

7. Spiekane materiały ceramiczne i ceramiczno-węglkowe

7.1. Ogólna charakterystyka spiekanych materiałów ceramicznych i ceramiczno-węglkowych

PORÓWNANIE SPIEKANYCH MATERIAŁÓW CERAMICZNYCH I CERAMICZNO-WĘGLKOWYCH

W ostatnich latach wzrasta zużycie ceramicznych i ceramiczno-węglkowych materiałów skrawających. Do tej grupy materiałów zalicza się jednofazowy, spiekany i/lub prasowany na gorąco Al_2O_3 oraz Si_3N_4 , a także mieszaniny tych faz z twardymi tlenkami, azotkami i/lub węglkami, wytwarzane zmodyfikowanymi metodami metalurgii proszków. Płytki wykonane z tych materiałów są stosowane do obróbki żeliwa i stali przy dużej prędkości skrawania.

Spiekane materiały ceramiczne i ceramiczno-węglkowe są odporne chemicznie, stabilne w atmosferze obojętnej i utleniającej, a także w wysokiej temperaturze. Przy małej gęstości wykazują korzystną odporność na ścieranie w temperaturze pokojowej i podwyższonej. Surowce do wytwarzania tych materiałów są łatwo dostępne. Żarowytrzymałość spiekanych materiałów ceramicznych i ceramiczno-węglkowych jest większa niż węglków spiekanych. Są wrażliwe na mechaniczne obciążenia udarowe i zmęczenie cieplne. W odróżnieniu od węglków spiekanych nie zawierają metalu wiążącego i z tego względu ich ciągliwość jest znacznie mniejsza niż węglków spiekanych. Zastosowania spiekanych materiałów ceramicznych i ceramiczno-węglkowych są ograniczone przez dużą skłonność do złamania. Płytki skrawające z tych materiałów, oprócz ujemnego kąta natarcia, mają dodatkowo fazę wzmacniającą o szerokości 0,2-0,3 mm. Największą zaletą spiekanych materiałów ceramicznych i ceramiczno-węglkowych jest możliwość skrawania z bardzo dużą prędkością.

7.2. Podstawowe grupy spiekanych materiałów ceramicznych i ceramiczno-węglkowych

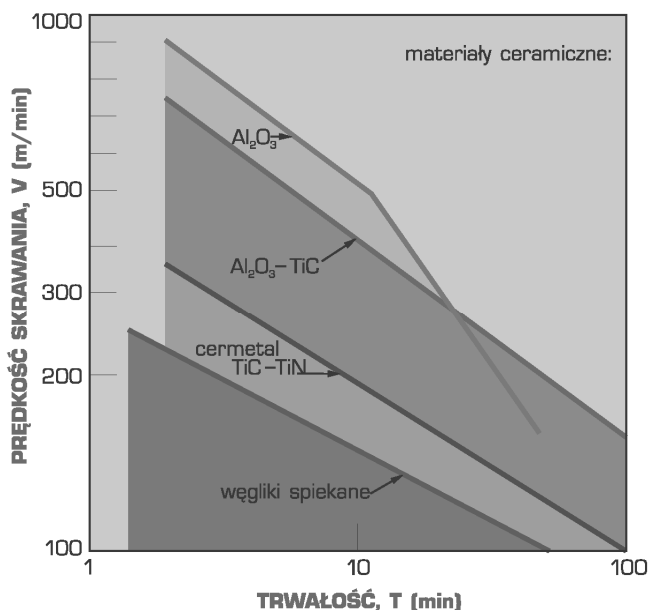
TLENKOWE CERAMICZNE MATERIAŁY NARZĘDZIOWE

Głównym składnikiem materiałów ceramicznych o białej barwie, stosowanych na narzędzia skrawające, jest chemicznie i cieplnie stabilny tlenek aluminium $\alpha-Al_2O_3$, do którego w celu

ograniczenia rozrostu ziarna dodaje się w śladowych udziałach inne tlenki, np. MgO. Tlenek aluminium $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ charakteryzuje się dużą twardością w temperaturze pokojowej i podwyższonej. Przy największej szybkości skrawania i występującej wtedy wysokiej temperaturze jedynie w ograniczonym zakresie występuje dyfuzja pomiędzy stałą a warstwą tlenkową (rys. 7.1). Tlenek $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ jest pasywny w powietrzu. Jego zasadniczą wadą jest jednak kruchość i mała odporność na uderzenia mechaniczne i zmęczenie cieplne.

Oznaczenie grupy zastosowania twardych materiałów skrawających zawierających głównie Al_2O_3 składa się z liter CA i symbolu grupy według tablicy 5.2, np. CA-K10.

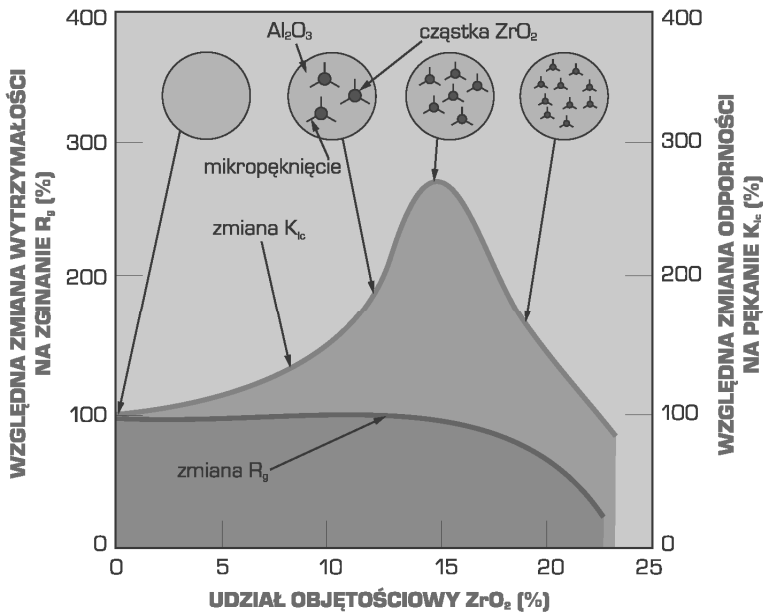
Znaczną poprawę ciągliwości oraz zwiększenie wytrzymałości na zginanie spieków z czystego Al_2O_3 osiągnięto dzięki wprowadzeniu dodatków ułatwiających otrzymanie spieków o dużej gęstości oraz zastosowanie drobnoziarnistego $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ o średnicy ziarna nie większej od 1 μm . Zmniejszenie wielkości ziarna powoduje ponad dwukrotne zwiększenie wytrzymałości na złamanie. Wytrzymałość spieku z czystego Al_2O_3 także można zwiększyć o ok. 25% w wyniku prasowania na gorąco lub prasowania izostatycznego na gorąco. Własności skrawne ostrzy z czystego Al_2O_3 prasowanego na gorąco są większe od własności ostrzy z węglików spiekanych oraz cermetu opartego na mieszaninie TiC i TiN.



Rysunek 7.1. Porównanie własności skrawnych węglików spiekanych, cermetu zawierających TiC i TiN oraz materiałów ceramicznych i ceramiczno-węglkowych

Stwierdzono, że dodatek dyspersyjnych cząstek tlenku cyrkonu ZrO_2 do materiałów ceramicznych na osnowie Al_2O_3 wpływa na ich znaczne umocnienie spowodowane oddziaływaniem tej mechanicznie aktywnej fazy. Maksimum wytrzymałości na zginanie tych materiałów występuje przy 15% udziale objętościowym tlenku cyrkonu (rys. 7.2 i 7.3). Umacnianie i zwiększanie odporności na pęknięcie materiałów ceramicznych na osnowie Al_2O_3 z dodatkiem cząstek ZrO_2 może nastąpić w wyniku:

- absorpcji energii w polu naprężeń rozciągających w strefie wierzchołka propagującej wady powierzchniowej spowodowanej przez przemianę martenzytyczną odmiany tetragonalnej ZrO_2 w jednoskośną, co wiąże się ze zwiększeniem objętości właściwej o ok. 3-5%,
- powstawania mikropęknięć absorbujących energię pęknięcia wokół dyspersyjnych cząstek ZrO_2 lub powstawania naprężeń w osnowie, wywołanych zmianą objętości tych cząstek ulegających przemianie martenzytycznej podczas chłodzenia materiału,
- wymuszenia przemiany w cząstkach ZrO_2 o strukturze tetragonalnej znajdujących się na powierzchni narzędzia, np. przez szlifowanie, i wywołania wokół nich naprężeń ściskających.

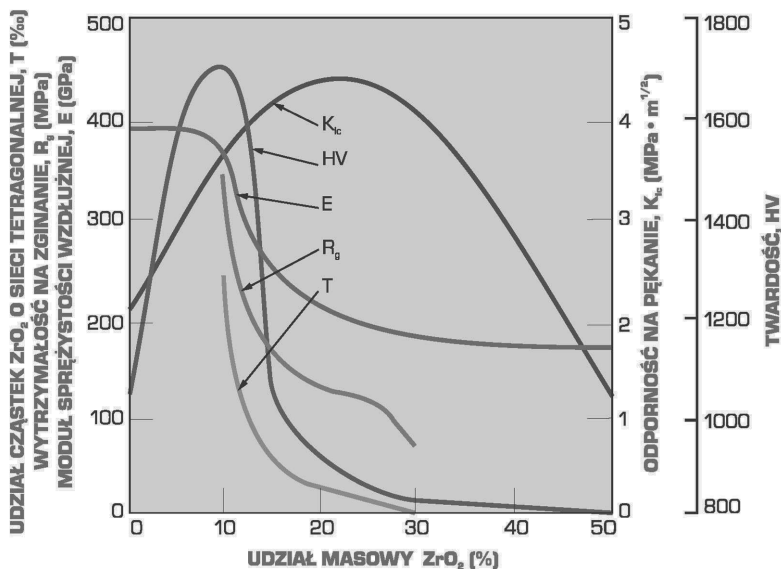


Rysunek 7.2. Zależność ciągliwości materiałów ceramicznych na osnowie Al_2O_3 od udziału ZrO_2

Dobierając odpowiednio skład fazowy i ziarnowy spiekanych materiałów ceramicznych, można w pewnym zakresie sterować ich własnościami. W wyniku zastosowania odpowiednich metod wytwarzania w strukturze materiałów ceramicznych, oprócz dużych cząstek tlenku cyrkonu ulegających przemianie alotropowej przez zmianę temperatury, występują także cząstki drobne ulegające przemianie wskutek zmiany naprężeń w osnowie. Obecnie materiały ceramiczne z dyspersyjnymi cząstkami ZrO_2 są stosowane do wykończającego toczenia elementów z żeliwa szarego, umożliwiając znaczne zwiększenie wydajności tego procesu, a także do toczenia stali oraz frezowania żeliwa szarego (rys. 7.4). W czasie obróbki skrawaniem tlenkowymi materiałami ceramicznymi nie można stosować cieczy chłodzących.

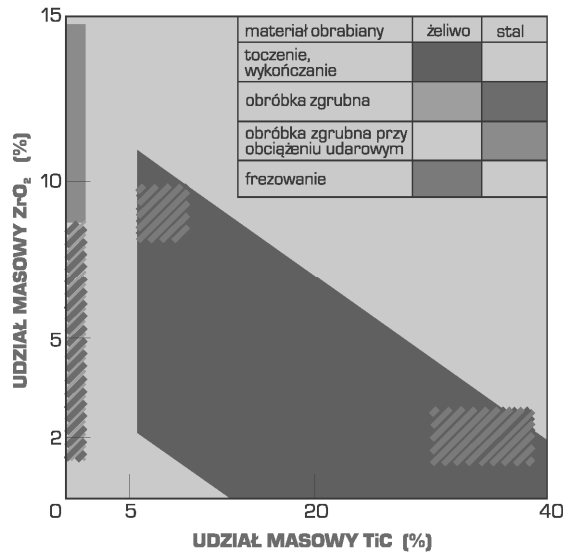
MATERIAŁY NARZĘDZIOWE CERAMICZNO-WĘGLIKOWE

Inne materiały stosowane do skrawania, oprócz tlenku glinu Al_2O_3 i ewentualnie ZrO_2 , zawierają węglík tytanu TiC nadający im czarną barwę i dodawany jest w celu podwyższenia odporności na ścieranie (rys. 7.5). Dodatek węglíka tytanu w udziale 30-40% poprawia także odporność ostrza materiałów ceramicznych na wykruszanie i odporność na tworzenie się rowka. Niekiedy do materiałów ceramicznych dodawane są zamiast węglíka TiC węglíki WC lub Mo_2C .

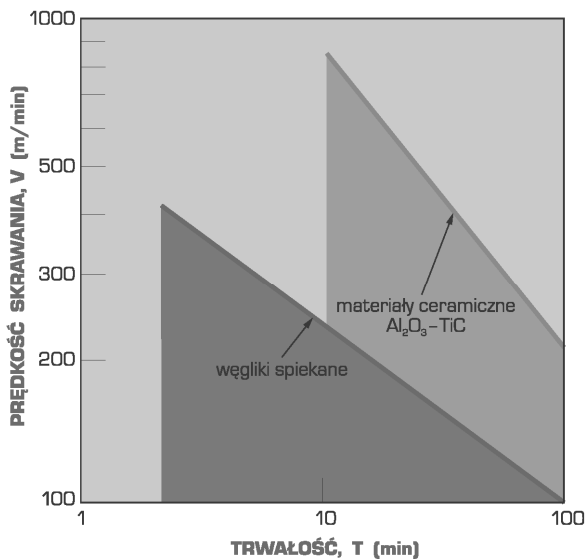


Rysunek 7.3. Zależność właściwości materiałów ceramicznych na osnowie Al_2O_3 od udziału ZrO_2

Spiekane materiały ceramiczno-węglkowe charakteryzujące się zwiększoną odpornością na ścieranie są głównie stosowane do dokładnej obróbki materiałów lanych, a także do toczenia



Rysunek 7.4. Zakres zastosowań materiałów ceramicznych i ceramiczno-węglkowych w zależności od udziału ZrO_2 i TiC (według H. Kunza, P. Johansena i N. Claussena)



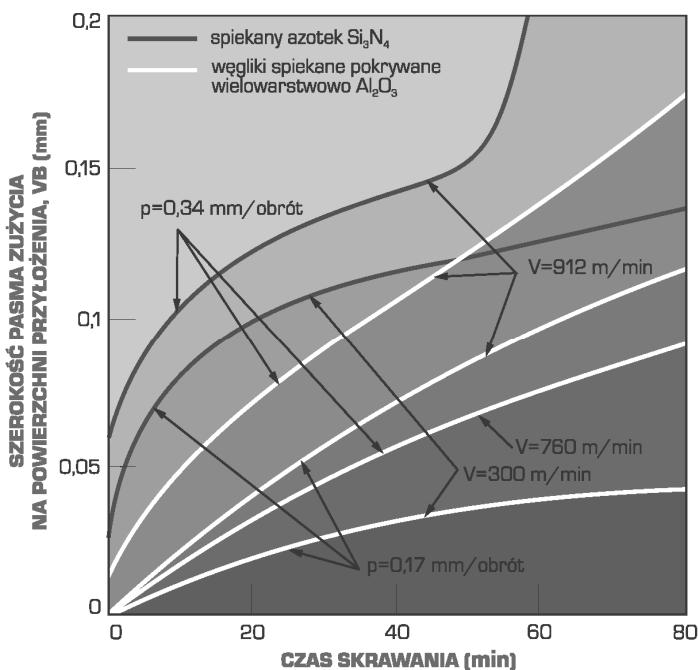
Rysunek 7.5. Porównanie własności skrawanych węglików spiekanych i materiałów ceramiczno-węglkowych

i frezowania materiałów utwardzonych i wysokostopowych. W tej grupie spiekanych materiałów narzędziowych zamiast węglików TiC wprowadza się niekiedy azotki tytanu TiN w udziale masowym 12,5%. Szczególnie korzystne własności uzyskuje się, gdy płytki po spiekaniu są dodatkowo dogęszczane izostatycznie na gorąco. Spieki ceramiczne Al_2O_3 zawierające azotek tytanu TiN są wydajniejsze niż gatunki zawierające wyłącznie węgiel tytanu TiC, szczególnie przy frezowaniu.

Oznaczenie grupy zastosowania materiałów skrawających ceramiczno-węglkowych składa się z liter CM i symbolu grupy według tablicy 5.2, np. CM-K01. Oznaczenie grupy zastosowania pokrywanych materiałów ceramicznych rozpoczyna się od liter CC.

SPIEKANY AZOTEK KRZEMU

Węgliki spiekane coraz częściej są zastępowane przez spiekany azotek krzemu Si_3N_4 o barwie szarej. Azotek ten może być także stosowany z dodatkiem Y_2O_3 lub w osnowie zawierającej 92% Si_3N_4 , 6% Y_2O_3 i 2% Al_2O_3 mogą być rozmieszczone w 30% dyspersyjne cząstki TiC.



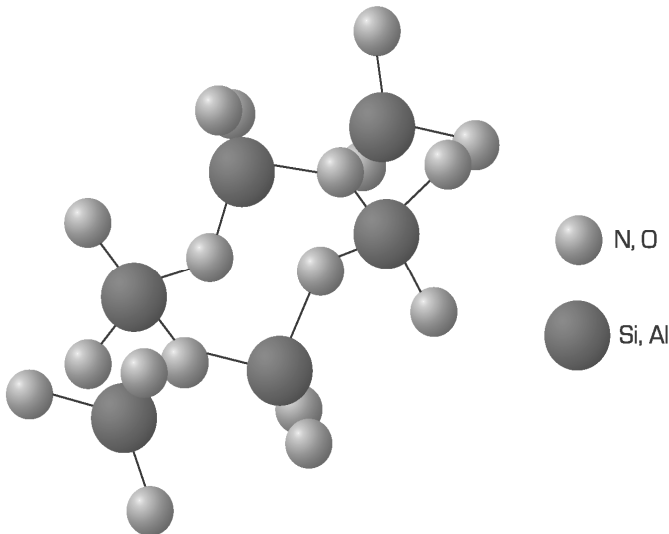
Rysunek 7.6. Porównanie własności skrawanych płytek z Si_3N_4 i węglików spiekanych pokrywanych wielowarstwowo Al_2O_3

Spiekany azotek krzemu może być stosowany do toczenia i frezowania żeliwa szarego, sferoidalnego i stopowego, stopów na osnowie niklu w silnie przerywanych procesach technologicznych. Zastosowanie tego materiału umożliwia zarówno przy toczeniu, jak i frezowaniu bardzo znaczne skrócenie głównego czasu skrawania przy prędkościach większych od 1000 m/min, niemożliwych do uzyskania przy obróbce płytkami z węglików spiekanych lub materiałów tlenkowych czy tlenkowo-węglkowych. Trwałość spiekane go azotku krzemu, ewentualnie z dodatkiem tlenku itru, a także węgliku tytanu, jest większa od innych materiałów ceramicznych (rys. 7.6). Ważnymi cechami azotku krzemu są duża przewodność cieplna i bardzo mała rozszerzalność cieplna. Umożliwia to podczas skrawania chłodzenie cieczą narzędzi z tego tworzywa, co jest niemożliwe przy zastosowaniu węglików spiekanych lub tlenkowych materiałów ceramicznych.

Oznaczenie grupy zastosowania materiałów ceramicznych zawierających głównie azotek krzemu rozpoczyna się od liter CN, np. CN-K10.

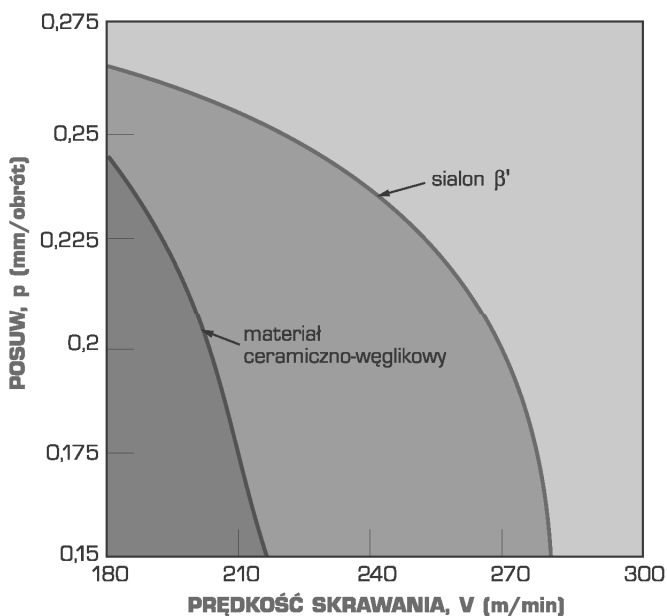
SIALONY

W końcu XX wieku opracowano i wprowadzono do produkcji oraz do eksploatacji w warunkach przemysłowych sialon jako nowy rodzaj spiekanych materiałów skrawających,



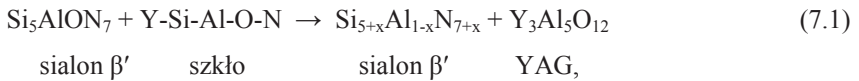
Rysunek 7.7. Rozkład atomów Si, Al, N i O w sieci krystalograficznej sialonu β (według K.H. Jacka)

łącący w sobie zalety tworzyw tlenkowych i beztlenkowych zawierających Si_3N_4 . Nazwa tego materiału pochodzi od pierwszych liter pierwiastków wchodzących w jego skład (j. ang.: *silicon, aluminium, oxy-nitride*). Sialon o składzie chemicznym określonym wzorem $\text{Si}_{6-z}\text{O}_z\text{N}_{8-z}$ jest izomorficzny z azotkiem krzemu Si_3N_4 (rys. 7.7). Liczba $z = 0-4,5$ odpowiada liczbie atomów Al zastępujących Si w sieci azotku β . Ze względu na izomorficzność własności mechaniczne i fizyczne sialonu β' są zbliżone do odpowiednich własności Si_3N_4 . Własności chemiczne tej fazy odpowiadają z kolei tlenkowi aluminium Al_2O_3 . Ze względów technologicznych korzystne jest wprowadzenie do spieku sialonu β' dodatków innych tlenków, np. Y_2O_3 , gdyż powoduje to zmniejszenie prężności par i decyduje o obniżeniu temperatury topnienia sialonu β' . Umożliwia to spiekanie pod ciśnieniem, a nie na gorąco. W takim przypadku niższa temperatura spiekania umożliwia zachowanie struktury drobnoziarnistej, a przez to podwyższenie własności wytrzymałościowych spieku. Wpływa jednak równocześnie na zmniejszenie odporności na utlenianie i sprzyja przyspieszonemu rozpadowi roztworu w wysokiej temperaturze. Z cieczy powstałej w przestrzeniach międzycząsteczkowych podczas zagęszczania sialonu β' z dodatkiem Y_2O_3 w wysokiej temperaturze w czasie chłodzenia powstaje szkło.



Rysunek 7.8. Porównanie własności skrawnych płytek z materiałów ceramiczno-węglkowych i sialonu β' przy toczeniu żarowytrzymałego stopu niklu (Inconel 718)

Powtórna obróbka cieplna takiego spieku w temperaturze 1400°C powoduje przebieg reakcji z osnową sialonu β' :



w wyniku której na granicach ziarn powstaje związek $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ nazywany granatem itrowo-aluminiowym, w skrócie oznaczonym YAG (j. ang.: *Yttrium-Aluminium-Garnet*). Występowanie tego związku bardzo efektywnie polepsza odporność sialonu β' na utlenianie i odporność na pełzanie.

Sialony można otrzymać przez prasowanie na gorąco w formach grafitowych w temperaturze ok. 1700-1750°C. Stosowane jest jednak częściej bezciśnieniowe spiekanie reakcyjne w atmosferze azotu w temperaturze 1750-1850°C. Przed spiekaniem produkty z sialonu β' są formowane na zimno lub na gorąco metodami stosowanymi zwykle przy wytwarzaniu tlenkowych materiałów ceramicznych, tj. przez prasowanie izostaticzne, prasowanie jednoosiowe, wyciskanie na zimno i na gorąco, formowanie wtryskowe lub odlewanie gęstwy. Przed spiekaniem wypraski mogą być obrobione przez toczenie konwencjonalnymi narzędziami, cięcie piłami taśmowymi, frezowanie, wiercenie i szlifowanie konwencjonalnymi ściernicami. Umożliwia to ograniczenie do minimum szlifowania ściernicami diamentowymi gotowych spieków, zapewniającego im cechy geometryczne z wymaganą dokładnością. Stosowane jest również polerowanie ultradźwiękowe gotowych spieków. Mogą być one również przecinane z wykorzystaniem lasera.

Narzędzia wykonane ze sialonu β' z powrotem są stosowane do toczenia i frezowania stali i stopów trudno obrabialnych (rys. 7.8), m.in. żeliwa, stali ulepszonej cieplnie, stopów niklu, tytanu i aluminium oraz stopów wysokożarowytrzymałych. Wydajność skrawania przy użyciu sialonu β' 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. Sialony znalazły także zastosowanie na narzędzia do ciągnięcia rur i drutów, narzędzia do ciągłego odlewania metali oraz narzędzia górnice do skał i węgla kamiennego.