

7. Verbindungen und Verbunde

7.1 Verbunde von Keramik mit anderen Werkstoffen

- Friedrich Moeller
Rauschert GmbH
Pressig

Die Folien finden Sie ab Seite 528.

7.1.1. Einleitung

Das Eigenschaftsprofil keramischer Werkstoffe prädestiniert sie für thermische Anwendungen. Die vorteilhaften Eigenschaften hierfür sind

- die Hochtemperaturfestigkeit,
- die elektrische Isolationsfestigkeit bei Temperaturen $> 200^{\circ}\text{C}$ und
- die niedrige Wärmeleitfähigkeit ausgewählter Keramiken.

Prinzipiell muss ein keramisches Bauteil in die konstruktive Umgebung anderer Werkstoffe eingebunden werden. Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Auswahl einer temperaturfesten Verbindungstechnik zwischen metallischen und keramischen Komponenten
- Ausgleich der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten
- Abwägung zwischen Toleranzen und Kosten (Hartbearbeitung)

Bei diesen Betrachtungen ist der Werkstoffverbund ein interessantes Konstruktionsprinzip.

Definition: Der **Werkstoffverbund** besteht aus Komponenten unterschiedlicher Werkstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen, die zu einem Bauteil mit neuem Eigenschaftsprofil mit Hilfe einer werkstoffgerechten Füge-technik kombiniert werden.

Im Vortrag werden behandelt

- der Metall-Keramik- Schichtverbund
- der Keramik-Metall-Schichtverbund
- der PTC-Keramik – Metall – Verbund

7.1.2. Der Metall-Keramikschiicht-Verbund

wird im vorliegenden Fall durch thermisches Spritzen hergestellt.

Bei diesem **Verfahren** werden keramische Pulverteilchen in einem Edelgas-Plasma bei über 10.000°C innerhalb von 0.5 ms aufgeschmolzen und mit Überschallgeschwindigkeit auf die durch Sandstrahlen vorbehandelte Metalloberfläche aufgespritzt und bleiben dort haften bzw. verbinden sich mit der aufgespritzten Keramik.

Die für die thermischen Anwendungen 200 – 500 µm dicken Keramikschichten haben nach dem Erstarren auf dem Metallsubstrat eine lamellare Struktur mit einer Porosität von 3 – 5 % je nach Werkstoff.

Für thermische Anwendungen hat diese poröse Struktur den Vorteil, dass die unterschiedlichen Wärmeausdehnungen von Metall und Keramik bis zu einer Temperatur von 600°C bis 800°C aufgenommen werden können und eine hervorragende Thermoschockbeständigkeit gegeben ist.

Verbessert wird die Haftfestigkeit durch eine vorher aufgebrachte CrNi-Schicht, sodass mit dem Keramikschiichtverbund eine temperaturbeständige Verbindungstechnik mit den relativ engen Toleranzen der Keramikkomponente von ± 0,03 mm zur Verfügung steht.

Bewährte **thermische Anwendungen** sind :

- Durch Keramikbeschichtung elektrisch isolierte Heizleiter für Betriebstemperaturen bis 600°C.
- Thermische Isolation von Wärmeleitblechen
- Korrosionsschutz gegenüber Metallschmelzen durch Keramik-Innenbeschichtung von Tiegeln.

Die einzelnen Schichtspezifikationen werden bei den praktischen Anwendungsbeispielen erläutert.

Beim Plasmaspritzen mit Edelgasplasma ist die Schichtdicke auf 500 µm begrenzt. Bei größeren Schichtdicken muss mit Schichtrissen gerechnet werden. Die Schichtdicke reicht für viele Anwendungen aus.

7.1.3. Der Keramik-Metallschicht-Verbund

Eine interessante technologische Variante ist durch die Verwendung des Wasser-Plasma gegeben. Wasser-Plasma bedeutet hierbei, dass der Plasmabrenner höhere Leistung besitzt, da er durch Wasser stabilisiert wird.

Da mit dieser Technik ein höherer Pulverdurchsatz möglich ist, können Schichten von 3 bis 10 mm erzeugt werden.

Die Keramikschichten werden auf einen Stahlkern aufgespritzt. Anschließend wird das Bauteil sehr stark gekühlt. Die unterschiedliche Wärmedehnung hat jetzt zur Folge, dass der Metallkern stärker schrumpft als der Keramikmantel und der Kern abgezogen werden kann. Auf dieser Weise werden Profile Aluminiumoxid, Zirkonoxid, Mullit, Spinell und Zirkonsilikat über einen intermediären Werkstoffverbund mit einer Länge von bis 7 m hergestellt.

Das Verfahren ermöglicht die Fertigung großer poröser Rohre und Platten, wobei zusätzliche Formgebungsverfahren, die Trocknung und das Sintern entfallen.

Eine nachträgliche Strukturierung durch Laserbearbeitung ist bei dünnen Wandstärken möglich

Die spezifische lamellare und poröse Gefügestruktur bewirkt das sich internen Spannungen durch rasche Temperaturänderungen und große Temperaturgradienten in Poren auslaufen und so Bauteilschädigungen nicht auftreten.

In der Fachpresse wurde ein 5 m langes Rohr mit 450 mm Innendurchmesser für einen Drehrohrofen vorgestellt. Das Rohr aus plasmagespritztem Aluminiumoxid hat eine exzellente Thermoschockbeständigkeit. Aufheizzeiten und Abkühlzeiten können wesentlich verkürzt werden, wertvolle Produktionszeit wird eingespart. Auf Vorrichtungen zum Kühlen kann verzichtet werden

Mit dieser technologischen Variante des Plasmaspritzens kann auch ein Keramik-Metallschichtverbund hergestellt werden, wenn auf die Keramik Metallpulver aufgespritzt wird oder Metalldrähte eingelegt werden.

Auf diese Weise kann an einem Keramik-Rohr, das in Metallschmelzen eintaucht ein Stahl-Flansch angeschweißt werden.

Die Verbindung hält den Temperaturen der Metallschmelzen stand.

Durch Einbetten von Drähten aus Heizleiterlegierungen werden kompakte Heizelemente geschaffen, die zum Vorheizen, Warmhalten und Aufheizen eingesetzt werden können.

7.1.4. Werkstoffverbund PTC-Keramik – Metall

7.1.4.1. Eigenschaften

Die PTC-Keramik gehört wie die Piezokeramik zu den Funktionskeramiken. Sie besteht aus dotiertem Bariumtitanat. Es entstehen die typischen Kennlinien der PTC-Keramik. Kenngrößen sind der elektrische Widerstand bei Raumtemperatur, der positive Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstands und der elektrische Widerstand bei der Bezugstemperatur.

Beim Anlegen einer Spannung erwärmt sich der PTC bis auf eine definierten Temperatur, die im steilen Bereich der Widerstands-Temperatur-Kennlinie liegt. Durch Variation der Materialzusammensetzung kann die Steilheit der Kennlinie und des Nennwiderstandes im weiten Bereich von 10 Ohm bis zu 30 kOhm verändert werden.

7.1.4.2. Funktionsweise

Der Kaltleiter mit dem positiven Temperaturkoeffizienten vereinigt in sich die Funktionen eines Heizers, eines Thermostaten und einer Über-temperatursicherung.

Nach Anlegen einer elektrischen Spannung an den Kaltleiter erwärmt sich dieser über seine Bezugstemperatur hinaus, vergrößert den elektrischen Widerstand mit zunehmender Temperatur und erreicht einen stabilen Arbeitspunkt bei dem aufgenommene elektrische Leistung und abgegebene Wärmeleistung im Gleichgewicht sind.

Bei guter Wärmeableitung nimmt er viel elektrische Leistung auf, während bei geringer Wärmeableitung geringe elektrische Leistung aufgenommen werden kann.

Die Temperatur bleibt in relativ engen Toleranzen stabil. Ein Kaltleiter kann sich nicht überhitzen.

7.1.4.3. Anwendung

PTC-Elemente werden in Scheiben oder Rechteckform hergestellt. Die Funktion wird nur im Werkstoffverbund gewährleistet, denn die entstehende Wärmeenergie an der Oberfläche des PTC-Elements muss an einen metallischen Wärmeverteiler abgeführt werden.

Die Ankopplung wird meist realisiert durch einen Klemmkontakt. Auch die Verbindung mit geeigneten wärmeleitfähige Hochtemperaturkleber ist möglich.

7.1.4.3.1. Aktuelle Anwendungen der PTC- Heizelemente sind im Automotive-Bereich zu finden.

Die neuen Dieselmotoren sind verbrauchsoptimiert konstruiert und erzeugen daher nur noch wenig Abwärme. PTC-Zuheizer schaffen schnell behagliche Wärme im Fahrzeuginnenraum.

7.1.4.3.2. Bewährte Anwendungen im Haushalt und in der Industrie

Heizer für Heizlüfter, Föhne, Wäschetrockner, Reisebügeleisen, Heißklebepistolen, Bimetallbeheizungen (bei Türverriegelungen von Waschmaschinen) und Düsenbeheizungen (von Ölbrennern) sind einige beispielhafte Applikationen.

7.1.4.3.3. Ausblick

Im Rahmen eines Förderprojekts wird an PTC-Wabenkörpern mit verschiedenen Zellgeometrien gearbeitet. Die unterschiedlichen Heizleistungen werden realisiert durch die Zellgeometrie, die Wärmekapazität der PTC-Keramik, der Arbeitstemperatur und der Durchflussmenge. Die Wabenkörper sind stirnseitig oder innerhalb der Kanäle metallisiert. Aktuell verfügbar sind Prototypen für 13,5V und 120°C Bezugstemperatur.

Die Keramikoberflächen werden mit einem temperaturbeständigen Nanokompositlack passiviert, der gegen klimatische Einflüsse schützt.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 19) finden sich auf den folgenden Seiten.

Verbindungen und Verbunde

Verbunde von Keramik mit anderen Werkstoffen

Friedrich Moeller
Rauschert GmbH
Pressig



**Werkstoffverbund
und thermische Anwendungen**

Metall-Keramikschicht-Verbund
Keramik-Metallschicht-Verbund
PTC-Keramik - Metall-Verbund

Dipl. Ing. Friedrich Moeller
Rauschert GmbH
Pressig





Definitionen und Vorteile des Werkstoffverbunds

Bei der Paarung Keramik-Metall sind bei thermischer Anwendung zu beachten :

- die unterschiedliche Wärmdehnung der Komponenten
- der auftretende Temperaturgradient
- eine geeignete, temperaturfeste Verbindungstechnik

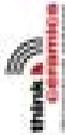
Der Werkstoffverbund

besteht aus Komponenten unterschiedlicher Werkstoffe, die durch eine werkstoffgerechte Verbindungstechnik zu einem Bauteil mit neuem Eigenschaftsprofil kombiniert werden.
(Werkstoff-Mix)

Vorteile

- werkstoffgerechte Funktionstrennung
- werkstoffgerechte Konstruktion der Komponenten

Metall – Keramikschicht - Verbund



Prinzip des thermischen Spritzens mit Edelgas-Plasma

- Verfahren
- Schichtaufbau
- spritzgerechte Konstruktion

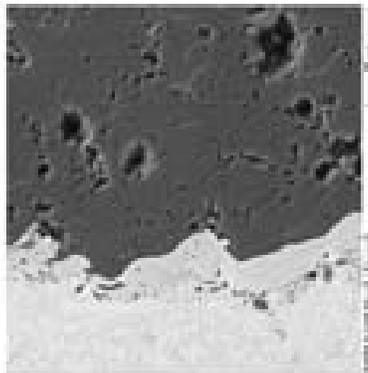
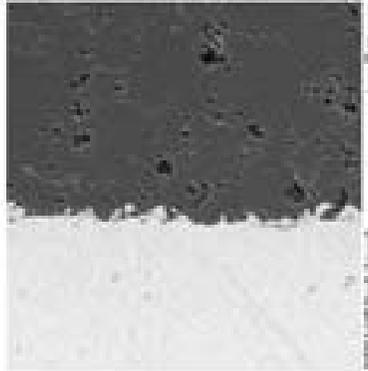
Werkstoffe

- metallisches Substrat
- Keramikschicht





Metal – Keramikschicht - Verbund



Keramische Beschichtung (Anwendungsbeispiele)



Thermische Isolation

- Greifzangen für Glaskolben
Keramikbeschichtet
mit Zirkoniumoxid
Schichtdicke 200 µm
- Gasdüse
- Luftleitbleche



Keramische Beschichtung (Anwendungsbeispiele)



Korrosionsschutz Gegen Metallschmelzen

- **Schmelzriegel**
Keramikbeschichtet
mit Spinnell
Schichtdicke 200 µm
natürliche Oberfläche
- Lötunterlage



Keramische Beschichtung (Beispiele)

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

- Heizleiter
aus Cr-Ni-Legierungen
Schichtwerkstoff
 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (97/3%) grau
Schichtdicke 200 μm
natürliche Oberfläche



Keramische Beschichtung (Beispiele)



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

- **Spitze** für die Elektrotechnik aus Cr-Ni-Legierungen
Schichtwerkstoff
 Al_2O_3 (99%) weiß
Schichtdicke 200 μm
versiegelt mit Elektrolack

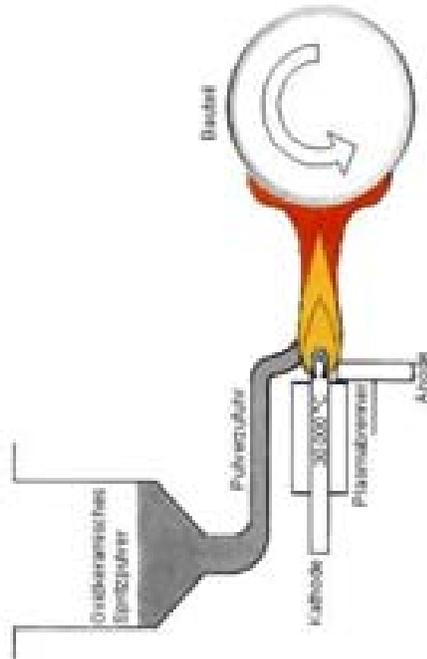


Keramik – Metallschicht – Verbund



Prinzip des thermischen Spritzens mit „Wasser-Plasma“

- Prinzip
- Formkörper
- Technische Eigenschaften





Keramik – Metallschicht – Verbund

Herstellungsmöglichkeiten



Rohre

Quadratische bzw. rechteckige Hohlkörper

ovale Hohlkörper

kegelförmige Hohlkörper

Rohre mit Struktur (z.B. Gewinde)

konusförmige Hohlkörper

sechs- bzw. vieleckige Hohlkörper, Platten

Eigenschaften

- Temperaturwechselbeständig
- Hochtemperaturfest
- dünnwandig

Rotationssymmetrische Formkörper



Behälter mit Metallarmierung





7.1 Folie 15

Verschweißung an Stahl





Eindüsrohr mit Metallarmierung

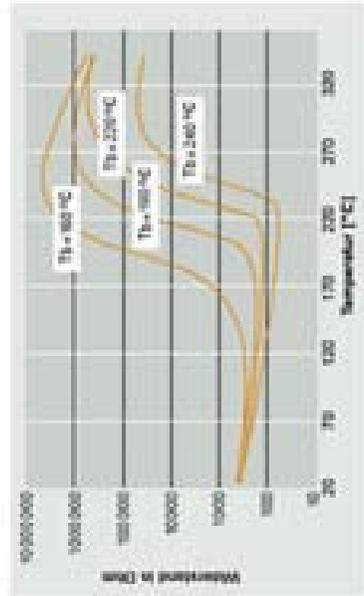


Abmessungen: $\varnothing_{\text{innen}} 50 \text{ mm}$, $\varnothing_{\text{außen}} 56 \text{ mm}$, L 800 mm
Anwendung: Schwefelsäure Brennkammern

PTC - Keramik – Metall

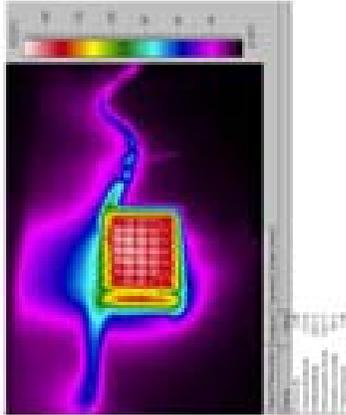
Prinzip der PTC-Keramik

- Werkstoff
- Kennlinie
- Funktionsweise



PTC - Keramik – Metall

- Wabenkörper bis zu 75 % offene Fläche
- Niedriger Stromwiderstand (Druckverlust)
- Hohe Heizleistung, kompakte Bauform



Anwendungsbeispiel:

- Elektrische Heizer für Automobile