

Forschungsergebnisse

Optische Technologien

der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH

Aktive Laseroptik aus technischer Keramik

Im Rahmen des Forschungsprogramms „Optische Technologien“ der Baden-Württemberg-Stiftung gGmbH forschte das Zentrum für Optische Technologien (ZOT) der Hochschule Aalen an der Entwicklung eines Laserspiegels aus technischer Keramik, der sich durch die thermische Last aktiv in die gewünschte Richtung verformt.

Die Lasertechnik, insbesondere die Materialbearbeitung mit CO₂-Lasern, ist eine wichtige Technologie für den Maschinenbau. Zur Fokussierung des Laserstrahls auf das zu bearbeitende Bauteil werden verbreitete Spiegeloptiken aus Kupfer eingesetzt. Wegen des hohen Ausdehnungskoeffizienten von Kupfer und der hohen Leistungsdichte des Laserstrahls verformen sich die Spiegel jedoch trotz aktiver Wasserkühlung während der Bearbeitung.

Eine Alternative bietet ein Laserspiegel aus technischer Keramik, der sich durch die thermische Last aktiv in die gewünschte Richtung verformt und gegebenenfalls über Heizelemente auf hoher Temperatur stabilisiert wird. Neben der besseren Formtreue stellen das reduzierte Gewicht und damit geringere Massenträgheit sowie der Verzicht auf eine Wasserkühlung Produktivitätsvorteile in Aussicht.



Abbildung 1: Laserspiegel aus technischer Keramik mit Befestigungs- und Anlageflächen

Ein solcher aktiv durch die thermische Laserbelastung verformbarer Keramik Off-axis-Spiegel war das Ziel des Projekts.

Design Laserspiegel

Der Laserspiegel für Forschungszwecke wurde im Design kommerziell erhältlichen Kupfer-Laserspiegeln nachempfunden, insbesondere im Hinblick auf die Größe der optischen Fläche sowie der Struktur und den Anlageflächen (siehe Abbildung 1).

Für die optische Fläche wurde im Gegensatz zu den Off-axis-Paraboloiden oder Hyperboloiden realer Spiegel eine bestpassende Sphäre gewählt, die sich besser interferometrisch vermessen lässt. Als Material wurde Cescic

Material ohne die übliche CVD-SiC Polierschicht, um einen möglichst einfachen, wirtschaftlichen Herstellungsprozess zu demonstrieren.

Simulation

Für die Simulation in Zusammenarbeit mit dem CAD-Zentrum der Hochschule Aalen unter Leitung von Prof. Markus Merkel wurden die Modelle dem Aufbau, mit dem die Verformung unter Hitzeeinwirkung gemessen wurde, nachempfunden.

Der Wärmeeintrag ist im Wesentlichen durch die auftreffende Laserleistung bei 10,6 µm und durch die Restabsorption der optischen Schicht bei dieser Wellenlänge bestimmt. Für die Simulation wurden die Daten des im

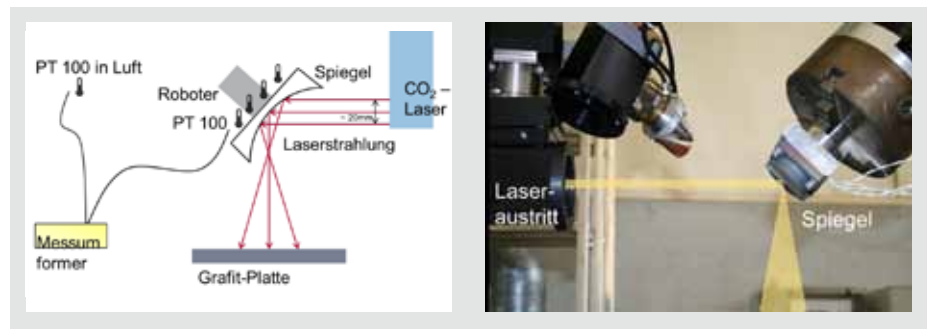


Abbildung 2: Prinzip und Aufbau zur Messung der Spiegeltemperatur am TLF 1500

(kohlefaserverstärktes Siliziumkarbid) von ECM verwendet. Es zeichnet sich z.B. gegenüber Kupfer durch sehr gute relevante Kenngrößen aus wie das Verhältnis der thermischen Leitfähigkeit zur thermischen Ausdehnung und das Verhältnis des E-Moduls zur Dichte.

Die Bearbeitung des Spiegels mit Schleifen und Roboterpolitur erfolgte auf den Maschinen im ZOT. Die Formgenauigkeit der Spiegel betrug ca. 1 µm Peak-to-Valley, die Rauheit ungefähr 10 nm rms. Damit erfüllen sie die Anforderungen für CO₂-Laserspiegel (10,6 µm Wellenlänge). Bearbeitet wurde dabei direkt das gesinterte Cescic-

Laserspiegel von Prof. Harald Riegel vorhandenen Lasers TLF 1500 der Firma TRUMPF mit einer maximalen Leistung von 1500 W angenommen.

Für die Restabsorption der optischen Spiegelschicht wurden zunächst die Herstellerangaben verwendet. Allerdings zeigte sich im Verlauf des Projektes, dass die Absorption einiger optischer Schichten deutlich höher war, als in der Herstellerspezifikation angegeben. Aus diesem Grund wurden in einem zweiten Durchgang die aus dem Wärmeeintrag rückgerechneten Absorptionswerte verwendet.

Messungen

Für den Laseraufbau bei einer Höchstleistung des Lasers von 1520 W und einer hochreflektierenden Spiegelschicht mit 99,8% Restreflex, also 0,2% Absorption, ergibt sich theoretisch eine Einkopplung von 3 W Laserleistung.

In einem parallelen Versuchsaufbau sollte die Erwärmung durch den Laserstrahl mit Hilfe einer Heizfolie simuliert werden, um die Verformung des Spiegels unter thermischer Last sowohl taktil als auch interferometrisch vermessen zu können, was in der Laserkabine nicht möglich war. Hier erfolgte der Wärmeeintrag über eine auf der Rückseite der Spiegelmembran aufgeklebte elektrische Heizfolie mit 20 mm Durchmesser.

Die Aufbauten zur Messung des Temperaturverlaufes am Laserspiegel sowie der Verformung unter thermischer Belastung durch die Heizfolie sind in den Abbildungen 2 und 3 zu sehen. Bei beiden Aufbauten wurde die Temperatur des Spiegels mit 4 Pt 100 Temperatursensoren gemessen sowie zusätzlich mit der Thermokamera (nicht dargestellt).

Abbildung 4 vergleicht für beide Heizmethoden den Temperaturverlauf im Spiegel, bei sonst gleichen Randbedingungen (Aufnahme, Messung, etc.). Da die Verläufe bis zum Ausfall des Laser-Aufbaus (Knick in der grauen Kurve) gut übereinstimmen, wurde angenommen, dass auch die Verformung von der Art der Aufheizung unabhängig ist.

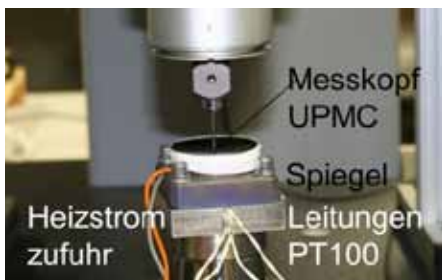


Abbildung 3: Taktile Messung der Verformung unter thermischer Belastung, Erwärmung durch elektrische Heizfolie

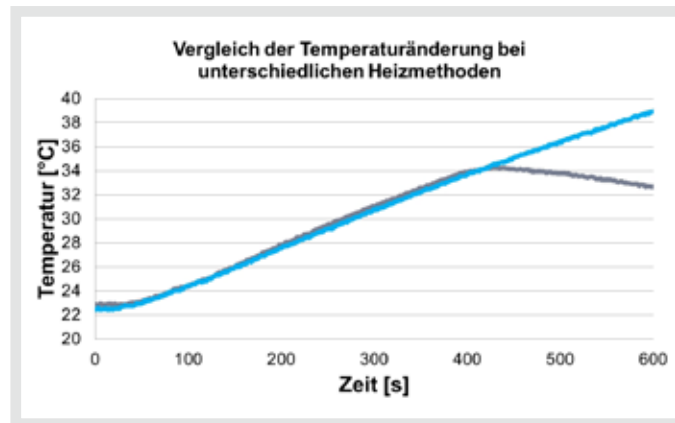


Abbildung 4: Vergleich realer Temperaturverlauf Spiegel mit elektrischer Heizung (blau) und TLF 1500 Laser (grau)

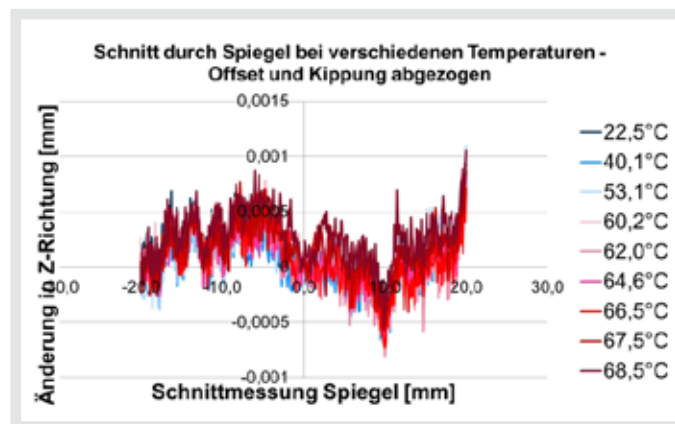


Abbildung 5: Formverlauf Spiegel für Temperaturen von 22°C bis 68°C

Maximal wurde nach einer Stunde Aufheizung eine Temperatur von 68°C (Temperaturdifferenz 48°C) erreicht. Im Rahmen der Messgenauigkeit von 0,5 µm ist bei der Schnittmessung nach Abzug von Offset und Kippung kein Unterschied zwischen den Schnitten bei verschiedenen Temperaturen zu sehen (Abbildung 5). Interferometrische Messungen ergaben einen Fokusfehler von 0,7 µm.

Fazit und Ausblick

Unter der Leistung des an der Hochschule Aalen vorhandenen CO₂-Lasers verformt sich der Keramikspiegel unter thermischer Last um weniger als 1 µm, entsprechend $\lambda/10$ bei Nutzwellenlänge: der Spiegel kann also ohne Kühlung oder Heizung betrieben werden.

Für höhere Leistungen wird auf Basis der Simulationen empfohlen, die Form des Spiegels so zu wählen, dass sie bei hoher Temperatur ideal ist und den Spiegel durch elektrische Heizung vorab in die Nähe der Betriebstempera-

tur zu bringen, um die thermisch bedingten Verformungen zu minimieren. Es konnte gezeigt werden, dass das Konzept des elektrisch vorgeheizten Spiegels machbar ist, für eine Umsetzung sind allerdings noch weitere Arbeiten notwendig.

Kontakt:

Prof. Dr. Rainer Börret
Zentrum für Optische Technologien
Hochschule Aalen –
Technik und Wirtschaft

Anton-Huber-Str. 21
73430 Aalen

rainer.boerret@htw-aalen.de

www.htw-aalen.de/zot