

Exner, Horst; Reinecke, Anne- Maria; Nieher, Maren; *Knorr, Jürgen; *Lippmann, Wolfgang; *Wolf, Regine

Laserstrahllöten von Siliziumkarbidkeramik für Hochtemperaturanwendungen

Es wurde die Eignung von Laserstrahlung zum Fügen von SiC-Keramikapseln mit Hochtemperaturloten untersucht. Die Kapseln sollen primär zum Einschluss radioaktiver Materialien geeignet sein, d.h., der Verbund muss sich durch Gasdichtheit, Temperaturbeständigkeit, Korrosionsfestigkeit und Strahlenresistenz auszeichnen.

Experimenteller Aufbau / Material

Die Untersuchungen wurden mit einem CO₂- Laser (max. cw-Leistung 700 W) und einem Nd:YAG- Laser (max. cw- Leistung 1000 W) durchgeführt. Der Strahldurchmesser auf der Füge-naht betrug in beiden Fällen 3mm. Ein Strahlungspyrometer, mit dem die Oberflächentemperatur der Keramik in einem Bereich zwischen 500...2500°C gemessen werden kann, diente der temperaturabhängigen Laserleistungsregelung des CO₂- Lasers. Der Temperaturmessung wurde ein experimentell ermittelter Emissionswert von 0,83 zugrunde gelegt. Die Bearbeitung erfolgte an freier Atmosphäre.

Es wurden spritzgegossene LPSSiC- Kapselhälften der Firma TKC Coswig GmbH gefügt. Die Flüssigphase des Grundmaterials nimmt 5,7% der Gesamtmasse ein und besteht aus Al₂O₃ und Y₂O₃. Eine Kapselhälfte hat einen Durchmesser von 16mm, eine Höhe von 8mm und eine Wandstärke von 2mm.

Die Entwicklung der Keramiklote wurde an der TU Dresden vorgenommen. Diese basieren, analog der zum Flüssigphasensintern der Keramik eingesetzten Hilfsmittel, auf der Basis von Al₂O₃-Y₂O₃-SiO₂. Eine Variation der Verhältnisse dieser Oxide untereinander erlaubt eine präzise Einstellung der Schmelztemperatur des Lotes in einem Bereich zwischen 1450°C und 1850°C. Die Lote sind unter dem Namen Ceralink® erhältlich.

Ergebnisse

Aufgrund verschiedener Absorption der beiden Wellenlängen in Lot und Keramik wird das Lot verschieden tief aufgeschmolzen. Bei gleicher Intensität und einer Temperatur von 1500 °C wird die Wellenlänge von 1,06µm (Nd:YAG) zu rund 89% im SiC absorbiert, die Wellenlänge von 10,6µm (CO₂) zu rund 59%. Die Absorption im Lot ist nicht hinreichend bekannt, dessen Eigenschaften lassen jedoch einen Vergleich mit Gläsern zu. Oxidische Gläser absorbieren die Wellenlänge von 1,06µm <15%, die Wellenlänge von 10,6µm >80%.

Konform zu diesen Angaben ist unter Verwendung von Nd:YAG-Strahlung eine ca. 33 % höhere Schmelztiefe des Lotes, verglichen mit CO₂- Strahlung, zu beobachten.

Die unterschiedliche Absorption der Wellenlängen in der Keramik wirkt sich auf die Oberfläche der Kapseln aus (vgl. Abbildung 1). Die hohe Absorption der Nd:YAG- Strahlung führt zur oberflächlichen Zersetzung der Keramik und dem Sieden von SiO₂ im Gegensatz zur Bearbeitung mit CO₂-Laserstrahlung.

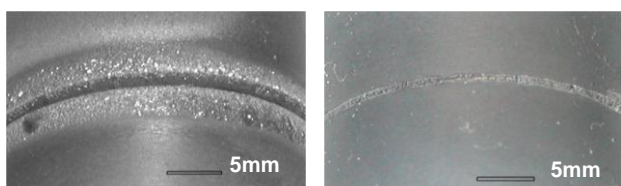


Abb. 1: Foto gelöteter Kapseln (links: Nd:YAG- Laser bearbeitet, rechts: CO₂- Laser bearbeitet)

Die bei der gestellten Aufgabe geforderte Einschmelztiefe von 2mm ist mit beiden Lasern problemlos möglich. Das Gefüge des wiedererstarteten Lotes ist von der Wellenlänge unabhängig. Mit den beschriebenen Lotes können Kapseln bei einer Schmelztemperatur von 1450°C gefügt werden. Die dazu erforderliche Laserstrahlleistung beträgt 500W (CO₂-Laser).

Das Lot zeigt während des Fügens eine Neigung zur Porenbildung. Diese wird auf die Bildung der gasförmigen Reaktionsprodukte Siliziummonoxid und Kohlenmonoxid entsprechend der Gleichung:

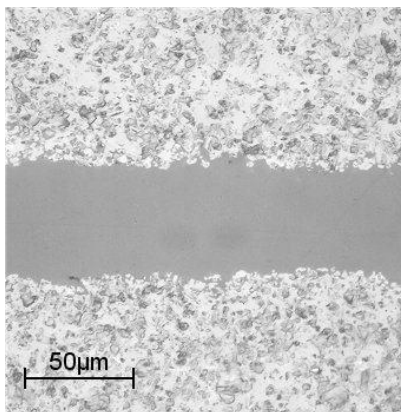
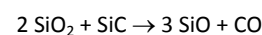


Abb. 2: Querschnitt einer Fügezone (LM), Schmelztemperatur des Lotes >1850°C

zurückgeführt. Diese Reaktion kann bei Auslegung der Füge-spaltbreite kleiner 50µm sicher verhindert werden (Abb. 2). Der Querschnitt der Naht in Abb. 2 ist repräsentativ für Lote einer Schmelztemperatur von 1450... 1850°C. Die chemische Ähnlichkeit des Lotes zum Sinterhilfsmittel garantiert sowohl eine sehr gute Benetzung

(Randwinkel gegen 0°) als auch eine gute Haftfestigkeit zwischen Lot und Keramik. Die Verbindungen sind rissfrei und gasdicht (10⁻⁸ mbar l⁻¹ s⁻¹ im Heliumlecktest). Die Biegefestigkeit der Verbindungen liegt in Ausführung nach DIN 51110 bei 240MPa, das entspricht 70% der am kompakten Material gemessenen Werte.

Nach eigener Einschätzung ist die Festigkeit der Verbindungen an den Kapseln höher, da die Fügetechnologie auf die Biegestäbe nicht ideal übertragen werden konnte. Die thermische Beständigkeit der Verbindungen kann je nach Lotzusammensetzung auf bis zu 1800°C ausgelegt werden.

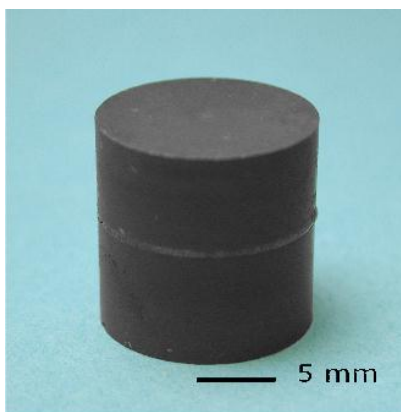


Abb. 3: Foto einer gelöteten SiC-Kapsel

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. H. Exner

Tel.: 03727 581413

Fax.: 03727 581496

e-mail: exner@htwm.de

www.laserinstitut.org

* Institut für Energietechnik der TU Dresden