

# Schlussbericht

der Forschungsstelle(n)

Nr. 16601 BG, Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik)

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur  
Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **IGF-16601 BG**

***CerScrew: Innovative Verschraubung aus Hochleistungskeramik für thermisch, korrosiv  
und elektrisch hochbelastete Systeme***

(Bewilligungszeitraum: 01.07.2010 - 30.09.2013)

der AiF-Forschungsvereinigung

Deutschen Keramischen Gesellschaft e.V. - DKG

Freiburg, 15.01.2014

Ort, Datum

Andreas Kailer

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)  
an der/den Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Schlussbericht

der Forschungsstelle(n)

Nr. 16601 BG, Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF)

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur  
Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **IGF-16601 BG**

***CerScrew: Innovative Verschraubung aus Hochleistungskeramik für thermisch, korrosiv  
und elektrisch hochbelastete Systeme***

(Bevilligungszeitraum: 01.07.2010 - 30.09.2013)

der AiF-Forschungsvereinigung

Deutschen Keramischen Gesellschaft e.V. - DKG

Berlin, 14.01.2014

Ort, Datum

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)  
an der/den Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Schlussbericht

der Forschungsstelle(n)

Nr. 16601 BG, Fraunhofer Institut für keramische Technologien und Systeme

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur  
Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **IGF-16601 BG**

***CerScrew: Innovative Verschraubung aus Hochleistungskeramik für thermisch, korrosiv  
und elektrisch hochbelastete Systeme***

(Bevolligungszeitraum: 01.07.2010 - 30.09.2013)

der AiF-Forschungsvereinigung

Deutschen Keramischen Gesellschaft e.V. - DKG

Dresden, 13.01.2014

Ort, Datum

Jens Stockmann

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)  
an der/den Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## 1. Zusammenfassung

Der Einsatz von Keramiken ist für hochbelastete spezielle Anwendungen interessant. Temperaturen von 800°C und höher, korrosive Umgebungen, nicht magnetische oder elektrisch leitende Eigenschaften können nur mit angepassten Werkstoffen geleistet werden. Diese Anforderungen sind durch Hochleistungskeramik erfüllbar. Die Komponenten wurden in der vergangenen Zeit bereits aus Keramik erfolgreich erprobt. Idealerweise sollte nun auch die Verbindung aus äquivalentem Werkstoff erfolgen. Die Belastung von Zahnrädern und Gewinden kann prinzipiell besser durch nicht spröde Werkstoffe aufgenommen werden, kann aber auch mit Keramik verwirklicht werden. Dies liegt primär am nötigen Kraftfluss im Bauteil, der über die Kontaktflächen und insgesamt entlang einer komplexen Verzahnungskontur erfolgen muss. Spröde Werkstoffe zeigen dabei nicht nur Risiken durch die breitere Verteilung von Versagenslasten und die aufwändigere Bearbeitung, sondern auch durch die Gültigkeit anderer Versagenskriterien. Relevant ist hier in den meisten Fällen ausschließlich die erste Hauptspannung, die im Gegensatz zur von-Mises-Vergleichsspannung sensibel auf die Umlenkung des Kraftflusses über eine Spannungsüberhöhung reagiert.

In diesem Projekt wurde gezeigt, dass die Keramik bereits ~ 30% des Tragfähigkeitspotentials eines Stahls 8.8 bei Raumtemperatur ermöglicht. Damit ist spätestens bei Temperaturen oberhalb 400°C die Keramik vorteilhaft. Die gewählte Siliziumnitrid-Keramik ist beständig gegen korrosive Einflüsse aber insbesondere interessant für Hochtemperaturanwendungen, die über 800°C hinausgehen. Die Einsatzfähigkeit ist bei Einschränkung der Streuung über Produktionskontrolle gewährleistet. Die Variante im Niederdruckspritzgussverfahren ist wirtschaftlich einsetzbar. Eine weitere Steigerung der Tragfähigkeit durch Verfahrensoptimierung ist möglich. Hierfür wurden in diesem Projekt Leitlinien zur Optimierung über die gesamte Verfahrenskette erarbeitet, indem schon bei dem Design begonnen wurde.

Die Sensitivität zu Spannungsüberhöhungen verhindert zunächst, dass wie bei Stahl Abschätzungen der Belastung über die effektive Querschnittsfläche möglich sind. Somit sind ein echtes Verständnis und eine keramikgerechte Auslegung für aufwändigere Geometrien nur mit Finite-Elemente-Simulationen erreichbar. Für solche Bauteile wurde über die Simulation die Ausbildung des Kraftflusses in den Komponenten in Wechselwirkung mit der Reibbelastung analysiert, und verschiedene Gewindevarianten erprobt und analysiert.

Für die Erstellung der Keramikpaare wurden Siliziumnitrid und ATZ (Aluminiumoxid verstärktes Zirkonoxid) als Hochleistungskeramiken und die zwei Herstellungslinien Hartbearbeitung von über Grünbearbeitung vorkonturierter isostatisch gepresster Rohlinge und Niederdruckspritzguss ausgewählt, die mit Modifikationen auch für andere Herstellungsverfahren repräsentativ sind. Für diese Herstellungslinien wurden zwei Größen von 4 mm bis 12 mm Gewindedurchmesser gewählt, die fertigungstechnische Grenzen der beiden Verfahren entsprechen.

Sowohl Siliziumnitrid als auch ATZ Pulver wurden über homogenisierte Suspension, Sprühgranulierung, Granulatanmusterung, isostatische Pressung, Entbinderung und Gasdrucksinterung in Werkstoffe mit einer geringen Weibullstreuung der Festigkeit ( $m > 20$ ) überführt. Für die thermoplastische Formgebung von Siliziumnitrid über den Niederdruckspritzguss wurde ein Schlicker aufgebaut. Für diesen wurde die Einspritzgeschwindigkeit optimiert und die Bildung von Lunkern unterbunden.

Für die Hartbearbeitung wurden die nötigen schleif- und abrichttechnologischen Anforderungen und der angepasste Einsatz von Kühlschmierstoff entwickelt, indem Schleifkräfte, Oberflächengüte, Form- und Maßhaltigkeit bewertet wurden. Für eine angepasste Bearbeitung der Innengewinde ist die Technologie zur Erhöhung der Schleifscheibenumfangsgeschwindigkeit für die Zukunft bereitzustellen.

Die experimentelle Prüfung zeigt, dass für die Größe mit dem Durchmesser 4 mm die niederdruckgespritzten Verschraubungen Verfahrensvorteile besitzen. Die für diese ermittelte Tragfähigkeit war mindestens so gut wie die der hartbearbeiteten, da eine geringe Streuung erhal-

ten wurde. Für eine weitere Verbesserung ist zunächst den Verschraubungswiderstand im Gewindeeingriff zu reduzieren, der die Tragfähigkeit beschränkt. Für die hartbearbeiteten Schrauben mit dem Durchmesser 12 mm gilt es für die Zukunft, die Streuung des Verschraubungswiderstandes zu reduzieren, der sich negativ auf die Tragfähigkeit auswirkt. Für beide Größen gilt, dass sich die äußere Drehmomentlast linear auf die lokale Dehnung überträgt, und die zyklische Verschraubung und Lösung möglich ist.

Das ursprüngliche Ziel des Projektes war die Herstellung von Demonstratoren keramischer Schraubverbindungen für verschiedene Anwendungen. Dieses wurde nur teilweise erreicht. Stattdessen wurde vielmehr eine Entwicklungsleitlinie zur Herstellung keramischer Schraubverbindungen für verschiedene Anwendungen erstellt. Die Entwicklungsleitlinie können interessierte Firmen der keramischen Industrie für die Entwicklung eigener Produkte nutzen.

Im Anschluss ist geplant die ermutigenden Resultate wie bereits während des Projektes einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen, indem z.B. eine Veröffentlichung in der Zeitschrift Konstruktion und eine Pressemitteilung angegangen werden.

Das IGF-Vorhaben 16601 BG, Cerscrew: Innovative Verschraubung aus Hochleistungskeramik für thermisch, korrosiv und elektrisch hochbelastete Systeme der Forschungsvereinigung Deutsche Keramische Gesellschaft e.V wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

arbeitung in Form einer verhängerten Demoschraube hergestellt. Somit ist mit dieser Geometrie