

Keramische Sondenköpfe – Strömungsmesstechnik für Turbomaschinen

Dr. Anne-Kathrin Wolfrum, Dr. Eveline Zschippang,
Dipl.-Ing. Eric Schwarzer-Fischer

Die Messung von Temperatur- und Strömungsdaten in Turbomaschinen ist essenziell, um deren Auslegung und Effizienz zu steigern. Mit angestrebten Turbineneintrittstemperaturen von 1700 °C und höher sowie auftretenden Temperaturspitzen und -gradienten werden hohe Anforderungen an die Strömungsmesstechnik gestellt. Für die Herstellung von Sondenköpfen zur Temperatur- und Druckmessung werden daher Werkstofflösungen gesucht, die so nah wie möglich an der Maximaltemperatur eingesetzt werden können und zudem eine hohe Thermochockbeständigkeit aufweisen, um ein wiederholtes Hochfahren zu ermöglichen. Im SAB-Projekt HiProSiN (FKZ: 100712189) validiert das Fraunhofer IKTS die Herstellung von keramischen Kiel-Sondenköpfen aus einer besonders Temperatur- und kriebbeständigen Siliciumnitridkeramik (Abb. 1). Um individuelle und komplexe Designs zu ermöglichen, erfolgt die Fertigung über ein 3D-Druck-Verfahren.

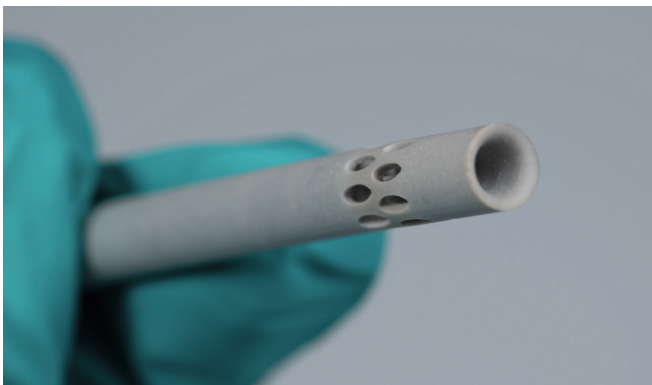


Abb. 1: Kiel-Sonde aus Siliciumnitrid zur Druck- und Temperaturmessung bis zu Einsatztemperaturen von 1400 °C.

Mit dem Nachweis reproduzierbarer Werkstoffeigenschaften bis zu Temperaturen von 1400 °C (Tab.1) konnte im Projekt ein wesentlicher Meilenstein erreicht werden. Besonders hervorzuheben ist, dass Festigkeiten bis zu 415 MPa nach 200 h Oxidation an Luft bei 1400 °C an Proben direkt aus dem Herstellungsprozess ohne nachträgliche Oberflächenbearbeitung nachgewiesen werden konnte. Auch der Sondenkopf soll später ohne aufwendige Finish-Bearbeitung direkt ins System integriert werden. Abb.3 verdeutlicht die Ausbildung einer Oxidschicht auf

Tab. 1: Werkstoffeigenschaften

Festigkeit bei Raumtemperatur	537 ± 81 MPa
Festigkeit bei 1400 °C	534 ± 55 MPa
Festigkeit nach Oxidation für 200 h bei 1400 °C an Luft	415 ± 62 MPa
Oxidationsrate nach 200 h bei 1400 °C an Luft B	3,1 x 10 ⁻⁴ mg/cm ² h
Lin. therm. Ausdehnungskoeffizient	3,5 x 10 ⁻⁶ 1/K (20–1400 °C)

der Oberfläche der Keramik, die vor weiterer Oxidation und Schädigung schützt.

Mit der Forderung nach maßgeschneiderten Messsystemlösungen war das Ausloten von Design- und Fertigungsgrenzen ein weiterer wesentlicher Schwerpunkt im HiProSiN-Projekt. Durch Anpassung des Bindersystems auf die Keramikpulverzusammensetzung und das gezielte Einsetzen von Graustufen beim Druck können Komponenten von bis zu 10 cm Sinterlänge (Wandstärke < 8 mm) und hohen Aspektverhältnissen mittels CerAM VPP 3D-Drucktechnologie gefertigt werden. Um die keramischen Sondenköpfe im Marktumfeld etablieren zu können, stand von Anfang an auch eine kosteneffiziente Prozessführung im Fokus. Im finalen Sinterprozess wird durch eine effiziente Positionierung und Halterung der komplexen Geometrien eine hohe Stückzahl pro Sinterfahrt realisiert. Mit den keramischen Sondenköpfen können bei deutlich höheren Temperaturen Validierungsdaten für die effiziente Auslegung von Turbomaschinen gewonnen werden.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung von Hochtemperaturkeramik
- Fertigung von Komponenten über endkonturnahe Fertigungsverfahren wie zum Beispiel 3D-Druck
- Mechanische Werkstoffprüfung bis 1600 °C, Heißgaskorrosionsuntersuchungen

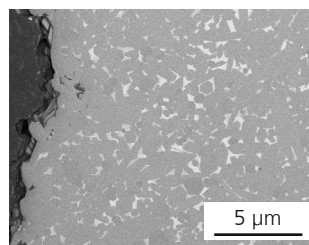


Abb. 2: Gefüge im gesinterten Zustand.

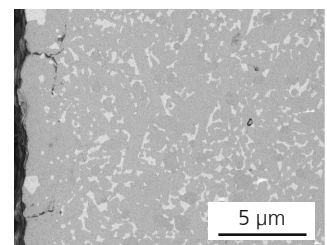


Abb. 3: Gefüge nach Oxidation bei 1400 °C, 200 h.