

## **7. Ökonomische Lösungen für Basisaufgaben**

- **Anwendungsorientierte Auswahl silikatischer Werkstoffe mit Praxisbeispielen aus der Elektrotechnik**
- **Keramische Beschichtungen**

## **Silicatkeramik – Werkstoff mit Tradition und Zukunft**

Dipl.-Ing. Ines Richter

Sembach GmbH & Co. KG

Lauf a. d. Pegnitz

Schon längst haben keramische Werkstoffe ihren festen Platz bei Anwendungen, die Eigenschaften wie sehr gute Temperaturbeständigkeit, hohe Verschleiß- und chemische Korrosionsbeständigkeit oder gute Isolationsfähigkeit erfordern. Materialien wie Aluminiumoxid, Zirkonoxid oder Siliciumcarbid, Siliciumnitrid sind vielen Konstrukteuren und Entwicklern bekannt. Die genannten Keramikwerkstoffe werden häufig auch als „Hochleistungskeramiken,“ bezeichnet, und das natürlich zu Recht. Aber leisten deshalb die eher „traditionellen,“ Silicatkeramiken weniger? Sicher nicht. Auch sie kommen nach wie vor in vielen Bereichen zum Einsatz. Denn nicht immer müssen es unbedingt die teuren hochreinen Materialien sein. Aber was genau verbirgt sich nun eigentlich hinter dem Begriff Silicatkeramik?

Es handelt sich hierbei um Werkstoffe, die aus natürlichen Rohstoffen hergestellt werden, sprich Tonen, Speckstein oder Talkum, Kaolinen oder Schamotte. Je nach Versatz, d.h. Mischungsverhältnis, lassen sich daraus z.B. Porzellan, Steatit, Cordierit, oder Forsterit herstellen.

Bei Steatit handelt es sich beispielsweise um ein Magnesiumsilicat. Das Material wird zu ca. 90% aus Speckstein hergestellt. Speckstein ist ein sehr weiches Mineral, das auch Hobbyschnitzer sehr zu schätzen wissen. Für den Produktionsprozeß von Steatitkeramik bringt er den wesentlichen Vorteil der extrem guten Verarbeitbar- und Bearbeitbarkeit mit. Steatitbauteile werden hauptsächlich mittels Trockenpreßverfahren hergestellt, ein kleinerer Teil wird extrudiert. Die Komplexheit und Vielfalt trockengepreßter Steatitbauteile ist durchaus beeindruckend. Es ist unschwer zu erkennen, daß zum Bau der benötigten Preßautomaten und Preßwerkzeuge ein gehöriges Maß an Know How vorhanden sein muß.

Als Heizspiralen- oder Heizleiterträger kommen verbreitet poröse Werkstoffe auf Cordieritbasis zum Einsatz. Dieses Material bietet - obwohl porös - eine völlig ausreichende Festigkeit, eine

sehr gute Temperaturwechselbeständigkeit (TWB) und ist bis zu Temperaturen von 1100 bis 1200°C problemlos einsetzbar. Auch dichte Cordieriterzeugnisse besitzen aufgrund des niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten ( $2 \text{ bis } 4 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ) - kurz WAK - eine ausgezeichnete TWB. Aber nicht nur besonders niedrige Ausdehnungskoeffizienten lassen sich mit Silicatkeramik realisieren. Durch entsprechende Modifikation des Rohstoffversatzes läßt sich sog. Forsterit herstellen. Hierbei handelt es sich wie bei Steatit um ein Magnesiumsilicat, das jedoch einen höheren Magnesiumoxidgehalt aufweist. Der WAK dieser Keramik liegt mit ca.  $10 \text{ bis } 11 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$  sehr hoch. Daher ist Forsterit interessant für Anwendungen, bei denen die Keramik mit einem anderen Material hoher Ausdehnung möglichst spannungsfrei verbunden werden soll.

Das Gebiet der Silicatkeramik tritt also keineswegs nur auf der Stelle. Auch hier lassen sich die vorhandenen Werkstoffe gezielt weiterentwickeln und entsprechend der Anforderungsprofile optimieren. Man sollte daher bei der Materialauswahl, schon aufgrund des meist günstigeren Preises, diese Werkstoffklasse nicht außen vor lassen.

### Einsatzbeispiel *Gliederheizkörper*

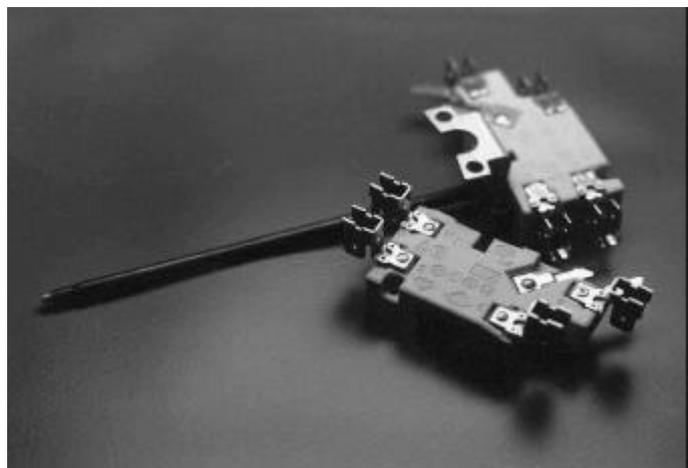


Eine typische Anwendung für poröse Silicatkeramiken auf Cordieritbasis sind sogenannte Gliederheizkörper. Es handelt sich hierbei um keramische Bauteile, die zur Aufnahme von Heizspiralen verwendet werden. Wie Bild 1 zeigt werden je nach gewünschter Endlänge des Tauchheizers (bis zu 3 bis 4 m) mehrere der Keramikteile übereinander angeordnet. In die Gliederheizkörper werden die Heizleiterwendeln eingezogen. Außen ist der Aufbau von einem gut wärmeleitenden Metallrohr umgeben. Im Betrieb werden die Heizleiter durch Stromfluß auf 800 bis 1000°C erwärmt. Diese Wärme wird von dem Keramikbauteil aufgenommen und an das äußere Hüllrohr abgeleitet. Die Keramik erwärmt sich dabei auf

650 bis 800°C. Die beschriebenen Tauchheizer dienen u.a. zur Beheizung von Säure-, Laugen- oder Beizbädern, Elektrolyten in der Galvanotechnik sowie Lagertanks, die sich im Freien befinden.

### **Einsatzbeispiel *Ausdehnungsstab***

In Stabreglern (Bild 2), wie man sie z.B. zur Regelung von Glaskeramikfeldern verwendet, befinden sich u.a. Cordierit-Stäbchen, die von einem Metallröhrchen umgeben sind. Beim Aufheizen des Kochfeldes dehnt sich das Metallröhrchen wesentlich stärker aus als die Keramik, deren Ausdehnungskoeffizient nur ca.  $3 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  beträgt. Über eine Feder ist der Ausdehnungsstab an das



**Bild 2** Stabregler mit Steatitsockel

Schaltrelais gekoppelt, so daß beim Erreichen einer bestimmten Temperatur und damit Wärmeausdehnung das Relais ein- oder ausschaltet.

## **Einsatzbeispiel *Reglersockel***

Der oben bereits erwähnte Stabregler beinhaltet nicht nur Komponenten aus Cordieritkeramik. Ein wesentliches Bauteil des Reglers ist der Steatitsockel. Hierbei handelt es sich um ein beliebig kompliziert geformtes Keramikteil, das zur Aufnahme der elektrischen Schaltungen dient. Derartige Steatitsockel finden sich ebenfalls in zahlreichen anderen Hausgeräten, bei denen in irgendeiner Form Temperaturen geregelt werden müssen oder Überhitzungsschutzschalter integriert sein müssen. Dazu zählen z.B. Haartrockner, Geschirrspülmaschine, Kaffeemaschine oder Waschmaschine. Aber warum gerade Steatit? Steatitbauteile

- altern nicht, d.h. eine dauerhafte Konstanz der Schaltpunkte ist gewährleistet.
- isolieren hervorragend.
- eignen sich sehr gut zur automatischen Endmontage der Regler oder Schalter.
- lassen sich mit ausreichender Genauigkeit in der benötigten komplexen Geometrie herstellen.

## **Einsatzbeispiel *Heizpatronen***

Als Isolationsmaterial in Heizpatronen kommt ebenfalls Steatit zum Einsatz. Hier wird allerdings ein keramisches Material benötigt, das noch porös ist. Bei der Herstellung der Heizpatronen werden die Heizdrähte in Mehrlochrohre aus poröser Keramik eingezogen und das Steatitrohr in ein metallisches Hüllrohr gesteckt. Die Endmaße der Heizpatrone werden durch Quetschen oder Hämmern erreicht, wobei die Keramik im Inneren zerdrückt und vollständig verdichtet wird.

Tabelle 1 zeigt noch einmal die Eigenschaften verschiedener Silicatkeramiken im Vergleich.

**Tabelle 1: Werkstoffdaten verschiedener Silicatkeramiken**

			Tonerde- porzellan	Lithium- porzellan	Steatit dicht	Forsterit dicht	Cordierit dicht	Mullit
Bezeichnung nach DIN EN 60672			C120	C140	C221	C250	C410	C620
Rohdichte	$\rho$	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,3	2,0	2,7	2,8	> 2,1	2,8
offene Porosität	$P_a$	[Vol.%]	0	0,5	0	0	0	0
Wasseraufnahme	$W_a$	[Gew.%]	0		0	0	0	0
Biegefestigkeit	$\sigma_B$	[MPa]	90/110	50/60	<b>140 – 160</b>	<b>140</b>	60	<b>150</b>
Druckfestigkeit	$\sigma_D$	[MPa]			880 – 980			
Zugfestigkeit	$\sigma_Z$	[MPa]			44 – 60			
Elastizitätsmodul	E	[GPa]	100		110 – 130			<b>150</b>
Wärmeausdehnungskoeffizient	$\alpha_{RT-600}$	[10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	4 – 7	<b>1 – 3</b>	7 – 9	<b>10 – 11</b>	<b>2 – 4</b>	5 – 7
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda_{RT}$	[W/mK]	1,2 – 2,6	1,0 – 2,5	2 – 3	3 – 4	1,2 – 2,5	<b>6 – 15</b>
Wärmekapazität	$c_{p, RT-600}$	[J/kgK]	750 – 900	750 – 900	800 – 900	800 – 900	800 – 1200	850 – 1050
Durchschlagfestigkeit	$E_d$	[kV/mm]	<b>20</b>	15	<b>20</b>	<b>20</b>	10	15
spezif. Widerstand bei RT	$\rho_v$	[ $\Omega$ m]	<b>10<sup>11</sup></b>	<b>10<sup>11</sup></b>	<b>10<sup>11</sup></b>	<b>10<sup>11</sup></b>	<b>10<sup>10</sup></b>	<b>10<sup>11</sup></b>
spezif. Widerstand bei 600°C	$\rho_v$	[ $\Omega$ m]	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	<b>10<sup>5</sup></b>	<b>10<sup>5</sup></b>	<b>10<sup>3</sup></b>	<b>10<sup>4</sup></b>
dielektr. Verlustfaktor (48 – 62 Hz)	$\tan\delta$	[10 <sup>-3</sup> ]	25	10	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	25	
dielektr. Verlustfaktor (1 MHz)	$\tan\delta$	[10 <sup>-3</sup> ]	12	10	<b>1,2</b>	<b>0,5</b>	7	
Dielektrizitätszahl (48 – 62 Hz)	$\epsilon_r$		6 – 7	5 – 7	6	7	5	8
Stehspannung	U	[kV]	<b>30</b>	20	<b>30</b>	20	15	20

# Keramische Beschichtungen

Dipl.-Ing. Friedrich Moeller  
Rauschert GmbH & Co. KG  
Pressig

Das Thema des Vortrags ist die keramische Beschichtung von Metallteilen durch das Plasmaspritzverfahren. Der Vortrag orientiert sich an häufig gestellten Fragen der Konstrukteure in der industriellen Praxis.

Plasmaspritzen ist ein bewährtes industrielles Beschichtungsverfahren, das durch die Einführung der vollelektronischen Steuerung in der Mitte der 80-er Jahre wesentliche Impulse hinsichtlich der Verbesserung der Schichtqualität und der Automatisierung des Prozesses erhalten hat.

Die Luftfahrtindustrie gilt als der wesentliche Förderer dieser Technologie. Nonstop-Urlaubsflüge von München nach Südafrika sind auch das Ergebnis plasmabeschichteter Turbinen, für die die Wartungsintervalle wesentlich verlängert werden konnten.

Beschichtungen werden

- für den Verschleißschutz
- für die elektrische Isolation
- für die thermische Isolation eingesetzt.

---

## Keramische Beschichtungen

---

- ▶ Für den Verschleisschutz
- ▶ Für die elektrische Isolation
- ▶ Für die thermische Isolation

Vortrag von:

Dipl.-Ing. Friedrich Moeller  
D-96332 Pressig



1

---

### Folie 1

#### Welchen Nutzen bieten die keramischen Beschichtungen ?

Sie kombinieren die Vorteile der metallischen Formgebung mit den besonderen Oberflächeneigenschaften der Keramik. Härte und auch elektrische Isolationsfestigkeit sind Folge des kovalenten Bindungscharakters der Keramik. Je stärker die kovalente Bindung ist, desto größer ist die Härte und umso höher ist auch der Schmelzpunkt der keramischen Werkstoffe.

---

## Keramische Beschichtungen

---

### Keramische Schichtwerkstoffe

Zusammensetzung	Farbe	Härte	Schmelztemp.	Anwendung
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub> 97/3	Grau	HV 1800	Ca. 2000 °C	Verschleisschutz
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub> 87/13	Schwarz			Verschleisschutz
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub> 60/40	Schwarz			Verschleisschutz
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Weiß			Elektrische Isolation
ZrO <sub>2</sub> /Ca	Beige			Thermische Isolation

2

---

### Folie 2

Sie sehen in der Folie 2 eine Liste typischer keramischer Schichtwerkstoffe.

Der Schmelzpunkt von reinem Aluminiumoxid liegt bei über 2.000°C. Die Sintertemperaturen liegen zwischen 1.600°C und 1.700°C.

Die keramische Schichten können nicht zusammen mit dem metallischen Grundwerkstoff gesintert werden, weil das metallische Substrat diese hohen Temperaturen nicht zuläßt. Für die keramische Beschichtung von metallischen Grundkörpern muß daher ein anderer Weg gesucht werden. Dieser Weg führt über das Plasmaspritzverfahren.

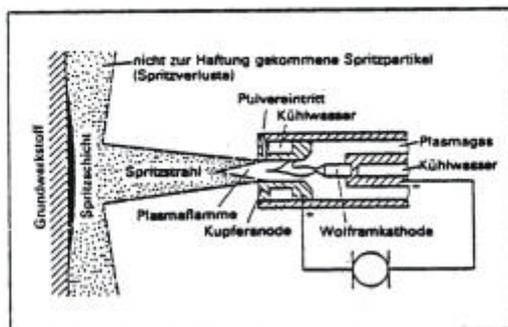
Das Prinzip des Plasmaspritzens beruht darauf, daß mit Hilfe eines elektrischen Lichtbogens ein Plasma erzeugt wird. Das Plasma ist der 4. Aggregatzustand neben der festen, flüssigen und dampfförmigen Phase eines Stoffes. Ein Gasgemisch aus Wasserstoff/Helium oder Stickstoff/Argon wird durch den elektrischen Lichtbogen ionisiert. Durch die Rekombination der Elektronen mit den reaktionsträgen Edelgasen entsteht eine enorme thermische Energie, die sich je nach Gaszusammensetzung in Temperaturen von 10.000 °C bis 30.000 °C äußert.

---

## Keramische Beschichtungen

---

Prinzip des Plasmaspritzverfahrens



1 Schema des Plasmaspritzens

3

---

### Folie 3

Sie sehen in der Folie 3 den typischen Aufbau einer Plasmaspritzpistole und die Rekombinationstemperaturen der Gase.

---

## Keramische Beschichtungen

---

Prinzip des Plasmaspritzverfahrens  
(Kenngrößen Plasmagase)

Gas	Molekulargewicht	Wärmeinhalt (kcal/kg)	Plasmatemperatur (°K)
Stickstoff N	28	10000	7500
Wasserstoff H	2	70000	5700
Helium He	4	50000	20000
Argon Ar	40	4600	15000

30

---

### Folie 3b

Über einen Pulverförderer wird das Keramikpulver in die Plasmaflammzone eingetragen, innerhalb von Millisekunden aufgeschmolzen und dann mit nahezu Schallgeschwindigkeit auf das durch Sandstrahlen vorbereitete Substrat aufgetragen. Der Spritzabstand wird so eingestellt, daß das aufgeschmolzene Keramikpulver auf eine teigige Konsistenz abkühlt. Dadurch entsteht die typische Struktur einer durch das atmosphärische Plasmaspritzen erzeugten Keramikschicht mit der lamellenartigen Schichtstruktur und der Porosität von ca 3 %. Diese Struktur stellt einen wesentlichen Unterschied zum Gefüge der Vollkeramik dar.

---

## Keramische Beschichtungen

---



- Aufbau der Schicht
- Schichtspezifikation
- Schichtstruktur



4

---

### Folie 4

## Die poröse Schichtstruktur hat sowohl Vorteile als auch Nachteile.

Ein Vorteil ist die hohe mechanische Schlag- und Biegefestigkeit. Risse können sich nicht so leicht ausbreiten. Der Riß wird an den Poren gestoppt. Keramikbeschichtete dünne Teile geben so einer Biegebeanspruchung leicht nach, wie leicht demonstriert werden kann. Die lamellare Schichtstruktur hält selbst Hammerschlägen und Thermoschockbeanspruchungen stand.

Durch Plasmaspritzen im Vakuum wird die Porosität verringert.

Der Nachteil der porösen Struktur ist, daß korrosive Medien (z.B. Flüssigkeiten) in die Keramikschicht eindringen und zu einer Unterschichtkorrosion an der Grenzfläche zum Metall führen können. Plasmaspritzschichten werden daher nicht unmittelbar für den Korrosionsschutz empfohlen. Man kann sich aber mit Siegeln auf Teflon- oder Epoxidbasis behelfen. Hier wird geforscht.

Auf der letzten *Internationalen Thermischen Spritzkonferenz* in Düsseldorf wurde eine neuer Siegelwerkstoff auf Polyurethanbasis aus USA vorgestellt, der die Anwendungsbreite in korrosiver Umgebung vergrößert.

## Welche Grundwerkstoffe können keramikbeschichtet werden ?

Ein großer Vorteil des Plasmaspritzverfahrens ist die Freiheit bei der Auswahl des Substratwerkstoffs. Auch das ist durch die anpassungsfähige lamellare Schichtstruktur begründet. So können prinzipiell alle metallischen Werkstoffe keramikbeschichtet werden. Gut eingeführt haben sich rostfreier Stahl, Aluminiumlegierungen, Kupferlegierungen und Heizleiterlegierungen.

---

## Keramische Beschichtungen

---

### Typische Substratwerkstoffe für keramische Beschichtungen:

#### Allgemeine Baustähle wie:

St-37  
St-50  
usw...

#### Vergütungsstähle wie:

C 45  
C 60  
usw...

#### Automatenstähle wie:

9 SMn 28 (1.0715)  
45 S 20 (1.0727)  
usw.

#### Werkzeugstähle wie:

C 60 W (1.1740)  
X 210 CrW 12 (1.2436)  
usw...

#### Nichtrostende Stähle wie:

X 5 CrNi 18 10 (1.4301)  
X 10 CrNiS 18 9 (1.4305)  
usw...

#### Nichteisenmetalle wie:

CuZn 38 Pb 1,5 (2.0371) – Messing  
Cu Sn 6 (2.1020) – Bronze  
Al Cu Mg Pb (3.1655) – Aluminium  
G – Cu Zn 33 Pb (2.0290.01) – Kupfer  
usw...

5

## Welches Design haben beschichtungsgerechte Teile?

Die für die Keramikbeschichtung vorgesehenen Metallteile werden zunächst sandgestrahlt und anschließend in Spritzkabinen mit Abzugs- und Filtereinrichtungen keramikbeschichtet. Diese Kabine begrenzt die Größe der Teile. So können im konkreten Fall bei uns Wellen bis zu einer Länge von 1800 mm keramikbeschichtet werden. Kleinteile werden auf Karussells rotierend beschichtet. Flächige Teile werden mit Hilfe von Handhabungsrobotern oder Portalrobotern mäanderförmig beschichtet. Die Relativgeschwindigkeit ist abhängig vom Spritzwerkstoff. Auch wenn die Temperaturen beim Aufschmelzen in der Plasmaflamme enorm hoch sind, so kann die Werkstücktemperatur bei hochvolumigen Teilen doch relativ niedrig, z.B. auf unter 200 °C gehalten werden, so daß metallurgische Anlaßvorgänge vermieden werden können. Bei Kleinteilen wird der Beschichtungsprozeß durch Luft- oder CO<sub>2</sub>- Kühlung unterstützt. Bei drahtförmigen oder folienartigen Metallteilen unter 1 mm Dicke muß aufgrund unzureichender Wärmeabfuhr mit Verzug gerechnet werden.

## Keramikbeschichtete Teile für die thermische Isolation

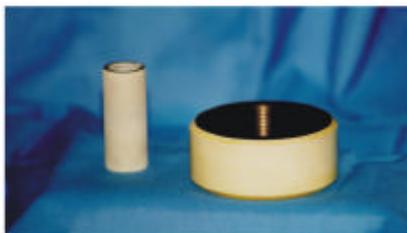
---

### Keramische Beschichtungen

---

#### Anwendungsbeispiel

↳ Thermische Isolation



#### Spezifikation:

Schichtwerkstoff: ZrO / Ca beige

Schichtdicke: 500µ

Oberfläche: Ra 1,5µ bzw. Natur

---

### Folie 6

*Beispiel: Rollen und Greiferelemente für die Glasindustrie (siehe Folie 7)*

Schichtwerkstoff: ZrO<sub>2</sub>/Ca

Schichtdicke: 500 µm

Oberfläche: R<sub>a</sub> ≈ 1 µm

**Problem:** Die Greifelemente sind aus Graphit, das die Wärme sehr gut ableitet. Beim Abkühlen entstehen Kühlrisse am heißen Glaskolben.

**Lösung:** Die 500 µm starke Zirkonoxidschicht auf den Stahlteilen erzeugt einen Temperaturgradienten, der den Wärmedurchgang verringert. Kühlrisse an den heißen Glaskolben werden auf diese Weise vermieden.

## Keramikbeschichtete Teile für den Verschleißschutz

### Keramische Beschichtungen

#### Anwendungsbeispiel

↳ Verschleißschutz



#### Schicht-Spezifikation:

Schichtwerkstoff: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> 97/3 grau  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> 87/13 schwarz

Schichtdicke: 90 +/- 30µ

Oberfläche: fadenfreundlich  
Ra 1,0µ

Schichtdicke: 120 +60µ

Oberfläche: feinstbearbeitet  
Ra ca. 0,5µ

7

#### Folie 7

1. Beispiel: Fadenführungs-Galette aus AlCuMgPb für Textilmaschinen mit folgender Schichtspezifikation, wie sie nach Fertigungszeichnung benötigt wird.

Schichtwerkstoff: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> (97/3)

Schichtdicke: 120 µm + 60 µm

Oberfläche: feinstbearbeitet auf R<sub>a</sub> = 0.5 µm

Härte: HV<sub>0,1</sub> = 1800

Die Galette wurde früher hartcoatiert (anodisches Oxidationsverfahren von Aluminium) und hat aber den hohen Verschleißbeanspruchungen durch die geführten abrasiven Glasfasern nicht standgehalten. Die Alternative mit plasmagespritzter Keramikschicht und feinstbearbeiteter Oberfläche hat sich inzwischen bewährt.

### Was ist dabei konstruktiv zu beachten?

Plasmakeramiksichten haben an Kanten eine nicht ausreichende Haftfestigkeit. Hier muß mit Abplatzungen gerechnet werden. Im vorliegenden Fall bestand die Lösung darin, die umlaufenden Laufbahnbegrenzungen durch Abdeckungen beschichtungsfrei zu halten.

2. Beispiel: *Plunger, partiell keramikbeschichtet*

Problem: Verschleiß durch den Dichtring aus Hartkohle

Schichtwerkstoff:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  (87/13)

Schichtdicke: 120  $\mu\text{m}$  +10  $\mu\text{m}$

Oberfläche geschliffen auf  $R_a = 0.4 \mu\text{m}$

### Konstruktionshinweis:

Im vorliegenden Fall wird die Keramikschicht eingebettet, um die Keramikschicht auf beiden Seiten gegen Schlagbeanspruchung zu schützen. Metallteil und Keramikschicht werden überschliffen.

### Keramikbeschichtete Teile für die elektrische Isolation.

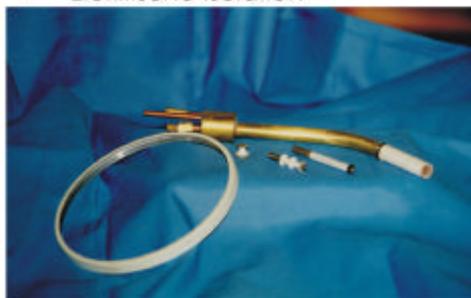
---

## Keramische Beschichtungen

---

### Anwendungsbeispiel

↳ Elektrische Isolation



#### Schicht-Spezifikation:

Schichtwerkstoff: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 99% weiß  
Schichtdicke: ca. 200 $\mu\text{m}$   
Durchschlags-  
spannung: ca. 500 V  
Oberfläche: natur

8

---

### Folie 8

*Beispiel: Heizinnenrohr für LötKolben*

Problemlösung: Elektrische Isolation auf engstem Raum

Schichtwerkstoff:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (99%)  
Schichtdicke: 200  $\mu\text{m}$   
Oberfläche: unbearbeitet

## **Vergleich von keramikbeschichteten Metallteilen mit Bauteilen aus monolithischer Keramik**

### ***Vorteile der keramikbeschichteten Bauteile***

- Der Konstrukteur kann weitgehend metallisch denken.
- Alle Möglichkeiten der Metallbearbeitung stehen zur Verfügung (Vielfalt der Formgebung, Rapid Prototyping). Auch Kleinserien können wirtschaftlich gefertigt werden.
- Toleranzen werden durch die keramische Beschichtung vorgegeben und liegen bei  $\pm 30\mu\text{m}$ . Keine Schwindungstoleranzen wie bei der Keramik.
- Große Teile, wie Druckwalzen, können wirtschaftlicher hergestellt werden.

### ***Vorteile der monolithischen Keramik***

- Volumeneigenschaften der Keramik, wie Hochtemperaturfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit, mechanische Steifigkeit werden genutzt, z.B. bei Automobilventilen, Brennhilfsmitteln (Balken, Platten, Rollen).
- Innenbohrungen können auch eine Verschleißschutz- und Korrosionsschutzfunktion erfüllen. Beim Plasmaspritzen können Innenbeschichtungen nur bedingt durchgeführt werden, weil ein Spritzwinkel von mindestens  $45^\circ$  erforderlich ist.
- Kleinteile aus monolithischer Keramik können in Großserie durch keramische Preßverfahren kostengünstiger als beschichtete Metallteile hergestellt werden.

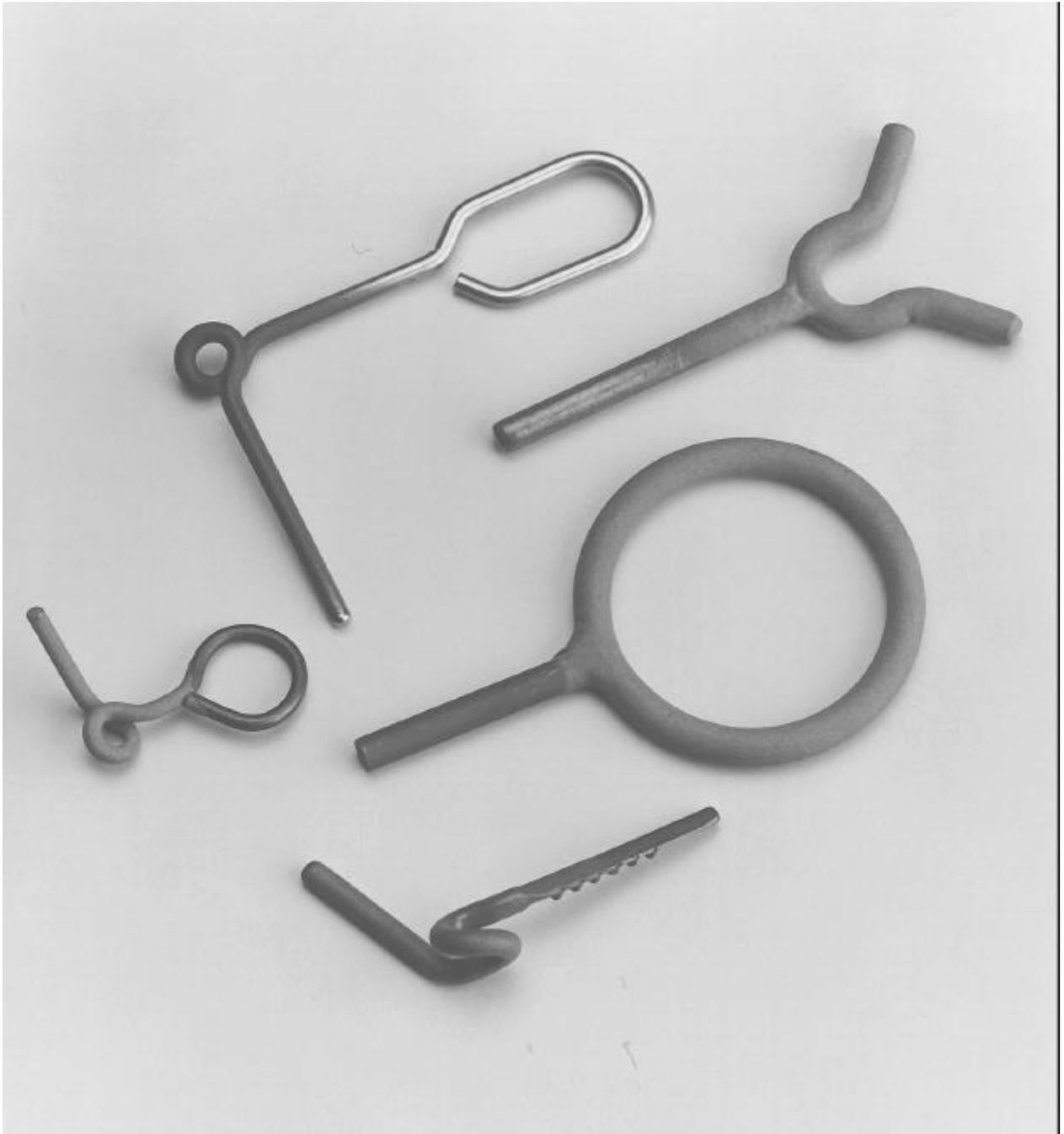
## Fazit

Plasmabeschichtete Bauteile haben sich bei vielen Anwendungen bewährt. Sie erweitern die Einsatzmöglichkeiten von Technischer Keramik. Dabei darf nicht vergessen werden, daß die Beschichtung eine eigene Gefügestruktur und entsprechende Eigenschaften besitzt.

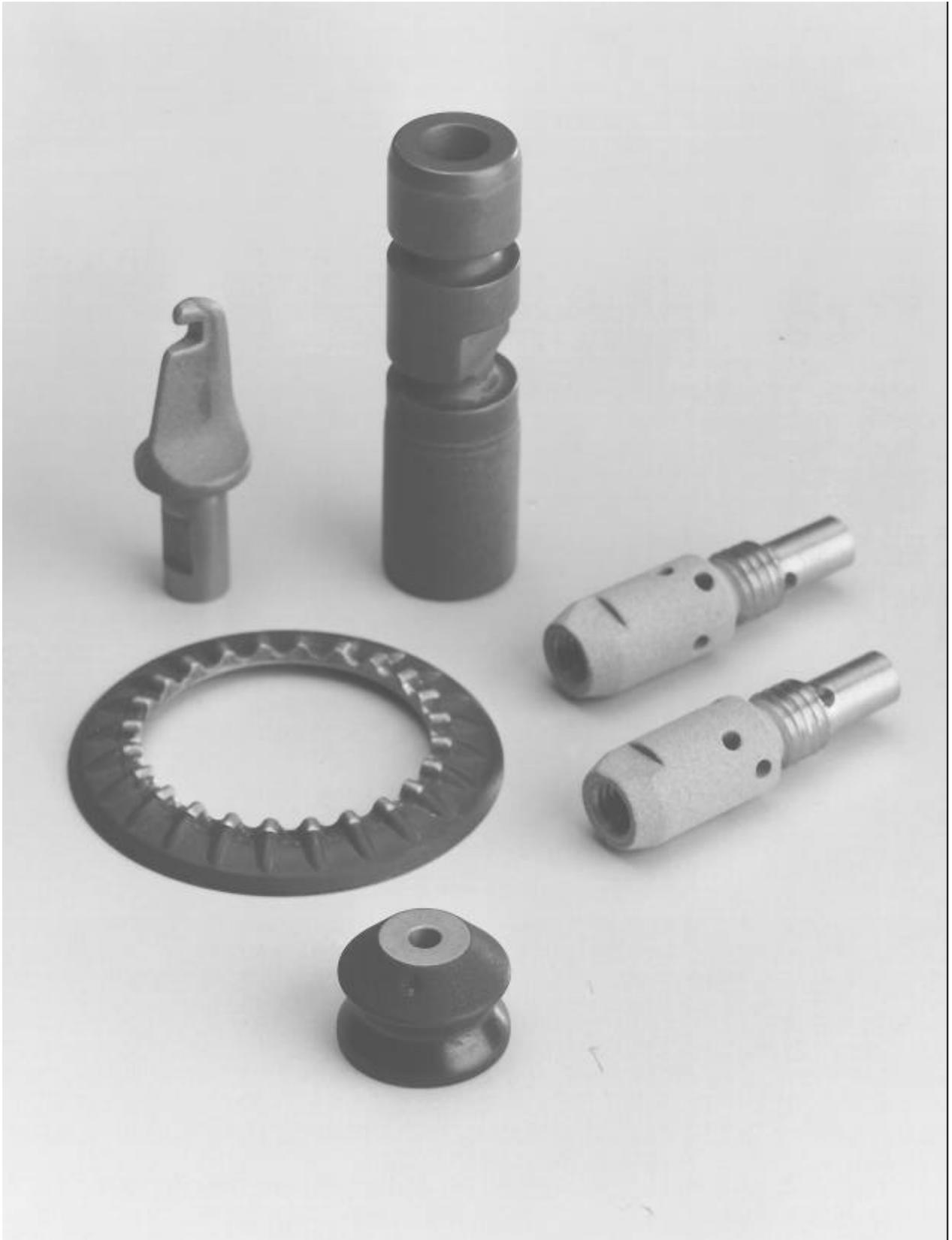
Darüber hinausgehende andere Eigenschaften erfordern deshalb weiterhin Bauteile in monolithischer Ausführung.



**Bild 9:** Beschichtete Teile für den Verschleißschutz



**Bild 10:** Keramikbeschichtete Fadenführer für den Textilmaschinenbau



**Bild 11:** Keramikbeschichtete Fadenführer für den Textilmaschinenbau



**Bild 12:** Kehrgewindewalze für den Textilmaschinenbau, Keramikbeschichtet mit  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$