

## **Temat: Laserowa obróbka metalu**

**Cięcie laserem** to bardzo powszechna forma obróbki metalu w wielu branżach, począwszy od przemysłu górniczego poprzez automotive, a skończywszy na wykonywaniu ozdób i różnych, często skomplikowanych wzorów. Dzięki swojej precyzji i dokładności jest to idealne narzędzie do zastosowania wszędzie tam, gdzie każdy milimetr cięcia musi być wykonany z bardzo dużą dokładnością.

Jak działa laser?

Cięcie przy pomocy lasera jest jedną z najdokładniejszych i najbardziej precyzyjnych sposobów na obróbkę różnych materiałów, głównie metali. Wiązka lasera to nic innego, jak skupione światło o precyzyjnie określonej długości fali, które przy uderzeniu w cięty element nagrzewa powierzchnię, z którą się styka, w wyniku czego ta część ulega stopieniu lub odparowaniu w całości. Aby jeszcze bardziej usprawnić ten proces, można wykorzystać do niego gazy procesowe, jak azot czy argon.

### **Co można ciąć laserem?**

W zasadzie istnieje bardzo niewiele materiałów, których nie tnie się z wykorzystaniem lasera. Za jego pomocą możemy skutecznie obrabiać materiał taki jak m. in.:

- Stal czarna
- Stal nierdzewna
- Aluminium

Laser może przydawać się również do cięcia drewna, a także do wykonywania ozdobnych wzorów na obrabianej powierzchni. Bez problemu poradzi sobie ze stalą, ale również i z tak wytrzymałymi materiałami, jak np. tytan. Wycinanie laserowe jest szybkie, precyzyjne i gwarantuje gładką krawędź, więc wykorzystuje się je wszędzie tam, gdzie potrzebujemy jak najdokładniejszego efektu końcowego.

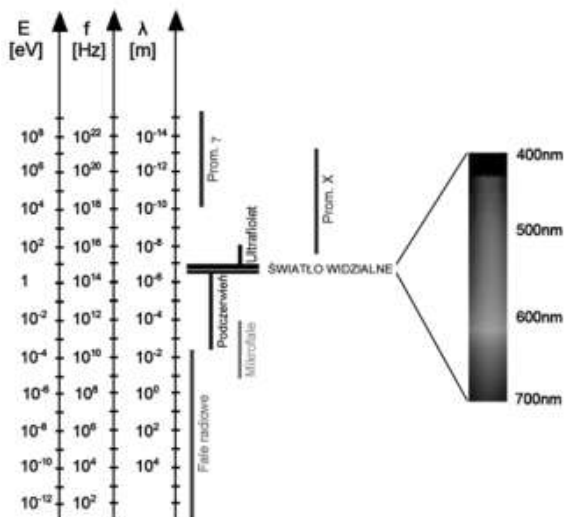
### **Kiedy cięcie laserowe się przydaje?**

Cięcie laserowe to skrupulatny proces, w związku z czym dobrze jest stosować tę metodę obróbki wszędzie tam, gdzie nasza konstrukcja musi zgadzać się co do milimetra. Wiązka radzi sobie również z grubszymi elementami, a także ze skomplikowanymi wzorami i układami, jeżeli tylko odpowiednio zaprogramujemy maszynę do cięcia. Sam laser jest narzędziem o wysokiej precyzji, dzięki czemu z jego pomocą możemy uzyskać zarówno rozległy wzór cięcia,

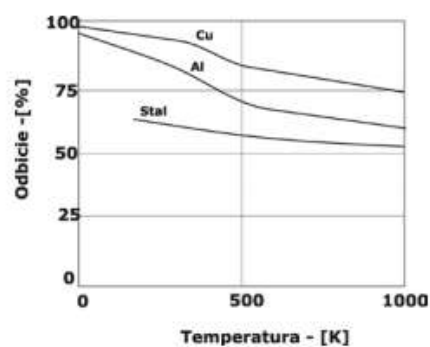
jak i bardzo drobne, ciasno rozmieszczone elementy. Jednym słowem – jeżeli wymagamy wysokiej dokładności, powinniśmy zdecydować się na cięcie laserem.

Mechanizm cięcia laserowego Jak już wspomniano, cięcie laserowe polega na bezpośrednim oddziaływaniu energii wiązki laserowej na obszar szczeliny cięcia (rys. 1 i 2). Procesowi stopienia i/lub odparowania metalu w szczelinie cięcia towarzyszyć musi jednocześnie oddziaływanie strumienia gazu współosiowego z wiązką laserową, którego zadaniem jest usunięcie ciekłego metalu i par metali ze szczeliny cięcia. Jeśli jako gaz towarzyszący zastosowany jest tlen, powietrze lub mieszanki gazów zawierających tlen, w szczelinie cięcia metalu dodatkowo zachodzi reakcja egzotermiczna spalania ciekłego metalu, zwiększająca energię cieplną procesu [7, 16÷19]. W celu nagrzania metalu w obszarze szczeliny cięcia do temperatury topnienia lub parowania wiązka laserowa musi dostarczyć wymaganą wartość energii, której część tracona jest w wyniku odprowadzania ciepła do ciętego przedmiotu, przez powierzchnię ciętych krawędzi. Gdy zogniskowana wiązka laserowa o dużej gęstości mocy uderza w powierzchnię ciętego metalu, część energii jest absorbowana, a część ulega odbiciu. Energia fotonów (kwantów promieniowania) wiązki laserowej absorbowana jest przez wolne elektrony chmury elektronowej otaczającej jądra atomów metalu (zjawisko znane jako odwrotne promieniowanie hamowania). Elektrony pod wpływem zaabsorbowanej energii fotonów przechodzą w stan wymuszonych drgań, który wyraża się w postaci energii cieplnej. Gdy dostarczona jest wymagana wartość energii kwantów promieniowania laserowego, drgania cieplne elektronów są tak intensywne, że następuje taki spadek siły wiązań cząsteczkowych metalu, iż metal ze stanu stałego przechodzi w stan ciekły. W przypadku dalszego wzrostu energii promieniowania laserowego zwiększa się znacznie energia drgań elektronów metalu, prowadząca do takiego spadku siły wiązań cząsteczkowych, że metal ze stanu ciekłego przechodzi w stan gazowy (ulega odparowaniu – tabl.). Absorpcja energii promieniowania laserowego na powierzchni ciętego metalu jest określana jako stosunek pochłoniętej przez metal mocy wiązki laserowej do mocy wiązki padającej na powierzchnię metalu. Dla materiałów nieprzezroczystych, takich jak metale, absorpcja  $A$  jest określana jako  $A = 1 - R$ , gdzie  $R$  jest współczynnikiem odbicia powierzchni metalu. Absorpcja (współczynnik absorpcji) promieniowania laserowego jest zależna od długości fali promieniowania, kąta padania promieniowania, polaryzacji wiązki laserowej, temperatury powierzchni metalu i stanu fazowego metalu [7÷11]. Absorpcja metali zwiększa się w kierunku promieniowania widzialnego i ultrafioletowego (rys. 3). Jeśli wiązka laserowa pada pod kątem prostym do ciętej powierzchni metalu, współczynnik absorpcji jest równy dla polaryzacji równoległej i poprzecznej. Pochylenie wiązki laserowej względem powierzchni metalu sprawia, że spada współczynnik odbicia wiązki o polaryzacji równoległej, a wzrasta dla polaryzacji poprzecznej. Współczynnik absorpcji promieniowania wzrasta wraz z temperaturą metalu i wynosi ok. 100%, gdy metal jest w postaci pary (rys. 4 i 5). Proces cięcia laserowego rozpoczyna się od przebicia ciętego przedmiotu i utworzenia kanału parowego – oczka o ściankach pokrytych ciekłym metalem i wypełnionym parami metalu. Ten etap procesu cięcia zależy w dużym stopniu od współczynnika odbicia ciętego metalu. Aluminium i miedź cechują się wysokim współczynnikiem odbicia i wymagają znacznie wyższej mocy wiązki do rozpoczęcia procesu cięcia laserowego (rys. 5). Po utworzeniu oczka szczeliny cięcia, o głębokości równej grubości ciętego materiału, wiązka laserowa działa jako liniowe źródło energii cięcia, przetapiające i odparowujące cięty materiał na całej grubości (rys. 2). Tak więc proces cięcia odbywa się w wyniku absorpcji energii wiązki laserowej w oczku szczeliny cięcia wypełnionym parami ciętego metalu, o ściankach pokrytych cienką warstwą ciekłego metalu, utrzymywanego siłami napięcia powierzchniowego i zjawiska kapilarnego. Front cięcia przesuwają się wzdłuż toru

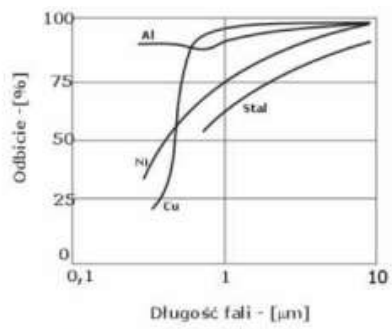
cięcia, z prędkością zależną od energii liniowej wiązki laserowej, właściwości cieplno-fizycznych ciętego metalu i mechanizmu usuwania par metalu i ciekłego metalu z oczka. W procesie cięcia laserowego ważna jest polaryzacja wiązki, decydująca o jego sprawności. W zależności od konstrukcji lasera możliwa jest polaryzacja liniowa, eliptyczna, kołowa i losowa. Przy polaryzacjach liniowej i eliptycznej sprawność procesu cięcia jest największa, lecz jego jakość jest najwyższa wówczas, gdy kierunek polaryzacji jest zgodny z kierunkiem cięcia. Polaryzacja kołowa zapewnia jednakową jakość cięcia w każdym kierunku, lecz jego sprawność spada nawet do 40% w stosunku do polaryzacji liniowej i jest zalecana szczególnie przy cięciu metali z tlenem jako gazem towarzyszącym. O jakości cięcia decyduje głównie jakość wiązki laserowej, określona współczynnikiem jakości BPP (ang. Beam Parameter Product, wzór (1)), który w zależności od rodzaju materiału i grubości ciętego czy przebijanego przedmiotu powinien mieścić się w granicach od 0,1 do 5÷10. Im mniejsza jest wartość współczynnika jakości wiązki laserowej BPP, tym wyższa jest jakość wiązki laserowej. Tak więc wiązka laserowa o idealnej jakości, czyli stałej średnicy na całej długości wiązki, ma współczynnik BPP = 0,0, gdyż wtedy jej kąt odchylenia w polu dalekim wynosi  $\Theta_0 = 0,0$ . Im niższa jest jakość wiązki (większa rozbieżność), tym współczynnik jakości BPP jest większy. W praktyce współczynnik jakości BPP produkowanych obecnie laserów dużej mocy mieści się w granicach od ok. 0,3 do 25 mm·mrad, a wiązkę laserową uznaje się za wiązkę o bardzo wysokiej jakości, gdy BPP < 5,0. W przypadku laserów włóknowych i tarczowych osiągnęte są wyniki na poziomie min. 0,3 mm·mrad. Wartość współczynnika jakości BPP równa 1,0 mm·mrad równoważna jest kątowi odchylenia wiązki laserowej  $0,057^\circ$ , przy minimalnej średnicy wiązki 1,0 mm [7]. Im mniejsza jest grubość cięcia czy przebijania metalu i im wyższa jest jego temperatura topnienia, tym wyższa musi być jakość wiązki BPP. Do cięcia laserowego zalecany jest podstawowy, jednomodowy (gaussowski) rozkład mocy wiązki laserowej – TEM00, który zapewnia możliwość zogniskowania wiązki laserowej do jak najmniejszej średnicy i największych głębokości (najmniejszej zmiany mocy wiązki na jej długości). Zdolność ogniskowania wiązki i jej stabilność są szczególnie ważne przy cięciu proflowym cienkich blach ze stali węglowych o grubości do 3,2 mm



Rys. 3. Zakres energii – E, eV; częstotliwości – f, Hz; długości znanych fal elektromagnetycznych  $\lambda$ , m [7]



Rys. 4. Wpływ temperatury powierzchni przedmiotów metalowych ze stali, Al i Cu na odbicie energii wiązki laserowej lasera Nd:YAG o długości fali  $\lambda = 1,06 \mu\text{m}$  [7]



**Rys. 5.** Wpływ długości fali promieniowania laserowego na absorpcję energii wiązki laserowej na powierzchni przedmiotów metalowych ze stali, Ni, Al i Cu [7]