



LASERSTRAHLBOHREN



DQS zertifiziert nach
DIN EN ISO 9001:2015
Reg.-Nr. 069572 QM15

**Fraunhofer-Institut
für Lasertechnik ILT**
Institutsleitung
Prof. Constantin Häfner

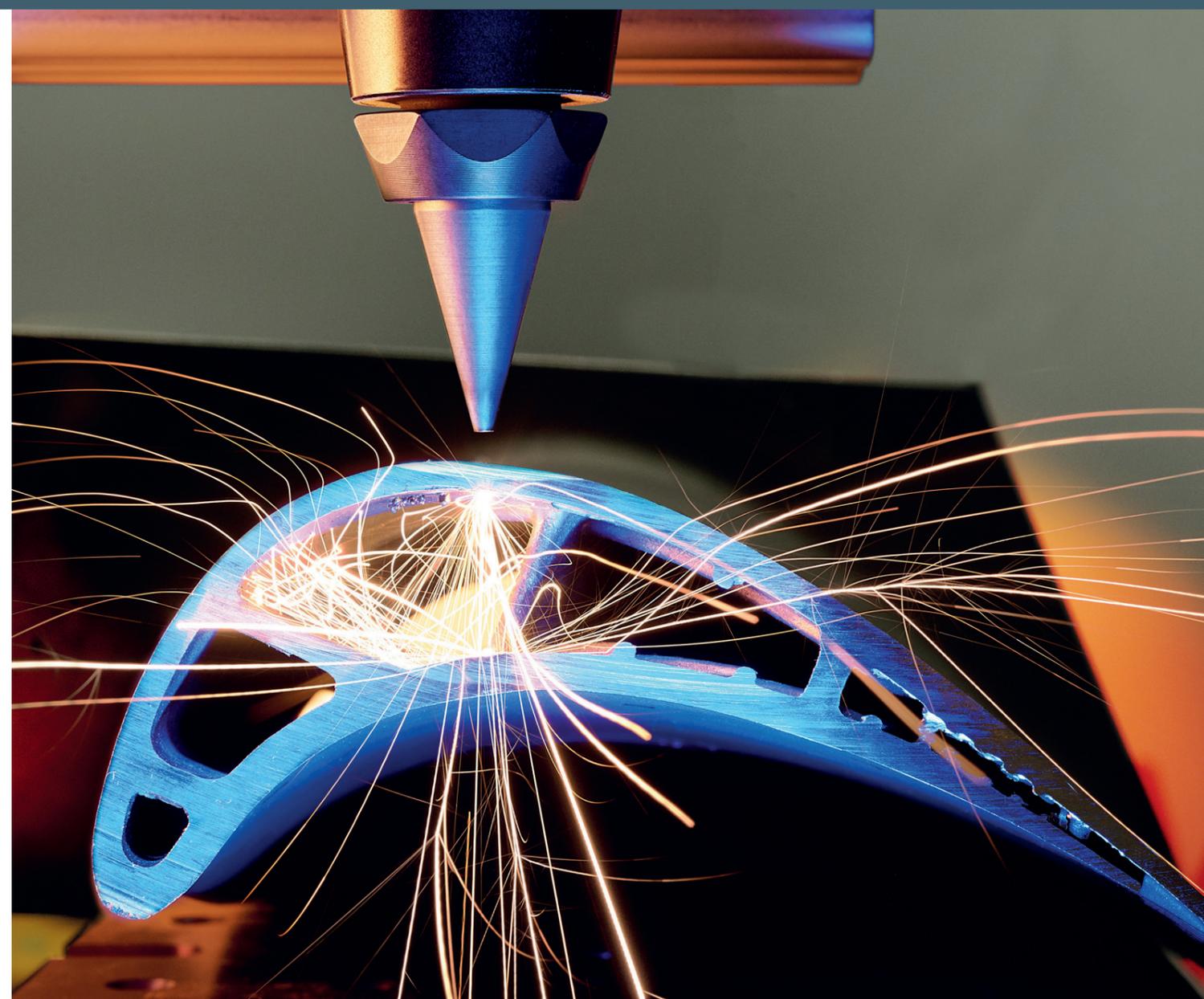
Steinbachstraße 15
52074 Aachen
Telefon +49 241 8906-0
Fax +49 241 8906-121

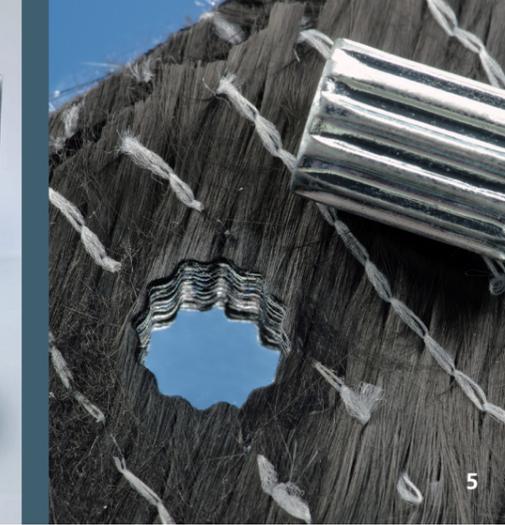
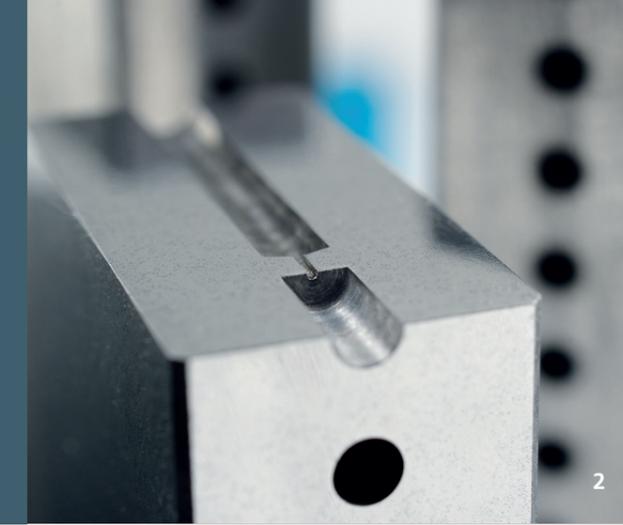
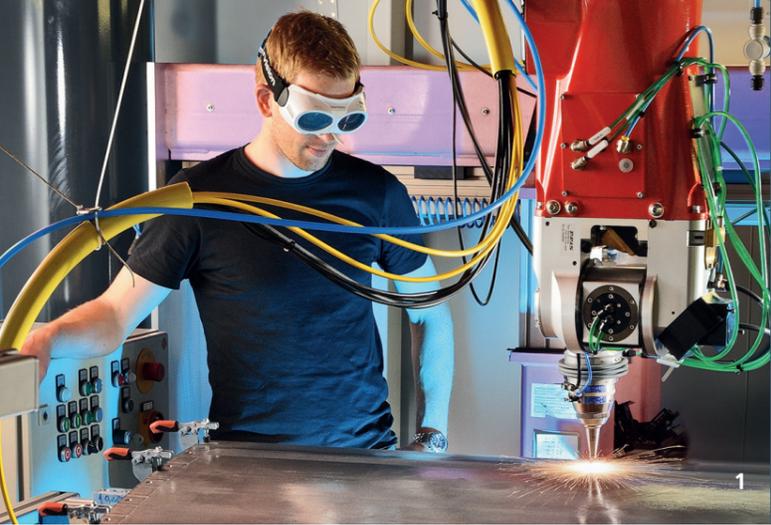
info@ilt.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT zählt weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten im Bereich Laserentwicklung und Laseranwendung. Unsere Kernkompetenzen umfassen die Entwicklung neuer Laserstrahlquellen und -komponenten, Lasermess- und Prüftechnik, sowie Laserfertigungstechnik. Hierzu zählen beispielsweise das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie das Oberflächenvergüten, die Mikrofertigung und das Additive Manufacturing. Weiterhin entwickelt das Fraunhofer ILT photonische Komponenten und Strahlquellen für die Quantentechnologie.

Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagen-technik, Digitalisierung, Prozessüberwachung und -regelung, Simulation und Modellierung, KI in der Lasertechnik sowie der gesamten Systemtechnik. Unser Leistungsspektrum reicht von Machbarkeitsstudien über Verfahrensqualifizierungen bis hin zur kundenspezifischen Integration von Laserprozessen in die jeweilige Fertigungslinie. Im Vordergrund stehen Forschung und Entwicklung für industrielle und gesellschaftliche Herausforderungen in den Bereichen Gesundheit, Sicherheit, Kommunikation, Produktion, Mobilität, Energie und Umwelt. Das Fraunhofer ILT ist eingebunden in die Fraunhofer-Gesellschaft.





LASERSTRAHLBOHREN

Mit Laserstrahlung können Bohrungen mit Durchmessern von unter einem Mikrometer bis zu mehreren Millimetern bei gleichzeitig großen Bohrtiefen gefertigt werden. Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT entwickelt verschiedene Bohrverfahren von den Grundlagen bis hin zur Implementierung in Anlagen zur industriellen Umsetzung. Anwendungsgebiete für Laserbohrungen sind zum Beispiel Einspritzdüsen, Entlüftungsbohrungen, Kühlluftbohrungen sowie Kontaktierungsbohrungen oder Filterbohrungen.

Das Verfahren

Bohrungen mit Durchmessern von ca. einem Mikrometer bis zu mehreren Millimetern werden in Abhängigkeit von der Bauteildicke sowie der geforderten Qualität (Präzision) und Produktivität (Bohrdauer) mittels Einzelpulsbohren, Perkussionsbohren, Trepanieren oder Wendelbohren in das Werkstück eingebracht. Die folgende Tabelle zeigt die Abgrenzung der einzelnen Bohrverfahren bzgl. Durchmesser, Bohrungstiefe und Bohrdauer.

| | Durchmesser | Tiefe | Dauer |
|--------------------------|-------------|---------|----------|
| Einzelpulsbohren | 40–700 µm | < 2 mm | < 1 ms |
| Perkussionsbohren | 50–700 µm | < 20 mm | 0,1–20 s |
| | 1 - 50 µm | < 1 mm | < 1 ms |
| Trepanieren | 0,3–10 mm | < 10 mm | 1–20 s |
| Wendelbohren | 10–200 µm | < 2 mm | > 10 s |

Das Einzelpulsbohren kann »on-the-fly« erfolgen, sodass bis zu 300 Bohrungen pro Sekunde mit einem Durchmesser von beispielsweise 60 µm in 1 mm Blechstärke erreicht werden. Das Perkussionsbohren nutzt eine Serie an Pulsen an der gleichen Position, um tiefere Bohrungen zu erreichen.

Je nach verwendeter Laserstrahlquelle lassen sich hier unterschiedliche Bohrungsdurchmesser und Bohrtiefen erreichen. Bei Bohrungsdurchmessern größer als etwa 300 µm kommt das Trepanieren zum Einsatz, bei dem über eine Relativbewegung zwischen Werkstück und Laserstrahlung die Bohrung geschnitten wird. Bohrungen mit großer Präzision bezüglich der Geometrie sowie hoher metallurgischer Qualität lassen sich mittels Wendelbohren erzielen.

Das Laserstrahlbohren stellt eine Alternative zu Verfahren wie Elektronenstrahlbohren, Funkenerodieren, elektrochemischem Bohren sowie Ultraschallbohren dar. Das »Werkzeug Licht« wird bevorzugt verwendet, wenn Bohrungen mit Durchmessern von ca. 1–500 µm bei großen Aspektverhältnissen (> 1:20) unter erschwerten Bedingungen, wie beispielsweise unter einem großen Neigungswinkel zur Werkstückoberfläche oder in Werkstoffe mit großer Härte (z. B. Nickelbasislegierungen) erforderlich sind. Herausforderungen bestehen in der Minimierung von Schmelzschichten sowie der Oberflächenverschmutzung.

Titel: UKP-Bohren einer Turbinenschaufel.

1 Laserperforation eines Flügeldemonstrators.

2 Wendelbohren von Düsen für CO₂-Klimaanlagen.

Physikalische Prozessgrundlagen

Laserbohrverfahren lassen sich in schmelz- und verdampfungsdominierte Verfahren unterteilen. Bei Pulsdauern im Bereich von Mikro- bis Millisekunden wird das Material durch die Laserstrahlung größtenteils aufgeschmolzen und nur ein kleiner Teil verdampft. Durch den entstehenden Dampfdruck wird die Schmelze aus der Bohrung ausgetrieben. Dieses Bohrverfahren ermöglicht eine große Produktivität, die an den Bohrungswänden zurückbleibende Schmelze reduziert allerdings die Präzision der Bohrung und kann Risse im Material verursachen. Bei Pulsdauern kleiner 10 ps verdampft das Material vollständig und der Wärmeeintrag in das Werkstück ist minimal. Mit einer entsprechenden Systemtechnik können so zylindrische und konische Bohrungen mit hoher Präzision und hohem Aspektverhältnis ohne Erzeugung von Materialdefekten hergestellt werden.

Anwendungsmöglichkeiten

Aufgrund der hohen Intensität der gepulsten Laserstrahlung lassen sich nahezu alle Werkstoffe wie Metalle, Keramiken, Halbleiter, CFK, Kunststoffe sowie Mehrschichtsysteme aus diesen Werkstoffen mit großer Präzision bohren. Einsatzfelder sind beispielsweise die Herstellung von Kühlluftbohrungen in Turbinenkomponenten wie Schaufeln oder Brennkammern, Bohrungen für Kraftstofffilter oder Einspritzdüsen sowie Entlüftungsbohrungen in Spritzgussformen für den Werkzeugbau.

Anlagen- und Systemtechnik

Neben den prozesstechnischen Arbeiten werden am Fraunhofer ILT die für eine industrielle Umsetzung der Bohrverfahren erforderlichen Anlagen entwickelt. Dies umfasst die Entwicklung spezieller Wendelbohrer mit schneller Ablenkung der Laserstrahlung ebenso wie die Integration von Bohrprozessen in automatisierte Fertigungsanlagen.

Ausstattung

Für das Bohren mit Laserstrahlung verfügt das Fraunhofer ILT über eine Vielzahl moderner Lasersysteme. Dazu zählen:

- Langpuls laser (Pulsdauern µs–ms) wie z. B. IPG Singlemode und Multimode-Faserlaser bis 20 kW Pulsspitzenleistung
- Kurzpuls laser (Pulsdauern ns–µs) wie z. B. Edgewave Doppelpuls laser mit 2 x 40 W mittlerer Leistung, Pulsdauer 2–10 ns bei 50 kHz
- Ultrakurzpuls laser (Pulsdauern fs–ps) wie z. B. Amphos, Edgewave und Trumpf-Laser mit bis zu 400 W mittlerer Leistung, Pulsdauer 900 fs–20 ps
- Optische Strahlformung und Bohroptiken mit Fokussierbrennweiten von 70–300 mm, Wendelbohreroptiken sowie verschiedene Scannersysteme
- 3-Achs- und 5-Achs-Bearbeitungsanlagen, z. B. von Aerotech
- Sensoren wie Kameras, Triangulationssensoren, OCT zum Prozessmonitoring und zur Prozessregelung
- Analysegeräte wie diverse Lichtmikroskope, REM, EDX, UV-NIR und FT-IR Spektroskopie und weitere

Ansprechpartner

Dennis Haasler M. Sc.
Telefon +49 241 8906-8321
dennis.haasler@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Martin Reininghaus
Telefon +49 241 8906-627
martin.reininghaus@ilt.fraunhofer.de

3 Laserstrahlgebohrtes Kupplungselement.

4 Wendelbohreroptik des Fraunhofer ILT.

5 Individuelle Bohrung in CFK-Preform für Funktionselemente.