

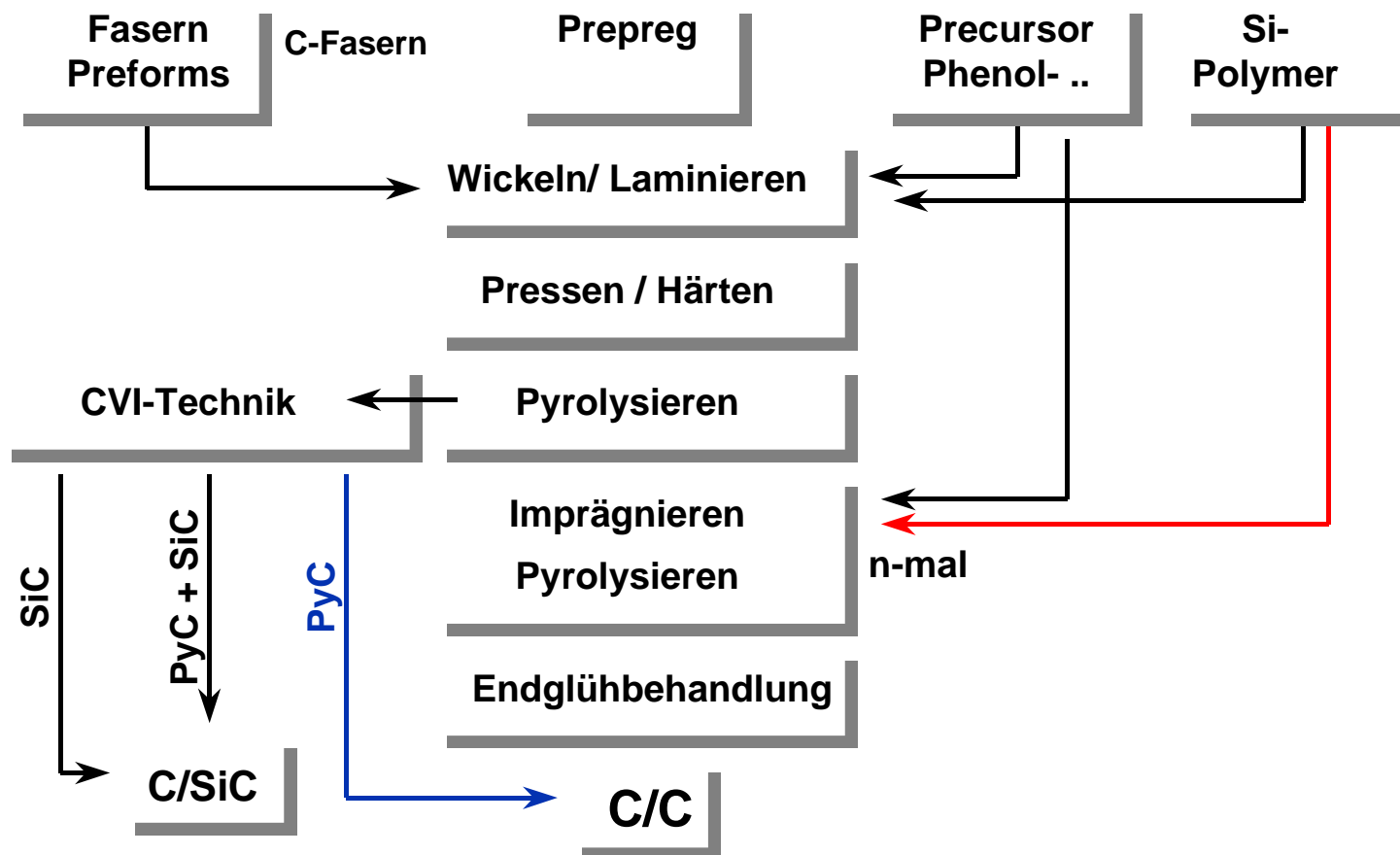


Hochtemperaturleichtbauwerkstoffe und Bauteile für effiziente Hochtemperaturprozesse

R. Weiss – Schunk Kohlenstofftechnik GmbH

- **Einleitung**
- **Typische Ofenbauteile**
- **Effizientere Prozesse durch Leichtbau**

HERSTELLUNG VON C/C-WERKSTOFFEN



Einfluss der Verstärkungskomponenten im Verbundwerkstoff

Faser

dominiert:

Steifigkeit
Festigkeit

anisotrope
C-Fasern

kleine α -Werte:
 $-3 \times 10^{-6} /K$ bis
 $+1 \times 10^{-6} /K$

Matrix

Funktion:

Formgebung, Einbringen der Kräfte in das Bauteil
und Verteilung innerhalb

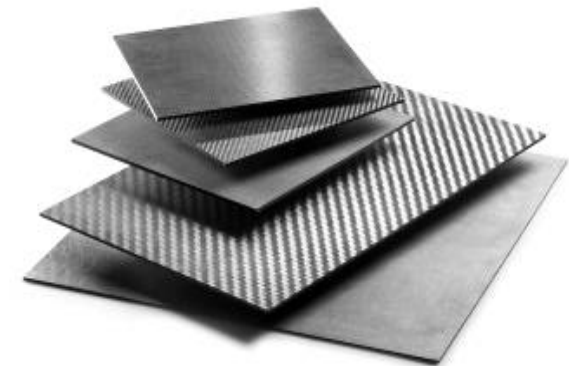
bestimmt:

chemische Eigenschaften
thermische Beständigkeit
Scher- und Bruchverhalten,
phys. Eigenschaften (z. B. „ α “) in z-Richtung

C-Faser-Verbundwerkstoffe:

Anisotrop, Schichtaufbau mit 2D-Verstärkung in x/y-Richtung

- hohe Schadenstoleranz, pseudo-plastisches Bruchverhalten
- geringe Dichte (0,15 - 1,8 g/cm³)
- geringer thermischer Ausdehnungskoeffizient ($-0,1 \times 10^{-6}$ - $4,5 \times 10^{-6}$ 1/K)
- keine Versprödung bei hohen Temperaturen über die gesamte Lebensdauer
- hohe Thermoschockbeständigkeit
- kein Verzug unter thermozyklischer Belastung
- gute Kriechfestigkeit bis hin zu hohen Temperaturen
- gute chemische Beständigkeit
- einstellbare elektrische und chemische Eigenschaften
- über 400 °C Reaktion mit Sauerstoff
- einsetzbar bei Temperaturen bis zu ca. 2800 °C unter Vakuum oder Inertgas



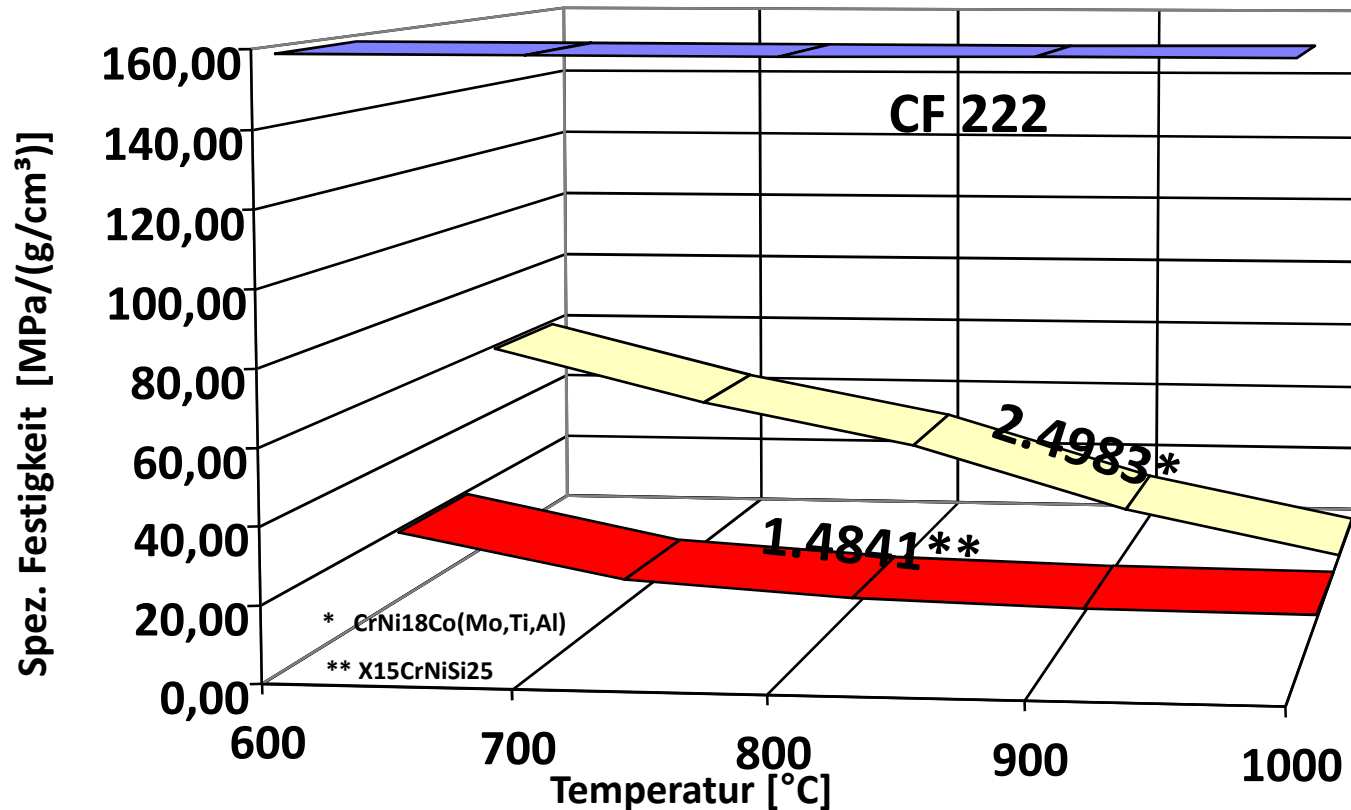
Einstellbare Eigenschaftsprofile

Festigkeiten:	50 MPa	bis > 800 MPa
Steifigkeiten:	80 GPa	bis > 500 GPa
Wärmeleitfähigkeiten:	<1 W/mK	bis > 500 W/mK
Spezifischer Widerstand:	3 $\mu\Omega\text{m}$	bis > 50 $\mu\Omega\text{m}$
CTE:	-3 x 10⁻⁶ K⁻¹	bis 5 x 10⁻⁶ K⁻¹

Achtung: Eigenschaften teilweise gegenläufig

FEM-Auslegung komplexer Bauteile

- hohe Festigkeit und Steifigkeit
- kaum Verlust bei mechanischen Eigenschaften auch bei hohen Temperaturen



Vergleich von CFC und Stahl bei hohen Temperaturen

Typische Ofenbauteile

Bauteilanforderungen: - Leichtbau (Minimierung der Totmasse)

- Zuverlässig
- Möglichst lange Lebensdauer (ca. 10 Jahre)
- Korrosionsbeständig
abhängig vom Medium: H₂ oder SiO
- Hohe thermische Stabilität
- Keine Erosion
- Minimierung von korrosiv empfindlichen Oberflächen
- Einfache Bauweisen
- Monolithische Bauweisen (Minimierung von Einzelkomponenten)
- Großformatige Bauteile

Typische Ofenbauteile

- Heizer
- thermische Isolationen
- Wandauskleidungen
- Lüfter
- Tragstrukturen im Ofen



Thermische Ofenisolationen

Weichfilze

- Niedrigste WLF 0,1 W/mK
 - Flexibel, an komplexe Strukturen adaptierbar
 - Leicht zu schneiden
 - Leicht zu reparieren
 - Kostengünstig
- Staub- und Partikelbildung
- Nicht selbsttragend
- Höherer Einbauaufwand
- Kürzere Lebensdauer im Vergleich zu Hartfilzplatten

Hartfilzplatten

Langfaserplatten (FU2914)

- Gut bearbeitbar
 - Hohe Druckfestigkeit
 - Geringe Staubbildung
 - Bessere chemische Beständigkeit
- Höhere WLF
- Höhere Preise

Kurzfaserplatten (FU4561)

- Schlechtere Bearbeitbarkeit
- Höhere Staubbildung

Modifikationen

- Folienbeschichtung
- CFC-Beschichtung
- Graphitbeschichtung (Graphite Paint)



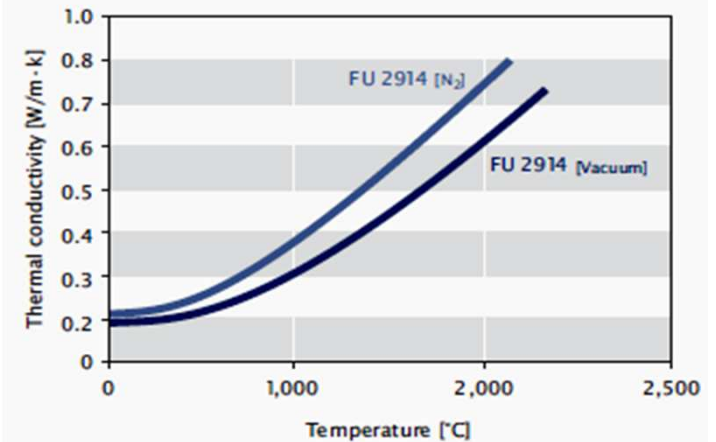
Bulk density	(g/cm ³)	0.22
Bending strength	(MPa)	2.2
Compressive strength	(MPa)	0.1
Coefficient of thermal expansion	(10 ⁻⁶ /K)	2.5
Thermal conductivity	(W/mK)	
1000 °C, (1830 °F)		0,30
1500 °C, (2730 °F)		0.45
2000 °C, (3630 °F)		0,60
Ash	(ppm)	500

Material Data FU2914

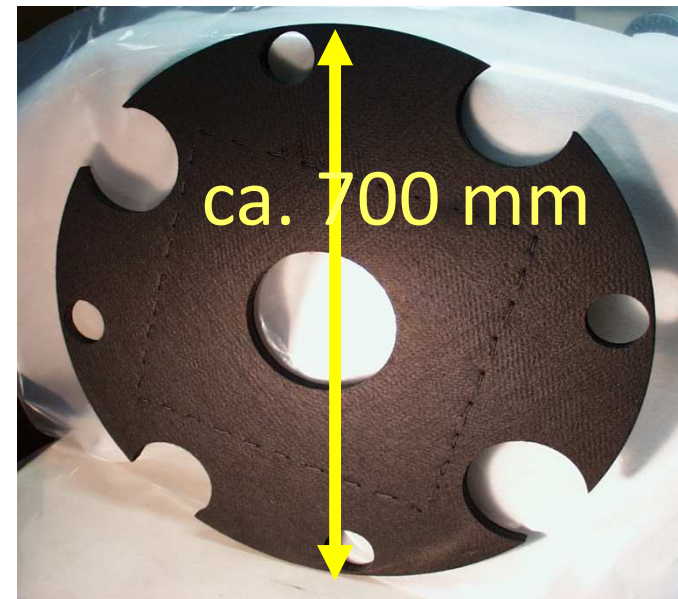
Bulk density	(g/cm ³)	0.17
Flexural strength	(MPa)	1.0
Compressive strength	(MPa)	0.2
Specific electrical resistance	(μΩm)	
in z-direction		4000
in x/y-direction		500
Thermal conductivity	(W/mK)	
1000 °C (1830 °F)		0.24
1500 °C (2730 °F)		0.33
2000 °C (3630 °F)		0.44
Ash	(ppm)	300 – 800

Material Data FU4561

Thermal Conductivity – FU 2914



Filz basierte Isolationen via CVI Mixed-Matrix-Systeme: PyC/SiC



Vorteile:

- hochrein
- geringe Reaktivität in O_2 , SiO und H_2
- minimaler „Particle Release“

2 Different Grades Available:

OxaTherm® C150:

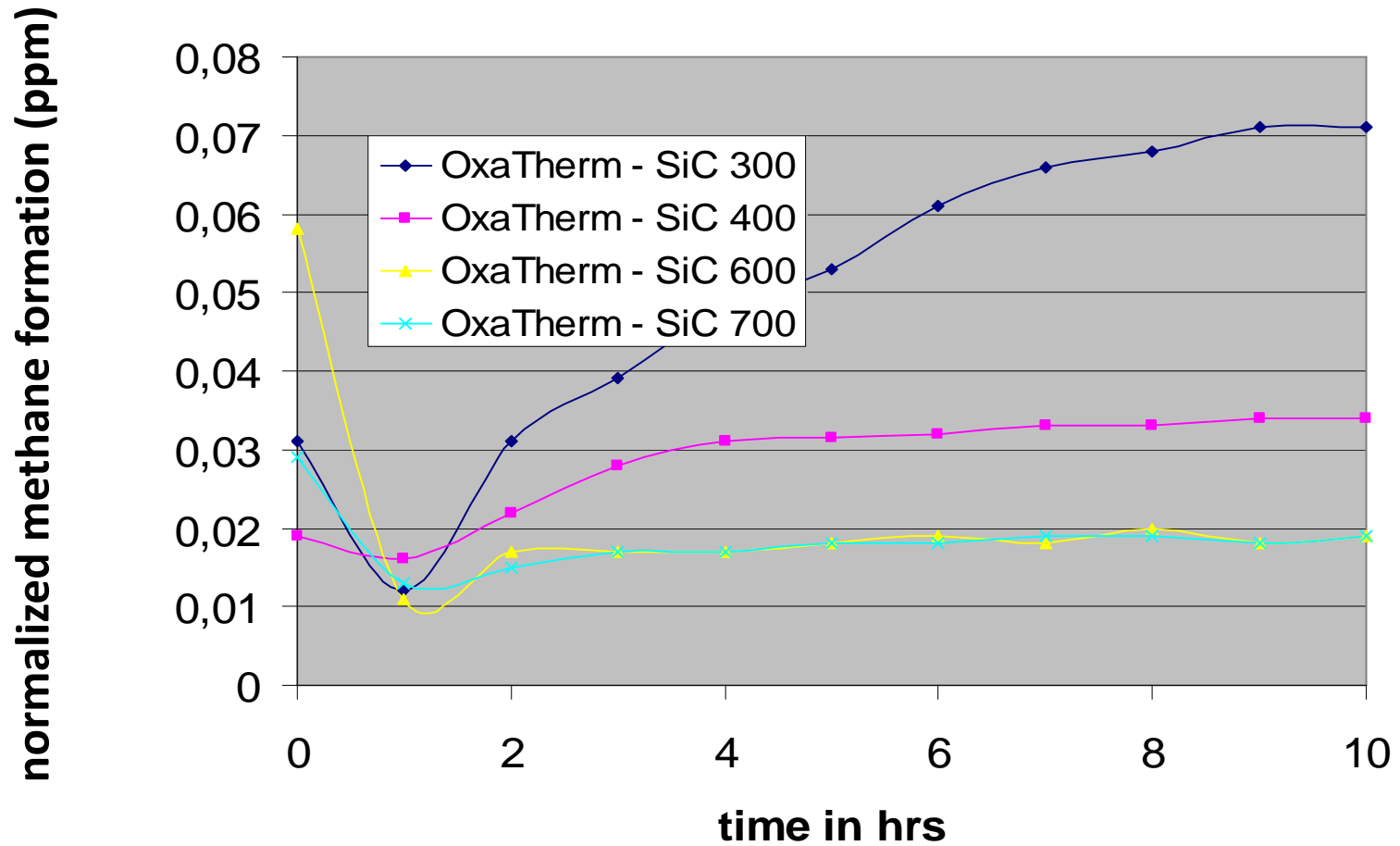
- all carbon material
- density 0.15 g/cm³

OxaTherm® SiC300:

- SiC-modified insulation
- highest chemical stability against O₂, H₂, SiO and Si vapour
- especially developed for polysilicon converter applications
- extreme long lifetime > 40, 000 h
- density 0.3 g/cm³



Methanisation (normalized in comparison to carbon/carbon hardfelt =1)



Monolithische Bauweisen



Sandwich Isolation:

↪ gewickeltes Innenrohr

↪ Weichfilz mit Graphit-
folien als Zwischenlage

↪ gewickeltes Außenrohr

↪

Anwendung:

Isolation für Polysilizium-
industrie

Ipsen VFC 924 – Full reline & graphite heater set (Before reline)



Oberflächenbeschichtung der Isolation erodiert ,
Schädigung der Hartfilzisolation.

Tür-Isolation weg- bzw anerodiert. Ursache
Beschädigungen beim Beschicken der Anlage bzw
durch ungeeignete Durchführungen von
Thermoelementen.

Stark angegriffene Graphitheizelemente Graphitträger.

Beschädigte Türisolation führt zu starken
Wärmeverlusten und zu Beschädigungen der
Metallstruktur.

Erosion der Hartfilzplatten und locale Schäden
resultieren in inhomogenen Temperaturverteilungen,
hohen Wärmeverlusten und teilweise Schädigungen
des Metallgehäuses.



Ipsen VFC 924

Nach "Relining" komplett mit Graphitheizelementen und Graphittragstruktur

Hartfilzplatten mit 2mm dicker Graphitfolie

C/C-Profile im Tür- und Gaseinlaßbereich

C/C-Streifen an allen Fügstellen der Hartfilzplatten (Minimierung Korrosion)



Nahezu vollständige Verhinderung von Korrosion

“Patent Pending”

DE 10 2014 208 108

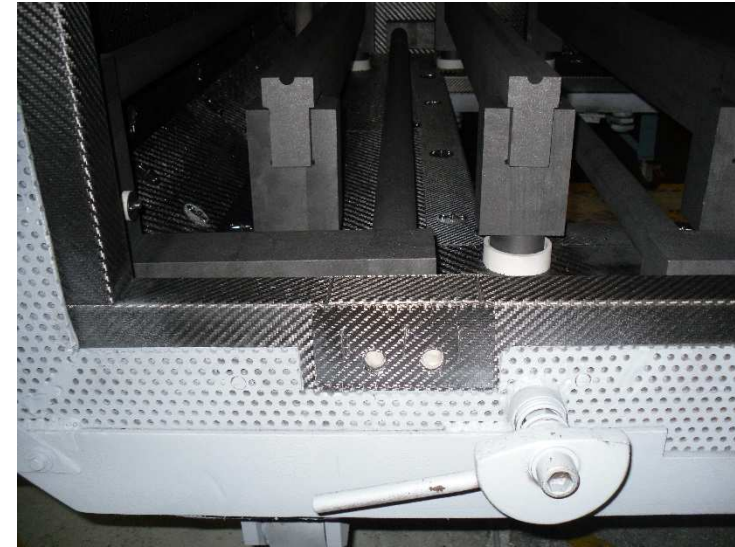
Doppel-L-Profil

Note the C/C fixings and 2.4mm C/C hot face.

Lebensdauerverbesserungen durch optimierte Designlösungen



The gas inlet aperture on this Consarc furnace was originally round, and protected by graphite collars. After a short period of time the graphite collars broke leaving exposed edges of insulation which eroded very quickly. The round aperture was changed to 12 flat sides, which allowed C/C channel profiles to be fitted, increasing hot zone lifespan by 3 years.



To prevent damage to the door aperture insulation by trailing load thermocouples on this Ipsen furnace, a replaceable C/C plug with ceramic flutes was introduced.

Patent Pending: **“Durchführöffnung”** DE 10 2014 208 110

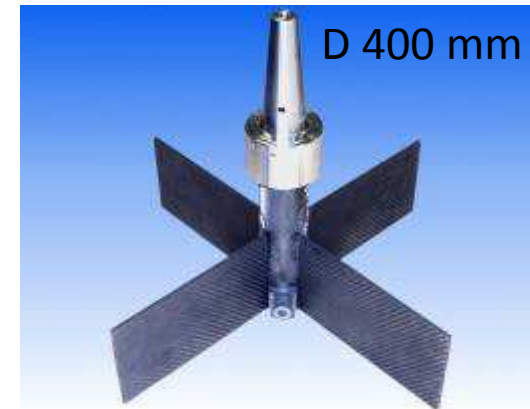
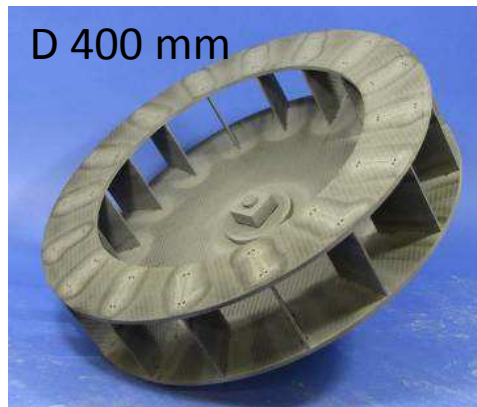
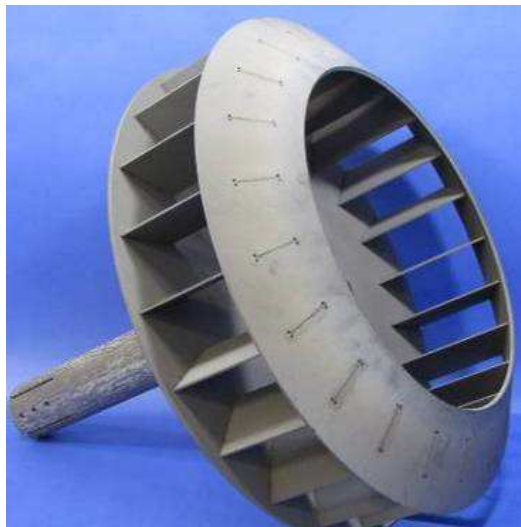
CFC-Lüftervariante im Betrieb bei SKT

- 2400 Umdrehungen pro Minute bei 1100 °C
- ca. 20.000 m³/h Fördervolumen (bei 2400 U/Min., Durchm. 600 mm)
- Gewicht ca. 5 kg (Bsp. Durchmesser 600 mm)
- 100 % mehr Umwälzleistung bei 1100 °C als Stahllüfter
- effektivere Prozesse möglich
- kein Kriechen, keine Verformung im Betrieb
- stoffschlüssige Fügetechnik erlaubt Verzicht auf Schrauben
- Anbindung an Stahl oder an CFC-Welle möglich

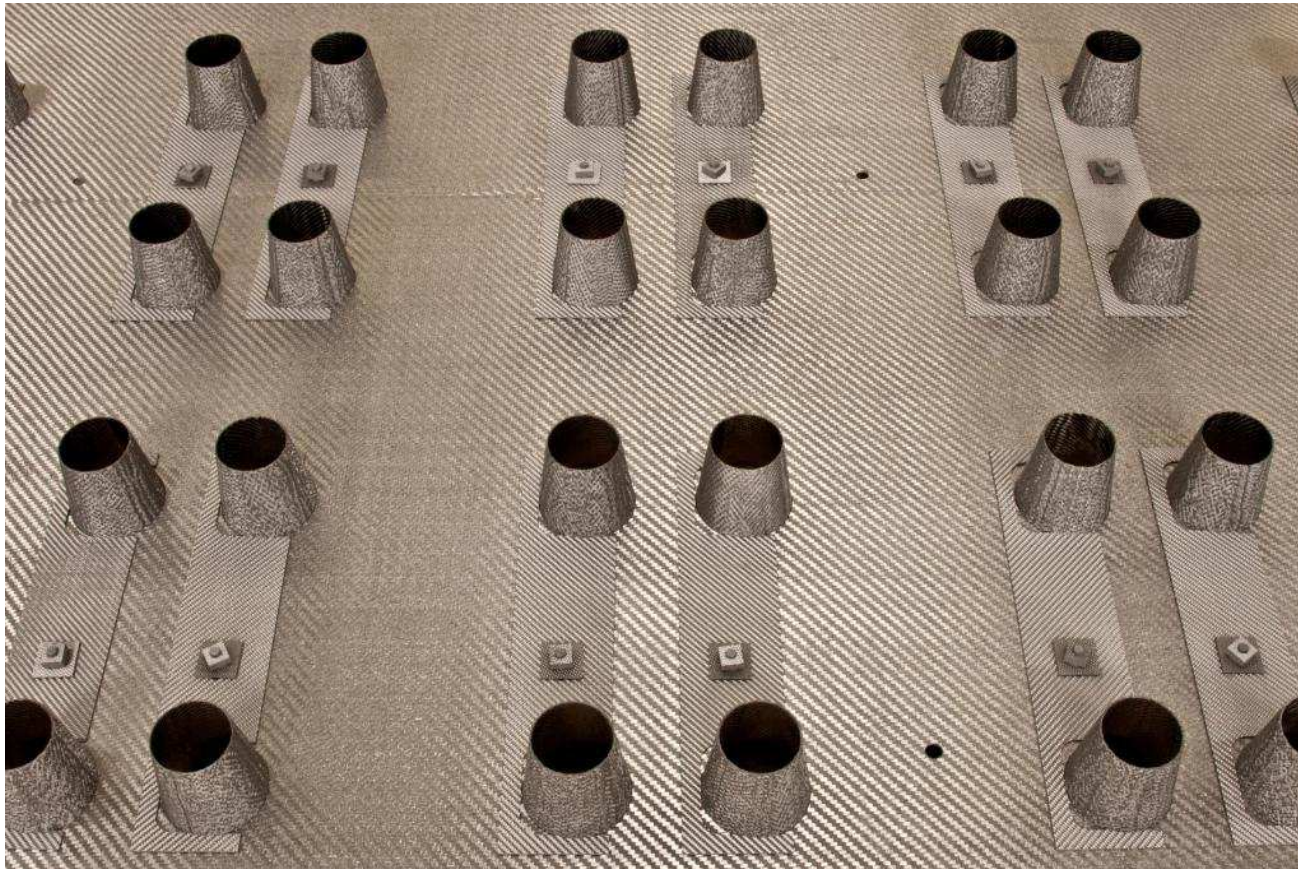


Unter welchen Bedingungen können CFC-Ventilatoren eingesetzt werden?

- Schutzgase Stickstoff und Argon
- Gemische aus Wasserstoff und Stickstoff (Z. B. 10 % H₂, 90 % N₂) möglich, je nach Taupunkt
- Temperaturen bis 1600 °C, ggf. auch höher, je nach Atmosphäre...
- Durchmesser bis zu ca. 1500 mm
- Diverse Ausführungen herstellbar



Furnace Wall Equipped With Gas Distribution Devices



Optimization of the furnace design for best heat transfer

Carbon/Carbon Chargenträger für Wärmebehandlung von Metallen

Vorteile

- Hohe Steifigkeit; kein Kriechen
- Automatisierbarkeit
- Geringe Masse/ geringe Wärmekapazität
- Energie- und zeitsparend
hohe Anlagenverfügbarkeit
- ROI innerhalb 12 - 24 Monaten

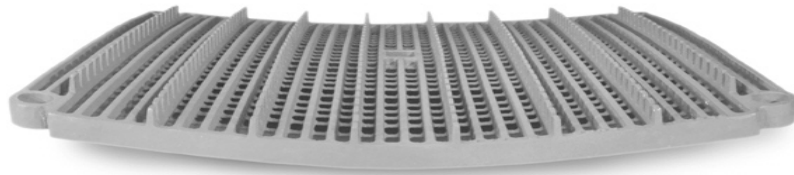
Grenzen

- Carburierung > 1000
- Kontaktkorrosion
- Methanisierung

**Maximale
Anwendungstemp.:
1200°C/1250°C**

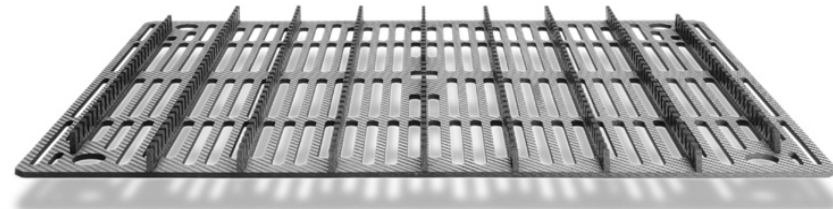
Carbon/Carbon Chargenträger für Wärmebehandlung von Metallen

Konventioneller Gusseisen-Gitterrost
Verzug durch thermische Belastung



Gesamtgewicht: 30 kg
Verzug nach 9 Monaten
Betriebsdauer

C/C-Chargenträger nach 10 Jahren im
Betrieb ohne Verzug

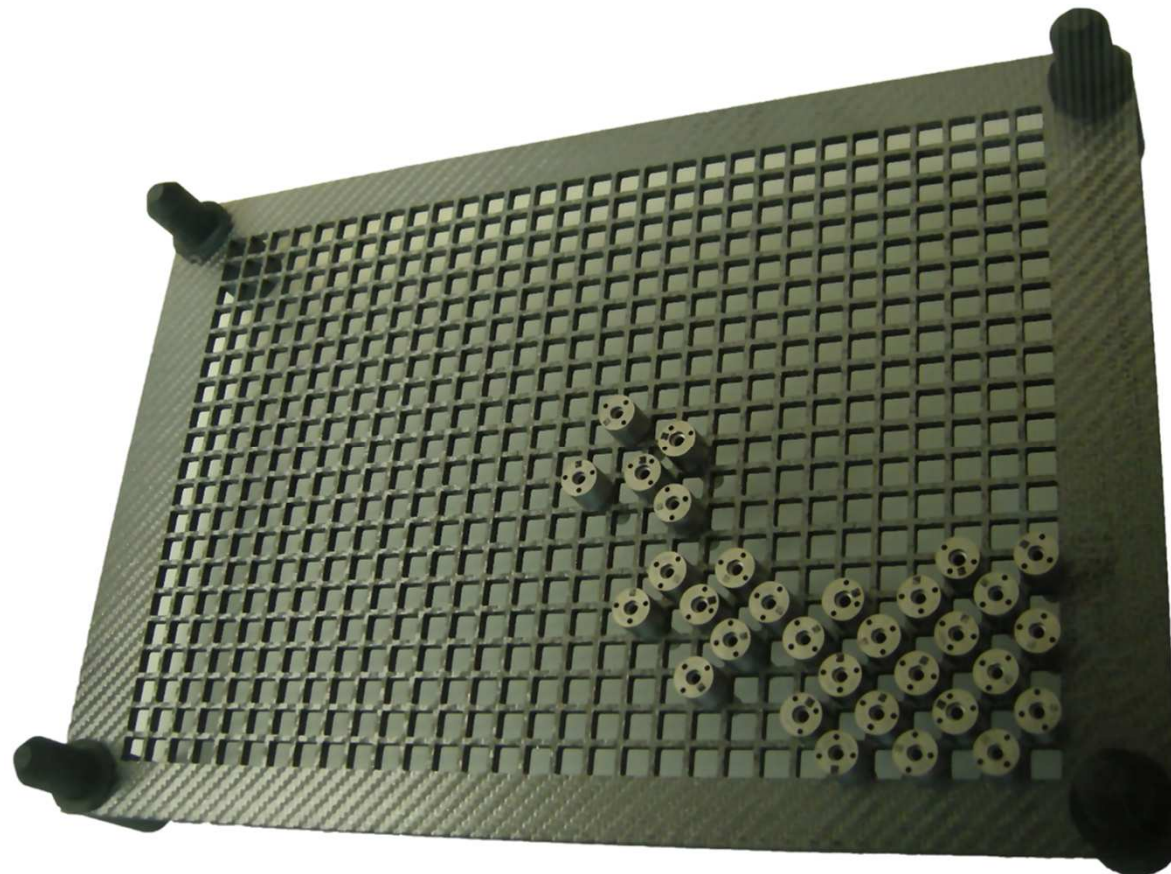


Abmessungen: 900 x 600 x 4
Gesamtgewicht: 2 kg
Beladung: 20 kg



History

2006 - First order of fixtures for injector
nozzles of diesel injection system





16 Trays on a base grid 947 x 613 x 50 mm³
(37.28 x 24.13 x 1.97 in³)





Customized Trays for Injector Nozzles

Since 2011

**2006 First order (still in service)
World-wide recommended by customer**

Advantages:

- **Lower energy consumption**
- **Long service life time**
- **Increase of capacity**
- **Use of roboting systems**
- **Return of investment within 1 year**

Total numbers of trays 894

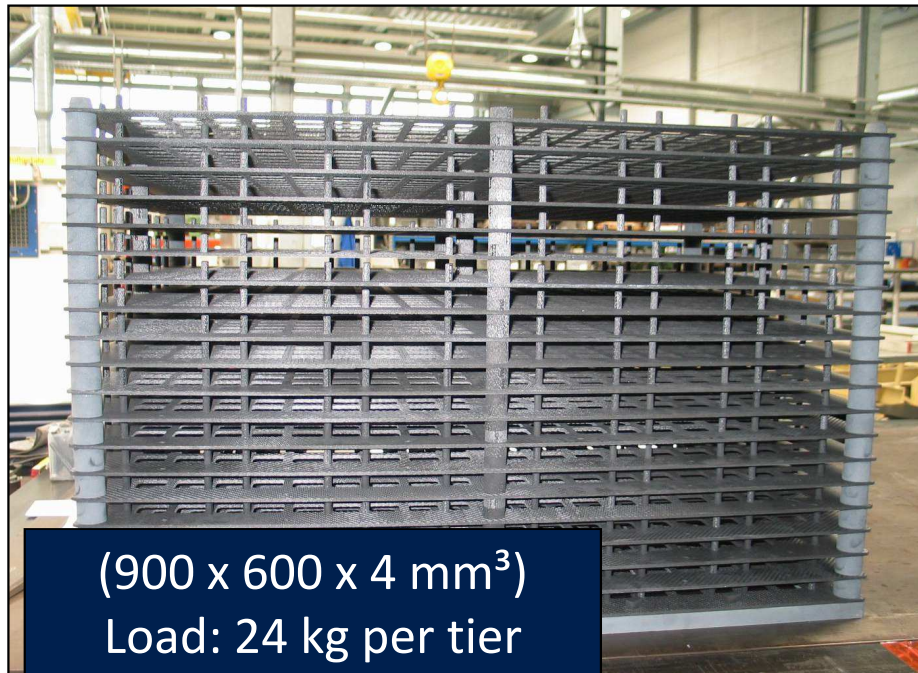


Mechanical Tailoring

20 tiers fixture for LPC / HPGQ treatment of synchronizer rings for shift gears

LPC: Low Pressure Carburizing
HPGQ: High Pressure Gas Quenching

Load per tier: 800 kg
Total load capacity:
8 x 800 kg = 6,400 kg



(900 x 600 x 4 mm³)
Load: 24 kg per tier



Dimensions:
2000 x 1200 x 70 mm³



Mechanically and thermally loaded parts
Crucibles for crystal pulling (CZ)

*Cost effectiveness
improves with increasing diameter*

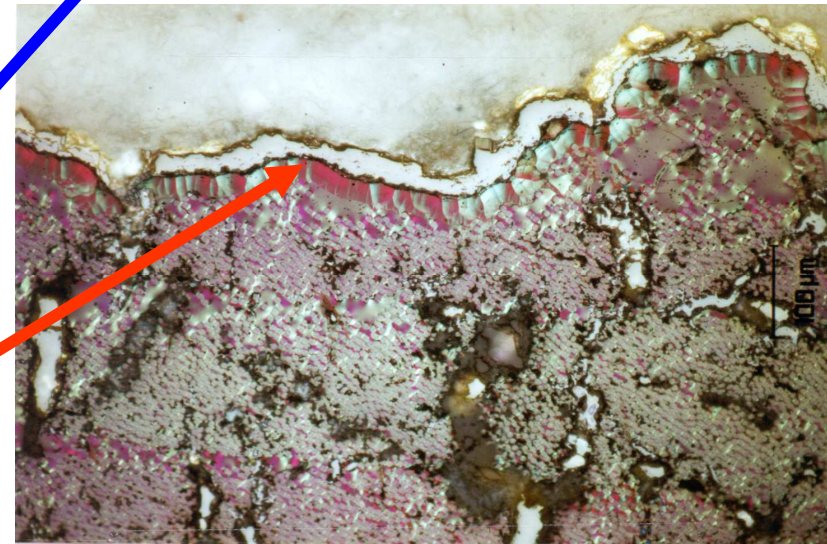
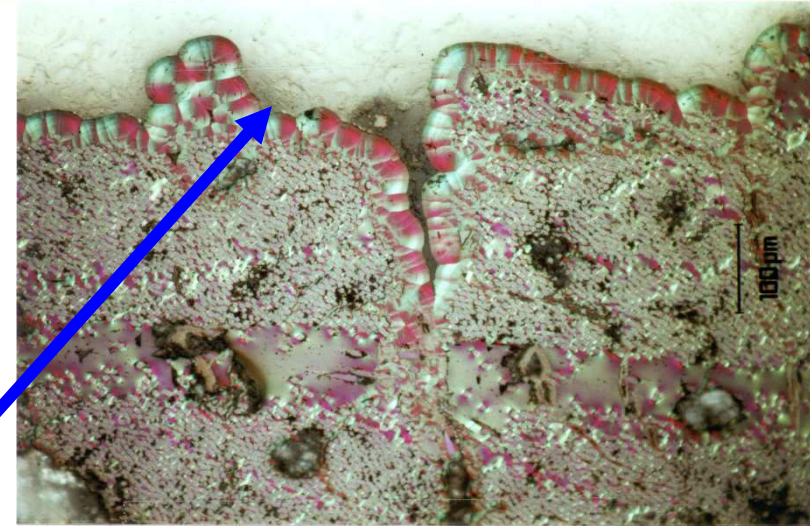


- sizes up to \varnothing 36 inch (\varnothing 910 mm)
- maximum load up to 500 kg
- temperatures up to 1700 °C
- wall thickness up to 10 mm
- min. number of processing cycles: 100



Used Crucible

Combined CVI/CVD protection



- Excellent corrosion resistance
- Self protection by formation of a dense SiC-layer

Schlussfolgerungen:

- Anforderungen für Industrielle Anwendungen

1. Kostenreduzierung für den thermischen Prozess

2. Customized Solution: Design

Lebensdauer

Performance

3. Preform Techniken um Bearbeitung und Verschnitt zu vermeiden bzw. zu minimieren

4. Monolithische Bauweisen um Aufbau und Handling zu vereinfachen