



Keramische Werkstoffe

Keramik – der andere Werkstoff

Eine Herausforderung für den Konstrukteur

Von A. Heitmann, FRIATEC AG, Mannheim
Überarbeitung 2004

Inhalt. Der Autor gibt einen Überblick über die wichtigsten keramischen Werkstoffe und nennt anhand von zahlreichen Beispielen Anwendungen, in denen sie vorteilhaft konventionelle Werkstoffe ersetzen können.

Anwendungen aus Sicht des Herausgebers. Die genannten Anwendungsbeispiele für Technische Keramik können dem Konstrukteur Anregungen zur Verwendung dieser Werkstoffgruppen für seinen eigenen Aufgabenbereich geben. Insbesondere lassen sich die speziellen Eigenschaften von Keramik auch in Verbundkonstruktionen mit metallischen Werkstoffen nutzen.

1. Einleitung

Keramik wird in der Technik zunehmend als Werkstoff für hochwertige Bauteile verwendet, da ihre Eigenschaften Metallen in mancher Hinsicht überlegen sind. Hier sind vor allem die außergewöhnlich hohe Härte und die sehr guten Gleiteigenschaften in Verbindung mit der extremen Verschleißfestigkeit zu nennen. Hinzu kommen die Hochtemperaturfestigkeit bis 1800 °C und die sehr gute Korrosionsfestigkeit.

Dem Konstrukteur mag es häufig schwerfallen, die Vormachtstellung der gewohnten und ihm gut bekannten metallischen Werkstoffe zugunsten des „anderen“ Werkstoffs Keramik kritisch zu prüfen bzw. in Frage zu stellen. Erhöhte Anforderungen an das zu konstruierende Produkt sowie das Bestreben, die Standzeit von Maschinen und Anlagen zu verlängern oder ihre Produktivität zu erhöhen, verlangen jedoch mehr und mehr Hochleistungswerkstoffe. Keramik kann diese Rolle übernehmen, wenn sie entsprechend ihren Eigenschaften Anwendung findet.

2. Hochleistungskeramik

Als Hochleistungskeramik bezeichnet man chemisch gewonnene Keramiken, die meist aus nur einer chemischen Verbindung in hoher Reinheit bestehen. Die größte Verbreitung hat bisher Aluminiumoxid (Al_2O_3) gefunden. Es gibt aber etwas 20 verschiedene Hochleistungskeramiken mit

unterschiedlichen Eigenschaften – teilweise nur für ganz spezielle Anwendungsfälle. Mischungen einzelner Typen können zu unerwarteten Eigenschaften führen; ihre Erforschung steht noch am Anfang.

3. Marktübersicht

Der mit 80% Anteil deutliche Marktführer Aluminiumoxid wird bereits seit 60 bis 70 Jahren verarbeitet. Al_2O_3 zeichnet sich durch herausragende Eigenschaften aus. Ein Hauptanwendungsgebiet ist seine Verwendung als Chipträger für Mikroelektronik. Diese Keramik weist neben einem sehr hohen elektrischen Widerstand in Verbindung mit extremer elektrischer Durchschlagsfestigkeit die erforderliche Wärmeleitfähigkeit auf, um von den empfindlichen elektronischen Bauelementen die Wärme abzuführen. Zudem lässt sich Al_2O_3 nach entsprechender Metallisierung löten, wodurch sich weitere elektrische Anwendungen ergeben. Im Maschinenbau, der chemischen Industrie, der Hochtemperaturtechnik, in der Optik, der Medizintechnik und im Reaktorbau findet man Aluminiumoxidkeramik ebenfalls.

4. Werkstoffüberblick

Tabelle 1 enthält die vier wichtigsten industriell verwendbaren keramischen Werkstoffe: Aluminiumoxid, Zirkonoxid, Siliciumcarbid und Siliciumnitrid. Im Gegensatz zu den beiden erstgenannten handelt es sich bei den beiden letzten um Nichtoxidkeramik. Das schwarze Siliciumcarbid (SiC) und das ebenfalls schwarze Siliciumnitrid (Si_3N_4) haben Bedeutung für mechanische Anwendungen. Auf keramische Werkstoffe wie Magnesiumoxid, Berylliumoxid, Thoriumoxid, Borcarbid oder andere spezielle Keramiken (z.B. für Wendschneidplatten zur spanabhebenden Bearbeitung auf schnelllaufenden Werkzeugmaschinen) soll hier aus Platzgründen nicht eingegangen werden. Zusammenfassend lassen sich für keramische Werkstoffe folgende Eigenschaften nennen:

- hohe mechanische Festigkeiten auch bei hohen Temperaturen,

- ausgezeichnete chemische Beständigkeit gegen Säuren und Laugen,
- große Härte und Verschleißfestigkeit,
- niedrige Dichte,
- gute Temperaturwechselbeständigkeit,
- hoher elektrischer Widerstand (außer SiC und ZrO₂)

5. Beispiele

Jede neue Aufgabe erfordert eine spezielle Lösung, die Anwender und Keramikhersteller gemeinsam erarbeiten sollen. Die folgenden Beispiele geben dafür einige Anregungen.

Dichtscheiben aus Keramik finden seit 15 Jahren Verwendung in Einhebelmischern und Zweigriffarmaturen. Die meist aus Al₂O₃ bestehende Scheibe wird auf 0,6µm eben geläppt. Als mittlere Rauhtiefe der Oberfläche ergibt sich ein Wert kleiner als 0,3µm; dies reicht für eine zuverlässige Dichtwirkung bei geringem Andruck aus. Die diamantähnliche Härte verhindert, dass Schmutz, Metallspäne, Rost, Sand oder Kalk Schäden an der Scheibe hervorrufen. Die extrem gute Korrosionsbeständigkeit sichert den Dichtelementen eine lange Lebensdauer. Diese Eigenschaften haben inzwischen auch zu Anwendungen in industriellen Armaturen geführt.

Im Pumpenbau sind aufgrund der aggressiven zu fördernden Medien ebenfalls Keramikprodukte wie Gleit- und Gegenringe für Gleitringdichtungen zu finden. Korrosionsprobleme kann der Konstrukteur durch die Wahl eines geeigneten keramischen Werkstoffs lösen. Diese Dichtungsart hat in weiten Bereichen die wartungsintensive Stopfbuchspak-

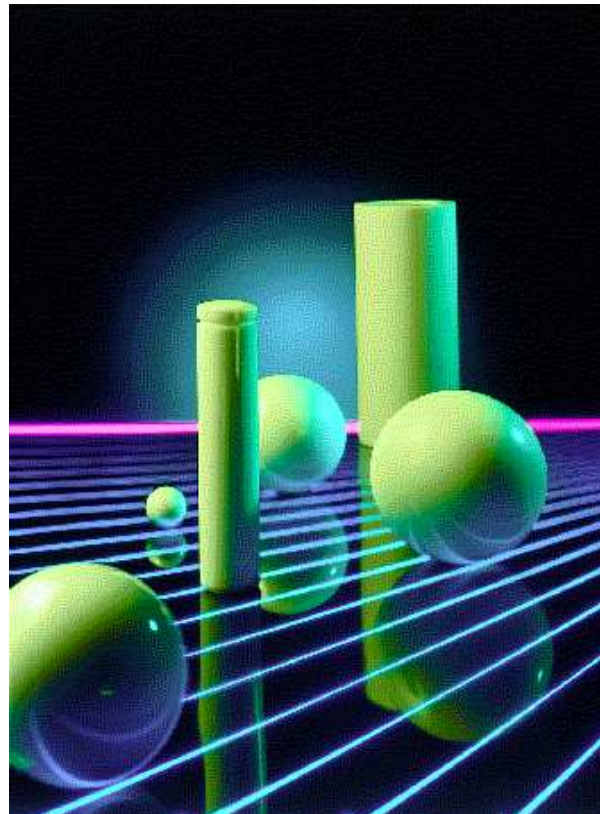


Bild 1. Präzisionskugeln, Plunger und Wellenschutzhülsen für Chemiepumpen sowie die Lebensmittelindustrie.(Werkfoto Friatec AG)

kung abgelöst. Die Gleit- und Dichtflächen der Ringe sind feinstgeläppt, so dass die gewünschte Dichtwirkung erreicht wird. Da eine geringe Tropfleckage für die Befeuchtung der Dichtflächen erforderlich ist, gelangen geringe Mengen der abzudichtenden Flüssigkeit bzw. Chemikalie

Eigenschaft	Einheit	Al ₂ O ₃		ZrO ₂		SiC	Si ₃ N ₄
		F99D	F99,7	FZM	FZM/K	SiC 198	HP 79
Dichte	g/cm ³	3,7 - 3,8	3,9 - 3,95	5,7	6,0 - 6,1	3,1	3,2
Härte (Knoop, 100g)	N/mm ²	20 000	23 000	17 000	18 000	21 000	17 000
Druckfestigkeit	N/mm ²	3000	3500	2000	2200	1200	3000
Biegebruchfestigkeit	N/mm ²	300	350	500	800	350	750
Elastizitätsmodul	10 ⁵ N/mm ²	3,5	3,8	2	2	3,3	3,2
WEIBULL-Modul	m	>10	>10	>20	>15	>10	>20
Poisson-Zahl	-	0,22	0,22	0,3	0,3	0,2	0,26
offene Porosität	%	0	0	0	0	>1	0
Max. Einsatztemperatur	°C	1700	1950	900	1200	1400	1400
Ausdehnungskoeffizient	10 ⁻⁶ /K	8,5	8,5	10	11	4,4	3,2
Spezifische Wärme	J/kgK	900	900	400	400	900	800
Wärmeleitfähigkeit	W/mK	25	30	2,5	2,5	90	40
Spez. Widerstand		10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁰	10 ¹⁰	10 ⁻¹	10 ¹⁴
Farbe		weiß	weiß	gelb	weiß	schwarz	schwarz

Tabelle 1. Gegenüberstellung der physikalischen Daten verschiedener Keramikwerkstoffe. Die Daten gelten für die Prüfkörper, an denen sie ermittelt wurden; eine Übertragung auf andere Bauteile ist daher nur bedingt zulässig. Alle Werte beziehen sich auf eine Temperatur von 20 °C. F99D 96% Aluminiumoxid, F99,7 99,7% Aluminiumoxid; FZM Zirkonoxid; ZrO₂-PSZ; FZM/K Zirkonoxid, ZrO₂-TZP; SiC 198 Siliciumcarbid, 8% bis 12% Si; HP 79 heißgepreßtes Siliciumnitrid.

zwangsläufig in die Atmosphäre. Auf diese Weise werden Wellen (mit Durchmessern bis 300mm) für große Chemiepumpen ebenso mit Keramik-Gleitringen abgedichtet wie Wasserpumpen in PKW oder Laugenpumpen in Spül- und Waschmaschinen.

Eine weitaus elegantere Form der Abdichtung erhält man über Magnetkopplung beispielsweise vom Antrieb einer Kreiselpumpe (Elektromotor) auf das

Pumpenrad. Aus dichtungstechnischen Gründen ist hier die Welle nicht durchgehend. Damit sich die Pumpe trotzdem dreht, treibt der Elektromotor einen Magneten an. Das Pumpenrad ist in einem abgeschlossenen Gehäuse dicht gekapselt mit einem zweiten Magneten auf einer kurzen Welle montiert. Der angetriebene Magnet bewegt sich außerhalb des dichten Gehäuses so dicht an dem zweiten Magneten entlang, dass dieser durch das sich aufbauende Magnetfeld mitgedreht wird.

Der Teil des Gehäuses, den das Magnetfeld durchdringen muß, wird aus Hochleistungskeramik hergestellt. Man spricht hier von Spalttöpfen. Dabei wird die Eigenschaft der Keramik genutzt, dass sie nicht magnetisierbar ist und somit aufgrund des bewegten Magnetfelds keine Wirbelströme entstehen. Die Art der Abdichtung ist absolut dicht und wartungsfrei. Die Keramik leistet so einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz, da beim Fördern von Laugen, Säuren und anderen toxischen Flüssigkeiten keine Leckagen mehr auftreten.

Ein weiteres Anwendungsfeld bieten Kolbenpumpen. So kann man z.B. die Lebensdauer und die Wartungsintervalle von kleinen Kolbenpumpen in Hochdruckreinigern verlängern, wenn Kolben aus Keramik verwendet werden. Ihre hochglanzpolierte Oberfläche erhöht die Standzeit wesentlich, da abrasive Partikel im Medium nicht zu Riefen und Kratzern im Keramikkolben führen (Bild 1).

Aus hygienischen Gründen kann es auch notwendig sein, auf Gummidichtungen in Kolbenpumpen zu verzichten. Wenn es um das Dosieren von Lebensmitteln, Medikamenten oder anderen halbwegs flüssigen Massen geht, bieten dichtungslose Kolbenpumpen Vorteile. Keramikkolben bis 10mm Durchmesser werden auf wenige Mikrometer genau in ihre Zylinderlaufbuchsen eingepaßt. Die Kolben laufen "spielfrei", und eine einwandfreie Reinigung des Pumpeninneren mit heißer Lauge wird möglich.

In Maschinen und Pumpen werden rotierende Wellen häufig durch Lippendichtungen zerstört, da sich Riefen an den Stellen bilden, an denen die Dichtlippe anliegt. Bringt man hier hochglanzpolierte Wellenschutzhülsen aus Keramik als Panzerung der Welle an, verlängert sich die Lebensdauer von Welle und Dichtring enorm.

Bei allen bisher angeführten Beispielen steht die hohe Verschleißfestigkeit in Verbindung mit den sehr guten Gleiteigenschaften der Keramik im Mittelpunkt des Interesses.

Es empfiehlt sich, die Dichtscheiben, Gleitringe, Kolben und Wellenschutzhülsen mit abgerundeten Kanten oder 45° Fasern auszuführen, um Abplatzer an scharfen Kanten des zwar sehr harten, aber damit auch sehr spröden Werkstoffs zu vermeiden.

Dennoch lassen sich auch scharfkantige Teile wie Rundmesser für die Papierindustrie oder Hobelmesser für die Holzverarbeitung aus Keramik fertigen. Dies ist aber nur möglich, wenn das Materialgefüge extrem verfeinert und modifiziert wird. Geschehen ist dies bei der Weiterentwicklung von Zirkonoxidkeramik: Mit diesem Werkstoff lassen sich inzwischen scharfe und schnitthaltige Schneiden ausführen (Bild 2).



Bild 2. Rund und Langmesser sowie Scherblätter aus ZrO_2 FZM/K (Werkfoto FRIATEC AG)

In der Humanmedizin hat die Keramik ein weiteres bedeutendes Anwendungsgebiet gefunden. So hat sich Aluminiumoxid wegen seiner guten Körperverträglichkeit als Implantatwerkstoff durchgesetzt (z.B. Hüftgelenke, Zahnimplantate, Gehörknöchelchen, Augenlinsen).

Die größte Aufmerksamkeit erlangte Keramik in der Fachwelt jedoch mit der Erprobung im Motorenbau. Zwar spricht man heute nicht mehr vom Keramikmotor ohne Kühlung, aber nahezu alle namhaften Fahrzeughersteller entwickeln und testen Keramikkomponenten für ihre künftigen Motoren. Kolbenboden, Zylinderlaufbuchse, Ventile, Ventilsitz, Auskleidungen und Verschleißschutzbeläge aus Siliciumnitrid oder Zirkonoxid sollen die Wirtschaftlichkeit von Verbrennungsmotoren erhöhen. Die Versuchsergebnisse sprechen für die Keramik, die Verwendung von keramischen Bauteilen scheitert jedoch noch am Preis.

Die Reihe von Anwendungsbeispielen ließe sich noch wesentlich erweitern, z.B. mit

- verschleißfesten Düsen für Sandstrahlarbeiten und chemische Prozesse,
- Ventilbauteilen wie Kugel oder auch Kegel mit entsprechendem Sitz, die wegen der hohen örtlichen Strömungsgeschwindigkeiten einem starken abrasiven Angriff ausgesetzt sind,
- Gleit- und Kugellagern,
- Umlenkorganen für die Drahtindustrie bis hin zu Ziehkonen sowie
- Fadenführern.

Wurde veröffentlicht in: *Konstruktion* 43; (1997) S. 167 – 169.