

Stopowanie warstwy wierzchniej stali narzędziowych przy użyciu lasera diodowego

Mirosław Bonek, Zbigniew Brytan, Cemal Meran, Piotr Cisowski, Andrzej Wójtowicz, Karolina Królikowska, Marek Konieczny, Mateusz Laskowski, Natalia Peters, Amadeusz Dziwis

Silesian University of Technology, Department of Engineering Materials and Biomaterials,
Konarskiego St. 18a, 44-100 Gliwice, Poland
Corresponding author:mirosław.bonek@polsl.pl

Wprowadzenie

Celem niniejszej pracy jest zbadanie struktury oraz własności warstwy wierzchniej stali narzędziowej 32CrMoV12-28 podczas stopowania proszkami węglików NbC za pomocą lasera diodowego i wykazanie, czy laserowa modyfikacja warstwy wierzchniej stali wpływa na poprawę mechanicznych i trybologicznych własności stali. Stopowanie warstw wierzchnich materiałów, nazywanych również laserowym wzbogacaniem to jeden z procesów obróbki cieplnochemicznej. Proces polega na wprowadzeniu do warstwy wierzchniej materiału obrabianego pierwiastków stopowych w czasie topnienia powierzchni. Duża różnica temperatur między zimnym podłożem materiału, a granicą warstwy przetopionej skutkuje szybkim ochłodzeniem ciekłego metalu. Po zakrzepnięciu uzyskiwana jest warstwa o odmiennym składzie chemicznym i właściwościach fizycznych. Głównym celem takiego procesu jest ulepszenie elementów maszyn i urządzeń. Podczas stopowania laserowego korzysta się z średnich wartości gęstości mocy ($104 - 106 \text{ W/cm}^2$) oraz stosunkowo długim czasie oddziaływania wiązki laserowej na powierzchnię materiału. Obróbkę laserową uważa się za bardzo dokładną. Pozwala ona na uzyskanie nowych materiałów o drobnokrystalicznej strukturze, posiadające fazy metastabilne oraz przesycone roztwory stałe. Grubość warstw wynosi od 0.03mm do 3mm, a powierzchnia na którą działa wiązka laserowa jest bliska wymiarom zadanym wcześniej. Technologię uważa się za ekonomiczną. Metoda ta cieszy się dużym zainteresowaniem, ze względu na różnorodność procesów wzbogacania materiałów [1].

Wyniki badań

Próbki hartowane i podwójnie odpuszczane przez czas wynoszący $t_o = 2h$, w temperaturze $T=550^\circ\text{C}$ i $T=510^\circ\text{C}$, posiadały kształt prostopadłościanu, wymiary wynosiły kolejno: $70 \times 25 \times 5 \text{ mm}$. Próbki zostały umieszczone w piecu próżniowym. Temperatura austenitowania wynosiła 1040°C , a czas wygrzewania $t_w=0,5h$. Decydujące temperatury to $T_1 = 585^\circ\text{C}$ i $T_2 = 850^\circ\text{C}$ określone pauzami termicznymi.

Skład fazowy został zbadany na dyfraktometrze rentgenowskim, a twardość została zmierzona za pomocą metody Rockwella, wyniki zostały przedstawione w analizie badań.

Odpowiednio wykonane badania zgodnie z parametrami określonymi w tabeli 3 wraz z dobranymi kolejno mocami lasera wynoszącymi 1,2; 1,6; 2,0 oraz 2,3 kW dostarczają informacji na temat zmian kształtu i głębokości lica przetopienia oraz chropowatości ściegu (rys. 2). Wraz ze wzrostem mocy lasera zmniejsza się wyraźnie chropowatość. Ma to związek z absorpcją energii wiązki laserowej przez materiał, która jest manipulowana dzięki dodaniu proszku ceramicznego NbC. Wzrost absorpcji energii intensyfikuje na warstwie wierzchniej stali proces przetapiania.

Materiał badany jakim jest stal 32CrMoV12-28 w stanie zmiękczonym posiada strukturę ferrytyczną z węglkami jednorodnie rozmieszczonymi w osnowie. W celu uzyskania odpowiedniej hartowności poddano materiał procesowi austenitowania. Podczas niego rozpuszcza się większość węglków stopowych w austenicie.

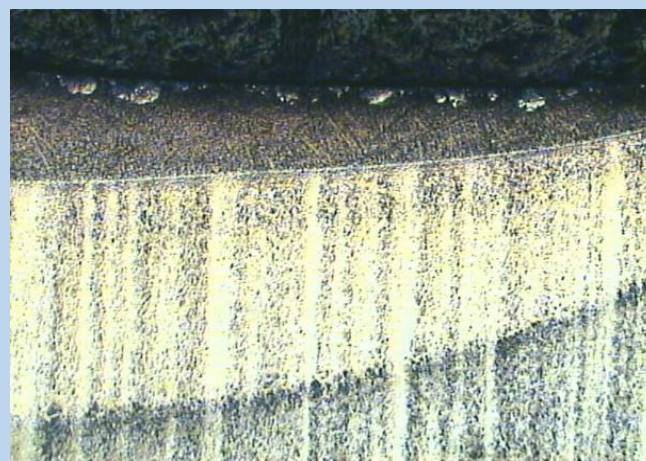
Przekrój próbek po przetopieniu wyraźnie wskazuje na wzrost głębokości przetopienia wraz ze zwiększeniem mocy lasera (rys. 1). Patrząc na zdjęcia można zobaczyć wyraźnie, iż potwierdza to różnica między przetopem wykonanym laserem o mocy 1,2 kW, a przetopem wykonanym laserem o mocy 2,3 kW – głębokość różni się diametralnie, wręcz jest rzędu 100%.

Na podstawie badań metalograficznych przeprowadzonych przy użyciu mikroskopu elektronowego skaningowego można stwierdzić zróżnicowanie struktury materiału krzepnącego po przetopieniu laserowym. Obszary znajdujące się na granicy faz stałej i ciekłej zawierają strukturę o dużych dendrytach wraz z węglkiem niobu NbC – rysunek 1, 2. Wyniki badań na

dyfraktometrze rentgenowskim potwierdzana występowanie węgliku niobu (rys. 3).



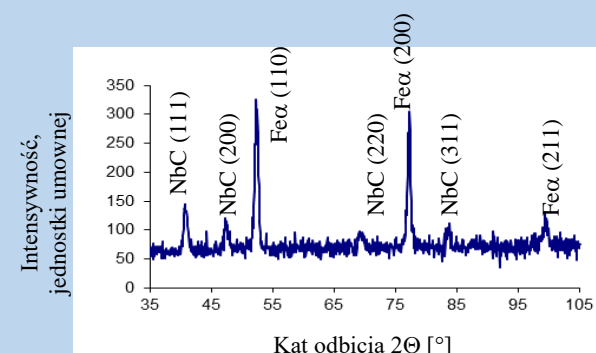
Rys. 1. Kształt i głębokość ściegu przetopienia stali na przekroju poprzecznym próbki, odpowiednio dla a) 1,2 kW; b) 2,3 kW.



Rys. 2. Struktura ściegu przetopienia stali na przekroju poprzecznym próbki stali 32CrMoV12-28 z użyciem cząstek węgliku NbC, strefy w warstwie wierzchniej.

Operując we wcześniej wyznaczonych parametrach oraz w przyjętym zakresie mocy lasera, możliwy do zaobserwowania jest regularny i płaski kształt lica, charakteryzujący się dużą gładkością. Kolejną obserwowalną własnością jest brak występowania podtopień lica. Jeśli natomiast zwiększona zostanie moc lasera, zmniejszona prędkość posuwu wiązki oraz zastosuje się naniesioną wstępną warstwę powłoki węgliku niobu, obserwowalny będzie znaczny wzrost chropowatości i nieregularności lica przetopienia. W warstwie wierzchniej próbek

wytworzonych z badanej stali, korzystając z metod badań metalograficznych, możliwe do zidentyfikowania są dwie strefy, których grubość jest ściśle zależna od zastosowanych parametrów obróbki laserowej. W miejscu skanowania lasera oraz w bezpośrednim sąsiedztwie zauważalna jest strefa przetopiona, natomiast w głąb oraz obok strefy przetopionej znajduje się strefa wpływu ciepła. W strefie przetopionej, gdzie materiał krzepnie, obserwowane są obszary o zróżnicowanej morfologii, związanej z krystalizacją stali. Występuje tam charakterystyczna dla tych obszarów wielokrotna zmiana kierunku wzrostu kryształów. W obszarze znajdującym się na granicy między fazami stałą i ciekłą, występują niewielkie dendryty, których główne osie zorientowane są zgodnie z kierunkami odprowadzania ciepła.



Rys. 3. Dyfraktogram rentgenowski stali stopowanej proszkiem ceramicznym NbC

Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły na stwierdzenie, że w wyniku przetopienia oraz obróbki cieplnej stali narzędziowej 32CrMoV12-28 proszkiem NbC możliwe jest uzyskanie wysokiej jakości warstwy wierzchniej o znacznie wyższej twardości od metalu podłoża bez pęknięć oraz wad. Przeprowadzone stopowanie ze stałą prędkością pozwala także wykazać zmianę własności i struktury stali narzędziowych pod wpływem opisanych parametrów stopowania laserem diodowym dużej mocy HPDL. Głębokość przetopienia wzrasta wraz ze wzrostem mocy lasera, a przetopienie lica jest mniej chropowate oraz bardziej regularne i płaskie. Badania metalograficzne oraz przy użyciu dyfraktometru rentgenowskiego potwierdzają występowanie węgliku niobu w warstwie przetopionej głównie w postaci konglomeratów.

Literatura

1. J. Kusiński, Lasery i Ich Zastosowanie W Inżynierii Materiałowej, Wydawnictwo Naukowe Akapit, 2000.
2. A. Czupryński., A. Rzeźnikiewicz, Specjalne technologie spawalnicze w ćwiczeniach laboratoryjnych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2020.
3. A. Klimpel, Technologie laserowe w spawalnictwie, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2011.
4. A. Kujawski, P. Szczepański, Lasery Podstawy fizyczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1999.
5. H.P. Freund, Principles of Free-electron Lasers, T.M. Antonsen. Springer Science & Business Media, 1996.
6. J. Pilarczyk, Spawalnictwo 2, Wydawnictwo Naukowo-techniczne, Warszawa, 2005
7. L. Li., The advances and characteristics of high-power diode laser materials processing, Optics and Lasers in Engineering, Vol. 34, 231-253, 2000
8. WLW/1.2365/32CRMOV12-28, Akrostał, <https://akrostał.pl/stale/wlv-1-236532cromov12-28/>, 2022.