

Gleiche Qualität bei einem Drittel der Bearbeitungszeit

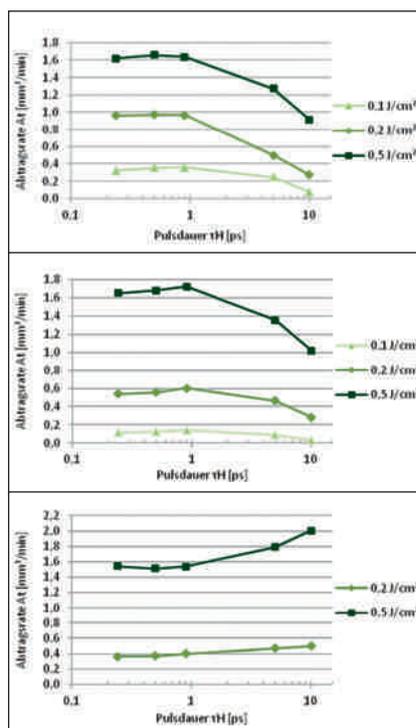
Durch die Wahl der passenden Pulsdauer lassen sich in der Lasermikrobearbeitung bis zu 70 % kürzere Zykluszeiten erzielen.

Im Vergleich zu herkömmlichen Abtragsverfahren wie Fräsen, Drehen und Schleifen ermöglicht die Laserbearbeitung einen deutlich präziseren Abtrag. Allerdings spielt in der Fertigung nicht nur die Präzision eine große Rolle, sondern auch die Wirtschaftlichkeit: Der gewünschte Abtrag soll mit möglichst wenig Zeitaufwand erzielt werden, dabei eine gute Qualität aufweisen und zudem kostengünstig sein. Um dies zu realisieren, ist eine material- und anwendungsbezogene Einstellung der Pulsdauer essentiell, wie Versuche des Laserbearbeitungsexperten GFH GmbH zeigen.

Die Pulsdauer ist ein wichtiger Parameter bei Fertigungsprozessen. So liefern ns-Pulse eine hohe Abtragsrate bei eingeschränkter Qualität, da der Abtrag hierbei hauptsächlich über die Schmelzphase erfolgt, wenn das Material aufgrund der langen Einwirkzeit des Lasers schmilzt. Mit Kurzpulslasersystemen im ps-Bereich konnte die Qualität bei abtragenden Prozessen signifikant verbessert werden – jedoch zu Lasten einer deutlich längeren Bearbeitungszeit. Die Weiterentwicklung der Strahlquellen hin zu industriell einsetzbaren fs-Lasern besitzt jetzt das Potenzial, einen hohen Abtrag mit guter Qualität zu verbinden. GFH führte daher Untersuchungen durch, um die Effizienz und Qualität von Pulsen im fs-Bereich an verschiedenen Materialien zu analysieren.

Tests an verschiedenen Materialien

Für die Versuche wurden unterschiedliche Einstellungen der Parameter Pulsdauer, Pulsenergie sowie Repetitionsrate betrachtet. Als Strahlquelle kam ein Laser mit einer maximalen mittleren



Abtrag von Edelstahl (oben), Hartmetall (Mitte) und Aluminiumnitrid (unten) bei 1,1 MHz, 20-fach vergrößert. Die Qualität des Abtrags ändert sich bei Variation der Pulsdauer kaum.

Leistung von 15 W zum Einsatz, welcher Pulsdauern im Bereich von 240 fs bis 10 ps erzeugen kann. Damit wurden Proben von Edelstahl 1.4301, Hartmetall VGH2 und der Keramik Aluminiumnitrid bearbeitet, woraus die Abtragsrate in der Einheit mm³ pro Minute bestimmt und die Qualität unter dem Mikroskop ausgewertet werden konnte. Die Untersuchung ergab, dass für Edelstahl durch eine Reduzierung der Pulsdauer von 10 ps auf 900 fs eine Erhöhung der Abtragsrate um den Faktor 3 erreicht werden kann. Bei Keramik (Aluminiumnitrid) hingegen bewirkte eine Erhöhung der Pulsdauer von 900 fs auf

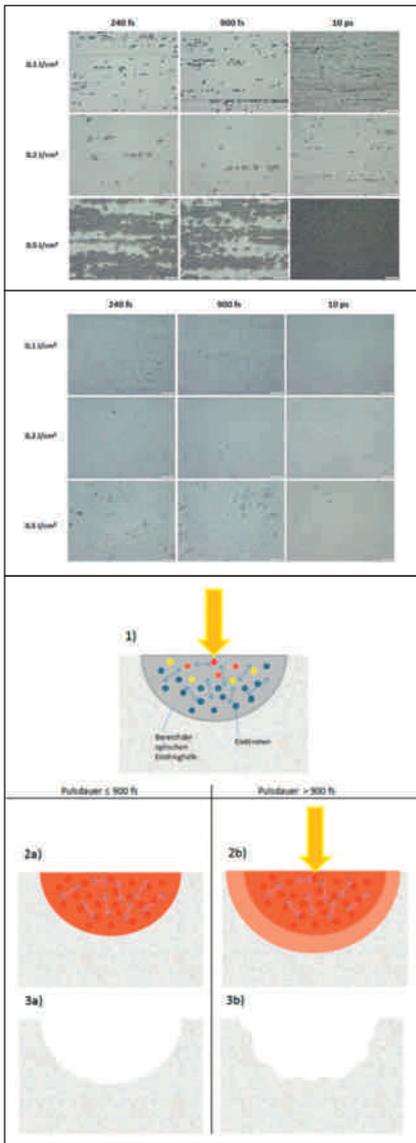


Um eine an das jeweilige Material angepasste Konfiguration zu ermöglichen, sind die Lasermikrobearbeitungsanlagen von GFH hinsichtlich der verwendeten Strahlquelle nicht eingeschränkt. Quelle: GFH GmbH

10 ps eine Steigerung der Abtragsrate. Dies bedeutet, für Metalle und Dielektrika existieren unterschiedliche Optimalwerte, was die Pulsdauer betrifft. Durch Wahl der jeweils geeigneten Dauer – für Metalle 900 fs, für Dielektrika 10 ps – können somit bis zu 70 % kürzere Zykluszeiten erzielt werden.

Pulsdauer hat keinen Einfluss auf die Qualität

Neben der Abtragsrate wurden auch Qualität und Oberflächenstruktur betrachtet, da diese für einige Funktionsanforderungen der Bauteile von enormer Bedeutung sind. Im Rahmen der Tests wurde dazu die Abhängigkeit der Qualität von der Pulsdauer untersucht und für verschiedene Fluenzen, sprich Pulsenergie pro Fläche, bei einer Repetitionsrate von 1,1 MHz gegenübergestellt. Als Resultat zeigte sich auch bei Variation der Pulsdauer eine nahezu gleichbleibende Qualität. Lediglich bei Edelstahl fällt die Oberfläche bei Erhöhung der Pulsdauer auf 10 ps qualitativ schlechter aus. Darüber hinaus wurde bei Erhöhung der Fluenz an allen untersuchten Materialien eine Zunahme der Abtragsrate festgestellt. Allerdings kann die Fluenz nicht beliebig hoch gewählt werden, da sich die Qualität mit steigendem Wert verschlechtert. Als gute Einstellung hat sich für Edelstahl 0,2 J/cm² ergeben, für Hartmetall und Aluminiumnitrid 0,5 J/cm². Als weiterer Effekt stieg die Abtragsrate bei allen untersuchten Materialien mit der Erhöhung der Repetitionsrate. Jedoch existiert auch hier ein Optimum, eine zu hohe Repetitionsrate



wirkt sich auf Grund von Wärmeakkumulation negativ auf die Qualität aus. In den Tests bewährte sich eine Rate von 1,1 MHz für gute Ergebnisse.

Wahl der richtigen Pulsdauer

Der Einfluss der Pulsdauer auf die Effizienz der Lasermikrobearbeitung resultiert aus den unterschiedlichen Eigenschaften der Werkstoffe: Bei Metallen erwärmt sich das Gitter bei circa 900 fs bis 1 ps nach Beginn des Laserpulses, davor wird lediglich das Elektronensystem heiß. Wird die Pulsdauer größer 900 fs gewählt, so wird dem Material nach dieser Zeitspanne weiter Energie durch den Laserstrahl zugeführt, ob-

wohl das Gitter bereits warm ist. Dies führt zu Energieverlusten an das umgebende Material, wodurch es schmilzt. Bei kurzen Pulsdauern wird dagegen die gesamte Energie des Laserpulses für den Abtrag verwendet, da das Gitter noch nicht erwärmt ist, sondern nur das Elektronensystem. Das Material geht hier ohne zu schmelzen direkt in den gasförmigen Zustand über. Wird jedoch eine kurze Pulsdauer bei hoher Fluenz gewählt, so ergibt sich der gleiche Effekt wie für längere Pulse, das heißt es kommt aufgrund der hohen Energieeinkbringung ebenfalls zu Aufschmelzungen des umgebenden Werkstoffs.

Für die optimale Pulsdauer von 10 ps bei Keramiken ist hingegen ein anderer Effekt verantwortlich: Da bei niedrigen Fluenzen kein Material abgetragen wird, ist für die Bearbeitung viel Energie, also eine höhere Fluenz, erforderlich. Zudem ist Keramik ein guter Wärmespeicher, was bedeutet, dass bei längeren Pulsen das Material stärker erwärmt und die Wärme von Puls zu Puls gesteigert wird.

Den richtigen Laser anhand von Material und Bearbeitung bestimmen

Die Untersuchungen mit verschiedenen Werkstoffen haben gezeigt, dass mit der Laserbearbeitung durchaus eine große Effizienz und zugleich eine gute Qualität erreicht werden kann – wenn die zum Material passende optimale Pulsdauer gewählt wird. Somit lässt sich anhand des zu bearbeitenden Materials und der erforderlichen bereits eine Grobauswahl des geeigneten Lasers treffen. Zudem ergaben die Untersuchungen, dass eine Pulsdauer kleiner als 900 fs bei keinem untersuchten Material notwendig ist, da hier die Abtragsrate konstant bleibt. Das bedeutet, der Abtrag ist auch wirtschaftlich, denn je größer die Pulsdauer desto kostengünstiger der Laser. Darüber hinaus sind längere Pulsdauern weniger anfällig bezüglich der Stabilität.

KONTAKT
GFH GmbH
www.gfh-gmbh.com