

KOMPLEXE BAUTEILE AUS SILIZIUMCARBID DURCH DRUCKLOSE GIESSFORMGEBUNG

Dipl.-Ing. Steffen Kunze, Dipl.-Krist. Jörg Adler, Dr. Uwe Petasch

Ausgangssituation

Durch die quasi schwindungsfreie Herstellung eignet sich siliziuminfiltriertes Siliziumcarbid (SiSiC) für die Produktion komplexer und großvolumiger keramischer Bauteile. Als Urformverfahren bieten sich hierfür sowohl das Schlickergießen als auch die spanende Formgebung aus isostatisch verpressten SiC-Grünkörpern an. Für die Erzeugung von Komponenten mit großen Wandstärkeunterschieden und/oder anspruchsvollen Hinterschnidungen stoßen diese konventionellen Herstellungsvarianten jedoch an ihre verfahrenstechnischen Grenzen. Die Fertigung von Bauteilen mit solchen anspruchsvollen geometrischen Anforderungen ist derzeit nur durch Modulbauweisen und der Verfahrenskombination mit Garnierprozessen möglich, welche mit einem erheblichen kostenintensiven Material-, Maschinen- und Personalaufwand verbunden sind.

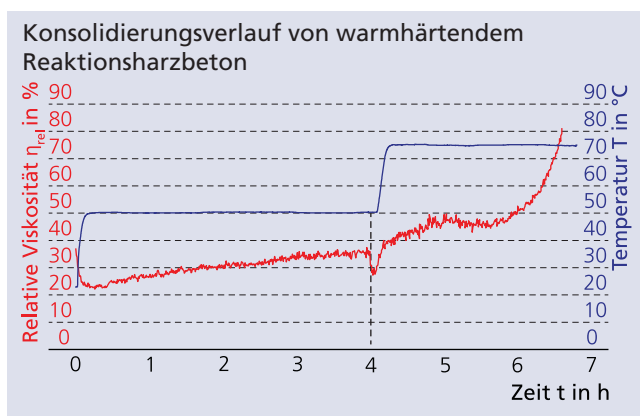
Lösungsansatz

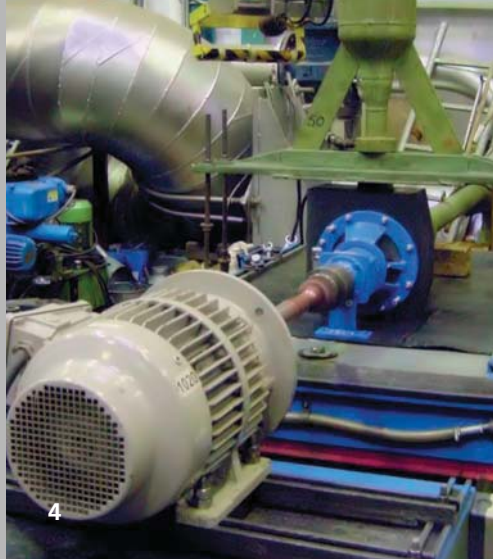
Eine Methode zur Erweiterung der Formgebungsmöglichkeiten sowie der kostengünstigeren Herstellung von SiSiC-Komponenten bietet die Adaption des Produktionsverfahrens für Reaktionsharzbetone an die keramische Fertigung.

Reaktionsharzbetone, die überwiegend aus einer Mischung eines polymeren Bindemittelsystems mit grobkörnigen SiC-Partikeln bestehen, lassen sich drucklos in offene Formen gießen und härten. Die Verwendung von Elastomeren oder Wackskernen in der Gießform ermöglicht bei diesem Verfahren die Herstellung großer und komplexer Grünkörper mit Hinterschnidungen und Wandstärkeunterschieden in einem Arbeitsschritt.

Der Erfolg der Gießformgebung ist dabei wesentlich vom Bindemittel sowie dem Konsolidierungsverlauf der Reaktionsharzbetone abhängig. Während der teils mehrere Stunden andauernden Gießprozesse, ist die Einhaltung einer ausreichenden Topfzeit des Harzsystems erforderlich. Zur Verhinderung von Sedimentationsprozessen der Füllstoffe muss das Bindemittel im Anschluss an den Formfüllvorgang jedoch in der Lage sein zügig zu konsolidieren. Des Weiteren benötigt das Harzsystem eine hohe Kohlenstoffausbeute bei der Pyrolyse.

Für die Umsetzung des Anforderungsprofils kommt ein Novolak mit einer massenbezogenen Kohlenstoffausbeute von ca. 40 % zum Einsatz. Dessen Vernetzung wird durch eine im IKTS entwickelte Kombination von aminischen (Hexamethylen-tetramin) und epoxidischen (Bisphenol-A-diglycidylether) Härtern durchgeführt. Diese ermöglichen die Warmhärtung des Phenolharzes schon bei sehr niedrigen Temperaturen unterhalb von 80 °C, was eine Voraussetzung für die Verwendung von Wachs- und Elastomerformteilen darstellt. Im Anschluss an die Konsolidierung werden die Reaktionsharzbetone in zwei Arbeitsschritten zu SiSiC überführt. Während einer Pyrolyse wandelt sich unter der Abspaltung niedermolekularer Verbindungen bei Temperaturen bis 900 °C die polymere Matrix in Glaskohlenstoff um. Im Anschluss daran wird der poröse SiC-Formkörper mit flüssigem Silicium infiltriert wobei der Kohlenstoffbinder mit diesem zu einer sekundären SiC-Phase reagiert.





MASCHINENBAU UND FAHRZEUGTECHNIK

Bei der Pyrolyse und Silizierung beträgt die Längenabnahme der hochgradig mit SiC gefüllten Gussteile lediglich 0,1 %. Das dementsprechend quasi schwindungsfrei herstellbare SiSiC zeichnet sich durch sein sehr grobkörniges Gefüge mit Korndurchmessern von teils über 1000 μm aus. Die mechanischen Eigenschaften des SiSiC-Werkstoffs sind dennoch sehr gut. Die auf ein Einheitsvolumen von 1 mm^3 korrelierte Weibullfestigkeit beträgt 175 MPa bei einem Weibullmodul von 17. Die Risszähigkeit liegt mit einem Wert von 2,8 $\text{MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$, ebenso wie die erreichte Dichte von 3,05 g/cm^3 , im Bereich konventioneller SiSiC-Keramiken. Das Material zeichnet sich generell durch eine sehr hohe Härte und Verschleißbeständigkeit aus. Es ist weiterhin gasdicht, chemikalienbeständig gegen Säuren und Lösemittel, temperaturbeständig bis ca. 1300 $^{\circ}\text{C}$ und besitzt bei Raumtemperatur eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit von ca. 150 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Technische Anwendungen

Die Wirtschaftlichkeit des Herstellungsverfahrens ermöglicht unter anderem im Chemie- und Anlagenbau die Substitution konventioneller Werkstoffe. Durch die herausragenden chemischen, thermischen und tribologischen Eigenschaften von SiSiC lassen sich dadurch vor allem die Standzeiten von Maschinen und/oder deren Produktivität steigern.

Als erste Anwendungen wurden daher, gemeinsam mit den Unternehmen SICcast Mineralguß GmbH und Düchting Pumpen GmbH, Radialpumpenlaufräder gefertigt. Für die Gießformgebung sind dabei auch industrielle Anlagen zur Herstellung von Reaktionsharzbetonen mit Batchgrößen von bis zu 600 kg erfolgreich getestet worden. Die Einsatzgebiete solcher keramischer Pumpen liegen vor allem in Anwendungen, die bei sehr hohen Temperaturen verarbeitungstechnisch anspruchsvolle Medien, wie etwa korrosive Chemikalien oder hochgradig mit abrasiven Partikeln angereicherte Suspensionen, fördern. Derzeit befindet sich ein Radialpumpenlaufrad mit einem Außendurchmesser von 436 mm, einer Lastdrehzahl von ca. 1000 1/min und Nennleistung von ca. 90 kW als Prototyp im Langzeittest. Im Anschluss daran können Aussagen bezüglich der Verschleißbeständigkeit sowie der zu erwartenden Standzeitverlängerung in konkreten Anwendungen im Vergleich mit konventionellen Werkstoffen getroffen werden.

Neben der Pumpenindustrie liegen weitere potentielle Anwendungsgebiete in der Herstellung von Düsen, Mühlen, Rekupe-ratoren oder Brennern. Aufgrund der hohen Steifigkeit und niedrigen Längenausdehnungskoeffizienten eignet sich diese Keramik beispielsweise auch zur Herstellung von Gehäusen und Trägersystemen in Hochpräzisionsanwendungen der optischen Industrie.

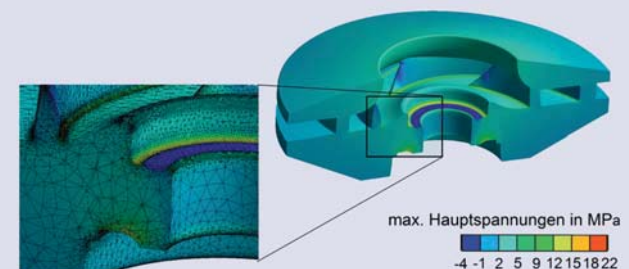
Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten sind Ergebnisse aus Gemeinschaftsprojekten mit den Firmen SICcast GmbH und Düchting Pumpen GmbH. Wir bedanken uns beim Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie für die Förderung im Rahmen des ZIM Projekts KF2087322LL1.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Verfahrens- und Systementwicklung für Reaktionsharzbetone und Strukturkeramiken aus SiSiC
- Auslegung und Anfertigung von Applikationsmustern und Prototypen
- Bauteil- und Werkstoffcharakterisierung

FEM-Simulation der Spannungsverteilung im Bauteil



- 1 Verfüllvorgang des Reaktionsharzbetons.
- 2 Gefügedarstellung des grobkörnigen SiSiC-Werkstoffs.
- 3 Keramisches Radialpumpenlaufrad as fired (Durchmesser 250 mm).
- 4 Pumpenprüfstand des Partners Düchting Pumpen GmbH.
- 5 Umlenkdüse (350 x 250 x 250 mm^3).