



## Zastosowanie metalurgii proszków jako metody regeneracji powierzchni narzędzi ze stali szybko tnących oraz zwiększenia ich odporności na zużycie ścierne

K. Matus<sup>a</sup>, G. Matula<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Studenckie Koło Naukowe Metalurgii Proszków  
email: kaktusmwwr@gmail.com

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie  
email: grzegorz.matula@polsl.pl

**Streszczenie:** W artykule została przedstawiona metoda modyfikowania oraz regeneracji powierzchni narzędzi przeznaczonych głównie do obróbki ubytkowej. Scharakteryzowano najpowszechniejsze mechanizmy niszczenia narzędzi w czasie procesu skrawania. Wykonano studium literaturowe najpopularniejszych wykorzystywanych metod regeneracji. W wykonanych badaniach określono możliwość wykorzystania bezciśnieniowego formowania gęstw polimerowo-proszkowych do naprawy narzędzi skrawających.

**Abstract:** This article presents a method used to modify and regenerate the surface of tools designed primarily for waste machining. It characterizes the most common mechanisms of tools destruction appearing during the cutting process. Literature study of the most popular methods of regeneration has been performed. Laboratory tests determined the possibility of using pressureless forming of polymer-powders slurry for refitting cutting tools.

**Słowa kluczowe:** narzędzia skrawające, stale szybko tnące, regeneracja, metalurgia proszków, formowanie bezciśnieniowe

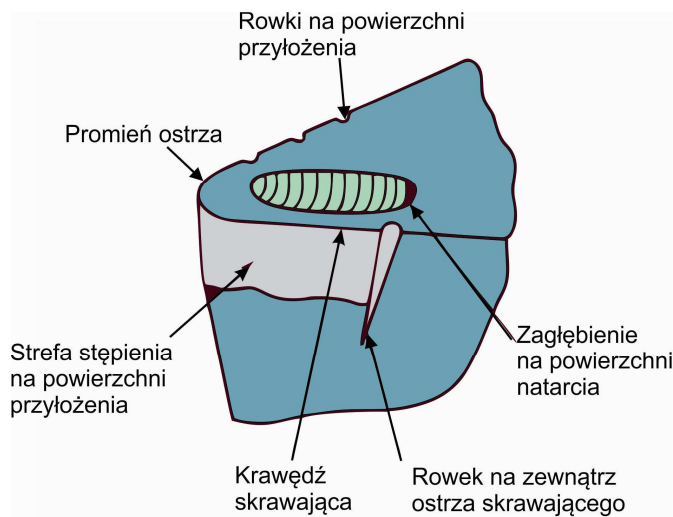
### 1. WSTĘP

Narzędzia skrawające wpływają na wydajność obróbki i jej koszt, ponadto muszą gwarantować odpowiednio wysoką jakość obrabianego przedmiotu. Wysoka jakość wykorzystywanych narzędzi skrawających pozwala na uzyskanie wysokiej dokładności obrabianych elementów i nadania im odpowiednich cech. Jednym z najpopularniejszych materiałów wykorzystywanych na narzędzia skrawające są stale szybko tnące. Wynika to z ich wysokiej ciągliwości, odporności na zginanie i relatywnie wysokiej twardości. Pozwala to na stosowanie ich do obróbki zgrubnej. Niska odporność na zużycie ścierne tych materiałów w porównaniu do węglików spiekanych i ceramiki narzędziowej nie pozwala na skrawanie z dużymi prędkościami. Temperatura powierzchni stali szybko tnących podczas pracy nie powinna przekraczać 600 °C. Powyżej tej temperatury wydzielają się węgliki  $M_6C$  i  $M_{23}C_6$ ,

które nie są koherentne z osnową martenzytyczną i nie umacniają jej tak jak węgliki dyspersyjne MC lub  $M_2C$ . Efektem tego jest spadek twardości i odporności na zużycie ściernie. Wysoki koszt wykonania narzędzi ze stali szybko tnących, wynikający z dużej ilości dodatków stopowych stosowanych w tych stalach oraz złożonej obróbki plastycznej i cieplnej powoduje, iż regenerowanie ich powierzchni staje się zasadne.

## 2. MECHANIZMY NISZCZENIA NARZĘDZI

W czasie procesu skrawania w zależności od prędkości skrawania, zastosowanego posuwu i grubości skrawanej warstwy, dominują różne typy zużycia. Zużycie ściernie i adhezyjne występuje głównie dla małych szybkości skrawania. Proces ścierania powierzchni natarcia narzędzia twardymi cząstkami z materiału obrabianego oraz adhezyjne szczepienie się wióra z narzędziem i następne wyłamanie fragmentu powierzchni natarcia, skutkuje powstaniem rowków i wyżłobień. Wraz ze zwiększającą się temperaturą procesu skrawania coraz większą rolę odgrywa zużycie dyfuzyjne tj. wzajemne przenikanie atomów narzędzia i materiału obrabianego. Zużycie chemiczno-ściernie występuje w przypadku stosowania cieczy chłodząco-smarujących - polega ono na tworzeniu powierzchniowych związków chemicznych na materiale ostrza w kontakcie z cieczą chłodzącą. Związki te są słabo związane z podłożem i łatwo ulegają ścieraniu. Duże prędkości skrawania powodują, że coraz większą rolę w procesie zużycia narzędzia odgrywa odkształcenie plastyczne i związane z nim zdefektowanie powierzchni natarcia i przyłożenia. Ponadto wyróżnia się również zużycie ciepłe, wywołane przekroczeniem temperatury skrawania. Na rysunku 1 przedstawiono schemat typowego zużycia narzędzia skrawającego [1-3].



Rysunek 1. Schemat zużycia noża tokarskiego [1]

Figure 1. Wear diagram of turning tool [1]

## 3. ZASADNOŚĆ REGENERACJI I JEJ PODZIAŁ

Wystąpienie uszkodzeń na powierzchni narzędzi skrawających obniża jakość obrabianych powierzchni oraz może skutkować niemożliwością przeprowadzenia dalszej obróbki uszkodzonym narzędziem. Spora część uszkodzeń możliwa jest do usunięcia w wyniku naprawy i regeneracji, przez co narzędzia w dalszym ciągu mogą być eksploatowane.

Do przeprowadzenia regeneracji wymagane jest zdiagnozowanie uszkodzenia i określenie możliwości jego usunięcia. Ocena potencjalnej regeneracji narzędzia wymaga podporządkowania się następującym wymaganiom [1-3]:

- wielkość możliwego do naprawy uszkodzenia jest ograniczona - w przypadku zbyt dużego uszkodzenia, dużej złożoności procedury regeneracyjnej oraz dużej czasochłonności naprawy, możliwe jest od niej odstąpienie,
- w przypadku spełnienia któregoś z wyżej wymienionych warunków wykluczających, przeprowadzenie złożonej naprawy jest dopuszczalne w przypadku dużej złożoności narzędzia lub braku możliwości zastosowania jego zastępstwa,
- w przypadku, gdy regeneracja narzędzia ze względów ekonomicznych jest nieopłacalna, możliwe jest zrezygnowanie z naprawy,
- duże naprawy i długie spodziewane opóźnienie w ich wykonaniu mogą być przyczyną rezygnacji z regeneracji.

Narzędzia, zwłaszcza skrawające, często są pokrywane odpowiednimi powłokami mającymi na celu zwiększenie odporności na ścieranie, umożliwienie stosowania cieszty chłodząco-smarujących lub podniesienie wydajności obróbki. Jako powłoki stosuje się np. TiN o kolorze złotym, których celem oprócz zapewnienia odpowiedniej odporności na ścieranie jest również umożliwienie w łatwy sposób oceny zużycia narzędzia. W przypadku uszkodzenia tylko nałożonej powłoki bez widocznego uszkodzenia materiału podłoża procedura regeneracji będzie następująca [3-5]:

- usunięcie powłoki w roztworach kwasów,
- ostrzenie narzędzia,
- ponowne nałożenie powłoki.

W przypadku uszkodzenia materiału podłoża narzędzia oprócz wyżej wymienionych kroków niezbędne jest wypełnienie powstałych braków. Istnieje kilka możliwości regeneracji narzędzi wykazujących ubytek. W przypadku niewielkiej straty materiału możliwe jest zastosowanie szlifowania, w celu usunięcia uszkodzonej warstwy wraz z powstałymi nierównościami i następne ponowne ostrzenie narzędzia. Większe ubytki ciągle możliwe są do usunięcia operacjami skrawania, w tym celu elementy poddaje się wyżarzaniu zmniejszającemu, obróbce skrawaniem i ponownej obróbce cieplnej. W przypadku znacznego ubytku materiału ta metoda jest niewystarczająca z powodu znacznej zmiany wymiarów narzędzia po regeneracji. W celu wypełnienia większych uszkodzeń najczęściej stosowane są metody spawalnicze, polegające na przetopieniowym połączeniu materiału narzędzia z nanoszonym materiałem wypełniającym. Jednak metody spawalnicze w celu przeprowadzenia odpowiedniej regeneracji wymagają posiadania oprzyrządowania spawalniczego, którego zakup tylko w celach regeneracyjnych może okazać się nieekonomiczny. Ponadto uzyskana w ten sposób warstwa zawiera kruchą eutektykę oraz duże węgliki, które nie zapewniają odpowiednich właściwości narzędzia. Występowanie strefy wpływu ciepła w warstwie przejściowej powoduje dużą niejednorodność wypełniania co skutkuje zmianami właściwości na przekroju elementu. Poprawienie tych wad może być technologicznie kłopotliwe zwłaszcza w przypadku elementów o skomplikowanym kształcie. Pod tym względem dużo bardziej atrakcyjna wydaje się metalurgia proszków, zwłaszcza wykorzystanie gęstwy polimerowo-proszkowej w celu wypełniania ubytków [4,6,7].

#### 4. REGENEROWANIE Z WYKORZYSTANIEM METALURGII PROSZKÓW

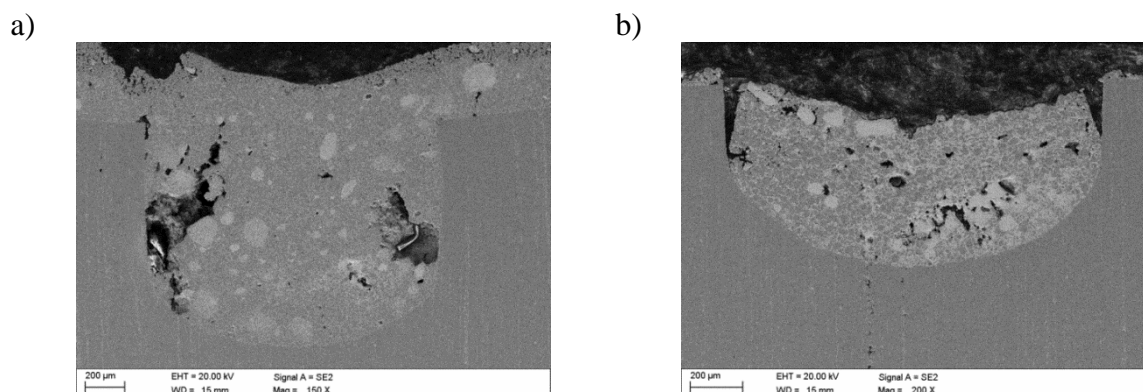
Wykorzystanie metalurgii proszków do celów regeneracji narzędzi wydaje się zwłaszcza pod względem ekonomicznym bardzo interesujące. Wynika to z jednej strony z szerokiej gamy materiałów, które mogą być w ten sposób formowane, jak również szerokiego wachlarza możliwości formowania proszków. Najbardziej obiecującą z technik formowania są metody bezciśnieniowe, do których zaliczamy m.in. [6,7]:

- metodę zanurzeniową,
- odlewanie gęstwy polimerowo-proszkowej,
- obsypywanie lepiszcza proszkiem,
- zraszanie powierzchni.

Wykorzystanie bezciśnieniowego formowania gęstwy polimerowo-proszkowej, umożliwia wykonanie regeneracji bez potrzeby posiadania oprzyrządowania spawalniczego.

Przygotowanie odpowiedniej mieszaniny do nakładania polega na zmieszaniu uplastycznionego lepiszcza z proszkiem stali szybko tnącej i/lub mieszaniną węglików. W roli lepiszcza możliwe jest wykorzystanie polimerów np. HDPE, PP lub parafiny. W przypadku niewystarczającej zwilżalności proszku przez lepiszcze lub zbyt dużej lepkości można zastosować środki powierzchniowo czynne w celu ich polepszenia np. kwas stearynowy. Dobrze przygotowana gęstwa, posiada wystarczająco niską lepkość do nakładania przy jak najmniejszym możliwym udziale lepiszcza. Po procesie formowania gęstwy polimerowo-proszkowej na regenerowanym materiale, niezbędny jest proces spiekania poprzedzony degradacją lepiszcza polimerowego. Dobrze przeprowadzony proces degradacji jest niezbędny w celu usunięcia polimeru z wnętrza formowanego materiału, ponieważ w temperaturze spiekania gazowe produkty rozpadu polimeru spowodują dużą porowatość wytworzonego wypełnienia. Zastosowanie hartownia z temperatury spiekania (sinterhardening), umożliwia nasycenie pierwiastkami stopowymi osnowy spieku, co wpływa na wydzielanie się dyspersyjnych węglików umacniających materiał w czasie odpuszczania odpowiedzialnych za efekt twardości wtórnej [2,6,7].

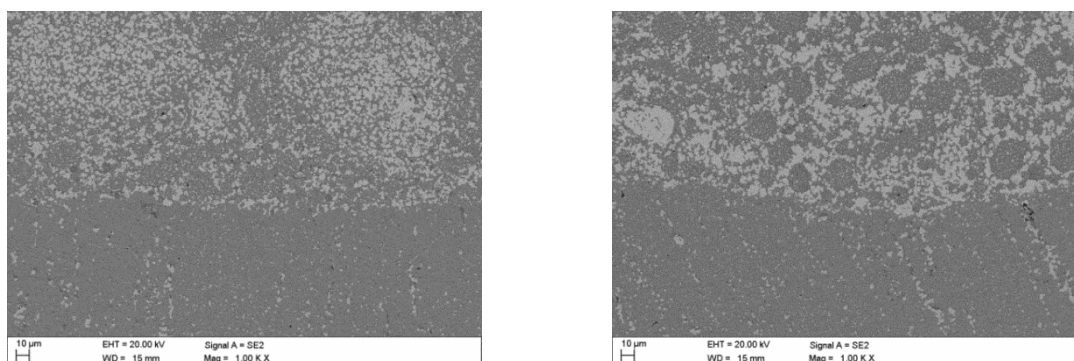
Badania wykonano na stali HS6-5-2, na którą nałożono w celach regeneracyjnych mieszaninę proszków stali szybko tnącej (HS12-1-5-5) i węglików (WC, TiC, NbC, TaC) z lepiszczem w postaci lakieru celulozowego lub parafiny. Na rysunku 2a przedstawiono regenerowaną powierzchnię po procesie spiekania. Struktura węglikostali wypełniającej ubytek materiału na powierzchni stali szybko tnącej jest niestety bardzo porowata. Dodatkowo charakteryzują ją skupiska węglików, które są najprawdopodobniej powodem niejednorodnej mieszaniny proszków stal-węgliki. Duże pory występujące w strukturze są powodem wysokiej lepkości gęstwy która podczas formowania nie wypełniła całkowicie rowka na powierzchni narzędzia. Duże sferyczne pory widoczne na rysunku 2b są wynikiem pęcherzy powietrza powstających w wyniku mieszania gęstwy i które nie są z niej uwalniane przed zastygnięciem lub polimeryzacją lepiszcza. Utworzenie pęcherzy było spowodowane zbyt dużą gęstością mieszaniny, w celu zmniejszenia jej gęstości niezbędnym jest zwiększenie udziału objętościowego rozpuszczalnika. Rysunek 3b przedstawia regenerowaną powierzchnię po procesie spiekania, w której wystąpił silny skurcz powodujący częściową dekohezję pomiędzy narzędziem i węglikostalą. Należy zatem stosować naddatek materiału w celu skompensowania skurczu. Naddatek ten może być usunięty podczas szlifowania w celu nadania regenerowanemu narzędziu pierwotnych kształtów i wymiarów. Wyniki badań dowodzą że wielkość skurczu zależna jest od zawartości lepisza, która w wykorzystanej gęstwie polimerowo-proszkowej wynosiła około 50 %.



Rysunek 2. Regenerowana powierzchnia narzędzia ze stali szybkoobrotowej, a) za dużą gęstość mieszaniny, b) skurcz po spiekaniu

*Figure 2. Regenerated high-speed steel tool surface, a) the high density of the mixture, b) shrinkage after sintering*

Na rysunku 3 przedstawiono strefę połączenia mieszaniny proszkowo-polimerowej z materiałem podłoża narzędzia, wysoka temperatura procesu spiekania umożliwiła dyfuzję atomów na duże odległości. Doprowadziło to do wystąpienia silnego dyfuzyjnego połączenia pomiędzy narzędziem a materiałem wypełniającym ubytek na całej długości regenerowanej powierzchni. Tego typu połączenie bez wyraźnych nieciągłości zmniejsza naprężenia i zapewnia większą jego trwałość.



Rysunek 3. Strefa połączenia pomiędzy materiałem osnowy a wypełnieniem

*Figure 3. Connection zone between the matrix material and the fulfillment*

Głównymi stosowanymi lepiszczami były parafina i lakier celulozowy, w przypadku zastosowania parafiny niezbędnym było jej podgrzanie do temperatury około 70 °C w celu wymieszania z proszkiem stali i węglików. Zapewnia to lepsze wymieszanie polimerowo-proszkowej gęstwy i jej niższą lepkość w czasie nakładania, jednak w tym celu niezbędne jest podgrzanie podłoża do podobnej temperatury co zapobiega zbyt szybkiemu stygnięciu gęstwy. Wytworzenie warstw gradientowych, z gęstw na bazie parafiny jest technologicznie utrudnione z uwagi na temperaturę procesu, w której warstwy nałożone wcześniej również są w stanie półpłynnym. Gęstwa oparta na lakierze celulozowym nie posiada tej wady, ponieważ jest płynna w temperaturze pokojowej, a kolejne warstwy można nakładać po odparowaniu rozpuszczalnika z lakieru co ułatwia proces ich nakładania. Zatem z technologicznego punktu widzenia jest to bardziej korzystne rozwiązanie, jednak niezapewniające tak dobrego

wymieszania węglików w gęstwie. Na rysunku 4 przedstawiono warstwę powierzchniową formowaną z gęstwy węglika wolframu i parafiny.



Rysunek 4. Widok warstwy powierzchniowej formowanej z gęstwy zawierającej proszek WC i parafinę

*Figure 4. Image of the surface layer formed from a slurry containing WC powder and paraffin*

## 5. PODSUMOWANIE

Regeneracja narzędzi wciąż pozostaje istotną częścią inżynierii materiałowej, odpowiednio dobrana i przeprowadzona regeneracja narzędzi skrawających pozwala w znacznym stopniu ograniczyć koszty związane z ich wymianą. Wykorzystanie osiągnięć metalurgii proszków stanowi interesującą alternatywę dla normalnie stosowanych metod naprawczych. Zastosowanie gęstwy polimerowo-proszkowej w celach regeneracji narzędzi jest możliwe. Wykorzystanie formowania bezciśnieniowego pozwala na odtworzenie pierwotnych kształtów narzędzia. Odpowiedni dobór składu gęstwy umożliwia w razie potrzeby zwiększenie odporności materiału na ścieranie przez zwiększenie objętościowego udziału węglików w najsilniej obciążonych i narażonych obszarach narzędzia. Może to skutkować mniejszą jego awaryjnością a w związku z tym mniejszymi przerwami w procesie produkcyjnym, które są nieuniknione w przypadku konieczności wymiany narzędzia.

## LITERATURA

1. L.A. Dobrzański, Podstawy kształtowania struktury i własności materiałów metalowych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
2. L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.
3. M. Wysięcki, Nowoczesne materiały narzędziowe stosowane w obróbce skrawaniem, WNT, Warszawa 1997.
4. T. Burakowski, T. W. Inżynieria powierzchni metali. WNT, Warszawa 1995.
5. M. Kupczyk, Inżynieria powierzchni Powłoki przeciwzużyciowe na ostrza skrawające, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008.
6. G. Matula, Gradientowe warstwy powierzchniowe z węglikostali narzędziowych formowane bezciśnieniowo i spiekane, Open Access Library, Volume 7 (13) (2012) 1-144.
7. L.A. Dobrzański, G. Matula, Podstawy metalurgii proszków i materiały spiekane, Open Access Library, Volume 8 (14) (2012) 1-156.