

3.6 Trend zu Mikrobauteile aus Keramikspritzguss und Beschichtungen

- Friedrich Moeller
Rauschert GmbH
Pressig

Die Folien finden Sie ab Seite 406.

3.6.1. Einleitung

Der Trend zu Mikroteilen in Branchen wie der Sensortechnik, der Medizintechnik, der Fluidtechnik, des Maschinenbaus hält unvermindert an. Gefragt sind Bauteile aus Hochleistungswerkstoffen mit Multifunktionalität auf kleinem Raum.

Je kleiner die die Funktion tragenden Komponenten dimensioniert sind, umso höher werden zumeist die Anforderungen an den Werkstoff.

So müssen bei gleitender Beanspruchung – insbesondere bei Umlenkungen - oft enorme mechanische Kräfte aufgenommen werden. Eine hohe Verschleißfestigkeit des Werkstoffs wird damit oft notwendig.

Stillstandzeiten, Qualitätseinbußen, Imageschaden durch Reklamationen, Rückholaktionen, Nachbesserungen und weltweiter Einsatz von Serviceteams wegen Verschleißproblemen verursachen erhebliche Kosten.

Verschleiß an Maschinenbauteilen ist darum ein ständiges Thema. Deshalb zielt ein Teil der Anstrengungen in den Konstruktions- und Entwicklungsabteilungen darauf ab, Verschleißprobleme in den Griff zu bekommen.

Neben Verschleiß stellen Problemfelder, wie eine nicht ausreichende elektrische und thermische Trennung bei höheren Temperaturen über 200 °C immer wieder eine Herausforderung für den Konstrukteur dar. In solchen Fällen kann die Substitution von Metall- oder Kunststoffteilen durch Bauteile aus Technischer Keramik oder der Einsatz keramischer Schichten das Problem lösen und helfen effektiv Kosten einzusparen.

Technische Keramik gehört zu den schwer zerspanbaren Werkstoffen. Von Vorteil ist daher insbesondere bei Mikroteilen ein endkonturnahes Formgebungsverfahren.

Ein solches ist das Hochdruck-Keramikspritzgießen. Auch wenn dieses Keramikspritzgießen auf besonders verschleißgeschützten Kunststoff-Spritzgussmaschinen durchgeführt wird, gibt es gegenüber dem Spritzguss von Thermoplasten wesentliche Unterschiede. Daher soll kurz auf das Verfahren eingegangen werden, um wichtige Design-Hinweise zu erläutern.

3.6.2. Hochdruck- Keramikspritzguss – Das Verfahren

Das aufbereitete Keramikpulver wird mit organischen Bindersystemen für den Keramikspritzguss vorbereitet.

Nach dem Spritzgießen unter Verwendung von Hartmetallwerkzeugen wird der Formkörper sorgfältig über einen definierten Zeitraum thermisch entbindert, dann verputzt und schließlich gesintert. Der Formkörper schwindet beim Sintern im Fall von Aluminiumoxid, um ca. 16 -20 %, wobei noch die Werkstoffvariante und die Sinterbedingungen eingehen.

Nach dem Sintern kann der nun entstandene Keramikkörper entsprechend der Anforderung mit Diamantwerkzeugen hartbearbeitet werden, wobei es sich dabei zumeist um Schleifprozesse handelt.

Der Keramikspritzguss ist, wie u. a. auch Trockenpressen und Extrudieren, für Großserien gut geeignet. Die Designunterschiede gegenüber anderen Verfahren werden anhand von Beispielen aus der Praxis mit Bezug auf Mikroteile aufgezeigt werden.

3.6.2.1. Produktbeispiel: Fadenöler

Das Bild 1 zeigt einen Präparationsfadenführer aus dem Textilmaschinenbau, der das mit über 8.000 m/min aus der Spinndüse austretende Faserbündel beölt, damit dieses bei der weiteren Verarbeitung geschmeidig bleibt. Die Präparationsflüssigkeit tritt bei unterschiedlichen Bohrungen oder Schlitzten aus. Die 3 Präparationsmulden sorgen für eine ausreichende und nachhaltige Benetzung der frisch gesponnenen Fasern.

Der Fadenöler wird endkonturnah gefertigt. Eine zusätzliche Weißbearbeitung vor dem Brand kann entfallen. Im Fadenlaufbereich

treten keine Bearbeitungsriefen- oder Rillen und keine Kanten am Bohrungs- oder Schlitzauslauf auf.



Bild 1: Präparationsfadenführer

Das Design ist ein echtes 3D-Design mit hoher Asymmetrie. Beachtenswert ist der integrierte Anschluss mit umlaufender Rille für den Dichtring. In einem Vorläufer musste das Bauteil in Metallrohr eingeklebt werden, woraus Dichtheitsprobleme resultierten.

Die durch den Keramikspritzguss kostengünstig gewonnene geometrische Freiheit hilft in diesem Fall, bei einem Bauteil mehrere Funktionen zu integrieren und bei Bauteilanzahl und Montagen der Funktionseinheit Einsparungen zu erzielen.

Auf dem Bild wird auch das typische fadenfreundliche, reibungsarme und defektfreie Gefüge von gefügeoptimierten Aluminiumoxid gezeigt, wie es durch das Hochdruck-Keramikspritzgussverfahren erst ermöglicht wird.

3.6.2.2. Weitere Produktbeispiele

Die in Bild 2 gezeigten Bauteile geben einen groben Überblick zu den Designmöglichkeiten bei Keramikspritzguss.

Der Ventilkörper (Bauteil 1) aus der Chemieindustrie mit seinen Längsbohrungen, der seitlichen Bohrung und dem Vierkant zum

Fixieren kann ohne jede zusätzliche mechanische Bearbeitung hergestellt werden.

Der Fadenumlenkbogen (Bauteil 2) mit seinem Klebprofil und der glatten, fadenfreundlichen, verrundeten Innenfläche, wäre durch Trockenpressen oder Extrudieren ohne weitere Bearbeitungsschritte nicht zu fertigen.

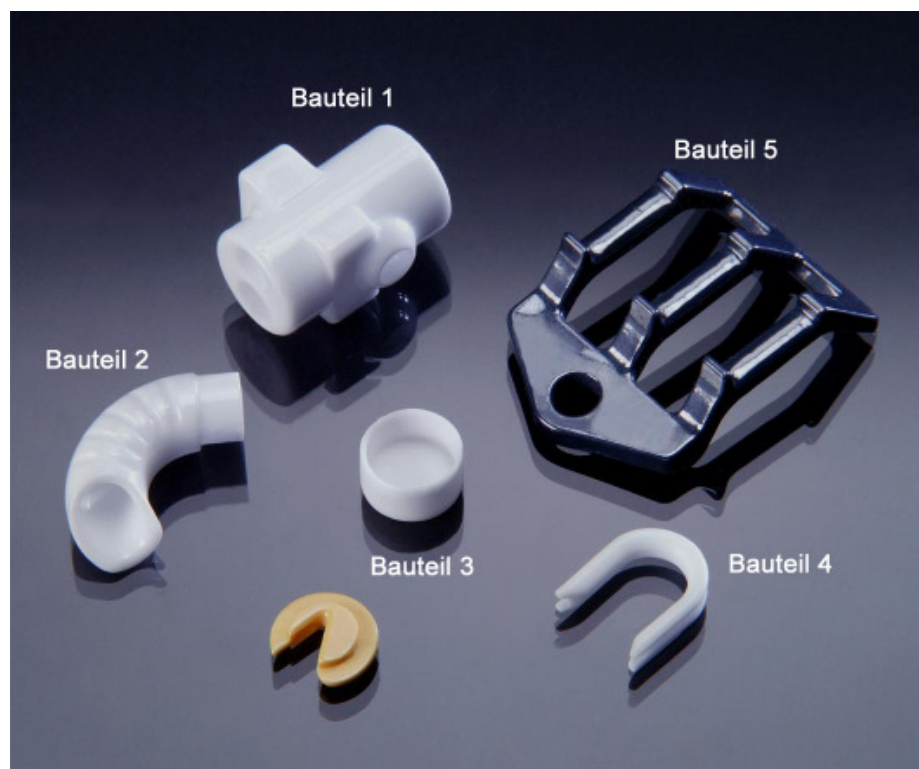


Bild 2: Verschiedene Keramikspritzgussbauteile

Der Verschlussdeckel (Bauteil 3) für einen Sensor hat eine Wanddicke von nur 0,4 mm.

Der filigrane U-Fadenführer (Bauteil 4) mit seiner umlaufenden Rille, der mit einem Metallhalter verklebt wird, wäre mit anderen Verfahren kostenmäßig nicht darstellbar.

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

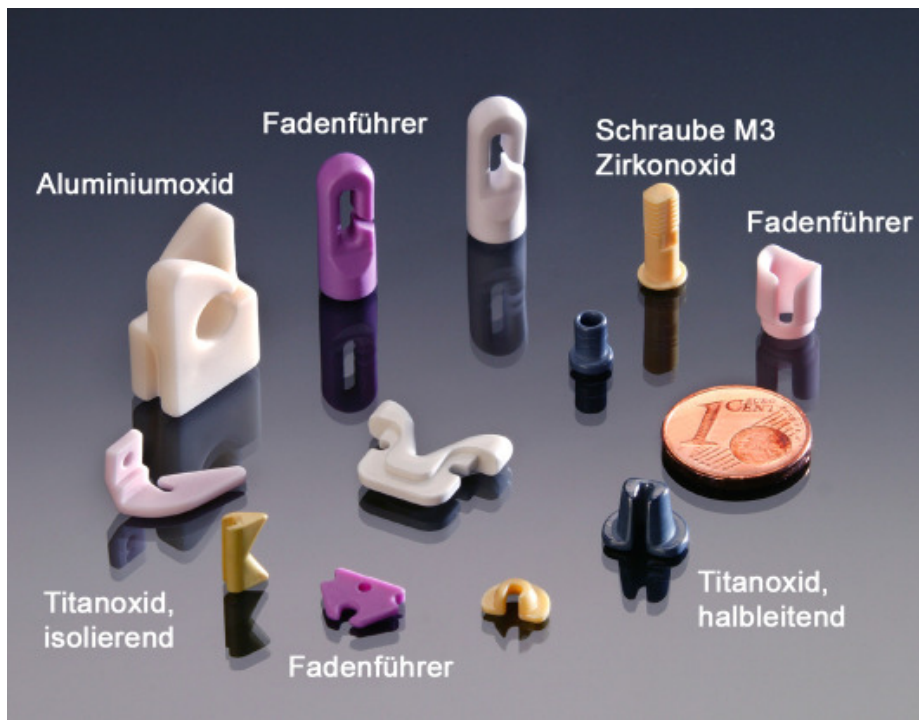


Bild 3: Bauteile aus verschiedenen Keramiken

Die M3-Schraube mit Außengewinde für Friseurscheren ist aus gelbem magnesiumoxidstabilisiertem Zirkonoxid im Keramikspritzgussverfahren hergestellt. In der Anfangsphase der Produktentwicklung musste aus Termingründen diese Schraube durch CNC-Bearbeitung eines Grünlings (ungesinterter Körper) hergestellt werden. Der dafür notwendige Aufwand in Bezug auf Bearbeitungszeit und Werkzeugkosten war für eine Kleinserie (Vorserie) zur Bemusterung vertreten.

Aluminiumoxid lässt sich, neben den üblichen Weiß- Gelb- und Brauntönen, in unterschiedlichen Rottönen von pink, über hellrot bis dunkelrot herstellen. Diese Farbigkeit resultiert aus der Dotierung mit Chromoxid. Und kann dazu dienen, z. B. bei Fadenführern unterschiedliche Oberflächenstrukturen mit unterschiedlichen Reibwerten zu kennzeichnen.

Titanoxid lässt sich in gelb und schwarz herstellen. Das gelbe Titanoxid ist elektrisch isolierend während die schwarze Variante elektrisch halbleitend ist, was durch einen zusätzlichen reduzierenden Brand eingestellt wird. Fadenführer aus halbleitendem Titanoxid sind unverzichtbar bei der Verarbeitung von Glasfasern, da im Fertigungsprozess elektrostatische Potentiale an Führungselementen nicht auftreten dürfen.

Keramikspritzguss eignet sich für Oxid- und Nichtoxidkeramiken. Gerade die hohen Rohstoffkosten von Hochleistungswerkstoffen, z. B. von weißen yttriumoxidstabilisierten Zirkonoxid, Siliziumnitrid oder gefügeoptimierten Aluminiumoxid machen diese Verfahren interessant.

3.6.3. Der Trend zu Mikrobauteilen



Bild 4: Verschiedene Kleinbauteile aus Aluminiumoxid

Auf Bild 4 gibt einen Überblick zu Miniaturbauteilen. Die kleinsten Teile sind elektrische Isolationsteile für die Dentaltechnik.

Fadenführer müssen, wie viele andere Bauteile, entgratet und verputzt werden. Dabei werden bei Fadenführern höchste Anforderungen an die Faden führenden Oberflächen gestellt, was sich auch auf das Verputzen auswirkt. Die hochgenaue Bearbeitung gibt deshalb eine untere Grenze in der Dimensionierung vor.

Durch Vielfachauslegung der Werkzeuge können die Kosten deutlich gesenkt werden. So ist das Werkzeug für das Bauteil 1 für eine elektrische Zahnbürste 8-fach ausgelegt. Der starke Kostendruck bei diesem Bauteil hat aber dennoch dazu geführt, dass das Bauteil nun mittels Trockenpressen aus dem preisgünstigeren Steatit gefertigt wird. Dies ist ein Beispiel dafür, dass Konstruktion und Werkstoff-

auswahl anwendungsspezifisch sind und gut spezifizierte Vorgaben, auch in Bezug auf Toleranzen, sich kostensenkend auswirken.

Eine weitere Verkleinerung setzt Weiterentwicklungen in der Werkstofftechnik, in der Optimierung von Bindersystemen, in der Handhabung mit Robotersystemen und in der Qualitätskontrolle voraus. Diese Entwicklungen werden in den letzten Jahren angegangen. Aktuelle Meilensteine dieser Entwicklung sind mm-kleine Minizahnäder.

3.6.4. Werkstoffverbund: Metall und Kunststoff kombiniert mit Keramik



Bild 5: Changierfadenführer aus Aluminiumoxid

Keramikspritzgussteile sind als Komponenten für den Werkstoffverbund mit Metall- oder Kunststoffteilen gut geeignet. Beim Werkstoffverbund wird das Keramikteil auf den Funktionsbereich z. B. den Verschleißbereich beschränkt. In Bild 5 sind Changierfadenführer gezeigt, die zum Aufwickeln der frisch gesponnenen Chemiefasern eingesetzt werden. Der Kunststoff-Fuß wird in einer Kehrgebinde aus Stahl zwangsgeführt. Durch den Bewegungsablauf entsteht ein definiertes Spulenbild. Durch die hohen Abzugsgeschwindigkeiten des Fadens von über 8.000 m/min sind über 5.000 Doppelhübe pro

Minute des Bauteils notwendig. An den Umlenkungspunkten treten Beschleunigungen von über 15 g auf, was höchste Anforderungen an die Bruchzähigkeit des Kunststoffes stellt.

Der Trend zu Mikroteilen setzt sich unvermindert fort. Auch die keramische Beschichtung von Metallteilen hat das Potential für die Entwicklung von Mikroteilen.

3.6.4. Keramische Beschichtung von Metallteilen

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

3.6.4.1. Das 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.

Im Bild 6 sehen Sie die bearbeitete Oberfläche einer Chromoxid-Titandioxidschicht und die poröse Schichtstruktur. Diese Schichtstruktur ermöglicht, unterschiedliche Wärmedehnungen von Keramikschicht und Metallsubstrat bis zu einer Temperatur von 1.000 °C aufzunehmen.

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

Alle metallischen Substratwerkstoffe können nach diesem Verfahren keramikbeschichtet werden. Meistens werden Bauteile aus rostfreien Stahl oder Aluminium keramikbeschichtet.

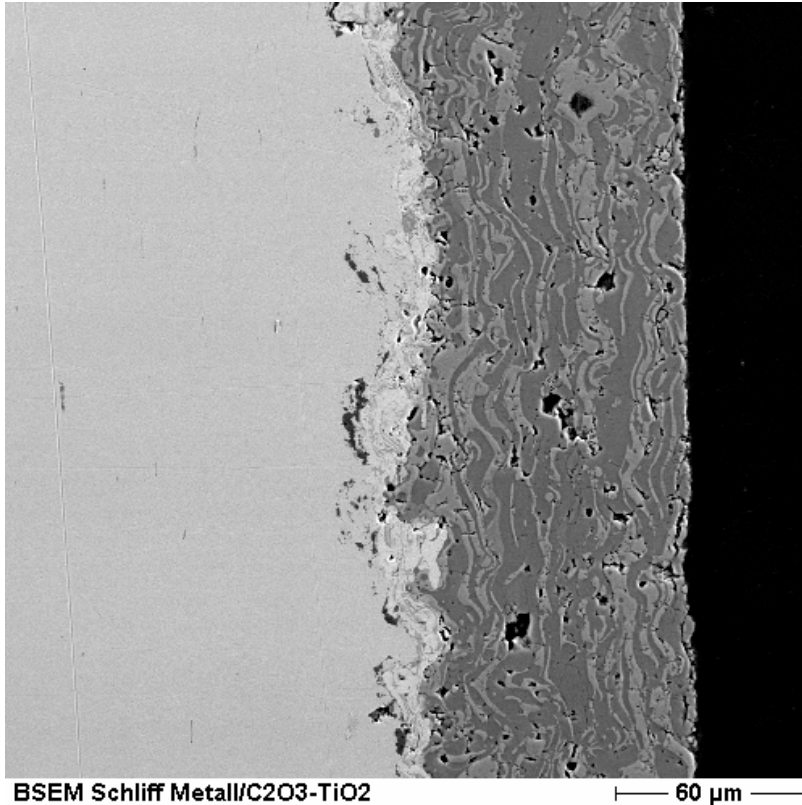


Bild 6: Struktur einer keramischen Beschichtung

3.6.4.1. Produktbeispiele

Anhand von Produktbeispielen wird auf die Schichtspezifikationen und Konstruktionshinweise eingegangen.

Der einseitige verrundete Faden-Umlenkstab (Bauteil 1) aus rostfreiem Stahl ist beschichtet mit grauem $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 97/3, um gegen Verschleiß zu schützen. Die Schichtdicke beträgt $120 + 60 \mu\text{m}$. Die Oberfläche ist feinstbearbeitet auf einen R_a von $0,5 \mu\text{m}$.

Hingewiesen sei auf das in diesem Bauteil vorhandene Gewinde, dass bei einer vollkeramischen Lösung nicht wirtschaftlich realisierbar wäre.

In der Mitte befindet sich eine Transportwalze (Bauteil 2) aus Aluminium für einen Drucker. Schichtwerkstoff ist hier $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 87/13 (dunkelgrau). Der Zusatz von Titanoxid zum Aluminiumoxid macht die Keramikschicht bruchzäher und schlagfester. Die Oberfläche ist griffig bearbeitet für den Papiertransport mit einem R_a ca. $3 \mu\text{m}$. Auch hier ist eine präzise Aufnahmemöglichkeit vorhanden, wie sie typischerweise bei Schichtverbänden realisierbar ist.



Bild 7: Gegen Verschleiß beschichtete Bauteile

Im Bild oben ist ein Pumpenkolben (Bauteil 3) aus rostfreiem Stahl. Typisch für diese Art von Anwendungen ist die partielle Keramikbeschichtung, die gegen Verschleiß schützt. Die Keramikschicht aus $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 97/3 ist in ein $120\ \mu\text{m}$ tiefes Schichtbett eingelegt und an der Oberfläche mit dem Metallbauteil bündig.

Bild 8 zeigt Mikroteile mit keramischen Beschichtungen zum Verschleißschutz.

Der Niederhalter (Bauteil 1) für Nähmaschinen ist mit $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 97/3 beschichtet und auf $R_a\ 1,5\ \mu\text{m}$ geschliffen.

Die Transportrolle (Bauteil 2) aus Aluminium ist mit $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 87/13 beschichtet und besitzt eine unbearbeitete griffige Oberfläche.

Die geöffnete Fadenführeröse (Bauteil 3) für Nähmaschinen zeigt die untere Grenze des machbaren für keramische Beschichtungen in Bezug auf Handling und für die Funktion notwendige Nacharbeit. Wird der Durchmesser des Drahts weiter reduziert, kommt es zu einer Überhitzung des Drahts, da die prozessbedingt entstehende Wärme nicht mehr ausreichend abgeführt werden kann.

Das Plättchen mit V-Schlitz (Bauteil 4) ist für einen Sensor bestimmt und wurde mit $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 87/13 beschichtet. Diese Schicht ist verschleißfest und halbleitend, so dass durch Reibung entstehende elektrische Ladung abgeleitet werden kann.



Bild 8: Mikrobauteile mit keramischen Beschichtungen

Beachtenswert ist das Umlenkrollchen (Bauteil 5) aus Aluminium, das im Einsatz mit 30.000 U/min rotiert. Wichtig für diese Applikation ist das geringe Gewicht und die Schichtdicken-Toleranz, die im Bereich von $\pm 0,02$ liegt und ohne Schleifen zu erreichen ist.

Bild 9 zeigt Metallteile, die mittels weißem Al_2O_3 gegen eine Spannung von 500 V elektrisch isoliert werden. Die Schichtdicken betragen $200 \mu\text{m}$ und werden typischerweise nicht bearbeitet, da sie keinen gleitenden Beanspruchungen ausgesetzt sind und die notwendigen Toleranzen eingehalten werden.

Rechts ist ein Spulenkörper (Bauteil 1) für die Sensortechnik zu sehen, daneben ein elektrisch isolierter Trimmer (Bauteil 2).

Das 1 mm dicke strukturierte Blechteil (Bauteil 3) für einen Sensor trägt eine partielle Keramiksicht mit $200 \mu\text{m}$ für die elektrische Trennung. Die Strukturierung von keramisch beschichteten Blechteilen mit CNC gesteuerten Laserquellen stellt ein Potential für die Herstellung von Mikroteilen für die elektrische und thermische Trennung dar.

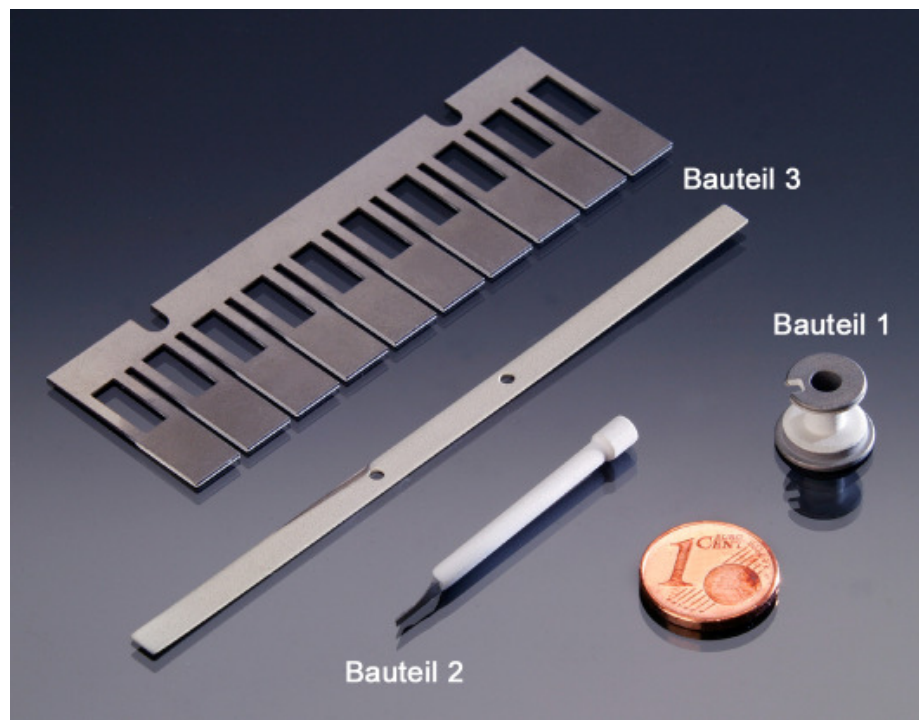


Bild 9: Kleine Bauteile mit keramischen Beschichtungen

3.6.4. Ausblick

Mit den Ausführungen wird der derzeitige Stand unseres Unternehmens bei der Fertigung von Mikroteilen mit dem Keramik-Hochdruck-spritzguß und mit keramischen Beschichtungen aufgezeigt.

Die Bauteile sind kundenspezifische Problemlösungen aus verschiedenen Branchen. Die präsentierten Musterteile vermitteln ein Gefühl für die Machbarkeit. Sie sollen einen Anstoß geben, sich mit diesen zukunftsweisenden Technologien zu beschäftigen.

Nutzen Sie das Potential dieser Technologien für die Entwicklung innovativer Produkte!

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 13) finden sich auf den folgenden Seiten.

Mikroteilen aus Spritzguss und Keramischen Beschichtungen

Friedrich Moeller
Rauschert GmbH
Pressig



3.6 Mikroteile aus Keramikspritzguss und Beschichten - Folie 1

Trend zu Mikroteilen bei Keramik-Spritzguss und Keramischen Beschichtungen

Friedrich Moeller
Rauschert GmbH
Pressig



Der Trend zu Mikroteilen

Fortschreitende Miniaturisierung fordert

Hochleistungswerkstoffe
mit Multifunktionalität
auf kleinstem Raum

Technische Keramik löst u. a. Probleme bei

- Verschleiß
- elektrischer Isolation bei $> 200\text{ °C}$
- thermischer Isolation bei $> 200\text{ °C}$

Keramik-Spritzgussteile - Das Verfahren

Beispiel : Drallgeber für den Textil-Maschinenbau

Typische Merkmale:

- filigranes Design mit kleinen Lochabständen, gut verrundeten und glatten Kanten.

Herstellungsschritte:

- Plastifizieren, Spritzen, Entbindern, Sintern und Hartbearbeiten
- Schwindung von ca. 20% mit Toleranzen von 0,5 - 2%

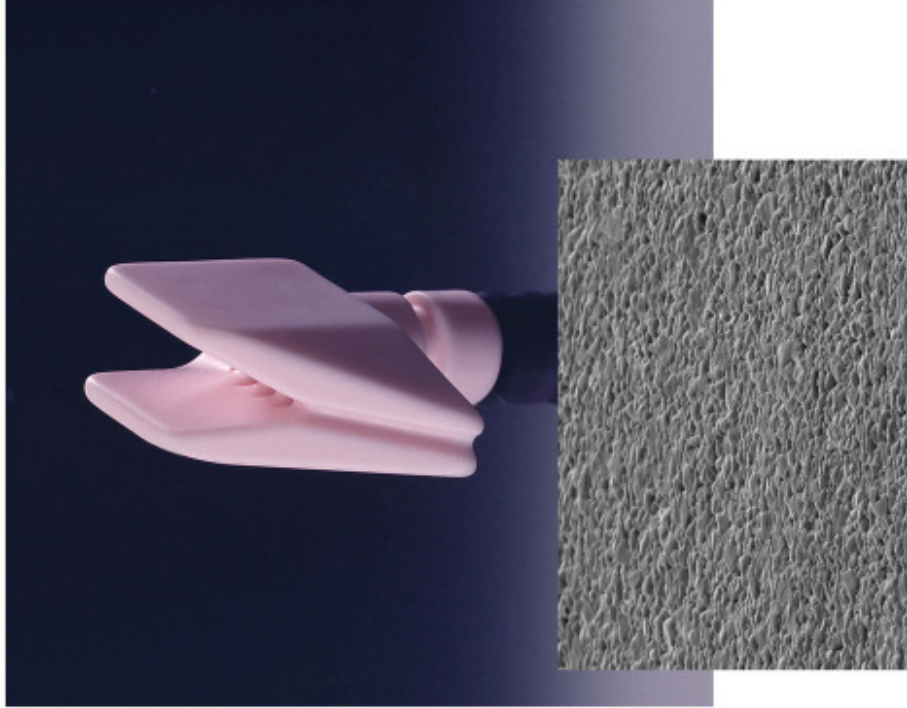


Beispiel für ein Keramik- Spritzguss- Bauteil



Präparations–Fadenführer für das beölen der Faser

- Fadenlaufbereich:
hohe Oberflächengüte
- Gefügeoberfläche:
reibungssarm
- Integriertes Zuführrohr
mit Nut zur
Aufnahme des Dichtrings



Keramik-Spritzguss und seine Vorteile



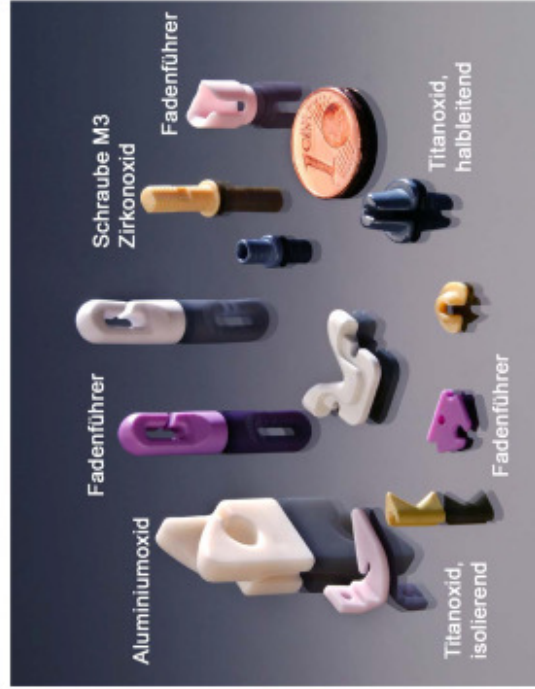
an Beispielen

1. Asymmetrisches Ventilbauteil mit Bohrungen
2. Gekrümmtes Fadenführungsrohr mit integrierten Klebmulden
3. Dünnwandiger Deckel (Sensortechnik) mit Wanddicke 0,4 mm
4. U-Fadenführer mit Klebenut

Werkstoffe für den Spritzguss



- **Aluminiumoxid:**
Fadenführern in den Farben weiß, pink und rot
- **Zirkonoxid:**
Schraube mit M3-Gewinde
- **Titanoxid:**
Fadenführer für Glasfasern
Elektrisch leitend (schwarz)
und isolierend (beige)



Beispiele zu Mikrobauteilen



- Anwendungen:
- Medizintechnik,
 - Dentaltechnik
 - Textilindustrie

Untere Grenze:
Handling im
Fertigungsablauf



Fügetechnik für Kunststoff und Metall



- Verfahren:
Kleben
Umspritzen
- Funktionstrennung:
Verschleißbereich aus
Keramik
- Vorteile:
Gewichtseinsparung
Kostenreduzierung
Montagefreundlichkeit

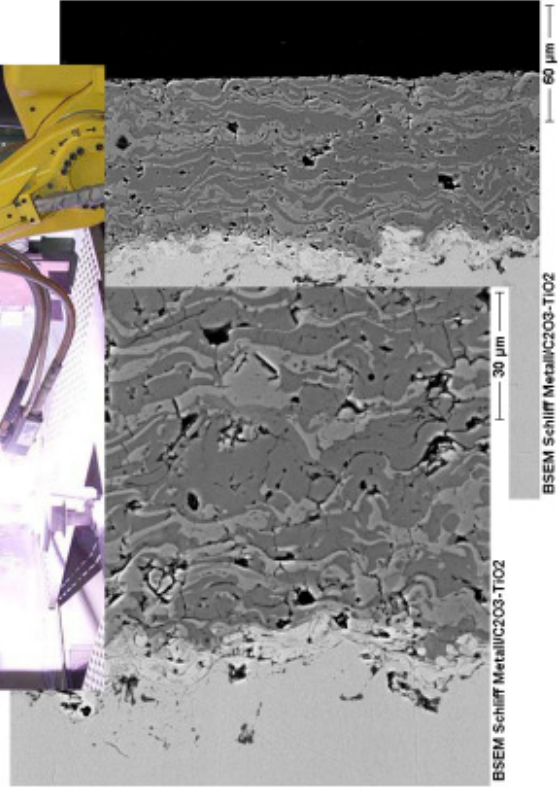
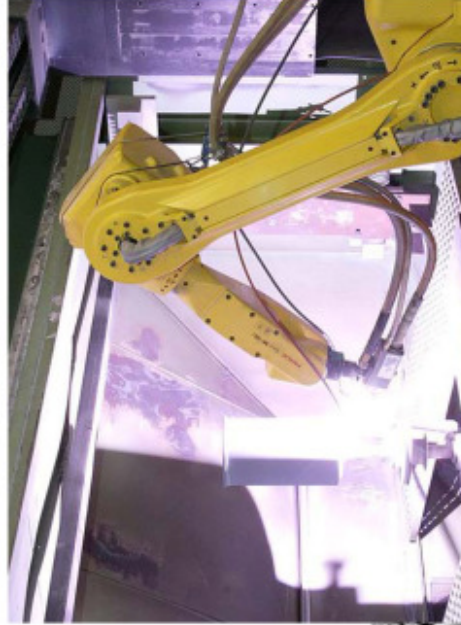
3.6 Mikrobauerteile aus Keramikspritzguss und Beschichten - Folie 9

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

- 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



Mikroteilen durch Keramische Beschichtungen



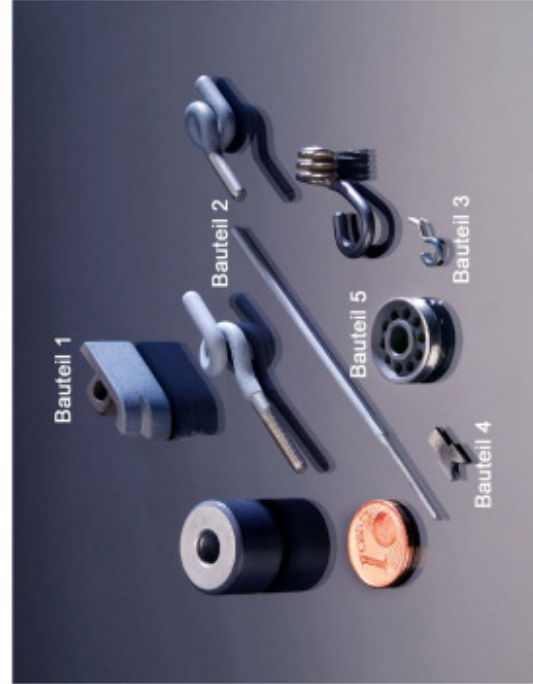
Verschleißschutz

Teil für die Textilindustrie:

Schichtwerkstoff:

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (97/3) grau

- Sauschwanzfadenführer (2)
- Öse (3)
- Sensor (4)



Mikroteilen durch Keramische Beschichtungen



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

Schichtwerkstoff:

Al_2O_3 (99 %) weiß,
Schichtdicke 200 μm

- Spulenkörper
- Trimmer
- Strukturiertes Blech
(Sensor) Dicke < 1mm
- Thermisch isolierte Lamelle mit $d < 1 \text{ mm}$

