



Allgemeines: Eigenschaften Verwendung als Gleitwerkstoff Konstruktionshinweise

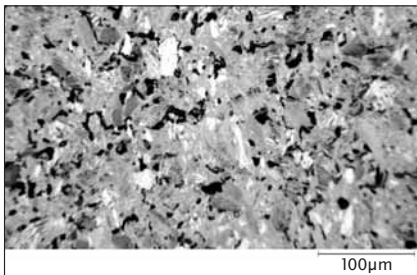
Inhaltsverzeichnis

Seite

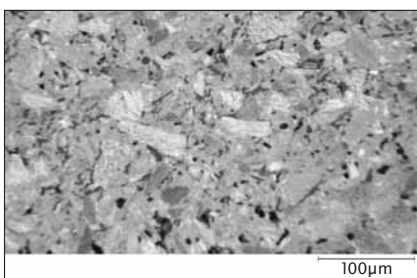
Eigenschaften	3
▪ a) Porosität	3
▪ b) Rohdichte	4
▪ c) Chemische Beständigkeit	4
▪ d) Temperaturbeständigkeit	4
▪ e) Festigkeit	4
▪ f) Härte	4
▪ g) Wärmeleitfähigkeit	5
▪ h) Wärmeausdehnungskoeffizient	5
▪ i) Temperaturwechselbeständigkeit	5
▪ j) Gleiteigenschaften	5
Verwendung als Gleitwerkstoff	8
▪ a) Hinweise auf Einsatzbedingungen	8
▪ b) Angaben zur Werkstoffauswahl	8
Konstruktionshinweise	9
▪ Einleitung	9
▪ Allgemeine Konstruktionshinweise	9
Teilfertiggepresste und fertiggepresste Bauteile aus pechkoksgebundenen Kohlenstoffgraphitwerkstoffen (FH-Werkstoffe)	11
▪ Dimensionierung	11
▪ Toleranzen	11
▪ Ausführungsformen	11
Teilfertiggepresste und fertiggepresste Bauteile aus kunstharzgebundenen Kohlenstoffgraphitwerkstoffen (FF-Werkstoffe)	13
▪ Dimensionierung	14
▪ Toleranzen	14
▪ Ausführungsformen	14

Eigenschaften

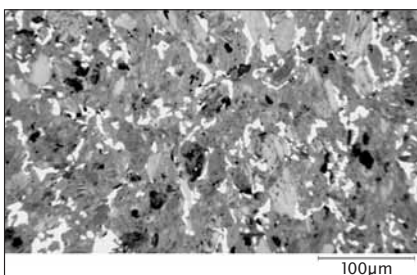
Informationen über die Herstellung von Kohlenstoff- und Graphitwerkstoffen finden Sie unter www.schunk-tribo.com (Broschüre 03.05: „Herstellung von Kohlenstoff- und Graphitwerkstoffen“ (pdf)). Die Kennwerte für unsere Standardwerkstoffe für Gleitlager, Dichtungselemente und Bauteile liegen dort ebenfalls zum Herunterladen vor (Broschüre 30.14: „Kenndaten – Standardwerkstoffe“ (pdf)). Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit den Eigenschaften von Kohlenstoff- und Graphitwerkstoffen speziell im Hinblick auf mechanische Anwendungen.



Schliffbild eines nichtimprägnierten Kohlenstoffgraphitwerkstoffes



Schliffbild eines kunstharzprägnierten Kohlenstoffgraphitwerkstoffes.
Poren mit Kunstharz ausgefüllt



Schliffbild eines metallprägnierten Kohlenstoffgraphitwerkstoffes.
Poren mit Metall ausgefüllt

a) Porosität

Aufgrund des Herstellungsverfahrens sind Kohlenstoffgraphitwerkstoffe den keramischen Werkstoffen zugeordnet.

Beim Brennprozess wird das Bindemittel thermisch zu Kohlenstoff abgebaut. Die flüchtigen Bestandteile des Bindemittels verursachen eine gewisse Porosität der Werkstoffe, die je nach Zusammensetzung und Aufbau der Ausgangsmischung bei Materialien für mechanische Anwendungen etwa 8 bis 25 Vol.-% betragen kann. Damit ist eine Durchlässigkeit für Flüssigkeiten und insbesondere Gas gegeben. Für einige Verwendungszwecke stören die im Material vorhandenen Poren nicht. Für Dichtungselemente wie z. B. Gleitringe für Gleitringdichtungen sind dagegen Werkstoffe mit größerem Porenvolumen ungeeignet.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die offene Porosität von Kohlenstoff- und Graphitwerkstoffen zu verringern bzw. gegen Null zu bringen.

1. Einmaliges, für Dichtungselemente aber überwiegend mehrmaliges Imprägnieren mit jeweils anschließendem thermischen Abbau des Imprägniermittels zu Kohlenstoff.

Nachteile: Kosten- und zeitaufwendiges Verfahren.

Vorteile: Festigkeits- und Härtesteigerung ohne Einfluss auf die chemische Beständigkeit.

2. Einmaliges, für Dichtungselemente aber überwiegend mehrmaliges Imprägnieren mit Kunstharzen und jeweiliger Aushärtung des Harzes.

Nachteile: Reduzierung der Temperaturbeständigkeit und geringe Einschränkung der chemischen Beständigkeit.

Vorteile: Deutliche Erhöhung der Festigkeits- und Härtewerte sowie Verbesserung der Verschleißfestigkeit.

3. Einmaliges Imprägnieren mit Metallen wie Antimon und Kupfer.

Nachteile: Einschränkung der chemischen Beständigkeit.

Vorteile: Größtmögliche Erhöhung der Festigkeits- und Härtewerte sowie Verbesserung der Verschleißfestigkeit.

4. Daneben sind noch die porenfreien, kunstharzgebundenen Kohlenstoffwerkstoffe zu erwähnen, deren chemische und thermische Beständigkeit durch das Binderharz bestimmt werden.

Vorteile: Preisgünstige Herstellung von Massenteilen durch mögliche Fertigpressung auch komplizierter Teile.

b) Rohdichte

Wegen der vorhandenen Poren ist es bei Kohlenstoffwerkstoffen üblich, die scheinbare Dichte oder Rohdichte anzugeben. Sie schwankt bei nicht imprägnierten Werkstoffen typischerweise zwischen 1,5 und 1,8 g/cm³, bei metallimprägnierten zwischen 2,2 und 2,5 g/cm³ und liegt bei kunstharzimprägnierten Werkstoffen um 1,8 g/cm³.

c) Chemische Beständigkeit

Kohlenstoffgraphitwerkstoffe sind aufgrund ihrer ausgezeichneten chemischen Resistenz in die Gruppe der korrosionsfesten Werkstoffe einzureihen.

Einzelheiten entnehmen Sie bitte unserer Broschüre „Lager- und Dichtungstechnologie – Chemische Beständigkeit“ (39.12), die Sie unter www.schunk-tribo.com herunterladen können.

d) Temperaturbeständigkeit

Bei Kohlenstoffgraphitwerkstoffen tritt bei Luftzutritt ab Temperaturen von etwa 350 °C eine Oxidation des Kohlenstoffes auf. Bei Elektrographit ist mit einer merklichen Oxidation erst ab etwa 500 °C zu rechnen.

Durch spezielle Nachbehandlung lässt sich die Temperaturbeständigkeit von Elektrographit in oxidierender Atmosphäre auf 600 – 650 °C steigern.

In nicht oxidierender Atmosphäre wird die Temperaturbeständigkeit von Kohlenstoff und Graphit durch die Behandlungstemperatur beim Herstellprozess bestimmt und liegt damit bei etwa 1000 °C bzw. ca. 2500 °C.

Bei kunstharz- und metallimprägnierten Werkstoffen ist die Temperaturbeständigkeit durch die Zersetzung- bzw. Schmelztemperatur der verwendeten Imprägniermittel begrenzt.

Bei kunstharzimprägnierten Kohlenstoffgraphitwerkstoffen liegt die Temperatureinsatzgrenze zwischen 200 °C und 260 °C. Kunstharzgebundene Kohlenstoffwerkstoffe sind im Dauerbetrieb typischerweise bis 180 °C einsetzbar.

e) Festigkeit

Bei der Konstruktion mit Kohlenstoffgraphitwerkstoffen muss wie bei allen keramischen Werkstoffen eine gewisse Sprödigkeit berücksichtigt werden. Wegen dieser größeren Sprödigkeit im Vergleich zu gebräuchlichen metallischen Werkstoffen ist die Festigkeit von Kohlenstoffgraphitwerkstoffen nicht durch Angaben der Zugfestigkeit und Dehnungswerten zu charakterisieren. Es ist vielmehr üblich, die Biege- und Druckfestigkeit sowie den Elastizitätsmodul als Kenngrößen anzugeben.

Kohlenstoffgraphitwerkstoffe weisen eine vergleichsweise geringere Zug- und Biegefestigkeit, dagegen aber eine relativ hohe Druckfestigkeit auf. Dies sollte eine werkstoffgerechte Konstruktion berücksichtigen. Im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen geht die Festigkeit mit steigender Temperatur nicht stark zurück, sondern steigt sogar geringfügig an.

f) Härte

Um einen Vergleich mit Härtewerten anderer Werkstoffe zu ermöglichen, haben wir in unserer Broschüre „Kenndaten – Standardwerkstoffe“ (30.14) zusätzlich zur Rockwell Härte (HR) die Brinellhärte angegeben. Zur ständigen Qualitätsüberwachung ziehen wir das Brinellhärteverfahren nicht heran, da dieses nur statthaft ist, wenn die Oberfläche des porigen Materials poliert wird.

Dynamische Härtemessverfahren sind nach unserer Erfahrung wegen der Struktur des Materials weniger gut geeignet.

Außerdem ist die Angabe von Shore-Härtewerten allein wegen der stark vom jeweils benutzten Gerät abhängigen Messwerte problematisch. Wir ermitteln daher bei unseren Kohlenstoffwerkstoffen die Härte HR5/40, HR5/100 und HR 5/150. Hierbei wird eine 5-mm-Stahlkugel mit 98 N Vorlast und 294 N, 883 N bzw. 1373 N Zusatzlast in den zu prüfenden Körper gedrückt. Nach Abnehmen der Zusatzlast ist die bleibende Eindringtiefe ein Maß für die Härte HR5/40, HR5/100 bzw. HR5/150 (dimensionslos), die an der B-Skala von Rockwellhärteprüfgeräten abgelesen wird.

g) Wärmeleitfähigkeit

In untenstehender Tabelle sind die Wärmeleitfähigkeiten von Kohlenstoffgraphit und Elektrographit und im Vergleich dazu die einiger weiterer Werkstoffe zusammengestellt. Elektrographite zeichnen sich gegenüber Kohlenstoffgraphitwerkstoffen durch eine wesentlich höhere Wärmeleitfähigkeit aus.

h) Wärmeausdehnungskoeffizient

Eine weitere kennzeichnende Eigenschaft, die bei der Konstruktion mit Kohlenstoffwerkstoffen unbedingt berücksichtigt werden muss, ist der im Vergleich zu Metallen niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient, der mit $2 \text{ bis } 6 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ nur etwa ein Viertel so groß ist wie der von Stahl.

Ausgenommen davon sind die kunstharzgebundenen Kohlenstoffwerkstoffe, deren Wärmeausdehnungskoeffizient in der Größenordnung mit dem von Stahl übereinstimmt.

i) Temperaturwechselbeständigkeit

Die Thermoschockbeständigkeit, als Quotient aus dem Produkt von Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit und dem Produkt von E-Modul und thermischem Ausdehnungskoeffizienten definiert, muss für Kohlenstoffgraphit und insbesondere auch für Elektrographitwerkstoffe als hervorragend eingestuft werden.

j) Gleiteigenschaften

Graphit, ob Naturgraphit oder Elektrographit, besitzt auf Grund seiner besonderen Kristallstruktur selbstschmierende Eigenschaften. Da auch bei der Herstellung von Kohlenstoffgraphitwerkstoffen für Lager und Dichtungselemente stets Graphit als Komponente verwendet wird, bestehen neben den Elektrographitwerkstoffen auch diese Werkstoffe zu einem bedeutenden Teil aus einem Trockenschmiermittel.

Auch ohne zusätzliche flüssige Schmiermittel ist daher der Reibungskoeffizient zwischen Kohlenstoffwerkstoffen und dem gegenlaufenden Material bei einwandfreier Gleitflächenbeschaffenheit vergleichsweise klein.

Allgemein gültige Angaben über den Reibungskoeffizienten lassen sich infolge stark unterschiedlicher Betriebsbedingungen nicht machen.

Im Trockenlauf ist bei den Gegenlaufmaterialien Grauguss oder Stahl mit einem Reibungskoeffizienten in der Größenordnung von $\mu = 0,1 \text{ bis } 0,3$ zu rechnen.

Werkstoffe	Wärmeleitfähigkeit bei +20 °C W/mK
Elektrographit	40 - 130
Kohlenstoffgraphit	8 - 17
Chrom-Nickel-Stahl 18/8	15
Grauguss	45 - 60
Kupfer	395
Bronze SnBz 12	38
Chromstahlguss	19
Sinterkeramik (Al ₂ O ₃)	21
Siliziumkarbid	80 - 130

In Gegenwart von Flüssigkeiten oder Dämpfen, wobei die Art der Flüssigkeiten bzw. Dämpfe von untergeordneter Bedeutung ist, wird der Reibbeiwert allgemein bedeutend herabgesetzt, so dass bereits im Mischreibungsbereich mit einem Reibungskoeffizienten von $\mu < 0,1$ zu rechnen ist.

Anhaltspunkte über den Reibungskoeffizienten zwischen Kohlenstoffgraphit und Grauguss bzw. Stahl bei Tockenlauf geben die nebenstehenden vier Diagramme.

Das erste Diagramm, in welchem der Reibungskoeffizient über der Einlaufzeit aufgetragen ist, zeigt, dass der Reibungskoeffizient bei fortschreitendem Einlauf und einer damit verbundenen zunehmenden Glättung der Gleitfläche zurückgeht, bis ein konstanter Wert erreicht ist. Von weitaus größerer Bedeutung ist allerdings, dass der Reibungskoeffizient von der Gleitgeschwindigkeit und der spezifischen Belastung abhängig ist. Diagramm 2 und 3 zeigen diese Abhängigkeit für den nicht imprägnierten Kohlenstoffgraphitwerkstoff -FH44Y-.

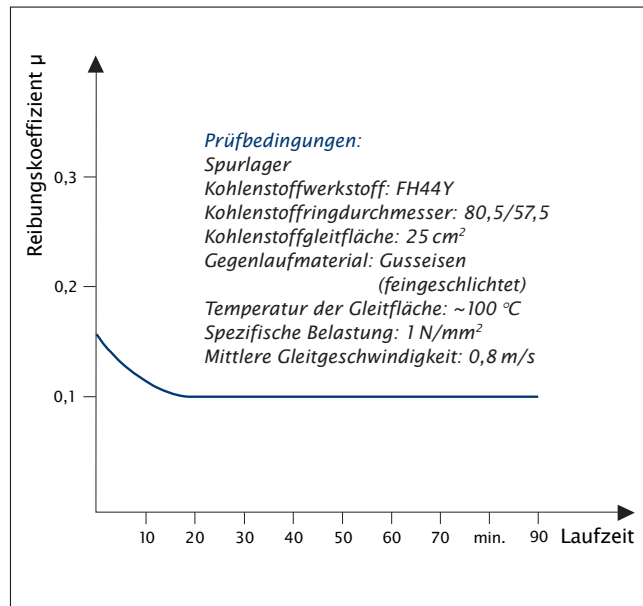


Diagramm 1:
Veränderung des Reibungskoeffizienten μ beim Einlauf

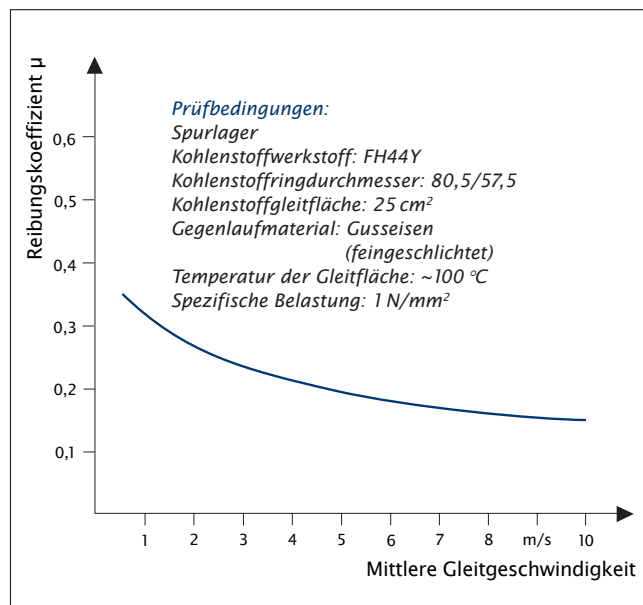


Diagramm 2:
Reibungskoeffizient μ in Abhängigkeit von der mittleren Geschwindigkeit

Diagramm 3:
Reibungskoeffizient μ in Abhängigkeit von der spezifischen Belastung

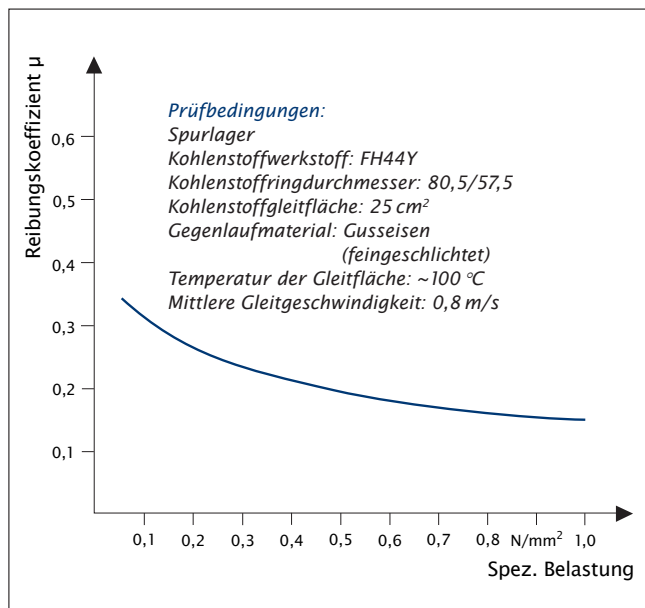
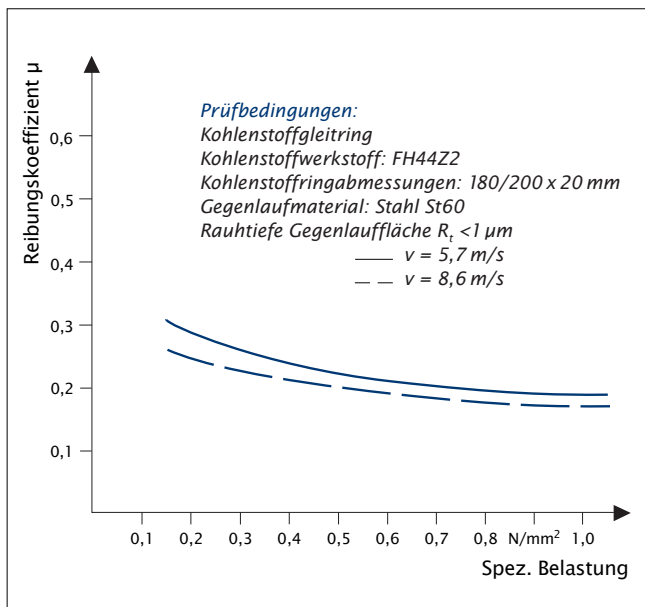


Diagramm 4:
Reibungskoeffizient μ in Abhängigkeit von der spezifischen Belastung der Gleitpaarung FH44Z2 - Stahl



Im Diagramm 4 ist die Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der spezifischen Belastung bei zwei konstanten Gleitgeschwindigkeiten für den kunstharzimprägnierten Kohlenstoffgraphitwerkstoff -FH44Z2- aufgezeigt. Besonders ist darauf hinzuweisen, dass Kohlenstoffwerkstoffe im Gegensatz zu einigen anderen Stoffen mit geringem Reibbeiwert auch über eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit verfügen.

aus: Techn. Hochschule Darmstadt, Dissertation von H. Hartmann: „Über den Temperaturverlauf und die Einsatzgrenzen von trockenlaufenden Graphit-Dichtringen“.

Verwendung als Gleitwerkstoff

a) Hinweise auf Einsatzbedingungen

Die Verwendung von Kohlenstoff-graphitwerkstoffen ist unter folgenden Bedingungen empfehlenswert und gegenüber anderen Gleitwerkstoffen vorteilhaft:

1. Unter Flüssigkeiten mit ungünstigen Schmiereigenschaften wie z. B. Wasser, wässrige Lösungen, Benzin, flüssige Gase usw., die bei anderen Materialpaarungen nicht oder nur sehr wenig reibungsmindernd wirken.
2. Bei hohen und tiefen Temperaturen außerhalb des Temperatureinsatzbereiches von Schmierölen und Fetten.
3. Unter korrosiv wirkenden oder radioaktiven Gasen und Flüssigkeiten, welche die Verwendung anderer Gleitwerkstoffe ausschließen.
4. Wenn öl- und fettlösende Mittel an die Gleitfläche gelangen können.
5. Wenn das Fertigungsgut durch Öl oder Fett nicht verunreinigt werden darf.
6. Wenn Öle oder Fette den Arbeitsvorgang gefährden.
7. Anwendungsgebiete, bei denen Lösungsmittelreinigung oder Sterilisation erforderlich sind.
8. Einsatzgebiete mit vorrangiger Bedeutung des Gewichts der Bauteile.

Bei allen hier genannten Betriebsbedingungen bzw. Einsatzgebieten haben sich Schunk Kohlenstoff- und Graphitwerkstoffe wegen der vorher beschriebenen besonderen Eigenschaften ausgezeichnet bewährt. Erwähnenswert ist noch die chemische Beständigkeit von Kohlenstoff und Graphit gegen Öl. Gleitsegmente aus diesen Werkstoffen werden in Ölpumpen sowie zur Abdichtung von Öl (auch als Sperrmedium) mit Erfolg verwendet.

In Trockenlaufenwendungen sollte allerdings vermieden werden, dass auch nur sehr geringe Mengen Öl, Öldämpfe oder Fett an die Gleitfläche gelangen. Gerade bei höheren Temperaturen ist sonst mit Pastenbildung aus Öl oder Fett und Abrieb oder festen Verunreinigungen aus der Umgebung zu rechnen. Diese bei Abkühlung sehr zäh werdende Paste kann zu mechanischem Angriff oder auch Anlaufschwierigkeiten führen.

b) Angaben zur Werkstoffauswahl

Für spezielle Fragen, besonders bei neuen Anwendungsgebieten, sind unsere Anwendungstechniker gerne für Sie da.

Für eine sachgerechte Beratung und die Ausarbeitung von Lösungsvorschlägen ist es erforderlich, dass Sie uns Einzelheiten über vorgesehene Anwendung und die vorliegenden Betriebsbedingungen nennen.



Gleitringe

Konstruktionshinweise

Einleitung

Da sämtliche Gleitelemente von Schunk Kohlenstofftechnik nach Kundenzeichnung und/oder Kundenspezifikation hergestellt werden, ist der Konstrukteur bzgl. Ausführungsform, Abmessungen und Werkstoffe nicht an Standardausführungen gebunden.

Andererseits sind für die Gestaltung von Gleitlagern und Dichtungselementen die im ersten Absatz dieses Dokumentes beschriebenen Eigenschaften von Kohlenstoffgraphitwerkstoffen zu beachten.

Es wäre daher sinnvoll, dass Sie bereits in der Planungsphase für neue Bauteile Kontakt zu uns aufnehmen, damit für Kohlenstoffgraphitwerkstoffe nicht realisierbare oder ungünstige Ausführungen vermieden werden können.



Gleitlager

Allgemeine Konstruktionshinweise

Bei der Gestaltung von Maschinenelementen aus Kohlenstoffgraphit oder Graphitwerkstoffen müssen der keramische Charakter und die damit verbundenen, im Vergleich zu Metallen besonderen Eigenschaften dieser Werkstoffgruppe beachtet werden.

Wegen der gegenüber Metallen geringeren mechanischen Festigkeit von Kohlenstoffwerkstoffen sollte die Wandstärke möglichst nicht unter 3 mm liegen. Bei Rundkörpern ist je nach Größe der Bauteile die Wandstärke mit 10 – 20 % des Innendurchmessers festzulegen.

Die Länge der Bauteile ist nach Möglichkeit so zu wählen, dass sie nicht mehr als das Doppelte des Außendurchmessers beträgt. Gegebenenfalls muss eine Aufteilung in zwei oder drei Teilstücke vorgenommen werden. Lange, enge Bohrungen sollten wegen Schwierigkeiten bei der Toleranzeinhaltung vermieden werden.

Wegen der Bruchgefahr und auch aus Kostengründen empfiehlt es sich, auf große Querschnittsänderun-

gen zu verzichten. Als Alternative bietet sich eine Aufteilung in mehrere glatte Teile von jeweils gleichmäßiger Wandstärke an.

Wenn Bauteile aus Kohlenstoffgraphit oder Graphitwerkstoffen gegen Verdrehen gesichert werden müssen, scheiden wegen Kerbwirkung und Bruchgefahr Schrauben und Keile aus. Die Verdrehsicherung muss mit glattem Stift, der keinen Druck auf das Kohlenstoffmaterial ausübt, erreicht werden, und zwar an einem unbelasteten Teil des Kohlenstoffkörpers.

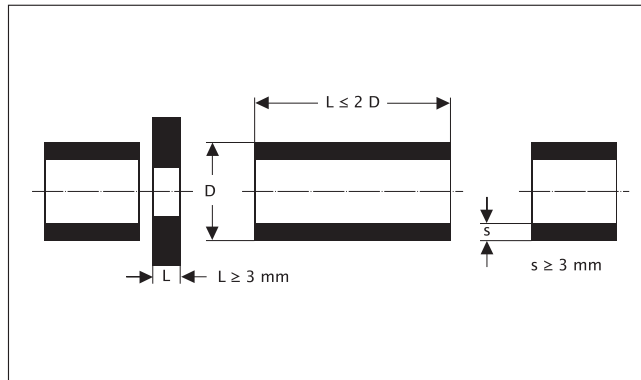
Scharfe Kanten sollten gebrochen und scharfe Übergänge vermieden werden.

Kohlenstoffformkörper sind durch Einpressen oder Einschrumpfen in Metallfassungen oder direkt in die Gehäuse möglichst auf der ganzen Länge zu fassen und damit zu unterstützen. Bei freitragendem Einbau sind entsprechend große Wandstärken vorzusehen.

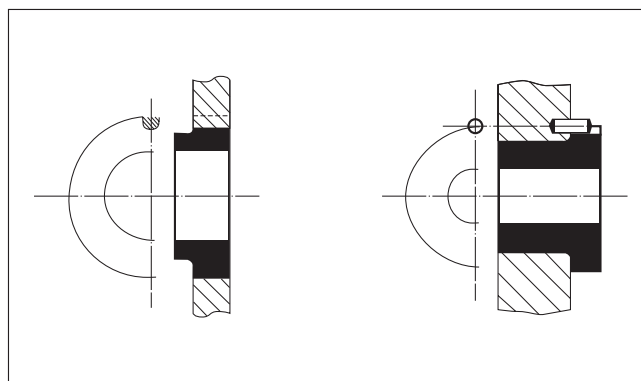
Bei bearbeiteten einteiligen Kohlenstoffformkörpern kann als Innentoleranz IT7 und als Außentoleranz IT6 eingehalten werden. Bei mehrteiligen Formkörpern reichen allgemein Toleranzen, die um einige Toleranzfelder gröber gewählt sind, vollkommen aus.

Die vorgenannten kleinstmöglichen Toleranzen für einteilige, bearbeitete Kohlenstoffformkörper sind häufig notwendig, so z. B. bei Kohlenstoffradiallagern. Verschiedentlich kommt man aber bei Maschinenteilen aus Kohlenstoffgraphit oder Graphitwerkstoffen auch mit wesentlich größeren Toleranzen aus bzw. es ist nur für ein Maß eine enge Tolerierung notwendig.

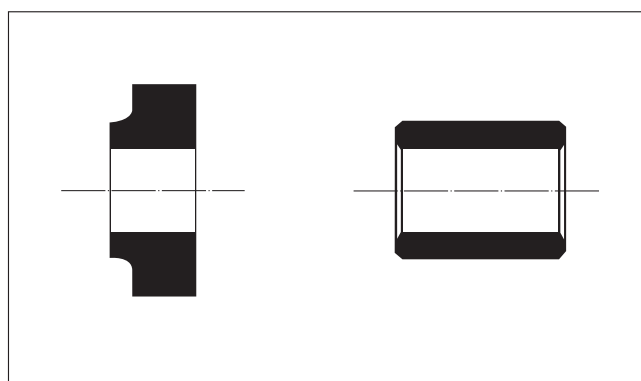
Für Kohlenstoffformkörper, die in großen Stückzahlen benötigt werden, bietet sich eine Fertigpressung bzw. weitgehende Fertigpressung an.



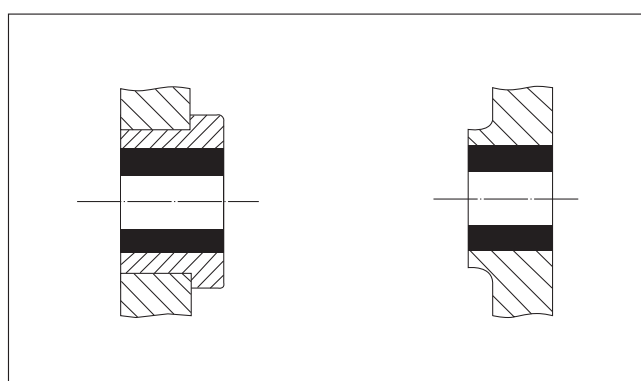
Aufgeteilt in mehrere glatte Teile



Verdrehsicherung mit glattem Stift im unbelasteten Teil eines Kohlenstoffkörpers



Übergänge ausgerundet, Kanten gebrochen



Kohlenstoffformkörper in Metallbuchse oder direkt ins Gehäuse eingeschrumpft bzw. eingepresst

Teilfertigepresse und fertigepresste Bauteile aus pechkoksgebundenen Kohlenstoffgraphitwerkstoffen (FH-Werkstoffe)

Unter Beachtung der einhaltbaren Toleranzen können Kohleformkörper fertigepresst oder weitgehend fertigepresst hergestellt werden.

Somit ist nur noch eine teilweise Nachbearbeitung erforderlich.

Die Nachbearbeitung ist z. B. erforderlich:

- bei nicht pressbaren, dünnwandigen Profilen,
- bei hinteretzten Absetzungen in axialer Richtung.

Weiterhin muss eine Bearbeitung der Gleitfläche von Kohlenstoffgleitringen durchgeführt werden. Bei zylindrischen Kohlenstofflagern wird oft eine Bearbeitung im Außendurchmesser oder/und Innendurchmesser vorgesehen.

Die Fertigepresstechnik, das Verdichten der pressfertigen Kohlenstoffmischungen direkt zu den gewünschten Formkörpern, wird bei Schunk seit langem angewandt, etwa für in großen Stückzahlen benötigte Kohlebürsten und Kontakte für elektrische Maschinen.

Dem Fertig- bzw. Formpressen folgt ein spezieller Brennprozess, um den beim Brennen auftretenden Schwund in möglichst engen Toleranzgrenzen zu halten. Die Schwindung läuft unter Beibehaltung der ursprünglichen Form der Kohlenstoffkörper ab. Der Herstellungsprozess fertigepresster Teile wird von QS-Maßnahmen, wie z. B. SPC, begleitet.

In den letzten 40 Jahren wurde die Technik immer weiter verbessert, um auch ausführungsmäßig komplizierte Teile, wie z. B. Kohlenstoff-

gleitringe und Kohlenstofflager, fertigepresst herstellen zu können.

Beispiele:

- Dichtungsringe für Autokühlwasserpumpen, Wasserpumpen, Schwimmbadpumpen, Geschirrspülerpumpen
- Axiallagersegmente
- Lager für Pumpen mit Magnetantrieb, Einspritzpumpen
- Lager für Heizungsumwälzpumpen
- Steuerschieber

Voraussetzung für die Anwendung dieser Fertigepressart sind große Stückzahlen. Für die Festlegung der Mindestmengen, bei welchen im Einzelfall Fertigepressung noch in Frage kommen kann, ist stets ein Kostenvergleich von Bearbeitung zu Fertigepressung unter Berücksichtigung der zum Teil hohen Kosten für spezielle Formpressgesenke bestimmend. Für die Anwendung dieser Massenproduktionsmethode müssen verschiedene Faktoren hinsichtlich der Konstruktion der Teile berücksichtigt werden, auf die im folgenden etwas näher eingegangen werden soll.

Dimensionierung

Die kleinste Wandstärke eines formepressten Kohleteils sollte $\geq 1,5$ mm sein. Die max. Höhe sollte 30 mm unter Berücksichtigung des Verhältnisses geringster Wandstärke zu Pressdicke 1:2,5 nicht übersteigen. Dies gilt entsprechend für die Höhe der Absetzungen bei profilierten Teilen. Sofern das größte Durchmessermaß 50 mm überschreitet, muss über die Fertigungsmöglich-

keiten nach dem Fertigepressverfahren von Fall zu Fall entschieden werden. Das kleinste in großen Stückzahlen gefertigte Kohlenstofflager hat die Abmessungen $\varnothing 1,8/0,5 \times 1,0$ mm.

Toleranzen

Die nach dem Brennprozess bei formepressten Teilen einhaltbaren Maßtoleranzen sind abhängig von Ausführungsform und Größe des Teiles. Als Anhaltswert für Teile, die unter Prozessüberwachung hergestellt wurden, können 1,2 – 2 % bezogen auf die Durchmessermaße angesetzt werden. Für die Maße in Pressrichtung, also z. B. für die Ringstärke, wird von Ausführungsform und Größe des Teiles eine Toleranz von $\pm 0,10$ mm bis $\pm 0,25$ mm benötigt. Eine endgültige Toleranzfestlegung sollte nach ersten Fertigungsversuchen mit statistischer Auswertung erfolgen.

Ausführungsformen

Neben Toleranzen und kleinst- bzw. größtmöglichen Abmessungen muß auch die Formgebung auf die anwendbare Presstechnologie abgestimmt werden. Dabei ist u. a. der Aufwand für die Herstellung der in Frage kommenden Pressform abzuwägen.

Nachstehend werden die wichtigsten Punkte aufgeführt, die bei der Formgebung fertigepresster Kohlenstoffteile zu beachten sind.

Die Presswerkzeuge mit vertikaler Pressachse müssen so ausgelegt werden, dass eine gleichmäßige Verdichtung auf den gesamten Querschnitt erfolgt und damit auch

ein störungsfreies Ausstoßen gewährleistet ist.

Zur Verbesserung sollten nach Möglichkeit Entformschrägen bis zu 1° sowohl für den max. Außendurchmesser als auch für den min. Innendurchmesser zugelassen werden. Kantenbrüche und Fasen sind im Winkel von $\leq 45^\circ$ anzubringen. Generell sind an allen Kanten der Presslinge, soweit keine Durchbrechungen vorkommen, Kantenbrüche vorzusehen.

Bei formgepressten Bauteilen sollten möglichst zueinander versetzte Absetzungen am äußeren Umfang und in der Bohrung vermieden werden, d. h. äußere Absetzungen verlangen durchgehende Bohrungen und umgekehrt.

Sofern neben der äußeren Absetzung unbedingt auch eine innere erforderlich ist, sollte die innere Absetzung eine Tiefe von 1 mm nicht wesentlich überschreiten. Auch hier ist wieder zu sagen, dass in Sonderfällen Versuche zur Ermittlung der Herstellungsmöglichkeiten sinnvoll sind.

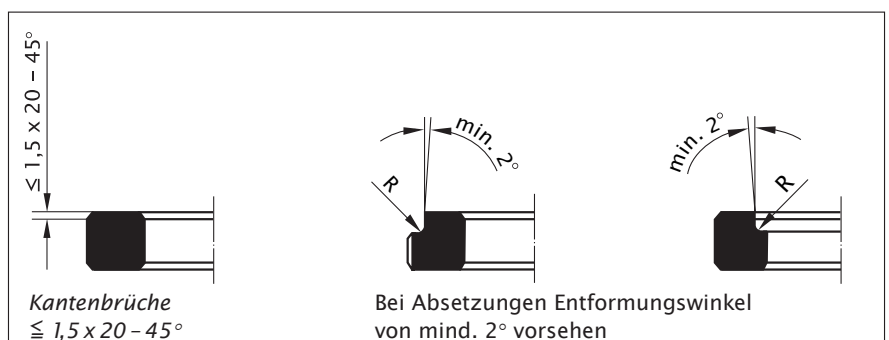
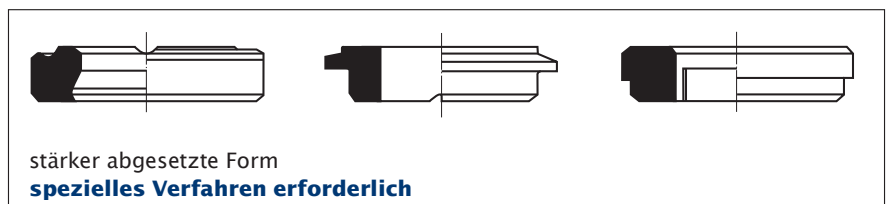
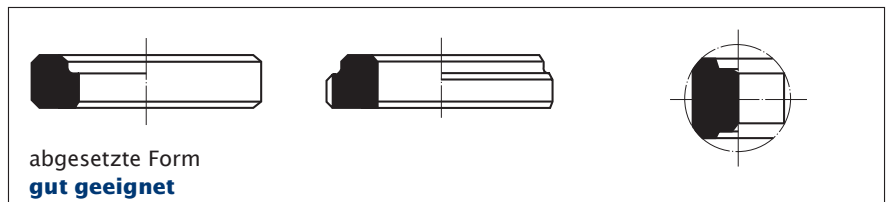
Wenn vertikale Nuten erforderlich sind, sollten diese durchgehend vorgesehen werden. Alle Übergänge sind dabei abzurunden.

Anrundungen sind bei Übergängen ≥ 2 mm sinnvoll. Absetzungen in radialer Richtung sollten ≥ 1 mm sein.

Die gezeigten Ausführungsskizzen sollen zur Orientierung und Ergänzung der im Text gemachten Angaben dienen.

Alle bisherigen Angaben zur Fertigpresstechnik gelten für unsere fertiggepressten Kohlenstoffgraphitwerkstoffe wie

- -FH421-
- -FH421A-
- -FH421Z-
- -FH821A-
- -FH821Z-



Teilfertigepresste und fertigepresste Bauteile aus kunstharzgebundenen Kohlenstoffgraphitwerkstoffen (FF-Werkstoffe)

Bei diesen Werkstoffen handelt es sich um kohlenstoff- und/oder graphitgefülltes Phenolharz. Bei den verschiedenen Werkstoffen wie z. B. -FF521- und -FF541- sind die Füllstoffzusammensetzungen und Füllstoffgehalte variiert, um den verschiedenen Anforderungen gerecht zu werden.

Als Einsatzgebiete kommen Lager, Dichtungsringe und Pumpenteile in Frage, die in der Automobilindustrie, im Maschinen- und Apparatebau sowie in der Regelungstechnik eingesetzt werden.

Beispiele:

- Lager für magnetisch angetriebene Pumpen
- Dichtungsringe für Haushaltswasserpumpen, Ölbrennerpumpen, Waschmaschinenpumpen und Autokühlwasserpumpen
- Komplette Pumpen, z. B. für Zentralverriegelung und für die orthopädische Sitzverstellung in Kraftfahrzeugen
- Steuerventile für pneumatische Steuerungen
- Pumpenräder für Kraftstoffförderpumpen in Kraftfahrzeugen

Die physikalischen Eigenschaften dieser phenolharzgebundenen Werkstoffe finden Sie in unserer Broschüre „Kenndaten – Standardwerkstoffe“ (30.14) unter www.schunk-tribo.com.

Hinzuweisen ist hier nochmals insbesondere auf die Temperaturbeständigkeit bis 180 °C und auf den Wärmeausdehnungskoeffizienten, der in der Größenordnung von Stahl liegt. Aufgrund dessen ist es auch möglich, spritztechnisch Stahlwellen direkt mit diesen Werkstoffen zu umpressen und somit eine optimale Verbindung mit einem Bauteil zu schaffen. Die Produktion solcher Teile kann vollautomatisch mit den entsprechenden Zuführungen und Entnahmen erfolgen. Schunk Kohlenstofftechnik verfügt über entsprechend große Erfahrung auf diesem Gebiet.

Die kunstharzgebundenen Werkstoffe können spritztechnisch und im Fließpressen verarbeitet werden. Insbesondere die spritztechnische Verarbeitung dieser Werkstoffe erlaubt eine freie Formgestaltung der Bauteile und ermöglicht wesentlich kompliziertere Formen im Vergleich zu pechkoksgebundenen Kohlenstoffgraphitwerkstoffen (FH-Werkstoffe).

Andererseits sind hierbei die höheren Gesenkkosten für die benötigten Warmpressgesenke zu berücksichtigen, weshalb diese Werkstoffe in der Regel nur für Massenteile Verwendung finden.

Dimensionierung

Die dünnste Wandstärke bei diesen Werkstoffen wird in erster Linie bestimmt durch den Werkzeugbau und sollte möglichst nicht unter 0,5 mm liegen. Die max. Wandstärke eines Bauteils sollte 10 mm nicht überschreiten, da ansonsten durch längere Aushärtezeiten dieser duroplastischen Werkstoffe im beheizten Pressgesenk eine rationelle Fertigung nicht mehr gegeben wäre.

Toleranzen

Nach dem Pressvorgang in beheizten Werkzeugen werden die kunstharzgebundenen Bauteile nur noch in Trockenschränken nachgehärtet bzw. getempert. Bedingt durch eine geringfügige Maßabweichung bei dieser Temperaturnachbehandlung, kann für ein im Werkzeug liegendes Maß eine Toleranz von IT9 bis IT10 als Anhaltswert genannt werden. Für Maße, die in der Trennebene des Werkzeuges liegen, kann in der Regel eine Toleranz von mindestens 0,10 mm eingehalten werden.

Die endgültige Toleranzfestlegung sollte auch hier nach ersten Fertigungsversuchen mit statistischer Auswertung erfolgen.

Für die Einhaltung von funktionswichtigen Toleranzen werden Prozessregelungsverfahren als Qualitätssicherungsmaßnahme eingesetzt.

Ausführungsformen

Bei Einsatz des seit vielen Jahren bekannten Fließpressverfahrens für die Herstellung von kunstharzgebundenen Bauteilen können weitestgehend die Empfehlungen zur Fertigpresstechnik von pechgebundenen Kohlenstoffgraphitwerkstoffen (FH-Werkstoffe) übernommen werden.

Anders sieht es aus beim Einsatz der Spritzpress- bzw. Spritzgießtechnik. Bei diesen Pressverfahren wird die Pressmasse in nahezu flüssiger Form in ein geschlossenes beheiztes Pressgesenk eingespritzt. Hierdurch gibt es kein Problem von ungleichmäßiger Verdichtung über den Querschnitt eines Bauteiles. Deshalb können zueinander versetzte Absetzungen am Außendurchmesser und in der Bohrung realisiert werden. Außerdem stellen äußere und gleichzeitig innere Absetzungen

am Außendurchmesser keine Probleme dar. Selbst Hinterschneidungen sind mit speziellen Werkzeugausführungen machbar. Zu beachten ist die Wahl einer geeigneten Anspritzstelle, da hierdurch die späteren Eigenschaften des Bauteils beeinflusst werden.

Schunk Kohlenstofftechnik GmbH

Rodheimer Straße 59
35452 Heuchelheim
Germany

Telefon: +49 (0) 641 608-0
Telefax: +49 (0) 641 608 1747

sse@schunk-group.com
www.schunk-tribo.com