

4.2 Losgröße 1 in der Technischen Keramik

- Friedrich Moeller
Rauschert Heinersdorf-Pressig GmbH
Pressig

Die Folien finden Sie ab Seite 284.

4.2.1. Einleitung

Die Leistungsfähigkeit und die Zuverlässigkeit von Maschinen und Anlagen können in vielen Fällen nur noch durch den Einsatz und Optimierung neuer Werkstoffe gesteigert werden. Im Rahmen des Werkstoff-Mix müssen die Werkstoffe ihren Stärken entsprechend eingesetzt werden. So bewähren sich die Keramik-Werkstoffe u. a. bei der Lösung von Verschleiß- und Korrosionsproblemen und bei nicht ausreichender elektrischer und thermischer Isolation.

Bei vielen Einsatzfällen hat die Keramik Anwendungsgrenzen erweitert und die Standzeiten der Komponenten erhöht.

Ist ein Entwicklungsingenieur über die Möglichkeiten und Vorteile Keramikwerkstoffen informiert, so können auf ihn folgende Fragen zukommen:

- Wie erhalte ich ein Keramik-Bauteil für die erste Erprobung?
- Kann ich wirtschaftlich vertretbar Werkstoff-Varianten testen?
- Wie komme ich im Reparaturfall in angemessener Zeit zu einem geometrisch passenden Bauteil?

Wünschenswert wäre oft eine 1:1-Substitution des Bauteils aus Metall oder Kunststoff durch das Keramik-Bauteil, ohne dass andere Komponenten oder die Konstruktion angepasst werden müssen. Für Versuche ist dies z. T. möglich.

Die keramikgerechte Konstruktion des Bauteils, auch unter Berücksichtigung der Anforderungen der Serienfertigung (Herstellbarkeit, Kosten), und die Einbindung in die Baugruppe wird nach erfolgreichem Abschluss der Testphase notwendig.

Wesentliche Unterschiede zwischen der keramischen Fertigung und der metallischen Fertigung sind dabei zu beachten.

Die Keramiktechnologie hat zahlreiche Prozessstufen mit entsprechenden Rüstkosten, Rüstzeiten und Durchlaufzeiten. Wesentlich dabei ist, dass die Formgebung vor dem Sinter, d. h. dem „entstehend des Werkstoffs“ großteils durchzuführen ist. Die Losgröße 1 wird nur dann wirtschaftlich interessant, wenn die Zahl dieser Prozessstufen wesentlich reduziert werden kann und einzelne Prozessschritte mit geringem Aufwand durch werden können.

In diesem Vortrag werden zwei Verfahren vorgestellt, die sich für die Losgröße 1 anbieten:

- die Ultrasonic-Bearbeitung gesinterter keramischer „Halbzeuge“ und
- die keramischen Beschichtungen von Metallteilen.

4.2.2. Ultrasonic-Bearbeitung

Die Ultrasonic-Technologie ist ein Verfahren, das erst in den letzten Jahren seine jetzige hohe Prozesssicherheit erreicht hat und nun auch für die Keramik geeignet ist. Dazu beigetragen hat die 5-Achsentechologie moderner Werkzeugmaschinen mit der Steuerung der Stell- und Regelgrößen sowie die Verfügbarkeit von leistungsfähigen Diamantwerkzeugen.

Die Ultrasonic-Bearbeitung geht von gesinterten Halbzeugen keramischer Werkstoffe wie Platten oder Zylinder aus, die mit Diamantwerkzeugen bearbeitet werden.

Ultrasonic bedeutet in diesem Zusammenhang Ultraschallunterstützung bei Zerspanprozessen, wobei der inverse Piezo-Effekt genutzt wird. Dies führt zu schonenden Zerspanprozess, wie sie für die Keramik notwendig sind..

Prinzip

Mit einer Frequenz von 20 kHz und geringen Prozesskräften schlagen Diamantwerkzeuge aus der harten Keramikoberfläche Material heraus.

Die Zerspanleistung ist trotz hoher Vorschubleistungen material schonend und damit wirtschaftlich.

Die gleichzeitig rotierende Bewegung des Werkzeugs von bis zu 40 000 U/min gewährleistet eine hohe Rundheitspräzision der Bauteile.

Bohren, Fräsen und Schleifen können auf einer Maschine realisiert werden.

Bohrungen bis $D = 0,3$ mm, 3D-Konturen, Taschen, Nuten und Schlitzze können so gut reproduzierbar hergestellt werden.

Wenn Bauteile aus Metall oder Kunststoff durch ,Keramik substituiert werden sollen, müssen die Regeln der keramikgerechten Konstruktion beachtet werden. Eine 1:1-Substitution ist oft nicht möglich. Bevor ein aufwendiges Werkzeug für die Serie gebaut wird, muss sich die Konstruktion erst in Praxistests bewähren. In anderen Fällen werden im Projektgeschäft „nur“ Einzelstücke benötigt.

Das Ultrasonic-Verfahren ist in diesen Fällen geeignet, keramikgerechte Prototypen wirtschaftlich herzustellen.

Von einigen vorgestellten Prototypen wurden anschließend HD-Spritzgusswerkzeuge gebaut.

Anwendung und Details werden auf den Folien gezeigt.

4.2.3. Keramische Beschichtungen

Werkstoffe der Technischen Keramik werden u. a. im Bereich 1.400 °C bis 1.800 °C, je nach Werkstoff, gesintert und erhalten damit seine typischen Eigenschaften. Werden Metalle mit diesen Temperaturen belastet, so versagen sie oft. D. h. Keramik kann nicht gemeinsam mit Metall gesintert werden.

Wenn Keramiksichten auf Metallteile aufgetragen werden sollen, muss ein anderer Weg wählen werden. Dies führt zum thermischen Spritzen.

4.2.3.1. Prinzip des Thermischen Spritzens

Das Keramikpulver wird in einer 10.000 °C bis 20.000 °C heißen Plasmaflamme innerhalb von $0,5$ msec aufgeschmolzen und dann auf die sandgestrahlte Metalloberfläche mit hoher Geschwindigkeit aufgespritzt.

Das Keramikpulver erstarrt auf der Metalloberfläche zu einer Keramikschiicht in einer Keramikschiicht. Die aus 3 bis 5 Lagen hergestellte lamellare Schichtstruktur unterscheidet sich stark vom Gefüge einer Vollkeramik.

Die Keramikschiicht hat eine lamellare Struktur und eine technologiebedingte Porosität von ca. 3 bis 5 %.

Eine oft gestellte Frage ist: Welche Metalle können keramikbeschichtet werden und mit welchen Temperaturen muss auf dem Metallkörper gerechnet werden?

Prinzipiell können alle Metalle keramikbeschichtet werden. Aluminium und rostfreier Stahl sind die meist verwendeten Substratwerkstoffe. Das unterschiedliche Wärmeausdehnungsverhalten der Metalle wird durch die lamellare Schichtstruktur kompensiert.

Beim Erstarren der geschmolzenen Keramikpulver wird Wärme frei. Die Wärme verteilt sich dabei schnell über den Metallkörper, damit kommt es nur zu einer Erwärmung bis ca. 100°C. Bei sehr dünnen Metallfolien und Drähten entsteht Verzug, weil beim Sandstrahlen die mechanischen Spannungen frei werden und weil die Wärme nur ungenügend abtransportiert werden kann.

Die lamellare Schichtstruktur verleiht der Keramikschiicht ein gewisses Maß an Schlagfestigkeit. Risse verlieren ihre Energie an den Poren und können nicht weiter laufen. Die Schichtstruktur fängt unterschiedliche Wärmeausdehnungen bis ca. 600°C auf.

Ein Nachteil ist, dass flüssige Medien gerade bei Temperaturwechselbeanspruchungen in die Rissstruktur eindringen können und an der Metalloberfläche Korrosionsreaktionen auslösen können. Aus diesem Grund wird auch rostfreier Stahl als Substratwerkstoff empfohlen.

4.2.3.2. Versiegeln mittels Nanotechnologien

Durch neuentwickelte Nanocomposites können Risse und Poren versiegelt werden. Damit ist es möglich Unterkorrosion zu minimieren oder zu verhindern. Die Nanocomposites bestehen aus organischen Makromolekülen und oxidkeramischem Pulver. Weit verbreitet sind die Polysilazane mit SiO₂-Gruppen. Prinzipiell lässt sich durch vielfältige Kombinationen ein breites Eigenschaftsspektrum der Nanocomposites realisieren. Die Nanocomposites werden gelöst und mittels Tauchen aufgebracht wobei sie durch die Kapillarkräfte in die Rissstrukturen eingesogen werden. Bei einer thermischen Behandlung bei

Vortragsblock 3

zersetzen sich die organischen Makromoleküle und die anorganischen Oxide schlagen sich in fein verteilter Form nieder und bilden eine Schutzschicht.

Weiteren Eigenschaften und die Spezifikationen der Keramikschichten werden anhand praktischer Beispiele auf den Folien erläutert.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 17) finden sich auf den folgenden Seiten.

Die Losgröße 1 in der Technischen Keramik

Friedrich Moeller
Rauschert GmbH
Pressig



4.2 Losgröße 1 in der Technischen Keramik - Folie 1



Die Technische Keramik löst Probleme bei

Verschleiß

Korrosion

elektrischer Isolation $> 200\text{ °C}$

und thermischer Isolation $> 200\text{ °C}$

4.2 Losgröße 1 in der Technischen Keramik - Folie 2

Optimierter Werkstoffmix

- **Kosten senken und Kundenzufriedenheit verbessern**

Bei der systemorientierte Betrachtungsweise werden die einzelnen Werkstoffe ihren Stärken entsprechend eingesetzt.

Die Werkstoffe der Technischen Keramik können aufgrund ihrer Eigenschaften viele Funktionen erfüllen und leisten ihren Beitrag bei der

- Ausweitung der Leistungsgrenzen
- Erhöhung der Lebensdauer
- Verbesserung der Zuverlässigkeit
- Einsparung von Gewicht und Raum



Losgröße 1 als Herausforderung

Fragen beim Ersteinsatz Technischer Keramik

Werkstoffauswahl

Werkzeugbau

Schwindungstoleranzen

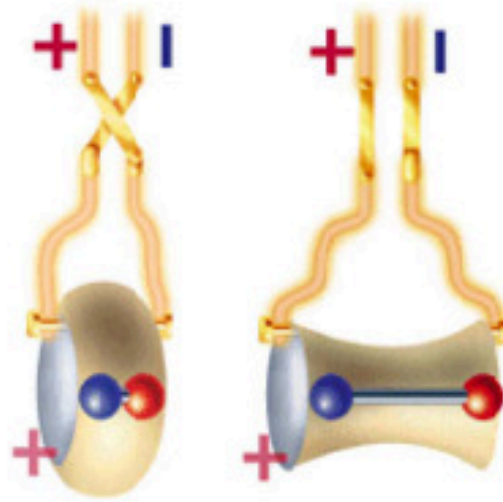
Hartbearbeitung

4.2 Losgröße 1 in der Technischen Keramik - Folie 4

Hartbearbeitung mit Ultraschallunterstützung

Prinzip

Ein elektrisches Signal mit 20 MHz erzeugt mittels inversem Piezoeffekt Bewegung.



Ultrasonic – Verfahren

Hartbearbeitung mit Ultraschallunterstützung



Verfahren

Hochverschleißfeste Werkzeuge
bearbeiten die Oberfläche und
lösen kleine Partikel heraus



Werkzeuge für die US-Bearbeitung

Hartbearbeitung mit Ultraschallunterstützung

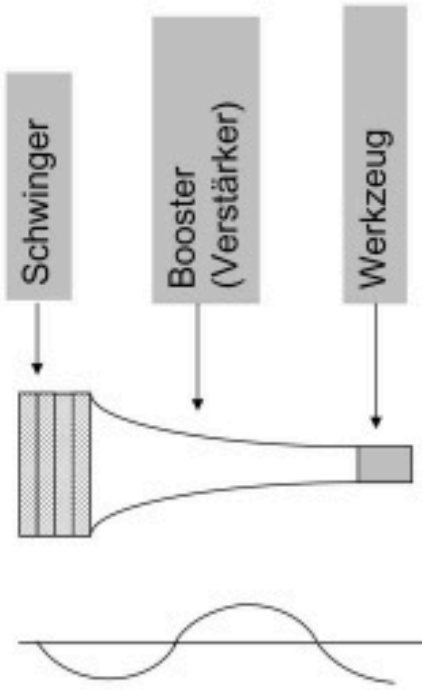


Vorteile

Schonende Bearbeitung, wegen geringer Schleifdrücke.

Oberflächenrauigkeit von $R_a = 0,3 \mu\text{m}$
Bohrungen einem minimalen Innendurchmesser von 0,3 mm

können realisiert werden.



Prinzip-Darstellung eines Werkzeugs

Hartbearbeitung mit Ultraschallunterstützung



Hartbearbeitung mit Ultraschallunterstützung ermöglicht die schnelle Herstellung kleiner Stückzahlen



- An gesinterte Rohteile können Freiformflächen mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01\text{mm}$ hergestellt werden.
- Bohrungen mit $d=0,5\text{ mm}$ und
- 3D-Kavität mit R_a -Werten $< 0,1\ \mu\text{m}$ sind realisierbar.

4.2 Losgröße 1 in der Technischen Keramik - Folie 8

Prototypen durch den Ultraschall-Prozess



Prototypen aus Zirconia M

Kettenzahnrad

Bauteil für einen Motor.



Beispiele von Prototypen

Keramische Beschichtungen

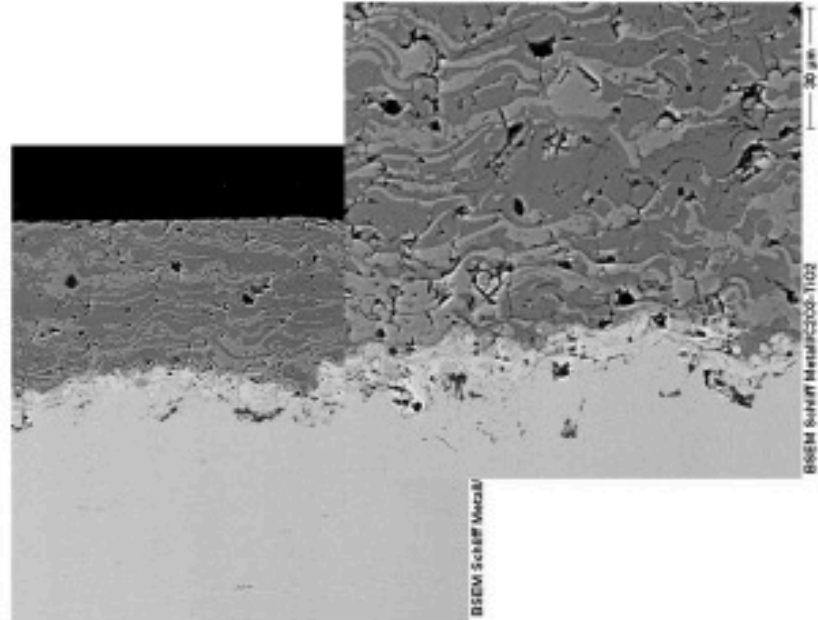


Prinzip des Thermischen Spritzens:

In einer Plasmaflamme wird bei 10.000 °C bis 15.000 °C das zugeführte Keramikpulver innerhalb von 0,5 ms aufgeschmolzen und mit Schallgeschwindigkeit auf die durch Sandstrahlen aktivierte Metalloberfläche aufgespritzt.



Keramikschichten funktionalisieren Metallteile



- Es entsteht eine 100 µm dicke Keramikschicht mit einer porösen lamellaren Struktur .
- Typische Keramik-Schichtwerkstoffe sind
 - Al_2O_3 (weiß)
 - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (grau)
 - ZrO_2 (beige)
 - $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (grün)

Korrosionsschutz und höhere elektrische

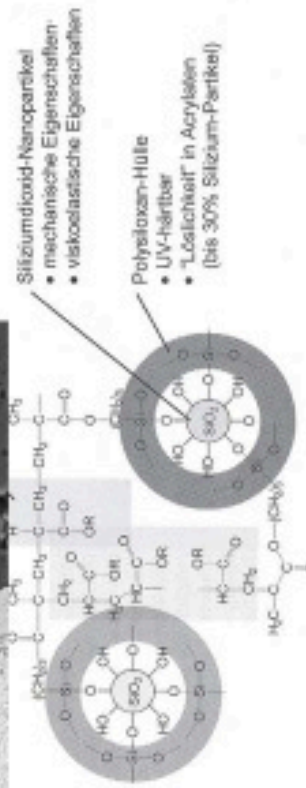
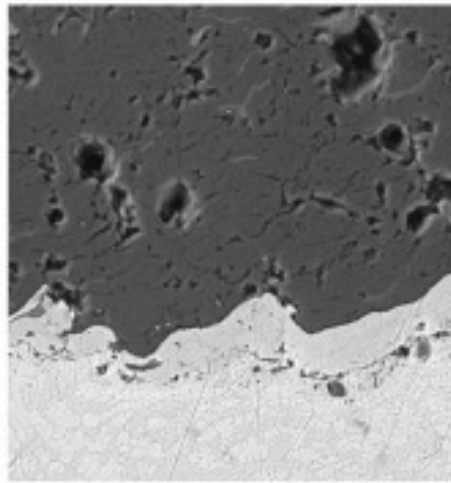
Durchschlagsfestigkeit durch Nanotechnologie



Mit der Nanotechnologie ist es möglich, die Poren zu verschließen.

Die Nanokomposites bestehen aus SiO_2 -Molekülen, die von organischen Molekülen umgeben sind

Nach einer thermischen Behandlung entsteht eingelagertes anorganisches Glas auf SiO_2 – Basis.



Keramik-Schichten funktionalisieren Metallteile



Elektrische Isolation
für Temperaturen **> 200 °C**
und Spannung **< 500 V**

mit Schichtwerkstoff Al_2O_3 (99 %)
weiß, Schichtdicke 200 nm

Beispiel: Spulenkörper

Die Keramikschicht gewährleistet die elektrische Trennung der metallischen Oberfläche endkonturnah auf kleinem Raum





Beispiel aus dem Verschleißschutz



Kehrgewindewalze für
Textilmaschinen



4.2 Losgröße 1 in der Technischen Keramik - Folie 14

Keramik-Schichten funktionalisieren Metallteile

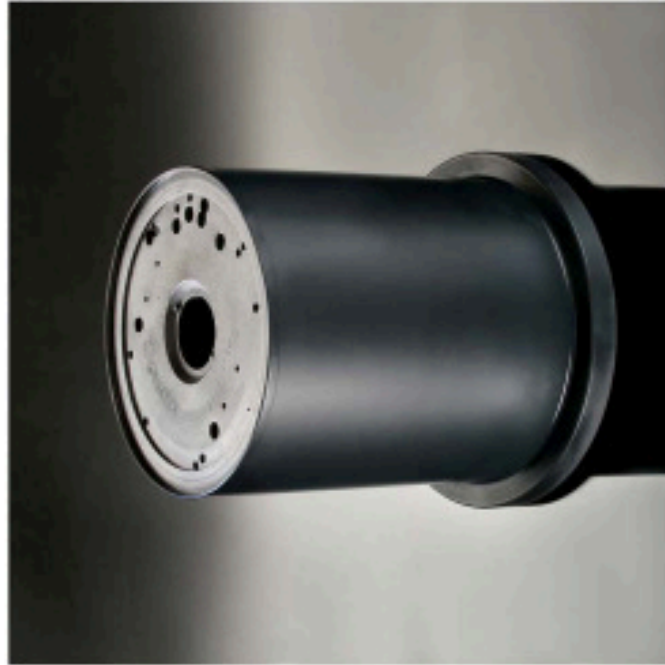
Verschleißschutz

Schichtwerkstoff $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$
mit einer

Schichtdicke $100 \mu\text{m} \pm 30 \mu\text{m}$

Galette für Textilmaschinen

Die Keramikschicht schützt
die metallische Oberfläche
vor Verschleiß und erhöht
damit die Standzeit des
Bauteils.



Keramik-Schichten funktionalisieren Metallteile

Verschleißschutz

Schichtwerkstoff $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$
mit einer

Schichtdicke $100 \mu\text{m} \pm 30 \mu\text{m}$

Bauteil für den Maschinenbau

Die Keramikschicht schützt die
metallische Oberfläche vor
Verschleiß und erhöht damit
die Standzeit des Bauteils



Losgröße 1 als Herausforderung

Ausblick

Die Verfahren der Rapid Manufacturing gestatten eine schnelle, flexible und individuelle Fertigung von Produkten.

Am Standort Deutschland geht der Trend weg von der Massenware hin zu individualistischen Angeboten und komplexen und intelligenten Produkten.