

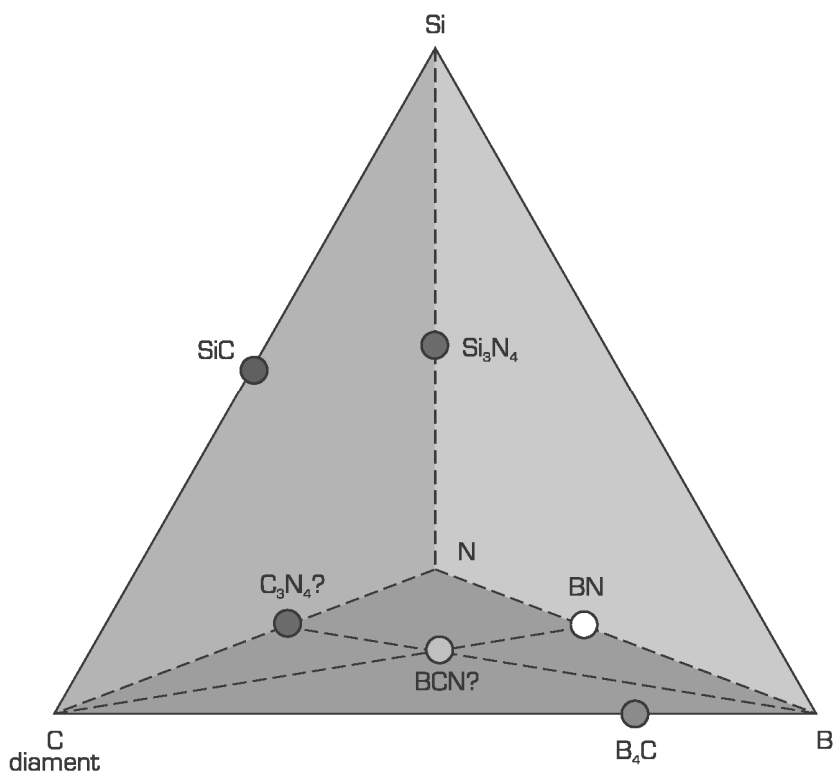
8. Supertwarde materiały narzędziowe

8.1. Ogólna charakterystyka supertwardych materiałów narzędziowych

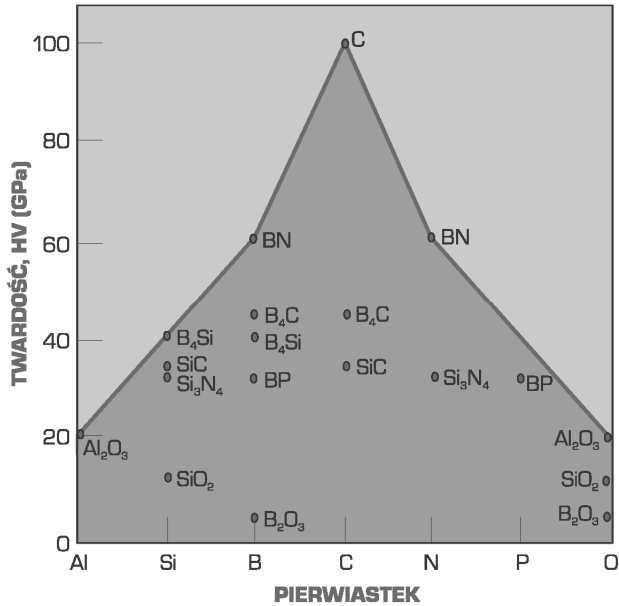
KLASYFIKACJA SUPERTWARDYCH MATERIAŁÓW NARZĘDZIOWYCH

Podstawowe supertwarde materiały są fazami występującymi w układzie B-C-N-Si (rys. 8.1).

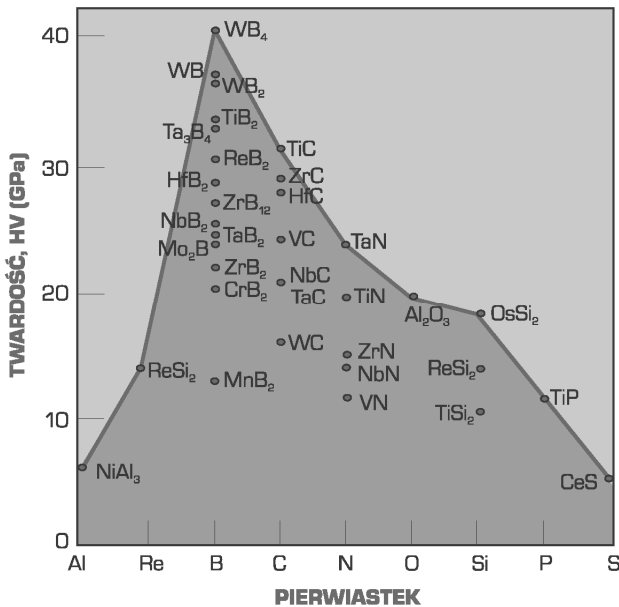
W dziesięciostopniowej skali Mohsa największy wskaźnik 10 uzyskał diament a korund ma wskaźnik 9. Materiały twardsze od korundu, tzn. cechujące się twardością większą od 20 GPa, uznawane są za materiały supertwarde. Można zestawić tzw. „piramidy twardości” obejmujące zarówno materiały twarde, jak i supertwarde niemetaliczne (rys. 8.2) oraz wykazujące wiązania metaliczne (rys. 8.3).



Rysunek 8.1. Tetraedr składów chemicznych C-B-N-Si obrazujący podstawowe znane materiały supertwarde (według T.J. Clarka i R.C. DeVriesa)



Rysunek 8.2. „Piramida twardości” materiałów niemetalicznych (według B. Ciszewskiego i W. Przetakiewicza)

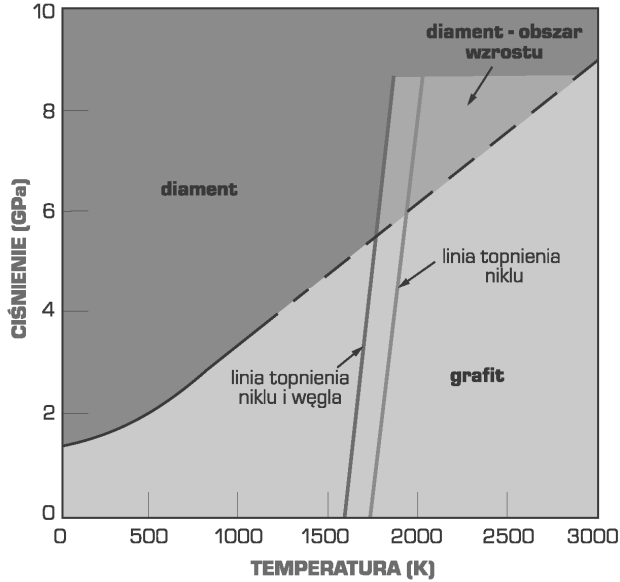


Rysunek 8.3. „Piramida twardości” materiałów wykazujących wiązania metaliczne (węglików, azotków i borków) (według B. Ciszewskiego i W. Przetakiewicza)

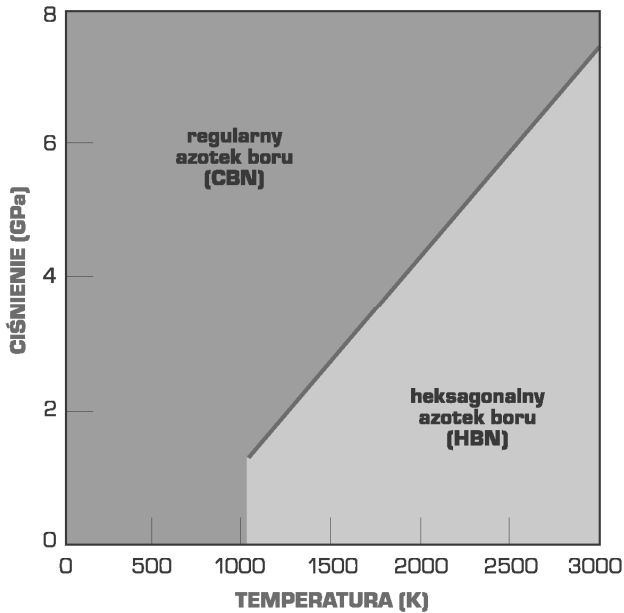
Materiały supertwarde o znaczeniu komercyjnym obejmują azotek krzemu (Si_3N_4), węglík krzemu (SiC), węglík boru (B_4C), diament i regularny azotek boru (BN). Azotek krzemu stanowi podstawę dla ważnej kategorii materiałów ceramicznych – sialonów, które są używane jako materiały konstrukcyjne, a także jako materiały narzędziowe do skrawania z bardzo dużą szybkością. Węgliki metaloidów B i Si (B_4C i SiC) mają także duże znaczenie przemysłowe i znajdują zastosowania tak różne, jak supertwarde narzędzia oraz rezystory elektryczne elementów grzejnych. Te materiały mogą być wytwarzane zarówno bez, jak i z metalową fazą wiążącą. W przypadku gdy nie ma tej fazy, wytworzony materiał jest zaliczany do grupy ceramicznych materiałów inżynierskich, natomiast gdy jest zastosowana metalowa faza wiążąca – materiał jest cermetalem inżynierskim.

PROCESY TECHNOLOGICZNE MATERIAŁÓW SUPERTWARDYCH

Podstawą syntezy diamentu i regularnego azotku boru BN jest przemiana alotropowa miękkiej fazy heksagonalnej w twardą odmianę o strukturze sieciowej regularnej. W przypadku węgla grafit o strukturze heksagonalnej ulega przemianom w diament o strukturze regularnej (rys. 8.4). Analogicznymi przemianom ulega azotek boru (rys. 8.5). Obydwa te materiały mogą być wytwarzane jako lite o strukturze ziarnistej lub jako produkty spiekane polikrystaliczne. Synteza regularnego azotku boru BN lub diamentu następuje w wyniku procesu statycznego wysokociśnieniowego i wysokotemperaturowego HPHT (j. ang.: *High-Pressure High-Temperature*) lub techniką wybuchową dynamiczną. Metoda HPHT pomimo wysokich kosztów oprzyrządowania technologicznego jest podstawową techniką produkcji diamentów oraz regularnego azotku boru. W procesie jednoosiowego prasowania w prasach o bardzo dużym nacisku można wytworzyć te materiały w formie litej. Dla ułatwienia przemiany grafitu w diament, która przy bardzo dużym ciśnieniu może zajść bezpośrednio, wprowadza się rozpuszczalniki/katalizatory, takie jak Ni, Fe, Co, Mn lub stopy tych metali, w wyniku czego możliwe jest znaczące obniżenie wymaganego ciśnienia, nawet o ok. 5 GPa, oraz temperatury o ok. 1500°C. Podobnie postępuje się w przypadku regularnego azotku boru, lecz jako reagenty stosuje się alkaliny metali ziem rzadkich, a także takie same metale, jak w przypadku syntezy diamentu. Ciśnienie wymagane do syntezy regularnego azotku boru jest niższe niż w przypadku diamentu, wobec czego często stosuje się proces syntezy bezpośredniej.



Rysunek 8.4. Zakresy stabilności diamentu i grafitu oraz wpływ rozpuszczalnika i katalizatora na obniżenie warunków syntezy (według T.J. Clarka, G.E. Superabrasivesa i R.C. DeVriesa)



Rysunek 8.5. Zakresy stabilności regularnej i heksagonalnej odmiany alotropowej azotku boru (według T.J. Clarka, G.E. Superabrasivesa i R.C. DeVriesa)

Metodami niskotemperaturowymi, ok. 900°C, przy niskim ciśnieniu, ok. 0,1 MPa, możliwe jest uzyskiwanie cienkich powłok lub płytek zarówno diamentu jak i regularnego azotku boru, które można wykorzystać jako narzędzia szlifierskie lub do obróbki mechanicznej, a także na elementy diafragm głośników, okienka aparatów rentgenowskich i na powierzchnie odporne na ścieranie.

Możliwa jest również produkcja polikrystalicznego diamentu (PCD) lub polikrystalicznego regularnego azotku boru (PCBN) przez spiekanie z udziałem lub bez udziału fazy wiążącej wielu indywidualnych kryształów diamentu lub regularnego azotku boru BN w jednolitą polikrystaliczną masę.

ZASTOSOWANIE SUPERTWARDYCH MATERIAŁÓW NARZĘDZIOWYCH

W tablicy 8.1 przedstawiono typowe zastosowania supertwardych materiałów narzędziowych w procesach obróbki skrawaniem i szlifowania stopów metali.

8.2. Polikrystaliczny syntetyczny diament

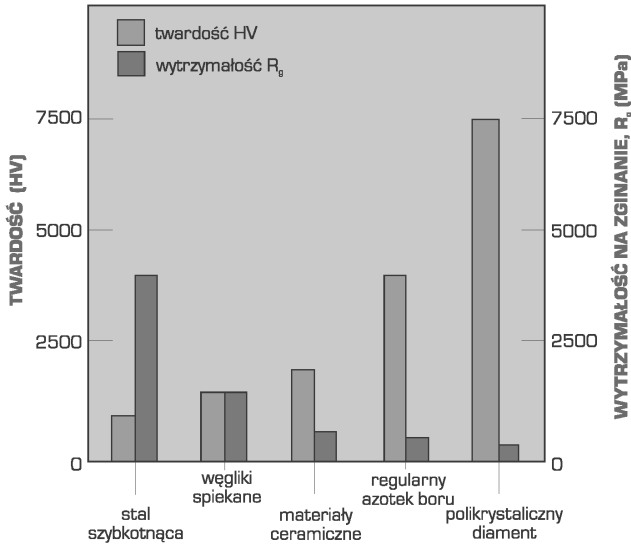
WŁASNOŚCI I ZASTOSOWANIE POLIKRYSTALICZNEGO SYNTETYCZNEGO DIAMENTU

Polikrystaliczny syntetyczny diament jest stosowany na narzędzia. Wykazuje on największą twardość ze wszystkich materiałów narzędziowych przy bardzo małej wytrzymałości na zginanie (rys. 8.6). Podstawową postacią narzędzi z polikrystalicznego diamentu są płytki o niewielkich wymiarach, zwykle o grubości nie większej od 0,5 mm, niekiedy od 1 mm i pozostałych wymiarach nie większych od kilku mm. Płytki te są łączone z częścią nośną, wykonaną z materiału o mniejszej kruchości, najczęściej z płytką z węglików spiekanych o znormalizowanych wymiarach płytek wielostrzowych (rys. 8.7).

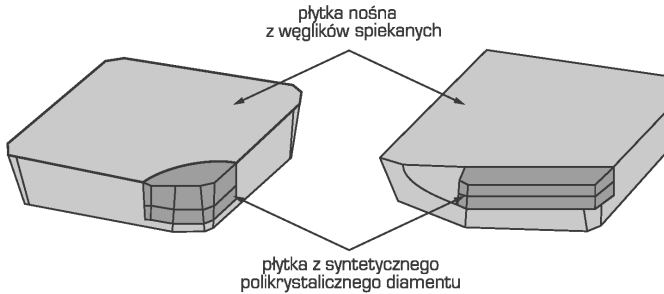
Narzędzia z polikrystalicznego syntetycznego diamentu są stosowane do toczenia i frezowania aluminium, magnezu, miedzi, cynku i ich stopów, a także innych stopów metali nieżelaznych, głównie z Si, węglików spiekanych, porcelany i materiałów ceramicznych, gumy, tworzyw sztucznych, drewna, materiałów kompozytowych z tworzyw sztucznych i włókien szklanych, stopów srebra, złota i platyny oraz węgla z dużą prędkością skrawania.

Tablica 8.1. Typowe zastosowania supertwardych materiałów narzędziowych w procesach obróbki skrawaniem i szlifowania stopów metali (opracowano według T.J. Clarka i R.C. DeVriesa)

Stop metali poddany obróbce skrawaniem lub szlifowaniu	Podstawowe składniki obrabianego stopu	Twardość obrabianego stopu	Zastosowanie supertwardych materiałów narzędziowych w procesach			
			szlifowania		obróbki skrawaniem	
			diament	BN	PCD	PCBN
Stale utwardzone						
Narzędziowe do pracy na gorąco, szybko tnące	Co, Cr, Mo, V, W	>50 HRC	●	○	●	○
Stopowe	Cr, Mo, Ni, V	>50 HRC	●	○	●	○
Niestopowe	Mn, Si	>50 HRC	●	○	●	○
Odporne na korozję o strukturze austenitycznej	Cr, Ni, Mn	>50 HRC	●	◐	●	○
o strukturze martenzytycznej	Cr	>50 HRC	●	○	●	○
Żeliwa						
Szare	C, Si	>180 HBW	●	○	●	○
Białe	C, Ni, Si, Cr	>450 HBW	●	○	●	○
Ciągliwe	C, Si	>200 HBW	●	◐	●	◐
Nadstopy						
Na osnowie Ni	Cr, Co, Mo, W, Ti	>35 HRC	●	○	●	○
Na osnowie Co	Cr, W	>35 HRC	●	○	●	○
Na osnowie Fe	Cr, Ni, Mo	>35 HRC	●	○	●	○
Materiały umocnione powierzchniowo						
Na bazie węglików/tlenków	Al ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃ , WC	>35 HRC	○	●	○	●
Na bazie metali (stellity, hastelloye)	Mo, Ni, Cr, Co, Fe	>35 HRC	●	○	●	○
Stopy aluminium						
Odlewnicze	Si, Cu, Mg, Zn	40-145 HBW	●	●	○	●
Obrabiane plastycznie	Cu, Zn, Mg	40-150 HBW	●	●	○	●
Węglik spiekane						
Narzędzia i matryce	WC, TaC, TiC, Co	84-95 HRA	○	●	●	●
Narzędzia i matryce wstępnie spiekane	WC, TaC, TiC, Co		○	●	○	●
Spiekane matryce	WC, >6% Co	< 90 HRA	○	●	○	●
Oznaczenia: ○ stosowane, ● niestosowane, ◐ stosowane w przypadku użycia specjalnego oprzyrządowania.						



Rysunek 8.6. Porównanie twardości i wytrzymałości na zginanie różnych materiałów narzędziowych (według katalogów firmy Sandvik-Coromant, Sandviken, Szwecja)



Rysunek 8.7. Schemat płytek narzędziowych z polikrystalicznym syntetycznym diamentem

Narzędzia z polikrystalicznego syntetycznego diamentu umożliwiają uzyskanie bardzo gładkich powierzchni obrabianych elementów o $R_a = 0,4-1,7 \mu\text{m}$ przy kilkudziesięciu- do kilkusetkrotnym wzroście liczby przedmiotów obrobionych jednym narzędziem w porównaniu z narzędziami z węglików spiekanych, ze względu na znacznie mniejsze zużycie ostrza. Natomiast polikrystaliczny syntetyczny diament nie nadaje się do skrawania stali. Ze względu na reaktywność chemiczną w wysokiej temperaturze wytwarzającej się w czasie skrawania, następuje dyfuzja węgla i jego grafityzacja w stali.

Oznaczenie grupy zastosowania supertwardych materiałów skrawających z diamentu polikrystalicznego rozpoczyna się od liter DP, np. DP-K01.

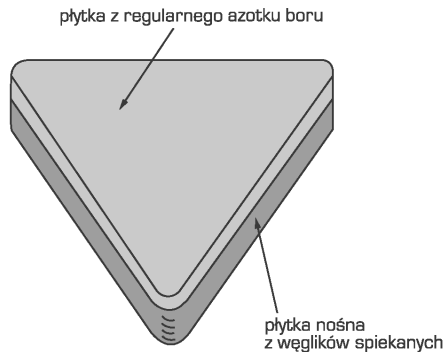
Polikrystaliczny syntetyczny diament jest również stosowany na ciągadła do ciągnięcia drutu ze stali nierdzewnych i kwasoodpornych, galwanizowanych stali węglowych, aluminium i miedzi oraz ich stopów, niklu, wolframu, molibdenu, a także innych materiałów. Zastosowanie tych ciągaadeł powoduje znaczne zwiększenie wydajności pracy ciągnięcia i polepszenia jakości powierzchni drutów.

8.3. Spiekany azotek boru

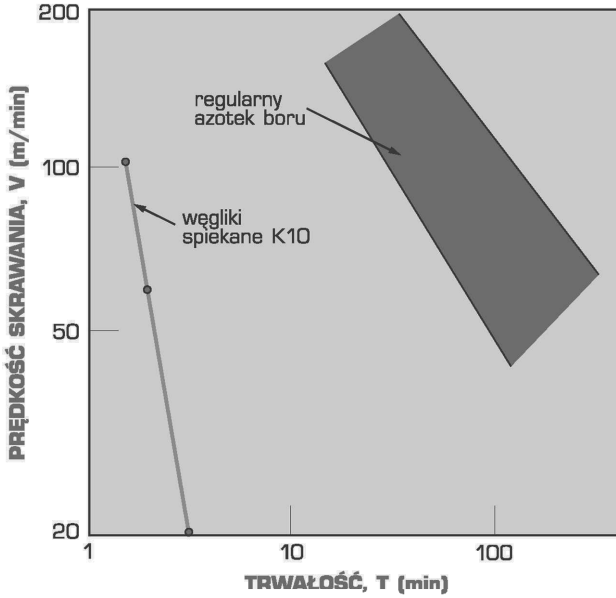
WŁASNOŚCI I ZASTOSOWANIE SPIEKANEGO AZOTKU BORU

Materiałem narzędziowym, który zyskał powszechne zastosowanie w ostatnim dziesięcioleciu jest spiekany azotek boru BN o sieci regularnej. Narzędzia z regularnego azotku boru są wykonywane podobnie, jak w przypadku polikrystalicznego syntetycznego diamentu, w postaci płytek o grubości 0,5-1 mm połączonych dyfuzyjnie z płytką nośną z węglików spiekanych (rys. 8.8). Twardość regularnego azotku boru jest mniejsza niż diamentu. W odróżnieniu od polikrystalicznego diamentu wykazuje on znaczną żarowytrzymałość, w zakresie temperatury do 1000°C nie reagując z metalami oraz stalą i jest odporny na utlenianie.

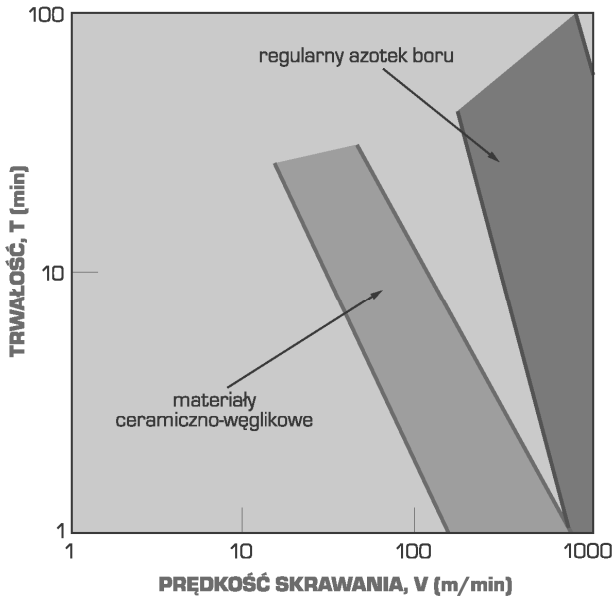
Narzędzia ze spiekanej azotku boru są wykorzystywane do obróbki stali ulepszonych cieplnie, utwardzonego żeliwa oraz stopów na osnowie niklu i kobaltu. Narzędzia z regularnego azotku boru wykazują przy tym znacznie większą trwałość od narzędzi z węglików spiekanych, cermetali zawierających azotek tytanu oraz materiałów ceramiczno-węglkowych (rys. 8.9 i 8.10). Umożliwia to stosowanie dużej prędkości skrawania.



Rysunek 8.8. Schemat płytki narzędziowej z płytką z regularnego azotku boru



Rysunek 8.9. Porównanie własności skrawanych węglików spiekanych i regularnego azotku boru; materiał obrabiany: stal o twardości 65 HRC, $p = 0,1$ mm/obrót, $a = 0,2$ mm, $VB = 0,15$ mm (według materiałów firmy Sumitomo Electric Industries Ltd., Itami, Hyogo, Japan)



Rysunek 8.10. Porównanie własności skrawanych materiałów ceramiczno-węglkowych i regularnego azotku boru; materiał obrabiany: żeliwo szare o twardości 54 HRC, $p = 5$ mm, $VB = 0,3$ mm (według H.K. Toenshoffa)

Oznaczenie grupy zastosowania materiałów skrawających z polikrystalicznego azotku boru składa się z liter BN i symbolu grupy według tablicy 5.2, np. BN–M10.

Ostatnie doniesienia wskazują, że w USA zsyntetyzowano podtlenek boru, który okazał się twardszy od BN i równocześnie bardziej ciągliwy od niego. Materiał ten jest tańszy w produkcji od BN i nie wykluczone, że w najbliższej przyszłości zyska techniczne znaczenie jako materiał supertwardy.