

SiSiC - Silicon Infiltrated Silicon Carbide, czyli węglik krzemu infiltracyjnie nasycany krzemem, to zaawansowany materiał ceramiczny o wyjątkowych właściwościach mechanicznych, termicznych i chemicznych.

1. Właściwości mechaniczne

Parametr	Wartość
Gęstość	3,05 – 3,15 g/cm ³
Twardość (HV 0,5)	2200 – 2500 HV
Moduł sprężystości (E)	380 – 410 GPa
Wytrzymałość na zginanie	350 – 450 MPa
Wytrzymałość na ściskanie	2200 – 2500 MPa
Odporność na pękanie (KIC, twardość odpornościowa)	3,5 – 4,5 MPa·m ^{1/2}
Współczynnik Poissona	~0,17

- ✓ Bardzo wysoka twardość (zblizona do diamentu i azotku boru).
- ✓ Wysoka odporność na ścieranie i erozję, kluczowe w pompach, dyszach i wymiennikach ciepła.

2. Właściwości termiczne

Parametr	Wartość
Maksymalna temperatura pracy (w powietrzu)	~1350°C
Przewodność cieplna	30 – 120 W/mK
Współczynnik rozszerzalności cieplnej (CTE)	4,0 – 4,5 × 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Odporność na szok termiczny	Bardzo dobra

- ✓ SiSiC przewodzi ciepło znacznie lepiej niż ceramiki tlenkowe (Al₂O₃, ZrO₂).
- ✓ Odporność na szok termiczny dzięki niskiej rozszerzalności cieplnej.
- ✓ Wolny krzem (Si) może ograniczać temperaturę pracy do 1350°C, ponieważ powyżej tej wartości zaczyna się utleniać.

3. Właściwości elektryczne

- ✓ SiSiC nie jest izolatorem jak typowe ceramiki tlenkowe, co może mieć wpływ na zastosowania elektryczne.

4. Właściwości chemiczne

- ✓ Odporność na większość kwasów i zasad (z wyjątkiem silnych alkaliów, które mogą atakować Si).
- ✓ Odporność na utlenianie – dzięki warstwie SiO₂, ale tylko do 1350°C.
- ✓ Nie reaguje z gazami przemysłowymi (SO₂, CO₂, H₂S).

5. Zastosowania SiSiC

SiSiC ma bardzo szerokie zastosowanie w przemyśle ze względu na wyjątkową twardość, odporność na ścieranie, wysoką temperaturę i korozję

Przemysł chemiczny i petrochemiczny

- ✓ Pompy i uszczelnienia mechaniczne – odporność na agresywne chemikalia i ścieranie.
- ✓ Zawory i komponenty rurociągów – stosowane w instalacjach chemicznych, gdzie występują kwasy, zasady i wysoka temperatura.
- ✓ Reaktory katalityczne – odporność na korozję i wysokie temperatury.

Przemysł energetyczny

- ✓ Wymienniki ciepła i palniki – wysokotemperaturowe procesy spalania.
- ✓ Dysze do spalania gazu i węgla – w elektrowniach konwencjonalnych.
- ✓ Dysze do odsiarczania spalin (FGD) – odporność na erozję i chemikalia.

Przemysł metalurgiczny

- ✓ Ceramiczne rynny i dysze do odlewnictwa – odporność na wysoką temperaturę i metale płynne.
- ✓ Tygiel do topienia metali – stosowany w procesach hutniczych.
- ✓ Powłoki ochronne na formy odlewnicze – przedłużają żywotność form.

Przemysł szklarski i ceramiczny

- ✓ Wałki i prowadnice do pieców tunelowych – odporność na temperaturę i naprężenia mechaniczne.
- ✓ Elementy konstrukcyjne w piecach do wypalania szkła i ceramiki.

- ✓ Dysze do natryskiwania szkliwa ceramicznego.
- ✓ Młyny i mieszadła ceramiczne – odporność na ścieranie w produkcji proszków.
- ✓ Dysze do natryskiwania i suszarki rozpyłowe – w procesach produkcyjnych.
- ✓ Elementy maszyn przetwórczych – odporność na korozję i ścieranie.
- ✓ Urządzenia do transportu i przetopu metali
- ✓ Tygle i rynny do transportu metali płynnych. SiSiC jest odporny na wysokie temperatury (~1350°C) i działanie stopionych metali. Zapobiega przywieraniu metali i stopów.
- ✓ Dysze i lance do wdmuchiwania gazów stosowane w piecach hutniczych do precyzyjnego wprowadzania tlenu lub innych gazów technologicznych.
- ✓ Elementy układów wylewniczych
Używane do kontroli przepływu stopionych metali w odlewnictwie.
- ✓ Komponenty pieców hutniczych i odlewniczych
- ✓ Płyty i wkłady do pieców
Odporność na szok termiczny i długą ekspozycję na temperaturę.
Redukcja nagrzewania i chłodzenia pieca dzięki dobrej przewodności cieplnej.
- ✓ Palniki i dysze gazowe do pieców
Wysoka odporność na korozję i temperaturę (stosowane w piecach na gaz i węgiel).
- ✓ Elementy konstrukcyjne w instalacjach filtracji gazów hutniczych stosowane w filtrach odpylających i systemach oczyszczania gazów (np. odsiarczanie spalin).

Technologia produkcji SiSiC (Silicon Infiltrated Silicon Carbide)

SiSiC powstaje w wyniku reakcyjnego spiekania węgla krzemu (SiC) z ciekłym krzemem (Si). Proces ten łączy zalety ceramiki z pewną elastycznością obróbki dzięki nasyceniu strukturą krzemu.

1. Etapy produkcji SiSiC

1.1. Przygotowanie surowców

Podstawowym materiałem jest proszek SiC (węglika krzemu) o różnej granulacji. Dodaje się wiążące dodatki organiczne jako dodatkowy składnik reakcji.

1.2. Formowanie kształtu wyrobu

Materiał formuje się metodami takimi jak:

- ✓ Prasowanie izostatyczne – dla precyzyjnych elementów.
- ✓ Formowanie wtryskowe – dla skomplikowanych geometrii.
- ✓ Wyciskanie i odlewanie – dla rur, płytek, wałków itp.

1.3. Wstępne spiekanie ("presintering")

Wypał w atmosferze ochronnej (~1000°C) w celu utwardzenia struktury i usunięcia substancji organicznych.

1.4. Infiltracja ciekłym krzemem ("Silicon Infiltration")

Wstępnie spieczone elementy umieszcza się w piecu próżniowym. Podnosi się temperaturę do 1500–1700°C, co powoduje stopienie i infiltrację krzemu w strukturę porowatego SiC.

Ciekły krzem wnika w pory i reaguje z wolnym węglem, tworząc dodatkowy SiC, który wzmacnia materiał.

1.5. Obróbka końcowa i kontrola jakości

Szlifowanie diamentowe – ponieważ SiSiC jest bardzo twardy (~2500 HV), jedynie narzędzia diamentowe mogą go obrabiać.

2. Kluczowe cechy procesu SiSiC

- ✓ Reakcyjne spiekanie pozwala uzyskać bardzo niską porowatość (~0%) → materiał jest bardzo odporny na ścieranie i korozję.
- ✓ Struktura zawiera niewielką ilość wolnego krzemu (Si), co ogranicza maksymalną temperaturę do ~1350°C.
- ✓ Brak konieczności stosowania dodatkowych spoiw – spajanie odbywa się poprzez reakcję Si z węglem.
- ✓ Wysoka precyzja wymiarowa – dzięki infiltracji materiał zachowuje wymiary z etapu formowania.

Podsumowanie

SiSiC jest produkowany w stosunkowo niskiej temperaturze (~1500–1700°C), ale uzyskuje wysoką twardość i gęstość dzięki infiltracji krzemem. Jest to metoda efektywna kosztowo i umożliwiająca precyzyjne formowanie, dlatego znajduje zastosowanie w przemyśle ciężkim, hutnictwie, energetyce i lotnictwie.

- ✓ Wyjątkowo twardy i odporny na ścieranie.
- ✓ Bardzo dobra odporność na temperaturę i szok termiczny.
- ✓ Dobra przewodność cieplna (lepsza niż ceramiki tlenkowe).
- ✓ Odporność na korozję i erozję – idealny do agresywnych środowisk.
- ✗ Ograniczona temperatura pracy (~1350°C) przez obecność wolnego krzemu.