

# **Carbonwerkstoffe – Werkstoffentwicklungen für die Anwendung in hochbelasteten Gleitringdichtungen.**

**Dr. Gert Wahl**  
**Schunk Kohlenstofftechnik GmbH**

**Matthias Plefka**  
**Schunk Kohlenstofftechnik GmbH**

## **Zusammenfassung**

Carbonwerkstoffe zeichnen sich durch exzellente Not- und Trockenlaufeigenschaften aus. Sie werden daher immer dann eingesetzt, wenn Gleit- und Reibstellen nicht geschmiert werden können oder in Kontakt mit Medien, die selbst eine schlechte Schmierfähigkeit aufweisen bzw. wenn Trockenlauf auftreten kann.

Kohlenstoffwerkstoffe sind daher auch prädestiniert für den Einsatz als Dichtungsring in vielen hochbelasteten Gleitringdichtungen.

Die Anwendungsgebiete werden immer vielfältiger, die Einsatzbedingungen zunehmend kritisch, was herkömmliche Kohlenstoffwerkstoffe überlasten kann.

Aber auch die anwendungsnahe Weiterentwicklung der Carbonwerkstoffe schreitet voran mit Fokus auf:

- Außergewöhnliche Festigkeit und Maßstabilität
  - Beste chemische und Temperaturbeständigkeit
  - Trockenlauffähigkeit auch unter absolut trockenen Bedingungen
  - Besondere Werkstoffgefüge zur Optimierung hydrodynamischer Effekte
- Werkstoffentwicklungen werden vorgestellt.

## **1. Carbonwerkstoffe**

Unter Carbonwerkstoffen versteht man verschiedene Untergruppen von Werkstoffen, die als Hauptbestandteil unterschiedliche Kohlenstoffformen wie Kokse, Graphite Ruße oder auch C-Fasern enthalten. Kohlenstoffgraphite, sog. Hart- oder Hartbrandkohlen (Schunk FH42, FH44, FH82 etc.) sind thermisch bis ca. 1200 °C behandelt, graphitische Bestandteile sind bereits als Graphit in Form von Pulvern

eingebraucht. Elektrographite sind graphitierte Werkstoffe nach einer thermischen Behandlung bei ca. 3000 °C (Schunk FE45, FE65, FE679).

Im weiteren Sinne lassen sich auch hoch kohlenstoffgefüllte duromere Formmassen unter diesem Oberbegriff (Schunk FF521) fassen, sowie Sonderwerkstoffe mit z.B. Anteilen an SiC (Schunk SiC30).

## 2. Einsatzbereiche

Wichtig für die Verwendung von Carbonwerkstoffen als Gleitring ist vor allem auch deren tribologisches Verhalten.

Carbonwerkstoffe enthalten je nach Inhaltsstoffen und Zustand unterschiedliche Anteile an Graphit. Dabei können die kristallinen Bezirke sehr unterschiedlich groß sein; je größer die Kristallite und je größer der Gehalt graphitischer Inhaltstoffe, desto graphitischer der Werkstoff.

Graphit ist nun aber aufgrund seiner ausgeprägten Schichtstruktur ein guter Trockenschmierstoff. Die Schmierung geht einher mit einem gewissen Verschleiß; der Verschleißstaub wird nicht vollständig ausgetragen, sondern verbleibt im Reibkontakt, wo er auf dem Gegenläufer einen Übertragungsfilm, eine Art Patina bildet. Weniger graphitische, härtere Bestandteile steuern dabei die Filmbildung.

Der Übertragungsfilm trennt auch in Ermangelung flüssiger Medien die Reibpartner, es läuft „Kohle“ auf „Kohle“.

Folgerichtig werden Carbonwerkstoffe immer dann eingesetzt, wenn eine hydrodynamische Schmierung der Gleitflächen nicht gewährleistet ist, wenn die Medien eine schlechte Schmierfähigkeit besitzen, die Temperaturen hoch, die Viskositäten niedrig sind, oder wenn überhaupt nicht geschmiert werden kann oder darf.

## 3. Herstellungsprozess

Graphitpulver können nicht gesintert werden, Graphit schmilzt nicht, sondern geht direkt vom festen in den gasförmigen Zustand über. Um trotzdem technische Kohlenstoffprodukte in einem Pulverprozess herstellen zu können, werden Füllstoffe auf Basis Kohlenstoff sowie Bindemittel, vornehmlich Peche oder Harze, eingesetzt. Die Bindemittel werden in einem thermischen Prozess in Kohlenstoff übergeführt, verkockt.

Wie bereits erwähnt, können unterschiedlichste Inhalts- oder Füllstoffe in verschiedenen Mischungsverhältnissen und Korngrößen kombiniert werden, was natürlich maßgeblichen Einfluss auf die Eigenschaften der daraus resultierenden Werkstoffe hat. Den Herstellungsprozess zeigt schematisch das **Bild Nr. 1**. Nicht nur die Inhaltsstoffe, sondern jeder einzelne Prozessschritt mit seinen definierten Parametern spiegelt sich in den Eigenschaften der Werkstoffe wieder. Die noch

porösen Kohlenstoffgraphite oder auch Elektrographite werden zudem zwecks Abdichtung imprägniert, was die Werkstoffvielfalt nochmals vergrößert.

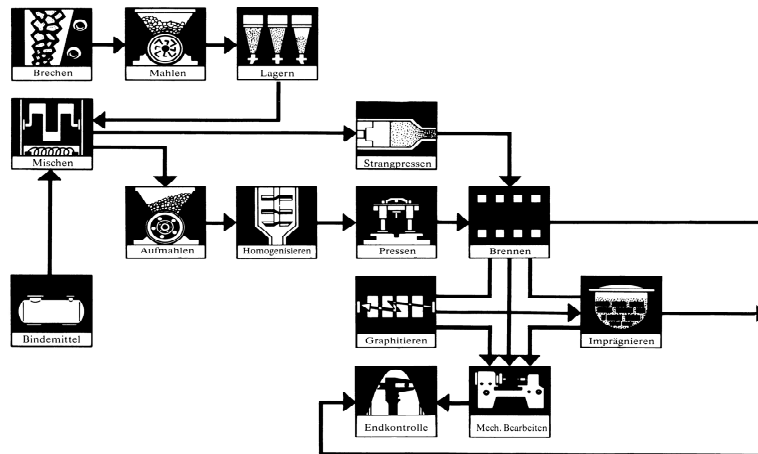


Bild Nr.1: Der Herstellungsprozess  
(Figure 1: Manufacturing process of carbon materials)

#### 4. Einfluss des Herstellungsprozesses auf die Werkstoffeigenschaften

Ohne an dieser Stelle auf Details eingehen zu wollen, seien einige Einflussfaktoren aufgezählt:

- Die Rezepturen, Inhaltsstoffe, Füllstoffe und Bindemittel nach Art und Gehalt sowie der Mischungsprozess selbst.
- Die Korngrößen und Korngrößenverteilungen der Füllstoffe und der Mischungen.
- Die thermischen Behandlungen nach Verlauf und Endtemperaturen.
- Die Veredelungsschritte, wie beispielsweise Imprägnierungen.
- Die Prozessparameter in Kombination mit der eingesetzten Anlagenausstattung.

In der Konsequenz bedeutet dies:

Die Werkstoffe können auf ihre jeweiligen Anwendungen zugeschnitten werden.

Schunk produziert Carbonwerkstoffe, beginnend mit der Rohstoffaufbereitung, nach eigenen Rezepturen. Da alle Prozessschritte im eigenen Haus durchgeführt werden, ist Schunk in der Lage, in enger Zusammenarbeit mit seinen Kunden neue, innovative Werkstoffe zu entwickeln, Problemlösungen zu generieren.

Eine umfangreiche Prüffeld- und Laborausstattung ermöglicht es, Werkstoffe auf ihre Eigenschaften hin zu testen. Dabei werden nicht nur die gängigen physikalischen Werte abgeprüft, sondern auch tribologische Eigenschaften ermittelt.

Beispielhaft zeigen die **Bilder 2 und 3** Abhängigkeiten physikalischer Größen von Behandlungstemperaturen und Gefügestrukturen.

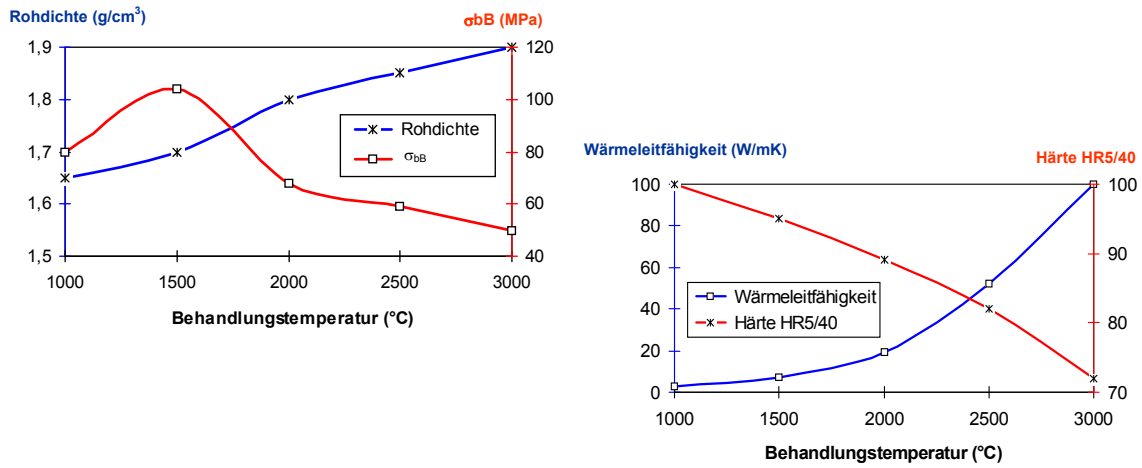
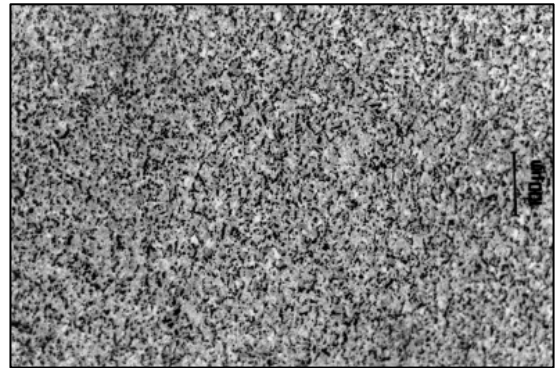
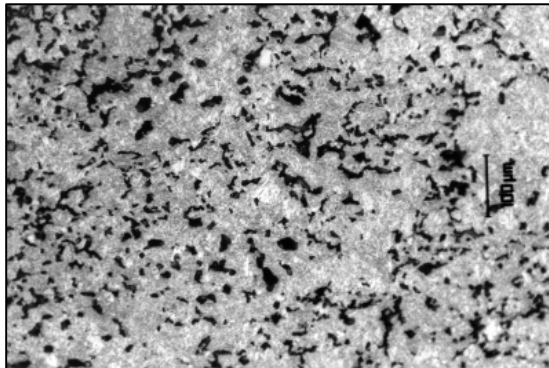


Bild Nr.2: Einfluss der Behandlungstemperatur  
(Figure 2: Influence of thermal treatment)



**Typ A** Biegefestigkeit: 40 MPa  
Rohdichte: 1.82 g/cm<sup>3</sup>  
Offene Porosität: 10 %

**Typ B** Biegefestigkeit: 75 MPa  
Rohdichte: 1.78 g/cm<sup>3</sup>  
Offene Porosität: 15 %

Bild Nr.3: Einfluss der Korngröße  
(Figure 3: Influence of grain size)

Die folgende Tabelle soll einen Eindruck vermitteln, in welchem Maße bereits die physikalischen Eigenschaften einiger Schunk-Standardwerkstoffe variieren.

Physikalische Eig.	Min.	Max.	Werkstofftyp
<b>Raumgewicht</b> (g/cm <sup>3</sup> )	1,41	2,80	Hochporöser Elektrographit Metallimprägnierter Kohlenstoffgraphit
<b>Porosität</b> (%)	0	30	Werkstoffe für Dichtungsringe Hochporöser Elektrographit
<b>Biegefestigkeit</b> (MPa)	10	90	Hochporöser Elektrographit Hochfeste A-Kohle
<b>Elastizitätsmodul</b> (GPa)	9	26	Poröser Kohlenstoffgraphit Hochfeste A-Kohle
<b>Wärmeleitfähigkeit</b> (W/mK)	2	65	Kunstharzgebundener Werkstoff Elektrographit für tribolog. Anwendung
<b>Temp.-Einsatzgr.</b> (°C)	180	650	Kunstharzgebundener Werkstoff Oxidationsgeschützter Elektrographit

## 5. Beispiele innovativer Werkstoffentwicklungen

Bei der Vielzahl der im Schunk-Werkstoffprogramm zur Verfügung stehenden Grundwerkstoffen und Werkstoffvarianten gelingt es in vielen Anwendungsfällen, einen geeigneten Werkstoff bereitzustellen. Oftmals werden die Anwendungsbedingungen jedoch zunehmend kritischer und neue Werkstoffe mit überlegenen Eigenschaften sind gefragt. Im Folgenden sollen einige Entwicklungen kurz vorgestellt werden.

### 5.1 FH71, der Trockenläufer

Für berührenden Trockenlauf wurde ein Dichtungsringwerkstoff benötigt. Das Problem war nun das verwendete Sperrgas, nämlich trockener Stickstoff, so dass auch die besten Werkstoffe für „technisch trockene“ Bedingungen zum Scheitern verurteilt waren. Der Trockenschmierstoff Graphit verliert diese Eigenschaft unter absolut trockenen Bedingungen, weshalb ein vollkommen neuer Werkstoff mit speziellen Additiven entwickelt wurde, der den genannten Anforderungen in vollem Umfang entspricht.



Bild Nr.4: FH71Z5 und FH71A, trockenlaufende Carbonwerkstoffe  
(Figure 4: FH71Z5 and FH71A, dry running carbon materials)

## 5.2 Tribon<sup>®</sup>, Symbiose aus Hartkohle und Graphit

Strahltriebwerke müssen immer effizienter werden. Dies bedeutet für Neuentwicklungen, dass sowohl Temperaturen als auch Gleitgeschwindigkeiten für Dichtelemente steigen.

Werkstoffe vom Typ Tribon<sup>®</sup> verbinden die Härte und Verschleißfestigkeit von Kohlenstoffgraphiten mit den Vorteilen der Elektrographite. Sie sind gut wärmeleitend und sofern metallfrei, chemisch in weiten Grenzen inert.

So löst Tribon<sup>®</sup> heute Dichtprobleme in der Hauptschaftabdichtung moderner Triebwerke.



Bild Nr.5: Tribon<sup>®</sup>, ein ausgesprochen beständiger Carbonwerkstoff  
(Figure 5: Tribon<sup>®</sup>, a resistant carbon material)

Mit einem Werkstoff aus der Tribon<sup>®</sup>-Familie konnte der Einsatzbereich traditioneller Werkstoffe in besonders kritischen Heißwasseranwendungen signifikant erweitert werden.

Des weiteren werden die Werkstoffe in modernen Dampfmaschinen und unter chemisch aggressiven Bedingungen eingesetzt. Diese innovative Werkstofffamilie wird sich noch viele neue Anwendungsgebiete erschließen.

### 5.3 „DS“, maßstabile Werkstoffe für besondere Anwendungen

Bedingt durch Herstellungsprozess und Struktur zeigen alle Carbonwerkstoffe gewisse Maßänderungen unter hoher Belastung. In besonders kritischen Anwendungen wie der eines Gasdichtungsringes erweist es sich als Problem, dass diese Maßänderungen nur teilweise reversibel sind und durch den Elastizitätsmodul beschrieben werden können.

Durch konsequente Weiterentwicklung seiner Werkstoffe, beginnend mit der Mischung, ist es Schunk gelungen, ausgesprochen maßstabile Varianten herzustellen. Diese werden unter der Bezeichnung „DS“ (maßstabil) angeboten. Auch Tribon<sup>®</sup>-Werkstoffe und neuentwickelte, hochfeste Feinkornsorten mit überlegenen Elastizitätsmoduln können in der Modifikation „DS“ hergestellt werden.

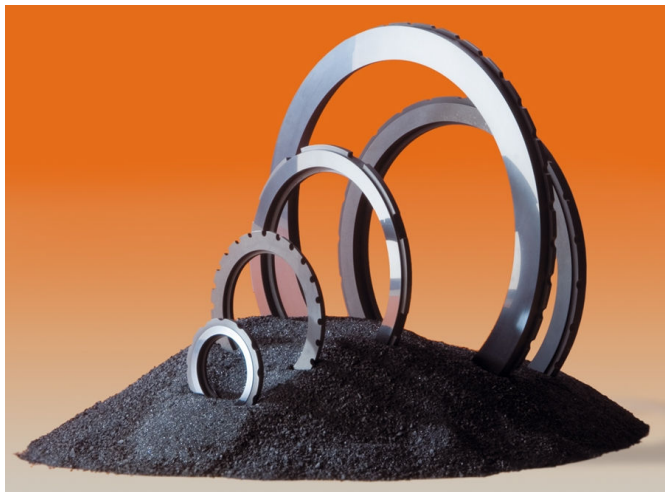


Bild Nr.6: „DS“, dimensionsstabilisiert  
(Figure 6: „DS“, dimensionally stabilized)

### 5.4 „Feine Blisterbeständigkeit“

Blisterbildung stellt in vielen Anwendungen ein ernsthaftes Problem dar, da die Dichtung ihre Funktion verliert. Blister sind Bläschen auf der Dichtfläche, gebildet durch flach in den Werkstoff einlaufende Risse. Umfangreiche Tests machen es wahrscheinlich, dass eine Ursache in einer Überschreitung der Scherfestigkeit der Carbonwerkstoffe liegt. Folglich treten Blister dann auf, wenn es zu hohen Drehmomenten kommt. Hohe Scherfestigkeiten sind gefordert, also auch hohe Biegefestigkeiten. Neuentwickelte, hochfeste, feinkörnige Werkstoffe tragen dem Rechnung und erweisen sich als ausgesprochen blisterbeständig.

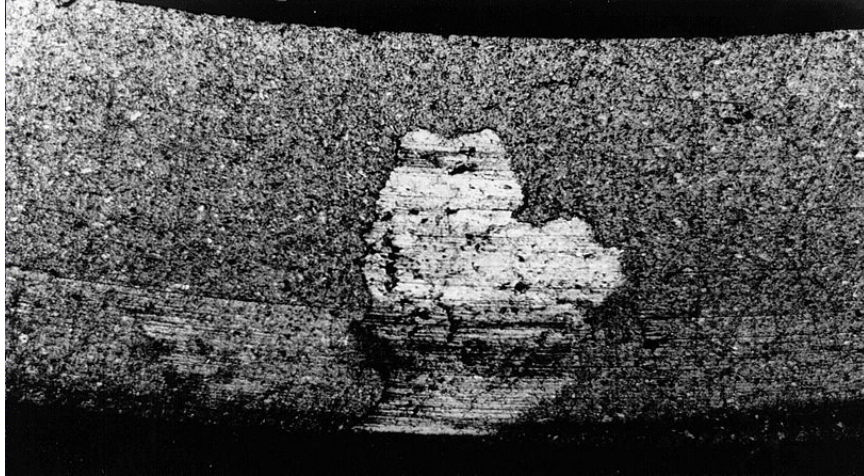


Bild Nr.7: Feinkörnige Carbonwerkstoffe sind blisterbeständiger  
(Figure 7: Fine grained carbon materials are more blister resistant)

### **5.5 Wie optimierte Werkstoffgefüge die Schmierung verbessern**

Harte Siliziumcarbidwerkstoffe stellen eine ideale Werkstoffpaarung dar, wäre da nicht das fehlende Notlaufverhalten.

In Prüfstandsversuchen lässt sich Trockenlauf, verbunden mit hoher Reibung und Drehmomentspitzen, und - in der Konsequenz - der Ausfall der Dichtung sehr reproduzierbar herbeiführen. Gefügeoptimierte Werkstoffe verhalten sich bedeutend besser als herkömmliche Siliziumcarbidwerkstoffe, die  $p \times v$ -Werte einer Dichtung können durch deren Einsatz somit erheblich gesteigert werden.

**Bild 8** zeigt einen Versuch in deionisiertem Wasser mit durch Druck- und Temperatursteigerung über die Zeit zunehmend kritischen Schmierbedingungen. Während ein gesintertes Siliziumcarbid früh versagt, läuft der gefügeoptimierte Werkstoff SiC30 problemlos.

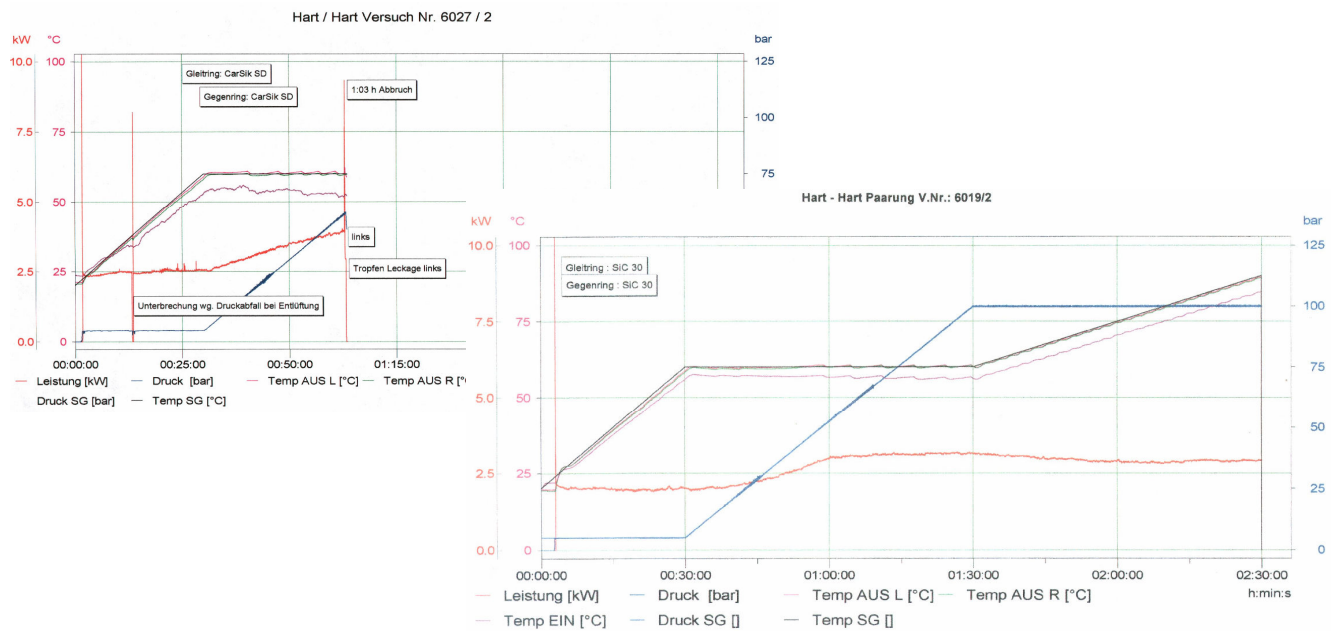
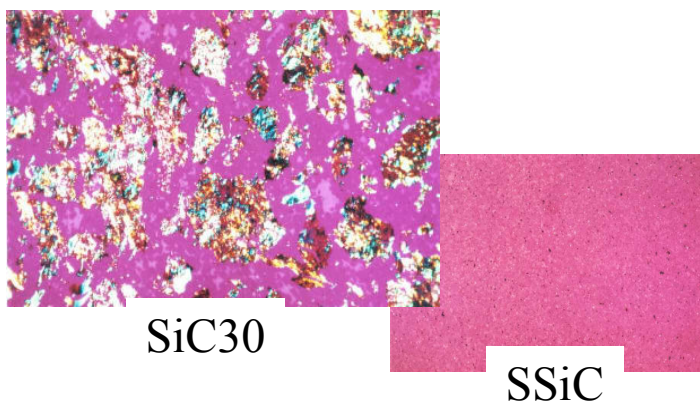


Bild Nr.8: Notlaufverhalten der SiC30  
(Figure 8: Dry running capability of SiC30)

Was mit Wasser funktioniert, lässt sich in diesem Fall auch auf andere Medien übertragen, auch auf Öle, welche mitunter Blisterbildung fördern. In solchen Fällen kann SiC30 erfolgreich als Gegenlaufwerkstoff für Carbonwerkstoffe eingesetzt werden.

**Bild 9** zeigt vergleichend die Gefüge der getesteten Werkstoffe. Das einzigartige Gefüge der SiC30 lässt sich im Übrigen lediglich durch Infiltration eines Elektrographits mit Silizium darstellen, ein Prozess, der in dieser Form nur von Schunk durchgeführt wird.



SiC30

SSiC

Bild Nr.9: Vergleich der Gefüge SiC30 und SSiC  
(Figure 9: Microstructure SiC30 versus SSiC)

## **6. Zusammenfassung und Ausblick**

Carbonwerkstoffe werden unter kritischen tribologischen Bedingungen eingesetzt. Bereits heute steht eine Vielzahl solcher Werkstoffe mit zum Teil sehr unterschiedlichen Eigenschaften zur Verfügung.

Der einzigartige Herstellungsprozess erlaubt es, Werkstoffeigenschaften durch verschiedenste Maßnahmen den Anwendungen anzupassen, maßgeschneiderte Werkstoffe herzustellen.

Schunk produziert Carbonwerkstoffe und Maschinenelemente daraus, beginnend mit der Rohstoffaufbereitung. Neben dem Zugriff auf alle Prozessschritte stehen sämtliche Messmittel, Analyse- und Prüfkapazitäten zur Verfügung, ideale Voraussetzungen für erfolgreiche Werkstoffentwicklungen für unsere und zusammen mit unseren Kunden.

Die Entwicklung schreitet voran; Carbonwerkstoffe haben das Potential, auch noch kritischere Einsatzbedingungen zu beherrschen und die Lücke im Anwendungsbereich von harten, keramischen und „weichen“ Reibpartnern zu schließen.