

# Mikroobróbka laserowa metali

DR INŻ. **Robert Barbuca** (BROBERT@IMP.GDA.PL), ZAKŁAD ZASTOSOWAŃ TECHNIKI PLAZMOWEJ I LASEROWEJ, OŚRODEK TECHNIKI PLAZMOWEJ I LASEROWEJ, INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH PAN IM. ROBERTA SZEWAŁSKIEGO W GDAŃSKU

Nowoczesne lasery oferują bardzo precyzyjną i zazwyczaj niemożliwą dla innych technologii modyfikację materiału. Mikroobróbka laserowa umożliwia mikro-wiercenie, mikro-cięcie oraz mikro-znakowanie materiałów półprzewodnikowych, metali, szkła, ceramiki oraz tworzyw sztucznych. Znajduje ona zastosowanie w przemyśle samochodowym, przy produkcji urządzeń AGD czy do znakowania szkła lub stali. Mikroobróbka laserowa ma jednak szczególne znaczenie przy precyzyjnym cięciu cienkich blach metalowych.

Obecnie lasery mogą obrabiać praktycznie każdy dostępny materiał z dokładnością 1-2  $\mu\text{m}$ . Możliwości obróbki laserowej pozwalają na wytwarzanie kształtów 2D i 3D, dlatego lasery są obecnie najbardziej uniwersalnymi narzędziami w porównaniu do konkurencyjnych metod obróbki.

Nowoczesne lasery są dostępne w szerokiej gamie długości fali, częstotliwości impulsów, długości trwania impulsów, mocy wyjściowych oraz profilów wiązek. Jednakże w zastosowaniach związanych z mikroobróbką tylko dwa rodzaje laserów były stosowane. Są to lasery na ciele stałym DPSS (*Diode Pumped Solid State*) oraz ekscymerowe lasery gazowe. Lasery DPSS generują promieniowanie o długości fali 1064 nm i z pomocą dodatkowych kryształów takich, jak: BBO ( $\text{BaB}_2\text{O}_4$  – boran baru), LBO ( $\text{LiB}_3\text{O}_5$  – Tybetan litu) czy KTP ( $\text{KTiOPO}_4$  – fosforan potasu i tytanu) możliwe jest otrzymanie drugiej i trzeciej harmonicznej długości fali 1064 nm, czyli odpowiednio 532 nm i 355 nm. Natomiast lasery ekscymerowe generują promieniowanie ultrafioletowe w zakresie 193-350 nm (w zależności od modelu), ale mają zupełnie inne właściwości wiązki laserowej. Wybór odpowiedniego lasera do danej obróbki materiału jest kluczowy, pomimo że niejedno-

krotnie różne lasery nadają się do obróbki danego materiału. Jednakże często zachodzi potrzeba doboru lasera pod kątem większej ilości materiałów. Wtedy należy dokonać optymalnego wyboru całego zestawu składającego się lasera, toru optycznego, obszaru roboczego i oczywiście ceny, gdyż lasery mogą się znacznie różnić cenowo między sobą ze względu na charakterystykę wiązki oraz moc.

Osobną grupą laserów są lasery piko- i femtosekundowe, które charakteryzują się wysoką jakością obróbki większości materiałów. Ich główną zaletą jest fakt, że bardzo krótkie impulsy laserowe (100 fs – 20 ps) przekazują energię świetlną do materiału w postaci ablacji laserowej. Transfer ciepła, który odpowiada natomiast za wszelkie negatywne efekty obróbki (np. poprzez powstawanie strefy HAZ – *Heat Affected Zone*), jest bardzo mały dla laserów piko- sekundowych oraz go po prostu nie ma dla laserów femtosekundowych. Jest to związane z czasem propagacji ciepła w materiałach, który jest dłuższy niż czas trwania impulsu femtosekundowego [2]. Dlatego tego typu lasery zawsze będą zapewniać najlepszą jakość obróbki materiałów. Jednakże są to obecnie najnowocześniejsze lasery, których cena potrafi być dziesięciokrotnie wyższa niż porównywalnych mocą laserów Nd:Y-AG.

## Istotne parametry laserów

Patrząc na laser z teoretycznego punktu widzenia, należy brać pod uwagę jego parametry. Najważniejsze parametry lasera, które przekładają się na jego efektywność w obróbce materiałów, to [3]:

- moc średnia wiązki laserowej  $P$  [W],
- częstotliwość generowania impulsów laserowych  $F$  [Hz],
- gęstość energii w pojedynczym impulsie  $E_d$  [ $\text{J}/\text{cm}^2$ ],
- długość fali światła laserowego  $\lambda$  [nm],
- jakość wiązki laserowej  $M^2$  [parametr bez jednostki].

Moc średnia lasera jest zdefiniowana jako iloczyn energii impulsu laserowego i częstotliwości:

$$P \text{ [W]} = E_{\text{imp}} \text{ [J]} \cdot F \text{ [Hz]}$$

Gęstość energii (nazywana także fluencją) jest definiowana jako iloraz energii impulsu i obszaru oddziaływania wiązki z materiałem (plamki laserowej):

$$E_d \text{ [J}/\text{cm}^2] = E_{\text{imp}} \text{ [J]} / A \text{ [cm}^2]$$

Obszar oddziaływania wiązki z materiałem, czyli inaczej mówiąc, rozmiar ogniska określa się poprzez następującą zależność:

$$A = (1,06 \cdot M^2 \cdot f \cdot \lambda / D)^2,$$

gdzie  $M^2$  – jakość wiązki,  $f$  – długość ogniskowej soczewki ogniskującej wiązkę laserową,  $\lambda$  – długość fali lasera,  $D$  – średnica wiązki przed soczewką.

Wynika stąd, że na obszar wiązki na materiale ma wpływ jakość  $M^2$  (czy-

li współczynnik określający zdolność wiązki do ogniskowania się). Natomiast na gęstość energii wpływa zarówno powierzchnia wiązki na materiale, jak i energia w impulsie, która jest powiązana ze średnią mocą i częstotliwością.

Aby sobie uzmysłwić te zależności, najlepiej posłużyć się przykładem dwóch laserów, z których każdy ma taką samą moc, np. 10W. Laser nr 1 działa z częstotliwością 100 kHz, natomiast drugi z 1 MHz (czyli 10 razy szybciej). Czyli laser 1 będzie miał w impulsie 20  $\mu$ J, a drugi 10 razy mniej, czyli 2  $\mu$ J. Jeżeli użyjemy identycznych soczewek do ogniskowania wiązki obu laserów oraz oba lasery mają tę samą długość fali i jakość wiązki, gęstość energii (fluencja) lasera 1 będzie 10 razy większa od lasera 2, co przełoży się na szybkość i jakość obróbki laserowej. Wynika stąd, że gęstość energii w impulsie jest jednym z najbardziej istotnych parametrów obróbki laserowej a nie, jak by się mogło wydawać, moc średnia, która jest przeważnie jednym z głównych parametrów marketingowych. Niestety nie da się gęstości określić bez danych dotyczących toru optycznego i elementów ogniskujących wiązkę lasera. A są to elementy już niezależne od producentów laserów. Dlatego obróbkę laserową materiałów należy rozpatrywać zawsze kompleksowo, na przykładach dedykowanych urządzeń.

Nie bez znaczenia jest także długość fali lasera. Ma ona wpływ na to, w jaki sposób materiał pochłania światło lasera i jest to niezwykle ważne dla wszystkich laserów z impulsami, np. nanosekundowymi (lasery Nd:YAG, CO<sub>2</sub>, Nd:Yrb, fiber). Źle dobrana długość fali do obróbki danego materiału potrafi zniweczyć cały proces obróbki. Może się okazać, że laser po prostu się odbija od powierzchni danego materiału, zamiast go penetrować i wykonywać jego ablację. Klasycznym przykładem jest obróbka złota np. laserem gazowym CO<sub>2</sub>. Długość fali lasera CO<sub>2</sub> wynosi 10,6  $\mu$ m, natomiast maksimum absorpcji promieniowania dla złota zawiera się w zakresie 500-600  $\mu$ m, potem eksponentalnie opada do zera. Dlatego laser ten wręcz się odbija od złota. Dlatego często stosuje się powłoki na zwierciadłach stosowanych w laserach CO<sub>2</sub> wykonane właśnie ze złota. Do obróbki

złota najbardziej odpowiednim laserem byłyby w tym przypadku laser Nd:YAG pracujący na drugiej harmonicznej wiązki podstawowej, czyli laser zielony o długości fali 532 nm.

### Mikroobróbki metali

Mikroobróbka metali jest stosowana w bardzo wielu branżach przemysłowych. Jest ona jednak zarezerwowana do obróbki powierzchniowej (np. strukturyzacja powierzchni - mikro-otwórki, mikro-dołki) lub mikro-cięcia i znakowania. Można wyszczególnić następujące branże oraz przykłady zastosowania mikroobróbki metali [2, 4]:

- jubilerstwo (znakowanie i cięcie metali szlachetnych),
- wytwarzanie narzędzi (strukturyzacja powierzchni form odlewniczych i ostrzenie narzędzi),
- elektronika (wytwarzanie szablonów do nakładania past lutowniczych, znakowanie elementów elektronicznych, cięcie PCB, drążenie otworów micro-via),
- fotowoltaika (mikro-wiercenie otworów przelotowych pod elektrody),
- lotnictwo (mikro-otwory na krawędziach skrzydeł i statecznika),
- motoryzacja (strukturyzacja powierzchni głowicy silnika i tłoków),
- półprzewodniki (naprawa procesorów poprzez ablację warstw elektrod, produkcja LED),
- medycyna (produkcja stentów, strukturyzacja powierzchni implantów tytanowych).

Jednym z najbardziej uniwersalnych urządzeń do mikroobróbki metali jest system z laserem ultrafioletowym o długości fali 355 nm. Lasery tego typu bazują na domieszkowanych kryształach (Nd:YAG, Nd:YVO<sub>4</sub>) pompowanych laserami diodowymi [5]. Osobną grupę stanowią natomiast lasery światłowodowe, których sprawność oraz niezawodność jest obecnie na najwyższym poziomie spośród innych rodzajów laserów. Lasery światłowodowe UV osiągają moc średnią na poziomie 200W przy sprawności 10% [2]. Systemy z laserami UV są przeważnie zintegrowane z głowicami skanującymi (tzw. galwanometrami), które umożliwiają pozycjonowanie zogniskowanej wiązki laserowej w płaszczyźnie XY w obszarze pola roboczego. Dzięki temu prędkość

obróbki może sięgać 5 m/s przy jednocześnie krótkich czasach przeskoków pomiędzy elementami w wykonywanym wzorze. Rozmiar planki lasera UV w ognisku zależy od zastosowanej soczewki i może sięgać nawet kilku mikrometrów średnicy, a średnica wykonywanych nacięć w materiałach nawet 2,5  $\mu$ m [6]. Jednak parametry te zależą od materiału, prędkości skanowania i gęstości energii w impulsie, który jest jednym z najważniejszych parametrów określających obróbkę.

### Podsumowanie

Mikroobróbka laserowa to stosunkowo trudny temat, gdyż ze względu na wiele czynników, które wchodzą w skład tego zagadnienia, trudno jest nieraz uzyskać zadawalające rezultaty bez inwestycji bardzo dużych funduszy w sprzęt. Zawsze konieczne jest znalezienie kompromisu pomiędzy akceptowalną jakością, a wybranym rozwiązaniem technicznym. Jednak jeżeli uda się to osiągnąć, to mikroobróbka laserowa jest powtarzalna i może być stosowana przemysłowo. Obecnie mikroobróbka jest stosowana głównie w mikroelektronice oraz produkcji półprzewodników. Codziennie mamy styczność z telefonami komórkowymi, w których większość elementów była na pewnym etapie wytwarzana z wykorzystaniem mikroobróbki laserowej. Sztandarowym przykładem mikroobróbki jest drążenie mikro-otworów w wielowarstwowych płytkach drukowanych. A jak wiadomo, płytki drukowane są obecnie w każdym urządzeniu elektrycznym.

Mikroobróbka laserowa umożliwia uzyskanie wręcz nieograniczonej dokładności i jakości w obróbce materiałów. Ponadto rezultaty mikroobróbki są zauważalne wszędzie, w każdym biurze czy domu – zawsze wtedy, gdy dany produkt ulega miniaturyzacji. Ekonomia zawsze decyduje, jaką technologię wybrać przy produkcji produktu. Niemniej jednak, mikroobróbka laserowa zrewolucjonizowała produkcję przemysłową i wyniosła ją na nowy, wyższy poziom jakości i dokładności. □

### Piśmiennictwo

1. <http://www.ifemtosolar.pl/> [dostęp: 19.06.2018 r.]. Autor korzystał również z materiałów firm: IPG Photonics [2], Laser Micromachining [3], Laser PRO [4], Amecam [5], Potomac Laser [6] oraz Fluence [7].