

Hartowanie diodowym laserem dużej mocy

WOJCIECH PAWŁOWICZ*

Hartowanie wiązką laserową nie powinno być traktowane jako alternatywa wobec tradycyjnych metod hartowania, lecz jako uzupełnienie innych metod obróbki cieplnej. Jest to nowoczesna technologia, stwarzająca nowe możliwości rozwoju konstrukcji, w pełni dostosowana do wymagań współczesnej gospodarki.

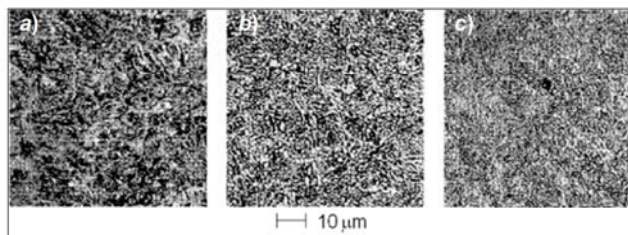
Hartowanie jest podstawową operacją wielu procesów obróbki cieplnej. Zwykle stosuje się hartowanie elementów maszyn powierzchniowe lub objętościowe (na wskroś). Elementy maszyn do temperatury hartowania powierzchniowego nagrzewane są płomieniowo, indukcyjnie lub wiązką laserową. Hartowanie z użyciem laserów jest stosowane z powodzeniem w przemyśle dopiero od kilkunastu lat. Zwiększa się zastosowanie materiałów polimerowych i ich kompozytów w konstrukcjach maszyn. Powoduje to, że elementy metalowe współpracujące np. z elementami wykonanymi z kompozytów polimerowych wzmacnianych włóknem szklanym, są narażone na intensywne zużycie ściernie. Dlatego wciąż dużą wagę przywiązuje się do hartowania współpracujących powierzchni stalowych elementów maszyn.

Hartowanie charakteryzuje się wprowadzeniem dużej ilości ciepła do materiału. Tradycyjne technologie hartowania wymagają stosowania naddatków na dalszą obróbkę, a także usunięcia naprężeń hartowniczych z warstwy wierzchniej, co wiąże się z dodatkowymi kosztami. Koszty te można zmniejszyć prowadząc proces hartowania w warunkach zapewniających zarówno małe odkształcenia, jak i naprężenia hartownicze w warstwie wierzchniej oraz nie wymagającej dalszej obróbki. Dobór technologii hartowania, przy uwzględnieniu wymagań stawianych nowoczesnym konstrukcjom, jest obecnie dyktowany warunkami technicznymi, a nie możliwościami wykonawczymi. Podstawą doboru są uzasadnione technicznie przesłanki, a nie dotychczasowe doświadczenie, czy też konieczność stosowania tradycyjnych metod obróbki.

Hartowanie laserowe umożliwia obróbkę elementów maszyn, które dotąd nie mogły być hartowane innymi metodami. Stwarza to nowe możliwości w rozwoju konstrukcji. Metoda ta jest również przyjazna dla środowiska, nie wymaga stosowania dodatkowych procesów pomocniczych oraz użycia środka chłodzącego (woda, olej). Zaletami metody hartowania laserowego są ponadto jej energooszczędność i wydajność oraz fakt, że hartowane elementy są niemal natychmiast dostępne do kolejnego etapu produkcyjnego.

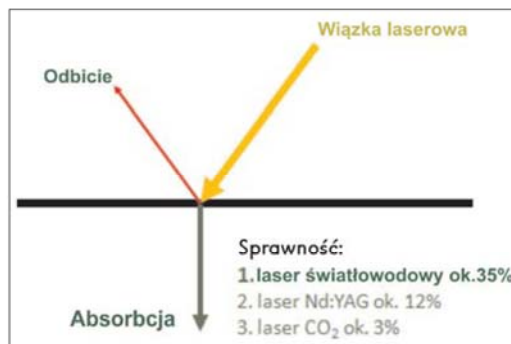
Hartowaniu powierzchniowemu, także z użyciem wiązki laserowej, poddaje się elementy maszyn wykonane z gatunków stali maszynowej i narzędziowej oraz staliwa, o zawartości węgla min. 0,20%. Hartowanie laserowe umożliwia obróbkę tych elementów po nawęglaniu. Po hartowaniu w piecu komorowym lub indukcyjnym uzyskuje się ziarno o mniejszych rozmiarach w porównaniu z rozmiarami ziarna po konwencjonalnym nagrzewaniu.

Proces hartowania laserowego jest w pełni zautomatyzowany. Głowica wiązki laserowej zamocowana jest najczęściej w uchwycie robota przemysłowego. Specjalistyczne oprogramowania, współpracujące z systemami CAD/CAM, umożliwiają programowanie drogi wiązki laserowej. Stosowane jest także ręczne wyznaczanie drogi wiązki laserowej (punkt po punkcie) przy użyciu oprogramowania typu Teach-in.



Rys. 1. Mikrostruktura stali 50 HS po nagrzewaniu: a) na wskroś – w piecu, b) powierzchniowym – nagrzewanie indukcyjne, c) powierzchniowym – nagrzewanie laserowe [1]

Do nagrzewania laserowego – oprócz laserów CO₂ i Nd:YAG – używane są również coraz częściej diodowe lasery światłowodowe. Długość fali emitowanej przez laser diodowy jest krótsza (np. 800 nm) w porównaniu z innymi źródłami promieniowania laserowego. Zwiększa się zdolność do absorpcji energii przez materiał podłoża. Sprawność lasera diodowego wynosi ok. 35% (rys. 2).

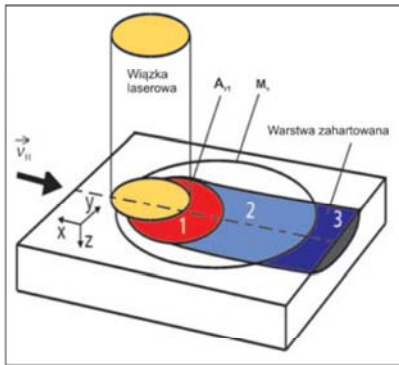


Rys. 2. Oddziaływanie wiązki laserowej na powierzchnię podłoża [2]

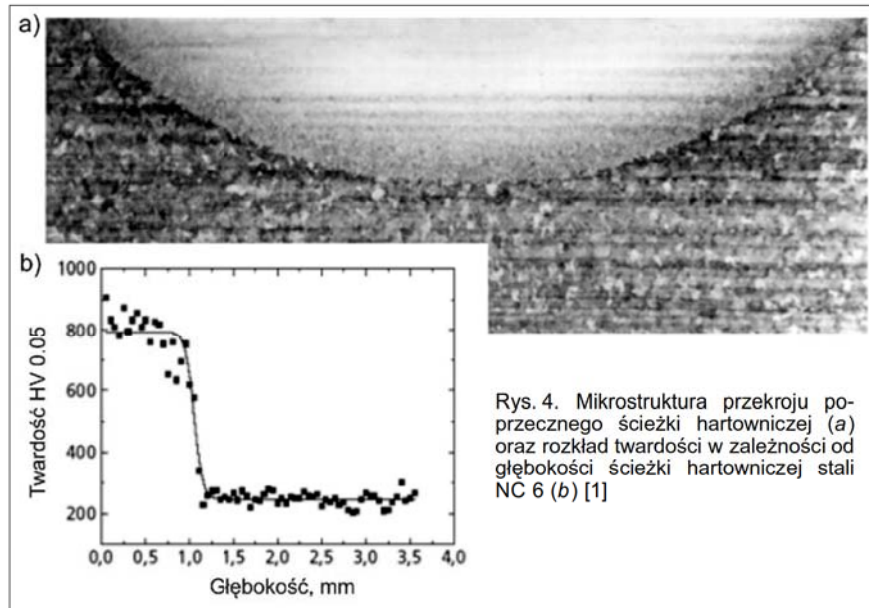
Wiązka laserowa, oddziałując na powierzchnię podłoża metalicznego, ulega absorpcji oraz odbiciu. W przypadku srebra, miedzi, aluminium lub wypolerowanych powierzchni elementów stalowych dodatkowo występuje „efekt lustra”. Wartość składowa odbicia jest wtedy większa od składowej absorpcji. W przypadku gdy kąt padania wiązki jest większy niż 62°, ulega ona całkowitemu odbiciu [3].

Wiązka laserowa powoduje szybkie nagrzewanie warstwy wierzchniej podłoża stali. Powstaje duża różnica wartości temperatury powierzchni i rdzenia. Materiał warstwy wierzchniej nagrzewany jest z prędkością ok. 1000 K/s, aż do osiągnięcia temperatury przemiany austenitycznej, a następnie temperatury topnienia. Czas wygrzewania w tej temperaturze jest mały i wynosi od 10⁻³ do 10 s. Wiązka laserowa przesuwa się z określoną

* Mgr inż. Wojciech Pawłowicz, ALOtec Dresden GmbH



Rys. 3. Schemat hartowania laserowego: 1 – przemiana austenityczna, 2 – przemiana martenzytyczna, 3 – martenzyt, A_{r1} – przemiana eutektoidalna – linia PS, M_s – temperatura początku przemiany martenzytycznej, v_H – prędkość przesuwu wiązki [2]



Rys. 4. Mikrostruktura przekroju poprzecznego ścieżki hartowniczej (a) oraz rozkład twardości w zależności od głębokości ścieżki hartowniczej stali NC 6 (b) [1]

prędkością na kolejny obrabiany obszar powierzchni podłoża. Uzyskanie wysokiej temperatury stali (>994 K) powoduje tworzenie się austenitu [3]. Po przejściu wiązki laserowej następuje szybkie chłodzenie powstałego austenitu w warstwie wierzchniej stali (rys. 3). Prędkość chłodzenia zależy przede wszystkim od przewodnictwa cieplnego stali – zawartości węgla oraz mocy lasera. Szybkie chłodzenie po przejściu wiązki laserowej powoduje przemianę austenitu w martenzyt. Głębokość hartowania zależy od gatunku stali i w praktyce nie przekracza $1,5 \div 2$ mm.

Hartowanie laserowe prowadzi się zwykle w atmosferze powietrza. Jednocześnie stosuje się atmosferę gazu ochronnego celem uniemożliwienia tworzenia się tlenków pogarszających efekt hartowania [4].

Hartowanie laserowe wymaga stosunkowo małej mocy wiązki. Stosuje się kształt wiązki umożliwiający jej oddziaływanie na powierzchnię o możliwie największych rozmiarach i odpowiednim kształcie. Często uzyskuje się powierzchnie obrabiane w kształcie prostokąta. Wprowadza się również układy optyczne, pozwalające na przemieszczanie się wiązki laserowej o kształcie okrągłym ruchem posuwisto-zwrotnym. Na powierzchni obrabianego przedmiotu powstaje wówczas ścieżka równomiernie nagrzanej i zahartowanej stali o szerokości do ok. 60 mm (rys. 4).

Strefa zahartowania na krawędzi ścieżki hartowniczej ma mniejszą głębokość. Spowodowana jest ona większym odprowadzaniem ciepła do podłoża w czasie nagrzewania. Obserwuje się także skokową zmianę jej twardości po osiągnięciu maksymalnej głębokości hartowania (rys. 4b).

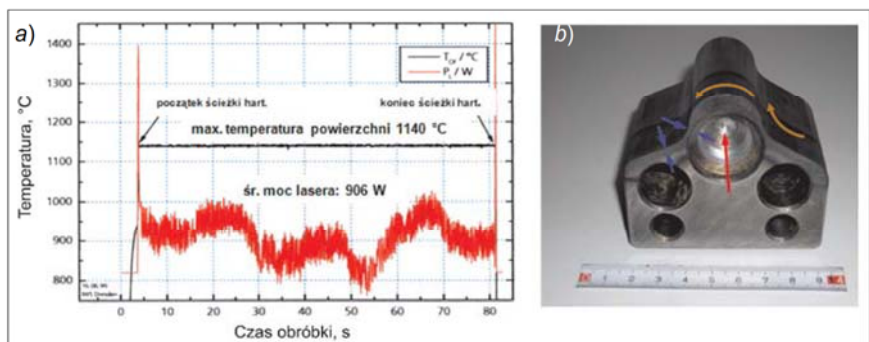
Cechą charakterystyczną procesu hartowania laserowego jest wyeliminowanie nadtopień nawet w najmniejszych mikroobjętościach obrabianej stali. Zwykle osiąga się to przez utrzymanie stałej wartości temperatury nagrzewania. Jest to

możliwe dzięki zastosowaniu systemu regulacji mocy lasera (rys. 5). Zapewnia on uzyskanie wartości temperatury powierzchni obrabianego elementu z dokładnością ± 10 K, także przy zmiennym przewodnictwie cieplnym hartowanej stali. Umożliwia to uzyskanie wysokiej jakości zahartowanej warstwy wierzchniej – równomiernej twardości warstwy. System regulacji mocy lasera eliminuje także zjawiska nadtopienia krawędzi [5].

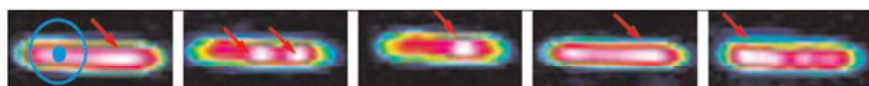
Pomiar wartości temperatury powierzchni obrabianych elementów prowadzony jest zwykle za pomocą wysokiej klasy kamery termowizyjnej, współdziałającej z systemem regulacji mocy lasera. Uzyskuje się rozkład wartości temperatury na powierzchni obrabianych elementów podanych laserowej obróbce cieplnej (rys. 6).

Temperatura maksymalna (kolor biały) powoduje szkliste nadtopienia obrabianej powierzchni. Rozkład wartości temperatury podczas obróbki powierzchni zwykle jest trudny do prognozowania; dlatego ważny jest duży obszar pomiaru temperatury obrabianej powierzchni. Tradycyjny pomiar pirometrem (rys. 6 – okrąg jasnoniebieski), jako pomiar punktowy, jest mniej precyzyjny.

Hartowanie laserowe ma zastosowanie zarówno do fragmentów, jak i całych współpracujących powierzchni



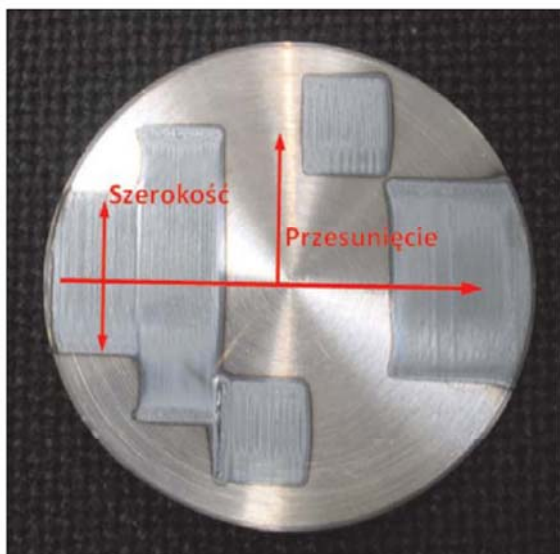
Rys. 5. Zmiana mocy lasera w zależności geometrii hartowanego detalu (a); rodzaje geometrii detalu kształtujące (kolory: żółty – wklęsłe / wypukłe powierzchnie, niebieski – zmienna grubość ścianek, czerwony – otwory i zagłębienia (b) [6]



Rys. 6. Rozkład wartości temperatury na powierzchni elementu. Odczyt z kamery termowizyjnej [2]

elementów maszyn. Zahartowaniu ulegają tylko zewnętrzne warstwy materiału podłoża. Wytrzymałość na rozciąganie rdzenia pozostaje na tym samym poziomie. Ponadto zmniejsza się skłonność do pęknięć hartowniczych poprzez uzyskanie korzystnego rozkładu naprężeń. W procesie hartowania laserowego wprowadza się do materiału tylko 20% ciepła, w porównaniu z hartowaniem indukcyjnym. Tym samym ogranicza się konieczność dalszej obróbki mechanicznej zahartowanych elementów maszyn. Hartowanie laserowe pozwala także na przeprowadzenie operacji w krótkim czasie. Powierzchniowa warstwa hartowana może mieć dowolny kształt, a także zmienną głębokość. Systemy skanujące, rozwinięte w wyniku współpracy firmy ALOtec Dresden GmbH z Instytutem Fraunhofera w Dreźnie umożliwiają hartowanie elementów o złożonych kształtach i uzyskanie zmiennej szerokości ścieżki hartowania (rys. 7).

Hartowanie laserowe, pomimo zalet, ma także ograniczenia techniczne. Niemożliwe jest nakładanie ścieżek hartowniczych. Powoduje to zmniejszenie twardości w wyniku podwójnego odpuszczania. Zwykle minimalna odległość ścieżek hartowniczych wynosi $1,0 \div 1,5$ mm. Hartowanie większych powierzchni polega na wykonywaniu równoległych ścieżek hartowniczych. Ponadto wymaga ono stosowania zabezpieczeń oraz środków ochrony osobistej z uwagi na szkodliwy wpływ promieniowania laserowego.



Rys. 7. Obraz zahartowanych fragmentów powierzchni wałka o średnicy 100 mm z użyciem skanera firmy ALOtec [1]

LITERATURA

1. Fraunhofer IWS Dresden.
2. Materiały firmy ALOtec Dresden GmbH.
3. ERNHARDT, HEINE, PROMMERSBERGER: Laser in der Materialbearbeitung. 1. Auflage Vogel Buchverlag Würzburg 1993.
4. B. LEIBINGER: Werkzeug Laser. Ein Lichtstrahl erobert die industrielle Fertigung. 1. Auflage Vogel Buchverlag Würzburg 2006.
5. HÜGEL, GRAF: Laser in der Fertigung. 2 Auflage GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden 2009.
6. <http://alotec.de> ■