



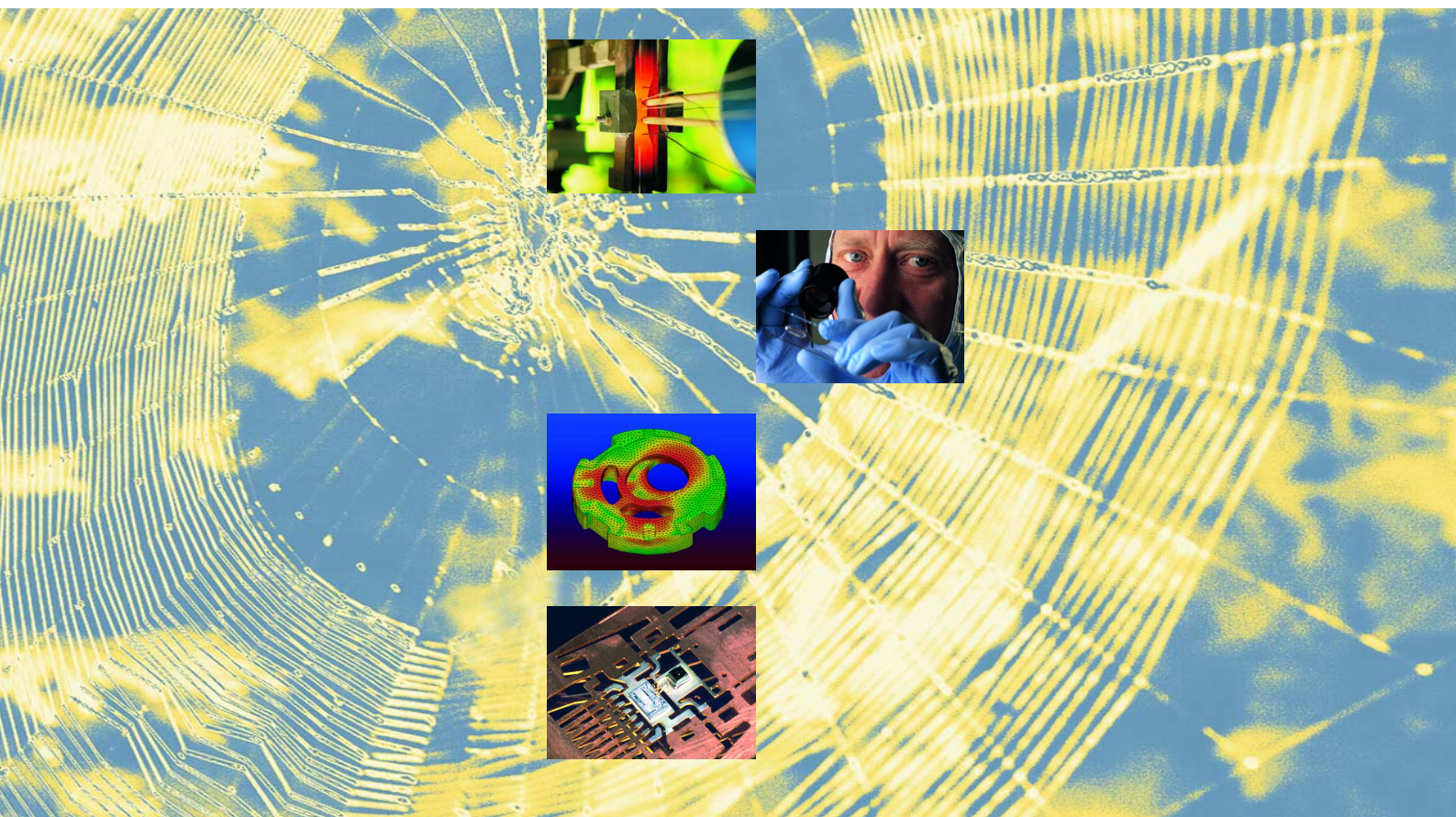
Fraunhofer Institut
Werkstoffmechanik

Jahresbericht 2001

Tragfähigkeitssteigerungen
keramischer Werkstoffe durch Kugelstrahlen

Leistungsbereich
Randschichttechnologien

Dr. Wulf Pfeiffer
Wöhlerstraße 11
79108 Freiburg
Tel. +49 (0) 7 61/51 42-1 66
pfeiffer@iwf.fraunhofer.de



Tragfähigkeitssteigerungen keramischer Werkstoffe durch Kugelstrahlen

Tobias Frey, Wulf Pfeiffer

Non-transformation toughened ceramics show the typically brittle material behaviour of failure before deformation at room temperature. Thus, until now, the strengthening of ceramics through deformation induced compressive residual stresses has not been thought to be possible. Nevertheless, preliminary investigations had shown that shot peening, applied according to ceramic-specific parameters, can introduce high compressive residual stresses into the near-surface of silicon nitride and thereby improve the load capacity. The aim of the investigation was to improve shot peening conditions in order to be able to extend the increase of load capacity while maintaining the surface integrity. The materials under investigation were alumina and silicon nitride, and the properties to be determined were residual stresses, load capacity and topography. The results showed that high compressive residual stresses in the GPa-range can be introduced into silicon nitride and alumina, which may boost the load capacity of the near surface layers by a factor of up to 9. Little impact on the surface integrity could be observed.

Mechanische Verfahren zur Steigerung der Randschichtfestigkeit werden bei Metallen ausgiebig genutzt. Bei Keramiken werden solche Verfahren wie das Kugelstrahlen wegen der für diese Materialien kennzeichnenden Sprödigkeit als nicht aussichtsreich, eher als schädlich angesehen und demzufolge bisher nicht angewandt. Einen im Bereich der Keramik neuen Weg zeigt ein in diesem Institut ent-

wickeltes und patentiertes mechanisches Verfahren zur Randschichtverfestigung auf. Die bisher erzielten Forschungsergebnisse zeigen, dass bei der Anwendung keramikspezifischer Strahlparameter mit dem Kugelstrahlverfahren hohe Druckeigenspannungen in den GPa-Bereich sowie erstaunlich hohe Steigerungen der Randschichtfestigkeit bewirkt werden können. Die bisher untersuchten Materialien sind Aluminiumoxid und Siliciumnitrid. Ziel dieses Verfahrens ist es, die Eigenschaften keramischer Komponenten wie zum Beispiel Lagern zu verbessern.

Zielsetzung

Keramische Wälzlagerwerkstoffe wie Siliciumnitrid erreichen Festigkeiten im Bereich um 1000 MPa. Neue, für keramische Wälzlager attraktive Einsatzfelder in der Energie-, Verkehrs- und Medizintechnik verlangen deutliche Tragfähigkeitssteigerungen bei immer ungünstigeren Betriebsbedingungen. Einen im Bereich der Keramik neuen Weg zeigt das Kugelstrahlen. Dabei wird Strahlmittel in Strahlanlagen unterschiedlicher Bauart beschleunigt und auf die Oberfläche des zu behandelnden Werkstücks geschleudert. Ziel ist die Einbringung von hohen Druckeigenspannungen in die randschichtnahen Bereiche, um eine entsprechende Steigerung der Tragfähigkeit zu erreichen.

Vorgehensweise

Für die Kugelstrahlbehandlung kommt eine Injektorstrahlanlage zum Einsatz. Das Funktionsprinzip besteht darin, dass Druckluft und das Strahlmittel über zwei getrennte Schläuche zur Strahlpistole geführt werden. Die Beschleunigung des Strahlmittels erfolgt in der Strahldüse mittels Druckluft. Zur

Abb. 1
Kugelstrahlen von keramischen Wälzlager-
ringen mit dem Ziel der
Tragfähigkeitssteige-
rung

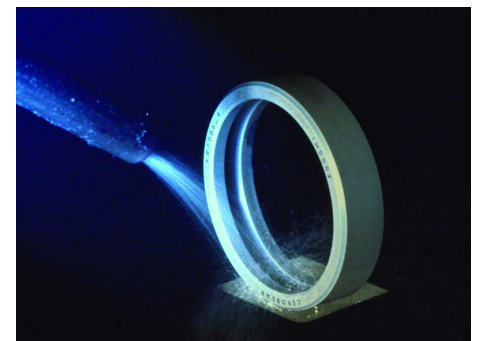


Abb. 2
Topografische Aufnahme vom Übergangsbe-
reich von der unge-
strahlten (polierter Aus-
gangszustand, links) zur
gestrahlten Oberfläche,
rechts

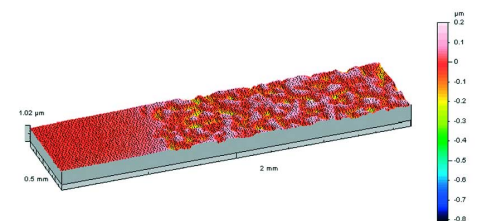


Abb. 3
Kugeldruckfestigkeit über den Eigenspannungen der Siliciumnitridproben für den Referenzzustand und für unterschiedliche Strahlbehandlungen

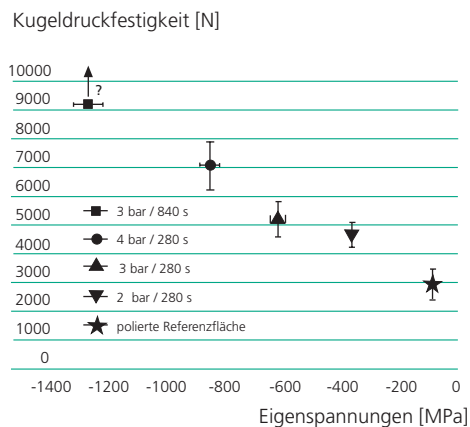
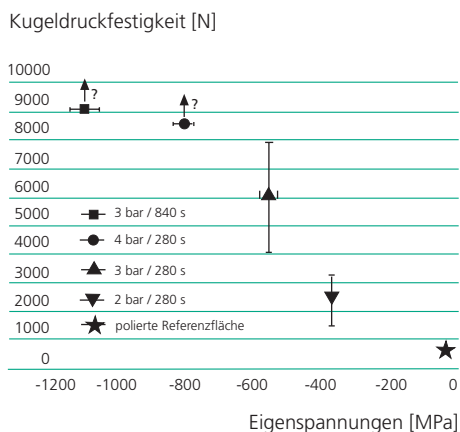


Abb. 4
Kugeldruckfestigkeit über den Eigenspannungen der Aluminiumoxidproben für den Referenzzustand und für unterschiedliche Strahlbehandlungen



erfolgreichen Strahlbehandlung ist die Bestimmung und Einhaltung der werkstoffspezifischen Strahlparameter wichtig. Dazu gehören neben den Strahlparametern wie Strahlendruck, Strahlzeit und Durchsatzmenge auch das Strahlmittel mit dessen Eigenschaften wie Härte, Form und Größe der einzelnen Kugeln.

Um das Verfahren zu bestimmen, wurden Siliciumnitrid- und Aluminiumoxidproben mit im Ausgangszustand polierten Oberflächen verschiedenen Strahlbehandlungen unterzogen. Bei den hier vorgestellten Ergebnissen kam ein Hartmetallstrahlmittel mit einer mittleren Kugelgröße von 0,65 mm zum Einsatz. Die Beurteilung des Effekts der Strahlbehandlung wurde mit Hilfe von Eigenspannungsmessungen und Kugeldruckversuchen (Kugel-Platte Kontakt) durchgeführt. Zur Ermittlung der in der Randschicht eingebrachten Eigenspannungen sind röntgenografische Beugungsanalysen hervorragend geeignet. Der Kugeldruckversuch gibt Hinweise zum Versagens- und Tragfähigkeitsverhalten keramischer Werkstoffe in einer lagerähnlichen Beanspruchungssituation. Der prinzipielle Aufbau besteht aus einer 10 mm Siliciumnitridkugel, die mit bis zu 9200 N auf die zu untersuchende Probe gedrückt werden kann. Ziel des Kugeldruckversuchs ist die Ermittlung der zur Rissbildung erforderlichen Druckkraft.

Ergebnisse

Während der Kugelstrahlbehandlung treffen viele einzelne Hartmetallkugeln mit hoher Geschwindigkeit auf die Oberfläche auf. Je nach den gewählten Strahlparametern wird jede Stelle im Durchschnitt ein oder mehrere Male getroffen. Jeder Treffer hinterlässt eine plastische Verformung in der Ober-

fläche, die in der Summe zur Ausbildung von hohen Druckeigenspannungen führen. Die Veränderungen der Oberfläche nach der Strahlbehandlung zeigt Abb. 2. Dort ist der Übergangsbereich einer polierten Referenzoberfläche zur gestrahlten Oberfläche dargestellt.

Die in Abb. 3 und 4 dargestellten Ergebnisse zeigen das hohe Potenzial des Kugelstrahlens von Keramik zur Festigkeitssteigerung. Für die Materialien Siliciumnitrid und Aluminiumoxid sind für verschiedene Strahlbehandlungen (Strahlendruck, Strahlzeit) sehr hohe Druckeigenspannungen in der Randschicht erzeugt worden. Beträge bis zu 1250 MPa für Siliciumnitrid und 1100 MPa für Aluminiumoxid konnten erreicht werden. Die mit dem statischen Kugeldruckversuch ermittelte Tragfähigkeit korreliert mit den Ergebnissen aus den röntgenografischen Eigenspannungsmessungen. Die Belastbarkeit der Randschicht im Kugeldruckversuch wurde beim Siliciumnitrid von ca. 3000 N auf über 9000 N und beim Aluminiumoxid von ca. 700 N auf über 9000 N angehoben.

Nachdem die bisherigen Ergebnisse gezeigt haben, dass das gezielte Kugelstrahlen in statischen Kontakten eine sehr hohe Tragfähigkeitssteigerung bewirkt, werden weitere Versuche erfolgen, die die kugelstrahlbehandelten Oberflächen unter zyklischer Hertzscher Belastung testen. Dies erlaubt eine quantitative Beschreibung der in keramischen Wälzlagern zu erwartenden Tragfähigkeit. Die Ergebnisse werden durch Versuche im Wälzlagerprüfstand verifiziert.

Die Ergebnisse versprechen jedoch jetzt schon faszinierende Möglichkeiten für alle Einsatzbereiche von Keramiken, die durch eine bevorzugte Beanspruchung der Randschicht gekennzeichnet sind.