

4.3 Sonderapplikationen – vieles ist doch möglich!

- Dr. Torsten Weiß
BCE Special Ceramics GmbH
Mannheim

Die Folien finden Sie ab Seite 387.

4.3.1. Einleitung

Die Oxidkeramiken unter den Hochleistungskeramiken stellen weiterhin den größten Anteil und sind deshalb neben den spektakulären Erfolgen der schwarzen oder Nicht-Oxid-Keramik wie Siliziumnitrid oder Siliziumkarbid ein interessantes Optimierungsaufgabengebiet. Diese Weiterentwicklungen vollziehen sich im Wesentlichen auf zwei Feldern, nämlich den Werkstoffen selber und deren Verarbeitungswege zu Bauteilen.

Beispielhaft für die Werkstoffseite seien hier die Mischkeramiken wie ZTA (Zirconia Toughened Alumina, Basiswerkstoff Al_2O_3) oder auch die Umkehrung ATZ (Alumina Toughened Zirconia, Basiswerkstoff ZrO_2) genannt. Auch die immer weitergehende Entwicklung der ZrO_2 Mg PSZ Typen (Magnesiumoxid teilstabilisierte Zirkonoxidkeramik) in höchste Festigkeitsregionen (600 bis 800 MPa Biegefestigkeit) spiegelt die erfolgreichen werkstofflichen Anstrengungen wieder.

Auf der anderen Seite wurden erfolgreiche Entwicklungen in den Bereichen des hocheffizienten und genauen Trockenpressens oder diverse Entwicklungen im Spritzguss geleistet, die den steigenden Anforderungen an die Qualität bei geringen Stückkosten weitgehend Folge leisten. Eine weitere Route, die insbesondere für nicht so große Stückzahlen interessant ist, stellt die präzise CNC-Bearbeitung von Grünlingen (z. B. isostatisch gepresste Formlinge) dar. Unter Berücksichtigung der Schwindung beim Sintern können hiermit ohne schleifende Nachbearbeitung komplexe Formen in den Bauteilen realisiert werden, die „as fired“ zum Einsatz kommen können. Vorteile aus Kundensicht sind die „fehlenden“ Werkzeugkosten und die relativ kurze Fertigungszeit bei sehr hoher Materialqualität.

4.3.2. Kurzdarstellung der CNC Fertigungsweise

Ausgangsbasis für eine Bauteilfertigung ist ein pressfähiges (d. h. Bindemittel enthaltendes und agglomeriertes) Keramikpulvergranulat das den späteren Werkstoff bildet, typischerweise Al_2O_3 in den Reinheiten 92 bis 99,99 % oder ZrO_2 Y-TZP oder ZrO_2 Mg-PSZ. Die Eigenschaften des Granulats, sowie die Parameter der isostatischen Pressung bestimmen maßgeblich die weitere Verarbeitung oder Machbarkeit bestimmter Geometrien. Einen entscheidenden Einfluss haben auch die zur Verwendung kommenden Werkzeuge (Schneid-geometrien und Werkstoffe; HM, PKD) und die Schnittparameter bei der CNC Bearbeitung wie z. B. Vorschub, Zustellung, Bohrhöhe usw.

Das Granulat wird gleichmäßig in eine angemessene, elastische Gummiform gefüllt. Diese wird dicht verschlossen und anschließend in der kaltisostatischen Presse (CIP) unter Anwendung hoher hydrostatischer Drücke (600 bis 2.500 bar) homogen verdichtet.

Der nunmehr gepresste Grünling besitzt eine gewisse Festigkeit die es erlaubt, bei vorsichtiger Einspannung unter Berücksichtigung des kreideweichen Zustandes, eine CNC Bearbeitung vorzunehmen. Der nur gepresste Grünling hat in vielen Fällen kaum Ähnlichkeit mit der Endkontur des Bauteils, diese entsteht erst durch die Bearbeitung. Ausnahmen sind in gewisser Hinsicht das Pressen von kleinen Rohren, Buchsen oder komplexeren Innenkonturen, wo es sich lohnt auf einen Dorn oder Kern zu pressen und somit die Innenkontur schon abzubilden. Die Außengestalt wird dann dennoch durch drehende oder fräsende Bearbeitung erstellt. Unterstützt wird diese Arbeitsweise durch den Einsatz einer CAD-CAM Kette, was sich bei gekrümmten Oberflächen positiv niederschlägt. Trotz des kreideweichen Zustandes lassen sich nur geeignete Hartmetallwerk- oder PKD-Werkzeuge zur Bearbeitung einsetzen, da ja die Einzelteilchen des verpressten Pulvers schon aus Keramik bestehen und somit die hohe Härte und Abrasivität besitzen.

Berücksichtigt werden muss allerdings die Schwindung der einzelnen Werkstoffe / Pressgranulate, da die Sinterung zu diesem Zeitpunkt noch aussteht. D. h. die Konturen oder Endmaße müssen alle mit entsprechenden Koeffizienten in den Raumrichtungen für isotrope oder anisotrope Schwindung, eventuell unter Berücksichtigung von Aufmassen für eine nachfolgende, schleifende Hartbearbeitung, hochgerechnet werden. Durchschnittlich muss mit 16 bis 25 % Schwindung gerechnet werden.

Ist der bearbeitete Grünling maßlich korrekt und rissfrei angefertigt, wird er zur Sinterung freigegeben. Speziell an den Werkstoff und die Geometrie angepasste Sinterkurven, also Aufheiz- und Abkühlraten, Endtemperaturen und Zeiträume der Zeit-Temperatur-Kurve verfestigen durch Diffusionsvorgänge bei Temperaturen von 1.450°C bis 1.750 °C (bei der meistens vorliegenden Festkörpersinterung) den ehemals weichen Grünling zur harten Hochleistungskeramik. Eine abschließende 100 % Rissprüfung aller Bauteile nach dem Sintern sowie eine Maßkontrolle entscheiden dann über die Freigabe zur weiteren schleifenden Bearbeitung oder als „as fired“ Bauteil.

4.3.3. Möglichkeiten und Grenzen dieser Technologie

Es lassen sich auf diese Art und Weise recht komplexe und filigrane Strukturen herstellen, die teilweise durch schleifende Bearbeitung gar nicht machbar sind (z. B. mangels so kleiner Diamantwerkzeuge), beispielsweise kleine Innengewinde.

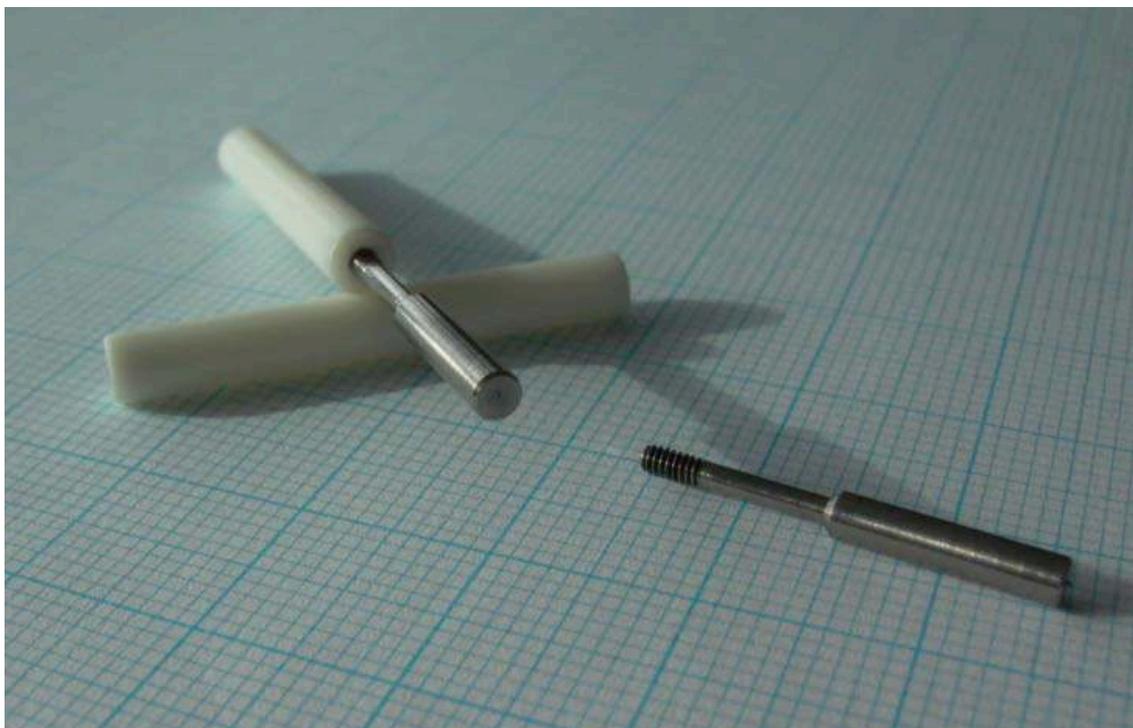


Bild 1: Gewindehülse in ZrO₂ mit Innengewinde M 1,6

Nachfolgend ein keramischer Einsatz einer elektrischen Durchführung. Werkstoff ist hier ein 99,5 % reines Al₂O₃. Der gesamte Stecker ist aktivgelötet. Dies gewährt die Möglichkeit eines Hochtemperatureinsatzes (300...500 °C) und ist vakuumdicht. Der Bohrungsdurch-

Vortragsblock 3

messer für die Kontaktdrähte beträgt 0,255 mm. Zur sicheren Verlötung sind kleine Taschen um die Bohrungen, die einen dichten Abschluss des Lots gewährleisten. Die Vielzahl der unterschiedlichen und teilweise kundenspezifischen Steckerlösungen in Bezug auf Bohrungsanzahl und Drahtstärken lassen sich durch die Grünfertigung wirtschaftlich bewältigen. Die kleinste zuverlässig anzufertigende Bohrung beträgt ca. 150 µm, allerdings ist die Bohrungstiefe auf wenige mm begrenzt.

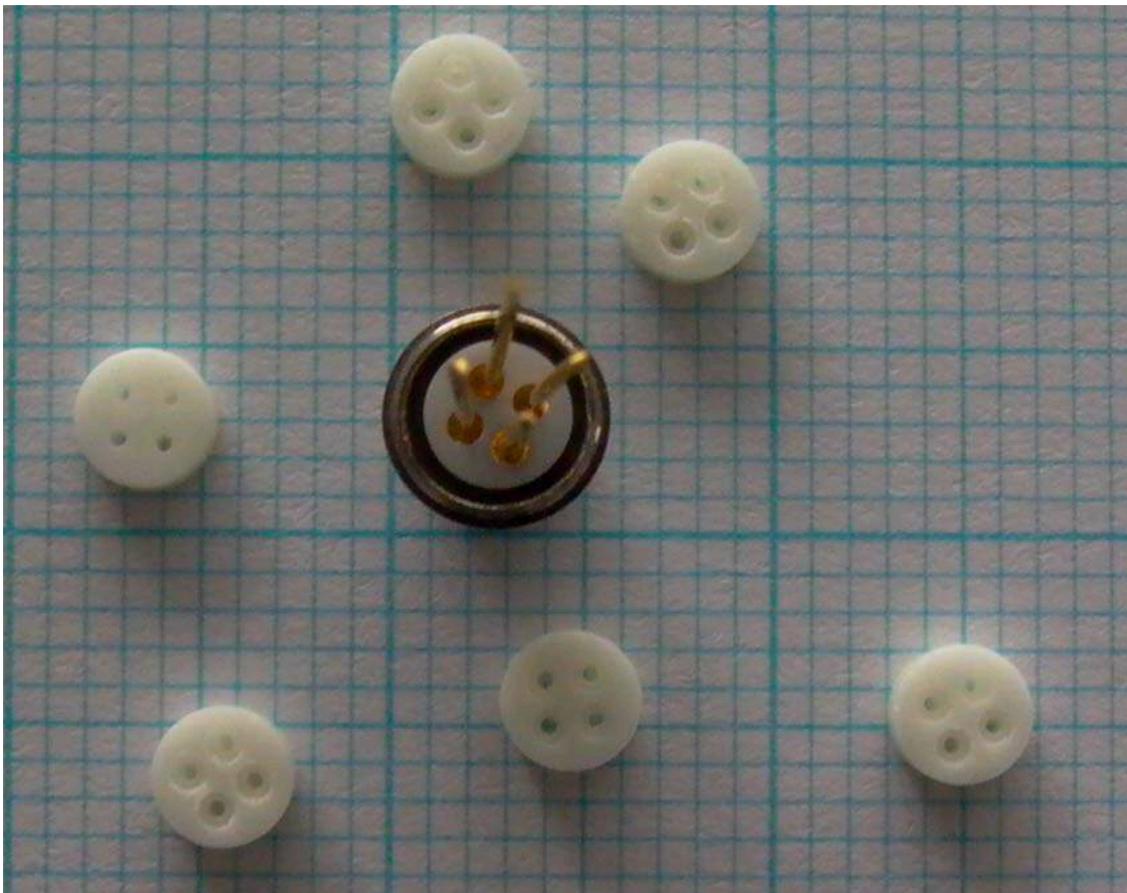


Bild 2: Miniatursteckereinsatz aus Al_2O_3 99,5% aktivgelötet

Ein Beispiel für die CAD-CAM Umsetzung einer komplexen Geometrie ist die nachfolgende Düse. Diese Kontur wird grün gefertigt und nur noch schleifend geplant, um einbaufertig zu sein. Material ist wieder Al_2O_3 99,5 %. Bohrungen und Konus werden mittels Spezialwerkzeugen eingebracht. Aufgrund der relativ geringen Stückzahl ist die Anfertigung eines Spritzwerkzeuges hier unwirtschaftlich.



Bild 3: Düse aus Al_2O_3 99,5 %

Ähnliche Geometrien wie z. B. gebogene Lavaldüsen sind ebenso bei kleinen Stückzahlen somit praktikabel herstellbar.

Ein Beispiel aus der Messtechnik zeigt eine Verbindungsmöglichkeiten Keramik-Metall ohne Lötung. Die Anforderung elektrische Kontakte für eine Durchflussmesstechnik möglichst „unkompliziert“ in das Bauteil zu inkorporieren, führte zu einer Lösung des direkten Einsinterns eines hochtemperaturbeständigen Kontaktdrahtes. Als Entwicklungsarbeit musste der optimale Durchmesser der Bohrungen in der Keramik (im Grünling) und die Härte des Drahtes aufeinander abgestimmt werden. Die so hergestellten keramischen Messfühler sind bis zu 25 bar Innendruck dicht und belastbar.



Bild 4: Direkt druckfest eingesinterte Kontaktdrähte in Al₂O₃ oder ZrO₂ Mg-PSZ

Abschließend ein Beispiel einer abgestimmten Gesamtfertigung aus Grün- und Hartbearbeitung. Zahnradpumpen zur Klein- und Mikrodosierung sollten besonders verschleiß- und/oder korrosionsfest ausgelegt werden. Da die Anforderung die zu übertragenden Kräfte recht hoch ist (die einzuleitenden Drehmomente je nach Druckbeaufschlagung) wurde ZrO₂ Y-TZP als Material gewählt, als Kompromiss zwischen Härte und Festigkeit anstelle eines Al₂O₃. Eine genaue Abstimmung der Grüngeometrie auf die nachfolgende Hartbearbeitung ist notwendig, um die Baugruppe sinnvoll fertigen zu können.



Bild 5: Zahnradgruppe für Pumpe aus ZrO_2 Y-TZP

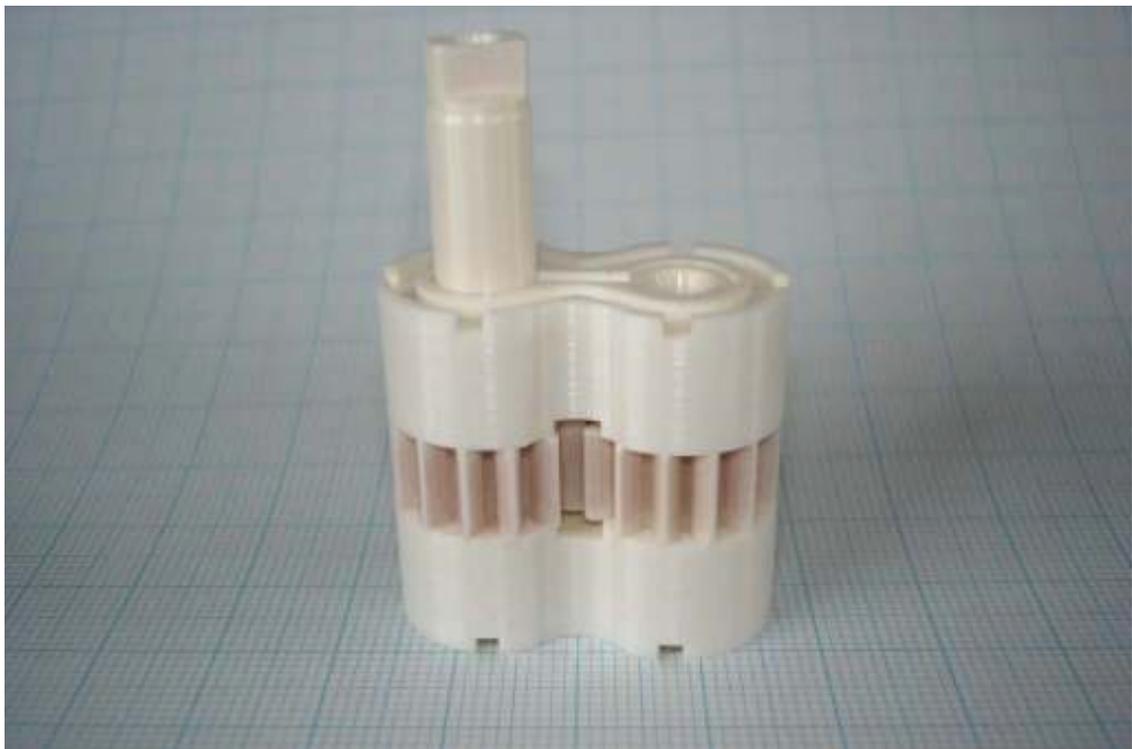


Bild 6: Zahnradgruppe für Pumpe aus ZrO_2 Y-TZP

4.3.4. Möglichkeiten und Grenzen dieser Technologie

Die Fertigung von Hochleistungskeramik mittels isostatisch gepresster Formlinge und anschließender CNC Formgebung ist ein sehr flexibles Instrument um dem steigenden Bedarf an individueller Gestaltung bei oftmals kleinen bis mittleren Stückzahlen wirtschaftlich begegnen zu können. Diese Technologie entwickelt sich mit Fortschreiten der Aufbereitung der keramischen Massen und Pulver sowie der Maschinenteknologie und Werkzeugverfeinerungen (exaktere Schneiden, beschichtete Werkzeuge etc.) immer weiter, da Faktoren wie Kantenstabilität der Preßlinge und Restwandstärken ständig verbessert werden, was wiederum filigranere Strukturen zulässt. Im Dialog mit dem Anwender lassen sich auf diesem Wege vielmals applikationsgerechte Hochleistungskeramiken einsetzen um eine sichere Funktionalität des Endproduktes zu gewähren.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 21) finden sich auf den folgenden Seiten.

***Sonderapplikationen –
vieles ist (doch) möglich!***

Dr.-Ing. Torsten Weiß
BCE Special Ceramics GmbH
Mannheim

Prinzipielle Arbeitsweise



- Isostatisches Pressen eines (Vorform-)Grünlings
- CNC-Bearbeitung: Drehen, Bohren, Fräsen, Gewinde etc.
- Maßkontrolle > Freigabe zur Sinterung
- Sinterung > Rissprüfung > Maßkontrolle (as fired Bauteil) / QS
- schleifende Bearbeitung > Rissprüfung > Maßkontrolle / QS



Vorteile / Einschränkungen

- + Hohe Werkstoffqualität
- + Prototypen / kleine Losgrößen ökonomisch herstellbar
- + Keine Werkzeugkosten für Preß- / Spritzformen
- + Kurze Entwicklungszeiten für neue Bauteile
- + Anpassungsänderungen einfach möglich via CNC

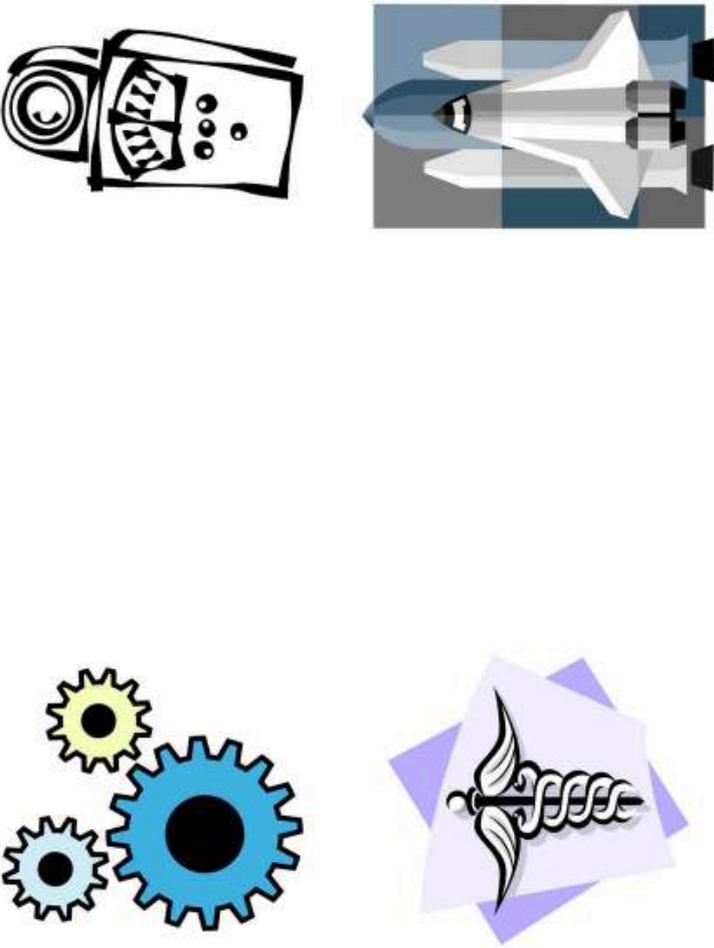
- Fertigungsweise begrenzt Serienstückzahlen
- Komplexitätsgrad der Bauteile ist auf hohem Niveau eingeschränkter als im Vergleich zum Spritzguß

Problemstellungen

- Aufgrund besonderer Anforderungen an z. B. Verschleißfestigkeit, Temperaturniveau, magnetische Eigenschaften, Isolationseigenschaften (therm. / elektr.), chem. Beständigkeit wird ein keramischer Werkstoff gewählt
- Aus der (bestehenden) Konstruktion ergeben sich dann oftmals besondere Problemstellungen an die
Keramikausführung:
 - Miniaturisierungsgrad, geringe Wandstärken, Präzision
 - Hohe, teils ungünstige mechanische Belastungen
 - Gekoppelte abrasive und korrosive Belastung
 - Konflikt: Fertigungsaufwand & Risiko ↔ Verkaufspreis

think
ceramics
TECHNISCHE KERAMIK

Beispielsbereiche



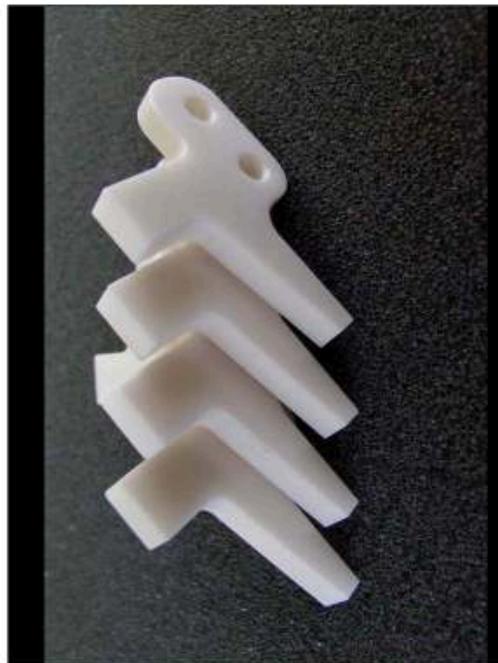
The image displays four distinct icons arranged in a 2x2 grid. The top-left icon is a stylized camera lens with a circular element and a lens cap. The top-right icon is a white space shuttle with a blue flame trail, set against a blue and grey background. The bottom-left icon consists of three interlocking gears of different sizes and colors (yellow, light blue, and dark blue). The bottom-right icon is a white caduceus symbol, a staff with two snakes and wings, set against a light purple background.

4.3 Sonderapplikationen - Folie 5

Catch me if you can ...

- ☺ Bauteil aus dem Maschinenbau
- ☺ Herausforderungen: Elektrische Isolation, hohe Festigkeit, hohe Formgenauigkeit in der Serie, angemessener Preis...
- ☺ Antwort: Material ZrO_2 Y-TZP, isostatisch gepresst, geringfügige Anpassung der Toleranzen
- ☺ Vorteil: Grünfertigung statt Schleifbauteil
(Trockenpressbauteil hat mechanisch versagt)

Catch me if you can ...

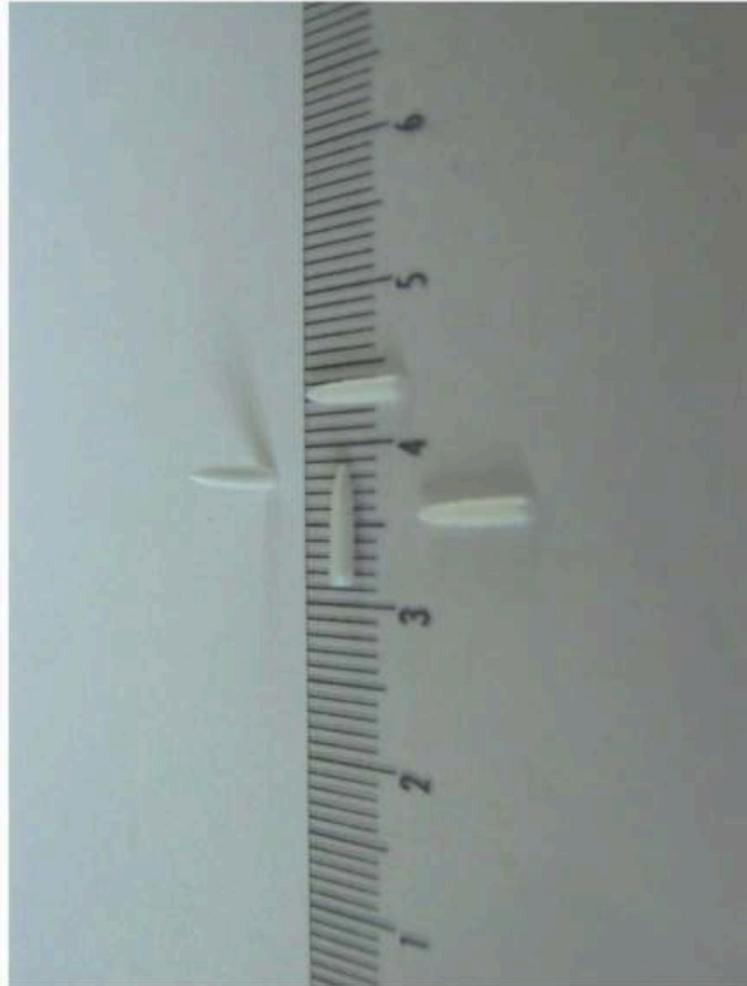


4.3 Sonderapplikationen - Folie 7

Pick me up...

- ☺ Herausforderung:
- ☺ Mikromechanisch hochgenaue Positionierung (10 µm)
bei rel. großer Belastung aber kleinen Abmessungen,
korrosionsbeständig
- ☺ Positionierstift aus ZrO₂ Y-TZP HIP
- ☺ Präzisionsgeschliffen auf 5..10 µm
- ☺ Festigkeit ca. 1.200 MPa (4 pb)

Pick me up...



4.3 Sonderapplikationen - Folie 9

Heavy duty...



- ☺ Herausforderung:
- ☺ Hochgenaue, schwimmende Lagerung von Nockenwellen zur automatischen Vermessung und Auswuchtung, bei minimalen Verschleiß
- ☺ Material ZrO_2 Y-TZP, Bohrungen grün gefertigt, Schleifen der jeweiligen Radien

Heavy duty...

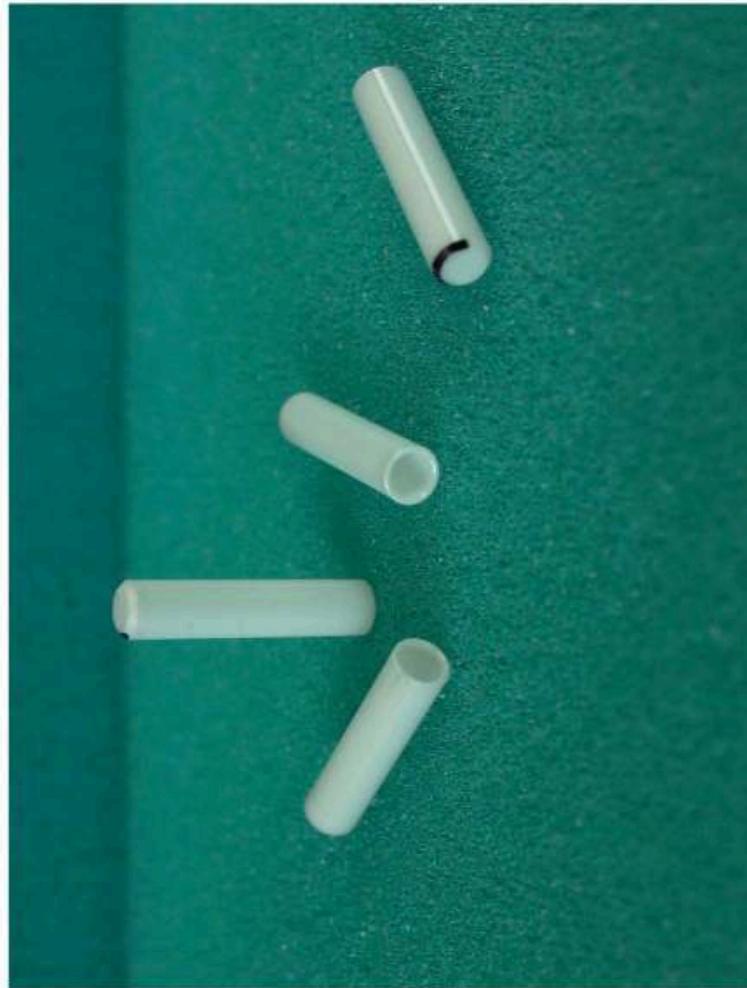


4.3 Sonderapplikationen - Folie 11

Turn me around...

- ☺ Meßhilfsmittel in der chem. Analyse NMR
- ☺ Hochpräzise Konzentrizität (2 µm) und Abmaße
- ☺ Hochbelastetes Bauteil (Zugspannungen durch Rotation mit 18 kHz)
- ☺ Materialien: ZrO_2 -Y-TZP / Si_3N_4 (unmagnetisch!)
- ☺ Präzisionsschleifen und Honen auf Endmaße
- ☺ Aufwändige QS: Rotationsprüfung und Prüfmaße

Turn me around...

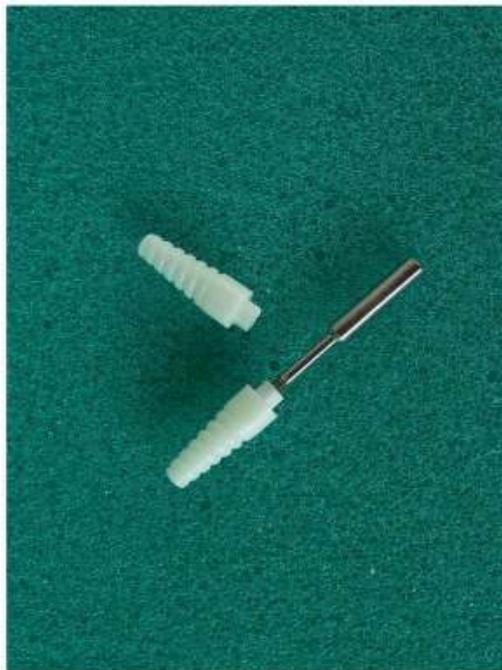
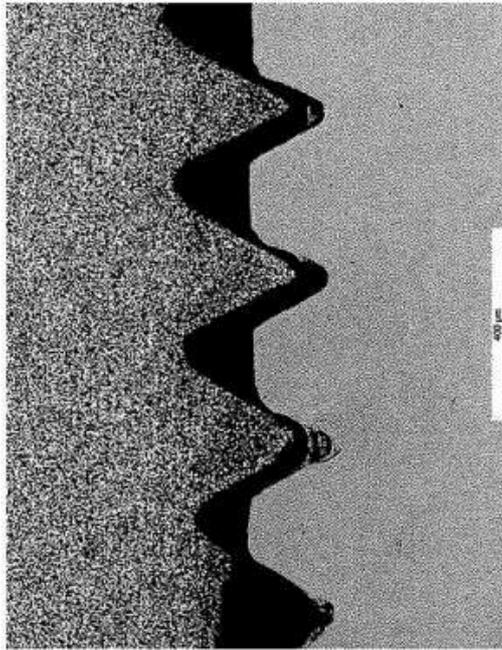


4.3 Sonderapplikationen - Folie 13

Screw driving...

- ☺ Gewinde in Keramik? Außen / Innen ??
- ☺ Miniaturisierung in der Medizintechnik erfordert kleines Innengewinde M 1,6
- ☺ Bauteil muss Zulassung als Implantat erhalten können
- ☺ Spezial stabilisiertes ZrO_2 Y-TZP HIP (ISO 13356)
- ☺ Gewinde und Konturen „grün“ gefertigt
- ☺ Genauigkeit bei ca. 15..20 μm

Screw driving...



4.3 Sonderapplikationen - Folie 15

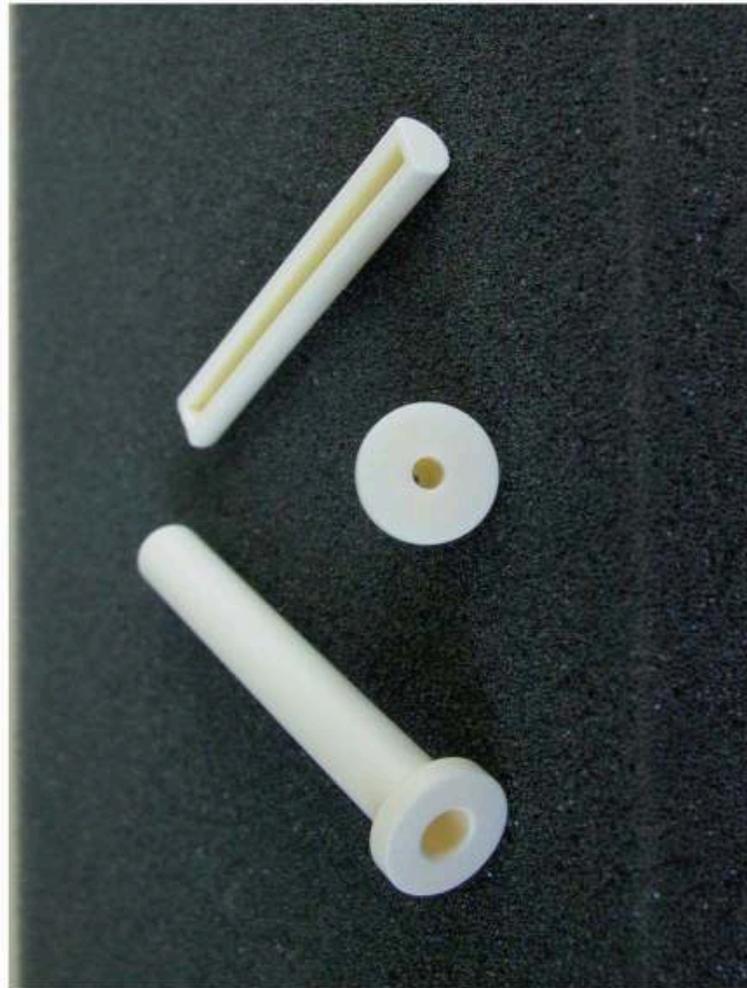
It's so hot...



- ☺ Hochreines Material, Temperaturbeständig bis über 1.700 ... 1.800 °C im Ultrahochvakuum
- ☺ Geometrie: Exakter schlanker Tiegel mit Bund und andere Bauteile
- ☺ Material: Synthetisches Al_2O_3 99,99%
- ☺ Grünfertigung mit Sonderwerkzeugen und schleifender Nachbearbeitung

4.3 Sonderapplikationen - Folie 16

It's so hot...



4.3 Sonderapplikationen - Folie 17

Inside out...



- ☺ Elektrische Durchführungen von Meßsignalen in [mV] bis Hochstrom [A]
- ☺ Vakuum- oder Heliumdicht, autoklavierbar, temperaturbeständig bis 450 °C
- ☺ Keramische Inlays aus Al_2O_3 99,5 %
- ☺ Bis zu 24 Bohrungen \varnothing 0,4 auf \varnothing 9 mm
- ☺ Metallische Fassungen aus Sonderstählen / Titan
- ☺ Partner für die Aktiv- / Lötungen

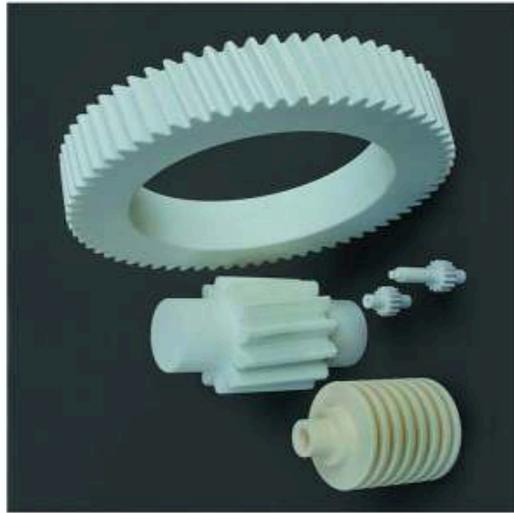
Inside out...



Vortragsblock 3



Many more to come...



4.3 Sonderapplikationen - Folie 20

Fazit für gemeinsame Wertschöpfung...

- ☺ Kundenorientierter Dialog
- ☺ Gemeinsames, rechtzeitiges Design
- ☺ Sorgsame Werkstoffauswahl
- ☺ Fertigungsstrategie(n)
- ☺ Prototypen / Muster > Auswertung
- ☺ Erfolgreiches Produkt...