



Applikationslabor für ultrakurzgepulste Laser mit mittlerer Leistung im kW Bereich

Durch die steigende verfügbare Leistung von Ultrakurzpulslasern, welche mit der Einführung neuer Verstärkungskonzepte, wie zum Beispiel dem Scheibenlaser Multipass Verstärker, in den Laboren der Laserinstitute inzwischen bis in den Multikilowattbereich vorgestoßen ist, kann die Produktivität der Prozesse der Ultrakurzpulsbearbeitung deutlich gesteigert werden. Um die Auswirkung dieser Leistungssteigerung auf die Bearbeitungsprozesse und die verwendete System- und Anlagentechnik zu untersuchen, steht am Institut für Strahlwerkzeuge ein Applikationslabor mit einem Hochleistungsultrakurzpulslaser und drei Anlagen für grundlegende Untersuchungen und für die Applikationsentwicklung zur Verfügung.

MOTIVATION

Mit der Einführung neuartiger Laserverstärkungssysteme wie zum Beispiel den Multipass Scheibenlaserverstärker [1] und Multi-Faserverstärker [2] wurde die mittlere Leistung von Ultrakurzpulslasern bis in den Multi-kW-Bereich skaliert [3, 4], wodurch eine prinzipielle Produktivitätssteigerung der Prozesse möglich wurde [5, 6]. Um die Auswirkungen der Leistungssteigerung auf die Prozesse, Anwendungen sowie System- und Anlagentechnik zu untersuchen und die Applikationsentwicklung bei diesen Laserleistungen zu ermöglichen, wurde am IFSW ein Applikationslabor aufgebaut, in welchem ein Hochleistungslasersystem über ein Freistrahlführungssystem mit drei unterschiedlichen Anlagen gekoppelt ist. In diesem Applikationslabor ist es möglich, die Skalierung der Bearbeitungsprozesse in einem großen Leistungs- und Pulsenergie-Bereich aber auch die geometrische Skalierung der Prozesse auf große Bauteile grundlegend zu untersuchen.

LASERQUELLE

Die Laserquelle des Applikationslabors ist ein aus den Projekten „T4nPV“ und „Tresclean“ entsprungener Scheibenlaserverstärker (thin-disk multipass amplifire, TD-MPA). Die mittlere Leistung der Laserquelle liegt bei 1 kW mit einer Pulsrepetitionrate von 300 kHz, einer Wellenlänge von 1030 nm und einer Pulsdauer von 7 ps. Abbildung 1 zeigt das Spiegelarray des Scheibenlaserverstärkers. Mithilfe dieser Spiegel wird der Strahl eines Seed-Lasers bis zu 120 Mal auf die Laserscheibe geführt und von 70 W auf 1 kW verstärkt.

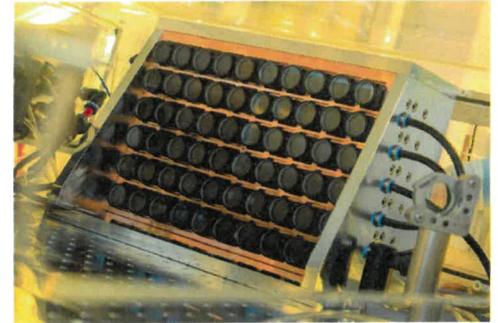
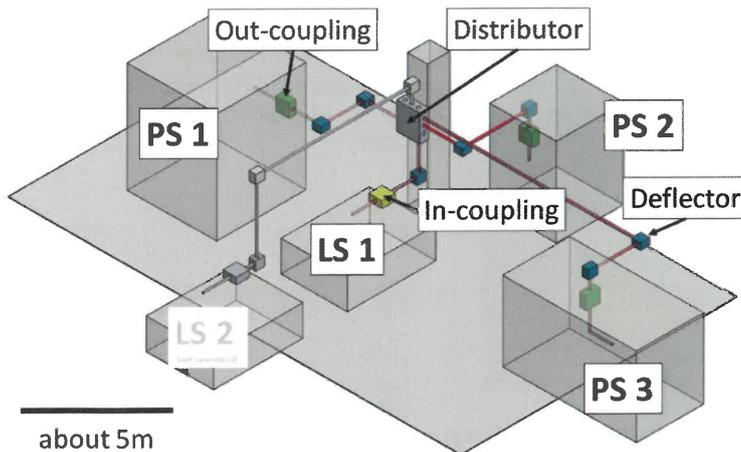


Abbildung 1: Spiegelarray des Scheibenlaserverstärkers.

STRAHLFÜHRUNG UND ZUORDNUNG

Das Freistrahlführungssystem (SFS) des IFSW ermöglicht die Kopplung von ultrakurzgepulsten Laserquellen mit beliebigen Prozessanlagen. Momentan ist die oben genannte Laserquelle (LS1) über das SFS mit drei Prozessanlagen (PS1 bis PS3) verbunden (Abbildung 2). Das Anbinden einer weiteren Laserquelle (LS2) ist möglich.

Die Umschaltzeiten des SFS von einer Anlage zur anderen liegen unter einer Sekunde. Diese Aufgabe erledigt hauptsächlich der „Distributor“. Zusätzlich besitzt das SFS mit den Komponenten „In-coupling“ und „Out-coupling“ eine Strahlstabilisierung für genaue und stabile Prozesse. Der „Deflector“ beinhaltet einen Umlenkspiegel und wird bei Bedarf für die Führung des Bearbeitungsstrahls von der Laserquelle zur Prozessanlage eingesetzt.



PROZESSANLAGEN

Die am SFS angeschlossenen Anlagen sind jeweils Sondermaschinen, welche an die Bedürfnisse einer flexiblen Prozessentwicklung und -diagnose angepasst sind. Für die Relativbewegung zwischen Strahl und Werkstück während des Prozesses sind alle Anlagen mit mindestens drei Linearachsen, zum Teil mit Lineardirektantrieben, ausgestattet. Die Anlage PS1 verfügt darüber hinaus über eine werkzeugseitige und eine optionale werkstückseitige Dreh-Schwenkeinheit für eine flexible Positionierung von Fokusposition und Anstellwinkel.

Insbesondere für Abtrag- und Oberflächenstrukturierungsanwendungen mit hohen Anforderungen an die Strahldynamik und -geschwindigkeit von einigen

Abbildung 2: Das Applikationslabor: Die Laserquelle LS1 ist über das Freistrahlführungssystem mit den Prozessanlagen PS1 bis PS3 verbunden.

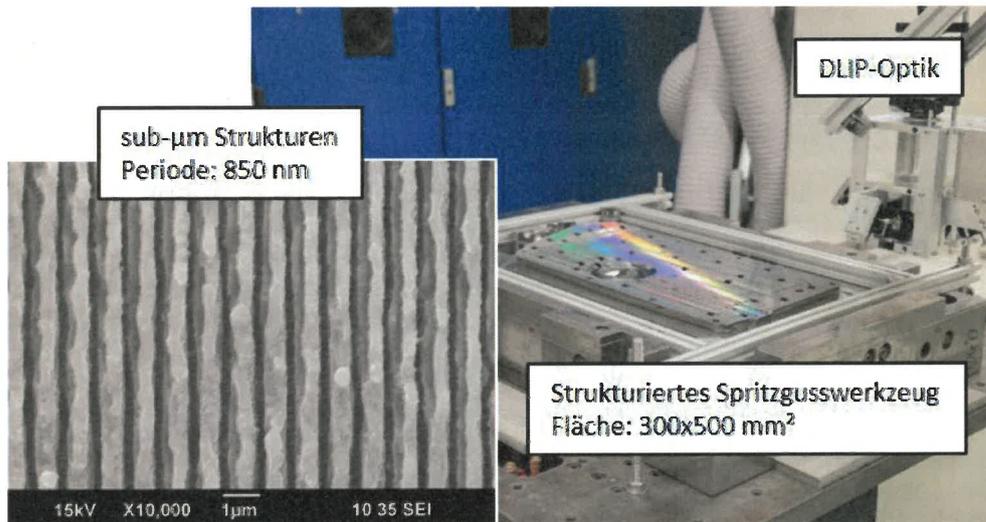


Abbildung 3: Rasterelektronenmikroskop-Bild der antibakteriellen sub-µm Strukturen (links) und dergestalt strukturiertes Spritzgusswerkzeug auf der Anlage PS1 mit der DLIP-Optik (rechts).

10 m/s können die Anlagen mit Galvanometerscannern ausgestattet werden. Die höchste Vorschubgeschwindigkeit von bis zu 200 m/s wird dabei durch einen Polygonscanner realisiert, welcher an der Station PS1 zum Einsatz kommen kann.

Mit der Wendelbohroptik der PS3 kann das Intensitätsprofil des Laserstrahls mit einer optischen Rotationsgeschwindigkeit bis zu 30000 rpm bei einer negativen oder positiven Konizität bis zu 20° bewegt werden, um damit Bohrungsdurchmesser von 0,05 mm bis 1,2 mm zu ermöglichen. Der Bohrdurchmesser kann durch Kombination der Wendelbohroptik mit einem Galvanometerscanner auf mehrere 10 mm vergrößert werden.

Die Anlagen PS1 und PS2 bieten die Möglichkeit, jeweils einen zweiten Bearbeitungslaser parallel zuzuschalten. Hierfür steht eine Nanosekunden-Laserquelle, sowie Dauerstrichlaser bis 16 kW Ausgangsleistung zur Verfügung.

ANWENDUNGSBEISPIELE

Anwendung findet das Applikationslabor in verschiedenen Mikroprozessen. Als Beispiel sei hier das Direct Laser Interference Patterning (DLIP) genannt, mit welchem antibakterielle, sub-µm kleine Strukturen [7] auf eine Fläche von 300x500 mm² eines 400 kg schweren Spritzgusswerkzeugs gebracht wurden (Abbildung 3). Dieses Verfahren wurde im Rahmen des Projektes „Tresclean“ (www.tresclean.eu) an der PS1 verwirklicht und erreichte eine Strukturrate von 400 mm²/s.

Ein weiteres Beispiel ist der in Abbildung 4 dargestellte und in [8] beschriebene geregelte Abtrag dreidimensionaler Geometrien mithilfe des OCT Inline-Messsystems, welches an jeder Prozessanlage des Applikationslabors verfügbar ist. Dieser geregelte Prozess eignet sich insbesondere auch für den präzisen Abtrag inhomogener Werkstoffe wie kohlefaserverstärkter Kunststoff [9] oder Bauteile aus lasergesinterten Aluminiumlegierungen [10].

Als abschließendes Beispiel sei hier noch das Mikrobohren eines Umformwerkzeugs im Bereich der Blechumformung mit CO₂ als Schmiermedium genannt. PS1 ermöglicht mithilfe des SFS und der ultrakurzgepulsten Laserquelle das Perkussionsbohren von Mikrolöchern mit definierten Geometrien und minimaler mechanischer und thermischer Belastung. Dank der 5-achsigen PS1 lassen sich Mikrolöcher in beliebigen Anstellwinkeln bohren.

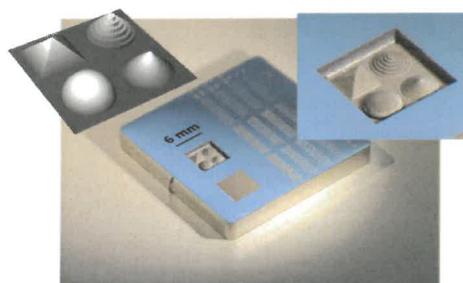


Abbildung 4: OCT-geregelter 3D Abtrag. Links oben das virtuelle 3D Modell der Abtragsgeometrie. Im Zentrum die 1.4301 Edelstahlprobe mit ablatierter Geometrie. Rechts oben Detailausschnitt [8].

REFERENZEN

- [1] Negel J. P., Voss A., Abdou-Ahmed M., Bauer D., Sutter D., Killi A., Graf T., Optics letters 38(24), 5442-5445 (2013). DOI: 10.1364/OL.38.005442
- [2] Klenke A., Breitkopf S., Kienel M., Gottschall T., Eidam T., Hädrich S., Rothhardt J., Limpert J., Tünnermann A., Opt. Lett. 38, 2283-2285 (2013). DOI: 10.1364/OL.38.002283
- [3] Abdou-Ahmed M., Development of High-Power Thin-Disk Lasers: Status and Perspectives. Presented at the JN-PLI, Strasbourg (2017).
- [4] Müller M., Aleshire C., Klenke A., Haddad E., Légaré F., Tünnermann A., Limpert J., Opt. Lett. 45, 3083-3086 (2020). DOI: 10.1364/OL.392843
- [5] Faas S., Bielke U., Weber R., Graf T., Scientific reports, 9(1), 1-8 (2019). DOI: 10.1038/s41598-018-37867-y
- [6] Freitag C., Wiedenmann M., Negel J. P., Loescher A., Onuseit V., Weber R., Abdou-Ahmed M., Graf T., Applied Physics A, 119(4), 1237-1243 (2015). DOI: 10.1007/s00339-015-9159-3
- [7] Peter A., Lutey A. H. A., Faas S., Romoli L., Onuseit V., Graf T., Optics and Laser Technology 123 (2020) 105954. DOI: 10.1016/j.optlastec.2019.105954
- [8] Holder D., Buser M., Leis A., Boley S., Weber R., Graf T., High-precision laser ablation using OCT closed-loop control. In: Račiukaitis, Gediminas; Molpeceres, Carlos; Narazaki, Aiko; Qiao, Jie (Hrsg.): Laser Applications in Microelectronic and Optoelectronic Manufacturing (LAMOM) XXV: SPIE, 2020, S. 35
- [9] Holder D., Boley S., Buser M., Weber R., Graf T., Procedia CIRP 74 (2018), S. 557-561. DOI: 10.1016/j.procir.2018.08.087
- [10] Holder D., Leis A., Buser M., Weber R., Graf T., Advanced Optical Technologies (2020). DOI: 10.1515/aot-2019-0065

AUTOREN:

M.Sc. Alexander Peter
Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW)
Pfaffenwaldring 43, 70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 685 69743
alexander.peter@ifsw.uni-stuttgart.de
www.ifsw.uni-stuttgart.de

Dipl.-Ing. Volker Onuseit
Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW)
Pfaffenwaldring 43, 70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 685 69751
volker.onuseit@ifsw.uni-stuttgart.de
www.ifsw.uni-stuttgart.de