

MECHANIKA

CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS

WYDAWNICTWO
POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

2-M/2009

ZESZYT 6

ROK 106

ISSUE 6

YEAR 106

DARIUSZ MIERZWIŃSKI, JANUSZ WALTER*

LASEROWA MODYFIKACJA WARSTWY WIERZCHNIEJ

LASER SURFACE LAYER MODIFICATION

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę miejscowej modyfikacji powierzchni stalowych za pomocą materiałów ceramicznych z wykorzystaniem energii wiązki laserowej. Zastosowanie tej metody umożliwia podwyższenie odporności na ścieranie lub twardości w obszarach narażonych na przyspieszone zużycie. Uzyskany efekt zależy w znacznym stopniu od odpowiedniego doboru cząstek i ich oddziaływania z materiałem podłoża, a także od wpływu energii lasera na stabilność termodynamiczną zastosowanych cząstek.

Słowa kluczowe: laser, warstwa wierzchnia

Abstract

There were presented in the article a new method of local modification of steel surface by ceramic materials using laser beam. This method improve wear resistance or hardness in local areas exposed on accelerated wear. Obtained results depend on applied particles and its interaction with substrate as well as on laser beam energy and thermodynamic of particles. The steel surface were covered by pastes contain particles by screen-printing technique and afterwards dried and burned organic substances. Scanning laser beam has been applied as a source of energy for making local covered by titanium nitride and alumina.

Keywords: laser, surface layer

* Dr inż. Dariusz Mierzwiński, dr inż. Janusz Walter, Instytut Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Na właściwości warstwy wierzchniej materiałów konstrukcyjnych wpływają zarówno rodzaj, jak i parametry zastosowanej obróbki powierzchniowej. Dlatego rozwojowi materiałów ciągle towarzyszy rozwój technologii modyfikujących warstw wierzchnich. W celu modyfikacji warstwy wierzchniej stosuje się pojedynczo lub łącznie działanie sił mechanicznych, elektrycznych, cieplnych i czynników chemicznych. Jedną z niezwykle intensywnie rozwijających się metod kształtowania właściwości warstwy wierzchniej jest obróbka laserowa. Szerokie i wciąż rosnące wykorzystanie techniki laserowej w inżynierii powierzchni spowodowane jest szczególnymi właściwościami promieniowania laserowego, które umożliwia skupienie dużych gęstości mocy na wybranych fragmentach obrabianych przedmiotów. Jedną z metod modyfikacji warstwy wierzchniej jest laserowe nadtapianie powierzchni z jednoczesnym domieszkowaniem pierwiastków chemicznych lub faz. W zależności od sposobu nanoszenia materiału proces laserowego natapiania powłok może być przeprowadzony dwustopniowo lub jednostopniowo [1].

Najlepsze efekty uzyskuje się przez jednostopniowe, pneumatyczne dostarczanie proszku. Energia laserowa jest wtedy absorbowana w tym samym czasie przez proszek oraz przez podłoże, a topienie proszku i warstwy podłoża następuje jednocześnie [2, 3].

2. Materiał do badań

W badaniach zastosowano blachy z gatunku DC01, z firmy AKSA S.C. W celu weryfikacji dostarczonego materiału przeprowadzono analizę składu chemicznego stali za pomocą metody spektralnej na urządzeniu SPEKTROLAB.

Materiał do badań został dostarczony w postaci arkuszy o trzech różnych grubościach: 1, 1,5 i 2,5 mm o wymiarach 300×450 mm.

3. Przygotowanie past

Materiał stopujący był наносzony na blachy w postaci past, które przygotowano, mieszając proszki Al_2O_3 oraz TiN z organicznym lepiszczem. Lepiszczce zostało sporządzone ze 100 g glikolu polietylenowego 600 o wzorze chemicznym $H(OCH_2CH_2)_nOH$ oraz 10 g alkoholu etylowego C_2H_5OH .

Na bazie tlenku glinu zostały przygotowane dwie pasty (P1 i P2) różniące się stężeniem Al_2O_3 . Pasta P1 zawierała 20 g lepiszcza i 40 g proszku Al_2O_3 , natomiast pasta P2 – 20 g lepiszcza i 30 g proszku Al_2O_3 . W celu dokładnego wymieszania proszku z lepiszczem każda pasta była mieszana przez 6 min na mieszalniku mechanicznym przy prędkości 3200 obr./min.

Na bazie azotku tytanu sporządzono pastę P3, która zawierała wymieszane mechanicznie 20 g lepiszcza oraz 20 g proszku TiN.

Po przygotowaniu pasty były wygrzewane przez 42 godz. w suszarce Venticell 55 w temperaturze $35^\circ C$ w celu uzyskania konsystencji umożliwiającej nanoszenie past na blachy. Po 42 godzinach wygrzewania pasta P1 uzyskiwała optymalną konsystencję, natomiast pozostałe pasty były wygrzewane przez kolejnych 5 godz. w temperaturze $40^\circ C$. Po

wysuszeniu pasta na bazie TiN (P3) została mechanicznie wymieszana z 4 g etylocelulozy w celu uzyskania optymalnej konsystencji i poprawy przyczepności do podłoża.

Na każdą z trzech blach naniesiono 2 rodzaje pasty na bazie Al_2O_3 (P1 i P2) i jeden pasek pasty na bazie TiN (P3). Blachy wraz z naniesionymi pastami poddano suszeniu przez 10 min w temperaturze 450°C , w wyniku czego organiczne lepiszcze uległo odparowaniu.

4. Obróbka powierzchniowa

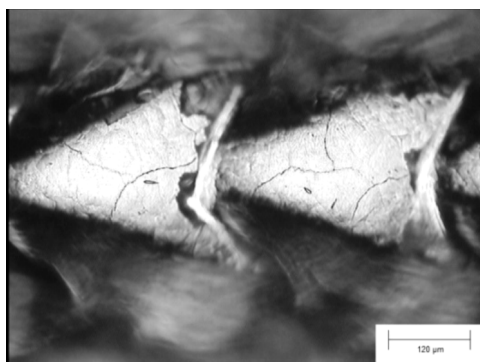
Blachy z wysuszonymi pastami zostały poddane powierzchniowemu laserowemu grawerowaniu na urządzeniu ByVention firmy Bystronic. Obróbkę przeprowadzono przy automatycznie dobranych parametrach, a jako gazu osłonowego użyto tlenu.

W trakcie wstępnych badań wykonano próbne grawerowanie blachy, dobierając odległość pomiędzy ścieżkami wiązki laserowej w zakresie od 0,5 do 3 mm. Do obróbki blach z naniesionymi pastami została ustalona odległość 0,8 mm, przy której otrzymano optymalne przetopienie warstwy wierzchniej blachy.

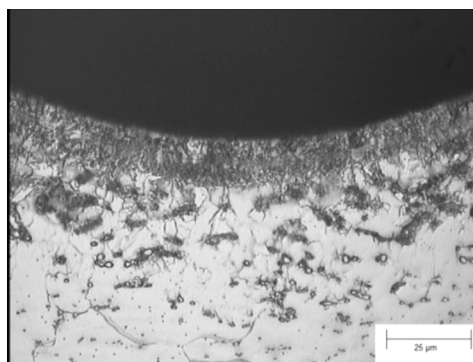
Na każdej z trzech blach zostały laserowo wygrawerowane obszary, na których wcześniej naniesiono pasty z TiN i Al_2O_3 , a następnie wycięto z nich próbki do badań.

5. Wyniki badań

W celu określenia wpływu laserowej modyfikacji warstwy wierzchniej z naniesionymi na powierzchni pastami Al_2O_3 i TiN przeprowadzono na przygotowanych próbkach badania metalograficzne z pomiarem grubości warstw (fot. 1, 2 oraz rys. 1).

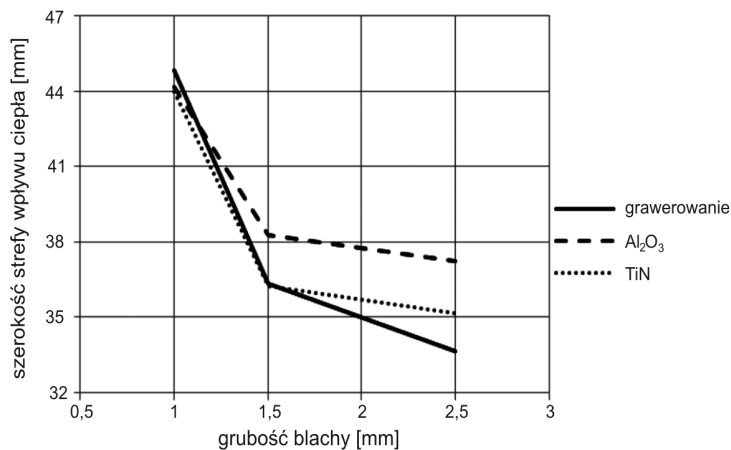


Fot. 1. Pęknięcia warstwy wierzchniej w ścieżce grawerowanej laserowo
Photo 1. Surface layer crack in the track laser



Fot. 2. Mikrostruktura warstwy wierzchniej stali po stopowaniu laserowym TiN
Photo 2. Surface layer microstructure after TiN laser alloy

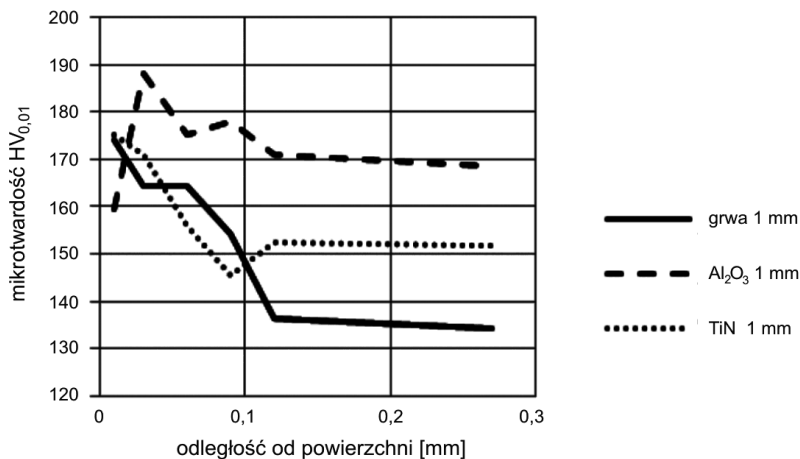
W celu określenia właściwości mechaniczne badanych obszarów, przeprowadzono pomiar mikrotwardości na płaszczyźnie prostopadłej do kierunku przejścia wiązki laserowej.



Rys. 1. Spadek szerokości strefy wpływu ciepła w funkcji grubości
Fig. 1. Decrease width heat-affected zone in the thickness function

Pomiary mikrotwardości wykonano na próbkach: grawerowanych bez domieszek, domieszkowanych Al₂O₃ oraz domieszkowanych TiN. W każdym z wymienionych wypadków badaniom poddano próbki wykonane z blachy o trzech różnych grubościach.

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy rozkłady mikrotwardości w funkcji odległości od powierzchni dla próbek z blach o grubości 1 mm. W odniesieniu do próbki z blachy o grubości 1 mm rozkłady twardości w miejscu przejścia wiązki laserowej przebiegają w podobny sposób niezależnie od rodzaju domieszki. Natomiast w obszarze pomiędzy przejściami wiązki laserowej widoczny jest znacznie większy wzrost twardości blachy domieszkowanej Al₂O₃ w porównaniu z blachą obrabianą bez domieszki oraz domieszkowanej TiN.



Rys. 2. Spadek mikrotwardości w warstwie wierzchniej pomiędzy ścieżkami laserowymi
Fig. 2. Decrease microhardness in the surface layer between laser tracks

W wypadku próbek z blachy o grubości 1,5 mm twardość zmodyfikowanej warstwy wierzchniej jest największa dla próbki blachy domieszkowanej Al_2O_3 . Wyraźny wzrost twardości próbki domieszkowanej Al_2O_3 widoczny jest zarówno w miejscu przejścia wiązki laserowej, jak i w obszarach pomiędzy ścieżkami laserowymi. Natomiast twardość próbek z blachy domieszkowanej TiN jest porównywalna z twardością blachy grawerowanej bez domieszek.

Jeżeli chodzi o próbki z blachy o grubości 2,5 mm, rozkłady twardości przebiegają w podobny sposób zarówno w miejscach ścieżek laserowych, jak i w obszarach pomiędzy przejściami wiązki laserowej. W obu wariantach widoczny jest nieznaczny wzrost twardości dla blach domieszkowanych Al_2O_3 i TiN w porównaniu z twardością blachy obrabianej bez domieszek.

6. Podsumowanie

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że istnieje możliwość modyfikacji warstwy wierzchniej blachy w wyniku laserowego domieszkowania tlenkiem glinu Al_2O_3 i azotkiem tytanu TiN.

Przeprowadzona obróbka laserowa prowadzi do powstania wad warstwy wierzchniej w postaci pęknięć i zgorzelin. Jest to spowodowane zbyt wysoką energią promieniowania laserowego. W celu uzyskania powierzchni bez wymienionych wad należałoby przeprowadzić badania polegające na określeniu wpływu parametrów obróbki laserowej na strukturę i właściwości otrzymanej warstwy wierzchniej, a następnie dobrać najbardziej optymalne parametry pracy lasera.

W wyniku przeprowadzonego procesu laserowego domieszkowania uzyskano warstwy wzbogacone w Al_2O_3 i TiN. Warstwy te są jednak nierównomierne, co potwierdzają obserwacje mikroskopowe. W wyniku obróbki laserowej utrzymuje się warstwy wierzchnie o zmodyfikowanej strukturze i podwyższonej mikrotwardości w porównaniu z materiałem rdzenia. Warstwy o zmodyfikowanej strukturze mają grubość ok. 0,1 mm i mikrotwardość wynoszącą do 237 $\text{HV}_{0,01}$. Mikrotwardość warstwy wierzchniej jest większa w miejscach ścieżek laserowych niż w obszarach pomiędzy przejściami wiązki laserowej. Jest to spowodowane większym stopniem modyfikacji warstwy w ścieżkach z prawdopodobnymi wtrąceniami domieszkowanych cząstek, co należałoby potwierdzić jedną ze znanych metod badawczych.

W strukturze zmodyfikowanej warstwy wierzchniej wyraźnie widoczna jest strefa wpływu ciepła. Szerokość strefy wpływu ciepła jest największa w wypadku blachy o grubości 1 mm i wynosi 44 μm . Strefa wpływu ciepła jest szersza i silniej zmodyfikowana dla blach wzbogacanych domieszkami Al_2O_3 i TiN w porównaniu z blachami obrabianymi laserowo bez domieszek. Szczególnie widoczne jest to w wariacie domieszkowania TiN, który wtopił się w warstwę wierzchnią blachy bardziej równomiernie niż Al_2O_3 .

Przeprowadzona obróbka laserowa blach stalowych wykonana w firmie AKSA S.C. umożliwi – przy zoptymalizowaniu procesu – poszerzenie działalności tej firmy o proces laserowej modyfikacji warstwy wierzchniej.

Literatura

- [1] Ready J.F., *LIA Handbook of Laser Materials Processing*, Laser Institute of America, 2001.
- [2] Kusiński J., *Lasery i ich zastosowanie w inżynierii materiałowej*, Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, Kraków 2000.
- [3] Toyserkani E., Khajepour A., Corbin S., *Laser Cladding*, CRC Press LLC, Boca Raton–London–New York–Washington 2005.