

1. Bezeichnung der Erfindung

Belastungsoptimierte Hybridverbundstruktur für Tief- oder Hochtemperaturanwendungen bis 1200 °C hergestellt aus papierabgeleiteten Materialien sowie keramischen Faserverbundwerkstoffen

Poröses Bauelement bestehend aus OFC und papierabgeleiteter Keramik für den Einsatz als druckbelastestes Bauteil in Hochtemperaturanwendungen

2. Entstehung der Erfindung

Wie kam es zu der Erfindung (Werdegang)?

Projektidee zwischen drei verschiedenen Forschungsstellen aufgrund einer Problemstellung aus der Industrie. Fraunhofer IWU kam mit der Idee auf den Lehrstuhl Keramische Werkstoffe zu.

Zeitpunkt der Erfindung?

22.10.2015

Entstand die Erfindung im Rahmen eines Forschungs-/Drittmittelprojektes?

Nein

Ist die PTS frei zur Verwertung der Erfindung oder liegen Einschränkungen vor (NDA, Leistungsverträge, eigene Patente, usw.)?

Es ist zu beachten, dass für die Herstellung der OFC-Komponente 2 Offenlegungsschriften (DE102016007652A1 und WO2017/220727A1) sowie 1 Patenteinreichung zu „Kurzfaserverstärkten OFC“ vorliegen. Des Weiteren besitzt die PTS 1 Patent für die Herstellung einer Keramik aus hochgefüllten keramischen Papieren (DE102006022598B4).

3. Beschreibung der Erfindung

Arbeitsgebiet

Das Arbeitsgebiet umfasst einerseits die Materialentwicklung der papierabgeleiteten Materialien (Keramik) sowie der oxidkeramischen Verbundwerkstoffe (Oxide Fiber Composite - OFC) und andererseits die Prozessentwicklung zum endkonturnahen Fügen und Sintern der beiden Werkstoffe zu einer druckstabilen Hybridstruktur. Bei OFC Materialien wird durch den Verbund von Fasern und der umgebenden Matrix ein zähes bzw. quasiduktils Bruchverhalten erzielt. Die Verbundwerkstoffe bestehen aus oxidkeramischen Fasern (z.B., Al_2O_3 , Mullit) und einer oxidkeramischen Matrix (, Al_2O_3 , Mullit, YAG, etc.). Das Bruchverhalten und die damit verbundene Festigkeit wird unter anderem durch die gezielte Anpassung der Faser-Matrix-Bindung eingestellt. Stoffeigenschaften wie die Wärmeleitfähigkeit wird über das eingesetzte Material, Materialkombinationen und die Porosität der Matrix eingestellt.

Die papierabgeleitete Keramik wird über hochgefüllte Papiere hergestellt. Dazu werden Zellstofffasern, Synthesefasern, Füllstoffe und Additive eingesetzt. Durch die Einbindung der Füllstoffe zwischen die Zellstofffasern entsteht ein Partikelnetzwerk. Durch eine thermische Behandlung werden die Zellstofffasern sowie die organischen Bestandteile zersetzt und es bilden sich Sinterhalse zwischen den Partikeln aus, wodurch eine poröse Keramik entsteht. Wie bei den OFC-Werkstoffen können über die Füllstoff- sowie Faserstoffzusammensetzung die Festigkeit, Schwindung und weitere charakteristische Stoffeigenschaften eingestellt werden.

Technische Aufgabe / Problemstellung, die Ihrer Erfindung zugrunde liegt

In der Produktionstechnik spielen thermische Dämmungen, beispielsweise bei auf 900 °C beheizten Werkzeugen für die Titanumformung, eine wichtige Rolle. Derartige Isolationsbauteile sind dabei entscheidend, ob die notwendige Umformtemperatur erreicht werden kann, für die Höhe der anfallenden Energiekosten, der Taktzeiten sowie der Lebensdauer von Heizelementen und von an die temperierten Komponenten angrenzenden Baugruppen wie beispielsweise Führungssysteme oder Hydraulikkomponenten. In der Anwendung von Isolationswerkstoffen muss unterschieden werden, ob sie im Kraftfluss oder außerhalb des Kraftflusses als Umhüllung eingesetzt werden (Abb. 1).

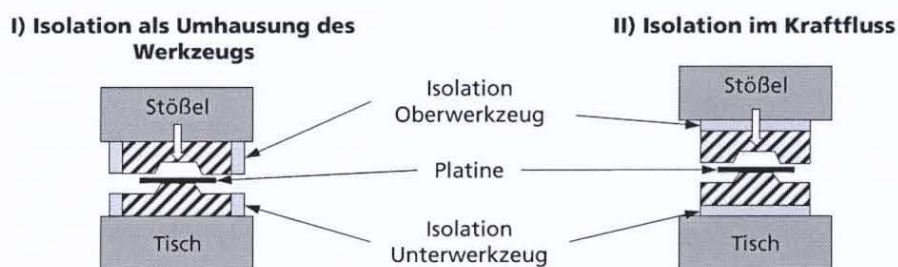


Abb. 1: Einsatzmöglichkeiten von Isolationswerkstoffen beim Werkzeugbau für die Warmumformung

Gegenstand der Erfindung sind nur druckstabile Strukturbauteile, d.h. Isolationen die sich im Kraftfluss befinden. An sie sind besondere Anforderungen gestellt, da sie neben einer hohen Temperaturbeständigkeit und einer geringen Wärmeleitfähigkeit über eine hohe Steifigkeit verfügen müssen. Bauteile aus OFC-Werkstoffen sind für diesen Anwendungsfall aufgrund Ihrer hohen Druckfestigkeit, hohen zulässigen Einsatztemperatur und Schadenstoleranz hinsichtlich Bruch besonders geeignet. Nachteil der OFC ist jedoch der gegenüber monolithischen Keramiken hohe Preis und die im Vergleich zu konventionellen Isolationsmaterialien wie Glimmer hohe Wärmeleitfähigkeit. Durch einen Hybridverbund, bestehend aus OFC und einer auf papiertechnischem Wege hergestellten Keramik können die genannten Anforderungen erfüllt werden sowie Kosten und Wärmeleitfähigkeit einer reinen OFC-Isolation gesenkt werden.

Die Herausforderung bei der Herstellung von Hybridstrukturen für den Hochtemperatureinsatz als Isolationsmaterial ist ein druckstabiler, hochporöser, endkonturnaher sowie dimensionsstabiler Werkstoff. Die notwendige niedrige Wärmeleitfähigkeit ($\lambda < 1,5 \text{ W/mK}$), kann basierend auf einem papierabgeleiteten Werkstoff sowie einem homogenen Aufbau mit einer porösen Matrix ($> 30 \text{ Vol.}\%$, bevorzugt $> 40 \text{ Vol.}\%$) erreicht werden. Für die Druckfestigkeit wird ein Faserverbundwerkstoff mit hohen Faservolumengehalten von über 20% benötigt. Hohe Faservolumengehalte und eine homogene Matrix sind erforderlich, um die gewünschten Stoffeigenschaften zu erzielen. Neben den zu erzielenden Stoffeigenschaften besteht ein weiteres Problem in der Auslegung der Hybridstrukturen sowie dem dimensionsstabilen Fügen der beiden Einzelkomponenten. Ein Beispiel für eine mögliche Gestaltung ist in Abb. 2 dargestellt. Die Fügmasse muss eine ausreichende Festigkeit bei gleichzeitig angepasster Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnung und Dimensionsstabilität aufweisen.

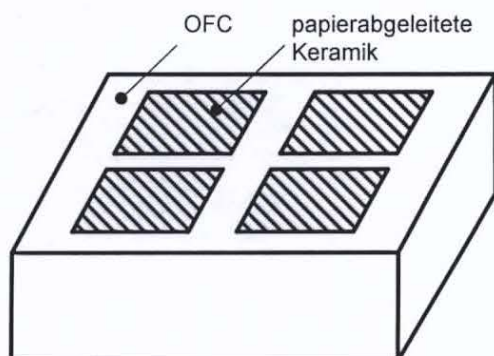


Abb. 2: Schematischer Aufbau einer Hybridisolation

Stand der Technik

Obwohl im Stand der Technik bereits eine Vielzahl von entsprechenden Bauteilstrukturen aus unterschiedlichen Materialien bekannt sind, besteht aufgrund des komplexen Anforderungsprofils weiterer Bedarf einer entsprechenden Optimierung, um druckstabile Hybridstrukturen mit einem geeigneten Eigenschaftsprofil bereitstellen zu können.

Einsetzbare Materialien:

Konventionelle Isolationswerkstoffe:

Für die Einhausung von Werkzeugen können z. B. Lamine aus silikatharzgetränktem Glimmerpapier und Glasgewebe sowie Vakuumformteile (Hochtemperaturwolle und Bindemittel) verwendet werden. Aufgrund der geringen Druckfestigkeit ist ein Einsatz dieser konventionellen Werkstoffe im Kraftfluss jedoch nicht möglich. Konventionelle Isolationswerkstoffe für druckstabile Hochtemperaturanwendungen sind zum Beispiel niedrig wärmeleitender Stahl (als monolithische Platten oder als Lochblech), Keramik (US20170146179A1), schadenstolerante oxidkeramische Verbundwerkstoffe und Calciumsilikat-Platten mit hohem Raumgewicht. Der alleinige Einsatz von Stahl ist bei Temperaturen oberhalb von ca. 300 °C, aufgrund seiner im Vergleich zu anderen Werkstoffen hohen Wärmeleitfähigkeit (bekannt ist eine Legierung mit 7 W/mK) und damit nicht zielführend. Calciumsilikat-Platten verfügen über sehr gute Isoliereigenschaften, sind bedingt druckbeständig (Kaldruckfestigkeit max. 65 N/mm²) und haben die Nachteile der Schwindung unter Temperatur und der Komprimierbarkeit unter Krafteinfluss. Monolithische Keramiken wie zum Beispiel Al₂O₃ oder Si₃N₄ zeichnen sich durch gute thermomechanische Eigenschaften aus. Nachteilig ist jedoch deren geringe Schadenstoleranz. Punktuelle Krafteinleitungen können bereits zum Sprödbruch und damit Versagen des Bauteils führen. Durch die Verstärkung der Keramik mit keramischen Fasern wird versucht dem entgegenzuwirken. Risse in der Verbundkeramik führen durch energidissipierende Effekte nicht sofort zum Versagen des Bauteils, da Spannungsüberhöhungen abgebaut werden können. Die Wärmeleitfähigkeit λ der oxidischen Faserverbundwerkstoffe liegt zwischen 2 W/mK bis 6 W/mK, je nach verwendetem keramischen Pulver und keramischer Faser (ZrO₂: 1,5 W/mK, Al₂O₃: 26 W/mK) und reicht für eine effektive Wärmeisolation nicht aus. Zudem sind OFC aufgrund der hohen Faserkosten mit Preisen von über 1000 €/kg für diese Art von Anwendung sehr teuer.

Hochgefüllte papierabgeleitete Werkstoffe:

Bei hochgefüllten papierabgeleiteten Werkstoffen dient der Prozess der Verarbeitung nur zur Herstellung eines flächigen Halbzeuges (DE102006022598B4). Dieses kann durch eine thermische Umsetzung in einen porösen Werkstoff umgewandelt werden, wodurch der Werkstoff die Eigenschaften des Füllstoffes übernimmt. Die Halbzeuge können vor einer Umsetzung mit papiertechnischen Verfahren bearbeitet werden, etwa durch Wellen. Jedoch liegen auch hier Limitierungen bei sehr kleinen Krümmungsradien vor. Die papierabgeleiteten Keramiken können jedoch nicht allein im Kraftfluss eingesetzt werden, da sie nicht über ausreichend Druckstabilität verfügen..

Geometrien:

Verbundstrukturen mit Isolationsmaterialien:

Im Patent EP3153666A1 wird eine keramische Hybridschaufel bestehend aus einem Keramikkörper und einer faserverstärkten Keramik dargestellt. Nachteilig bei dieser Art der Herstellung ist, dass der innere Kern mittels einer Suspension aufgebracht wird, was bei einer Gitterstruktur nur schwer durchführbar ist.

Auch die im Patent **FR2876400B1** dargestellten Hohlziegel werden mit einem porösen Schüttgut basierend auf einer wässrigen Suspension gefüllt. Das Schüttgut wird jedoch nicht thermisch nachbehandelt sondern erreicht seine Festigkeit durch eine chemische Abbindung.

Waben-, Wellpappen- und geschichtete Strukturen:

In der Literatur und Forschung sind Waben- (HoneyComb), Wellpappen- und laminierte Strukturen sehr gängige Hybridmaterialien (**EP2434499A1**, **US6733907B2**, **US7093359B2**, **US5553455A**, **US5555914A**, **US4849276A**, **DE202010003580U1**, **DE10255039B4**) für Isolationsanwendungen. Diese Strukturen können unter anderem aus verschiedenartig geformten Zellen (Waben, Vierecke, usw.) aufgebaut sein und sind druckstabil. Diese Art von Strukturen weisen jedoch aufgrund der Anordnung und Fertigung erhebliche Nachteile auf. Für die obigen Anwendungsfälle ist es erforderlich, dass derart hergestellte Strukturen für eine hohe flächige Kraftaufnahme auf der Ober- bzw. Unterseite eine druckstabile Decklage benötigen. Wird ein konventioneller Isolationswerkstoff verwendet, so bestehen die oben schon genannten Nachteile der hohen Kosten, Wärmeleitfähigkeiten und Wärmeverluste. Weiterhin ist die große Anzahl der notwendigen Fugestellen zwischen den Decklagen und der integrierten Struktur nachteilig für den Herstellungsprozess, wodurch es zur Bildung von Fehlstellen kommen kann.

Porosität/Porenstruktur:

Die Wärmeisolation von Werk-/Dämmstoffen hängt neben der Wärmeleitfähigkeit des Materials selbst entscheidend von der Gesamtporosität des Materials ab, da die Luft in den Poren ein sehr guter Wärmeisolator ist. Somit gilt, je höher die Porosität desto besser ist die Wärmeisolation. Die meisten konventionellen Isolationswerkstoffe für den Einsatz im Kraftfluss besitzen keine oder nur eine sehr geringe Porosität. Aus der Literatur von OFC-Werkstoffen ist aber bekannt, dass eine Porosität von 23 % – 35 % üblich ist.[1]. Neben der absoluten Porosität an sich ist die Porengrößenverteilung ausschlaggebend für die Wärmeleitfähigkeit eines Materials. Dabei ist der Anteil der feinen Porosität maßgeblicher, da bei einer Porosität mit großen Poren und Temperaturen von über 500 °C ein Wärm austausch durch die Konvektion der Luft existiert.[2]

Wärmeleitfähigkeit/Wärmespeicherung:

Die Wärmeleitfähigkeit ist wie oben beschrieben nicht nur vom Material und von der Porosität abhängig, sondern auch falls Fasern enthalten sind von deren Struktur, der Faserarchitektur und deren Orientierung.

Fügemassen:

Als Fügemassen im Temperaturbereich zwischen 500 °C – 950 °C werden anorganische Produkte eingesetzt, wie z.B. Glaslote oder und Hochtemperaturkleber. Für eine stoffschlüssige Verbindung wird eine ausreichende Viskosität des Klebers benötigt, um zu verhindern, dass dieser tiefer in die beiden zu verbindenden Werkstoffe eindringt und damit die Porosität derselben herabsetzt. Zusätzlich ist eine Annäherung der Wärmeausdehnungskoeffizienten sowie Schwindung zwischen Kleber und Substraten notwendig. Es besteht nicht die Möglichkeit aus der Literatur oder dem Stand der Technik Vergleiche heran zu ziehen, da beide Substrate, sowohl das OFC als auch die papierabgeleitete Keramik, in der hier vorliegenden Form noch nicht beschrieben wurden.

Technische Probleme oder Nachteile des Standes der Technik bzgl. der Aufgabenstellung

Der Stand der Technik bildet momentan nicht ab, wie belastungsoptimierte/druckstabile Hybridverbundstrukturen aufgebaut sein müssen, um sehr geringe Wärmeleitfähigkeiten bei gleichzeitig sehr hoher Druckfestigkeit bis 1200 °C und einer einfachen Herstellung gewährleisten zu können.

Konventionelle Isolationswerkstoffe, wie z.B. Lamine aus silikatharzgetränktem Glimmerpapier und Glasgewebe sowie Vakuumformteile oder reine keramische Werkstoffe sowie können aufgrund der geringen Druckfestigkeit sowie unzähliger Fügestellen nicht eingesetzt werden. Die OFC-Komponente sowie die papierabgeleitete Keramik sind im Grünzustand schneid- oder stanzbar und können somit (mehrlagig) in flächiger Form oder in 3D-Geometrien gelegt werden. Dadurch ist die Dicke der Hybridisolation über einen großen Bereich variierbar, sowohl die Anwendung einer dickeren Lage als auch von mehreren dünneren gestapelten Lagen ist möglich. Zusätzlich ist der papierabgeleitete Werkstoff im Grünzustand papiertechnisch verarbeitbar.

Wie wird das technische Problem durch Ihre Erfindung gelöst (technische Realisierbarkeit)?

A: Herstellung des OFC (Prepreg)

Die Wärmeleitfähigkeit des OFC wird durch den Einsatz von keramischen Pulvern mit niedriger Wärmeleitfähigkeit (bspw. ZrO_2 , YAG oder Mullit) und keramischer Fasern mit einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit (Mullit oder Mullit/ Al_2O_3) verringert. Mittels der am Lehrstuhl Keramische Werkstoffe der Universität entwickelte und zum Patent angemeldete Prepregtechnologie werden Prepregs (pre-impregnated fibers – infiltriertes Faserhalbzeug) hergestellt, welche einfach in Form geschnitten werden können und aus welchen vermittelt Lamination ein Grünkörper mit Aussparungen für die papierabgeleitete Keramik hergestellt werden kann. Die Herstellung der OFC erfolgt hierbei analog zu der Beschreibung in der Patentanmeldung WO/2017/220727. Alternativ können auch kurzfaserverstärkte OFC zum Einsatz kommen, die über einen Faserspritzprozess hergestellt werden, analog zu Patentanmeldung **DE102016007652A1**. Zusätzlich kann der Faservolumengehalt verringert und/oder die Matrixporosität erhöht werden, um eine weitere Senkung der Wärmeleitfähigkeit zu erzielen. Hier ist jedoch zu beachten, dass die Druckstabilität der derart veränderten OFC weiterhin dem Anwendungszweck entsprechen muss.

B: Herstellung des präkeramischen Papiers

Das präkeramische Papier wird, wie schon in Patent **DE102006022598B4** beschrieben, hergestellt. Jedoch ist eine Unterscheidung in der Zusammensetzung der verwendeten Materialien zu machen. Im Patent **DE102006022598B4** wird der Einsatz verschiedener keramischer Pulver beschrieben. Für ein papierabgeleitetes Isolationsmaterial ist die Art der keramischen Pulver hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit und des Sinterverhaltens entscheidend. Materialien wie ZrO_2 , YAG, Mullit sowie Kieselgur stellen geeignete Alternativen dar. Weiterhin ist die Art des Zellstoffes entscheidend, da die Form der Zellstofffasern (Durchmesser und Länge) nach dem Sintern und damit dem Ausbrennen der Faser die Porengröße und -geometrie vorgibt. Um eine ausreichende Festigkeit der präkeramischen Papiere zu erzielen werden synthetische Fasern, welche im Temperaturbereich von 500 °C – 950 °C stabil sind (Glasfasern, Quarzfasern), anteilig hinzugegeben. Angestrebt sind Papiere mit einem Füllstoffgehalt von 80 Gew.% – 90 Gew.% sowie einer Substitution der Zellstofffasern durch die synthetischen Fasern von 20 Gew.% – 40 Gew.%.

C: Verarbeitung der Halbzeuge

Der OFC-Werkstoff, in Form von Prepregs (pre-impregnated fibers – infiltriertes Faserhalbzeug), wird zugeschnitten und in eine für die Anwendung, durch Simulationen berechnete und damit vorgegebene Bauteilform gebracht und mittels einer Temperaturbehandlung von über 1200 °C versintert. Im Anschluss wird die papierabgeleitete Keramik als Isolationswerkstoff auf die Größe der dafür vorgesehen Hohlräume zugeschnitten und gefügt.

D: Fügen zur Hybridstruktur

Das Fügen der Einzelkomponenten erfolgt mittels eines Fügемaterials und dem Sintern bei einer Temperatur von 1000 °C. Dabei ist die Dimensionsstabilität entscheidend, so dass es nicht zu Delaminationen oder Rissen kommt.

Ein Sintern nach dem Auftragen des Hochtemperaturklebers ist nicht zwingend notwendig, wenn dieser an Luft abbündet und im Anschluss bei der Anwendung die entsprechende Stabilität behält.

Auch das Fügen von OFC und papierabgeleiteter Keramik im Grünzustand bzw. derart, dass ein Substrat im Grünzustand und das andere Substrat gesintert vorliegt, ist Gegenstand dieser Erfindungsmeldung-

Ausführungsbeispiel

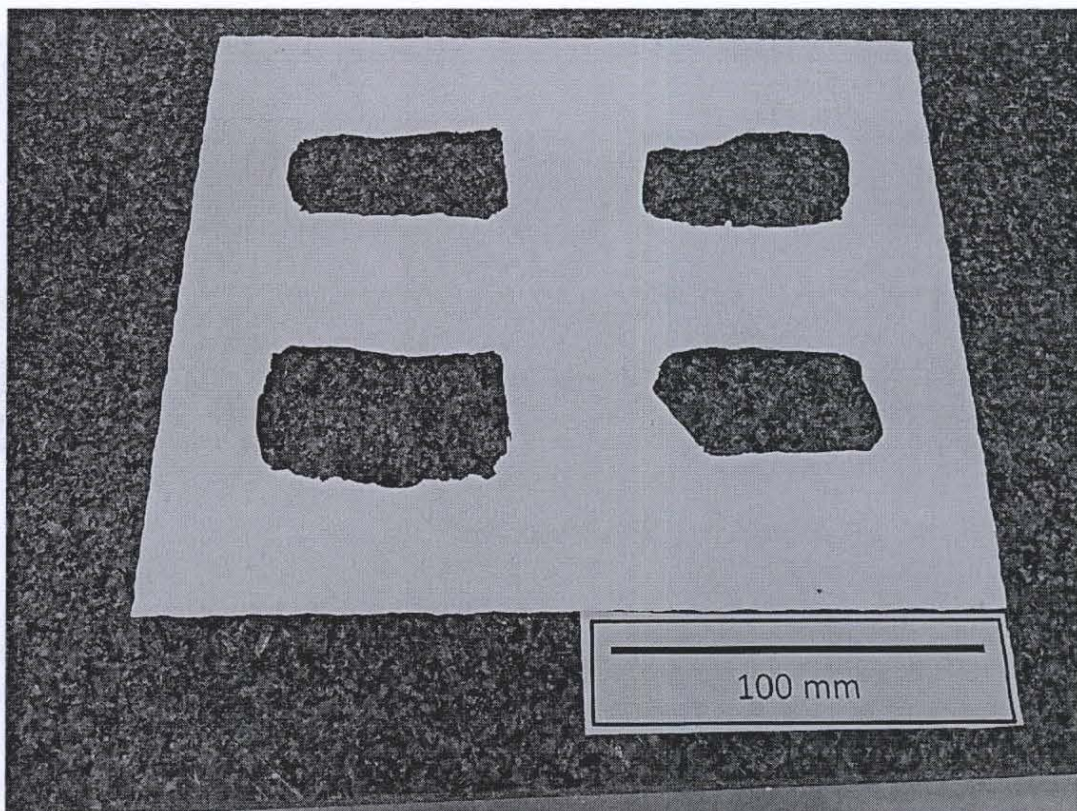


Abb.: OFC-Platte mit nicht von Schlickerresten befreiten Hohlräumen für die Isolation (Uni Bayreuth)

Worin ist das wesentlich Neue zu sehen?

- neue und verbesserte korrosions und druckstabile Hybridisolation, bestehend aus einem OFC-Werkstoff und einer papierabgeleiteten Keramik mit niedriger Wärmeleitfähigkeit (mind. 35 % Anteil am gesamten Bauteil), für den Einsatz im Kraftfluss bei Temperaturen bis 1200°C
- Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit $< 1,5 \text{ W/mK}$
- Warmdruckfestigkeit σ größer $> 150 \text{ MPa}$
- Merklagige Formgebung

Was ist erfinderisch?

Eine Hybridisolation aus einer oxidischen Faserverbundkeramik und einer papierabgeleiteten Keramik mit einer gemittelten Wärmeleitfähigkeit $< 1,5 \text{ Wm/K}$ sowie einer Druckfestigkeit $\sigma > 150 \text{ MPa}$ zur Anwendung im Kraftfluss bei Temperaturen bis $1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ist derzeit nicht Stand der Technik. Zudem kann die Hybridisolation ebenfalls im Niedertemperaturbereich im Kraftfluss eingesetzt werden und verfügt somit über einen Einsatzbereich von $< -200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $> 1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$, was derzeit nicht Stand der Technik ist.

Welche Vorteile gegenüber dem Stand der Technik ergeben sich durch die Erfindung?

Aufgabe der Erfindung ist eine neue und verbesserte druckstabile Hybridisolationsstruktur für den Einsatz im Kraftfluss vorzuschlagen. Hybridbauteile verbinden bei richtigem Design die Vorteile mehrerer Werkstoffe zu herausragenden spezifischen Eigenschaften. Durch die Kombination eines OFC-Werkstoffes mit einer papierabgeleiteten Keramik wird eine Reduktion der Wärmeleitfähigkeit ggü. des reinen OFC-Werkstoffes bei gleichem Bauraum und somit eine höhere Isolationswirkung erzielt. Zudem geht damit eine signifikante Kostenreduktion einher. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Materials bereitzustellen. Schließlich ist es eine Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zum einfachen Herstellen einer geeigneten Konstruktionseinheit bzw. 3D Geometrie bereitzustellen sowie eine zuverlässige Verwendung als druckstabile Isolation zu gewährleisten.

Gibt es Umgehungsmöglichkeiten? (Wie würde ein potentieller Patentverletzer Ihre Erfindung abwandeln, um das beschriebene Problem zu lösen?)

Es können anstelle der Papierkeramik oder des OFC andere Werkstoffe eingesetzt werden, um eine hohe Isolationswirkung und Druckfestigkeit zu erzielen. Anstelle des OFC kann beispielsweise Stahl zur Anwendung kommen und anstelle der papierabgeleiteten Keramik beispielsweise Glasgewebe oder Glashohlkörper.

Wie kann eine Patentverletzung nachgewiesen werden?

(Bitte beschreiben Sie, wie man nachweisen kann, dass Ihre Erfindung unrechtmäßig von Dritten eingesetzt wurde; anhand welcher Eigenschaft eines Verfahrensproduktes kann man z.B. erkennen, dass es nach dem von Ihnen erfundenen Verfahren hergestellt bzw. bearbeitet wurde; Bei chemischen Stoffen oder bei biologischem Material sollte angegeben werden, welche physikalischen oder chemischen Eigenschaften für den beanspruchten Stoff charakteristisch sind. Welche Methoden sind zum Nachweis dieser Eigenschaften geeignet?)

Durch eine visuelle Prüfung des Hybridverbunds kann ggf. der mehrlagige Aufbau und die Faserverstärkung des OFC identifiziert werden. Eine von außen zu erkennende hohe Porosität des zweiten keramischen Werkstoffes kann darauf hindeuten, dass eine Papierkeramik verwendet wird. Die Untersuchung der Dichte sowie Porosität mittels Quecksilberporosimetrie kann Aufschluss über das Herstellungsverfahren geben. Letztendliche Sicherheit durch Zerstörungsfreie Prüfungen mittels Computertomographie und durch ein Auftrennen/ Zerstören des Bauteils und mikroskopische Untersuchungen erreicht werden.

Quellen (recherchierte Patentklassen und/oder Suchbegriffe):

US3106503	1959 B M Randall R. Frobisher	Method of making honeycomb structural panels
US3346016	1964 Johns Manville Corp	High temperature thermal insulation
US4849276	1984 Boeing Co	Thermal insulation structure
US5156895	1990 Thermalux LP	Monolithic aerogel insulation cast and dried within a support structure and method
US5398840	1984 Boeing Co	Microparticle enhanced fibrous ceramic baffle for cryogenic liquid containers
US5553455	1987 United Technologies Corp	Hybrid ceramic article
US5555914	1984 Boeing Co	Cryogenic heat pipe
US5589441	1984 Boeing Co	Superconductive fiberform ceramic composite
US5624613	1993 Boeing Co	Rigidized refractory fibrous ceramic insulation
	Lockheed Missiles and	
US5684278	1994 Space	Acoustical ceramic panel and method
US5753570	1989 Boeing Co	Reinforced ceramic microform composite
	Oceaneering International	
US5792539	1996 Inc.	Insulation barrier
US6716782	2002 Boeing Co	Rigid insulation and method of producing same
US7093359	2002 Siemens Energy Inc.	Composite structure formed by CMC-on-insulation process
US20170146179 A1	2015 Johns Manville Corp	Hybrid high temperature insulation
US6451416B1	1999 United Technologies Corp	Hybrid monolithic ceramic and ceramic matrix composite airfoil and method for making the same
US20090252907 A1	2008 Siemens Energy Inc.	Hybrid ceramic structure with internal cooling arrangements

Patentklassen:

B32B3/12
E04C2/36
B32B18/00
B28B11/042

Suchbegriffe:

Keramikverbundstruktur
Verbund Kern Struktur
high-load bearing insulation board
high-load insulation board
loaded insulation component
loaded insulation board
perlite insulation board
high temperature load bearing insulation
perlite load-bearing insulation
highly loaded insulation
high compression resistant insulation
high temperature structural insulation
high temperature hybrid insulation
high strength high temperature insulation
high compressive strength insulation
high compressive strength high temperature insulation materials
frame ceramic isolation
frame ceramic insulation
high compressive strength insulation board
structural loaded insulation
load optimized structural component
thermal insulation paper
hot forming insulation
hybrid insulation
high temperature insulation
structural insulation
frame insulation
hollow brick insulation

4. Stand der Entwicklung (Wo wurde die Erfindung bereits erprobt? (Versuche, Muster,

Prototypen?) Oder ist dies nicht geplant? Wenn doch, gibt es dazu einen Zeitplan?)

Die druckstabile Hybridstruktur wurde bisher noch nicht hergestellt. Versuche, Muster und Prototypen werden erst im Rahmen eines Forschungsprojektes ab 2019 durchgeführt sowie angefertigt.

5. Vorveröffentlichung von Teilen der Erfindung (Ist die Erfindung bereits ganz oder teilweise in irgendeiner Form der Öffentlichkeit zugänglich gemacht worden (schriftlich oder mündlich, Seminarvorträge, öffentl. Benutzung, Führung, Messe, Ausstellung...)?)

Vertrauliche Mitteilung der Projektidee an einzelne Unternehmen, um diese für die Mitarbeit im Projektbegleitenden Ausschuss im Forschungsprojekt (siehe Kapitel 4) zu gewinnen.

Ist eine Veröffentlichung geplant? Wenn ja, wann? Monat/Jahr Falls vorhanden, legen Sie ein Manuskript der geplanten Veröffentlichung bei.

Einreichung als Verbundprojekt im Herbst 2018 zur Begutachtung durch die IGF im November 2018.

6. Verwertung der Erfindung

6.1. Wo sehen Sie Anwendungsmöglichkeiten für Ihre Erfindung sowie Potenzialeinschätzung ggf. Umsatzerwartungen? Mögliche Branchen? Firmen? Gibt es Industriekontakte? Wieviel wurde dabei offenbart?

Verbundwerkstoffe werden in zahlreichen Gebieten eingesetzt, in denen geringes Gewicht, hohe Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit sowie hohe Thermoschockbeständigkeit gefordert werden. Beispiele sind hochtemperaturstabile druckfeste Dämmmaterialien, Ofenauskleidungen und Ofenkomponenten (Türen, Zonentrenner, Schieber), in der Warmumformung von Metallen sowie Hydraulikbremsen. Poröse Keramiken werden in der Technik für zahlreiche Anwendungen eingesetzt, beispielsweise als Wärmeisulationsstrukturen, Brennhilfsmittel, Porenbrennersubstrate sowie Brandsschutzstrukturen. Ein anderes Anwendungsgebiet liegt in der Verfahrenstechnik im Bereich der Katalysatorträger. Ebenfalls ist ein Einsatz unter Hochtemperatur in Kraftwerken denkbar. Neben den genannten Anwendungen existieren weitere, bei denen auch der Tieftemperaturbereich eine Rolle spielt. Darunter gehören z. B. Abschirmbauteile in der Luft- und Raumfahrttechnik, Bauteile in der Fördertechnik, Isolationen oder Lagerungen von Leitungssystemen für Medien. In der Warmumformung von Metallen gibt es derzeit weltweit knapp 300 Pressen. Aufgrund der steigenden Nachfrage der Bauteile ist ein Anstieg dieser Zahl zu beobachten. Hydraulikbremsen kommen in fast allen Maschinen zum Einsatz, wo Komponenten beschleunigt und abgebremst werden. Dies reicht von einer Auto- und Zugnotbremse bis hin zu einer Fahrstuhlnotbremse. Ein Marktpotential ergibt sich erst durch eine entsprechende Bauteilauslegung und Implementierung. Langfristig gesehen sind hier Stückzahlen von weit über 100.000 pro Jahr denkbar. Bei der Anwendung als Ofenkomponenten werden heutzutage OFC schon als Chargiergestelle, Ofentüren oder Brenner eingesetzt. Der Markt öffnet sich schon für diesen neuen Werkstoff und wird sich aufgrund der vorteilhaften Eigenschaften trotz des hohen Preises zunehmend an Bedeutung. Umsätze sind hier aktuell bei kleineren kmU im Bereich von 1,0 – 1,5 Mio. € anzusetzen. Der Markt in Deutschland für konventionelle Isolationsmaterialien/Dämmstoffe lag 2010 bei 28 Mio. m³ (http://www.fiw-muenchen.de/media/pdf/metastudie_waermedaemmstoffe.pdf). Durch eine entsprechende Auslegung von Bauteilen wird es möglich sein das große Marktvolumen anteilig durch die neuen Werkstoffe zu ersetzen.

6.2. Gibt es bereits Interessenten für Ihre Erfindung? Wenn ja, welche? Kontaktierte Firmen, Kooperationspartner?

Bisher sind keine Interessenten vorhanden. Jedoch besitzt SCHUNK Kohlenstofftechnik schon 2 Lizenzen bestehender Patentanmeldungen vom Lehrstuhl Keramische Werkstoffe. Diese Patentanmeldungen beinhalten die Herstellung von OFC mit einem speziellen Verfahren.

Literatur

[1] Wamser, T.: Herstellung von oxidkeramischen Verbundwerkstoffen mittels Freeze-Casting, Cuvillier Verlag, Göttingen, 2016

[2] Salmang, Scholze; Keramik; Springer Verlag, 2007, S.771ff.