

6. Verbindungen und Verbunde

6.1 Integration von Keramik in Geräte

- Heinz Albert
Cera System Verschleißschutz GmbH
Hermsdorf

Die Folien finden Sie ab Seite 496.

Inhalt:

- Einleitung
- Fügeregeln
- Fügen von Keramik mit Keramik
 - mechanisches Fügen
 - Kleben
 - Zusammensilizieren
- Fügen von Keramik mit Metall, Glas oder Kunststoff
 - mechanisches Fügen
 - Kleben
 - Schweißen/Löten
- Beschichten von Keramik

Einleitung

Um Ingenieurkeramik richtig nutzen zu können, muss sie gefügt werden. Vor allem im Hochtemperaturbereich kommen Fügungen von Keramiken untereinander vor, sonst sind überwiegend Fügungen der keramischen Bauteile mit Teilen aus nichtkeramischen Materialien erforderlich.

Beim Fügen keramischer Bauteile sind die besonderen Werkstoffeigenschaften und die Spezifika, die aus dem Herstellungsprozess resultieren, zu beachten. Man spricht deshalb auch vom Keramikgerechten Konstruieren.

Fügeregeln

Um beim Fügen keramischer Bauelemente Probleme ausschließen zu können, sollten folgende Regeln beachtet werden, die aus den besonderen Eigenschaften der Keramiken resultieren:

Eigenschaft	Regel
Keramiken sind in der Regel steif und starr, wogegen die Fügepartner sich verformen, obwohl sie als starr gelten.	Elastische Zwischenschichten sind einzubauen
Alle Ingenieurkeramiken haben eine sehr hohe Druckfestigkeit.	Bauteile sind so zu fügen, dass Belastungen möglichst als Druckspannung auf die Keramik wirken
Die Biege- und Zugfestigkeit von Keramiken ist verhältnismäßig gering.	Zug- und Biegespannungen sind nach Möglichkeit minimal zu halten oder zu vermeiden.
Keramiken sind überwiegend sprödbrechend.	Spannungsspitzen, Punktbelastungen und scharfe Kanten sind zu vermeiden. Übergänge sind nach Möglichkeit zu verrunden.

Tabelle 1: Fügeregeln

Aus den speziellen Herstellungsprozessen keramischer Materialien resultieren folgende Regeln:

Herstellungsspezifik	Regel
<p>Der Werkstoff selbst ist oft nicht teuer, d.h. der Kilopreis für Keramik ist oft nicht sehr hoch. Die Bearbeitung bzw. Verarbeitung, vor allem die Nachbearbeitung, die meistens nur mit Schleifprozessen zu realisieren ist, erfordern enorme Aufwendungen.</p>	<p>Einfache Formen reduzieren die Aufwendungen und die Kosten.</p>
<p>Die meisten Geometrien, wie Gewinde, lassen sich auch in Keramik herstellen. Der Aufwand ist aber oft nicht vertretbar. Besonders zu beachten sind die Genauigkeitsforderungen.</p>	<p>Nachbearbeitung sollte möglichst vermieden oder minimal gehalten werden.</p>
<p>Keramische Materialien durchlaufen spezielle Fertigungsschritte, z.B. den Sinterprozeß, wo bei Nichtbeachtung bestimmter Parameter Inhomogenitäten entstehen können.</p>	<p>Materialanhäufungen und Wandstärkenunterschiede sind zu vermeiden, bestimmte mögliche Wandstärken sind zu beachten. Übergänge sind möglichst abzurunden.</p>

Tabelle 2: Gestaltungsregeln

Die Besonderheiten der Keramiken werden deutlich und verständlich, wenn man sich eine geschliffene und polierte Oberfläche ansieht.

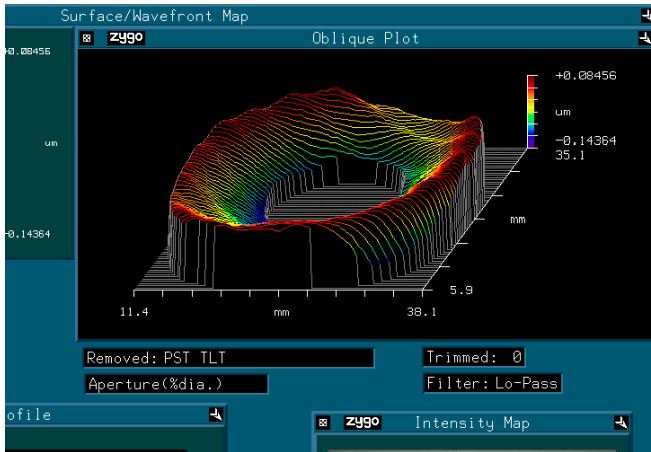


Bild 1: polierte Keramikoberfläche
100 000 - fach überhöht

Wenn zwei derartige Flächen aufeinander gepreßt werden und die Materialien sich nicht anpassen, sich nicht verformen, treffen nur einzelne Punkte aufeinander. Es kommt zu Spannungspitzen.

Fügen von Keramik mit Keramik

Eine lockere Verbindung zweier oder mehrerer Keramiken ist selten und bringt meistens keinen Nutzen. Eine feste mechanische Verbindung zweier keramischer Materialien ist problematisch, da mindestens ein Teil auf Zug oder Biegung belastet wird. Bei Temperaturanstieg sind unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten zu beachten. Selbst bei Teilen aus gleichen Werkstoffen sind die Ausdehnungen nicht proportional. Nach Möglichkeit sollten Kompensationszwischenschichten eingebaut werden.

Das Kleben von keramischen Materialien geht in der Regel ganz gut. Bei Keramik/Keramik – Klebungen lassen sich aushärtende Kleber erfolgreich einsetzen. Hier ist günstig, einen möglichst geringen Klebespalt zu schaffen. Die Klebeflächen sollten geschliffen und mit möglichst geringem Klebespalt („Edelfuge“) verklebt werden.

Bei allen organischen Klebern sind die wichtigsten Fragen die nach der Haftung und die nach der Alterung. Für spezielle Fälle, die ausreichend

untersucht und erprobt werden können, ist die Klebung mit Erfolg praktizierbar. Bei allen anderen Fällen sind Festigkeitsverluste bis auf 10% oder sogar 0% normal.



Bild 2: Al₂O₃ –Rohr verklebt mit ZrO₂ -Sitzring



Bild 3: Zementkittung Isolator

Anorganische Kleber sind in der Regel weniger fest und haften schlechter. Ein sehr altes und bewährtes Verfahren ist die Kittung mit Zementmörtel. Dieses beruht aber vor allem darauf, dass eine feste Umhüllung entsteht, die ähnlich starres Verhalten wie Keramik zeigt.

Die sogenannten Keramikkleber haben ihren Namen nicht, weil sie so fest oder so gut sind wie Keramik, sondern weil sie auf Keramikmaterial basieren. Hier gilt eigentlich die selbe Regel wie bei Organika.

Eine immer wieder untersuchte Füge-technologie ist das Schweißen und Löten von Keramiktteilen untereinander. Relativ gute Ergebnisse liegen beim Schweißen/Löten von Keramiken mittels Metallfolien (Aluminium) vor.

Im weitesten Sinne könnte das Zusammensilzieren von porösen SiC – Teilen in diese Fügegruppe eingordnet werden.



Bild 4: SISIC – Drallkörper

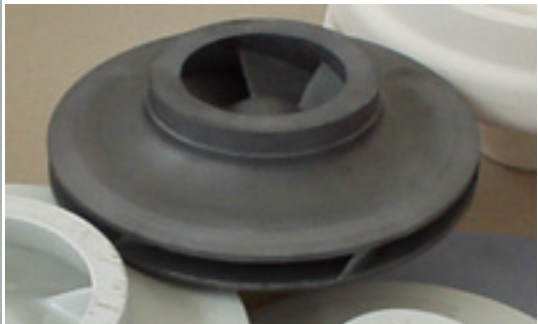


Bild 5: SISIC – Laufrad aus mehreren Teilen zusammensilziert

Fügen von Keramik mit Metall, Glas oder Kunststoff

Die am meisten verbreitetste Methode der Integration von Keramik in Geräte und Ausrüstungen ist die mechanische Verbindung, d.h.

- Einklemmen
- Einspannen
- Einschrumpfen
- Einschrauben, in der Regel mit Dichtungen abgedichtet.

Wenn die Grundregeln des Fügens (keine Biegung, kein Zug, keine Spannungsspitzen, keine Punktbelastung) beachtet werden, können enorme Kräfte übertragen und beherrscht werden.

Am Beispiel eines Kugelhahnes kann man zeigen, dass bei einer Kugel DN 100 und einer Druckdifferenz von 40 bar, Kräfte von 31.200 N (3,12 t) auftreten und diese problemlos verkraftet werden.

Voraussetzungen dazu sind:

1. Tragender Sitz liegt eben auf, evtl. mit elastischer Zwischenlage.
2. Keramikugel liegt „flächig“ in der passenden Kalotte.



Bild 6: Keramischer Kugelhahn

Das Verkleben von Keramik mit anderen Werkstoffen sollte mit Ausnahme weniger Stoffe, die ähnlich starr (steif) sind wie Keramik (z.B. Glas) mit elastischen Klebstoffen erfolgen.



Bild 7: Keramikrohrbogen mit PUR im Stahlmantel eingegossen

Häufig werden Klebungen kombiniert mit mechanischen Verbindungen. Die Klebung dient mehr oder weniger nur als Zwischenschicht.



Bild 8: Kugelhahngehäuse Keramikhülse elastisch eingeklebt

Schweißen und Löten von Keramikbauteilen mit Metallen ist eine erprobte und seit vielen Jahren praktizierte Technologie. In vielen Fällen erhalten die Keramikoberflächen vorher eine Metallschicht. Dies geschieht z.B. mittels:

- Flammspritzen (Schoopen)
- Plasmaspritzen (Sputtern)
- Einbrennen von Metallpasten (versilbern) mit anschließenden elektro-galvanischen Beschichtungen (verkupfern)
- Chemischen Galvanisieren.



Bild 9: metallisierte Keramik mit angelöteten Metallteilen

Varianten dieser Technologie werden z.B. auch beim Kontaktieren keramischer Bauelemente in der Elektrotechnik bis hin zur Mikrohybridtechnik angewendet.

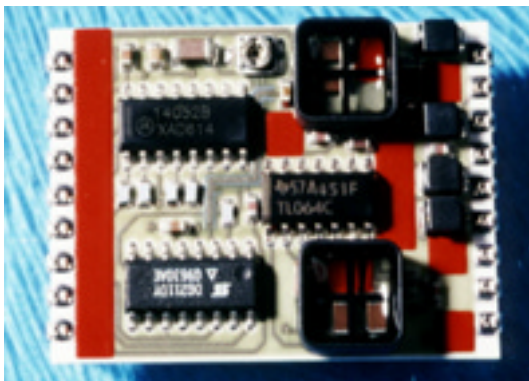


Bild 10: Mikrohybridbaustein mit gelöteter Keramik

Eine seit Beginn der Elektrifizierung betriebene Methode der Verbindung von Metallarmaturen und Keramik ist das Eingießen mit niedrigschmelzenden Metallen wie z.B. Blei oder Zinn, was aber mit Schweißen oder Löten nichts zu tun hat, sondern ein Umgießen der Keramik mit Metall darstellt.



Bild 11: Isolatorkappe eingeleit, geschnitten

Beschichten von Keramik

Schlußfolgernd aus dem vorangegangenen können sich Ansätze ergeben für bestimmte Anwendungsfälle, wo Keramik beschichtet werden soll, bzw. wo andere Werkstoffe mit Keramik beschichtet werden sollen. Beides ist möglich und wird großtechnisch angeboten. Alle Stoffe, die sich spritzen lassen, d.h. nicht gleich verdampfen, kommen als Beschichtungswerkstoff für Keramik in Frage.

Organische Beschichtungen, wie z.B. mit HALAR oder Farbstrichstoffen sind ebenfalls möglich.

Der andere Fall, die Beschichtung mit Keramik, ist trotz der hohen Schmelztemperatur von Keramik auch auf Metallen und Kunststoffen großtechnisch möglich.

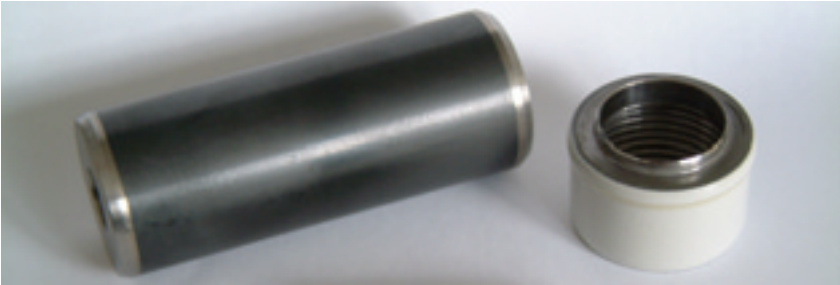


Bild 12: Metallplunser, beschichtet mit CrO_2 und Metallanschlusshülse, beschichtet mit Al_2O_3

Die entstehenden Schichten sind jedoch porös und nur wenige Zentel Millimeter stark. Daraus ergibt sich, dass derartige Schichten versiegelt werden müssen, um sie als „Korrosionsschutzschicht“ einsetzen zu können und zum anderen die mechanischen Belastungen entsprechend „harmlos“ oder „gutmütig“ sein müssen.



Bild 13: Keramikbeschichtung auf GFK – Walze

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 12) finden sich auf den folgenden Seiten.

Verbindungen und Verbunde

Integration der Keramik in Geräte

Heinz Albert
Cera System Verschleißschutz GmbH
Hermisdorf



Integration von Keramik in Geräte

- Einleitung
- Fügeregeln
- Fügen von Keramik mit Keramik
 - mechanisches Fügen
 - Kleben
 - Schweißen/Löten
- Fügen von Keramik mit Metall oder Kunststoff
 - mechanisches Fügen ,
 - Kleben
 - Schweißen/Löten
- Beschichten von Keramik



Einleitung

Ein Keramikteil ohne Verbindung mit einem anderen Teil ist schön anzusehen aber technisch nutzlos!

Keramik nutzen heißt Verbindung schaffen

- Keramik mit Keramik, vor allem in der Hochtemperaturtechnik
- Keramik mit Metall, Glas oder Kunststoff

Besondere Werkstoffeigenschaften und fertigungsspezifische Besonderheiten müssen beachtet werden.

Daraus folgt:

Keramik-gerechtes Konstruieren !

Fügeregeln - aus Eigenschaften

Eigenschaft

Keramik ist:

- steif, Partner verformen sich
- Sehr druckfest
- wenig biege- und zugfest
- sprödbrechend

Regel

elastische Zwischenschicht einbauen !

Druckspannung auf Keramik !

Zug-/Biegespannung minimieren !

Spannungsspitzen, Punktbelastungen, scharfe Kanten vermeiden !

Fügeregeln - aus Fertigungsspezifik



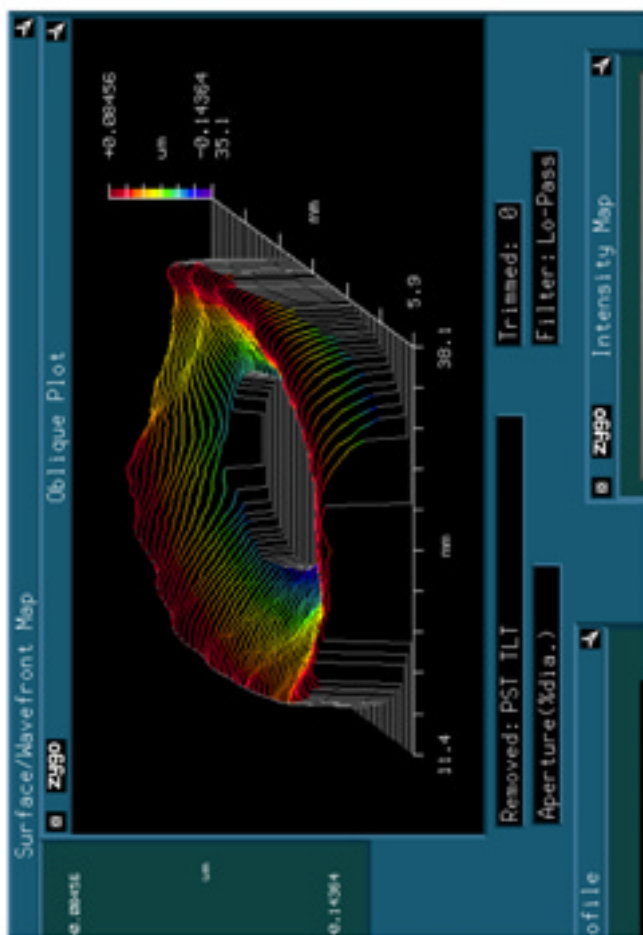
Fertigungsspezifik

- Werkstoff selbst ist oft nicht teuer, aber die Bearbeitung !
- Jede Geometrie ist möglich, aber oft nicht sinnvoll
- Keramik durchläuft einen Sinterprozess. Das Gefüge kann inhomogen werden.

Regel

- einfache Form !
- Nacharbeit minimieren !
- Materialanhäufungen vermeiden !
- Übergänge verrunden !

Oberflächenstruktur einer Keramikscheibe



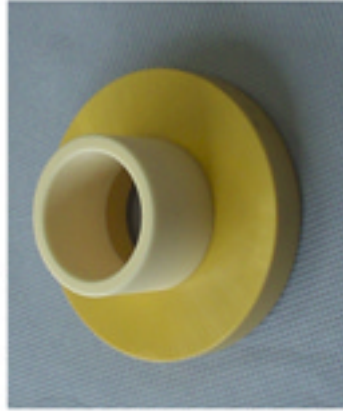
Fügen von Keramik mit Keramik 1



- Mechanisch = problematisch
 - » möglichst mit elastischer Zwischenschicht !
- Kleben = starre Verbindung möglich
 - » mit „Edelfuge“ (extrem dünne Kleberschicht)
= elastisch kleben - günstig!

Hauptprobleme:

Haftung und Alterung !
Temperatur !



Fügen von Keramik mit Keramik 2



- Kleben = anorganisch (Zementkittung)
- Zusammensilenzieren von SiC - Teilen (SiSiC)



Fügen von Keramik mit Metall, Glas oder Kunststoff



- Mechanisch fügen = **häufigste und zuverlässigste Verbindungsart**

- einklemmen
- einspannen
- einschrumpfen
- einschrauben

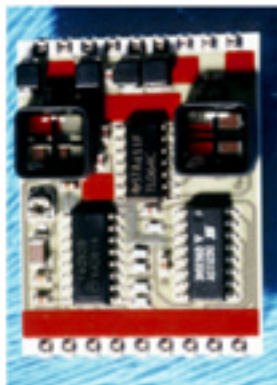
- Kleben = elastisch, möglichst in Kombination mit mechanischer Verbindung



Schweißen/Löten von Keramik mit Metall



- Keramik metallisieren durch:
 - Flammspritzen (schoopen)
 - Plasmaspritzen (sputtern)
 - Einbrennen von Metallpasten (versilbern)
 - elektrisch Galvanisieren (verkupfern)
 - chemisch galvanisieren



Fügebeispiele von Keramik mit Metall



- Keramik mit Zement einkitten



- Keramik metallisch eingießen



Beschichten

- von Keramik mit Metallen oder Keramik
- mit Keramik auf
– Metallen



– oder Kunststoffen

