

**FRAUNHOFER-ZENTRUM
FÜR HOCHTEMPERATUR-LEICHTBAU HTL**





 **Fraunhofer**
ISC

INHALT

FRAUNHOFER-ZENTRUM FÜR HOCHTEMPERATUR-LEICHTBAU HTL

4 FRAUNHOFER-ZENTRUM HTL IM PROFIL

6 HOCHTEMPERATURWERKSTOFFE

7 KERAMISCHE FASERN UND MATRICES

8 TEXTILE FASERVERARBEITUNG

9 CMC-BAUTEILE

10 WÄRMESPROZESSE

11 CHARAKTERISIERUNG

11 OFENANLAGEN FÜR VERSUCHSBRÄNDE

KONTAKT UND ANFAHRT



FRAUNHOFER-ZENTRUM HTL IM PROFIL

HOHE TEMPERATUREN – EFFIZIENTE LÖSUNGEN

Das Fraunhofer-Zentrum HTL entwickelt Materialien und Komponenten sowie Mess- und Simulationsverfahren für den Einsatz bei hohen Temperaturen. Wichtige Anwendungen liegen in der Energie-, Antriebs- und Wärmetechnik.

Das HTL ist in vier Arbeitsgruppen organisiert: Verbundwerkstoff-Technologie, Polymerkeramik, Hochtemperatur-Design und Metall-Keramik-Komposite. Es hat an den beiden Standorten Bayreuth und Würzburg derzeit etwa 70 Mitarbeiter. Über 2000 m² hochwertige Labor- und Technikumsflächen mit modernster Geräteausstattung stehen für Entwicklungsprojekte und FuE-Dienstleistungen zur Verfügung. Zusätzlich verfügt das HTL über ein Anwendungszentrum für Textile Faserkeramiken am Standort Münchberg, das aus einer Kooperation zwischen Fraunhofer und der Hochschule Hof hervorgegangen ist.

Forschungsschwerpunkt des HTL ist die Verbesserung der Qualität sowie der Material- und Energieeffizienz von industriellen Wärmeprozessen. Bisher werden in Deutschland mehr als 10 % der Primärenergie für industrielle Wärmebehandlungen verbraucht. Es besteht ein erhebliches Verbesserungspotential für Kosten- und Energieeinsparungen sowie für Qualitätssteigerungen.



Das Fraunhofer-Zentrum HTL ist nach ISO 9001:2008 zertifiziert

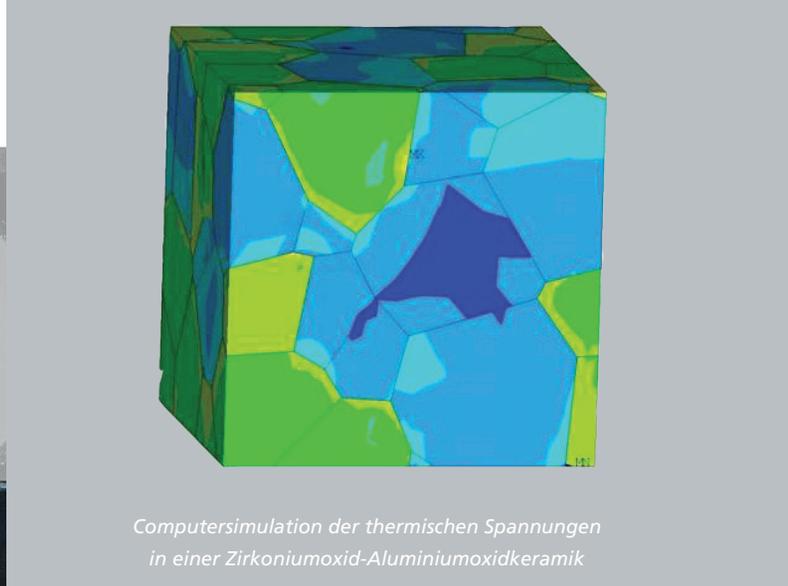
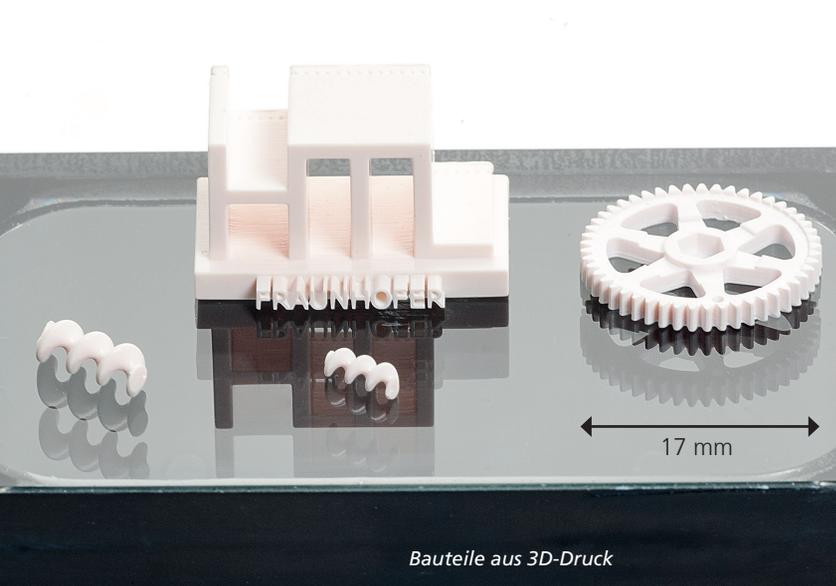
Zu diesem Forschungsschwerpunkt tragen folgende Arbeitsgebiete des HTL bei:

- Optimierung von Wärmebehandlungsprozessen bei der Werkstoffherstellung
- CMC-Komponenten für Gasturbinen
- Keramikfaserentwicklung für Hochtemperaturisolationen
- Design von Brennhilfsmitteln und Hochtemperaturkomponenten
- Entwicklung von Hochtemperaturmessverfahren

Am Fraunhofer-Zentrum HTL werden keramische und metallische Bauteile sowie Komposite in einer geschlossenen Prozesskette vom Bauteilentwurf über das Materialdesign bis zur Fertigung im Technikumsmaßstab entwickelt. Technologischer Schwerpunkt ist die Herstellung von Leichtbauteilen aus Ceramic Matrix Composites CMC; aber auch 3D-Druckverfahren stehen für die Herstellung von Metall- und Keramikbauteilen mit komplexen Geometrien zur Verfügung.

Am Beginn der Herstellkette von CMC stehen Keramikfasern. Oxid- und Nichtoxidkeramikfasern werden am Fraunhofer-Zentrum HTL entwickelt und im Technikumsmaßstab von der Precursor-Synthese über den Spinnprozess bis zur Pyrolyse und Beschichtung der Filamente hergestellt. Die Fasern werden mit textilen Verarbeitungstechniken zu Preformen weiterverarbeitet, in eine Matrix eingebettet und in einem thermischen Prozess zu CMC-Bauteilen gefertigt.

Zur Prüfung von Hochtemperaturmaterialien und zur Optimierung ihrer Herstellprozesse werden am Fraunhofer-Zentrum HTL Thermooptische Messöfen (TOM) entwickelt. Sie werden z. B. zur Optimierung von Entbinderungs- und Sinterprozessen eingesetzt. Materialien und Bauteile können zudem mit unterschiedlichen zerstörungsfreien und mechanischen sowie thermischen Prüfverfahren charakterisiert werden. Zur Auslegung von Materialien, Bauteilen und Prozessen stehen zahlreiche Computerprogramme zur Verfügung – von In-House-Software über Materialdatenbanken bis hin zu kommerziell verfügbaren Finite Elemente Simulationstools.



HOCHTEMPERATURWERKSTOFFE

KOMPETENZEN

Das Fraunhofer-Zentrum HTL verfügt über die gesamte Herstellkette, um technische Keramiken zu entwickeln. Von der Versatzaufbereitung über die Formgebung und Wärmebehandlung bis zur Endbearbeitung können Oxid- und Nichtoxid- sowie Silicatkeramiken hergestellt werden. Ebenso werden metall-keramische Verbundwerkstoffe, Kohlenstoff- und Metallkomponenten gefertigt. Eine Besonderheit sind additive Fertigungsverfahren. Diese können sowohl schlickerbasiert als auch mit Pulverbettverfahren realisiert werden. Auf diese Weise können keramische, metallische und metallkeramische Bauteile mit komplexer Geometrie hergestellt werden.

Die Materialentwicklung beginnt mit der Auswahl geeigneter Stoffsysteme. Hierfür stehen umfangreiche Material- und Thermodynamikdatenbanken zur Verfügung. Mittels speziell entwickelter In-House-Software können die Materialeigenschaften mehrphasiger – auch poröser – Keramiken oder Komposite präzise vorhergesagt werden. Dies wird verwendet, um die Mikrostruktur der Werkstoffe zu optimieren. Die Bauteilauslegung erfolgt mittels Finite Elemente Verfahren. Insbesondere werden in keramikgerechten Designs die thermomechanischen Lasten beim Bauteileinsatz minimiert.

Für die Formgebung stehen – neben dem 3D-Druck – klassische Verfahren wie kaltisostatisches Pressen, Extrusion, Schlickergießen oder Nasspressen zur Verfügung. Die Rohstoffe können mit unterschiedlichen Techniken gemahlen, dispergiert, gemischt und homogenisiert werden. Für die prozessbegleitende Analyse werden u.a. Partikelgrößen- und Zetapotentialmessgeräte sowie Rheometer eingesetzt. Die Qualität von Grünkörpern wird mit speziellen In-House-Verfahren untersucht. Die Wärmebehandlung der Grünkörper erfolgt in unterschiedlichen elektrisch- oder

gasbeheizten Öfen. Dabei können inerte, oxidische oder reduzierende Atmosphären sowie Vakuum und Überdruck realisiert werden. Die Optimierung der Parameter bei der Wärmebehandlung erfolgt zielgerichtet mit speziellen Thermo-optischen Verfahren (vgl. Abschnitt „Wärmeprozesse“). Zur Endbearbeitung steht u.a. ein computergesteuertes 5-achsiges Bearbeitungszentrum zur Verfügung. Bauteile mit komplexer Geometrie können mit Hochtemperatur-Fügeverfahren aus einfachen Komponenten aufgebaut werden. Die Material- und Bauteileigenschaften werden mit zerstörungsfreien Methoden, Materialprüfverfahren und Gefügeanalysen bewertet (vgl. Abschnitt „Charakterisierung“).

LEISTUNGSANGEBOT

Materialauswahl und Gefüge- / Bauteil-Design

- Identifikation geeigneter Keramiken und Komposite für kundenspezifische Fragestellung
- Auslegung von Bauteilen bei komplexen thermomechanischen Beanspruchungen
- Ermittlung optimaler Gefüge für kundenspezifisches Anforderungsprofil

Material- und Prototypenentwicklung

- Versatz- und Grünkörperherstellung sowie Grünkörperbewertung
- Optimierung von Wärmebehandlungsprozessen
- Material- und Bauteilprüfung



KERAMISCHE FASERN UND MATRICES

KOMPETENZEN

Das Fraunhofer-Zentrum HTL entwickelt präkeramische Vorstufen, Keramikfasern inklusive geeigneter Faserbeschichtungen und stellt Fasern im Technikumsmaßstab her. An Fasern und Mikrokompositen werden Werkstoffprüfungen durchgeführt.

Die keramischen Fasern werden nach kundenspezifischen Anforderungen entwickelt. Dies schließt die chemische Synthese der Vorstufen, das Faserspinnen sowie die nachfolgenden Bearbeitungsschritte (Beschichtungen, Pyrolyse) ein. Fasern werden vor allem über das Schmelzspinnverfahren (feste Sol-Gel-Vorstufen und präkeramische Polymere) sowie das Trockenspinnverfahren (präkeramische Polymerlösungen und flüssige Sol-Gel-Vorstufen) ersponnen.

Wir entwickeln für unsere Kunden neuartige Beschichtungsvorstufen und optimieren bestehende Systeme. Die Beschichtung von Keramikfasern hat das Ziel, ein Faser-Matrix-Interface einzustellen, welches ein schadenstolerantes Verhalten von Verbundwerkstoffen ermöglicht. Ein weiteres Ziel ist, die Keramikfasern vor korrosivem Angriff zu schützen. Beim Applizieren der Beschichtungen werden zwei Routen verfolgt: Chemische Gasphasenabscheidung (Chemical Vapor Deposition – CVD) und nasschemische Abscheidung von Schichten.

Maßgeschneiderte anorganisch-organische Hybridpolymere in den Stoffsystemen Si-C und Si-B-N-C können auch auf andere Anwendungsfelder abgestimmt werden, z. B. für Hochtemperatur-Beschichtungen. Dafür stehen neben chemischen Laboratorien auch Technikumseinrichtungen zur Verfügung, in denen die Polymere im Maßstab von bis zu 50 kg/Ansatz hergestellt werden können.

LEISTUNGSANGEBOT

Keramische Fasern

Bemusterung mit keramischen Fasern vom Labormaßstab bis zur technischen Kleinserie:

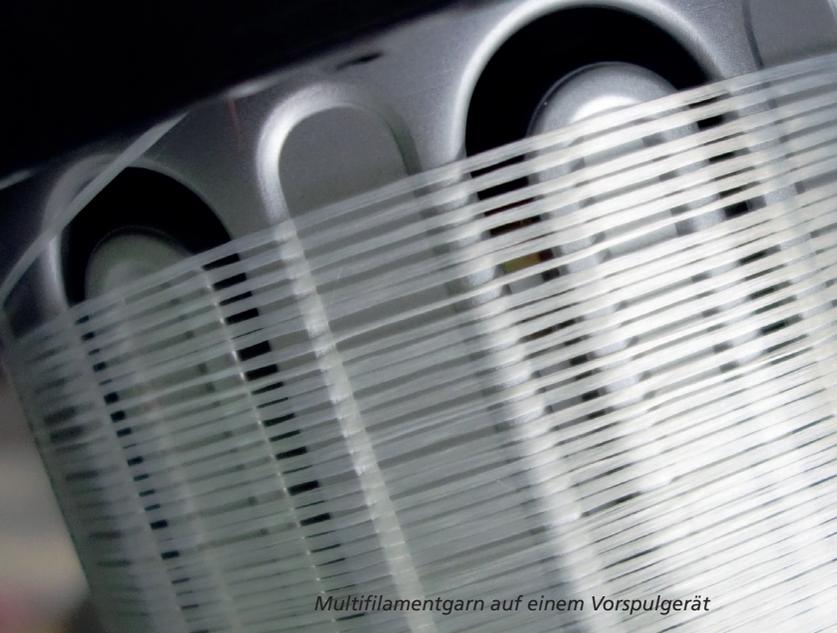
- Verschiedene Spinnverfahren wie Schmelzspinnen und Trockenspinnen
- Oxidische und nichtoxidische Keramikfasern
- Als Einzelfasern oder Roving mit bis zu 1000 Filamenten

Keramische Beschichtungen

- Für Metalle, Bulkkeramik und Gläser
- Auf Keramikendlofaser und -gewebe
- Als Korrosionsschutz, Oxidationsschutz und zur Einstellung der Faser-Matrix Anbindung bei CMC
- Aufbringung vorwiegend über kostengünstige nasschemische Routen
- Als Lacke oder bereits appliziert und – bei Bedarf – thermisch nachbehandelt als keramische Schicht

Matrixmaterialien

- Für den Aufbau von oxidischen und nichtoxidischen CMC
- Für nichtoxidische CMC basierend auf präkeramischen Vorstufen und als thermoplastisches Polymer oder als Polymerlösung verfügbar
- Für oxidische CMC basierend entweder auf wässrigen Sol-Gel-Vorstufen oder auf wässrigen Suspensionen aus keramischen Pulvern



Multifilamentgarn auf einem Vorspülgerät



Nextel-Schussgarn eingetragen auf einer Dornier-Greiferwebmaschine

TEXTILE FASERKERAMIKEN

KOMPETENZEN

Das Anwendungszentrum für Textile Faserkeramiken TFK in Münchberg ist eine Kooperation mit der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hof. Es nutzt die an der Hochschule Hof vorhandenen Kompetenzen und Ausstattungen im Bereich der textilen Faserverarbeitung und Faserprüfung und überträgt textile Verarbeitungstechniken auf Keramikfasern.

In Verbindung mit dem Fraunhofer HTL sind damit Projekte und Dienstleistungen zur Entwicklung keramischer Faserverbundstoffe über alle Prozessstufen ausgehend von der Faser bis hin zum fertigen CMC-Bauteil möglich. Mit dieser durchgängigen Prozesskette werden nationale und internationale Unternehmen aus allen Bereichen sowohl aus der Materialherstellung als auch der Materialanwendung angesprochen.

Die Verarbeitung von Textilfasern zu 2D- und 3D-Strukturen ist im letzten Jahrzehnt durch Einführung neuer Technologien rasant vorangeschritten. Diese innovativen Produktionsverfahren werden nun auf anorganische Fasern übertragen, um neue Anwendungen zu erschließen. Dabei sind die hohen Kosten der Fasern und Verarbeitungsschritte die größte Barriere für einen Markterfolg. Das Anwendungszentrum TFK arbeitet an der Entwicklung kostengünstiger serientauglicher Verfahren, mit denen anorganische Fasern zu lastgerechten 2D- und 3D-Strukturen verarbeitet werden können.

Das Dienstleistungsangebot des Anwendungszentrums TFK richtet sich nach den Marktanforderungen und Kundenwünschen, um in enger Zusammenarbeit mit Unternehmen erfolgreich Forschungsleistungen umzusetzen.

LEISTUNGSANGEBOT

Das Anwendungszentrum TFK kann für sehr unterschiedliche Fragestellungen keramische Fasern – wie beispielsweise aus SiC und Al₂O₃ sowie Carbon, Glas und Basalt – untersuchen, prüfen oder verarbeiten.

Durch Gespräche mit dem Kunden werden Anforderungen und Ziele ermittelt und die gemeinsame Vorgehensweise festgelegt. Je nach Wunsch erhält der Kunde einen Untersuchungsbericht und/oder eine Präsentation der Ergebnisse und ihrer Interpretation. Bei Bedarf werden kundenspezifische Lösungen entwickelt und gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsprojekte initiiert.

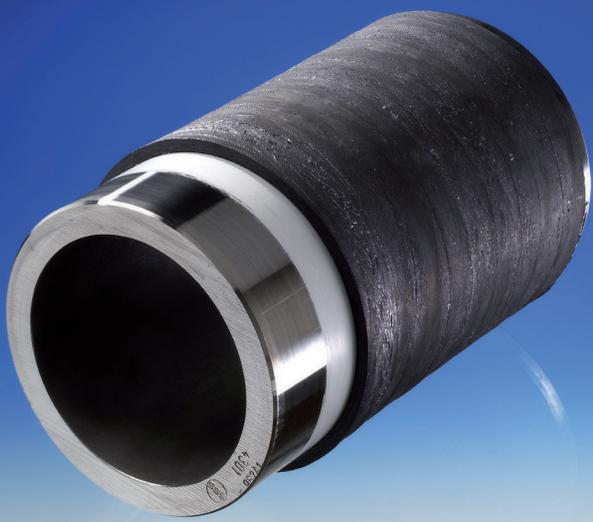
Wir bieten außerdem Schulungen und Seminare zu textilen Verarbeitungsmethoden an.

Textile Prüfungen

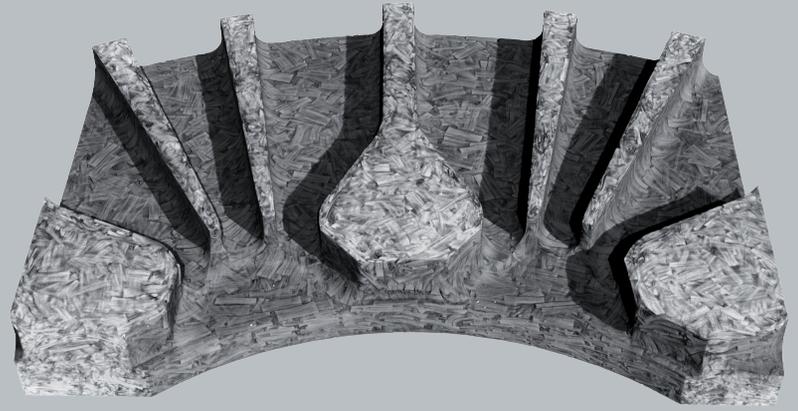
- Feinheit nach DIN EN 1007-2
- Ermittlung des Faserdurchmessers nach DIN EN 1007-3
- Bestimmung der Zugeigenschaften von Fasern bei Raumtemperatur nach DIN EN 1007-4
- Ermittlung der Zugfestigkeit von Fasern im Faserbündel bei Raumtemperatur nach DIN EN 1007-5

Technikumsausstattung

In unserem Technikum stehen Maschinen der traditionellen textilen Fertigungsverfahren Weben, Flechten, Stricken und Wirken sowie Vlieserzeugung für Entwicklungsprojekte zur Verfügung.



Mit CMC armiertes Stahlrohr für die Kraftwerkstechnik



CMC-Komponente für die Friktionstechnik

CMC-BAUTEILE

KOMPETENZEN

Am Fraunhofer-Zentrum HTL werden Bauteile aus keramischen Verbundwerkstoffen (Ceramic Matrix Composites = CMC) in einer geschlossenen Prozesskette entwickelt: vom Bauteilentwurf über das Materialdesign bis zur Fertigung im Technikumsmaßstab. CMC-Werkstoffe unterscheiden sich von monolithischen Keramiken durch eine wesentlich höhere Bruchzähigkeit, welche zu einem schadenstoleranten Bauteilverhalten führt.

Für den Bauteilentwurf führen wir die Simulation und Auslegung von Strukturen aus faserverstärkten Keramiken durch. Wir erarbeiten ein spannungsarmes Design durch die Simulation von mechanischen und thermischen Lastfällen. Beim Einsatz von Hybridbauweisen können keramische Bauteile mit metallischen Komponenten kombiniert werden. Hierbei wird mit Hilfe von FE-Modellierungen das unterschiedlich starke Ausdehnungsverhalten bei hohen Temperaturen berücksichtigt.

Auf Kundenwunsch entwickeln wir anwendungsspezifische CMC. Diese Materialgruppe umfasst kohlenstofffaserverstärkten Kohlenstoff, carbonfaserverstärktes SiC (C/SiC), siliziumcarbidfaserverstärktes SiC (SiC/SiC) und oxidfaserverstärkte Oxidkeramik (O-CMC). Durch die Auswahl geeigneter Ausgangsmaterialien – Fasern, Matrices und Additive – und ihrer räumlichen Anordnung werden die gewünschten Werkstoffeigenschaften erzielt. Es stehen alle Technologien zur Herstellung von faserverstärkten Grünkörpern und deren Keramisierung zur Verfügung. An Labormustern werden statistisch abgesicherte Kenndaten erhalten. Für die Herstellung von Prototypen stehen Technikumsanlagen zur Verfügung, die ein Hochskalieren auf Bauteilabmessungen bis ca. 700 mm erlauben. Daraus können Konzepte zur Serienherstellung von Bauteilen aus CMC entwickelt werden. Die Herstellung kann kundenspezifisch um qualitätssichernde

Maßnahmen ergänzt werden. Somit ist ein nachfolgender Transfer der Ergebnisse und der Technologie in den Produktionsmaßstab möglich.

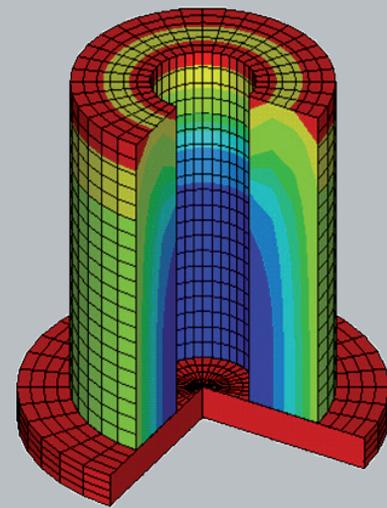
LEISTUNGSANGEBOT

Wir bemustern Sie mit faserverstärkten Verbundkeramikbauteilen und beraten Sie bei der Auswahl für das jeweilige Anwendungsgebiet. In ersten Orientierungstests kann experimentell überprüft werden, ob die Anwendungseigenschaften mit verfügbaren Werkstoffen erreicht werden können. Erfahrungsgemäß müssen die Werkstoffe im Rahmen von FuE-Projekten an den Einsatzzweck angepasst und optimiert werden.

- Beratung bei der Auswahl von CMC Werkstoffen
- Bereitstellung von Werkstoffmustern aus CFK, Carbon-Carbon sowie oxidischen und nicht-oxidischen CMC für neue Anwendungen
- Prüfung der Anwendungseigenschaften
- Beschichtung von Rovings und Geweben inkl. thermischer Aufarbeitung / Keramisierung der Schicht
- Kostenanalyse für die Herstellung und Qualitätssicherung von CMC-Bauteilen in unterschiedlich großen Mengen und Stückzahlen



Thermo-optische Messanlage TOM_air



Computersimulation der Temperaturverteilung von Magnetrings während der Sinterung

WÄRMEPROZESSE

KOMPETENZEN

Wir optimieren für Sie Wärmebehandlungsprozesse zur Herstellung von Keramiken, Metallen und metall-keramischen Verbundwerkstoffen u.a.: Trocknung, Binderausbrand/Pyrolyse, Sinterung oder Schmelzinfiltration. Dabei können Temperatur-Zeit-Profile ebenso verbessert werden wie die Ofenatmosphäre oder die Anordnung des Wärmebehandlungsguts im Industrieofen. Ziele sind eine hohe und reproduzierbare Produktqualität bei guter Material-, Energie- und Kosteneffizienz der Prozesse.

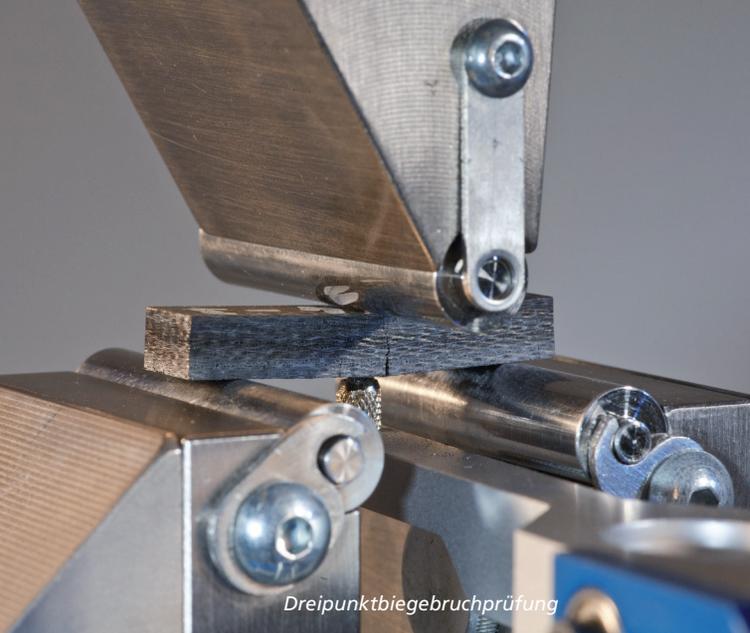
Das Fraunhofer-Zentrum HTL entwickelt Thermo-optische Messöfen (TOM), in denen der industrielle Wärmeprozess im Labor nachgestellt wird. Die TOM-Anlagen können alle in Industrieöfen relevanten Ofenatmosphären nachbilden: Gasbrennerofenatmosphäre, Luft, Inertgase, Formiergas, Wasserstoff, Vakuum, Überdruck etc. Sie sind mit Detektoren ausgestattet, mit denen die Materialveränderungen während der Wärmebehandlung mit hoher Genauigkeit erfasst werden. Z.B. werden die Dimensionsänderungen beim Sintern mit extrem guter Reproduzierbarkeit gemessen oder die Schallemissionssignale beim Entbindern mit empfindlichen Mikrofonen erfasst. Auch die Hochtemperatur-Eigenschaften von Materialien werden mit TOM-Anlagen gemessen.

Die Messdaten werden parametrisiert – insbesondere wird die Kinetik der thermisch aktivierten Reaktionen mit robusten Modellen abgebildet – und dann in FE-Simulationen verwendet, um die Wärmebehandlung am Computer zu optimieren. In den FE-Modellen wird auch die Wechselwirkung zwischen dem Industrieofen und dem Brennstoß berücksichtigt, so dass die Laborergebnisse anschließend auf den Produktionsmaßstab übertragen werden können.

Für Produktionsöfen bieten wir Methoden zur Untersuchung von Temperaturverteilung, Ofenatmosphäre und Wärmebilanz an. Auch diese Messdaten können in FE-Modellen abgebildet und zur Prozessoptimierung genutzt werden.

LEISTUNGSANGEBOT

- In-Situ-Charakterisierung des Verhaltens von Feststoffen und Schmelzen bei der Wärmebehandlung
- Untersuchung von Sinterungs-, Entbinderungs-, Pyrolyse-, Schmelz- und Infiltrationsprozessen
- Messung von Dimensionsänderungen: Sinterschwindung, Verzug, Wärmeausdehnung
- Messung von Gasphasenreaktionen: Gewichtsänderung, Gasemission
- Thermophysikalische Charakterisierung von Feststoffen: Wärmeleitfähigkeit, Kriechbeständigkeit, Emissivität, Hochtemperatur-Festigkeit, Hochtemperatur-E-Modul, Thermoschockbeständigkeit
- Charakterisierung von Schmelzen: Benetzung, Viskosität
- Simulation von Wärmeströmen und Temperaturfeldern bei der Wärmebehandlung
- Entwicklung von Temperaturzyklen mit kürzerer Gesamtdauer (kalt-kalt)
- Entwicklung von Wärmebehandlungsprozessen mit geringerem Ausschuss/Endbearbeitungsaufwand
- Entwicklung von Temperaturzyklen/Heizbedingungen mit reduziertem Energieverbrauch
- Kundenspezifische Entwicklung von Hochtemperatur-Messverfahren
- Vermessen von Industrieöfen: Temperaturverteilung, Ofenatmosphäre, Wärmebilanz



Dreipunktbiegebruchprüfung



Ofenanlage für die Wärmebehandlung bis 2400°C

CHARAKTERISIERUNG

KOMPETENZEN

Wir messen die Zusammensetzung, Mikrostruktur und Anwendungseigenschaften von Werkstoffen. Bei Bedarf entwickeln wir anwendungsspezifische Charakterisierungsmethoden und beraten Kunden in Bezug auf mögliche Prozessverbesserungen.

Den Schwerpunkt der Prüftechnik am Fraunhofer-Zentrum HTL bilden zerstörungsfreie sowie mechanische und thermische Verfahren. Zerstörungsfreie Prüfungen können mittels Computertomographie (CT) bis zu Bauteilgrößen von maximal 700 mm und Auflösungen bis 3 µm durchgeführt werden. Die CT wird ergänzt durch Ultraschall- und Terahertzwellenabbildung sowie Thermografie. Für mechanische Prüfungen stehen alle gängigen Testverfahren zur Verfügung. Die thermischen Prüfungen werden mit Standardmethoden oder mit TOM-Anlagen durchgeführt (vgl. Abschnitt „Wärmeprozesse“). Durch die Zusammenarbeit mit dem Zentrum für angewandte Analytik am Fraunhofer ISC Würzburg stehen zahlreiche weitere Messverfahren zur Verfügung. Dies ermöglicht eine problemorientierte Vorgehensweise, bei der die für die aktuelle Aufgabenstellung jeweils passendsten Methoden verwendet werden.

LEISTUNGSANGEBOT

- Zerstörungsfreie Material- und Bauteilprüfung
- Ermittlung thermischer und mechanischer Materialeigenschaften
- Qualitative und quantitative Gefügeanalyse
- Chemische Analyse und Elementaranalyse
- Dichtemessungen
- Dimensions- und Schadensanalysen an Bauteilen
- Beratung, Erstellung von Studien

VERSUCHSBRÄNDE

KOMPETENZEN

Für die thermische Behandlung von Werkstoffen und Bauteilen stehen in unseren Technika zahlreiche Ofenanlagen zur Verfügung. Es können folgende Prozesse in unterschiedlichen Atmosphären durchgeführt und in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden optimiert werden: Entbinderung, Pyrolyse, Graphitierung, Metallschmelzinfiltration und Sinterung. Verschiedene Anlagen sind an eine thermische Nachverbrennung angeschlossen, so dass auch Prozesse, bei denen große Kondensatvolumina anfallen, durchgeführt werden können.

LEISTUNGSANGEBOT

- Ermittlung und Durchführung von Versuchs- und Auftragsbränden nach Kundenvorgaben in Chargenöfen bis maximal 2400 °C
- Definierte Atmosphären wie Vakuum, Schutzgas, Wasserstoff oder Luft
- Ofennutzungsvolumina von 1 Liter bis zu 400 Liter, geeignet für die Fertigung von großen Einzelbauteilen oder von Kleinserien
- Maximale Bauteilgröße bis 800x800x600 mm³
- Optimierung von Wärmeprozessen zur Erzielung optimaler Werkstoffeigenschaften
- Versuchsstände im Drehrohröfen bis maximal 1100°C
- Prozessdokumentation und Endkontrolle der Bauteile nach Kundenwunsch

FRAUNHOFER-ZENTRUM FÜR HOCHTEMPERATUR-LEICHTBAU HTL



Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL
Gottlieb-Keim-Straße 62
95448 Bayreuth

Ihre Ansprechpartner

Dr. Friedrich Raether
Leitung HTL
Telefon +49 921 78510-002
friedrich.raether@isc.fraunhofer.de



Simone Klose
Sekretariat
Telefon +49 921 78510-000
Telefax +49 921 78510-001
simone.klose@isc.fraunhofer.de

www.htl.fraunhofer.de