

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Entstehungsmechanismen mittelfrequenter Fehler und deren aktive Vermeidung (EmmaV)

Die Herausforderung

Wesentliche technische Merkmale für hochqualitative Präzisionsoptiken sind unter anderem die Einhaltung von Toleranzen für die Formabweichung und die Rauheit. Die Abweichungen einer Oberfläche zur Sollfläche können durch die Ortsfrequenzen der Abweichungen beschrieben werden. Liegen diese im mittleren Frequenzband, zwischen der Formabweichung und der Rauheit, wird von mittelfrequenten Fehlern gesprochen (engl.: Mid-Spatial Frequency Errors – im Folgenden MSFE). MSFE führen dazu, dass Optiken auf Grund des resultierenden Beugungs- und Streulichtanteils nicht verwendet werden können.

MSFE entstehen u. a. im Bearbeitungsschritt Schleifen im Punktkontakt und treten beim Polieren hervor. Beim zonalen Punktbearbeitungsverfahren von asphärischen oder Freiform-Optikflächen, mit im Verhältnis zum Werkstückdurchmesser kleinen Werkzeugabmaßen, stellen MSFE ein signifikantes Problem in der Optikfertigung anspruchsvoller Flächen dar.

Die Innovationsidee

Das Ziel des Vorhabens EmmaV war, die Prozessparameter, die zur Entstehung von MSFE führen, experimentell zu identifizieren. Gleichzeitig sollten mithilfe von Fehlersimulationen Optimierung von Prozessparametern Strategien zur MSFE-Vermeidung entwickelt werden. Ein Kernstück des Projekts war der Aufbau einer Vorhersage-Software zur Auswahl eines Prozessparameter-Fensters für die Endbearbeitung von Präzisionsoptiken. Mit dieser sollten sich Strategien zur MSFE-Vermeidung für ausgewählte Fertigungsverfahren entwickeln lassen.

Um die MSFE-Entstehungsmechanismen zu analysieren, wurden die Bearbeitungsschritte des Schleifens und Polierens optischer Linsen untersucht. Dafür wurden asphärische Proben in spiralförmigen Werkzeugbahnen in Punktberührung geschliffen und mit einem Polierball zonal poliert. Die Oberflächenstrukturen, die bei der Spiralbearbeitung auf der Linse entstanden, wurden mit einem Formmessgerät berührungslos und taktil gemessen.

Projektinformationen

IGF-Nr.:	18564 N
Laufzeit:	01/2017 – 12/2019
Fördersumme:	475.740 EUR
Industrieleistungen:	90.092 EUR

Forschungseinrichtungen

- Institut für Präzisionsbearbeitung und Hochfrequenztechnik IPH, Technische Hochschule Deggendorf
- Zentrum für Optische Technologien ZOT, Hochschule Aalen

Projektbegleitender Ausschuss

- asphericon GmbH ^{KMU}
- Berliner Glas KGaA
- Carl Zeiss Jena GmbH
- Carl Zeiss SMT GmbH
- FISBA OPTIK AG ^{KMU}
- JENOPTIK Optical Systems GmbH
- Leica Camera AG
- Leica Microsystems GmbH
- Opteg GmbH ^{KMU}
- OptoTech Optikmaschinen GmbH ^{KMU}
- POG Präzisionsoptik Gera GmbH ^{KMU}
- Qioptiq Photonics GmbH & Co. KG
- Satisloh AG

- **Feinmechanik**
- **MSFE-Vermeidung beim Schleifen**

Projektbegleitende akademische Abschlussarbeiten

[Promotion] M. Pohl: Optimierung und Simulation der optischen Prozesskette

Das Programm „Industrielle Gemeinschaftsforschung“ (IGF) ...

... fördert Studien zur industriellen Machbarkeit von Innovationsideen und beschleunigt so Technologietrends. Dazu arbeiten Wissenschaft, Industrie und Politik zusammen:

0 Das **BMW**i fördert vorwettbewerbliche, innovationsorientierte Forschung mit dem IGF-Programm.

1 **Industrie** und **Wissenschaftler** entwickeln Innovationsideen und geben Projekimpulse.

2 **AiF-Forschungsvereinigungen**, wie die F.O.M., finden Forschungspartner.

3 **Wissenschaftler** von je 1-3 Forschungseinrichtungen schreiben Förderanträge.

4 **Industrieunternehmen** beraten bei der Entwicklung der Anträge.

5 Die **Forschungsvereinigungen** optimieren die Qualität der Vorhaben und der Anträge und reichen die Anträge ein.

6 Die **Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen** (AiF) lässt die Anträge durch **Experten aus Industrie und Wissenschaft** begutachten.

7 Das **BMW**i finanziert die Forschungskosten bis max. 250/500/750 T EUR.

8 Die **Industrie** teilt sich die Administrationskosten.

9 Die **Wissenschaftler** der Forschungseinrichtungen führen die Forschung durch.

10 Die **Forschungsvereinigungen** stellen einen regen Technologietransfer zwischen den **Forschungseinrichtungen** und den 10-15 Unternehmen eines projektbegleitenden **Industrieausschusses** mit mindestens 50 % KMU sicher.

11 Die **Industrie** steuert das Projekt mit, berät während der Forschungsphase, validiert die Ergebnisse, absorbiert sie und verwertet sie.

Gemeinsam stärken wir die Innovationskraft des Mittelstands und den Fachkräftenachwuchs in Deutschland.

Für eine ausführlichere Fassung des Abschlussberichts wenden Sie sich bitte an:

Kontakt / Impressum

Forschungsvereinigung F.O.M.
Werderscher Markt 15, 10117 Berlin
030 4140 2139,
info@forschung-fom.de
www.forschung-fom.de



Mit einem auf Fourier-Transformation basierenden Auswertungsalgorithmus wurde dann eine MSFE-Analyse der Linsenoberfläche entlang der ursprünglichen Bearbeitungsbahn vorgenommen.

Die Ergebnisse

Dominante Fehler-Ortsfrequenzen, die beim Schleifen in Punktberührung auftraten, konnten so eindeutig festgestellt werden. Dadurch ließ sich der Einfluss verschiedener Bearbeitungsparameter auf die jeweiligen Fehleramplituden erfolgreich untersuchen. Umgekehrt ließen sich mithilfe des Auswertungsalgorithmus die auf der Oberfläche auftretenden Fehlerfrequenzen auf die verursachenden Bearbeitungsparameter zurückführen. So wurde u. a. gezeigt, dass höhere Drehzahlen des Schleifwerkzeugs zu geringeren Schleiffehleramplituden auf der Linsenoberfläche führen. Mit den so gewonnenen Informationen gelang es, eine Simulation zu entwickeln, mit der die beobachteten MSFE, die beim Schleifen entlang der Werkzeugbahnen entstanden, rekonstruiert werden konnten.

Auf dieser Basis konnte eine Modellierungs-Software entwickelt werden, die die im Schleifprozess entstehenden MSFE auf dem Bauteil vorhersagen kann. Somit ist es für Nutzer nun möglich, die eigenen Messdaten mithilfe der Software auszuwerten und sich durch einen automatisierten Abgleich mit den modellierten MSFE-Strukturen dem Schleifparametersatz anzunähern, der die unkritischsten MSFE erzeugt. Auf diese Weise können die Schleifprozesse für unterschiedliche, unternehmensspezifische Fertigungen optimiert werden.

Auch bei den Untersuchungen der MSFE-Entstehung während des Polierens ergab sich, dass die Abstände der Werkzeugbahnen und die Art der Verwendung des Polierwerkzeugs (z. B. mit unterschiedlichen Werkzeugdrehzahlen oder Anstellwinkeln) wichtige Einflussfaktoren darstellen.

Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass die für das Schleifen gewählten Parameter auch zu den Haupteinflussgrößen des Auftretens von MSFE beim Polieren zählen: Entstehen während des Schleifens zunächst scheinbar unkritische sekundäre MSFE, kann es dazu kommen, dass sich diese Fehler in der Werkstückoberfläche nicht nur durch das Polieren nicht glätten lassen, sondern noch stärker hervortreten oder sogar verstärkt werden. Zur Klärung des Zusammenspiels von Schleifeffekten und Poliererergebnissen bedarf es weiterer Forschung.

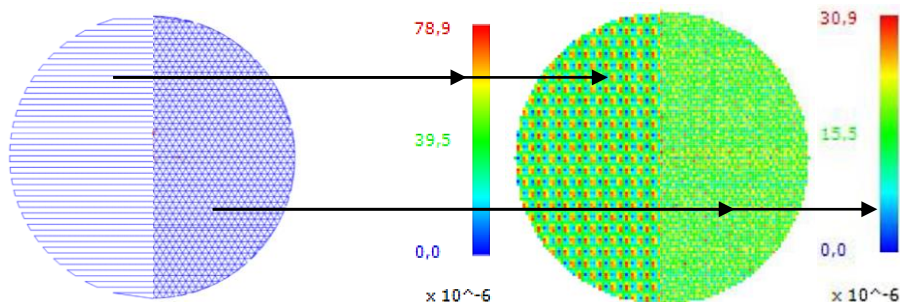
Die Verwertung

KMU-Nutzen

Spezialoptiken, wie Asphären oder Freiformlinsen, werden in Deutschland überwiegend von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) produziert. Vielfach liefern diese komplexe Hochleistungsoptiken auch an Großunternehmen und internationale Konzerne. So profitieren insbesondere KMU von den Ergebnissen des Projekts und der entwickelten Software. Diese ermöglicht die Analyse der in der unternehmensspezifischen Produktionsumgebung entstehenden MSFE sowie die zeit- und kosteneffiziente Optimierung der Schleif- und teilweise auch der Polierparameter, weswegen sich die Software auch für Kleinserienrentabel einsetzen lässt. Durch die Reduktion der notwendigen Iterationszyklen und der verringerten Ausschussraten werden auch die Produktionskosten signifikant reduziert.

Umsetzung

Die Simulationssoftware wurde den Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses zur Verfügung gestellt und soll anhand unternehmensspezifischer Anforderungen individuell weiterentwickelt werden. Die projektfremden Unternehmen können die Software durch den Erwerb einer Lizenz nutzen.



Die entwickelte Software erlaubt die Vorhersage des Schleif- und Poliererergebnisses bei Anpassung verschiedener Parameter, wie z. B. die Veränderung der Bearbeitungspfade der eingesetzten Werkzeuge.