

4) Vermischtes

4.1 Wenn es richtig heiß ist – Keramik

- Dr. Kirsten Wilm
W. Haldenwanger Technische Keramik GmbH & Co. KG
Waldkraiburg

Die Folien finden Sie ab Seite 441.

4.1.1. Einleitung

Es werden die vielfältigen Anwendungen von Keramik bei hohen Temperaturen, wie z. B. als Tragrollen, Brennhilfsmittel oder Schutzrohre vorgestellt.

Durch steigendes Umweltbewusstsein und höhere Energiekosten wachsen die Anforderungen an die Keramik. Anhand von Beispielen aus der Praxis wird gezeigt, dass diese erfüllt werden können. Erstens durch spezielle Werkstoffentwicklungen und zweitens durch konstruktive Lösungen.

4.1.2. Materialauswahl

Die Grundlage für die Auswahl eines geeigneten Materials ist die Kenntnis über die geforderten Materialkenndaten. Darunter fallen die physikalischen, chemischen und thermischen Eigenschaften eines Werkstoffes.

Wichtig für den Anwender ist in erster Linie die Einsatztemperatur. Es wird zwischen dichter und poröser Keramik unterschieden. Der Vorteil bei porösen Bauteilen liegt meist in der höheren Temperaturwechselbeständigkeit. Der Nachteil liegt in einer geringeren Biegefestigkeit (Belastbarkeit).

Neben der Temperaturbeständigkeit sind noch weitere Eigenschaften der Keramik für einen erfolgreichen Einsatz von Bedeutung. Es gibt keinen Werkstoff, der universell einsetzbar ist. Verschiedene Keramiken können:

- Wärme isolieren oder leiten

- Gase trennen oder führen
- Flüssigkeiten trennen oder führen
- Festkörper trennen oder führen
- Vor Abrasion schützen
- Lasten tragen oder transportieren

Die Einsatzgebiete von Hochtemperaturwerkstoffen sind so vielseitig wie ihre Zusammensetzungen. Ob als Isolierrohrchen, Laborporzellan, Schutzrohre, Transportrollen (z.B. im Fliesenofen), Brennhilfsmittel, Schmelztiegel oder...

4.1.3. Tempern von Flachglas

Alle großformatigen Glasscheiben müssen heutzutage einer thermischen Nachbehandlung unterzogen werden (Einscheiben-Sicherheitsglas). Ziel dieses Prozesses ist es, durch die Wärmebehandlung und die anschließende Abschreckung Spannungen im Glas zu erzeugen, so dass bei Zerstörung keine scharfen Splitter entstehen. Die Scheibe muss, ähnlich dem Verbund-Sicherheitsglas, in viele kleine ungefährliche Partikel zerfallen.

Für das Tempern von Flachglas werden Rollenöfen verwendet. Der Transport der Glasscheiben durch den Ofen erfolgt mittels ortsfester, rotierender Rollen. Die Glasscheiben werden direkt (also ohne Unterlagen) auf die Transportrollen gelegt. Die Durchlaufzeit kann über die Umdrehungsgeschwindigkeit der Rollen geregelt werden.

Wegen der Empfindlichkeit der Glasoberfläche bei der Temperatortemperatur muss die Oberfläche der zum Einsatz kommenden keramischen Rollen sehr glatt und frei von kleinsten Erhebungen sein. Die Durchbiegung und die Rundlaufgenauigkeit sind ebenfalls sehr wichtige Faktoren.

Als Rollenwerkstoff, welcher auch eine gute Temperaturwechselbeständigkeit (TWB) besitzen muss, wird meistens Quarzglas verwendet. Die Einsatztemperatur von Quarzglasrollen ist auf 1.000 °C beschränkt. Für das Tempern von Flachglas ist diese Temperatur ausreichend. Entscheidend für den Einsatz ist die Oberflächengüte und die geringen Wechselwirkungen mit dem Material, um Reaktionen während des Tempervorganges zu vermeiden. Quarzglasrollen be-

sitzen so gut wie keine thermische Ausdehnung und haben dadurch eine sehr gute TWB.

Beanspruchungen

Temperatur

Um die Beanspruchungen einschätzen und ein Material auswählen zu können, sind Informationen über die maximale Einsatztemperatur und die Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit notwendig. Welchen Temperaturschocks (Delta-Temperatur und Zeitraum) die Keramik ausgesetzt wird und wie vielen Aufheiz- und Abkühlvorgängen sie standhalten soll, stellen ebenfalls Beanspruchungen dar. Des Weiteren haben die Haltezeit und die Art des Wärmeübergangs einen Einfluss auf die Lebensdauer des Werkstoffes.

Atmosphäre

Die im Ofen vorherrschende Atmosphäre ist mitentscheidend für die Überlebensdauer der eingesetzten Keramik. Wichtige Punkte hierbei sind ob es sich um eine oxidierende oder reduzierende Atmosphäre handelt, wie diese zusammengesetzt ist und welche korrosiven Bestandteile enthalten sind.

Mechanische Belastung

Wichtig für die Auslegung eines Bauteils ist festzustellen, ob eine Druck-, Biege-, Schlag-, Zug- oder Torsionsbelastung vorliegt. Ebenso ist zu klären, ob das Material abriebfest sein sollte.

Eine weitere Rolle spielt der Belastungszustand. Es wird unterschieden zwischen Punkt- und Flächenlast, zwischen vertikalen und horizontalen Einbau (Schutzrohr für Thermoelemente) und über die Positionierung der Last.

Werden verschiedene Materialien in einem Bauteil kombiniert, so kann es zu ungewollten mechanischen Belastungen durch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten der einzelnen Materialien kommen.

Brenntechnologie

Durch steigende Energiekosten befindet sich die Brenntechnologie im stetigen Wandel. Um die Effektivität der Öfen zu steigern, also Brennkosten zu senken, wurden neue Öfen mit kürzeren Durchlaufzeiten entwickelt. Der kalt/kalt Zyklus in einem Tunnelofen beträgt knapp

40 h, in einem Kammerofen etwas über 20 h und in einem Rollenofen nur noch 2 h. Inzwischen gibt es Rollenöfen für die Herstellung von Fliesen die einen kalt/kalt Zyklus von nur 32 min haben. Mit 5 Öfen werden jeden Tag 120.000 m³ Fliesen hergestellt.

4.1.4. Anforderungen an keramische Tragrollen

Allgemein lassen sich die Anforderungen an keramische Tragrollen im Industrieofenbau folgendermaßen zusammenfassen:

- Einsatz bei Temperaturen von 600 °C bis 1.650 °C
- homogenes Gefüge des Materials
- Abmessungsgenauigkeit
- thermomechanische Belastbarkeit
- gute Temperaturwechselbeständigkeit
- chemische Beständigkeit
- Oberflächengüte

Neue Technologien, aber auch Kostendruck und Preiskampf, stellen wachsende Anforderungen an Werkstoffe und Bauteile. Dadurch steigen auch die Anforderungen, die an technische Keramiken gestellt werden.

4.1.5. Materialauswahl für Rollenöfen

Rollenöfen werden für die verschiedensten Brenngüter verwendet. Je nach Brenngut wird eine entsprechende Einsatztemperatur mit unterschiedlichen Lasten und Lastweiten verlangt.

Um für jedes Brenngut den idealen Rollenwerkstoff zu verwenden, werden stets neue Rollenwerkstoffe entwickelt:

Corundum Mullite Rollen zeichnen sich aus durch eine gute TWB und geringe Kriechneigung bei Temperaturen bis 1.550 °C.

Corundum Zirconia Rollen besitzen eine hohe chemische Resistenz, die einen Einsatz in Metallhärteöfen ermöglicht. Ein direkter Kontakt zu Na₂O-haltigen Schmelzen ist möglich. Grundsätzlich gilt für oxidische Rohre, dass mit steigender Last die Rotationsgeschwindigkeit erhöht werden sollte, um ein Durchbiegen der Rollen zu vermeiden.

Corundum Zirconia Mullite (CZM) Rollen haben eine sehr hohe TWB.

Sie werden in Hochtemperaturöfen eingesetzt. Durch die hohe TWB ist es sogar möglich, die Rollen während des Ofenbetriebes im heißen Zustand zu wechseln. Das heißt die Ofentemperatur muss nicht gesenkt werden und der Ofen abgekühlt werden, somit wird Zeit und Energie gespart. Weiterhin haben die CMZ-Rollen eine geringe Korrosionsneigung bei max. Anwendungstemperaturen von 1.600 °C.

4.1.6. Weitere Anwendungen

Brennhilfsmittel

Brennhilfsmittel, wie z. B. Tellerständer, halten etwa 3.000 Brennzyklen stand, bevor sie ausgetauscht werden müssen und das bei Einsatztemperaturen von 1.400 °C und einem kalt/kalt Zyklus von 5-7 h.

Keramische Tragrohre

Zum Bau von Öfen mit freiliegenden Heizleiterwendeln werden so genannte Tragrohre benötigt. Hierfür werden keramische Rohre, die hauptsächlich aus einer mullitischen Phase bestehen, eingesetzt. Beim Einsatz von Aluminiumoxid-Keramiken wird eine größere Tragfähigkeit und größerer Stützweite erreicht. Diese Rohre sind gasdicht und haben eine hohe chemische Beständigkeit.

4.1.7. Abmessungen und Toleranzen

Wie Metalle können auch Keramiken in den verschiedensten Abmessungen angefertigt werden. Im Gegensatz zu der Herstellung von Metallen erfolgt bei der Keramik die Formgebung vor dem Erhitzen. Während des Brennens schwindet das Material auf das Endmaß. Eine Nachbearbeitung ist möglich, aber sehr kostenintensiv. Schwankungen in den Abmessungen sind nicht nur durch den Fertigungsprozess möglich, sondern auch dadurch, dass Keramik aus natürlichen Rohstoffen besteht. Um enge Toleranzen einhalten zu können, werden höchste Anforderungen an den Herstellprozess, die Trocknung und die Brenntechnik gestellt. Für verschiedene Abmessungen von sehr klein (z. B.: Außendurchmesser = 0,5 mm, Innendurchmesser = 0,15 mm) bis sehr groß (z.B.: AD = 330 mm, ID = 310 mm) ist der Herstellprozess, die Trocknung und die Brenntechnik individu-

ell anzupassen.

Die Oberflächengüte ist abhängig vom Material und einer eventuellen Endbearbeitung. Quarzgutrollen werden vor dem Einsatz im Glas-Temperofen geschliffen, um die erforderliche Oberflächenrauigkeit von $R_a \sim 2\mu\text{m}$ zu erzielen.

4.1.8. Balken und Profilträger aus SiC

Balken und Profilträger aus SiC werden vorzugsweise zum ein- und mehretagigen Brennen großformatiger keramischer Bauteile bis zu Temperaturen von $1.350\text{ }^\circ\text{C}$ (z.B. für Sanitärkeramik, Hochspannungsisolatoren, Ziegelsteine, großformatiges Steingut oder Steinzeug, etc.), oder bis zu Temperaturen von $1.650\text{ }^\circ\text{C}$ eingesetzt (z. B. Porzellanindustrie, Technische Keramik, etc.).

Hohlprofilträger können in verschiedenen Querschnitten und in Längen bis zu 3.800 mm hergestellt werden. Sie werden als hoch belastete Einzelträger, in Systembauweise als Brennwagenaufbauten oder als Tragkonstruktion im Ofen- und Anlagebau verwendet. Aufgrund der erreichbaren Spannweiten und der vergleichsweise geringen erforderliche Querschnitte ermöglichen sie eine Optimierung des nutzbaren Setzvolumens im Ofen. Da die Masse der aufzuheizenden Brennhilfsmittel geringer ist, wird eine Energieeinsparung erreicht.

4.1.9. Brennhilfsmittel (Aufhängung) im Deckenförderofen (DFO)

Um die keramischen Rollen kostengünstig herstellen zu können, wurde ein Ofen entwickelt, in dem die Rohre an eine Deckenkonstruktion gehängt und so in den Ofen eingefahren werden. Hierdurch wird eine optimale Ausnutzung des Ofenraumes erzielt und der Einsatz von Brennhilfsmitteln auf ein Minimum reduziert. Der so genannte Deckenförderofen (DFO) hat bei einem Volumen von 85 m^3 eine Brenngut-Tonnage von bis zu 18 t ! Die maximale Brenntemperatur liegt bei $1.600\text{ }^\circ\text{C}$ und der Brennzyklus kalt/kalt ist kleiner 72 h .

Die Aufhängung aus rekristallisiertem und dotiertem Siliciumcarbid hat neben der für SiC Werkstoffe typischen Eigenschaften wie hohe Formstabilität, sehr gute TWB (aufgrund geringer Wärmeausdehnung und hoher Wärmeleitfähigkeit), sehr hohe Verschleißfestigkeit, extrem hohe Korrosionsbeständigkeit und geringem spezifischem Gewicht,

eine sehr gute Oxidationsbeständigkeit und kann bis zu Temperaturen von 1.650 °C eingesetzt werden.

Damit ist dieser Werkstoff in der Lage, den enormen Zugbelastungen von 18 Tonnen (2.500 Rollen) und bei gleichzeitiger Belastung durch Wärmespannungen (im Ofen 1.600 °C und außerhalb der Ofenausmauerung ca. Raumtemperatur) standzuhalten, obwohl die Aufhängung nur ein Bruchteil von dem wiegt was es trägt.

4.1.10. Schlussbetrachtung

Technische Keramiken lassen sich vielseitig und sehr erfolgreich bei hohen Temperaturen einsetzen. Spezielle Anforderungen können durch Werkstoffentwicklungen und konstruktive Lösungen erfüllt werden.

Die Voraussetzung für einen Kosten-Nutzen-optimierten Einsatz von Keramik ist die enge partnerschaftliche Zusammenarbeit von Keramikhersteller und Anlagenbauer bzw. Anlagenbetreiber.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 20) finden sich auf den folgenden Seiten.

Wenn es richtig heiß ist

Keramik

Dr. Kirsten Wilm

W. Haldenwanger Technische Keramik GmbH & Co. KG
Waldkraiburg

Anwendungstemperaturen



Dichte Werkstoffe		
Aluminiumoxid	Mullit	Siliciumcarbid
1.700 °C	1.400 °C	1.350 – 1.600 °C
		Zirkonoxid
		1.000 – 2.000 °C
Poröse Werkstoffe		
Aluminiumoxid	Mullit	Siliciumcarbid
1.700 °C	1.400 °C	Quarzgut
		1.600 – 2.000 °C
		1.000 °C

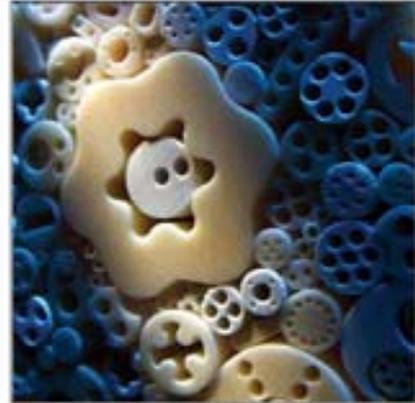
4.1 Wenn es richtig heiß ist - Folie 2

Eigenschaften



Was die Keramik bzw. das Bauteil alles kann

- ✓ Wärme isolieren oder leiten
- ✓ Gase trennen oder führen
- ✓ Flüssigkeiten trennen oder führen
- ✓ Festkörper trennen oder führen
- ✓ Vor Abrasion schützen
- ✓ Lasten tragen oder transportieren





4.1 Wenn es richtig heiß ist - Folie 4

Quarzgut-Rollenofen – Tempern von Flachglas



4.1 Wenn es richtig heiß ist - Folie 5

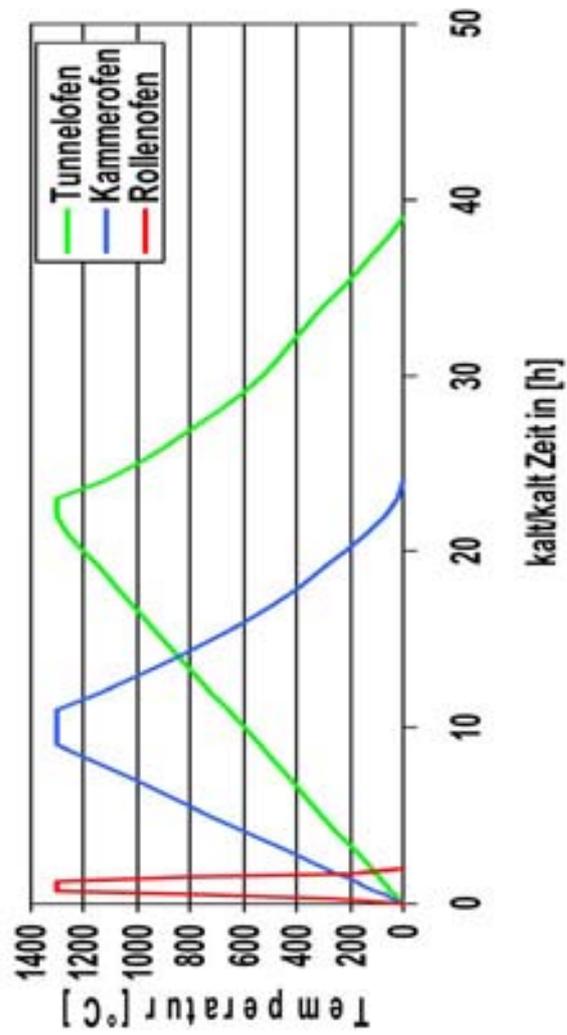
Beanspruchung / Belastung

- Beanspruchung
 - Temperatur
 - Maximum, Haltezeit, Zyklendauer
 - Atmosphäre
 - Oxidierend/reduzierend, Zusammensetzung, Korrosive Bestandteile

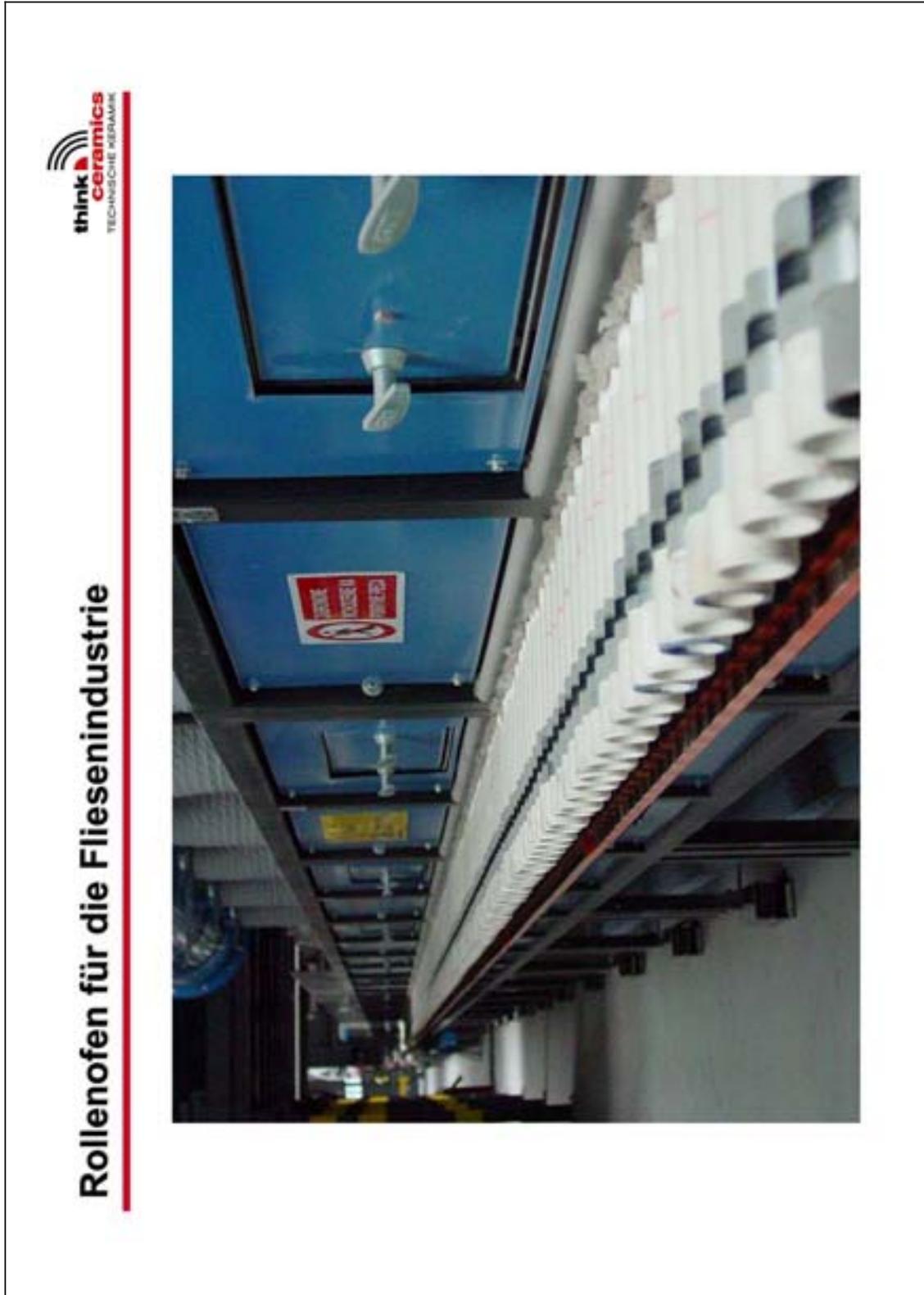
- Belastung
 - Mechanische
 - Druck, Zug, Biegung, Torsion, Schlag, Abrieb
 - Belastungszustand
 - Punkt-, Streckenlast, Lastpositionierung, vertikaler oder horizontaler Einbau

Brenntechnologie

- Steigende Effektivität
 - Reduzierung der Durchlaufzeiten (Schnellbrand)
 - Niedrigere Energiekosten
 - Niedrigere Betriebskosten (Rationalisierung)



Vermischtes



4.1 Wenn es richtig heiß ist - Folie 8

Anforderungen an keramische Tragrollen

- Einsatz bei Temperaturen von 600 – 1.650 °C
- homogenes Gefüge
- Abmessungsgenauigkeit
- thermomechanische Belastbarkeit
- gute Temperaturwechselbeständigkeit
- chemische Beständigkeit
- Oberflächengüte

think ceramics
TECHNISCHE KERAMIK

Beispiel: Materialauswahl für Rollenöfen



The image shows four ceramic rollers of different colors (white, yellow, black) arranged diagonally against a dark background. The rollers are cylindrical and appear to be made of a smooth, polished material. The white roller is at the top left, followed by a yellow one, and then two black ones at the bottom right. The lighting highlights the smooth surface and the circular ends of the rollers.

4.1 Wenn es richtig heiß ist - Folie 10

Rollenwerkstoffe (neue Entwicklungen)

Corundum Mullite (CM):

Gute TWB, geringe Kriechneigung bei Temperaturen bis 1.550°C

Corundum Zirconia (CZ):

Hohe chemische Resistenz

⇒ Einsatz in Metallhärteöfen,

direkter Kontakt zu Na₂O-haltigen Schmelzen möglich;

Rotationsgeschwindigkeit muss mit steigender Last erhöht werden

Corundum Zirconia Mullite (CZM):

sehr hohe TWB

⇒ Einsatz in Hochtemperaturöfen,

Heißrollenwechsel möglich;

geringe Korrosion bei max. Anwendungstemperatur von 1.600°C

Brennhilfsmittel / Brenngestelle

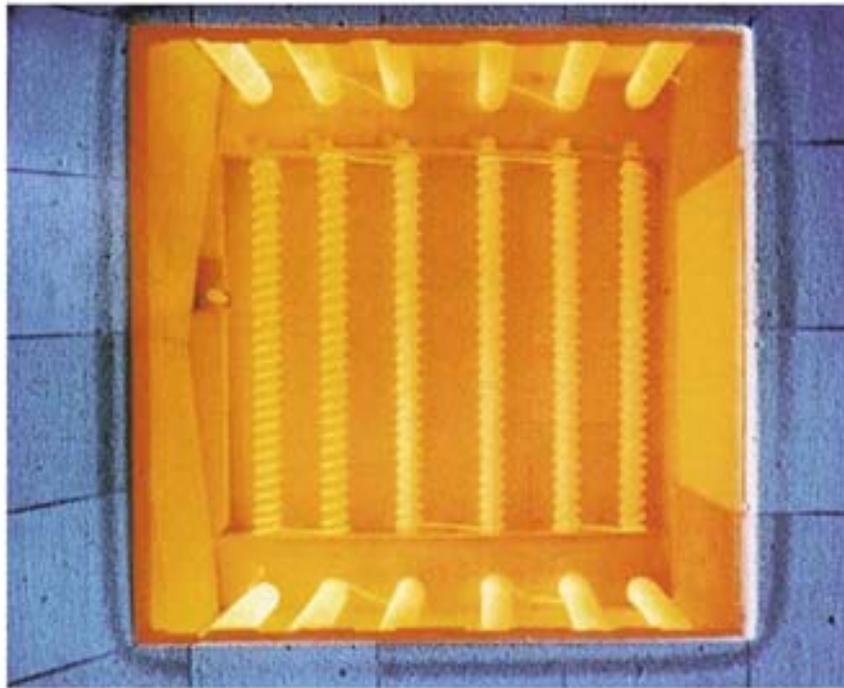
think ceramics
TECHNISCHE KERAMIK

3000 Brennzyklen
Bei 1400 °C, kalt/kalt 5-7 h

A photograph of an industrial ceramic firing facility. The scene shows a long, narrow aisle with multiple rows of metal racks on both sides. Each rack is filled with numerous small, white ceramic components, likely turbine parts, arranged in neat rows. The racks are supported by a complex metal structure with red safety railings. In the background, there are large industrial pipes and machinery, suggesting a high-temperature environment. The lighting is bright and even, highlighting the clean and organized nature of the facility.

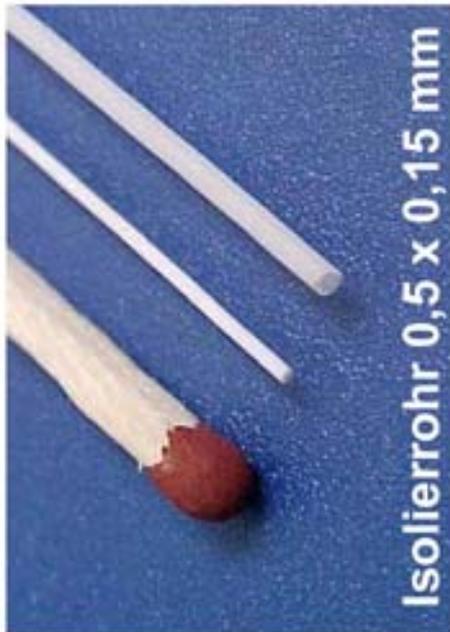
4.1 Wenn es richtig heiß ist - Folie 12

Keramische Tragrohre mit Heizleiterwendeln



4.1 Wenn es richtig heiß ist - Folie 13

Abmessungen



Höchste Anforderung an
Herstellprozess,
Trocknung und Brenntechnik



Keramische Schutzrohre

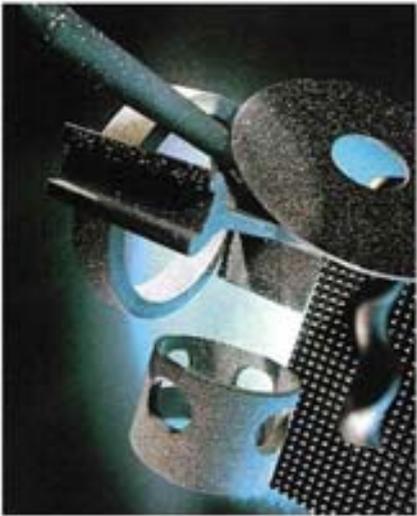


4.1 Wenn es richtig heiß ist - Folie 15

Vermischtes

think ceramics
TECHNISCHE KERAMIK

SiC Werkstoffe Produktpalette



The image displays a comprehensive product palette of Silicon Carbide (SiC) ceramic components. The top section shows a variety of parts including rods, tubes, and specialized components. The bottom left shows a close-up of a perforated cylindrical part and a textured cylindrical part. The bottom right shows a close-up of a large pipe or tube with a flange end.

4.1 Wenn es richtig heiß ist - Folie 16



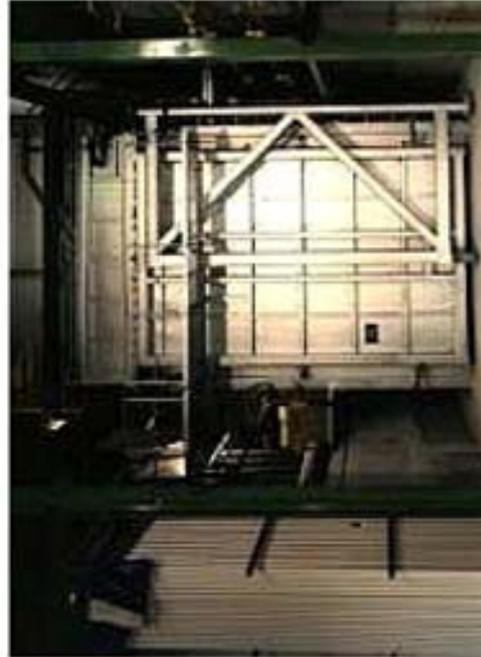
SISIC Balken

4.1 Wenn es richtig heiß ist - Folie 17

Beispiel: Brennhilfsmittel – Aufhängung

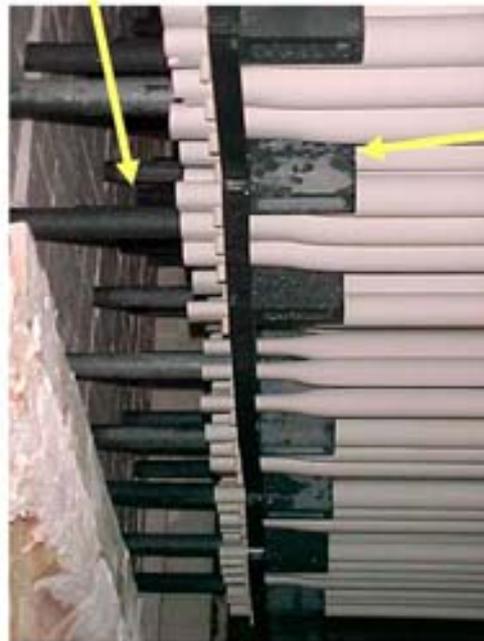


Deckenförderofen



Volumen: 85 m³
Brenngut-Tonnage: 16-18 t
entspricht 1.700 – 2.500 Rollen
T_{max}: 1.600°C
Kalt-kalt: < 72 h

Konstruktive Lösungen – Halsic RX BHM



Halsic RX Aufhängung

Zugbelastung
oben ca. RT
unten bis zu 1.600°C



Halsic RX Querträger

Schlussbetrachtung



Technische Keramiken lassen sich **vielseitig** und **sehr erfolgreich** bei hohen **Temperaturen** einsetzen.

Steigende Anforderungen können erfüllt werden durch **Werkstoffentwicklungen**, und **konstruktive Lösungen**.

Die Voraussetzung für einen **Kosten-Nutzen-optimierten Einsatz** von Keramik ist die enge **partnerschaftliche Zusammenarbeit** von **Keramikerhersteller** und **Anlagenbauer** bzw. **Anlagenbetreiber**.