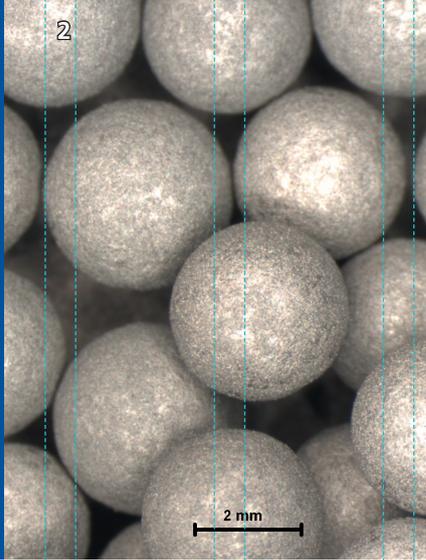
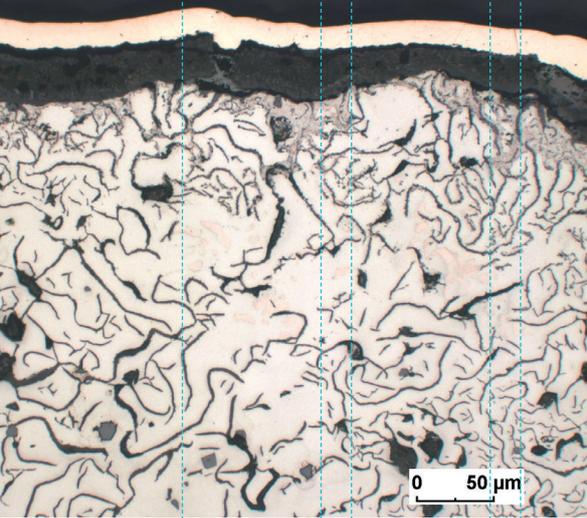




FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
UND ANGEWANDTE MATERIALFORSCHUNG IFAM  
INSTITUTSTEIL DRESDEN

# HOCHTEMPERATUROXIDATIONSSCHUTZ





## POLYMERABGELEITETE KERAMISCHE SCHICHTEN

Polymerabgeleitete keramische Materialien in den Systemen SiOC, Si(B)CN und SiC zeichnen sich durch eine hohe Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit aus. So sind zum Beispiel Materialien aus dem System Si(B)CN bis 1.400°C oxidationsbeständig. Auf Grund dieser Eigenschaften bieten sich derartige Materialien sehr gut für Beschichtungen für den Oxidationsschutz bei hohen Temperaturen an.

### Schichtmaterialien

Ausgangsstoffe für die Beschichtungen sind anorganische Polymere, wie Polysiloxane oder Polysilazane, die durch einen thermischen Prozess in anorganische Festkörper umgewandelt werden. Durch den Einsatz von Füllstoffen können die Schichteigenschaften gezielt beeinflusst werden

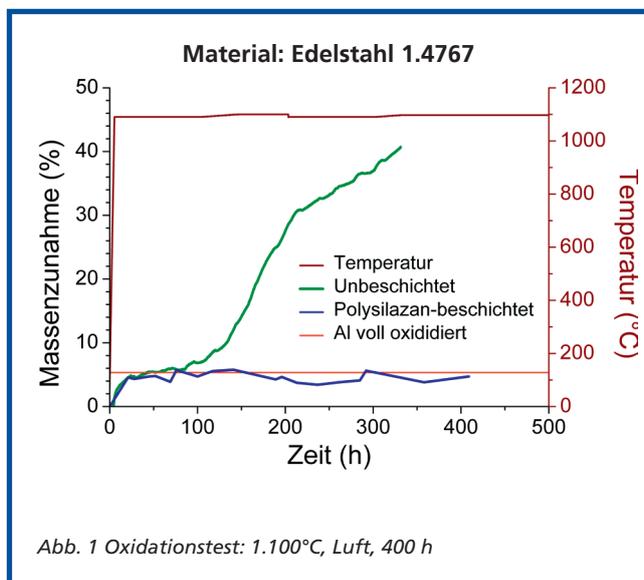


Abb. 1 Oxidationstest: 1.100°C, Luft, 400 h

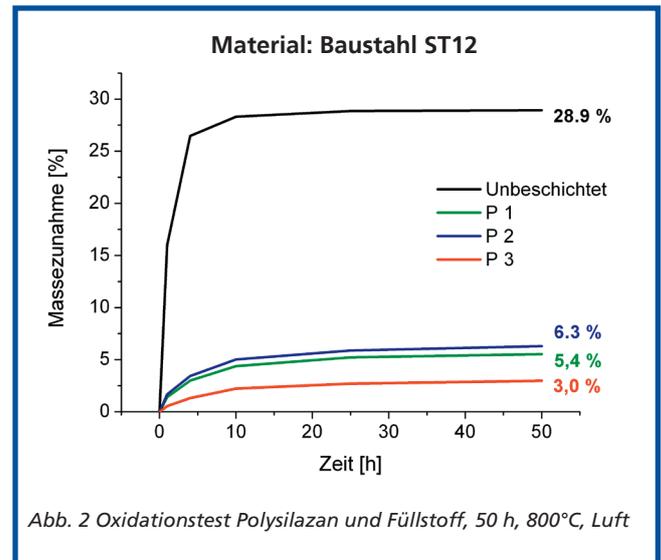


Abb. 2 Oxidationstest Polysilazan und Füllstoff, 50 h, 800°C, Luft

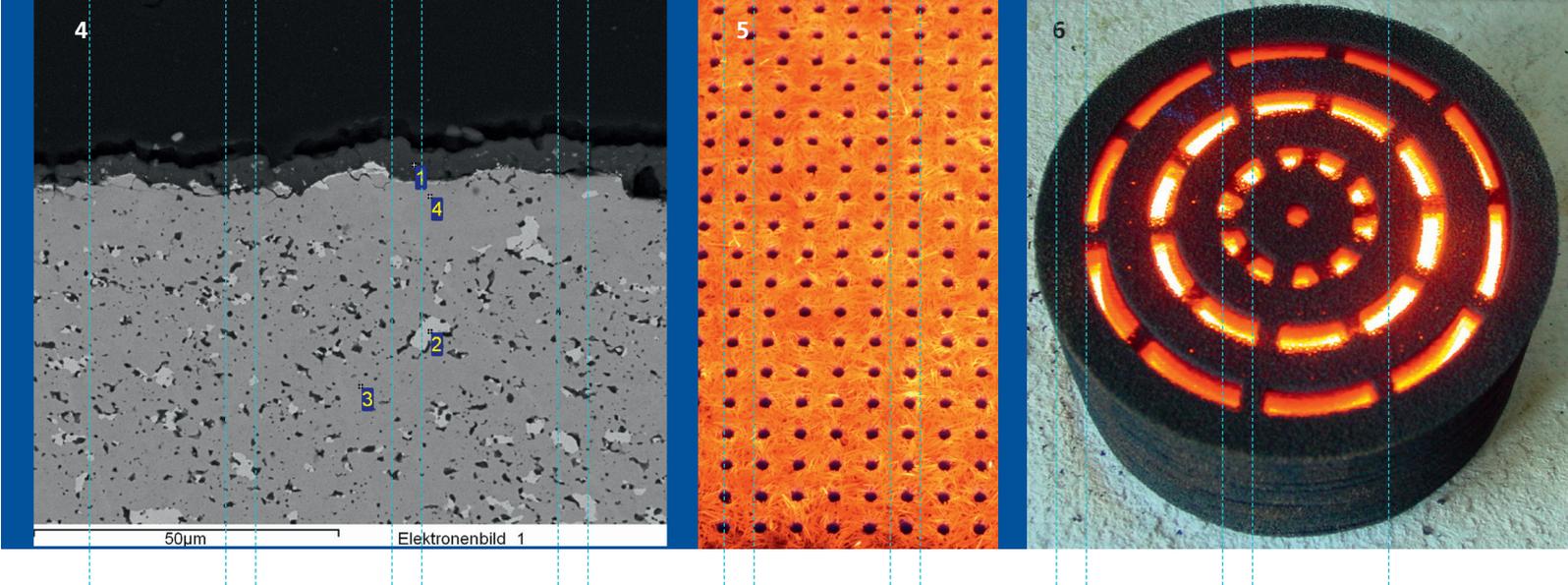
### Beschichtungstechnologie

Die Beschichtung erfolgt über Flüssigphasenbeschichtung wie Tauch- oder Sprühbeschichtung. Dabei werden die Bauteile zunächst mit Lösungen oder Suspensionen anorganischer Polymere beschichtet und der so gebildete Polymerfilm über eine Temperaturbehandlung unter Schutzgas oder Luft thermisch zersetzt und so in die Polymerkeramik überführt.

### Schichthaftung

Während der thermischen Behandlung kommt es zur Diffusion von Elementen aus der Schicht in das Substrat. Dabei bildet sich eine Zwischenschicht aus. Diese Zwischenschicht verringert zum Einen die Unterschiede im thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Schicht und Substrat, zum Anderen kommt es zur Ausbildung von direkten chemischen Bindungen zwischen Schicht und Substrat. Somit zeichnen sich derartige Beschichtungen durch eine sehr hohe Haftfestigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit, besonders im Vergleich mit physikalisch aufgetragenen keramischen Schichtsystemen, aus.

1 Gefüllte SiCN-Schicht für den Hochtemperaturoxidationsschutz von Baustahl (ST37),



## HOCHTEMPERATURKORROSIONSSCHUTZ DURCH SELBSTPASSIVIERUNG

Metallische Werkstoffe sind insbesondere bei erhöhter Temperatur korrosiven Belastungen durch die Einsatzatmosphären ausgesetzt. Dem Korrosionsschutz kommt demnach eine signifikante Bedeutung zu. Eine der Schutzmöglichkeiten ist die Ausbildung einer Passivierungsschicht durch den Werkstoff selbst. Für den Hochtemperaturbereich sind die Oxide von Chrom ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , bis ca.  $900^\circ\text{C}$ ), Aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , bis ca.  $1.500^\circ\text{C}$ ) und Silizium ( $\text{SiO}_2$ , bis ca.  $1.800^\circ\text{C}$ ) als Schutzschichten am besten geeignet.

Am Fraunhofer IFAM Dresden werden pulvermetallurgisch darstellbare Werkstoffe entwickelt, die über die Möglichkeit der Selbstpassivierung verfügen. Das bedeutet, dass diese Werkstoffe ausreichend hohe Mengen an Al / Cr / Si enthalten. Weiterhin werden Untersuchungen durchgeführt um den Werkstoff gezielt vorzuoxidieren, d.h. eine der o.g. Oxid-schichten vor dem Einsatz auszubilden. Dies ist insbesondere notwendig, wenn aufgrund der Atmosphäre oder Temperatur eine Selbstpassivierung im Einsatz nicht möglich ist.

### Werkstoffe

- Superlegierungen auf Ni- und Fe-Basis (z.B. Inconel, FeCrAl, ...)
- Refraktärmetall-basierte Legierungen (z.B.  $\text{MoSi}_2$ ,  $\text{WSi}_2$ , ...)

### Bauteilausführungen

- dichtes Halbzeug
- endbearbeitetes Bauteil
- hochporöse Struktur aus Hohlkugeln, Fasern oder als Schaumstruktur

### Entwicklungsangebot

- Werkstoffauswahl in Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen
- ggf. Modifikation der Zusammensetzung um die Korrosionsbeständigkeit zu verbessern
- Untersuchung der Oxidationskinetik (Kurzzeit- und Langzeittests)
- Entwicklung von Regimes (Temperatur, Zeit, Atmosphäre) für die Voroxidation

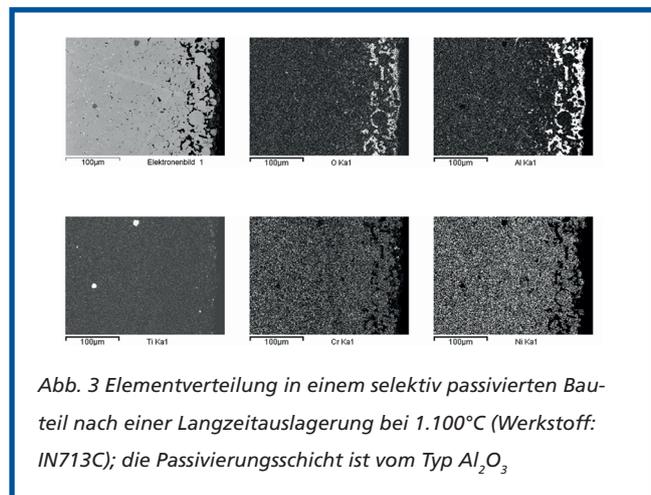


Abb. 3 Elementverteilung in einem selektiv passivierten Bauteil nach einer Langzeitauslagerung bei  $1.100^\circ\text{C}$  (Werkstoff: IN713C); die Passivierungsschicht ist vom Typ  $\text{Al}_2\text{O}_3$

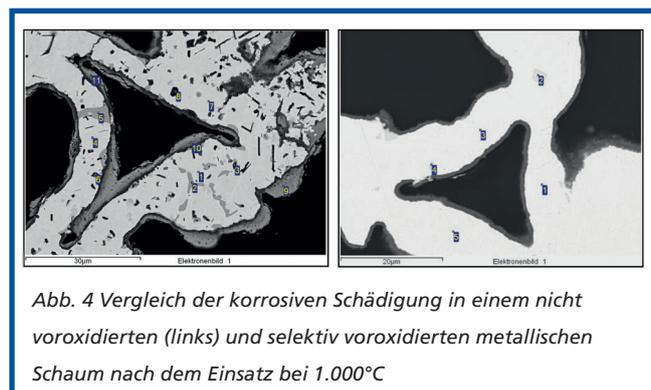
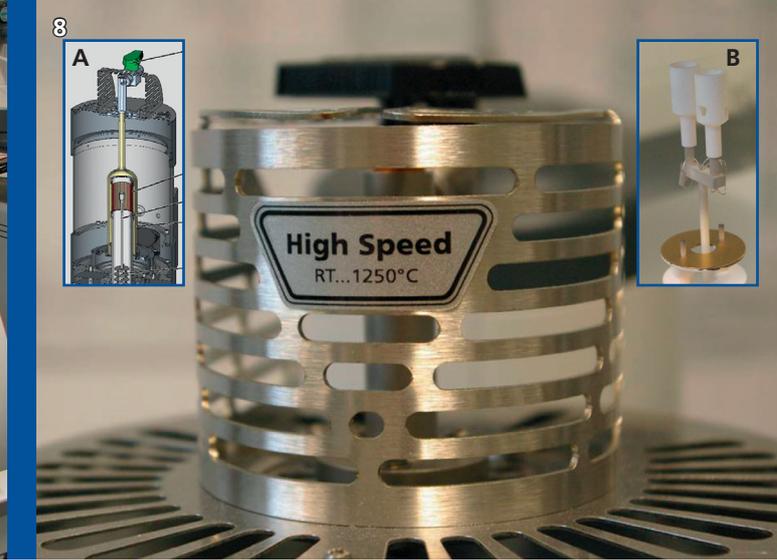


Abb. 4 Vergleich der korrosiven Schädigung in einem nicht voroxidierten (links) und selektiv voroxidierten metallischen Schaum nach dem Einsatz bei  $1.000^\circ\text{C}$



## UNTERSUCHUNGSMETHODIK: THERMOANALYSE ISOTHERM UND ZYKLISCH

### Simultan-Thermoanalyse koppelbar mit Massenspektrometer

Im Temperaturbereich von Raumtemperatur bis zu 1.550°C ist die Detektion von Wärmetönungen und Masseänderungen gekoppelt mit Massenspektroskopie möglich. Durch die Wahl der Atmosphäre (inert, oxidierend oder reduzierend) sind Phänomene wie Oxidation und Reduktion charakterisierbar. Entstehende im Gasstrom transportierte Bestandteile können während des Versuches mittels Massenspektrometer (Bild 9) detektiert werden.

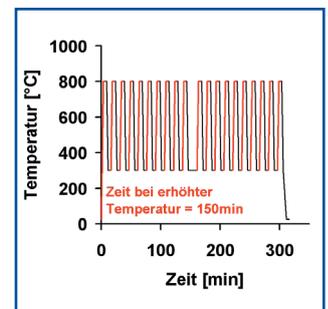
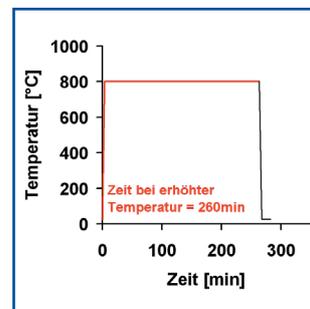
Mit der zur Verfügung stehenden Apparatur bestehend aus einer STA 449 F3 Jupiter (Bild 7) der Firma NETZSCH mit einem SiC-Ofen und einem High-Speed-Ofen (Bild 8 inlay A) können isotherme wie auch zyklische Untersuchungen durchgeführt werden. In Verbindung mit dem am Fraunhofer IFAM Dresden entwickelten gelochten Tiegel (Bild 8 inlay B) sind auf diese Weise die Reaktionen von Probe und Atmosphäre anwendungsnah mit Heizraten von bis zu 1.000 K/min zugänglich. Die Einflüsse von Probenvorbehandlung, Probenform (Bulk oder Pulver) und Durchflussrate können ebenso untersucht werden.



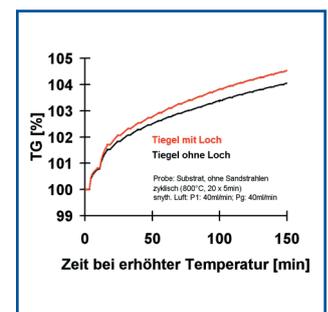
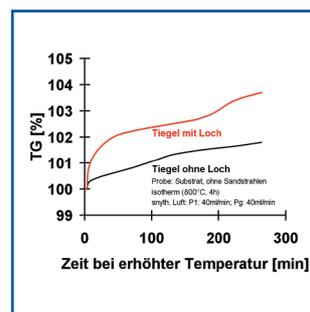
[www.ifam-dd.fraunhofer.de](http://www.ifam-dd.fraunhofer.de)

### Untersuchung am Substrat ST12

#### isotherm                      zyklisch Temperaturregime



#### Tiegelgeometrie



#### KONTAKT

#### Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM

Institutsteil Dresden  
Winterbergstraße 28 | 01277 Dresden



Dr. rer. nat. Ralf Hauser  
Ralf.Hauser@ifam-dd.fraunhofer.de  
Telefon: +49 351 2537 373



Dr. Dr. Chongliang Zhong  
Chongliang.Zhong@ifam-dd.fraunhofer.de  
Telefon: +49 351 2537 384



Dipl.-Ing. Thomas Hutsch  
Thomas.Hutsch@ifam-dd.fraunhofer.de  
Telefon: +49 351 2537 396