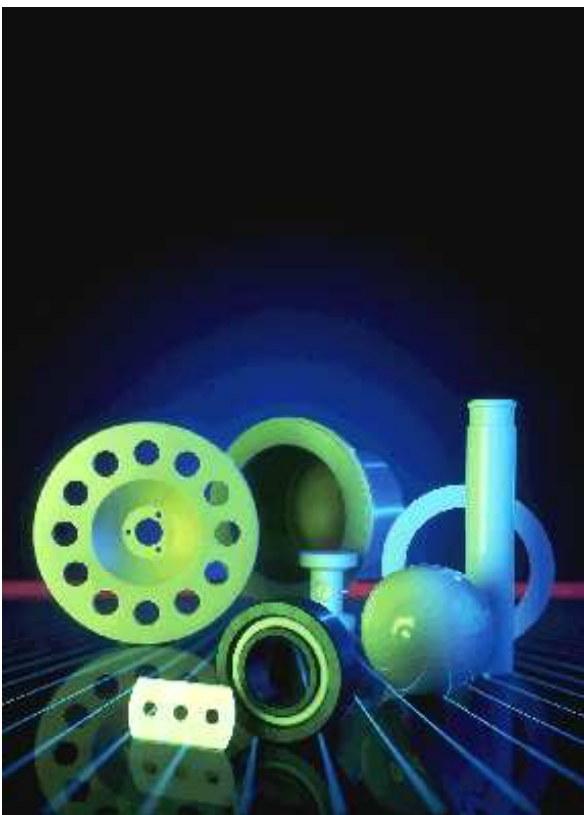


Vorsicht vor Kanten!

Technische Daten, Beispiele und Anwendungen für die Auswahl von „Ingenieurkeramik“

von Dipl.-Ing. Klaus Wolf, FRIATEC AG, Mannheim-Friedrichsfeld
Überarbeitung 2004

Die Ausnutzung der hervorragenden Eigenschaften und die immer reichhaltigere Werkstoffpalette „technischer Keramiken“ fordern den Ideenreichtum des Konstrukteurs. Jedoch ist bis zur Entstehung eines ausgereiften Bauteiles eine enge Zusammenarbeit zwischen Keramikerhersteller und Anwender notwendig, da fast jedes Problem, unter Einbeziehung wirtschaftlicher keramischer Herstellverfahren, zu neuen Lösungen führt.



Keramikbauteile aus Al_2O_3 , ZrO_2 , SiC und Si_3N_4 für den Einsatz im Maschinenbau und der Chemischen Industrie.

Von der noch weit verbreiteten Definition, dass Keramik „schön aussieht, sich hart anfühlt und beim Fallen in 100 Scherben zerspringt“ haben dich die hochreinen Keramiken auf oxidischer und nichtoxidischer Basis weit entfernt. Von der klassischen Silikatkeramik wurden nur die Arbeitsmethoden übernommen. In Bezug auf die Eigenschaften stehen diese Werkstoffe eigentlich der Pulvermetallurgie viel näher.

Betrachten wir zunächst einmal die Gruppe der Oxidkeramiken: Neben dem bekannten Aluminiumoxid (Al_2O_3) mit all den möglichen Variationen hat sich inzwischen teilstabilisiertes Zirkonoxid (ZrO_2 ; PSZ) einen stetig wachsenden Marktanteil erobert. Zur Teilstabilisierung ist folgendes anzumerken: es ist unmöglich, reines ZrO_2 zu sintern,

da es durch Modifikationsänderungen, d.h. Volumenzunahme beim Abkühlen unweigerlich zerspringt. Geringe Zusätze (Teilstabilisierungen) von Magnesiumoxid (MgO), Calciumoxid (Ca_2O_3) oder Yttriumoxid (Y_2O_3) bilden jedoch mit ZrO_2 kubische Mischkristalle, die keine Volumenänderungen mehr beim Abkühlen erfahren und somit die Zerstörung des Bauteiles während des Sinterprozesses verhindern.

Weiterhin bekannt sind Titanoxid (TiO_2), Aluminiumtitanat, Berylliumoxid (BeO), Thoriumoxid (ThO_2), Magnesiumoxid (MgO) sowie Dispersionskeramiken mit verschiedenen Anteilen von Al_2O_3 und ZrO_2 . Berichte aus USA weisen auf mit SiC-Whiskers verstärktes Al_2O_3 hin, welches als Wendeschneidplatte in der spanabhebenden Bearbeitung gegenüber reinem Al_2O_3 wesentliche Verbesserungen bringen soll. All diese Werkstoffe haben jedoch im Gegensatz zu Al_2O_3 und ZrO_2 noch keine große Bedeutung erlangt.

An dieser Stelle muß gesagt werden, dass z.B. Al_2O_3 nicht gleich Al_2O_3 ist. Die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials, die Aufbereitung und Verarbeitung, die Sintertemperatur und -zeit sowie die verwendeten Hilfsmittel ergeben bei gleicher Reinheit Werkstoffe mit den unterschiedlichsten Eigenschaften. Die Kenntnis dieser Verhältnisse ist für den Keramikerhersteller von größter Wichtigkeit, denn nur dadurch lassen sich optimale, reproduzierbare Eigenschaften erzielen und erhalten.

Bei den nichtoxidischen Keramiken haben Siliziumkarbid (SiC) und heißgepreßtes Siliziumnitrid (Si_3N_4) die größte Bedeutung erlangt. Bekannt sind außerdem noch Borkarbid (B_4C), Bornitrid (BN) sowie reaktionsgebundenes Siliziumnitrid (Si_3N_4) für spezielle Sonderanwendungen.

Es ist zu beachten, dass die Eigenschaften der in Tabellen angegebenen Werkstoffe streng genommen nur für den Prüfkörper gelten, an dem sie ermittelt wurden. Eine Verallgemeinerung auf andere Formen und Dimensionen ist nur bedingt zulässig. Trotz dieser Einschränkung bieten die Angaben nützliche Anhaltswerte.

Die außergewöhnlichen Eigenschaften der Keramik wie

- hohe mechanische Festigkeiten auch bei hohen Temperaturen
- ausgezeichnete chemische Beständigkeit gegen Säuren und Laugen
- hohe Härte und Verschleißfestigkeit
- niedriges spezifisches Gewicht
- gute Temperaturwechselbeständigkeit
- hoher elektrischer Widerstand (außer bei SiC und ZrO₂)

werden heute von der Industrie voll ausgenutzt.

Sofern die Möglichkeit besteht, sollte man die hohe Druckfestigkeit der Keramiken in die Konstruktion mit einbeziehen. Durch vorgegebene Druckspannungen (z.B. Einschrumpfen) können die beim Einsatz auftretenden Zug-, Biege- bzw. Torsionsspannungen oftmals im Bauteil kompensiert werden. Bei der Berechnung keramischer Bauteile kommen neben der Biegebruchfestigkeit auch die Weibull-Statistik und der Spannungintensitätsfaktor k_{1c} zur Anwendung. Das Berechnen der Keramik im belasteten Zustand mittels finiter Elemente ist noch sehr aufwendig und setzt das Wissen um alle Einflußgrößen voraus.

Ein wichtiger Faktor bei Keramik als Konstruktionselement in Verbindung mit Metall unter Temperatur ist der Wärmeausdehnungskoeffizient α . Speziell im Motorenbau hat sich ZrO₂ auf Grund seines dem Stahl ähnlichen Ausdehnungsfaktors als Verbundelement bestens bewährt.

Die reinen Werkstoffe müssen vor der Verarbeitung nach speziellen Verfahren aufbereitet werden. Nur plastifizierte Pulver können nach den Formgebungsarten „Trockenpressen, Isostatisches Pressen, Strangpressen, Spritzgießen und Schlickerguss“ verarbeitet werden. Neben diesen bekannten keramischen Herstellverfahren wird speziell noch bei Si₃N₄ ein aufwendiges Heißpressen angewendet.

Bauteile für die chemische Industrie und den Maschinenbau, auf die nachfolgend näher eingegangen wird, werden vorwiegend durch Trockenpressen, isostatisches Pressen sowie einer nachfolgenden Weißbearbeitung hergestellt. Entscheidend für die Auswahl des Verfahrens ist die Bauteilgröße, die Geometrie und die anzufertigende Stückzahl.

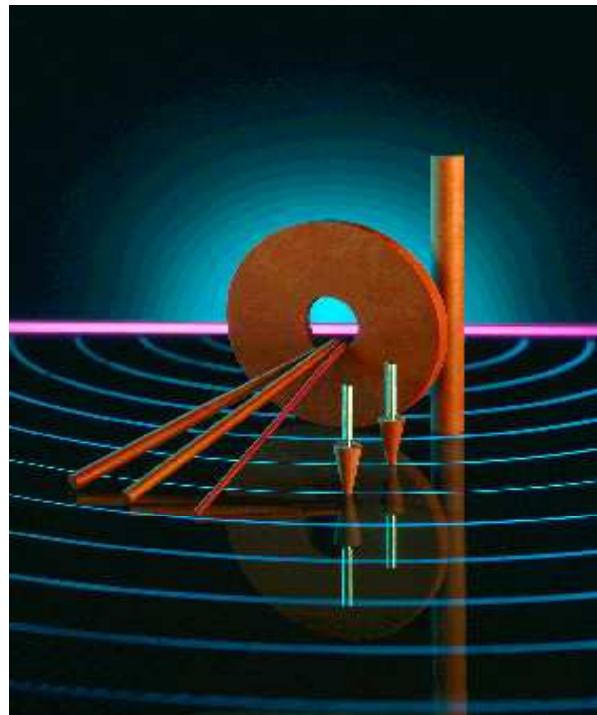
Durch Pressen können Werkstücke mit Bohrungen, Absätzen und Durchbrüchen nur in Pressrichtung angefertigt werden, da diese Teile entformt werden müssen. Scharfkantige Übergänge sowie ungleichmäßige Wandstärken sollten (analog zu Konstruktionskriterien beim Metallguss) beim Keramikbauteil vermieden werden. Diese vorverdichteten Teile haben eine kreideähnliche Konsistenz und können wirtschaftlich mittels Weißbearbeitung durch Schleifen, Sägen, Bohren und Drehen weiterbearbeitet werden. Bei diesem Arbeitsgang können von der Pressrichtung abweichende Bohrungen und Rillen sowie Hinterschneidungen an das Werkstück angebracht wer-

den. Mit der Weißbearbeitung sollten möglichst alle Bearbeitungen am Bauteil abgeschlossen sein, da die Nachbearbeitung nach dem Sintern aufwendig und teuer ist.

Das eigentliche Sintern (=Verdichtung des vorab unter Druck kompaktierten Pulvers mittels thermischer Behandlung) erfolgt in speziellen Öfen unterhalb der Schmelztemperatur. Al₂O₃ und ZrO₂ z.B. erfahren durch Sintern bei ca. 1800 °C einen Volumenschwund von ungefähr 45%, das entspricht einem linearen Schwund von ca. 17%. Einflüsse wie Schwundschwankungen und Verzug beeinflussen die einhaltbaren Toleranzen negativ. So können durch Pressen und Weißbearbeitung Toleranzen im Bereich von $\pm 1\%$ des Nennmaßes (mindestens $\pm 0,1\text{mm}$) eingehalten werden.

Präzisionsteile mit engen Toleranzen, die heute für viele Anwendungen benötigt werden, müssen durch Nacharbeit nach dem Sintern mit Diamantwerkzeugen hergestellt werden. Hierfür werden die von der Metallarbeit her bekannten Bearbeitungsschritte „Trennen“, „Schleifen“, „Läppen“, „Honieren“ oder „Polieren“ in modifizierten Verfahren eingesetzt.

Wie bereits erwähnt, sollte aus Kostengründen an unkritischen Stellen auf diese Nachbearbeitung verzichtet werden.



Feinschleifwerkzeuge aus Sinterrubin – Anwendung: Feinwerktechnik, Präzisions-Werkzeugbau, Glasverarbeitung und Oberflächenveredelung von HSS- und Hartmetallwerkzeugen

Die ersten Anwendungsgebiete für Al₂O₃ lagen und liegen heute noch im Hochtemperaturbereich. Die Verwendung von Al₂O₃ als Thermoelementschutzrohr setzt voraus, dass dieses Material auch bei Temperaturen über 1900 °C noch genügende Festigkeitswerte aufweist und gegen die im Ofen vorkommenden Korrosionseinflüsse beständig ist. Auch Tiegel, Schiffchen, Glühkästen, Kapillare und Ofenbauteile für Hochtemperaturöfen

werden diesen extrem hohen Belastungen von Temperatur und Korrosion ausgesetzt. Aluminiumoxid in reiner Form erfüllt diese Anforderungen bestens.

In der Elektrotechnik hat dagegen der hohe elektrische Widerstand und die hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit von Al_2O_3 große Beachtung gefunden. Hartgelötete Keramik-Metallverbindungen werden als Thyristor-, Transistor- und Diodengehäuse eingesetzt. Aber auch elektrische Durchführungen und Isolatoren sowie Chip-Träger für die Mikroelektronik werden aus diesem Material hergestellt.

Die Härte und Verschleißfestigkeit der Keramik wird neben der Textilindustrie auch in der Kabel- und Drahtindustrie bei Umlenkorganen und Führungselementen ausgenutzt. Herkömmliche Materialien haben nur eine begrenzte Lebensdauer, insbesondere wenn man zu größeren Abzugsgeschwindigkeiten übergeht. Hier erweist sich Aluminiumoxid als brauchbares Material; oftmals sogar wirtschaftlicher als das gelegentlich benutzte Hartmetall.

Für das Schleifen von harten Materialien wurde eine besondere Art von Keramik (mit Zusatz von Chromoxid) entwickelt. Die Kantenfestigkeit dieses als Sinterrubin bekannten Werkstoffes ist wesentlich größer als die üblicher Schleifwerkzeuge. Der Sinterrubin besteht aus Korundkristallen, die durch Sinterung miteinander verbunden sind. Bei dem anderen Stein ist das Schleifkorn in eine weniger harte Grundmasse eingebettet, weshalb Schleifkörner aus dem Verbund herausbrechen. Der Sinterrubin ist zwar nur für eine geringe Materialabnahme geeignet, jedoch kann er noch Stoffe schleifen, die von anderen Schleifmitteln nicht mehr angegriffen werden. Die erzielbare Oberflächengüte ist dabei außerordentlich hoch.

Im Maschinenbau und in der Chemischen Industrie hat Keramik vor allem in Pumpen die größte Bedeutung erreicht. In Gleitringdichtungen werden vor allem die Gegenringe aus Al_2O_3 und SiC eingesetzt. Wichtig ist hierbei die besondere Bearbeitung der Dichtfläche, sowie die chemische Beständigkeit gegen fast alle Chemikalien organischer und anorganischer Art. Aber auch Präzisionskugeln für Saug- und Druckventile, Kolben und Plunger für Hochdruck- und Dosierpumpen, Welle sowie Schutzhülsen und Lager werden in Pumpen bei aggressiven Fördermedien aus Keramik eingesetzt. Durch feinstbearbeitete Oberflächen werden zusätzlich noch wesentliche Standzeitverbesserungen erzielt.

Einsatzkriterien für die Wahl der Materialien

Anwendungsschwerpunkte	Aluminiumoxid Al_2O_3	Siliziumkarbid SiC	Siliziumnitrid Si_3N_4	Zirkonoxid ZrO_2
Gleitringe	+	+		
Kugeln	+	+	+	
Kolben, Plunger	+	+		+
Lager, Wellen	+	+	+	+
Wellenschutzhülsen	+	+		+
Dichtscheiben	+			
Ventilsitze, -kegel			+	+
Düsen	+	+	+	+
Führungselemente	+	+	+	+

Die beste Werbung...

Aber auch in der Humanmedizin hält die Keramik stetig Einzug. Als Hüftgelenk, Zahnwurzel, Mittelohrknöchelchen oder Augenlinse ist Aluminiumoxid als Implantatwerkstoff nicht mehr wegzudenken.

Eine industrielle Revolution könnte der Keramik möglicherweise mit der Erprobung im Motorenbau gelingen. Fast jeder Fahrzeughersteller testet heute Keramik für die Motoren der Zukunft. Kolbenboden, Zylinderlaufbuchse, Ventil, Ventilsitz, Auskleidung und Verschleißschutzbeläge aus Keramik (Si_3N_4 , ZrO_2) haben das eine Ziel – den wirtschaftlichen Motor. Das geringere Gewicht der Aggregate, höhere Betriebstemperaturen und dem damit verbundenen teilweisen Wegfall der Kühlanlage soll zu wesentlichen Kraftstoffeinsparungen führen. Trotz positiver Versuchsergebnisse steht dem Serieneinsatz derartiger Keramikbauteile der heute noch relativ hohe Preis im Wege. Für das Leistungsvermögen der Keramikwerkstoffe sind diese Testergebnisse jedoch die beste Werbung.

Wurde veröffentlicht in: Maschine + Werkzeug; 17/1986 - Konstruktion + Entwicklung.