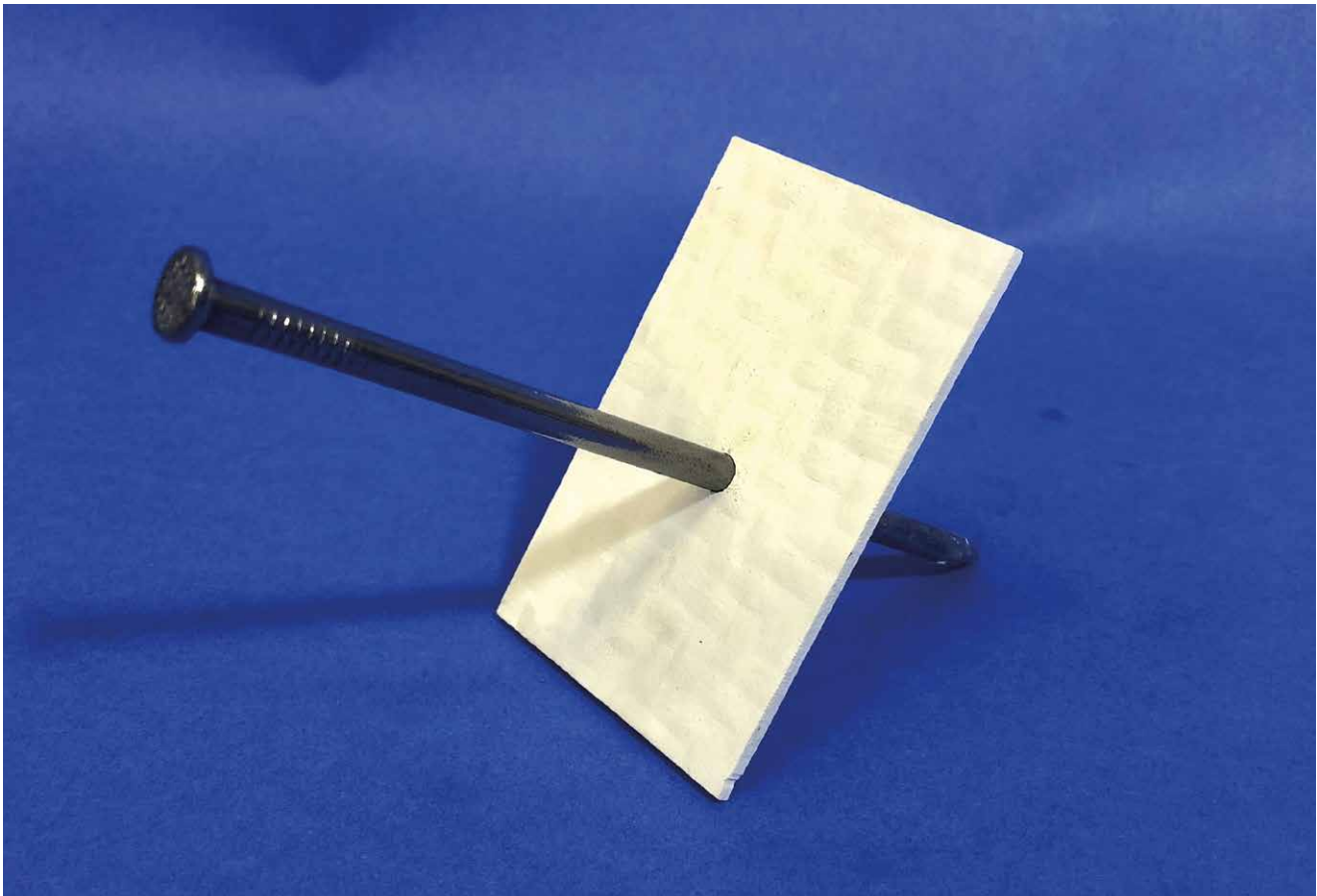


FOTOS: SCHUNK



Oxidfaserverstärkte Oxidkeramiken für das Aluminiumgießen

OFC-Werkstoffe zeigen unter anderem ein quasiduktiles Werkstoffverhalten, wie dieser Nageldurchschlag beispielhaft zeigt.

VON PHILIPP KOLBE, HEUCHELHEIM

Die steigenden Anforderungen an Werkstoffe für Werkzeug- und Anlagenkomponenten zur Verarbeitung von Aluminiumschmelzen, um Verschleiß sowie dem Eintrag von Verunreinigungen entgegenzuwirken, können durch konventionelle Materialien nicht mehr ohne Weiteres erfüllt werden. Die Entwicklung und Untersuchung geeigneter Werkstoffe, deren wesentliches Merkmal es ist, bei der Verarbeitung von Aluminiumschmelzen chemische Beständigkeit in Kombination mit günstigen werkstoffphysikalischen Eigenschaften wie Festigkeit, Zähigkeit oder Thermochockbeständigkeit zu besitzen, rücken immer mehr in den Fokus der Gießerei-Industrie. Eine relativ neue Werkstoffklasse stellen dabei sogenannte oxidfaserverstärkte Oxidkeramiken (engl. oxide fiber

composite, OFC) dar (Bild 1). Das von Schunk Kohlenstofftechnik GmbH auf industrielle Maßstäbe ausgelegte Herstellkonzept dieser OFC-Werkstoffe erlaubt dabei völlig neue Möglichkeiten bei der Prozessierung von Aluminiumschmelzen.

Das Werkstoffkonzept

Bei diesen OFC-Werkstoffen werden oxidkeramische Fasern in eine poröse oxidkeramische Matrix eingebettet. Bestimmte energiedissipative mikrostrukturelle Versagensmechanismen führen dabei zu einem quasiduktilen, schadenstoleranten Materialverhalten. Im Gegensatz zu unverstärkten, monolithischen Keramiken führen lokale Verletzungen am Bauteil nicht zu einer Gesamtschädigung des Systems. Demonstriert werden kann dies mit dem rissfreien Durchschlag eines Nagels durch eine OFC-Platte. Dieses Werkstoff-



Bild 1: OFC-Bauteil im Einsatz an einer Kaltkammer-Druckgießmaschine der Hochschule Aalen.

verhalten ermöglicht auch eine mechanische Bearbeitung durch Drehen, Fräsen oder Bohren, was gegenüber der konventionellen Keramik zusätzliche Möglichkei-

ten und konstruktive Freiheiten bietet. Eine weitere Besonderheit ist die Zusammensetzung der OFC-Werkstoffe, die im Wesentlichen aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) bestehen und keinen Siliziumanteil enthalten, wodurch sich im Zusammenhang mit Aluminiumschmelzen und Luftsauerstoff ausgezeichnete inhärente Korrosions- und Oxidationseigenschaften ergeben. Dadurch nachgewiesen sind eine chemische Beständigkeit gegenüber flüssigem Aluminium und seinen Legierungen sowie ein extrem vorteilhaftes Benetzungsverhalten und ein leichtes Entfernen von erstarrtem Aluminium an OFC-Bauteilen (Bild 2).

Auch aus werkstoffphysikalischer Sicht eignen sich diese Werkstoffe hervorragend für den Einsatz in Aluminiumschmelzen. Besonders hervorzuheben ist dabei die hohe Festigkeit und Schadenstoleranz bei thermomechanischer Beanspruchung. Diese sehr gute Thermowechselbeständigkeit garantiert OFC-Bauteilen eine gleichbleibende Festigkeit bei Tauchvorgängen in Aluminiumschmelze (Bild 3), ein wesentlicher Vorteil gegenüber unverstärkten, monolithischen Keramiken. Zusätzlich zeichnen sich die OFC-Werkstoffe durch günstige Wärmeeigenschaften aus. Hierbei sind die niedrige Wärmeleitfähigkeit und die Realisierung dünner Wandstärken besonders vorteilhaft. Die Dichte des Materials von weniger als 3 g/cm^3 und die Möglichkeit der dünnwandigen Ausgestaltung ermöglichen zudem eine Leichtbauweise und Verbesserung des Handlings gegenüber Bauteilen aus konventionell eingesetzten Werkstoffen.

Die Herstellung

Für die Herstellung von OFC-Verbundwerkstoffen existieren verschiedene Herstellrouten und -varianten. Der Ausgangspunkt ist jedoch in allen Fällen die belastungsgerechte Positionierung von oxidischen Fasern und die Integration in einen matrixbildenden Schlicker. Ziel dabei ist es, die einzelnen Faserfilamente in eine poröse Matrix einzubetten und mechanisch zu entkoppeln sowie wirkende mechanische Kräfte zu verteilen, um dem Bauteil die gewünschte Geometrie und letztlich das schadenstolerante Bruchverhalten zu verleihen. Die einzelnen Fasern werden dabei entweder direkt zu Wickelbauteilen verarbeitet oder in Form eines textilen Halbzeuges, wie zum Beispiel als Gewebe oder Geflecht, eingesetzt.

Bei der Prepreg-Technologie greift man auf die Verwendung von flächigen Faserhalbzeugen zurück, um den Aufwand

KURZFASSUNG:

Der Verschleiß und vor allem der Eintrag von Verunreinigungen durch Werkzeug- und Anlagenkomponenten bei der Verarbeitung von Aluminiumschmelzen stellt die Gießereiindustrie seit jeher vor größere Herausforderungen. Innovative Produktentwicklungen und Lösungsansätze auf Basis von oxidfaserverstärkten Oxidkeramiken können hierbei Abhilfe schaffen. Bei dieser relativ jungen Werkstoffklasse führt die Faserverstärkung und Werkstoffzusammensetzung zu einem quasiduktilen, schadenstoleranten Materialverhalten. Weiterhin bieten diese sogenannten OFC-Werkstoffe (engl. oxide fiber composite) eine chemische Beständigkeit und ein sehr vorteilhaftes Benetzungsverhalten gegenüber Aluminiumschmelzen. Einige Anwendungen wurden bereits erfolgreich realisiert. Der Wegfall des Schlichtvorgangs, reduzierter Energieeinsatz, Verlängerung von Standzeit und Lebensdauer sowie eine Verbesserung der Gussqualität tragen maßgeblich zur Verbesserung von System- und Prozessbedingungen sowie zur Gesamtkostenminimierung in der Aluminiumgießerei bei.

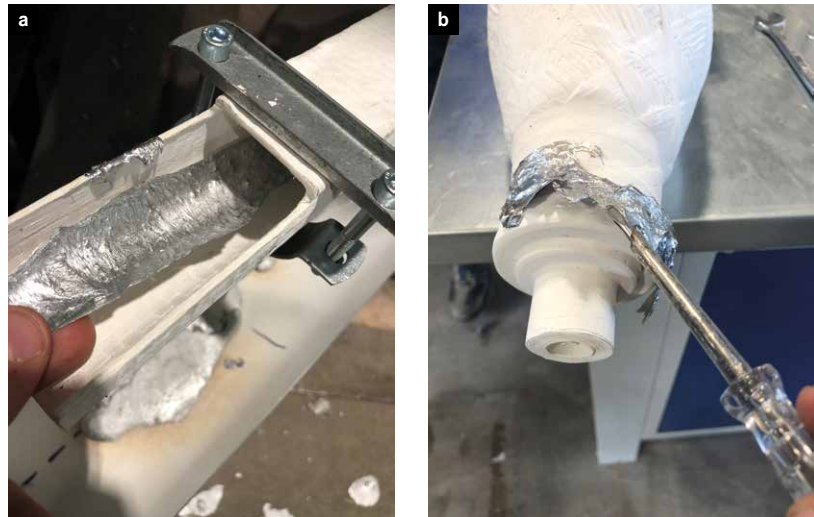


Bild 2: leichtes Entfernen von erstarrter Schmelze an OFC-Werkstoffen, an einer Gießrinne (a) und an einem Dosiertiegel (b).

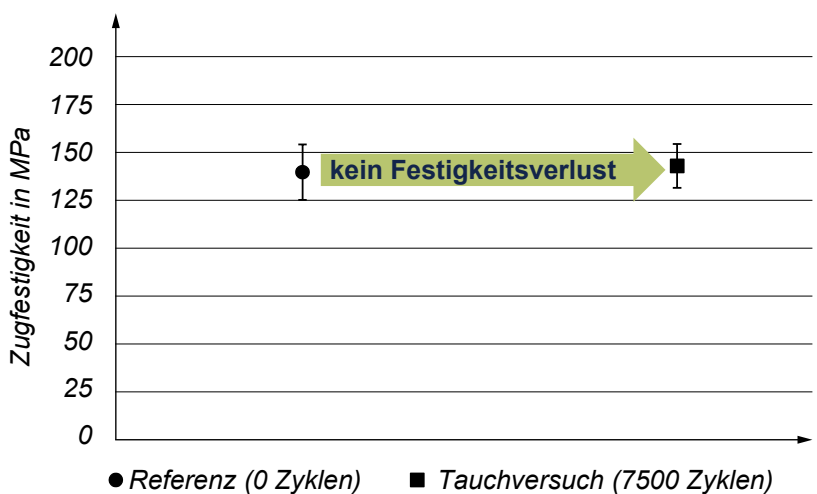


Bild 3: Zugfestigkeiten der OFC-Proben nach Versuchen in einer AlSi9Cu3-Schmelze bei $720 \text{ }^\circ\text{C}$.



Bild 4: Charakterisierung einer OFC-Gießrinne an der TU Bergakademie Freiberg.

der orientierungsgerechten Positionierung der Fasern zu verringern. Je nach Anforderung an die mechanische Belastung oder sphärische Verformbarkeit der Halbzeuge sind dabei verschiedene Varianten im Einsatz und können individuell angepasst werden. Diese werden dann anschließend mit dem Schlicker infiltriert, über entsprechende Negativformen drapiert und weiter prozessiert. Zum Abschluss der Herstellung steht dabei ein Sinterprozess. Im Gegensatz zu monolithischen Keramiken unterliegen diese OFC-Bauteile dabei aufgrund eines angepassten Faser-Matrix-Systems keinem Sinterschwund. Dies bietet den großen Vorteil einer bereits endkonturnahen Herstellung. Weiterhin eröffnet diese Methode die Herstellung komplexer dreidimensionaler Strukturen, wobei die Anforderungen an Belastung und geometrischer Gestaltung bestmöglich ausbalanciert werden können.

Die Herstellung von rotationssymmetrischen Bauteilen erfolgt in der Regel über Wickelprozesse, bei denen die Bauteilgeometrie durch einen rotierenden Wickelkern vorgegeben ist, auf dem die mit Schlicker vorimprägnierten Faserbündel abgelegt werden. Entsprechend den Anforderungen an das spätere Bauteil können hierbei die Anzahl der abgelegten Faserlagen, Wicklungsarten und -winkel, welche die Faserorientierung und somit die Aufnahme von Axial- und Umfangslasten beeinflussen, zielgerecht festgelegt werden. Anschließend erfolgt eine Weiterprozessierung der Bauteile analog der Prepregtechnologie bis hin zum Sinterprozess. Für verschiedene Anwendungen

im Bereich der Prozessierung von Aluminiumschmelzen stehen somit verschiedene Herstellungsverfahren zur Verfügung, welche den individuellen Ansprüchen entsprechend angepasst werden können.

Die Anwendung

Zunächst wurden umfangreiche Versuchsreihen in Kooperation mit der TU Bergakademie Freiberg durchgeführt, um das OFC-Material in verschiedenen Aluminiumlegierungen, Temperaturen und Anwendungsfeldern hinreichend zu charakterisieren und zu optimieren. Die Ergebnisse waren dabei sehr zufriedenstellend und haben die Vorüberlegungen und definierten Projektziele übertroffen. Nach diesen sehr erfolgreichen Vorversuchen wurden verschiedene Bauteile für die Anwendung in Aluminiumschmelzen adaptiert, konzipiert, hergestellt und hinreichend im Einsatz charakterisiert. Die dabei entstandenen Entwicklungen erlauben eine deutliche Steigerung der Produkt- und Prozesseigenschaften. Die OFC-Werkstoffklasse besitzt demnach das Potenzial, Bauteile zum Handling von Al-Schmelzen zu verbessern bzw. zu substituieren, die derzeit in der industriellen Praxis aus metallischen, keramischen oder grafitischen Materialien gefertigt sind.

Je nach Anwendungsfall ergeben sich dabei verschiedene Nutzevorteile. Bei Gieß- und Verteilrinnen bzw. -systemen (Bild 4) ermöglicht sowohl der Wegfall des Schlichtvorgangs eine Aufwands- und Kostenreduktion als auch der reduzierte Energieeinsatz durch die Vermeidung von Überhitzung und Reduzierung von Tem-

peraturverlusten aufgrund einer dünnwandigen, geschlossenen Ausgestaltung. Weiterhin ist eine Verlängerung der Standzeit und eine höhere Gussteilqualität dadurch zu erwarten, dass keine Auswaschung keramischer Partikel aus der Rinne beziehungsweise einer Schlichte stattfindet. Zusätzlich kann durch die ausgeschlossene Sprödbbruchgefahr eine höhere Prozesssicherheit erzielt werden. Einhergehend mit einem reduzierten Arbeits- und Zeitaufwand sowie einer Einsparung von Energie und Ressourcen ergibt sich eine Verbesserung der System- und Prozessbedingungen.

Aus dem entwickelten OFC-Material können auch Schmelztiegel für Aluminiumschmelzen konzipiert werden (Bild 5). Aufgrund des vorteilhaften Benetzungsverhaltens und der chemischen Beständigkeit des Materials werden durch das Tiegelmaterial eingetragene Verunreinigungen minimiert. Ferner zeigt das OFC-Material eine ausgezeichnete Beständigkeit gegenüber aggressiven Aluminiumschmelzen und sauerstoffaffinen, reaktionsfreudigen Materialien wie den Veredlungsmitteln Natrium und Strontium. Somit sind Schmelztiegel aus OFC-Werkstoffen für variable Legierungszusammensetzungen einsetzbar und bieten gleichzeitig die Möglichkeit des fast vollständigen Ausbringens, da Anhaftungen ausgeschlossen sind.

Die hohe Thermowechselbeständigkeit und Formstabilität bei thermischen Zyklen erlauben einen Einsatz bis zu einer Maximaltemperatur von 1100 °C. Die Tiegel müssen nicht auf Betriebstemperatur vorgewärmt werden und eine Versprödung beziehungsweise ein Erweichen der Tiegel bei Dauerbetrieb sind ausgeschlossen. Das Erstarren und Wiederaufschmelzen von Aluminiumschmelze ist in einem OFC-Schmelztiegel problemlos möglich und stellt daher eine wesentliche Verbes-



Bild 5: OFC-Schmelztiegel.



serung im Vergleich zum Stand der Technik dar. Aufgrund der geringen Wandstärke und der thermomechanischen Eigenschaften des Materials eignen sich diese besonders gut für die Anwendung in Induktionsöfen. Durch den verringerten Abstand des Schmelzguts zu den Induktionsspulen ist das Aufschmelzen von Material im Vergleich zum Stand der Technik in wesentlich kürzeren Zeitspannen realisierbar und führt zu einer Energieeinsparung. Die schadensfreie und einfache Reinigung von OFC-Bauteilen stellt auch für Mitarbeiter aus der Produktion eine erhebliche Aufwandserleichterung dar. Durch die Leichtbaukonstruktion ergibt sich beim Handling eine Verbesserung aus ergonomischer Sicht.

Zusammenfassung

Mithilfe der technischen Produktentwicklungen von OFC-Bauteilen der Firma Schunk Kohlenstofftechnik GmbH lassen sich viele optimierte Feuerfestanwendungen für Aluminiumgießereien und deren Mitarbeiter realisieren. Die wesentlichen Merkmale und Vorteile des innovativen Werkstoffs bei der Prozessierung von Aluminiumschmelzen können wie folgt zusammengefasst werden:

- > Kombination von hoher Festigkeit und Duktilität bei thermomechanischer Beanspruchung:
- > ausgezeichnete thermomechanische Eigenschaften,
- > hohe Schadenstoleranz, keine Spröbruchgefahr,
- > sehr gute Temperaturwechselbeständigkeit,
- > Korrosions- und Oxidationsbeständigkeit:
- > chemische Beständigkeit gegenüber Al-Schmelzen und Luftsauerstoff,
- > vorteilhaftes Benetzungsverhalten,
- > keine Reaktion mit Na, Sr,
- > leichte Entfernung von erstarrtem Al,
- > niedrige Wärmeleitfähigkeit,
- > geringe Wandstärke der Bauteile,
- > Leichtbau durch Faserverstärkung und Dichte $< 3 \text{ g/cm}^3$,
- > keine Penetration von Al in porösen Werkstoff.

Die vorgestellten Anwendungen umfassen dabei nicht das komplette denkbare Produktportfolio. Von singulären Bauteilen und Anwendungen bis hin zu Werkstoffverbund-Konstruktionen, zum Beispiel anhand von Inlays oder Armierungen in bestehenden Systemen, eröffnet diese Werkstoffklasse völlig neue Anwendungsfelder und Möglichkeiten zukünftiger Bauteilentwicklungen. Durch die vorteilhaften thermo-mechanischen und chemisch-physikalischen Eigenschaften, dem reduzierten Energie- und Zeiteinsatz, den verbesserten Prozessbedingungen ist der vorgestellte OFC-Werkstoff zukunftsweisend bei der Prozessierung von Aluminiumschmelzen und trägt zur Gesamtkostenminimierung der Gießereien bei. Weitere Informationen finden Sie auch unter:



Whitepaper:

<http://bit.ly/36NDQbq>

Dipl.-Ing. Philipp Kolbe, Schunk Kohlenstofftechnik GmbH,
Heuchelheim,
philipp.kolbe@schunk-group.com



16. bis 18. Juni 2020 Messe Stuttgart

Das Internet ist groß. Viel zu groß, um direkt ans Ziel zu führen, wenn es um spezielle Guss- und Schmiedeteile geht. Schneller fündig werden Sie auf der CastForge: Rund 250 Aussteller bieten Produkte und Leistungen vom Rohling bis zum fertigen Bauteil an. Dazu erleben Sie ein produktives Netzwerk für persönlichen Austausch und Wissenstransfer.

Sichern Sie sich jetzt Ihr Ticket!

www.castforge.de | #CastForge