



Lager- und Dichtungstechnik

SIC 30 – Siliziumcarbid-Graphit-Verbundwerkstoff

Siliziumcarbid-Graphit-Verbundwerkstoff

Herstellung

Der Werkstoff SiC30 wird über eine Imprägnierung eines hochporösen Elektrographits mit schmelzflüssigem Silizium hergestellt. Gleichzeitig mit dem Eindringen des Siliziums in die Poren erfolgt die chemische Reaktion von Silizium und Kohlenstoff zu Siliziumcarbid. Der Prozeß schreitet solange fort, bis die Poren vollständig mit Siliziumcarbid und einer geringen Restmenge von freiem Silizium ausgefüllt sind.

Gefüge

Gefügebilder zeigen ein interpenetrierendes Netzwerk von Graphit und Siliziumcarbid (Relikte der zusammenhängenden Kohlenstoff-Struktur bzw. des Porensystems des Elektrographits). Freies Silizium ist überwiegend in Form von kleinen Inseln im Siliziumcarbid eingeschlossen und auf keinen Fall Bindephase zwischen Siliziumcarbid und Graphit.

Zusammensetzung

Hauptbestandteile des Werkstoffs sind Siliziumcarbid mit ca. 62 % und Graphit mit ca. 35 %, der Anteil an freiem Silizium beträgt ca. 3 % (jeweils Massenteile). Eine Umrechnung in Volumenteile ergibt ca. 53 % Siliziumcarbid, ca. 43 % Graphit und ca. 4 % Silizium. Das Siliziumcarbid liegt zu ca. 95 % in der kubischen β -SiC-Modifikation vor.

Chemische Eigenschaften

Die chemische Beständigkeit von SiC30 wird ausschließlich von den Bestandteilen Siliziumcarbid und Graphit bestimmt. Eine Zerstörung des Werkstoffgefüges durch einen chemischen Aufschluß einer Bindephase aus Silizium oder oxidischen Bestandteilen ist bei diesem Werkstoff ausgeschlossen.

Der Werkstoff ist beständig gegen:

- wässrige Salzlösungen,
- organische Reagenzien,
- starke Säuren (HF, HCl, H₂SO₄, HNO₃),
- heiße Inertgase.

In den folgenden Medien ist SiC30 bedingt beständig:

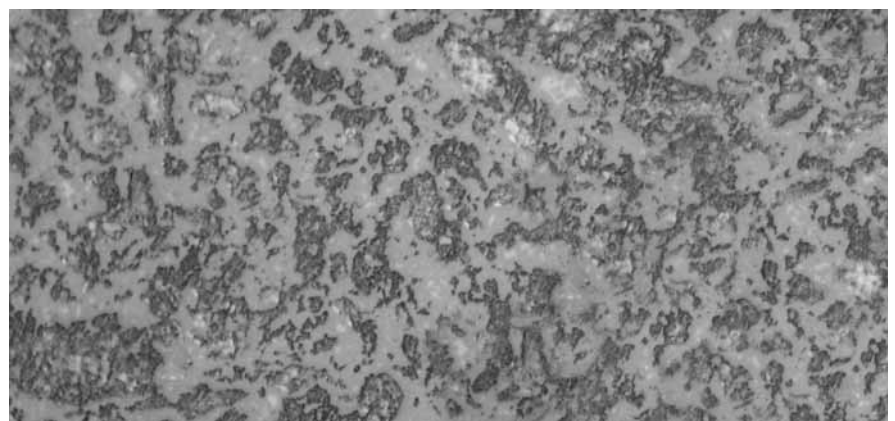
- **Luft und andere oxidierende Gase:**
Bei Temperaturen ≥ 600 °C brennt der Graphitanteil langsam aus. Das verbleibende Gerüst aus SiC hat noch ca. 50 % der Festigkeit des Grundwerkstoffs.
- **Metallschmelzen:**
Verschiedene Metalle greifen SiC bzw. Graphit unter Bildung von Siliziden (z. B. Kobalt, Nickel) bzw. Carbiden (Aluminium, Eisen) an.
- **Stark alkalische Medien:**
In Abhängigkeit von Temperatur, Druck und Konzentration greifen starke Laugen Siliziumcarbid an. Vor allem bei Temperaturen >100 °C und Überdruck kommt es zu einer langsam fortschreitenden Gefügezerstörung.

Physikalische Eigenschaften

Die wichtigsten physikalischen Daten sind in Tabelle 1 (Seite 6) zusammengestellt.

Daneben sind folgende besondere Eigenschaften hervorzuheben:

- **Hohe thermische Beständigkeit:**
Die Anwendungstemperatur in Inertgas oder Vakuum wird durch die Sublimation des Siliziumcarbids (>2300 °C) und nicht durch die Zersetzung einer Bindephase bestimmt.
- **Hohe Thermoschock- und Temperaturwechselbeständigkeit:**
In diesen Eigenschaften gleicht SiC30 mehr einem Graphitwerkstoff als einer spröden SiC-Keramik. Thermische Spannungen des Siliziumcarbids werden bei SiC30 von dem „weichen“ Graphitanteil aufgefangen und abgebaut.



Gefügebild aus Graphit und Siliziumcarbid mit freiem Silizium in Form von kleinen Inseln

Chemische Beständigkeit

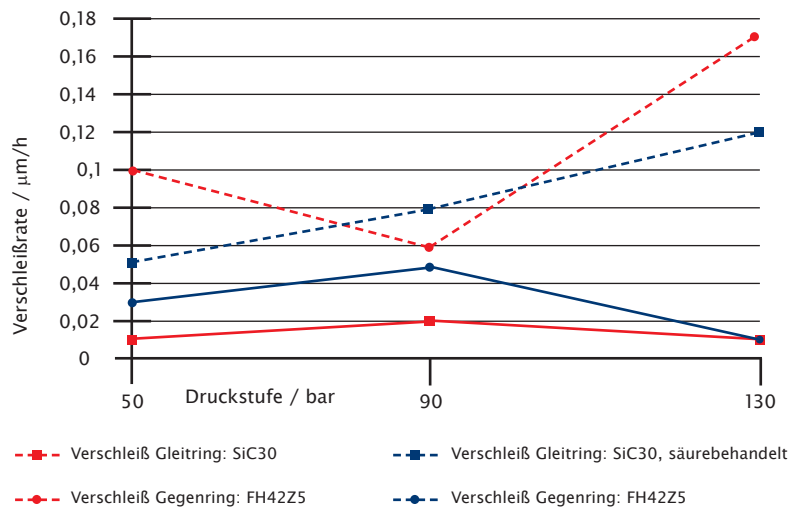
SiC30: Ein außergewöhnlicher Siliciumcarbid-Graphit- Verbundwerkstoff

Viele SiC-Verbundwerkstoffe für tribologische Anwendungen besitzen eine eingeschränkte chemische Beständigkeit gegenüber stark korrosiven Medien, da ihre oxidische oder aus Silicium bestehende Binderphase stark angegriffen wird.

Die physikalischen und tribologischen Eigenschaften unseres Werkstoffes SiC30, dessen ausgezeichnete chemische Beständigkeit von seinen Bestandteilen Siliciumcarbid und Graphit geprägt ist, bleiben jedoch auch in solchen Medien erhalten.

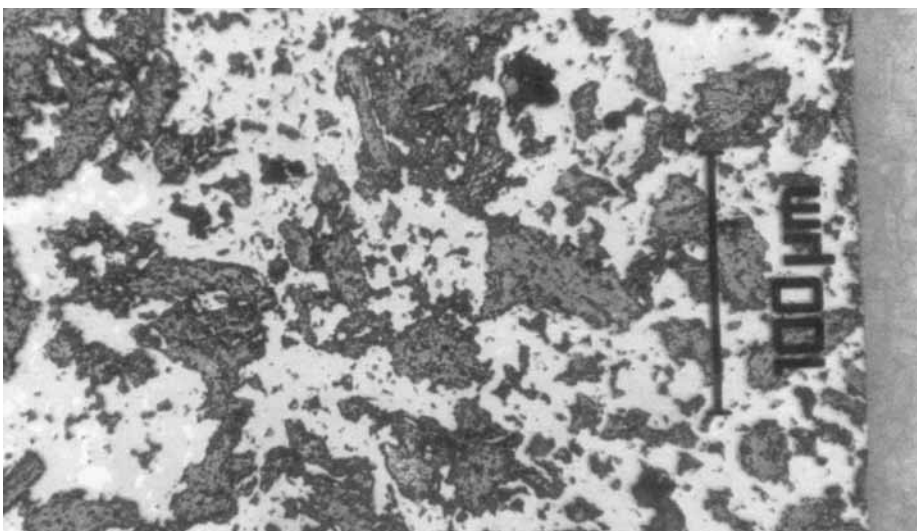
Die ausgezeichnete chemische Beständigkeit des Werkstoffes SiC30 bestätigte sich in anspruchsvollen Tests. Zu diesem Zweck erfolgte eine Behandlung von sowohl Gleitringen als auch Teststäben über sieben Tage mit einem Gemisch aus 77 % HF (40 %ige Lösung) und 23 % HNO₃ (65 %ige Lösung).

Ergebnisse von Prüfstandsversuchen zeigen, dass Gleitringe aus SiC30 ihre ausgezeichneten tribologischen Eigenschaften auch nach der genannten Säurebehandlung beibehalten.



Es wurden keine Dimensionsveränderungen bzw. ein nur geringfügiger Gewichtsverlust festgestellt. Die Biegefestigkeit des Werkstoffes SiC30 blieb mit $\sigma_{DB} = 150$ MPa nahezu unverändert.

Mikroskopische Untersuchungen zeigen, dass sich lediglich geringe Anteile freien Siliciums oberflächlich herauslösten und sich die maßgeblichen Phasen (Siliciumcarbid und Graphit) als vollkommen beständig erweisen.



Mikroskopische Aufnahme des mit einer HF/HNO₃-Mischung behandelten SiC30-Werkstoffes

Blisterbeständigkeit

SiC30 – ein blisterbeständiger Kohlenstoffwerkstoff

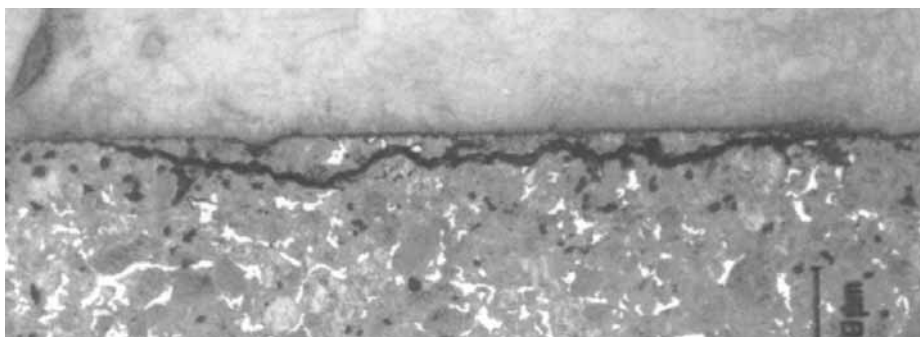
Blisterbildung ist die wahrscheinlich häufigste Ausfallursache von

Gleitringdichtungen mit Hart-Weich-Paarungen.

In tribologischen Anwendungen kann meist nicht auf Werkstoffe mit Trocken- bzw. Notlaufeigenschaften – und damit auf Kohlenstoffwerkstoffe – verzichtet werden. Bisher gab es keinen blisterbeständigen Kohlenstoffwerkstoff.

- SiC30 verhindert Blisterbildung
- SiC30 ist der einzige blisterbeständige Kohlenstoffwerkstoff
- SiC30 ist der einzige SiC-Werkstoff mit Notlaufeigenschaften
- SiC30 als Gegenlaufwerkstoff verbessert zudem das Blisterverhalten von Kohlenstoffgraphiten

Typisches Erscheinungsbild: Blistering an der Kohlenstoffgraphit-Gleitfläche



Zur Bewertung der erzeugten Schadensbilder durch Blistering wurden Blisterbeständigkeitsindizes (I_{BL}) und -kennzahlen (K_{BL}) definiert. Die Zuordnung der Schadensbilder zu den Kennzahlen K_{BL} zeigt die nachfolgende Tabelle.

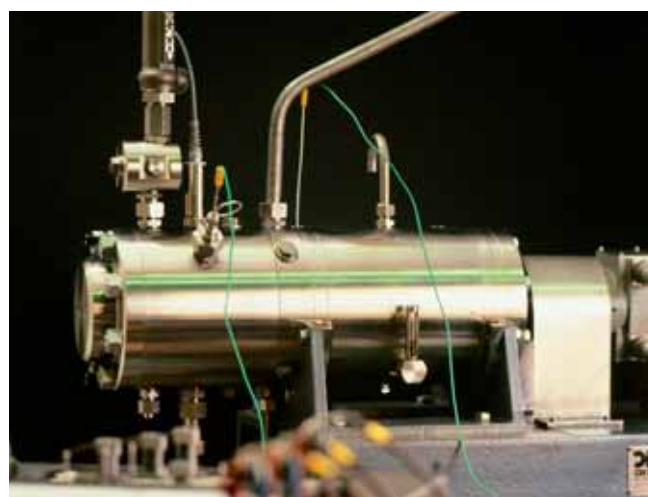
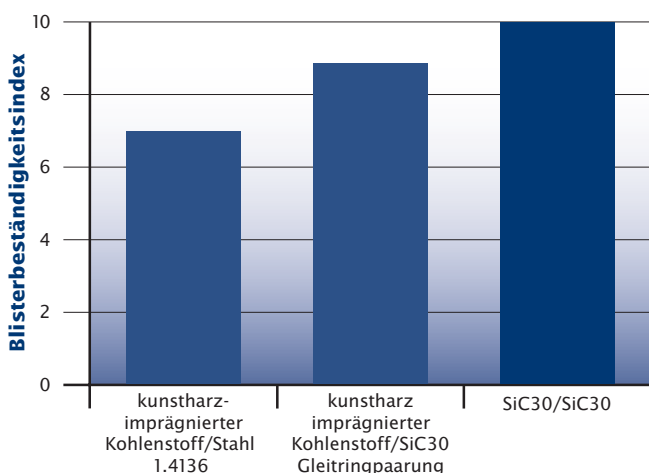
Schadensbild	Anzahl der Schäden		
	1	(2 – 4)	(≥ 5)
Ausbrüche am Innen-/Außendurchmesser	1	1	2
kleine Blister (≤ 1.5 mm)	1	2	3
große Blister (> 1.5 mm)	2	3	4
Ausbrüche auf der Lauffläche	2	3	4
Risse	4	4	4

Der Blisterbeständigkeitsindex I_{BL} berechnet sich aus $10 - \sum K_{BL}$

Blisterbeständiger Werkstoff Blisterbeständigkeitsindex $I_{BL} = 10$

Nicht lauffähiger, da zerstörter Werkstoff Blisterbeständigkeitsindex $I_{BL} = 0$

Auf speziellen Gleitringdichtungsprüfständen lässt sich Blisterbildung generieren.



Prüfstand für Blister tests mit hochviskosen Ölen als abdichtendes Medium

Thermoschockverhalten

SiC30 – ein thermoschockbeständiger SiC-Werkstoff

Als Kenngröße für die Thermoschockbeständigkeit eines Werkstoffes dient die Temperaturwechselbeständigkeit. Sie ist proportional zur Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit sowie umgekehrt proportional zu E-Modul und thermischem Ausdehnungskoeffizient des Werkstoffes. Die Beständigkeit von Tribowerkstoffen gegenüber Thermoschock lässt sich unter anderem mit Hilfe einer Heiß-/Kaltprüfung ermitteln und definiert maximale Tempera-

turdifferenzen, die der Werkstoff im nachstehend aufgeführten Test unbeschadet übersteht.

Das Prüfverfahren

Zur Prüfung werden Prüfkörper auf eine definierte Temperatur erhitzt und anschliessend in Eiswasser abgeschreckt. Da die so ermittelten Temperaturdifferenzen von der Probengeometrie sowie der Ausführung der Kanten und der Oberflächen abhängen, wurden die

Ergebnisse normiert und die für SSiC gefundene Temperaturdifferenz als Bezugsgröße gewählt.

SiC30 weist eine Temperaturwechselbeständigkeit auf, die unter den gängigen, in Triboanwendungen eingesetzten Keramiken unübertroffen ist.

Normierte Temperaturwechselbeständigkeit

Material

relative Temperaturwechselbeständigkeit

SSiC (gesintertes Siliciumcarbid)	1
SiSiC (reaktionsgebundenes Siliciumcarbid)	1
SiSiC-C (kohlenstoffhaltiges Siliciumcarbid)	1,15
SiC30	1,3



Für SiC30-Proben mit den Abmessungen $\varnothing 20 \times 20$ mm (Kanten gefast, Oberfläche geschliffen) konnten im Thermoschockversuch Temperaturdifferenzen von bis zu 425 °C realisiert werden.



Siliziumcarbid-Graphit-Verbundwerkstoff

Anwendungen

Die Hauptanwendungsgebiete für SiC30 sind Gleitringe und Lager für den Betrieb in nichtschmierenden Medien. Die Kombination der positiven Eigenschaften von Graphit (gute Trockenlaufeigenschaften, Temperaturwechselbeständigkeit) und Siliziumcarbid (Härte, Festigkeit, Abrasionsbeständigkeit) ermöglicht Problemlösungen, die mit anderen Werkstoffen nicht realisierbar sind. Die besten Ergebnisse lassen sich in der Regel mit der Werkstoffpaarung SiC30 gegen SiC30 erzielen.

Aufgrund der chemischen und thermischen Eigenschaften ist SiC30 ein potentieller Werkstoff zur Auskleidung von Kernfusionsreaktoren. Erste Versuche wurden mit positivem Ergebnis abgeschlossen.

Gestaltungsvorschläge

Geeignete Ausführungsformen sind rotationssymmetrische Bauteile oder rechteckige Platten; die empfohlenen Abmessungen sind für verschiedene Bauteile in Tabelle 2 zusammengestellt. Von diesen Empfehlungen sollte möglichst nicht oder nur nach Rücksprache mit der Anwendungstechnik von Schunk Kohlenstofftechnik abgewichen werden. Bedingt durch die Größe der Produktionsanlage ist der Durchmesser für Ringe auf 280 mm begrenzt.

Folgende Ratschläge sind unter den Gesichtspunkten von Produktionssicherheit und Bearbeitungskostenebenenfalls zu berücksichtigen:

- Keine schroffen Querschnittsänderungen.
- Große Absetzungen und Hinterschneidungen vermeiden.
- Kerben, Nuten und Bohrungen auf eine Mindestzahl beschränken.

Die Grenzen der Belastbarkeit von Bauteilen aus SiC30 lassen sich durch Einschrumpfen in Stahlfassungen wesentlich erhöhen.

Tabelle 1: Physikalische Eigenschaften (typische Daten) von SiC30

Rohdichte	[g/cm ³]	2,65
Porosität	[Vol. -%]	0,5
Biegefestigkeit	[N/mm ²]	140
E-Modul (dyn)	[kN/mm ²]	140
Härte HR 5/100		115
Therm. Ausdehnungskoeffizient		
α 20 - 200 °C	[10 ⁻⁶ /K]	3,0
α 20 - 1000 °C	[10 ⁻⁶ /K]	4,0
Wärmeleitfähigkeit	[W/mK]	125
Spez. elektr. Widerstand	[μΩm]	120
Gasdichtheit (Prüfdruck N ₂)	[bar]	10

Tabelle 2: Empfohlene Abmessungen für Bauteile aus SiC30

Wandstärke	Zylindrische Lager		Ringe	
	max. Höhe	max. Ø	max. Höhe	max. Ø
15 - 20 mm			20 mm	280 mm
12 - 15 mm			30 mm	280 mm
10 - 12 mm	100 mm	120 mm	25 mm	200 mm
7 - 10 mm	100 mm	100 mm	15 mm	150 mm
5 - 7 mm	70 mm	80 mm	10 mm	120 mm

Platten: maximal 200 mm x 100 mm x 12 mm



Schunk Kohlenstofftechnik GmbH

Rodheimer Straße 59
35452 Heuchelheim, Germany

Telefon: +49 (0) 641 608-0

Telefax: +49 (0) 641 608-17 26

sse@schunk-group.com

www.schunk-tribo.com