

2.5 Spezialitäten: Keramikspritzguss und Beschichtungen

- Friedrich Moeller
Rauschert GmbH
Pressig

Die Folien finden Sie ab Seite 230.

2.5.1 Problemlösungen mit Keramik

In der Praxis wird der Konstrukteur oft mit der Situation konfrontiert, dass ein Bauteil aus Metall oder Kunststoff versagt. Beträchtliche Kosten für die Reparatur fallen dann an.

In einem solchen Fall kann Keramik möglicherweise das Problem lösen.

Bekannt ist die Widerstandsfähigkeit der Keramik gegen Verschleiß und Korrosion.

Keramik hat ein hohes elektrisches Isolationsvermögen über weite Temperaturbereiche hinweg. So ist Keramik beständig, während Kunststoffteile ab 200°C anfangen weich zu werden und sich zersetzen. Keramik altert auch nicht.

Keramik hilft die Standzeit von Bauteilen zu verlängern. Die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems wird erhöht. Kosten für Reparaturen, für Stillstandzeiten und Folgekosten aus Lieferverzögerung werden eingespart.

Wenn ein keramischer Werkstoff aufgrund seines Eigenschaftsprofils ausgewählt worden ist, muss anschließend das keramische Formgebungsverfahren bestimmt werden.

In den wenigsten Fällen kann dabei das Metall- oder Kunststoffteil durch ein Keramikteil 1:1 substituiert werden.

Hier sollte der Konstrukteur rechtzeitig mit dem Hersteller der geplanten keramischen Bauteile sprechen!

2.5.2. Spritzgussteile

2.5.2.1. Vorteile des Verfahrens

Der Keramikspritzguss ist wie das Trockenpressen und das Extrudieren für Massenartikel geeignet. Trockenpressen und Extrudieren schränken den Konstrukteur im Design ein. Hierzu gibt es viele Regeln und Konstruktionshinweise. (Man spricht in diesem Fall oft von einem 2 ½ D-Design.)

Der Keramikspritzguss hingegen bietet dem Konstrukteur mehr geometrische Freiheit (3D-Design). Umlaufende Haltenuten für Werkstoffverbindungen, Hinterschneidungen für Fixierungen, seitliche Durchbrüche, gekrümmte Kanäle, Verrundungen, geringe Wandstärken sind möglich. Beim Trockenpressen oder Extrudieren kann man diese Formen oft nur durch zusätzliche Arbeitsschritte erhalten.

Der Keramik-Spritzguß ist ein endkonturnahes Formgebungsverfahren.

Besonders bei Hochleistungswerkstoffen, wie Zirkonoxid, Siliziumnitrid oder bei gefügeoptimiertem Aluminiumoxid macht sich der Wegfall von Grünbearbeitungsschritten in den Kosten bemerkbar.

Bei oberflächensensiblen Bauteilen, wie z. B. Fadenführern für Mikrofasern, muss die Fadenlauffläche frei sein von Bearbeitungsriefen, -rillen oder Löchern. Eine endkonturnahe Formgebung verleiht dem gefügeoptimierten Aluminiumoxid nun die notwendigen reibungsarmen und faserschonenden Eigenschaften.

Der Keramikspritzguss eignet sich für dünnwandige Teile und hat Entwicklungspotential für Komponenten der Mikrosystemtechnik. Hierzu gehören Kleinteile wie Zahnräder und Schrauben.

Prinzipiell können alle oxidkeramischen und nichtoxidkeramischen Werkstoffe mit dem Spritzgussverfahren verarbeitet werden.

2.5.2.2. Fallbeispiele aus der Praxis

Auf Bild 1 ist Bauteil 1 ein typisches Keramikspritzgussteil mit aufeinander senkrecht stehenden Bohrungen, hier für eine elektrotechnische Anwendung.

Einführung in die Technische Keramik

Der Fadenumlaufbogen Bauteil 2 mit seinen Außenrippen für die Füge-technik und mit der glatten, fadenfreundlichen Innenfläche kann nur durch Spritzgießen realisiert werden.

Bauteil 3 ist ein endkonturnah gefertigter Verschlussdeckel für einen Sensor mit einer geringen Wandstärke von 0.5 mm

Bauteil 4 ist ein dünnwandiger U-Fadenführer mit umlaufender Nut, der mit einem Metallhalter verklebt wird.

Das schwarze Bauteil 5 ist aus elektrisch leitendem Titanoxid für die Verarbeitung von Glasfasern.



Bild 1: Spritzgussbauteile

2.5.2.3. Herstellung von keramischen Spritzgussteilen

Ausgangspunkt ist das Keramikpulver, das mit organischen Zusätzen plastifiziert wird und unter hohem Druck in Hartmetallformen gespritzt wird. Der Spritzling wird sorgfältig über einen Zeitraum von einigen

Tagen thermisch entbindert, manuell verputzt und anschließend gesintert. Dabei schwindet der Bräunling werkstoffabhängig um ca. 20 % und hat Toleranzen von dennoch fantastischen $0.5\% \pm 1\%$ innerhalb einer Fertigungscharge. Da die Keramik beim Sintern erweicht, muss ein filigranes oder dünnes Bauteil flach aufliegen oder abgestützt werden, um dem Verzug entgegenzuwirken. Nach dem Sintern wird der Rohling trubalisiert (Kanten in einer Trommel gebrochen) und je nach Anwendung mit Diamantwerkzeugen geschliffen, geläppt und poliert.

2.5.2.4. Anwendungen

Eine der ersten Anwendungen für Spritzgussteile aus Aluminiumoxidkeramik waren Fadenführer für die Textilmaschinenindustrie. Mit der Einführung der Chemiefasern sind die Anforderungen an die Verschleißfestigkeit fadenführender Bauteile weiter gestiegen.

Aluminiumoxid mit der diamantartigen Härte hat diese Anforderungen von Anfang an erfüllt. Die Vielfalt textiler Prozesse benötigt eine komplexe endkonturnahe Formgebung, die durch den Keramikspritzguss auch in der Großserie gewährleistet wird. In den letzten Jahren kommen noch durch die Verarbeitung der Mikrofasern zusätzliche Anforderungen an die Oberflächenqualität hinzu. Durch die Weiterentwicklung der Aluminiumoxidwerkstoffe konnten diese Anforderungen erfüllt werden.

Bild 2 zeigt einen Präparationsfadenführer, der das mit über 8.000 m/min aus der Spinn Düse austretende Faserbündel beölt, damit es bei der weiteren Verarbeitung geschmeidig bleibt. Die Präparationsflüssigkeit tritt aus unterschiedlichen Bohrungen oder Schlitzten aus. Präparationsmulden sorgen für eine ausreichende Benetzung der frischgesponnenen Faser. An das Design des Fadenlaufbereichs werden hohe Anforderungen gestellt. Es dürfen keine Bearbeitungsriefen- oder Rillen, keine Kanten am Bohrungs- oder Schlitzauslauf auftreten. Durch eine endkonturnahe Formgebung können diese Anforderungen erfüllt werden.



Bild 2: Präparationsfadenführer

Auf dem Bild 3 wird auch das typische fadenfreundliche, reibungsarme und porenfreie (ohne scharfen Kanten) Gefüge des Fadenführers gezeigt, das durch das Hochdruck-Spritzgussverfahren erst ermöglicht wird.

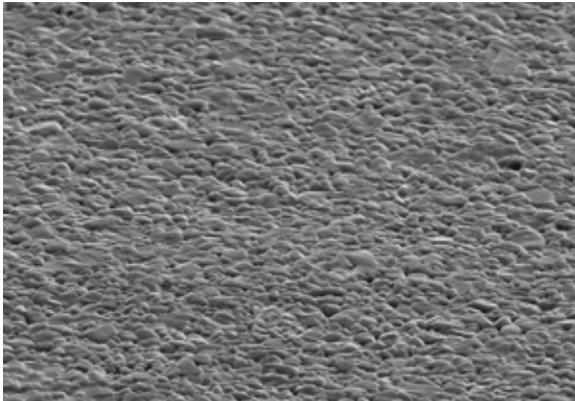


Bild 3: Fadenführeroberfläche

Das Bild 4 zeigt ein Sortiment der Präparationsfadenführer. Die Fadenführer unterscheiden sich im Design des Fadenlaufbereichs, in der Bohrungs- und Schlitzgeometrie, die auf die Spezifikation der zu verarbeitenden Faserbündel abgestimmt werden.



Bild 4: Fadenführersortiment

In der Mittenreihe ist auf das integrierte Zuführungsrohr mit umlaufender Nut zur Aufnahme eines Dichtungsringes hinzuweisen.

In der unteren Reihe ist das Schwalbenschwanzprofil für die Befestigung gut zu erkennen.

2.5.2.5. Werkstoffe

Bild 5 zeigt Spritzgussteile aus verschiedenen keramischen Werkstoffen. Die Anforderungen bestimmen die Auswahl des Werkstoffs.



Bild 5: Spritzgussbauteile aus unterschiedlichen Werkstoffen

Aluminiumoxidkeramik ist am weitesten verbreitet. Bei der textilen Anwendung bewährt sich die hohe Verschleißfestigkeit, die gute Wärmeleitfähigkeit zur Abführung der Reibungswärme, die Korrosionsbeständigkeit gegenüber Präparationsflüssigkeiten und vor allem das reibungsarme fadenfreundliche Gefüge. Die rote Farbe dient der Identifizierung. Sie erhält man durch die Dotierung mit Chromoxid.

Die gelbe Zirkonoxidkeramik wird im Drahtmaschinenbau bei dünnen, lackierten Metalldrähten wegen des besonders niedrigen Reibungskoeffizienten eingesetzt. Bekannt ist die hervorragende Kantenfestigkeit, die das weiße yttriumstabilisierte Zirkonoxid für unmagnetische, elektrisch nichtleitende, hydrophobe Messer- und Scherschneiden prädestiniert.

Siliziumnitrid hat eine hervorragende Bruchzähigkeit auch bei hohen Temperaturen. Die schwarze Einlaufmündung wird eingesetzt an einer Stelle, die durch Reibung thermisch stark beansprucht wird.

Die Spiraldüse aus Siliziumcarbid wird in Rotorspinnmaschinen eingesetzt und zeichnet sich aus durch die gute Wärmeleitfähigkeit und gute Thermoschockbeständigkeit.

Titandioxid ist ein Fadenführerwerkstoff, der in elektrisch leitender Form bei der Verarbeitung von Glasfasern eingesetzt wird, um entstehende elektrostatische Aufladungen abzuleiten.

2.5.2.6. Ausgewählte Beispiele für Spritzgussteilen

Die Spiraldüse (1) aus Aluminiumoxid mit einer fadenfreundlichen, gut polierten Oberflächenkontur ist ein Beispiel für ein asymmetrisches Design.



Bild 6: Verschiedene vormontierte Spritzgussbauteile

Der montierte Drallstopper (2) mit den gut verrundeten fadenfreundlichen Stegen ist ein Beispiel für filigranes Design.

Das asymmetrische Bauteil (3) aus schlagfestem Zirkonoxid mit definierter Fadenführung stellt hohe Ansprüche an die konstruktive Gestaltung.

Im Bild 7 soll nochmals auf die **Verbindung zwischen Kunststoff- und Keramik-Spritzgussteilen** hingewiesen werden.



Bild 7: Keramische Fadenführer in angespritzten Halterungen

Die Bauteile aus Keramik sollen möglichst auf den Funktionsbereich (z. B. Verschleißschutz, elektrische Isolation) beschränkt werden. Kunststoffspritzgussteile sind filigraner und größer und gewährleisten die unproblematische Verbindung zur konstruktiven Umgebung

Im Bild 7 werden auch Changierfadenführer (1) gezeigt, die zum Aufwickeln der frisch gesponnenen Chemiefasern eingesetzt werden. Der Kunststofffuß wird in einer Kehrgewindewalze aus Stahl zwangsgeführt. Durch den Bewegungsablauf entsteht ein definiertes Spulenbild.

2.5.3. Keramische Beschichtungen

Bei den **keramischen Beschichtungen** von Metallteilen werden die Oberflächeneigenschaften der Keramik genutzt, wie die hohe Härte und Verschleißfestigkeit, die elektrische Isolationsfähigkeit und die thermische Isolationsfähigkeit.

2.5.3.1. Verfahren

Die keramischen Schichten werden im vorliegenden Fall durch Plasmaspritzen aufgetragen. In der wassergekühlten Plasmaspritzpistole wird durch einen elektrischen Lichtbogen ein Edelgasplasma erzeugt. In der über 10.000°C heißen Plasmaflamme wird keramisches Pulver innerhalb von 0,5 msec aufgeschmolzen und mit Schallgeschwindigkeit auf die durch Sandstrahlen vorbereitete Metalloberfläche aufgebracht.

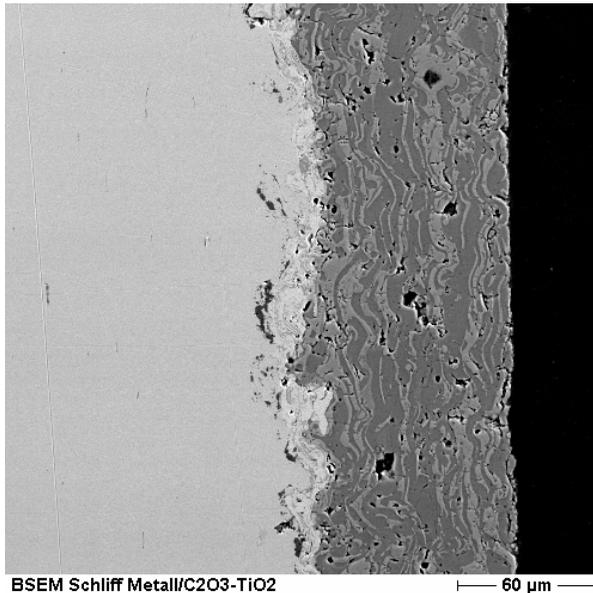


Bild 8: Struktur einer keramischen Beschichtung

Im Bild 8 sehen Sie die bearbeitete Oberfläche einer Chromoxid-Titandioxidschicht und die poröse Schichtstruktur. Diese Schichtstruktur ermöglicht, unterschiedliche Wärmedehnungen von Keramik-

schicht und Metallsubstrat bis zu einer Temperatur von 1.000°C aufzunehmen.

Der weitere Vorteil der porösen Schichtstruktur ist die gute Schlagfestigkeit, da beginnende Risse ihre Energie in der Porenstruktur verlieren.

Alle metallischen Substratwerkstoffe können nach diesem Verfahren keramikbeschichtet werden. Meistens werden Bauteile aus rostfreiem Stahl und Aluminium keramikbeschichtet

2.5.3.2. Verschleißschutz

Anhand von **Produkt- Beispielen aus der Praxis** werden die Material- und Schichtspezifikationen näher beschrieben und konstruktive Hinweise für eine spritzgerechte Auslegung gegeben.

Weiches Aluminium erhält durch den Schichtwerkstoff $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ mittels der nur $90 \pm 30 \mu\text{m}$ starken Schicht die gewünschte Verschleißfestigkeit. Die Oberflächenrauheit liegt bei $R_a \sim 1,5 - 2 \mu\text{m}$.



Bild 9: Beschichtete Bauteile für den Verschleißschutz

Beschichtete Pumpenkolben können hochgenau geschliffen werden und garantieren lange Lebensdauer.



Bild 10: Beschichtete Pumpenkolben

2.5.3.3. Elektrische Isolation bei Temperaturen über 200 °C

Keramische Beschichtungen eignen sich hervorragend für die elektrische Isolation bis 500V bei bis zu 200°C. Bei höheren Spannungen muss mit Versiegelungen gearbeitet werden.



Bild 11: Beschichtungen zur elektrischen Isolation

2.5.3.2. Elektrische Isolation mit mechanischer Beanspruchung

Heizstäbe mit elektrischer Keramikisolation haben sich in anspruchsvollen Spritzgußmaschinen als unverzichtbar erweisen.



Bild 12: Beschichtungen zur elektrischen Isolation mit mechanischer Belastung

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 14) finden sich auf den folgenden Seiten.

Einführung

**Spezialitäten :
Spritzussteile und
Keramische Beschichtungen**

Friedrich Moeller
Rauschert GmbH
Pressig



2.5. Spezialitäten - Folie 1

Problemlösungen mit Keramik

Der Einsatz der Keramik löst Probleme bei

Ausfall von Bauteilen durch

- Verschleiß und Korrosion
- elektrischen Durchschlag bei hohen Temperaturen
- hohe thermische Belastung

Die Problemlösungsschritte sind :

- Definition der Anforderungen
- Definition des Werkstoffs anhand des Eigenschaftsprofils
- Festlegung des Fertigungsverfahrens.

Konstruktions-Hinweise für Keramik-Spritzgussteile



im Vergleich zu Kunststoff-Spritzgussteilen

- Beispiel: Drallstopper für Textilmaschinen mit filigranen Design, kleinen Lochabständen, gut verrundeten und glatten Kanten.
- Herstellschritte:
- Keramikpulver wird plastifiziert, gespritzt, entbindert, gesintert und hartbearbeitet / poliert.
- Die Schwindung von ca. 20 % hat Toleranzen von 0,5 - 1 % innerhalb eines Fertigungsloses zur Folge.



Der Keramik-Spritzguss und seine Vorteile



Vorteile für den Konstrukteur

- Endkonturnahe Formgebung
- Dünne Wandstärken sparen Raum

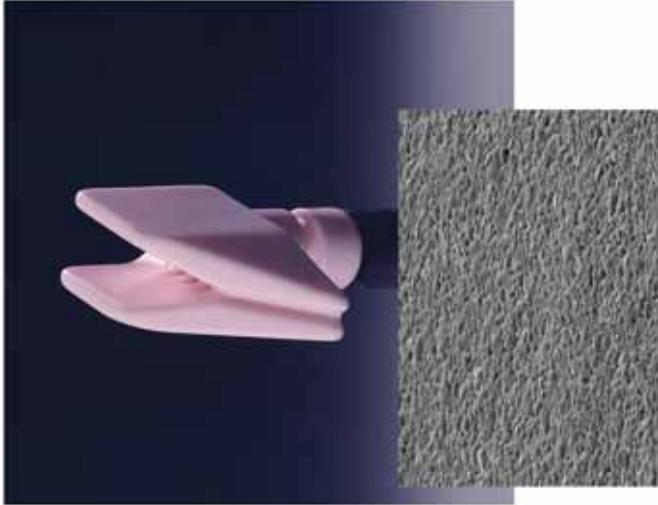


Beispiel für ein Keramik- Spritzguss- Bauteil



Präparations-Fadenführer zum Beölen der frisch gesponnenen Faser

- Der Fadenlaufbereich mit den Mulden und der Austrittsbohrung muss frei sein von Bearbeitungsriefen.
- Das Gefüge der fadenfreundlichen und reibungsarmen Oberfläche wird durch Hochdruck-Spritzguss erzeugt.
- Das integrierte Zuführrohr mit Nut zur Aufnahme des Dichtungs rings war vorher ein eingeklebtes Stahlrohr



Beispiele für Keramik- Spritzgussteile



Sortiment von Präparationsfadensführern

- Die Fadenöler aus Aluminiumoxid
- Die verschiedenen Farben werden durch Dotierungen mit Chromoxid erzeugt und helfen bei der Typen-Kennzeichnung.



Die Werkstoffpalette für den Keramik- Spritzguss



Keramische Werkstoffe und ihr Eigenschaftsprofil

Aluminiumoxid

- Verschleißfest, korrosionsbeständig,
- Gute Wärmeleitfähigkeit

Zirkonoxid

- Niedrige Reibung gegenüber Metall
- Niedrige Wärmeleitfähigkeit , Kantenfestigkeit

Titanoxid

- Elektrisch leitfähig

Siliziumnitrid

- Hochtemperaturfest , bruchzäh

Siliziumcarbid

- Sehr hart, temperaturwechselbeständig



Fügetechnik mit Keramik-Spritzguss-Teilen

Anwendungs-Beispiele aus der Textilindustrie

- Spiraldüse aus Al₂O₃ mit fadenfreundlicher, gut polierter Oberflächenkontur
- Montierter Drallstopper mit fadenfreundlich verrundeten Stegen.
- Asymmetrischer Fadenführer aus schlagfesten Zirkonoxid
- Eingeklebte offene Öse mit umlaufendem Fügeprofil.



Werkstoffverbund mit Keramik-Spritzgussteilen



Fügetechnik mit Kunststoff-Spritzgussteilen

- Im Werkstoffverbund wird der Verschleißbereich auf das Bauteil aus Al_2O_3 beschränkt.
- Es werden Gewicht und Materialkosten gespart.
- Der Werkstoff Kunststoff ermöglicht aufgrund der besseren plastischen Verarbeitbarkeit filigranere Strukturen und problemlose Montage.

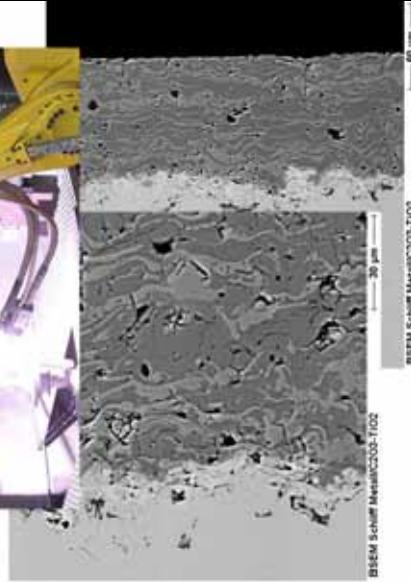


Keramische Beschichtungen



Prinzip des thermischen Spritzens

- In einer Plasmaflamme wird bei ca. 10.000 °C Keramikpulver in 0,5 ms aufgeschmolzen und auf die vorher sandgestrahlte Metalloberfläche aufgeschossen
- Dabei entsteht eine 100 µm dicke Keramikschicht mit einer porösen lamellaren Struktur .
- Typische Keramik-Schichtwerkstoffe sind $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, ZrO_2 , $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$



Keramische Beschichtung (Beispiele)



Für den Verschleißschutz

- Drahtführungsrolle aus Aluminium
- Sauschwanzfadenführer zum Führen von abrasiven Chemiefasern
 - Schichtwerkstoff $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (97/3) grau
 - Schichtdicke 90 +-30 μm
 - Oberflächenqualität $\text{Ra} \sim 1,5\text{-}2 \mu\text{m}$



Keramische Beschichtung (Beispiele)

Für den Verschleißschutz

- Pumpenkolben mit partieller und eingebetteter Keramikschicht, geschliffen und poliert
- Schichtwerkstoff $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (97/3) grau
- Schichtdicke 120 - 0,01 μm
- Transportwalzen für Drucker mit griffiger Oberfläche



Keramische Beschichtung (Beispiele)



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

- Kontakt-Spitze für ein elektro-technisches Bauteil aus Cr-Ni-Legierungen
- Spulenkörper
 - Schichtwerkstoff Al_2O_3 (99 %), weiß
 - Schichtdicke 200 μm
 - Versiegelt mit Elektrolack zum Verschließen der Poren zur Anwendung in feuchter Atmosphäre



Keramische Beschichtung (Beispiele)



**Elektrische Isolation
für Temperaturen > 200 °C**

- Verschiedene Heizleiter-Bauteile aus Cr-Ni-Legierungen für Spritzgussmaschinen
 - Schichtwerkstoff $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (97/3) grau
 - Schichtdicke 200 μm

