

Instytut Mechatroniki, Nanotechnologii i Techniki Próżniowej Politechniki Koszalińskiej

# W poszukiwaniu narzędzi idealnych

Warstwy przeciwzuzyciowe dla narzędzi do obróbki drewna na bazie związków tytanu, glinu i chromu – ich przydatność, możliwości zastosowania oraz ekonomiczność.

## Badania nad technologiami próżniowo-plazmowymi

Warstwy przeciwzuzyciowe dla narzędzi do obróbki drewna na bazie związków tytanu, chromu i glinu wytwarzane są przez Instytut Mechatroniki, Nanotechnologii i Techniki Próżniowej Politechniki Koszalińskiej w oparciu o nowoczesne technologie próżniowo – plazmowe, opracowane w Instytucie. Politechnika Koszalińska jest państwową akademicką szkołą wyższą z 40 letnim dorobkiem naukowo-dydaktycznym. Od wielu lat kadra naukowa Politechniki Koszalińskiej zajmuje się badaniami nad technologiami próżniowo-plazmowymi. Instytut Mechatroniki, Nanotechnologii i Techniki Próżniowej Politechniki Koszalińskiej posiada nowoczesne urządzenia technologiczne i badawcze służące do osadzania warstw przeciwzuzyciowych oraz badania ich właściwości. Pozwalają one na prowadzenie zaawansowanych prac badawczych w dziedzinie technologii warstw przeciwzuzyciowych osadzonych na narzędziach do obróbki drewna.

## Skorzystały FAB i GOPOL

W okresie 2006 – 2007 Instytut Mechatroniki, Nanotechnologii i Techniki Próżniowej Poli-

ni w 2008 roku prestiżową zachodniopomorską nagrodą za osiągnięcia naukowo-badawcze NOBLEM ZACHODNIOPOMORSKIM. Efekty technologicznych prac badawczych, zrealizowanych w projekcie, znalazły praktyczne zastosowanie w produkcji narzędzi do obróbki drewna, oferowanych przez wiodących krajowych producentów narzędzi do obróbki drewna – firmy FABABaboszewo i GOPOL Jarocin.

## Hybrydowe technologie modyfikacji powierzchni narzędzi do obróbki drewna

Uzyskane pozytywne efekty realizacji wspomnianego projektu skłoniły kierownictwo Instytutu Mechatroniki, Nanotechnologii i Techniki Próżniowej Politechniki Koszalińskiej do kontynuowania prac badawczych dotyczących technologii osadzania warstw i przeciwzuzyciowych na narzędziach do maszynowej obróbki drewna. Wykorzystany zostanie do tego fakt, że Instytut Mechatroniki, Nanotechnologii i Techniki Próżniowej Politechniki Koszalińskiej jest partnerem w złożonym w kwietniu 2008 roku projekcie transgranicznym, przewidzianym do finansowania ze środków Interreg IVA na lata 2009-2011. Tytuł projektu: „Międzynarodo-

na rzecz przedsiębiorców realizowanych przez jednostki naukowe.” W założeniach projektu zakłada się, że opracowanie hybrydowych technologii modyfikacji powierzchni narzędzi do obróbki drewna będzie wyznaczało nowe kierunki rozwoju technologii warstw przeciwzuzyciowych.

## Nowoczesność zastosowanych rozwiązań warstw przeciwzuzyciowych dla narzędzi do obróbki drewna

Specyfika obróbki drewna jako materiału niejednorodnego z punktu widzenia właściwości mechanicznych oraz chemicznych wymaga opracowania takich technologii obróbki powierzchni stosowanych narzędzi, które znacząco poprawią ich trwałość i niezawodność. Podwyższenie odporności na zużycie ścierne, korozję w wysokiej temperaturze oraz udary mechaniczne ma kluczowe znaczenie w przypadku narzędzi wykorzystywanych w przemyśle drzewnym. Obróbka drewna i tworzyw drzewnych z uwagi na specyficzne właściwości materiału obrabianego, takie jak: znaczna anizotropowość budowy i właściwości skrawnych surowca w różnych kierunkach (wzdłuż włókien, w poprzek lub stycznym),



Fot. Politechnika Koszalińska

robniki obrabiarki, narzędzia i procesy muszą cechować się również pewną specyfiką. Działalność innowacyjna w dziedzinie obrabiarek, narzędzi i procesów obróbki materiałów drzewnych wymaga zatem połączenia zagadnień czysto mechanicznych wraz z zagadnieniami związanymi z technologią obróbki drewna. Dlatego wszelkie działania zmierzają do jak najlepszego wykorzystania tak cennego surowca, jakim jest drewno. Jednym z takich działań jest zwiększenie własności obróbczych oraz odporności na zużycie narzędzi skrawających poprzez ich materiałową modyfikację. Narzędzia skrawające powlekanie powłokami przeciwzuzyciowymi metodami PVD i CVD umożliwiają zmniejszenie strat materiałowych w obróbce drewna, a biorąc pod uwagę miliony metrów sześciennych surowca drzewnego przerabianego na potrzeby rynku oraz rynek produktów drzewnych, nawet oszczędności surowca drzewnego rzędu kilku procent są wartością, która ma swoje odzwierciedlenie w PKB.

Najważniejsze cechy materiałów narzędziowych wpływające na ich właściwości skrawne i prędkość zużycia to: twardość, ciągliwość i odporność na zużycie korozyjne. Wytrzymałość na zginanie i twardość materiału są właściwościami przeciwstawnymi, czyli wzrost twardości powoduje spadek wytrzymałości na zginanie. Proces ten nasila się dodatkowo wraz ze zmniejszeniem kąta ostrza oraz ze wzrostem prędkości skrawania. Żaden współczesny materiał narzędziowy nie spełnia jednocześnie wszystkich pożądanych cech. Prowadzi to do ustalenia zakresu zastosowań określonych grup materiałów narzędziowych.

Rozwój materiałów skrawających o określonej geometrii stosowanych do obróbki drewna i materiałów drewnopochodnych przebiegał podobnie jak w przypadku obróbki metali. Najstarszymi materiałami skrawającymi były stale narzędziowe zastąpione następnie stalami szybkoobrotowymi (HS). Dalszy rozwój przemysłu drzewnego i wzrastający udział trudniej obrabialnych tworzyw drzewnych doprowadził do szerokiego zastosowania węglików spiekanych (HW) a następnie diamentów

syntetycznych (DP) (Rys. 2).

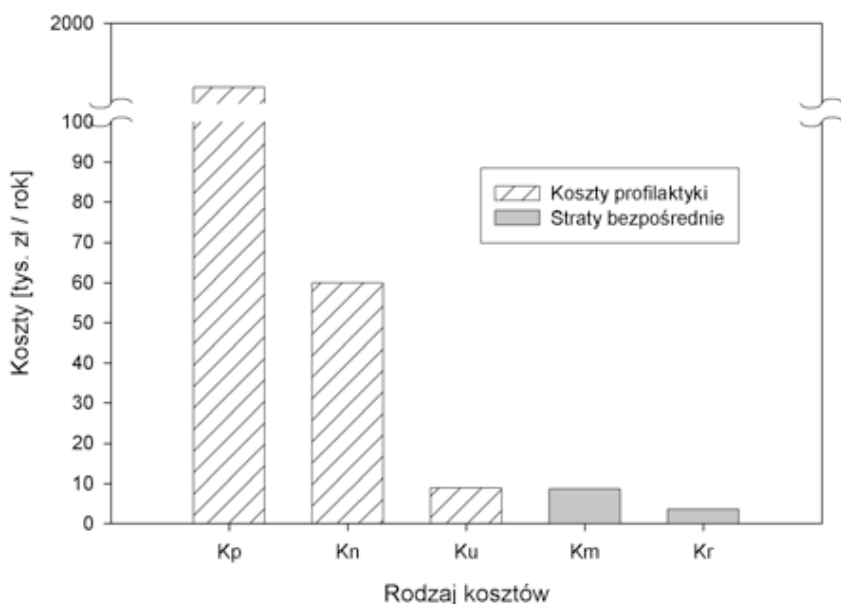
Ze względu na relację: materiał narzędzia – parametry geometryczne narzędzia – parametry procesu obróbki – cechy obrabianego drewna – materiały narzędziowe uznane w innych rodzajach przemysłu za archaiczne w obróbce drewna są stale wykorzystywane i trudne do zastąpienia. A stąd również w przeciwieństwie do obróbki metali narzędzia wykonane z ceramiki technicznej są w obróbce materiałów drzewnych właściwie nie znane.

## Narzędzia stalowe

Narzędzia stalowe pomimo szerokiego zastosowania twardych i super twardych materiałów skrawających są w dalszym ciągu stosowane w przemyśle drzewnym. Przykładowe narzędzia to noże skrawarek obwodowych, wiertła, profilowane płytki jednorazowe, piły taśmowe itp. Są to narzędzia, w których wyeliminowanie stali niskostopowych, stali szybkoobrotowych lub steliów ze względu na wymaganą geometrię narzędzi nie jest możliwe lub byłoby nieopłacalne. Zalety narzędzi stalowych to relatywnie niska cena i ze względu na właściwości fizyczne możliwość nadania im skomplikowanych geometrii. Twardość materiałów stalowych osiąga 900 HV10. Uszlachetnienie narzędzi stalowych zwiększających odporność ich roboczych powierzchni na obciążenia z punktu drzewnictwa jest jak najbardziej uzasadnione technologicznie i ekonomicznie.

## Materiały kompozytowe

Materiały skrawne kompozytowe stosowane w przemyśle drzewnym to szeroka paleta węglików spiekanych na bazie WC/Co. Są one obecnie podstawowym materiałem narzędziowym, choć w niektórych gałęziach przemysłu ustąpiły materiałom supertwardym (DP). Kompozyt węgla składa się z miękkiej kobaltowej fazy wiążącej (Co) odpowiedzialnej za elastyczne połączenie zawartych w niej twardych, odpowiedzialnych za odporność na zużywanie, związków węgla wolframu (WC). Właściwości skrawne węglików determinowane są przez udział i wielkość kryształów węgla



Rys. 1. Struktura kosztów ponoszonych przez badane przedsiębiorstwo

techniki Koszalińskiej zrealizował projekt wdrożeniowo-inwestycyjny w ramach programu INTERREG III A pt.: „Wdrożenie nowoczesnych technologii próżniowo – plazmowych w wytwarzaniu narzędzi do obróbki drewna i materiałów drewnopochodnych dla potrzeb przemysłu meblarskiego i leśno- drzewnego w Euroregionie Pomerania”. Realizatorzy Projektu zostali wyróżnie-

we Centrum Transferu Technologii Plazmowych”. Istnieje również silne wsparcie finansowe zamysłu w postaci środków w wysokości 9,3 mln PLN przyznanych Instytutowi na realizację Projektu pt.: „Hybrydowe technologie modyfikacji powierzchni narzędzi do obróbki drewna” w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka - Działania 1.3. „Wsparcie projektów B+R

znaczone gabaryty (szczególnie w przerobie pierwotnym), gwałtowne lokalne zmiany budowy i naprężenie wewnętrznych obrabianego materiału, twarde i kruche powłoki np. w płytach laminowanych itd. wymaga specjalistycznej wiedzy dotyczącej technologii obróbki materiałów drzewnych. Z uwagi na te specyficzne właściwości materiałów drzewnych, stosowane do ich ob-



wolframu. Uniwersalność węglików spiekanych wynika z możliwości zmiany właściwości mechanicznych, termicznych i chemicznych przez zmianę składu chemicznego, rozdrabnianie ziarna i pokrywanie powłokami. Ze względu na twardość i odporność termiczną węgliki dzieli się na grupy główne P, M, K oraz na podgrupy 01 do 50, przy czym ciągliwość węglików wzrasta, a twardość spada wraz ze wzrostem numeru grupy. W obróbce materiałów drzewnych stosowane są wyłącznie węgliki grupy K. Ciągłe i „miękkie” rodzaje K20/30 używane są do obróbki drewna lekkiego, twarde rodzaje K01/05 - do tworzyw drzewnych. W przypadku frezowania obrotowego płyt wiórowych stosowane są przeważnie płytki jednorazowe o kącie ostrza  $\beta=55^\circ$  wykonane z rodzaju K05. Udział fazy kobaltowej wiążącej kryształ węglika wolframu waha się w nim w przedziale 3-6%. Twardość powyższego materiału wynosi do 2000 HV10.

#### Diamant

Obecnie w dużych zakładach przemysłowych szerokie zastosowanie jako materiał skrawający znalazł diament polikrystaliczny (DP). Zaliczany jest on do grupy super-twardych materiałów niemetalicznych. Jego twardość osiąga wartość 81 GPa, a współczynnik przewodnictwa ciepła przy temperaturze 750K wynosi ok. 1200 W/mK. W narzędziach występuje on w postaci cienkich płytek nanoszonych na podkładkę wykonaną z węglika spiekane. Narzędzia wykonane z DP stosowane są przede wszystkim do obróbki trudnoobrabialnych materiałów drzewopodobnych na liniach produkcyjnych o wysokich prędkościach skrawania i posuwu.

#### Struktury ultra drobnociągnięte

W ostatnich latach duże zainteresowanie przemysłu wzbudziły struktury ultra drobnociągnięte (cząsteczki WC o średnicy 40,5µm). Ich zastosowanie zwiększa udział cząstek WC w jednostce objętości i ogranicza możliwość wyemywania kobaltowej fazy łączącej z kompozytu. W ten sposób uzyskiwane są węgliki o twardości osiągającej ponad 2000 HV10.

#### Znaleźć doskonale narzędzia

Kierunkiem rozwoju materiałów narzędziowych w celu znalezienia „idealnego narzędzia” jest połączenie wysokich wartości twardości z wysokimi wartościami ciągliwości, jak również poprawy mechanicznych, trybologicznych i termofizycznych właściwości materiału narzędzia (np. podniesienie współczynnika prze-

wodnictwa ciepła z ok. 80 do ponad 1500 W/mK), co prowadzi do wydłużenia żywotności narzędzi skrawających. Stąd w obróbce drewna i materiałów drewnopochodnych nastąpił znaczny postęp w technologii materiałowych modyfikacji narzędzi polegającej na powlekanii ich roboczych powierzchni ze stali narzędziowych i z węglików spiekanych cienkimi warstwami węglików, tlenków i azotków głównie tytanu (Ti), chromu (Cr) i glinu (Al). Badania prowadzone są również nad zastosowaniem jednowarstwowych powłok polikrystalicznego diamentu (DP) jak i DLC. Inną grupę badanych materiałów narzędziowych stanowią powłoki wielowarstwowe. Ostatnie opublikowane badania prowadzone nad powłokami Duplex (azotowanie plus CrN, azotowanie plus DLC), jak również nad powłokami CrAlN i ZrBN.

#### Testy i badania

Badania nad narzędziami uszlachtowanymi prowadzone są w jednostkach naukowych oraz w przemyśle. Oczywiście większą wiedzę można uzyskać na temat badań prowadzonych w jednostkach naukowych, której to źródłem są publikacje. Jeśli chodzi o badania w przemyśle, to brak jest oficjalnych doniesień ze względu na utajnienie badań. Co pewien czas pojawiają się pewne informacje na stronach internetowych firm czy na stoiskach firmowych prezentowanych na targach maszyn i narzędzi. Prawdopodobnie, nie ma natomiast producenta narzędzi, który nie spróbował uszlachtować narzędzi metodami próżniowymi. Były to jednak próby nie poparte wiedzą z badań podstawowych oraz wiedzą z zakresu drzewnictwa i stąd skazane na niepowodzenie.

Narzędzia powlekane nie znalazły w dalszym ciągu szerokiego zastosowania w praktyce przemysłowej w obróbce drewna. Ze względu na specyfikę drewna i materiałów drewnopochodnych doświadczenia z modyfikacji narzędzi skrawających szeroko stosowanych oraz wykorzystywanych do obróbki innych materiałów nie mogą być przeniesione do przemysłu drzewnego. Analizując wszystkie czynniki związane z trudnościami aplikacji powierzchniowych, materiałowych modyfikacji narzędzi w przemyśle drzewnym, można wyróżnić dwa podstawowe:

- niedostateczna adhezja powłok do materiału bazowego,
- zmiana właściwości materiału bazowego wynikająca z modyfikacji (np. zwiększenie jego kruchości).

Mając na względzie powyższe uwarunkowania oraz dotychczasowy po-

ziom rozwiązań praktycznych, należy stwierdzić, że opracowane w Instytucie Mechatroniki, Nanotechnologii i Techniki Próżniowej Politechniki Koszalińskiej warstwy przeciwzuzyciowe dla narzędzi do obróbki drewna na bazie związków tytanu, chromu i glinu w oparciu o nowoczesne technologie próżniowo - plazmowe stanowią znaczący wkład polskich naukowców w rozwój technologii obróbki drewna.

#### Ekonomiczność stosowania warstw przeciwzuzyciowych dla narzędzi do obróbki drewna

Z punktu widzenia przemysłu drzewnego, ścisłej ujmując odbiorców narzędzi, można wyróżnić dwa najistotniejsze elementy wymuszające konieczność poprawy własności skrawanych narzędzi:

- konieczność zwiększania wydajności,
- zróżnicowana jakość półfabrykatów.

Miarą wydajności produkcji w przypadku obróbki mechanicznej jest wielkość prędkości posuwu, oczywiście dla danej założonej jakości otrzymywanych wyrobów po obróbce. Rozwój konstrukcyjny obrabiarek umożliwia osiągnięcie ogromnych prędkości posuwu w przypadku obróbki drewna i materiałów drewnopochodnych. Prędkości w granicach 120 m/min należą do przeciętnie stosowanych, a już produkowane są obrabiarki osiągające 300 m/min. Obecnie stosowane materia-

ły powłoką odporną na tak wysokie obciążenie termiczne umożliwia zwiększenie zarówno prędkości posuwu, jak i żywotności narzędzia. Przeprowadzona analiza strat ujętych jako koszty produkcji wynikających ze zróżnicowanej jakości półfabrykatów w standardowym zakładzie produkującym meble przyniosła bardzo ciekawe rezultaty. Pogarszająca się jakość materiału podstawowego przy konieczności ciągłego podwyższania jakości wyrobów gotowych wymusza na przedsiębiorstwach zakup lepszej jakości, czyli dużo droższych półfabrykatów. Sumaryczne koszty eliminowania wadliwych elementów z produkcji, jak i koszty profilaktyki można obliczyć stosując poniższe równanie:

$$S = KM + KR + KU + KN + KP$$

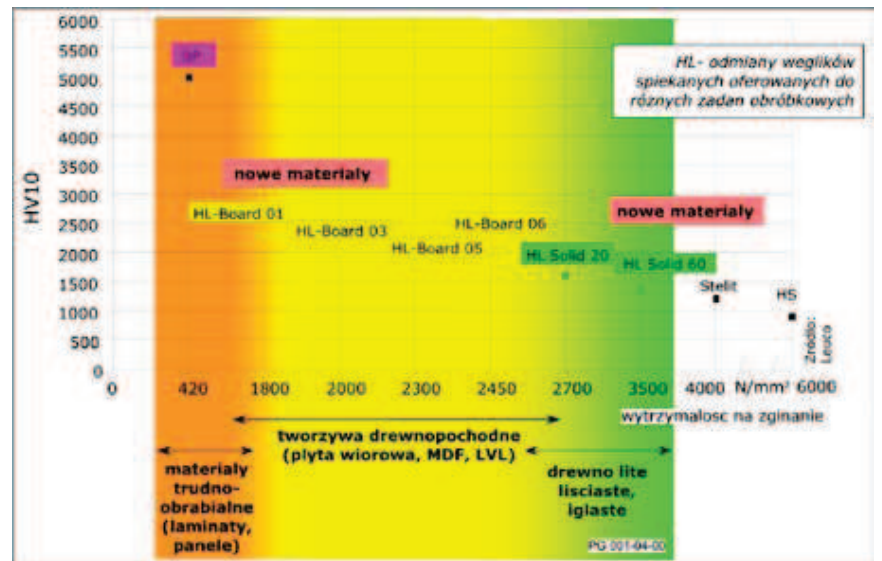
gdzie: KM- koszty materiałów ponownej produkcji, KR- koszty robocizny ponownej produkcji, KU- koszty stosowania zmniejszonych prędkości posuwu, KN- koszty narzędzi, KP- koszty używania płyt wyższej jakości (droższych).

Koszty materiałów ponownej produkcji oraz koszty robocizny ponownej produkcji są kosztami bezpośrednimi. Natomiast koszty stosowania zmniejszonych prędkości posuwu, koszty utrzymania narzędzi oraz koszty używania płyt wyższej jakości (droższych) są kosztami

to koszty bardzo istotne. W przypadku produkcji niskojakościowej lub obróbki pierwotkowej koszty te nie przekraczają 3%. Można zatem wyciągnąć wniosek, że zastosowanie ulepszonej modyfikowanych powłokami narzędzi umożliwi zmniejszenie strat (faktycznych i ukrytych) w najbardziej newralgicznych punktach w produkcji, a mianowicie poprzez: zastosowanie tańszych półfabrykatów, obniżenie kosztów związanych z narzędziami oraz zwiększenie prędkości posuwu.

#### Stopień przystosowania do transferu rozwiązań do zastosowań praktycznych warstw przeciwzuzyciowych narzędzi do obróbki drewna

Warstwy przeciwzuzyciowe dla narzędzi do obróbki drewna na bazie związków tytanu, chromu i glinu znalazły praktyczne zastosowanie w przedsiębiorstwach produkcji narzędzi do obróbki drewna oraz przedsiębiorstwach obróbki drewna. W chwili obecnej Instytut Mechatroniki, Nanotechnologii i Techniki Próżniowej Politechniki Koszalińskiej zajmuje się osadzaniem warstw przeciwzuzyciowych na bazie związków tytanu, chromu i glinu na narzędziach oferowanych przez czołowych polskich producentów narzędzi do obróbki drewna - firmy FABA Baboszewo oraz GOPOL Jarocin. Wprowadzenie do oferty przez pro-



Rys. 2. Mapa wykorzystania materiałów skrawanych stosowanych w przemyśle drzewnym i możliwe kierunki rozwoju.

ły narzędziowe pracują w określonych z praktyki zakresach prędkości posuwu. Prędkości tych ze względu na cechy materiałowe narzędzi nie można zwiększyć. Powierzchnie robocze narzędzi podczas pracy nie są obciążane równomiernie. Przykładem jest obciążenie termiczne, które w przypadku obróbki narzędziami obrotowymi, jak frezowanie czy struganie jest większe od strony powierzchni natarcia. Zbadana temperatura frezemu o ostrzu ze stali szybkoobrotowej (b=500) płyty pilśniowej suchoformowanej (MDF) przekracza 800 C w odległości 0,01mm od ostrza. Temperatura na samym ostrzu skrawającym ma jeszcze wyższą wartość. Stąd ochrona powierzchni natarcia przed ujemnym oddziaływaniem tempera-

ukrytymi, które nie są w przedsiębiorstwach analizowane i doceniane. A jak wynika z badań są one w bilansie zakładu najistotniejsze. Struktura analizowanych kosztów i ich wielkość w kolejności od najbardziej istotnych do najmniej przedstawiona została na rys. 1. Zdecydowanie największą część rozważanych tu kosztów generuje używanie płyt wyższej jakości, które stwarzają mniej problemów przy obróbce. Przy produkcji mebli w każdej wielkości przedsiębiorstwach, zużycie płyt jest na tyle wielkie, że nawet drobna różnica w ich cenie wywołuje spore różnice w bilansie przedsiębiorstwa. Bardzo interesujący jest wynik obliczeń kosztów związanych ze stosowanymi narzędziami. W przypadku produkcji wysokiej jakości są

ducentów narzędzi nowoczesnych, wysokowydajnych narzędzi do obróbki drewna wzmocni ich konkurencyjność na dynamicznie rozwijającym się rynku obrabiarek i narzędzi do obróbki drewna. W przypadku potencjalnych użytkowników narzędzi w sektorze drzewnym i meblarskim zastosowanie nowoczesnych narzędzi wpłynie na poprawę jakości obróbki, podwyższenie wskaźników wydajności materiałowej oraz obniżenie kosztów produkcji, co wpłynie na poprawę pozycji konkurencyjnej przedsiębiorstw.

*Projekt „Hybrydowe technologie modyfikacji powierzchni narzędzi do obróbki drewna”  
 Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka lata 2007-2013.*