International Exhibition of Innovation
IEI 2023

# Wpływ doboru parametrów nowoczesnej technologii cięcia laserowego stali na własności technologiczne procesu

Mirosław Bonek, Zbigniew Brytan, Eva Tillova, Krzysztof Gawęda, Kamil Samek, Patrycja Janiak, Jakub Kierepka, Mateusz Paluch, Patryk Cincio

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

## Wprowadzenie

Niniejsza praca zawiera opracowanie danych na temat wpływu laserowej modyfikacji warstwy wierzchniej stali narzędziowych na ich strukturę i własności. Przedstawiony został przegląd literaturowy, który w szczególności skupia się na laserach diodowych HPDL. W części badawczej zawarto własności uzyskiwanych warstw dla próbki wykonanej ze spiekanej stali szybkotnącej PMHSS6-5-3 wraz z ustalonymi parametrami procesu. Wpływ mocy wiązki laserowej rozpatrywano jako bezpośredni czynnik, który agitował na charakterystykę lica.

W dzisiejszych czasach różne dziedziny przemysłu oraz sektory badawcze wykorzystują technologię laserową do coraz bardziej innowacyjnych rozwiązań, m.in. do modyfikacji warstwy wierzchniej materiałów [1]. Przewaga lasera nad innymi technologiami polega na możliwości wprowadzenia odpowiedniej gęstości mocy w ściśle zamierzone miejsce, pozostawając przy tym metodą całkowicie bezstykową [2]. Wykorzystywane jest tutaj zjawisko absorpcji uporządkowanej wiązki fotonów, która wytwarzana jest poprzez oddziaływujący laser. W miejscu jego wpływu na obrabianą powierzchnię, można zaobserwować zachodzące zmiany w strukturze oraz składzie chemicznym, które znacząco różnią się od rezultatów uzyskiwanych podczas konwencjonalnych metod obróbki cieplnej [3-4]. Celem stosowania laserowego przetapiania i stopowania jest tworzenie przesyconych drobnokrystalicznych warstw charakteryzujących się dużym zróżnicowaniem chemicznym i czystością metalurgiczną, co dzięki szybkiej krystalizacji w wyniku krzepnięcia metalu z szybkością $10^6$ °C/s prowadzi do zwiększenia twardości, wytrzymałości i lepszych właściwości tribologicznych [5-6].

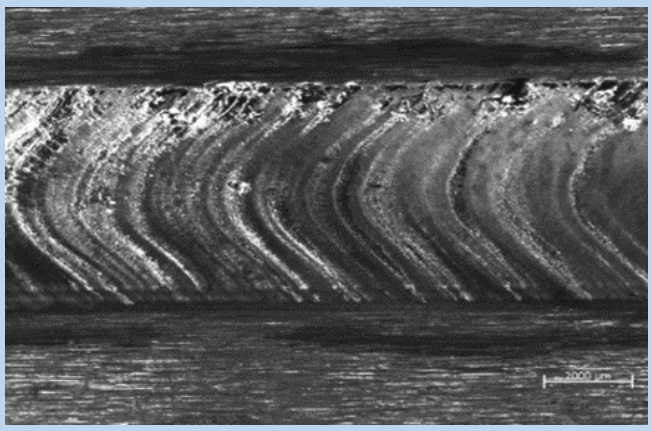
## Wyniki badań

Próbki wykorzystane w badaniu wykonano ze spiekanej stali szybkotnącej nie zawierającej kobaltu PMHSS6-5-3. W Tabeli 1. przedstawiono jej skład chemiczny zgodny z normą PN-EN ISO 4957:2002. Proces spiekania wyżej wymienionej stali odbywał się w założonej temperaturze 1260ºC przez czas 30 minut, w atmosferze gazów ochronnych, stanowiących mieszaninę o składzie $N_2$-10%$H_2$. W celu przeprowadzenia spiekania wykorzystano piec typu rurowego, którego szybkość nagrzewania była równa 5ºC/min. Dodatkowo w czasie nagrzewania wsadu do osiągniecia temperatury spiekania, lepiszcze poddano deradacji termicznej. W celu uzyskania odpowiedniego kształtu próbek (wymiary 10 mm x 10mm x 55 mm) stal PMHSS6-5-3 poddano procesowi obróbki skrawaniem, a następnie w celu przygotowania próbek do stopowania przeprowadzono zabiegi obróbki cieplnej.

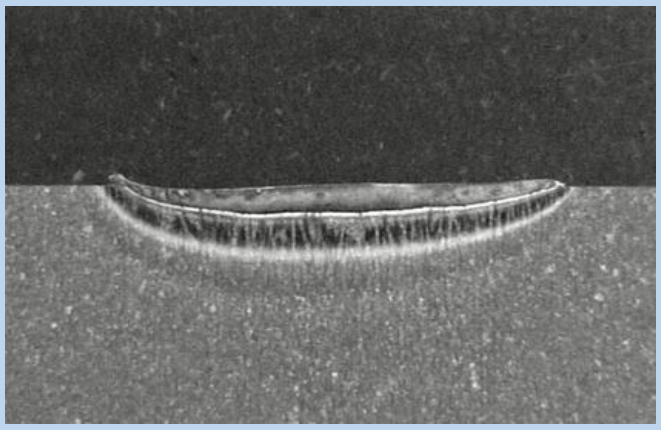
Proces obróbki cieplnej przebiegał dwuetapowo. Pierwszym etapem było przeprowadzenie austenityzacji próbek w kąpielowym piecu solnym. W trakcie stopniowego podgrzewania próbek do temperatury austenityzowania, zastosowano 15 minutowe przystanki izotermiczne w 650°C i 850°C. Sam proces austenityzacji odbywał się w temperaturze 1200°C przez czas 30 minut. Po tym czasie próbki były chłodzone w gorącym oleju. Następnie w piecu komorowym w ochronnej atmosferze argonu przeprowadzono odpuszczanie próbek. Proces odpuszczania wykonywano dwukrotnie, w obu przypadkach przez okres 2 godzin w temperaturze 560°C. Po wykonaniu zabiegów obróbki cieplnej, próbki były poddane piaskowaniu oraz szlifowaniu. W kolejnym kroku wykonano rowki typu „v" o głębokości 0,5 mm oraz odtłuszczono je w celu szczelnego wypełnienia ich proszkiem węglika TiC. Po wykonaniu powyższych czynności przystąpiono do stopowania próbek laserem diodowym dużej mocy HPDL Rofin DL 020.

W celu przeprowadzenia badan metalograficznych próbki należało uprzednio zainkludować. Po wykonaniu wyżej wymienionego procesu próbki były szlifowane, a następnie polerowane. Do obserwacji struktury wytworzonych warstw wierzchnich wykorzystano skaningowy mikroskop elektronowy ZEISS SUPRA 35 o parametrach: napięcie przyspieszające – 20 kV, maksymalne powiększenie – 10000x z wykorzystaniem detekcji elektronów odbitych i wtórnych. W celu zbadania zmian mikrotwardości na przekroju ścieżek laserowych jako funkcji odległości od powierzchni wykorzystano ultramikrotwardościomierz dynamiczny DUH 202. Do pomiarów użyto obciążenia 0,1 N. Badanie mikrotwardości przeprowadzano wzdłuż osi lica ściegu. Odciski wykonywano na przekroju każdej z próbek, odpowiednio do głębokości zmian strukturalnych w warstwie wierzchniej materiału.

Zanim przystąpiono do właściwych badań własności uzyskiwanych warstw konieczne było przeprowadzenie badań wstępnych, pozwalających określić optymalne i stabilne warunki oraz parametry procesu. Pełna osłona obszaru przetopień jest niezbędna dla uzyskania rzetelnych wyników i doświadczalnie określono, że zapewni ją nadmuch argonu o natężeniu przepływu gazu 20 l/min przez dyszę kołową o średnicy 12mm, skierowaną przeciwnie do kierunku przetapiania, co przedstawiono na Rysunku 1. Prędkość posuwu wiązki stanowiła kolejny ważny czynnik. Uzyskano informacje, że maksymalna prędkość, przy której proces będzie przebiegał stabilnie, wynosi 0,5m/s. Czynnikiem, którego wpływ badano, była moc wiązki laserowej, używanej przy pracy z próbkami z powłoką TiC, której wartości są w zakresie 0,7 – 2,1 kW. Po wstępnych próbach zaobserwowano wyraźny wpływ parametrów procesu przetapiania, w szczególności mocy wiązki laserowej na kształt i lica ściegu, w czasie przetapiania i stopowania węglikiem TiC spiekanej stali szybkotnącej PMHSS6-5-3, co przedstawiają rysunki 1 i 2.

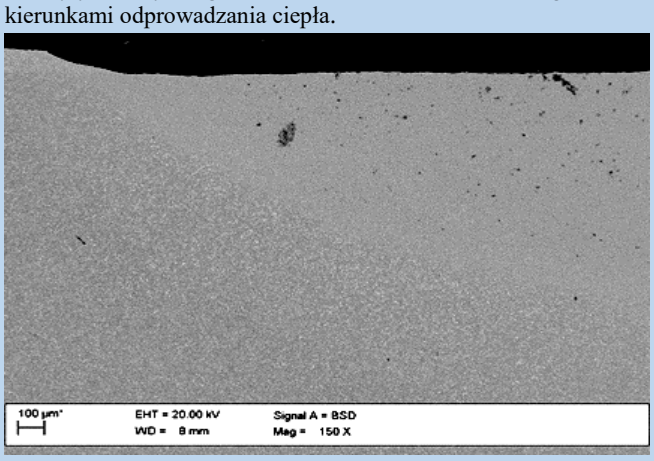


Rys. 1. Lico po stopowaniu stali PMHSS6-5-3 węglikiem tytanu TiC, moc lasera 2,1 kW



Rys. 2. Warstwa wierzchnia stali PMHSS6-5-3 po stopowaniu przy parametrach: prędkość skanowania – 0,5 m/min, moc wiązki – 1,7 kW, proszek TiC

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 węglika tytanu, 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, co zostało przedstawione na Rysunku 3. 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. Warstwa wierzchnia po stopowaniu stali PHSS6-5-3 węglikiem tytanu TiC, moc lasera 2,1 kW.

## Podsumowanie

Skoncentrowana moc wiązki laserowej zrewolucjonizowała przemysł cięcia materiałów. Pozwala ona na cięcie większości materiałów oraz umożliwia cięcie w sposób którego nie da się osiągnąć metodami konwencjonalnymi. Odpowiednio skupiony promień lasera jest w stanie ciąć z dokładnością nawet do mikrometrów co nie jest możliwe w przypadku nawet wysoce zaawansowanych metodach termicznego i mechanicznego cięcia. Termiczne metody cięcia nie są w stanie precyzyjnie skupić energii jak to jest w przypadku wiązki laserowej. W celu dostarczenia odpowiedniej ilości energii, płomień gazowy lub strumień plazmy musi oddziaływać na dużą powierzchnię. Z laserami jest odwrotnie, im mniejszy punkt, tym bardziej jest skupiona wiązka a co za tym idzie przenosi więcej energii.

Wadą systemów laserowych jest ich wysoki koszt inwestycyjny związany z zakupem urządzeń i systemów sterowania mało konkurencyjnych w porównaniu do metod konwencjonalnych.

Systemy laserowe oferują ogromne możliwości w procesach cięcia różnych materiałów których nie oferują nam metody konwencjonalne. Systemu laserowe oferują nam:

- Uzyskanie małych szerokości szczelin przy zachowaniu równych krawędzi,
- Zminimalizowanie SWC,
- Zminimalizowanie odkształceń materiału.

Brak bezpośredniego kontaktu wiązki laserowej z powierzchnią przecinanego materiału pozwala na:

- Całkowite wyeliminowanie odkształceń,
- Bezpieczne cięcie materiałów o dużej twardości,
- Brak konieczności wymiany części roboczych stykających się z materiałem w przypadku cięcia mechanicznego,
- Zminimalizowanie hałasu.

Dodatkowo cięcie wiązką laserową daje dużą kontrolę nad procesem co ma związek z:

- Możliwość cięcia różnych materiałów,
- Szybka zmiana geometrii cięcia,
- Wysoka automatyzacja procesu,
- Możliwość wycinania skomplikowanych kształtów,
- Możliwość cięcia przedmiotów o skomplikowanej geometrii.

## Literatura

[1] Wirth P.: Introduction to industrial laser materials processing. ROFIN Group, Hamburg, 2004
[2] Havrilla D. Anthony P.: Laser cutting process fundamentals and troubleshooting guideline. Rofin-Sinar, Playmouth Mitchigen, 1999
[3] Koebner H.: Industrial aplications od laser. Chichester, New York 1984
[4] Schaeffer R.: Laser cutting of large sheet materials. Welding and metal fabrication 7, 2001
[5] Faerber M.: Laser cutting – current state of the technology development. Przegląd spawalnictwa 06, 2007
[6] BUŁAWA, J. Wpływ składników kosztów eksploatacji lasera na koszt cięcia. Welding Technology Review, 2007, 79.6: 8

International Exhibition of Innovation
IEI 2023