

PORÓWNANIE STRUKTURY I WŁASNOŚCI STALI NARZĘDZIOWEJ DO PRACY NA GORĄCO STOPOWANEJ CZĄSTKAMI TIC I WC

L.A. DOBRZAŃSKI¹, K. LABISZ², E. JONDA³, A. KLIMPEL⁴
^{1,2,3} Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska,
44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18a, Polska
⁴ Katedra Spawalnictwa, Politechnika Śląska,
44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18a, Polska

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań struktury oraz twardości stali narzędziowej do pracy na gorąco 32CrMoV12-28 stopowanej węglikiem wolframu oraz tytanu. Badania przeprowadzono przy użyciu nowoczesnego lasera dużej mocy HPDL. Stwierdzono zmiany struktury polegające na jej rozdrobnieniu, a także wzrost twardości w porównaniu do stali nie obrabianej laserowo. Określono wpływ parametrów obróbki laserowej na strukturę i twardość materiału.

Key words: laser alloying, laser remelting, titanium carbide, tungsten carbide

1. WPROWADZENIE

Stopowanie laserowe umożliwia wytworzenie stopu o charakterze kompozytowym lub gradientowym z udziałem faz międzymetalicznych i jest stosowana w celu poprawy twardości przez wpływ na zmianę struktury oraz poprawę odporności na ścieranie, głównie w wyniku wprowadzenia cząstek węglików do osnowy materiału. Podczas procesu stopowania następuje gwałtowne wymieszanie prowadzące do powstania

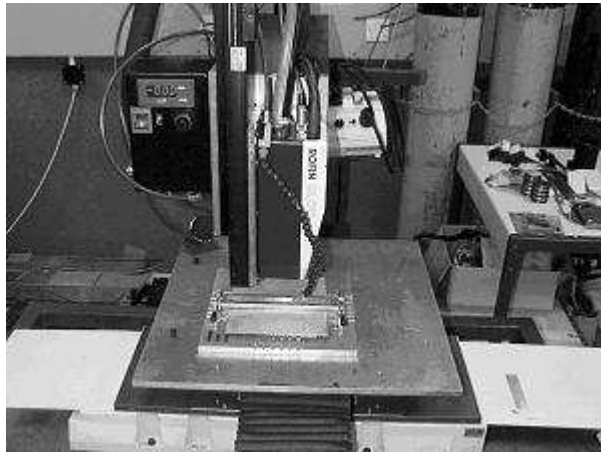
¹ dr h.c. prof. zw. dr hab. inż., leszek.dobrzanski@polsl.pl

² dr inż., krzysztof.labisz@polsl.pl

³ mgr inż., ewa.jonda@polsl.pl

⁴ prof. zw. dr hab. inż., andrzej.klimpel@polsl.pl

warstwy wierzchniej przetopionych materiałów. Na powierzchni próbki tworzy się jezioro laserowe, do którego wprowadzony jest ceramiczny proszek węgla w postaci węgla, tlenku lub azotku. Intensywne mieszanie w strefie przetopionej jest wynikiem naprężeń ścinających powstałych w strefie przetopionej. Proces ten jest bardzo ważny, ponieważ wpływa na końcowy rozkład pierwiastka stopującego w strefie przetopionej. Intensywność ruchów konwekcyjnych, a więc szybkość przemieszczania się cieczy, spowodowana jest również dużym gradientem temperatury, który jest tym większy im większa jest porcja energii dostarczona w jednostce czasu działania wiązki lasera. Umożliwia to wytworzenie stopu o charakterze kompozytowym lub gradientowym z udziałem faz międzymetalicznych [1-8].



Rys. 1. Laser diodowy dużej mocy HPDL Rofin DI 020
Fig. 1. High Power Diode Laser HPDL Rofin DI 020

Dzięki szybkiemu chłodzeniu na skutek odprowadzania ciepła do zimnego podłoża powstaje korzystna, drobnoziarnista struktura, która może wykazywać także morfologię gradientową. Warstwy powierzchniowe uzyskane za pomocą stopowania laserowego mogą mieć własności żaroodporne, antykorozyjne, mogą też odznaczać się dużą odpornością na ścieranie i erozję [9-11].

W pracy przedstawiono wyniki badań struktury oraz twardości stali narzędziowej do pracy na gorąco 32CrMoV12-28 stopowanej węglkiem tytanu i wolframu. Badania przeprowadzono przy użyciu nowoczesnego lasera wysokiej mocy HPDL (High Power Diode Laser) Stwierdzono zmiany struktury polegające w szczególności na jej rozdrobnieniu, a także zmiany mikro twardości w porównaniu do stali nie poddanej przetapianiu a także zmiany twardości w różnych strefach przetopienia.

2. METODYKA BADAŃ

Do badań użyta została stal stopowa do pracy na gorąco 32CrMoV12-28, dostarczona w stanie wyżarzonym, o składzie chemicznym podanym w tabeli 1. Ze stali pobrano próbki w kształcie prostopadłościanów o wymiarach 70 x 25 x 5 mm.

Próbki poddano standardowej obróbce cieplnej polegającej na hartowaniu i dwukrotnym odpuszczaniu. Austenitzowanie przeprowadzono w piecu próżniowym w temperaturze 1040°C, przy czasie wygrzewania 0,5h. Podczas podgrzewania do temperatury austenitzowania zastosowano dwa przystanki izotermiczne, pierwszy w temperaturze 585°C oraz 850°C. Po hartowaniu zastosowano dwukrotne odpuszczanie przez 2 h, w temperaturze 550°C a następne w 510°C. Po obróbce powierzchni próbki poddano szlifowaniu i odtłuszczeniu, następnie na próbki nałożono proszek węgla, zmieszany ze szkłem sodowym w proporcji 30% lepiszcza i 70% proszku. Własności użytych proszków przedstawiono w tabeli 2. Nakładano powłokę w postaci pasty o grubości 0,5 mm. Na podstawie badań wstępnych stopowania z użyciem lasera dużej mocy HPDL Rofin DL 020 (tabela 3) o długości fali promieniowania laserowego 940 nm ustalono, iż maksymalna prędkość, przy której proces przebiega stabilnie wynosi $v = 0,5$ m/min. Zastosowano moc wiązki laserowej w zakresie od 1,2–2,3 kW. Podczas przetapiania zastosowano osłonę w postaci nadmuchu argonu o natężeniu przepływu gazu 20 l/min przez dyszę skierowaną przeciwnie do kierunku przetapiania.

Tabela 1. Skład chemiczny badanej stali narzędziowej do pracy na gorąco
Table 1. Chemical composition of the investigated hot work tool steel

Stężenie masowe pierwiastków w stali, %								
Gatunek stali	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
32CrMoV12-28	0,308	0,25	0,37	0,020	0,002	2,95	2,70	5,35

Tabela 2. Własności proszków węgla wolframu i tytanu TiC i WC
Table 2. Properties of Titanium Carbide and Tungsten Carbide powder TiC and WC

Proszek	Gradacja, μm	Temp. Topnienia, $^{\circ}\text{C}$	Gęstość, g/cm^3	Struktura
TiC	5	3140	4,25	regularna
WC	5	2870	15,6	regularna

Tabela 3. Dane techniczne lasera HPDL Rofin DL 020
Table 3. HPDL laser parameter

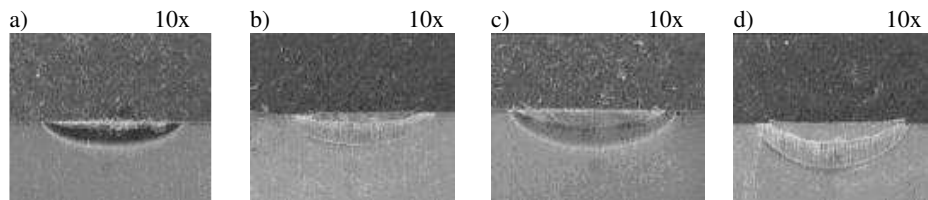
Parametr	Wartość
Długość fali promieniowania laserowego, nm	940 \pm 5
Zakres płynnej regulacji mocy, W	100 + 2300
Długość ogniska wiązki laserowej mm	82 /32

Obserwacje struktury wykonano za pomocą mikroskopu optycznego Leica MEF4A firmy Zeiss w zakresie powiększeń 50 - 500x. Zdjęcia struktur wykonano za pomocą oprogramowania KS 300 przy użyciu kamery cyfrowej. Obserwacje wykonano prostopadle do płaszczyzny próbki na jej przekroju odpowiednio na każdym przetopionym ściegu. Obserwacje metalograficzne przeprowadzono także na mikroskopie skaningowym DSM 940 firmy OPTON w zakresie powiększeń 500–2000x. Pomiary twardości przeprowadzono dla każdej mocy lasera, mierząc twardość stopowanej laserowo warstwy wierzchniej. W tym celu posłużono się metodą pomiaru twardości Rockwella według zaleceń normy PN-EN ISO 6507-1. Do badania wykorzystano twardościomierz firmy ZWICK.

3. WYNIKI BADAŃ

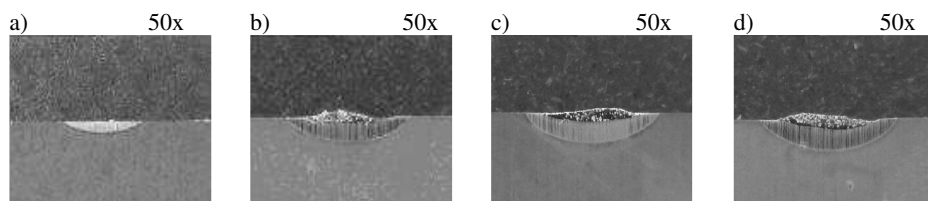
Badana stal wykazuje w stanie zmięczonym strukturę ferrytyczną z węglkami jednorodnie rozmieszczonymi w osnowie. Przewidzianą hartowność tych stali uzyskano przy odpowiednio długim czasie austenizowania, który zapewnia rozpuszczenie się większości węglików stopowych w austenicie.

Zauważono, że głębokość przetopienia wzrasta wraz ze zwiększeniem mocy lasera, co potwierdzają wyniki przedstawione na rys. 2 i 3. Różnica głębokości przetopienia pomiędzy mocą 1,2 kW (rys. 2a oraz 3a) a 2,3 kW (rys. 2d oraz 3d) wynosi ok. 100 % w przypadku proszku TiC i ok. 120% dla proszku WC.



Rys. 2. Kształt i głębokość ściegu przetopienia stali na przekroju poprzecznym próbki stali stopowanej proszkiem TiC o mocy a) 1,2 kW b) 1,6 kW, c) 2,0 kW, d) 2,3 kW.

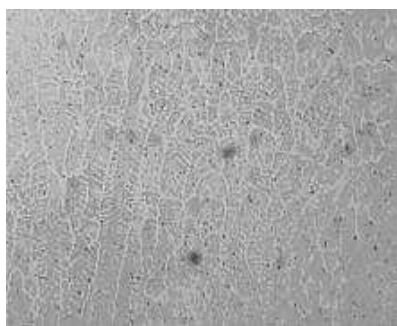
Fig. 2. Shape and thickness of cross-section of the laser remelted samples with TiC powder with laser by power of a) 1,2 kW b) 1,6 kW, c) 2,0 kW, d) 2,3 kW.



Rys. 3. Kształt i głębokość ściegu przetopienia stali na przekroju poprzecznym próbki stali stopowanej proszkiem WC o mocy a) 1,2 kW b) 1,6 kW, c) 2,0 kW, d) 2,3 kW.

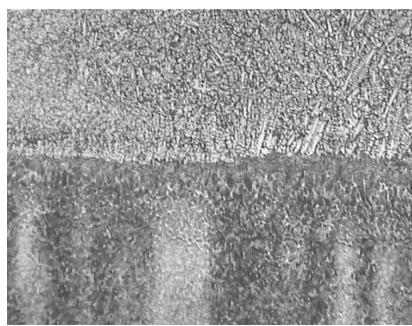
Fig. 3. Shape and thickness of cross-section of the laser remelted samples with WC powder with laser by power of a) 1,2 kW b) 1,6 kW, c) 2,0 kW, d) 2,3 kW.

Badania metalograficzne na mikroskopie elektronowym skaningowym potwierdzają, że struktura materiału krzepnącego po przetopieniu laserowym jest zróżnicowana. Struktura jest zależna od szybkości. W obszarach, które znajdują się na granicy fazy stałej i ciekłej stwierdzono występowanie struktury o dużych dendrytach rys. 4 do 7, zwiększających się wraz ze wzrostem mocy lasera, struktury SEM nie potwierdzają występowania cząstek proszku węgliku tytanu w osnowie [rys. 9a i 9b]. W tabeli 4 przedstawiono wyniki badań twardości warstwy wierzchniej badanych stali po przetopieniu laserem dużej mocy HPDL z użyciem węglików TiC i WC.



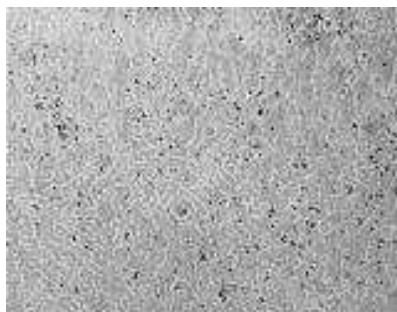
Rys. 4. Struktura ściegu przetopienia stali na przekroju poprzecznym próbki z użyciem cząstek węgliku TiC, moc lasera 1,2 kW, 500x

Fig. 4. Microstructure of the steel remelted with TiC powder with laser power 1,2 kW, 500x



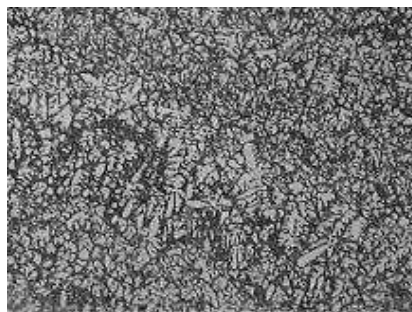
Rys. 5. Struktura ściegu przetopienia stali na przekroju poprzecznym próbki z użyciem cząstek węgliku TiC, moc lasera 1,6 kW, 200x

Fig. 5. Microstructure of the steel remelted with TiC powder with laser power 1,6 kW, 200x



Rys. 6. Struktura ściegu przetopienia stali na przekroju poprzecznym próbki z użyciem cząstek węgliku TiC, moc lasera 2,0 kW, 500x

Fig. 6. Microstructure of the steel remelted with TiC powder with laser power 2,0 kW, 500x

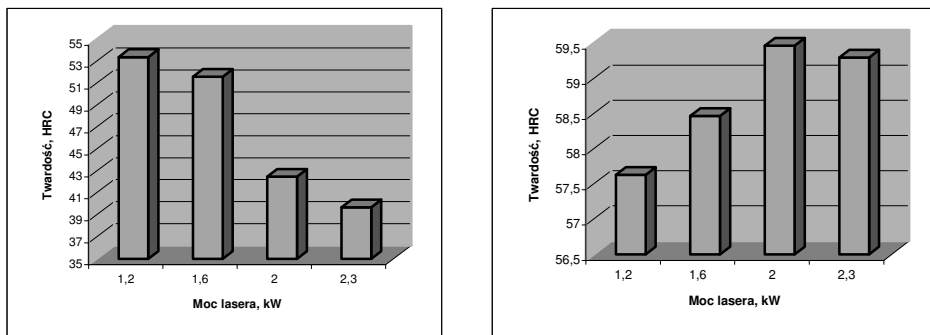


Rys. 7. Struktura ściegu przetopienia stali na przekroju poprzecznym próbki z użyciem cząstek węgliku TiC, moc lasera 2,3 kW, 500x

Fig. 7. Microstructure of the steel remelted with TiC powder with laser power 2,3 kW, 500x

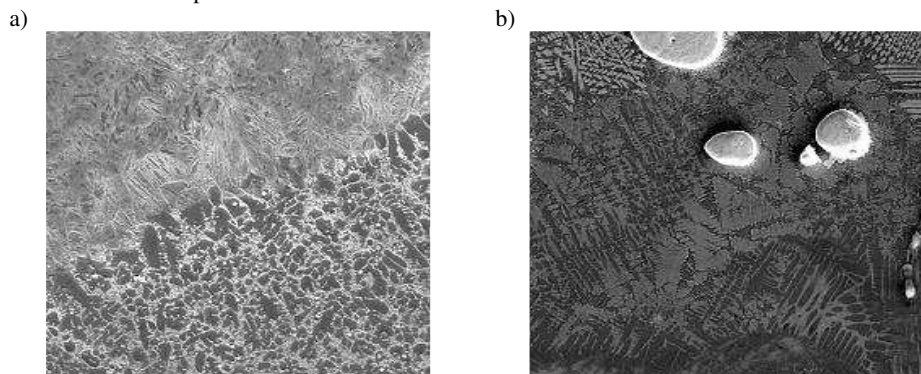
Twardość warstwy wierzchniej (rys. 8.) dla proszku węgla wolframu wzrasta wraz z mocą lasera i wynosi 60 HRC dla mocy 2,3 kW oraz 55 HRC dla mocy 1,2 kW i jest większa od twardości uzyskanej po standardowej obróbce cieplnej wynoszącej 46 HRC. W przypadku stopowania proszkiem węgla tytanu twardość warstwy wierzchniej maleje wraz ze wzrostem mocy lasera i wynosi 51 HRC dla mocy 1,2 kW i 38HRC dla mocy 2,3 kW.

Badania składu chemicznego metodą punktowej analizy EDS potwierdzają występowanie wtopionych cząstek WC w postaci dużych konglomeratów (rys. 10b), nie potwierdzają jednak występowania cząstek proszku TiC. Dodatkowo stwierdzono, iż w przypadku stali stopowanych proszkiem TiC tytan występuje tylko w osnowie stali, nie tworzy natomiast większych cząstek, jak w przypadku węgla wolframu (rys. 8a).



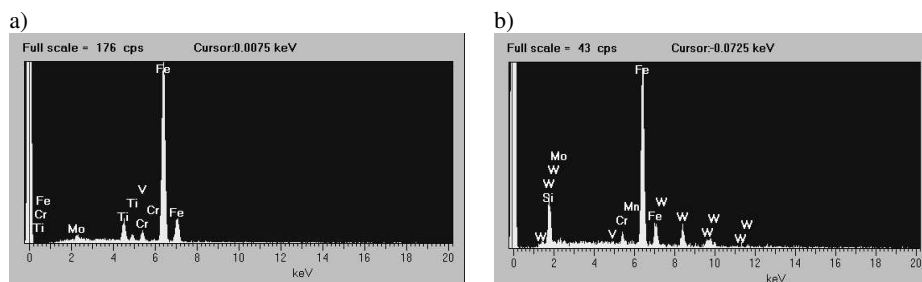
Rys. 8. Wyniki pomiarów twardości dla mocy 1,2, 1,6, 2,0 i 2,3 kW

Fig. 8. Hardness measurements results of the remelted surface for 1.2, 1.6, 2.0 and 2.3 kW laser power



Rys. 9. Struktura stali 32CrMoV12-28 stopowanej proszkiem TiC a) i WC b)

Fig. 9. SEM Microstructure of the of the 32CrMoV12-28 steel remelted with TiC powder a) and WC powder b)



Rys. 10. Mikroanaliza EDX a) stali stopowanej proszkiem węgla tytanu, b) węgla wolframu, konglomeraty
 Fig. 10. EDX point analysis of a) Titanium Carbide conglomerates b) Tungsten Carbide conglomerates

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania pozwoliły na stwierdzenie, że w wyniku obróbki cieplnej oraz przetopienia stali narzędziowej 32CrMoV12-28 proszkami TiC oraz WC możliwe jest uzyskanie wysokiej jakości warstwy wierzchniej bez pęknięć i wad oraz twardości znacznie wyższej – w przypadku proszku węgla wolframu – od metalu podłoża po przeprowadzonej wyłącznie standardowej obróbce cieplnej – hartowaniu i odpuszczaniu. W przypadku stali stopowanej mocą 2,3 kW twardość warstwy wierzchniej wyniosła 60 HRC (proszek WC). Przeprowadzone stopowanie ze stałą prędkością wynoszącą 215 mm/min pozwala także wykazać wpływ parametrów stopowania, w tym mocy lasera oraz szybkości stopowania, laserem diodowym dużej mocy HPDL, na własności i strukturę stali narzędziowych. Wraz ze wzrostem mocy lasera, głębokość przetopienia wzrasta a także wraz ze wzrostem mocy lasera przetopienie lica jest bardziej regularne, mniej chropowate i bardziej płaskie. Badania metalograficzne na mikroskopie świetlnym i skaningowym potwierdzają występowanie węgla wolframu w strukturze warstwy wierzchniej, nie potwierdzają jednak występowania cząstek węgla tytanu. Obecność wolframu stwierdzono w warstwie przetopionej głównie w postaci konglomeratów. W strefie przetopionej występuje struktura dendrytycznej, o kierunku wzrostu dendrytów zgodnym z kierunkiem odprowadzania ciepła podczas chodzenia, zarówno w stali stopowanej proszkiem TiC jak i WC.

PODZIĘKOWANIA

Praca została częściowo wykonana w ramach projektu zamawianego PBZ-100/4/T08/2004 kierowanego przez Prof. L.A. Dobrzańskiego.

LIERATURA

- [1] L.A. Dobrzański, M. Bonek, A. Klimpel, A. Lisiecki: *Stopowanie węglikiem wolframu stali WCLV przy użyciu lasera diodowego dużej mocy HPDL*, Gliwice, 2002.
- [2] L.A. Dobrzański, M. Bonek, A. Klimpel, A. Lisiecki: *Stopowanie węglikiem wolframu stali WCLV przy użyciu lasera diodowego dużej mocy HPDL*, Gliwice, 2002.
- [3] A.Klimpel: *Lasery diodowe dużej mocy w spawalnictwie*. Przegląd spawalnictwa nr 8, Warszawa, 1999.
- [4] K. Dae-Hwan, H. Seong-Hyeon, K. Byoung-Kee: *Fabrication of ultrafine TaC powders by mechano-chemical process*, Materials Letters, 2004.
- [5] F.F.P. Medeiros, A.G.P. Da Silva, C.P. De Souza: *Synthesis of niobium carbide at low temperature and its use in hardmetal*, Powder Technology, 2002.
- [6] X. Changqing, J. Zhanpeng: *Interfacial reactions in an explosively-welded tantalum clad steel plate*, Surface and Coatings Technology, 2000.
- [7] A. Klimpel: *Napawanie i natryskiwanie cieplne*, WNT Warszawa, 1999.
- [8] J. Pieniążek, J.S. Skrzypek, W. Ratuszek, F. Biczuk: *Laserowe przetapianie proszków zawierających stopowe związki międzymetaliczne Typu Fe-Al-Me, XXXII Szkoła Inżynierii Materiałowej*, Krynica-Kraków, 2004.
- [9] L.J. Yang: *Wear coefficient of tungsten carbide against hot-work tool steel disc with two different pin settings*, Science Direct, 2004.
- [10] T. Hironobu: *Fatigue behavior and fractography of laser-processed hot work tool steel*, Science Direct, 2004.
- [11] J. Sjöström, J. Bergström: *Thermal fatigue testing of chromium martensitic hot-work tool steel after different austenitizing treatments*, Journal of Materials Processing Technology, 2004.

COMARISON OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE HOT WORK TOOL STEEL USING TIC AND WC POWDERS

SUMMARY

The laser treatment as a part of the new generation techniques applied in metal surface technology is discussed in this paper. Laser treatment is presented with remelting of hot work tool steel 32CrMoV12-28 with ceramic powders, especially TiC Titanium Carbide and WC Tungsten Carbide. The structure investigation, and improvement of mechanical properties, is the practical aim of this work, as well as improvement of hardness as a very important property for practical use.

Recenzował: prof. Jan Szajnar.