

# Lager- und Dichtungstechnik

**SiC30 – Siliziumcarbid-Graphit-Verbundwerkstoff**

# Inhaltsverzeichnis

## Seite

<b>Siliziumcarbid-Graphit-Verbundwerkstoff</b> .....	<b>3</b>
■ Herstellung .....	3
■ Gefüge .....	3
■ Zusammensetzung .....	3
■ Chemische Eigenschaften .....	3
■ Physikalische Eigenschaften .....	3
<b>Chemische Beständigkeit</b> .....	<b>4</b>
■ SiC30 – ein außergewöhnlicher Siliziumcarbid-Graphit-Verbundwerkstoff .....	4
<b>Blisterbeständigkeit</b> .....	<b>5</b>
■ SiC30 – ein blisterbeständiger Kohlenstoffwerkstoff .....	5
<b>Thermoschockverhalten</b> .....	<b>6</b>
■ SiC30 – ein thermoschockbeständiger SiC-Werkstoff .....	6
■ Das Prüfverfahren .....	6
■ Normierte Temperaturwechselbeständigkeit .....	6
<b>Siliziumcarbid-Graphit-Verbundwerkstoff</b> .....	<b>7</b>
■ Anwendungen .....	7
■ Gestaltungsvorschläge .....	7
■ Tabelle 1: Physikalische Eigenschaften (typische Daten) von SiC30 .....	7
■ Tabelle 2: Empfohlene Abmessungen für Bauteile aus SiC30 .....	7

# 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 das gebildete Siliziumcarbid die Poren verschließt.

## Gefüge

Gefügebilder zeigen ein interpenetrierendes Netzwerk von Graphit und Siliziumcarbid (Relikte der zusammenhängenden Kohlenstoffstruktur bzw. des Porensystems des Elektrographits). Freies Silizium liegt lediglich in Form von kleinen Inseln eingeschlossen im Siliziumcarbid vor.

## 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  $\beta$ -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, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>),
- heiße Inertgase.

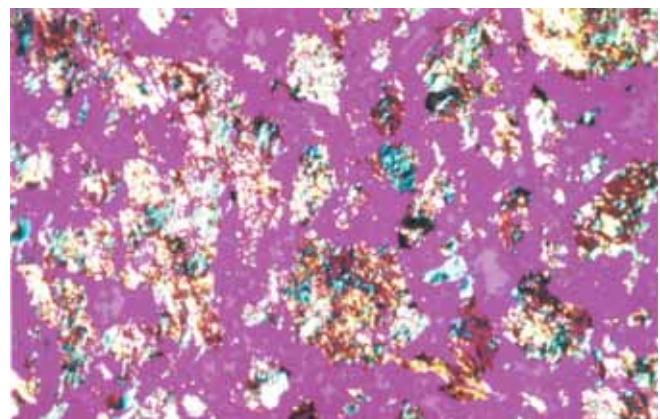
In den folgenden Medien ist SiC30 bedingt beständig:

- **Luft und andere oxidierende Gase:**  
Bei Temperaturen  $\geq 600$  °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 7) 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 Siliziumcarbid-Graphit-Verbundwerkstoff

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

Die physikalischen und tribologischen Eigenschaften unseres Werkstoffes SiC30, dessen ausgezeichnete chemische Beständigkeit von seinen Bestandteilen Siliziumcarbid 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 % HNO<sub>3</sub> (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  $\sigma_{bB} = 150 \text{ MPa}$  nahezu unverändert.



*Gleitringe aus SiC30*

Mikroskopische Untersuchungen zeigen, dass sich lediglich in der Oberfläche geringe Anteile freien Siliziums herauslösten und sich die

maßgeblichen Phasen (Siliziumcarbid und Graphit) als vollkommen beständig erweisen.



*SiC30 Lager mit Nuten*

# Blisterbeständigkeit

## SiC30 – der blisterbeständige Siliziumcarbid-Graphit-Verbundwerkstoff

Blisterbildung ist die wahrscheinlich häufigste Ausfallursache von Dichtungsringen aus Kohlenstoff in Gleitringdichtungen mit Hart-Weich-Paarungen.

In tribologischen Anwendungen kann meist nicht auf Werkstoffe mit Trocken- bzw. Notlaufeigenschaften – und damit auf Kohlenstoffwerkstoffe – verzichtet werden. Absolut blisterbeständige Kohlenstoffwerkstoffe gibt es nicht.

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

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.

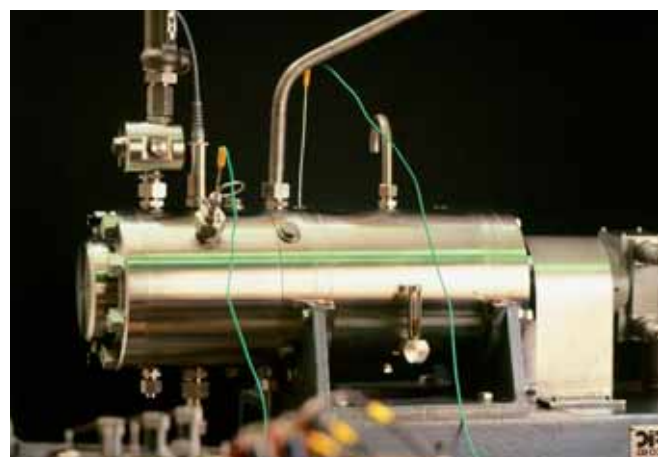
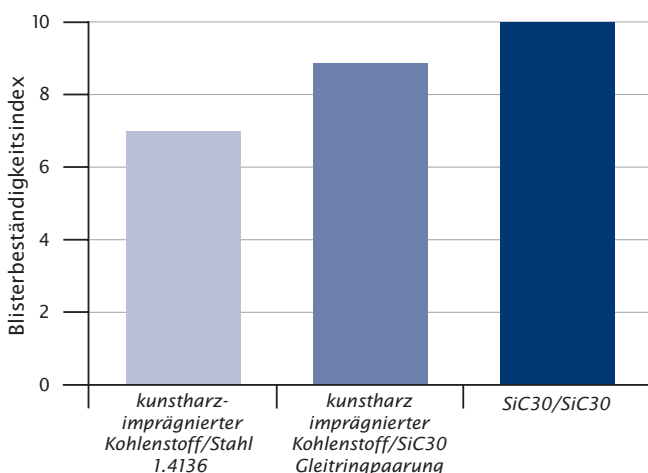
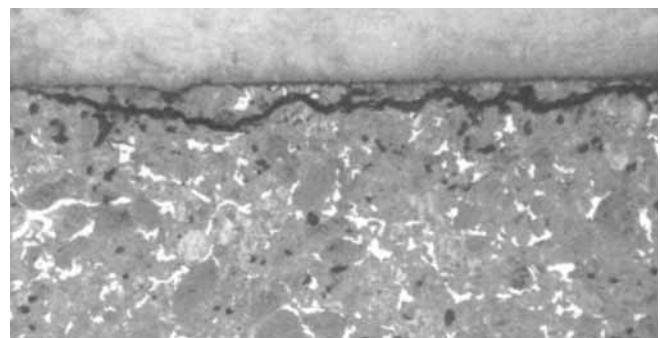
Schadensbild	Anzahl der Schäden		
	1	(2 – 4)	(≥ 5)
Ausbrüche am Innen-/Außendurchmesser	1	1	2
kleine Blister (≤ 1,5 mm)	1	2	3
große Blister (> 1,5 mm)	2	3	4
Ausbrüche auf der Lauffläche	2	3	4
Risse	4	4	4

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.

Typisches Erscheinungsbild:  
Blistering an der Kohlenstoffgraphit-Gleitfläche



Prüfstand für Blistertests 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 vergleichenden Heiß-/Kaltprüfung ermitteln und definiert

maximale Temperaturdifferenzen, die der Werkstoff im nachstehend aufgeführten Test unbeschadet übersteht.

### Das Prüfverfahren

Zur Prüfung werden identische Prüfkörper auf definierte Temperaturen erhitzt und anschließend in Eiswasser abgeschreckt. Die Ergebnisse wurden normiert, 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 Siliziumcarbid)	1
SiSiC (reaktionsgebundenes Siliziumcarbid)	1
SiSiC-C (kohlenstoffhaltiges Siliziumcarbid)	1,15
<b>SiC30</b>	<b>1,3</b>



Gleitlager aus SiC30

# Siliziumcarbid-Graphit-Verbundwerkstoff

## Anwendungen

Die Hauptanwendungsgebiete für SiC30 sind Gleitringe und Lager für den Betrieb in Medien mit schlechter Schmierfähigkeit. Die Kombination der positiven Eigenschaften von Graphit (gute Notlaufeigenschaften, 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 überdies auch ein potentieller Werkstoff zur Auskleidung von Kernfusionsreaktoren.

## 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 abgewichen werden. Bedingt durch die Größe der Produktionsanlage ist der Durchmesser für Ringe auf 280 mm begrenzt.

Folgende Empfehlungen sind unter den Gesichtspunkten von Produktionssicherheit und Bearbeitungskosten ebenfalls zu berücksichtigen:

- Keine schroffen Querschnittsänderungen.

- Große Absetzungen und Hinterschnidungen vermeiden.
- Kerben, Nuten und Bohrungen auf ein Minimum beschränken.

SiC30 lässt sich problemlos in Stahlfassungen einschrumpfen.



SiC30 Gleitringe

**Tabelle 1: Physikalische Eigenschaften (typische Daten) von SiC30**

Rohdichte	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,65
Porosität	[Vol. -%]	0,5
Biegefestigkeit	[N/mm <sup>2</sup> ]	140
E-Modul (dyn)	[kN/mm <sup>2</sup> ]	140
Härte	besteht aus einer harten SiC- und einer weichen Graphitphase	
Therm. Ausdehnungskoeffizient		
$\alpha$ 20 - 200 °C	[10 <sup>-6</sup> /K]	3,0
$\alpha$ 20 - 1000 °C	[10 <sup>-6</sup> /K]	4,0
Wärmeleitfähigkeit	[W/mK]	125
Spez. elektr. Widerstand	[ $\mu\Omega$ m]	120
Gasdichtheit (Prüfdruck N <sub>2</sub> )	[bar]	10

Die angegebenen Werte sind keine verbindlichen, sondern typische Werte auf der Basis unserer Erfahrungen. Werkstoff- und produktionsspezifische Streuungen sind zu berücksichtigen.

**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	285 mm
10 - 15 mm			35 mm	285 mm
7 - 10 mm	100 mm	150 mm	35 mm	200 mm
5 - 7 mm	70 mm	80 mm	20 mm	120 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](mailto:sse@schunk-group.com)

[www.schunk-tribo.com](http://www.schunk-tribo.com)