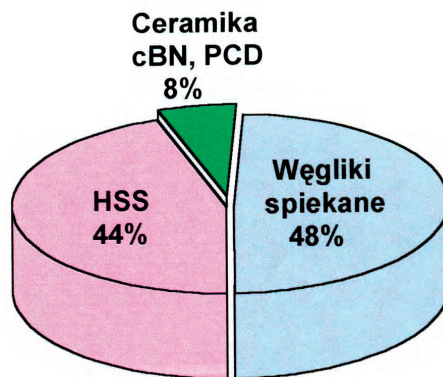


Magdalena Szutkowska, Lucyna Jaworska

Materiały ceramiczne przeznaczone na ostrza narzędzi skrawających i kierunki ich rozwoju

Techniczne możliwości tradycyjnych materiałów narzędziowych są już niewystarczające do rozwiązania wielu problemów obróbki skrawaniem, wobec czego sukcesywnie zastępuje się je nowymi, m.in. ceramicznymi materiałami narzędziowymi. Ocenia się, że stanowią one około 8% wszystkich stosowanych materiałów narzędziowych (ryc. 1) [1].

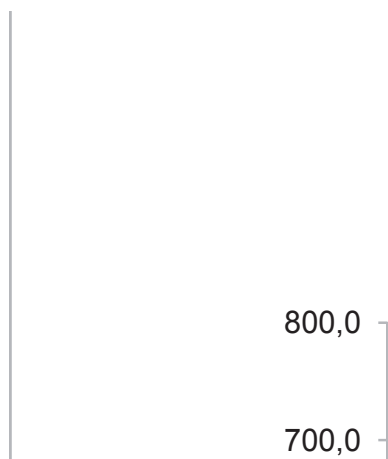


Ryc. 1. Udział materiałów narzędziowych stosowanych do obróbki skrawaniem wyrażony w procentach (HSS – stale szybko tnące, cBN – regularny azotek boru, PCD – polikrystaliczny diament) [1]

Jak widać na rycinie 1, w obróbce skrawaniem metali dominują nadal narzędzia ze stali szybko tnącej i węglików spiekanych, to jednak do celów specjalnych (do pracy narzędzi przy dużych szybkościach skrawania i szybkościach posuwu) stosuje się ceramiczne materiały narzędziowe. Narzędzia te odznaczają się dużą odpornością na zużycie ściernie i są przeznaczone do obróbki wiórowej szerokiego asortymentu materiałów, takich jak stal normalizowana i utwardzona, żeliwa i stopy specjalne. Umożliwiają one wydajną obróbkę wykańczającą materiałów, do której zwykle stosuje się szlifowanie. Zastępowanie pewnych operacji szlifowania poprzez wysokodokładną obróbkę skrawaniem w próbach toczenia, szczególnie

podczas obróbki bardzo twardych materiałów, to jeden z kierunków zmierzających do poprawy efektywności procesu obróbki mechanicznej. Przewiduje się, że tocznie skróci czas obróbki mechanicznej do 1/3 w porównaniu do szlifowania.

Pozwoli to na oszczędność energii i tańszy recykling wiórów toczenia w porównaniu z utylizacją zbędnego szlamu po szlifowaniu. Zainteresowanie ceramicznymi narzędziami spowodowane jest z jednej strony zanikającymi zasobami surowców wyjściowych, wolframu i kobaltu oraz związane z tym wysokie ceny w odniesieniu do tradycyjnie stosowanych narzędzi z węglików spiekanych, z drugiej zaś strony, dzięki opracowaniu nowych materiałów ceramicznych na bazie tlenku glinu o podwyższonej odporności na pękanie, nastąpił wzrost wydajności obróbki skrawaniem narzędziami ceramicznymi do 300% (dzięki wzrostowi szybkości skrawania do ponad 1000 m min⁻¹). Ponadto kobalt wywołuje alergie oraz niektóre rodzaje nowotworów i stanowi zagrożenie dla środowiska człowieka, stąd prace badawcze dotyczą ograniczenia zawartości kobaltu w narzędziach, zastąpienia go innymi rodzajami fazy wiążącej. Wprowadzie postęp w zakresie tworzenia nowych materiałów narzędziowych nie jest już tak spektakularny, jak w poprzednich dekadach, dużą wagę przywiązuje się jednak do opracowania nowych materiałów na bazie znanych wcześniej związków, a mianowicie drogą polepszania ich właściwości poprzez udoskonalenia technologii, modyfikację mikrostruktury i kombinację szeregu składników. Zastosowanie ceramicznych materiałów o dużej twardości, odporności chemicznej i odporności na ścieranie (także w temperaturach powyżej 1000°C) na narzędzia pozwoliło na unowocześnienie technologii obróbki skrawaniem. Najważniejszym jej osiągnięciem jest rozwój obróbki z wyższymi parametrami skrawania, obróbka „na sucho” bez użycia płynów chłodzących szkodliwych dla otoczenia, a także możliwość obróbki materiałów utwardzonych i zahartowanych. Stwarza to wymierne efekty ekonomiczne oraz korzyści ekologiczne. Wybór materiału przeznaczonego na ostrza narzędzi skrawających, szczególnie w przypadku dokładnej i wysokowydajnej obróbki, jest kompromisem pomiędzy materiałem o wysokiej odporności na ścieranie a jego odpornością na kruche pękanie. Na rycinie 2 przedstawiono zależność odporności na zużycie ścierne różnych materiałów narzędziowych w funkcji odporności na pękanie [2].



Ryc. 2. Odporność na zużycie ścierne i odporność na pękanie materiałów narzędziowych [2]

Materiały, z których można wykonać narzędzia skrawające, muszą charakteryzować się szeregiem właściwości zapewniających im długotrwałą eksploatację. Najistotniejszą ich cechą jest wysoka twardość i odporność na ścieranie, aby narzędzie nie wymagało częstej regeneracji. Niezbędną właściwością materiału skrawającego jest wysoka odporność na dynamiczne obciążenia i kruche pękanie. Te ostatnie zabezpieczają ostrze skrawające przed wykruszeniami (powstającymi np. z powodu niejednorodności właściwości obrabianego materiału czy niewystarczającej stabilności pracy wrzeciona obrabiarki). Z uwagi na nagrzewanie się narzędzia podczas pracy, materiał powinien zachowywać właściwości w szerokim zakresie temperatur. Z tego też względu korzystną cechą materiału jest wysoki współczynnik przewodzenia ciepła, gdyż nie we wszystkich przypadkach obróbki skrawaniem jest możliwe stosowanie cieczy chłodzących. Niemniej istotną cechą materiału narzędziowego jest odporność chemiczna, wykluczająca możliwość reakcji chemicznej z obrabianym materiałem, a tym samym jego korozyjne niszczenie. Oprócz wymienionych cech, materiały przeznaczone na ostrza skrawające powinny być obrabiane w efektywny sposób, zapewniający właściwy kształt i geometrię narzędziom.

Systematyka materiałów narzędziowych

Materiały narzędziowe stosowane w obróbce skrawaniem dzieli się na konwencjonalne, na bazie węglików spiekanych i azotków, i ceramiczne. W tabeli 1 przedstawiono ogólny podział materiałów narzędziowych.

Tab. 1. Ogólny podział materiałów narzędziowych [3, 4]

Materiały narzędziowe konwencjonalne	Materiały narzędziowe na bazie węglików spiekanych i azotków	Ceramiczne materiały narzędziowe
stale narzędziowe – węglowe stale szybko tnące	węgliki spiekane cermetale	ceramika narzędziowa materiały supertwarde

Powstające coraz to bardziej udoskonalone gatunki stali szybko tnących charakteryzują się zwiększoną twardością i lepszymi właściwościami skrawnymi, ostrza takie muszą być jednak chłodzone. Aby umożliwić pracę na sucho, na płytki ze stali nanoszone są odporne na ścieranie powłoki, np. z Al_2O_3 . Oddzielną grupę materiałów tworzą cermetale, które nie są przyporządkowane ani do węglików spiekanych, ani do ceramiki narzędziowej. Nazwa cermetale powstała z połączenia dwóch określeń: **ceramika** i **metal**. Pierwsze cermetale narzędziowe wyprodukowano już w 1931 roku (*Metallwerk Plansee*), nie znalazły one jednak szerszego zastosowania z powodu zbyt dużej kruchości i złego lutowania. Dzisiaj pod pojęciem cermetalu rozumie się cząstki ceramiczne, najczęściej TiC i TiN (ale także Mo_2C , TaC, WC, TaN i VC) w osnowie Co, Ni lub Mo [5]. Dzięki małemu powinowactwu do stali i odporności na utlenianie w podwyższonych temperaturach, cermetale wykazują znacznie lepsze właściwości skrawne z węglnikami spiekany. Cermetale są tańsze od węglików spiekanych i wykazują dużo większą trwałość, ich zastosowanie przynosi znaczne efekty ekonomiczne. Twardy składnik cermetalu tworzą przede wszystkim węglikoazotki tytanu, węglik tytanu i węglik molibdenu, zaś nikiel lub nikiel/kobalt, jako

metalowa faza wiążąca, zapewniają pożądane zwilżanie węglików i innych stosowanych związków ceramicznych, stabilne wiązanie ziaren i niezbędną ciągliwość, przy czym jednak zawartość Co zwiększa zużycie ściernie. Związki z układu Ti-N wykazują wysoką termodynamiczną stabilność i małą skłonność do reagowania ze stopami żelaza. Węglik tytanu podwyższa twardość i odporność na zużycie, ale ze wzrostem jego zawartości maleje ciągliwość. TaC poprawia odporność na naprężenia cieplne. Należy podkreślić, że ponad połowa płytek wymiennych stosowanych w przemyśle japońskim to płytki z cermetali [6]. Początkowo cermetale miały małą ciągliwość i wymagały obrabiarek o dużej sztywności, obecnie ten warunek nie musi być spełniony, ponieważ nowe gatunki cermetali mają wyższą ciągliwość. Firma SUMITOMO ELECTRIC oferuje bardzo duży wybór płytek wymiennych, zapewniający wysoką jakość powierzchni obrobionej i niewielkie opory skrawania.

Następną generację cermetali narzędziowych wyprodukowano w latach 50. XX wieku w firmie Ford Motor Co. W tych cermetach narzędziowych jako fazę twardą wykorzystano TiC z Mo_2C , a jako fazę wiążącą zastosowano nikiel [7].

Materiały ceramiczne stosowane na narzędzia skrawające

Po materiałach funkcjonalnych, dla urządzeń szeroko pojętej elektroniki najważniejsze pod względem znaczenia materiałów ceramicznych są zaawansowane ceramiczne materiały konstrukcyjne, pozwalające w wielu przypadkach sprostać wymogom pracy w trudnych warunkach eksploatacyjnych [8].

Do głównych wyrobów ceramicznych, w przypadku których wykorzystuje się odporność na zużycie, należą m.in. narzędzia dla obróbki skrawaniem metali. Stosuje się je najczęściej w postaci trójkątnych lub kwadratowych płytek mocowanych w uchwycie narzędziowym. Podczas skrawania metali konieczne jest wytworzenie w metalu wysokich naprężeń ścinających w pobliżu ostrza narzędzia skrawającego, stąd materiał, z którego wykonuje się narzędzie, musi być bardzo odporny na odkształcenie plastyczne i charakteryzować się wysoką twardością. Odkształcenie metalu powoduje silny wzrost temperatury i narzędzie musi także odprowadzać ciepło (ryc. 3).



Ryc. 3. Temperatury skrawania: a) rozkład temperatur w strefie skrawania, b) dopuszczalna temperatura skrawania różnych materiałów narzędziowych [9]

Z tego względu narzędzie skrawające powinno charakteryzować się wysokim przewodnictwem cieplnym oraz niskim współczynnikiem rozszerzalności, gdyż pozwala to na uzyskanie dużej odporności narzędzia na gwałtowne zmiany temperatury (odporność na wstrząsy cieplne). Jest to istotne dla obróbki skrawaniem odbywającej się w sposób nieciągły, gdy narzędzie przejściowo ochładza się. Niewątpliwą zaletą materiałów ceramicznych jest zachowanie ich dobrych właściwości mechanicznych do wysokich temperatur przy dużych szybkościach obróbki skrawaniem w warunkach pracy, w których wydziela się znaczne ciepło i podnosi się silnie temperatura układu.

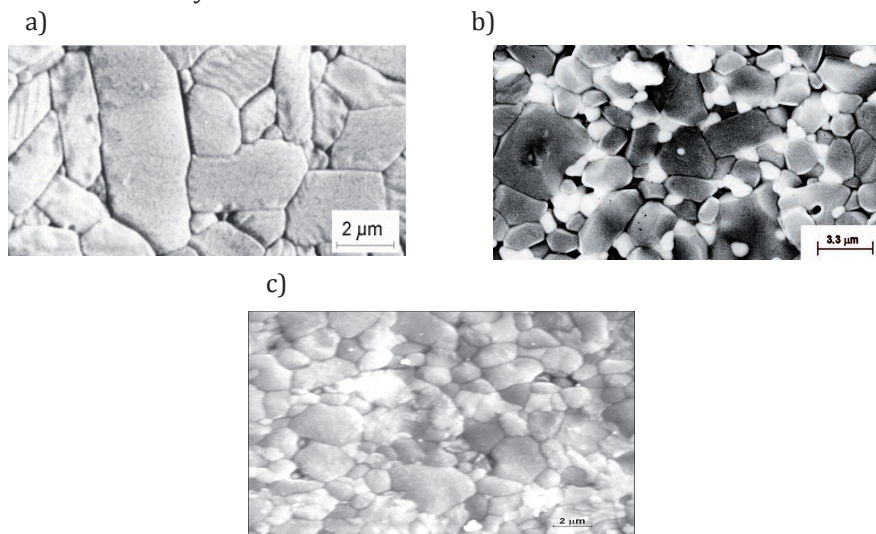
Wyróżnia się następujące grupy ceramicznych materiałów narzędziowych [10]:

- ceramika tlenkowa (Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$),
- ceramika mieszana (Al_2O_3 z dodatkami ZrO_2 , TiC, TiN lub Ti(C,N) w tym ceramika umocniona wiskerami lub monokryształami płatkowymi, najczęściej SiC),
- ceramika azotkowa - Si_3N_4 z dodatkami ułatwiającymi spiekanie oraz SiAlON,
- materiały supertwarde - diament i regularny azotek boru.

Ceramiczne materiały narzędziowe charakteryzują się następującymi właściwościami: małą przewodnością cieplną i elektryczną, małą gęstością, dużą wytrzymałością w wysokich temperaturach, wysoką wartością współczynnika sprężystości wzdłużnej, dużą odpornością na zużycie ściernie, dużą odpornością na korozję chemiczną, wysoką temperaturą mięknięcia i topnienia.

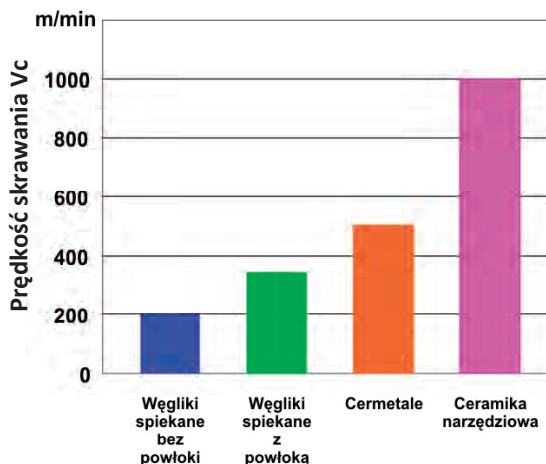
Narzędzia z ceramiki na bazie tlenku glinu odznaczają się dużą odpornością na zużycie ściernie i są przeznaczone do obróbki wiórowej szerokiego asortymentu materiałów, takich jak stal znormalizowana i utwardzona, żeliwa i stopy specjalne. Umożliwiają one wydajną obróbkę wykańczającą materiałów, do której zwykle stosuje się szlifowanie. Przy wielu zaletach spiekanych materiałów ceramicznych na bazie tlenku glinu, takich jak odporność chemiczna, stabilność w atmosferze obojętnej i utleniającej, a także odporność na ścieranie, dostępność surowców, stosunkowo prosta i tania technologia, znaczna kruchość i zmęczenie cieplne ograniczają ich szersze zastosowanie w przemyśle narzędziowym. Celem zwiększenia odporności na pękanie tych materiałów wykorzystuje się technikę dyspersji cząstek „drugiej” fazy o znacznej różnicy współczynnika rozszerzalności cieplnej w stosunku do materiału matrycy. Prowadzone badania nad zjawiskiem wzmacniania transformacyjnego kompozytów ziarnistych typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ potwierdziły skuteczność tego działania. Do najbardziej rozpowszechnionych należy grupa kompozytów ziarnistych zawierających w kruchej osnowie Al_2O_3 dyspersyjne cząstki ZrO_2 w ilości 3–15%. Podczas chłodzenia od temperatury spiekania w zakresie temperatur 1473–1273 K, ZrO_2 podlega bezdyfuzyjnej martenzytycznej przemianie odmiany tetragonalnej w trwałą odmianę jednoskośną. Zmianom strukturalnym ZrO_2 towarzyszy około 9-procentowy wzrost objętości. Temperatura przemiany polimorficznej zależy od wielkości cząstek i jest tym niższa, im mniejsze są cząstki ZrO_2 . Cząstki ZrO_2 , mniejsze od pewnej wielkości krytycznej (ok. 0,5 μm), utrzymują nawet w temperaturze otoczenia budowę tetragonalną. Stosując cząstki ZrO_2 o określonej średnicy oraz/lub częściową stabilizację dodatkami CaO, MgO, Y_2O_3 , można otrzymać ceramikę tlenko-cyrkonową o zwiększonej o nawet 40% odporności na pękanie i wytrzymałości

na zginanie w porównaniu z czystą ceramiką tlenkową. Jak wykazały badania, dodatek 10% masy ZrO_2 powoduje dwukrotny wzrost odporności na pękanie, 70-procentowy wzrost wytrzymałości na zginanie oraz wyraźny spadek ścieralności [11]. Dyspersyjne umocnienie ceramiki tlenkowej poprzez dodatki TiC i/lub TiN ma na celu przede wszystkim zwiększenie ciągliwości tego materiału. Jednocześnie dzięki dużej twardości dodatków TiC i TiN obserwuje się wzrost twardości kompozytu o około 10% w porównaniu z twardością ceramiki tlenkowej [12]. Mikrostrukturę spieków ceramicznych na osnowie tlenku glinu: tlenku glinu $\alpha-Al_2O_3$ trawionego termicznie, kompozytu ziarnistego $Al_2O_3-10\%$ mas. ZrO_2 i kompozytu $Al_2O_3/TiC+TiN$ przedstawiono na rycinie 4.



Ryc. 4. Mikrostruktura spieków ceramicznych na osnowie tlenku glinu: a) tlenku glinu $\alpha-Al_2O_3$ trawionego termicznie, b) kompozytu ziarnistego $Al_2O_3-10\%$ mas. ZrO_2 , c) kompozytu $Al_2O_3/TiC+TiN$ (próbka trawiona termicznie w próżni) [8, 13]

Zwiększona twardość ma szczególne znaczenie przy termicznym obciążaniu ostrza w zakresie od temperatury otoczenia do około 1070 K, ponieważ przy dobrej ciągliwości prowadzi to do dalszego wzrostu odporności na zużycie ścierne i erozyjne. Wytwarzanie kompozytu $Al_2O_3/TiC+TiN$ wiąże się z pewnymi trudnościami, wymaga bowiem stosowania wyższych temperatur spiekania w atmosferze nie utleniającej. Kompozyt $Al_2O_3/TiC+TiN$ wykazuje dużą stabilność termodynamiczną. Dzięki małej rozszerzalności cieplnej, a także dobrej przewodności cieplnej, ceramika mieszana wykazuje znaczną odporność na szoki termiczne. Stosowanie narzędzi z ceramiki mieszanej w obróbce skrawaniem umożliwia w wielu przypadkach zastąpienie operacji szlifowania i to przy niższych kosztach narzędzia i większej wydajności produkcji [13]. Stosuje się je do obróbki wykańczającej i średniodokładnej żeliw, stali ulepszonych cieplnie (do twardości 58 HRC) i żeliw utwardzonych. Nie są przydatne do obróbki wysokostopowych stali żaroodpornych oraz stopów aluminium. Porównanie prędkości skrawania dla różnych materiałów narzędziowych przedstawiono na rycinie 5. Ceramika narzędziowa umożliwia skrawanie materiału z maksymalną prędkością do ponad 1000 m/min.



Ryc. 5. Porównanie prędkości skrawania dla różnych materiałów narzędziowych [12]

Silne kowalencyjne wiązania zapewniają azotkowi krzemu dużą wytrzymałość, dużą twardość i odporność na utlenianie, dobrą przewodność cieplną i odporność na szoki termiczne. Te doskonałe właściwości, które azotek krzemu zachowuje również w wysokich temperaturach, ulegają znacznemu ograniczeniu na skutek dodatków niezbędnych w procesie spiekania. Dodatki, najczęściej MgO lub Y_2O_3 , w połączeniu z warstewką tlenków SiO_2 pokrywających cząstki Si_3N_4 prowadzą do utworzenia tzw. fazy szklistej. Faza ta ułatwia spiekanie pod ciśnieniem zewnętrznym, przyczyniając się do otrzymania dobrze zagęszczonych spieków. Jednakże równocześnie obecność fazy szklistej oddziałuje niekorzystnie na właściwości ceramiki azotkowej w wysokiej temperaturze, zwłaszcza przy skrawaniu stali tworzącej wiór wstęgowy. Powstający w temperaturze powyżej $1200^\circ C$ krzemek żelaza prowadzi do intensyfikacji zużycia chemicznego i w efekcie do szybkiego stępienia ostrzy przy skrawaniu stali. W celu zmniejszenia szybkości przebiegu przyspieszonych procesów zużycia chemicznego, występującego przy obróbce bogatych w żelazo stopów, produkowane są płytki narzędziowe z ceramiki Si_3N_4 pokryte cienką warstwą Al_2O_3 (o grubości do $1 \mu m$). Termodynamicznie stabilne warstwy Al_2O_3 stanowią barierę dyfuzyjną pomiędzy płytką narzędziową i spływającym po niej wiórem, zwiększając zasadniczo odporność płytki na zużycie – przykładem jest materiał WIDIANIT CN-100 (firmy Krupp Widia) [6, 12]. Dobre właściwości skrawne ceramiki azotkowej Si_3N_4 , podobnie jak w przypadku ceramiki tlenkowej mogą być polepszone przez wprowadzenie dodatków ZrO_2 , TiN lub whiskerów SiC. To korzystne oddziaływanie wymienionych dodatków polega na wzroście twardości, ciągliwości i odporności na zużycie ceramiki Si_3N_4 [7]. Umocnienie ceramiki Si_3N_4 whiskerami SiC pozwala na 3-krotne zwiększenie trwałości narzędzia [6]. Oczywiście poprawy właściwości wytrzymałościowych ceramiki Si_3N_4 dokonuje się także poprzez zastosowanie submikroproszków [14, 15].

Spieki na bazie azotku krzemu wykazują ciągliwość podobną do węglików i odporność temperaturową charakterystyczną dla tlenków. Rozszerza to zakres ich zastosowań i pozwala je stosować m.in. do obróbki zgrubnej i półwykańczającej odlewów żeliwnych toczeniem i frezowaniem, jak też obróbki stopów specjalnych

o wysokiej zawartości niklu (CC690, f-my COROMANT) [6, 16]. W ofercie firmy COROMANT pojawił się nowy gatunek czystego azotku krzemu CC6090 przeznaczony do obróbki żeliwa szarego z dużymi prędkościami skrawania. Natomiast płytki skrawające z podłożem z Si_3N_4 oraz warstwą TiN, np. materiał GC1690 (firmy COROMANT) zalecane są do obróbki zgrubnej, średniodokładnej i wykańczającej żeliw [16]. Zastosowanie tego materiału umożliwia znaczne skrócenie głównego czasu skrawania, zarówno przy toczeniu, jak i frezowaniu przy prędkościach większych od 1000 m/min, niemożliwych do uzyskania przy obróbce płytkami z węglików spiekanych lub materiałów tlenkowych czy tlenkowo-węglkowych. Ważnymi cechami azotku krzemu są duża przewodność cieplna i bardzo mała rozszerzalność cieplna. Umożliwia to chłodzenie cieczą narzędzi z tego tworzywa podczas skrawania, co jest niemożliwe przy zastosowaniu węglików spiekanych lub tlenkowych materiałów ceramicznych [17].

Firma Lucas Cookson Syalon Ltd pierwsza podjęła produkcję materiału będącego roztworem stałym Al_2O_3 w Si_3N_4 . Al i O_2 mogą zastępować część Si i N_2 w azotku, co pozwala zwiększyć stabilność chemiczną i ułatwia spiekanie. Skład chemiczny β' -SiAlONu jest następujący: $\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_2\text{N}_{8-z}$, gdzie z oznacza poziom zastępowania Si przez Al, o maksymalnej wartości do 4,5 [18]. Właściwości mechaniczne i fizyczne β' -SiAlONu są zbliżone do właściwości Si_3N_4 , właściwości chemiczne odpowiadają z kolei Al_2O_3 . SiAlON może syntezować w różny sposób, np. przez wzajemną selekcję Si_3N_4 , Si, Al_2O_3 i AlN. Metoda firmy Lucas zaleca mieszanie proszków Si_3N_4 z Al_2O_3 i Y_2O_3 oraz innymi dodatkami, które odgrywają rolę fazy ciekłej w procesie spiekania [18].

Dostępnych jest kilka gatunków SiAlONów:

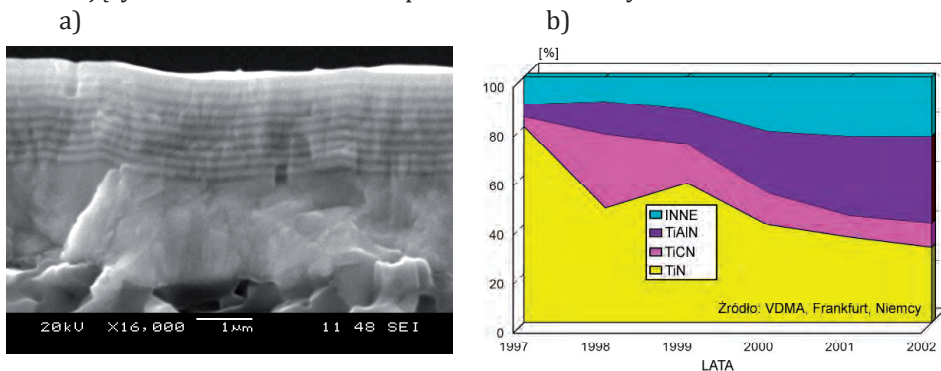
- SiAlON inżynierski, stosowany w ceramice konstrukcyjnej i narzędziowej,
- SiAlON ogniotrwały.

Uważa się, że lepsze właściwości mechaniczne posiada SiAlON o niskim stopniu podstawienia $<0,8$ i SiAlON, w którym ziarna β wiązane są krystaliczną fazą międzyziarnową, np. granatem itrowo-glinowym, lub SiAlON, w którym atomy metalu, np. itru, magnezu, wapnia, wbudowane są w sieć krystaliczną SiAlON-u, tworząc α' -SiAlON [19]. Wprowadzenie do spieku β' -SiAlON-u dodatków innych tlenków, np. Y_2O_3 , jest korzystne ze względów technologicznych, gdyż powoduje to zmniejszenie prężności par i decyduje o obniżeniu temperatury topnienia SiAlON-u. Niższa temperatura spiekania umożliwia zachowanie struktury drobnoziarnistej, a przez to podwyższenie właściwości wytrzymałościowych spieku. Wpływa jednocześnie na zmniejszenie odporności na utlenianie i sprzyja przyspieszonemu rozpadowi roztworu w wysokiej temperaturze. Z cieczy powstałej w przestrzeniach międzycząsteczkowych podczas zagęszczania SiAlON-u z dodatkiem Y_2O_3 w wysokiej temperaturze podczas chłodzenia powstaje szkło. Powtórna obróbka cieplna takiego spieku w temperaturze 1400°C powoduje przebieg reakcji z osnową, a w wyniku tej reakcji na granicach ziaren powstaje $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ nazywany granatem itrowo-aluminiowym, w skrócie oznaczany YAG. Występowanie tego związku bardzo efektywnie poprawia odporność SiAlON-u na utlenianie i poprawia odporność na pękanie [17].

SiAlON charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami mechanicznymi w niskich i w wysokich temperaturach do 1300°C, wysoką twardością, dużą odpornością na pękanie, niskim współczynnikiem tarcia oraz niskim współczynnikiem rozszerzalności.

Narzędzia wykonane z SiALON-u z powodzeniem są stosowane do toczenia i frezowania stali i stopów trudnoobrabialnych, m.in. żeliwa, stali ulepszonej cieplnie, stopów niklu, tytanu i aluminium oraz stopów wysoko żarowytrzymałych. Wydajność skrawania przy użyciu SiALON-u jest znacznie większa niż w przypadku zastosowania innych materiałów ceramicznych lub węglików spiekanych pokrywanych wielowarstwowo. Stwierdzono przy tym, że zużycie narzędzi zmniejsza się ze wzrastającą prędkością skrawania [15].

Osobną grupę materiałów narzędziowych stanowią płytki wieloostrowe z twardymi warstwami powierzchniowymi nanoszonymi różnymi technikami, głównie metodą PVD (*Physical Vapour Deposition*, fizyczne osadzanie z fazy gazowej) oraz CVD (*Chemical Vapour Deposition*, krystalizacja chemiczna z fazy gazowej) – rycina 6a. Zmiany udziału w rynku podstawowych rodzajów powłok na narzędziach skrawających w latach 1997–2002 przedstawiono na rysunku 6b.



Ryc. 6a. Zdjęcie przełomu powłoki wielowarstwowej Ti-Zr-N / 10x (TiN/ZrN) na ceramicznej płytce skrawającej typu TACN [20]. **Ryc. 6b.** Zmiany udziału w rynku podstawowych rodzajów powłok na narzędziach skrawających w latach 1997–2002 [21]

Zastosowanie wielowarstwowych powłok PVD w skali nano zapewnia: stabilność geometrii ostrzy i ich równomierne zużywanie się spowodowane optymalnym stosunkiem twardości do naprężeń własnych, obróbkę na sucho z większymi prędkościami, mniejsze zużycie żłobkowe na skutek wyższej wytrzymałości termicznej i chemicznej powłok, lepsze formowanie się wióra, wyższą jakość obrobionej powierzchni w wyniku polepszenia właściwości ślizgowych oraz większą odporność na zużycie (zmniejszone koszty narzędzia). Warstwami nanoszonymi na płytki skrawające są złożone powłoki, odporne na utlenianie, warstwy mikrokryształiczne i nanokryształiczne oraz warstwy diamentowe. Całkowicie nowymi rozwiązaniami powłok, np. do obróbki na sucho, są ponadazotki (*supernitrides*) ze „smarowaniem in situ”. Te nowej generacji materiały powłokowe – nieprzewodzące tytanowo-glinowe azotki, ze skrajnie dużym udziałem glinu i bardzo drobnokryształiczną strukturą – skutecznie przeciwdziałają tworzeniu się narostów na ostrzu i przyklejaniu się wiórów do przedmiotu. Mają dużą wytrzymałość cieplną i twardość w podwyższonych temperaturach, jak też wysoką odporność na utlenianie i ścieranie. Powstające w procesie obróbkowym ciepło wytwarza na powierzchni powłoki produkty reakcji o bardzo dobrych właściwościach ciernych, wyzwalające efekt samo-smarowania. Nową grupę narzędzi i materiałów narzędziowych stanowią narzędzia

przeznaczone do submikro- i nanoobróbki. Są to narzędzia wykonywane np. z monokryształów diamentu – charakteryzujące się niezwykłą dokładnością i precyzją wykonania ostrza. Żaden ze znanych materiałów, przeznaczonych na narzędzia skrawające, nie spełnia wszystkich wymagań stawianych ostrzom. Najbliższe ideału są materiały supertwarde: diament monokrystaliczny i polikrystaliczny oraz polikrystaliczny regularny azotek boru z metaliczną i niemetaliczną fazą wiążącą. Diament, najtwardszy spośród wszystkich naturalnych i syntetycznych materiałów, charakteryzuje się najwyższym przewodnictwem cieplnym ale jego wadą jest kruchość i brak odporności na działanie temperatur przekraczających 970 K i na utlenianie. Ostrza diamentowe wytwarzają jakościowo lepsze powierzchnie, zmniejszają natężenie hałasu podczas obróbki i pozwalają na stosowanie znacząco większych prędkości skrawania [10]. O wyborze materiału na ostrze narzędzia skrawającego decydują następujące kryteria [22, 23]:

- trwałość ostrza – przy ustalonych parametrach skrawania określonego materiału, zastosowanie narzędzia z materiału o większej odporności na zużycie przyczynia się do wzrostu trwałości ostrza,

- właściwości materiału obrabianego – skład chemiczny i właściwości materiału skrawanego wpływają na intensywność zużycia ostrza, co jest związane z jego trwałością i wydajnością obróbki; z tego względu do skrawania materiałów o większej twardości i wytrzymałości, a przede wszystkim ścieralności, dobiera się materiały narzędziowe bardziej odporne na zużycie; twardość materiału ostrza powinna być co najmniej o 30 HRC większa od twardości materiału obrabianego,

- rodzaj obróbki – z rodzajem obróbki (zgrubna, średnio dokładna i dokładna) związane są parametry skrawania. Ponieważ prędkość skrawania ma największy wpływ na temperaturę skrawania i trwałość ostrza, dlatego przy zmianie rodzaju obróbki od zgrubnej do dokładnej zalecane jest stosowanie innych gatunków materiałów narzędziowych, wykazujących zwiększoną odporność na zużycie w trudniejszych warunkach pracy narzędzia,

- względy techniczno-ekonomiczne – wykonanie ostrza z tańszego lub droższego materiału powinno być rozpatrywane na tle ogólnych kosztów jego wykonania i eksploatacji; koszt materiału narzędzia stanowi tylko niewielką część całkowitego kosztu jego wykonania,

- względy ekologiczne.

Kierunki rozwoju ceramicznych materiałów narzędziowych

Rozwój cywilizacji narzuca konieczność nowych rozwiązań. Bierze się pod uwagę nowe czynniki, na które do chwili obecnej nie zwracano uwagi. Podstawowym czynnikiem jest oczywiście zdrowie i środowisko człowieka. Pewne rodzaje materiałów były i są stosowane pomimo ich szkodliwości, z powodu braku zamienników. Prace badawcze zmierzają w kierunku otrzymania uniwersalnego materiału narzędziowego lub projektowania materiałów i narzędzi przeznaczonych do obróbki ściśle określonych tworzyw. Cele te realizowane są kilkoma drogami zgodnymi z ogólnymi tendencjami pojawiającymi się w technologiach materiałów i ich wytwarzania, a są to:

- opracowanie nowych lub modyfikacja istniejących metod wytwarzania i przygotowywania proszków (w tym otrzymywanie i zastosowanie nanoproszków),

- modyfikacja i optymalizacja składu chemicznego (np. wykorzystanie spiekania reakcyjnego czy nowoczesnych związków, takich jak dwuborek tytanu),
- opracowanie nowych metod zagęszczania proszków,
- doskonalenie technik pokrywania powierzchni twardymi warstwami przeciwzużyciowymi.

Bibliografia

- [1] Gorham Cutting Tools Conference 51. Metal Powder Report, 1996, pp. 10–12
- [2] Riedel R., *Handbook of Ceramic Hard Materials*. I.1,2 Wiley-Vch., 2000
- [3] Oczóś K.E., *Postęp w Obróbce Skrawaniem III. Obróbka materiałów twardych i utwardzonych*, Mechanik, 7, 1998, pp. 419–426
- [4] Bruchhas T, Hagemeyer C., *Neue einsatzgebiete der Keramische Werkstoffe beim BTA-Tiefbohren*, 46, p. 321
- [5] Smuk B., Walter J., „Badania nad opracowaniem materiału narzędziowego z udziałem faz azotowych”. Prace IOS, Seria Spraw., 7881 IOS, 1993
- [6] Gałązka M.-Dahlke, *Wpływ pokryć na zwiększenie odporności na zużycie narzędzi skrawających. Cz. I Przegląd nowoczesnych materiałów narzędziowych*, Zeszyty Politechniki Białostockiej 1996, Nauki Techniczne, 107, Mechanika, z. 16, 1996, s. 219–228
- [7] Sglavo M., Bosetti P., *Fracture toughness of SiC whiskers reinforced silicon nitride at various temperatures*. Ceramics Getting into the 2000's Part C, Techna 1999, pp. 739–746
- [8] Szutkowska M., *Odporność na pękanie spieków ceramicznych stosowanych na ostrza narzędzi skrawających*, PIOS seria Zeszyty Naukowe, 85, 2005
- [9] Jemieliński K., *Obróbka skrawaniem*, WPW, 2004
- [10] Jaworska L., *Diament – otrzymanie i zastosowanie w obróbce skrawaniem*, WNT, Warszawa 2007
- [11] Tomaszewski H., *Wpływ stopnia stabilizacji ZrO_2 tlenkiem itrowym na właściwości termomechaniczne ceramiki z układu $Al_2O_3 - ZrO_2$* , Inżynieria materiałowa, XI, 1990, s. 144
- [12] Wysiecki M., *Nowoczesne materiały narzędziowe*, WNT, Warszawa 1997
- [13] Szutkowska M., *Sprawozdanie merytoryczne z realizacji Projektu Badawczego nr 7 T08D 029 20*, 2003
- [14] Sobczak N., Jaworska L., Podsiadło M., Smuk B. i in., *Nitride and carbide preforms for infiltration process*, Archives of Materials Science and Engineering, 28, 11, 2007, pp. 653–656
- [15] Mitomo M. i in., *Fine grained silicon nitride ceramics prepared from β -powder*. J.Am.Ceram.Soc.78, 1, 1995, pp. 211–214
- [16] Narzędzia Tokarskie. Sandvik Coromant 2000, Elanders 2001
- [17] Dobrzański L., *Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo*. WNT, Warszawa 2002
- [18] *New material for metal cutting*. Tooling, nr 12, 1983, 2
- [19] Kinoshita T., *Sintering and toughening of hot-pressed silicon nitride composite reinforced with silicon carbide whiskers*. Ceramics Getting into the 2000's Part C, Techna 1999, pp. 795–804

- [20] Czechowski K., Pofelska-Filip I., i in., *Effect of nitride nano-scale multilayer coatings on functional properties of composite ceramic cutting inserts*. Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, 53, 4, 2005, pp. 423–431
- [21] Cselle T., *Application of Coatings for Tooling. Quo Vadis 2005*. Vacuum Best VIP, 2003
- [22] Silicon Nitride, Technical Brochure, Ceradyne Inc., Costa Mesa, CA, 1994
- [23] Smolik H., Czechowski J., *Opracowanie azotkowych materiałów narzędziowych typu SiAlON*. Instytut Materiałów Ogniotrwałych 1990, Sprawozdanie 2659/300457/BM/90

Ceramic materials for cutting tool inserts and their development trends

Abstract

Ceramic cutting tool materials currently used in industry have been presented. Five groups of ceramic materials: oxide ceramics, composite ceramics with alumina matrix, nitride ceramics, SiAlON and superhard materials were characterized. Development trends of ceramic tool materials were determined.

Key words: cutting tool ceramics, cermetals, alumina, ceramic composites, superhard materials