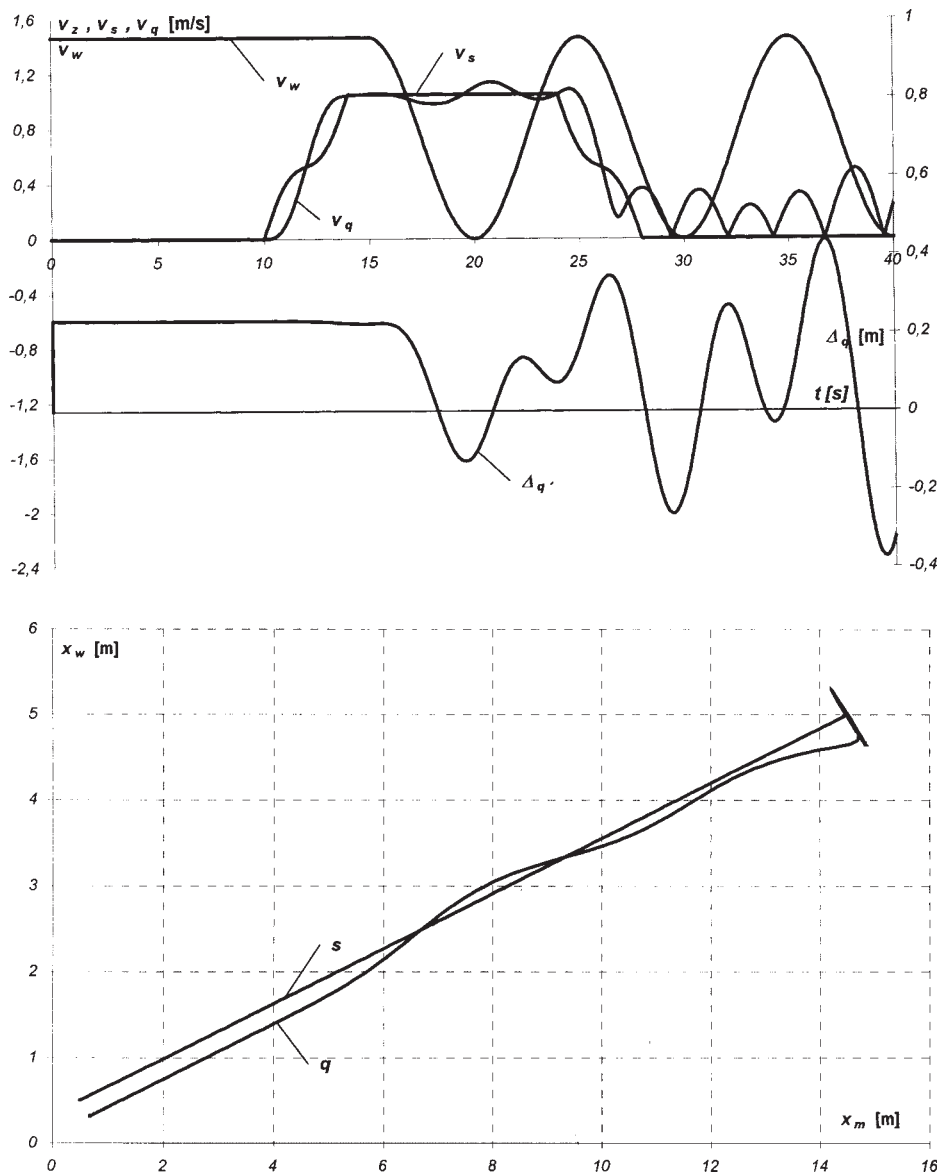
Zaproponowany układ kompensacji działania wiatru na ładunek został zbadany symulacyjnie na podstawie opracowanego i zweryfikowanego eksperymentalnie modelu dynamicznego skojarzonych ruchów falowników mechanizmów jazdy mostu i wózka suwnicy pomostowej.

Zbadano zachowanie układu przy prowadzeniu ładunku wzdłuż linii prostej poziomej przy wietrze wiejącym z różną prędkością w kierunku w przybliżeniu prostopadłym do toru ładunku.

Przykładowe wyniki badań symulacyjnych pokazano na rysunkach 3 i 4. Każdy rysunek składa się z dwóch części. Górna zawiera przebiegi czasowe:

- v_z – prędkości zadanej punktu zawieszenia lin ładunku,
- v_s – prędkości rzeczywistej punktu zawieszenia lin ładunku,
- v_q – prędkości rzeczywistej ładunku,
- v_w – prędkości wiatru,

Rys. 4. Przykładowy wynik badań symulacyjnych dla układu bez obserwatora stanu



Δq – odchyłki ładunku od założonego toru prostoliniowego.

Część dolna każdego rysunku zawiera tory ruchu w płaszczyźnie poziomej:

- s – punktu zawieszenia lin ładunku,
- q – ładunku.

Ponadto w części dolnej każdego rysunku zaznaczono strzałką kierunek wiatru.

Jako miarę jakości sterowania przyjęto wskaźnik W typu całkowitego, którego jednostką jest metr i który stanowi miarę średniego kwadratowego odchylenia rzeczywistego wychylenia ładunku od wychylenia teoretycznego.

$$W = \sqrt{\frac{\int_0^{t_k} [(x_{q0} - x_q)^2 + (y_{q0} - y_q)^2] \cdot dt}{t_k}}$$

x_{q0} – wychylenie teoretyczne ładunku w kierunku ruchu mostu,

x_q – rzeczywiste wychylenie ładunku w kierunku ruchu mostu,

y_{q0} – wychylenie teoretyczne ładunku w kierunku ruchu wózka wzgl. mostu,

y_q – rzeczywiste wychylenie ładunku w kierunku ruchu wózka wzgl. mostu,

t_k – czas trwania ruchu roboczego.

Na rys. 3 pokazano wyniki badań symulacyjnych układu z działającym obserwatorem stanu przy wietrze zmieniającym się według funkcji trygonometrycznej od wartości maksymalnej 22 m/s do minimalnej równej zero z częstotliwością 0,1 Hz. Maksymalna wartość prędkości odpowiada ciśnieniu prędkości wiatru rzędu 300 N/m². Widać wyraźnie, że ładunek porusza się wzdłuż założonego toru prostoliniowego przy korygującym ruchu punktu zawieszenia lin ładunku w kierunku pod wiatr. Wskaźnik jakości sterowania wynosi 1,6 cm dla całego ruchu roboczego, przy odchyłkach maksymalnych ładunku od prostej rzędu 3 cm.

Na rys. 4 pokazano dla porównania wyniki badań symulacyjnych z wyłączonym układem kompensacji przy tym samym wietrze. W tym przypadku punkt zawieszenia lin ładunku porusza się dokładnie wzdłuż założonej prostej, natomiast ładunek wychyla się na skutek parcia wiatru. Wskaźnik jakości sterowania wynosi 24,4 cm, a odchyłki maksymalne ładunku od prostej są rzędu 45 cm.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania symulacyjne pokazały, że zaproponowany układ kompensacji zbudowany z wykorzystaniem obserwatora stanu działa i umożliwia prowadzenie ładunku wzdłuż założonego toru niezależnie od zakłóceń spowodowanych parciem wiatru.

Jak w każdym układzie regulacji, stabilność zaproponowanego systemu zależy przede wszystkim od parametrów regulatora. W badanym układzie kompensacji zastosowano regulatory proporcjonalno-całkujące, a ich współczynniki wzmocnienia i stałe czasowe zostały określone na podstawie serii badań symulacyjnych, które pozwoliły na określenie bezpiecznego zapasu stabilności.

Stabilność układu kompensacji z obserwatorem stanu zależy również od częstotliwości i amplitudy prędkości wiatru, a w szczególności od szybkości narastania prędkości wiatru, czyli jego przyspieszenia. W badaniach zastosowano stosunkowo surowe warunki obciążenia wiatrem.

Zaproponowany układ kompensacji z obserwatorem stanu działa automatycznie i nie wymaga po-

miaru prędkości i kierunku wiatru, a wszystkie funkcje sterujące, zapewniające optymalne prowadzenie ładunku wzdłuż założonego toru, są wyznaczone tak, jakby wiatru nie było. Niezbędne jest opracowanie dobrego, stosunkowo prostego i zweryfikowanego eksperymentem modelu matematycznego obiektu rzeczywistego, który może być rozwiązywany w czasie rzeczywistym przy użyciu dostępnego sprzętu komputerowego.

LITERATURA

1. *Tomczyk J. i inni*: Eliminacja wahań ładunku i pozycjonowanie dźwignic o ruchach obrotowych i wypadowych sterowanych za pomocą mikroprocesorów. Prace dla Komitetu Badań Naukowych, Łódź 1999.
2. *Cink J., Tomczyk J.*: Kompensacja zakłóceń działania wiatru dla dźwignic. Maszyny Dźwigowo-Transportowe, nr 3/2000, ss. 78–87.
3. *Tomczyk J. i inni*: Badania dynamiki maszyn dźwigowo-transportowych sterowanych za pomocą mikroprocesorów. Prace dla Komitetu Badań Naukowych, Łódź 1997.
4. *Bednarski S., Cink J., Tomczyk J.*: Pozycjonowanie ładunku w ruchu roboczym żurawia portowego. X Konferencja Naukowa Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane styczeń 1997, zeszyt I, ss. 25–32.

Z CZASOPISM ZAGRANICZNYCH

Narzędzia skrawające

– powłoki

Jim Destefani: Cutting Tools 101 – Coatings. Manufacturing Engineering, October 2002.

Tłumaczenie i opracowanie: Martyna Jachimowicz

Szacuje się, że na ok. 70–75% narzędzi wytwarzanych obecnie z węglików spiekanych nanosi się powłoki, aby poprawić ich odporność na zużycie ściernie, zwiększyć ich trwałość oraz poszerzyć zakres zastosowań danego gatunku, jak również zwiększyć prędkości skrawania. Współczesne obróbki skrawaniem koncentrują się na skrawaniu z dużymi prędkościami, skrawaniu na sucho, dokładniejszym wykończeniu elementów.

Wzrost odporności na zużycie ściernie poprzez zastosowanie powłok wynika z ich większej twardości, objętości chemicznej oraz mniejszego współczynnika tarcia niż dla materiału, z jakiego wykonane jest narzędzie.

Podstawowymi procesami nakładania powłok na narzędzia są procesy chemicznego i fizycznego osadzania z fazy gazowej odpowiednio CVD i PVD oraz ich odmiany. Wybór procesu zależy od materiału narzędzia i jego geometrii, jak również od przewidywanego zastosowania narzędzia.

W procesie CVD w specjalnej komorze, w temperaturze 1000°C, na skutek reakcji chemicznej powstają składniki powłoki, takie jak: TiC, TiN, TiCN oraz Al₂O₃, które są osadzone na powierzchni narzędzi. Metoda CVD jest również stosowana do osadzania cienkich warstw diamentowych na podłożu grafitowym i narzędziach z materiałów nieżelaznych. Grubość powłoki wytworzonej metodą CVD wynosi od 5 do 20 µm.

Ponieważ materiały stosowane na powłoki cechują się większym współczynnikiem rozszerzalności cieplnej niż podłoże z węglików spiekanych, powoduje to, że warstwa wierzchnia nanoszona metodą CVD podlega naprężeniom rozciągającym w temperaturze pokojowej. Mogą one być przyczyną powstawania pęknięć i uszkodzenia narzędzi w trakcie przerywanego skrawania.

Powstawanie pęknięć na powierzchni jest również czynnikiem wpływającym na jej stan, tzn. na stopień chropowatości. Nadmierną chropowatość powierzchni można usunąć poprzez polerowanie. Gładka wypolerowana powierzchnia odznacza się lepszą smarnością oraz wykazuje lepszą przyczepność do podłoża.

Wysoka temperatura, w jakiej prowadzony jest proces CVD, ułatwia powstawanie wiązań chemicznych pomiędzy materiałem podłoża a warstwą wierzchnią. Może również powodować zmiany w mikrostrukturze podłoża, zmniejszając trwałość narzędzia i zwiększając jego podatność na uszkodzenie.

Aby uniknąć niekorzystnych skutków działania wysokiej temperatury, stosuje się odmianę procesu CVD, tzw. MTCVD (medium temperature CVD). Niższa temperatura procesu MTCVD znacznie zmniejsza niebezpieczeństwo powstawania pęknięć w warstwie wierzchniej. Narzędzia skrawające z powłokami nanoszonymi tą metodą znajdują zastosowanie w operacjach przerywanego skrawania oraz toczenia.

Fizyczne osadzanie z fazy gazowej PVD. W tym procesie do osadzania powłoki na materiale podłoża wykorzystuje się procesy fizyczne zachodzące w próżni. Metaliczne składniki powłoki otrzymane metodą naporowywania lub rozpylania jonowego reagują ze składnikami gazowymi, takimi jak: azot lub amoniak, w komorze próżniowej i są osadzone na podłożu.

Główną różnicą metod PVD i CVD jest temperatura procesu, znacznie niższa w przypadku PVD, wynosząca ok. 500°C. Niska temperatura wpływa na drobnoziarnistą mikrostrukturę warstwy wierzchniej otrzymanej w procesie PVD. Powłoki otrzymane w ten sposób są gładkie, o niewielkim współczynniku tarcia. Nie są one też w takim stopniu narażone na powstawanie pęknięć jak powłoki nanoszone metodą CVD.

Zaletą procesu PVD jest możliwość nanoszenia powłok na ostre krawędzie narzędzi skrawających narażone na wykruszania się materiału. Narzędzia pokrywane metodą CVD wymagają ostrzenia, ponieważ proces zachodzący w podwyższonej temperaturze powoduje powstawanie fazy ε na podłożu z węgla, szczególnie w obszarze krawędzi skrawającej. Podczas procesu PVD przebiegającego w niższych temperaturach to zjawisko nie zachodzi.

