

# **Steigerung der Prozesswiederholbarkeit mittels Analyse akustischer Emissionen bei der Mikrolaserablation mit UV- Pikosekundenlasern**

Zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der Ingenieurwissenschaften**

der Fakultät für Maschinenbau

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

genehmigte

**Dissertation**

von

Patricia Weber

aus Heidelberg

Tag der mündlichen Prüfung: 25.02.2014

Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dr. h.c. Fritz Klocke

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Diss., 2014

Copyright Shaker Verlag 2014

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2740-2

ISSN 0724-4967

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Abstract**

Due to its flexible application lasers are used in many innovative areas of industrial production, such as the electronics industry, the automotive industry, the solar sector and medical technology. The non-contact and thus force-free removal of material by laser sublimation allows machining of very hard materials such as steel, tungsten carbide and ceramics, but also sensitive materials like glass or silicon.

Especially in micro manufacturing tolerances are narrow and thus make an automated, controlled and regulated process essential. The integration of sensors and the development of monitoring and control units in the process are an important part of current research and development work.

The aim of this work is to increase the process repeatability by analyzing acoustic emissions during micro laser ablation with UV picosecond lasers. For this, the single-pulse, line, plane and 2½D ablation are investigated. In addition, formation mechanisms of holes on the ground of machined cavities are studied and remedies derived. Based on these new approaches the use of optical and acoustic emissions for focus positioning and control are able to increase the repeatability of the machining quality. An objective evaluation of the focus position towards the workpiece surface is realized by identification of uniform process-relevant criteria in the behavior of the acoustic emission. Furthermore, a specially developed LabVIEW program is implemented which evaluates the data and communicates automatically with the machine control. Thus the focus position is automatically and reproducibly adjusted on the workpiece's surface.

## **Kurzfassung**

Auf Grund seiner flexiblen Einsatzmöglichkeiten findet der Laser als Werkzeug stetigen Einzug in viele innovative Bereiche der industriellen Produktion, wie der Elektronikbranche, der Automobilbranche, dem Solarsektor und der Medizintechnik. Der berührungslose und damit kraftfreie Abtrag mittels Laser erlaubt mittels Sublimation die schädigungsarme Strukturierung sehr harter Materialien, wie Stähle, Hartmetalle und Keramiken, aber auch sensibler Werkstoffe wie Glas und Silizium.

Gerade in der Mikrofertigung sind die einzuhaltenden Toleranzen sehr gering und machen einen automatisierten, kontrollierten und geregelten Prozess unabdingbar. Die Integration von Sensoren und die Entwicklung von Kontroll- und Regelungseinheiten im Prozess sind ein wichtiger Bestandteil aktueller Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Beitrag zur Steigerung der Prozesswiederholbarkeit mittels Analyse akustischer Emissionen bei der Mikrolaserablation mit UV-Pikosekundenlasern zu leisten. Dafür wird das Prozessverständnis für das Verhalten der Laserablation bei variierenden Parametereinstellungen erarbeitet, indem der Einzelpuls-, Bahn-, Flächen- und 2½D-Abtrag untersucht wird. Zudem werden Entstehungsmechanismen von Löchern im Grund der Kavitäten untersucht und Abhilfemaßnahmen abgeleitet. Darauf aufbauend wird mit neuen Ansätzen zur Nutzung optischer und akustischer Prozessemissionen zur Fokuslagenpositionierung und –regelung die Wiederholbarkeit der Bearbeitungsqualität erhöht. Um eine objektive Bewertung der Fokuslage zur Werkstückoberfläche zu erzielen, werden prozessrelevante einheitliche Kriterien im Verhalten der akustischen Emission identifiziert. Dafür wird ein eigens entwickeltes LabVIEW-Programm implementiert, welches selbständig mit der Maschinensteuerung kommuniziert und den Fokus automatisch auf der Werkstückoberfläche positioniert. Mit der Analyse der akustischen Signale lässt sich automatisiert und reproduzierbar die Fokuslage und die Laserleistung einstellen.