

Przetapianie laserem diodowym powierzchni żeliwa chromowego

High chromium cast iron diode laser surface melting

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań procesu przetapiania laserowego powierzchni odlewów z żeliwa chromowego Z1Cr25V. Próby przetapiania wykonano z użyciem lasera diodowego dużej mocy (HPDDL) o prostokątnym ognisku wiązki laserowej i równomiernym rozkładzie gęstości mocy w jednej osi ogniska (top-hat profile). Określono wpływ parametrów procesu na wymiary, mikrostrukturę oraz twardość strefy przetopionej. Badania metalograficzne ściegów przetopień wykonano na mikroskopie świetlnym oraz na skaningowym mikroskopie elektronowym.

Słowa kluczowe: przetapianie laserowe; żeliwo chromowe

Abstract

The article presents examinations of the microstructure and hardness of the surface melted layer produced on Z1Cr25V high chromium cast iron substrate. The laser surface melting process was carried out using high power diode laser (HPDDL) with rectangular laser beam focus and uniform power density distribution in one axis of the beam focus (top-hat profile). During research the influence of laser processing conditions on the geometrical parameters of fusion zone, microstructure and hardness was investigated. The metallographic tests were made using optical microscope and scanning electron microscope.

Keywords: laser surface melting; high chromium cast iron

Wprowadzenie

Żeliwa chromowe są stopami charakteryzującymi się znaczną odpornością na zużycie ścierne. Stosowane są więc one na te elementy maszyn, które nie wymagają wysokich własności wytrzymałościowych, natomiast pracujące w warunkach intensywnego zużycia ściernego. Wysoka odporność na ścieranie żeliw chromowych wynika z ich struktury składającej się z osnowy, w której występuje znaczna ilość węglików M_7C_3 . Struktura ta charakteryzuje się zatem wysoką twardością oraz, co za tym idzie, również kruchością. Wysoka kruchość dotyczy szczególnie stopów nadeutektycznych, stąd w praktyce przemysłowej w głównej mierze stosowane są żeliwa podeutektyczne oraz eutektyczne [1÷5].

Regulując strukturę materiałów można wpływać na ich własności. W sposób szczególny na poprawę własności mechanicznych oraz plastycznych wpływ ma rozdrobnienie ziarna. Na wielkość ziarna wpływać można poprzez odpowiednie projektowanie procesu produkcyjnego (warunki krystalizacji, szybkość chłodzenia, zastosowana obróbka cieplna i plastyczna). W przypadku materiałów narażonych na zużycie ścierne korzystniejszym od obróbki całego elementu jest zastosowanie metod obróbki powierzchni. Jedną z nich jest przetapianie laserowe, które dzięki możliwości sterowania mocą wiązki i prędkością obróbki pozwala na uzyskanie wymaganej struktury oraz własności warstwy powierzchniowej. Ponadto technologie laserowe umożliwiają wykonanie warstw wierzchnich o unikalnych własnościach

dzięki stosowanej wysokiej prędkości procesu oraz z wysoką precyzją (również niewielkich obszarów) [6÷8].

Materiał i metodyka badań

Celem pracy było zbadanie struktury i własności powierzchni odlewu z żeliwa chromowego Z1Cr25V, o składzie chemicznym przedstawionym w tablicy I, po przetapianiu laserowym. Próby przetapiania powierzchniowego wykonano na zautomatyzowanym stanowisku badawczym wyposażonym w laser diodowy dużej mocy z bezpośrednią transmisją wiązki na obrabianą powierzchnię HPDL Rofin Sinar DL 020 (tabl. II) oraz sterowany numerycznie układ pozycjonowania głowicy laserowej i przetapianego podłoża. Wiązkę lasera HPDDL, o prostokątnym ognisku i równomiernym rozkładzie gęstości mocy w jednej osi ogniska (top-hat profile) ogniskowano na górnej powierzchni próbek. Parametry poszczególnych prób przedstawiono w tablicy III.

W celu określenia wpływu parametrów procesu przetapiania laserowego analizowanego żeliwa chromowego, przeprowadzono szereg badań. Obejmowały one obserwacje makroskopowe i pomiar parametrów geometrycznych ściegów, obserwacje mikroskopowe struktury na skaningowym mikroskopie elektronowym, analizę składu chemicznego EDS oraz pomiar mikrotwardości Vickersa.

Mgr inż. Aleksandra Kotarska, dr inż. Damian Janicki – Politechnika Śląska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: aleksandra.kotarska@polsl.pl

Tablica I. Skład chemiczny żeliwa chromowego ZICr25V
Table I. ZICr25V high chromium cast iron chemical composition

C	Cr	Si	Mn	Ni	Nb	V	Zr	P	S
3,0%	24,7%	1,04%	1,04%	0,2%	0,12%	0,22%	0,35%	0,026%	0,023%

Tablica II. Parametry techniczne lasera diodowego HPDDL DL 020 firmy Rofin Sinar

Table II. Technical parameters of diode laser HPDDL DL 020, Rofin Sinar

Znamionowa moc wyjściowa (promieniowanie ciągłe) – [W]	2200
Regulacja mocy wyjściowej – [W]	100÷2200
Długość fali promieniowania – [nm]	808÷950
Wymiary ogniska wiązki laserowej – [mm]	1,8 x 6,8/1,8 x 3,8
Długość ogniskowa wiązki laserowej – [mm]	82/32
Zakres gęstości mocy w płaszczyźnie ogniska wiązki laserowej – [kW/cm ²]	0,8÷32,3

Tablica III. Parametry prób przetapiania laserowego żeliwa chromowego ZICr25V

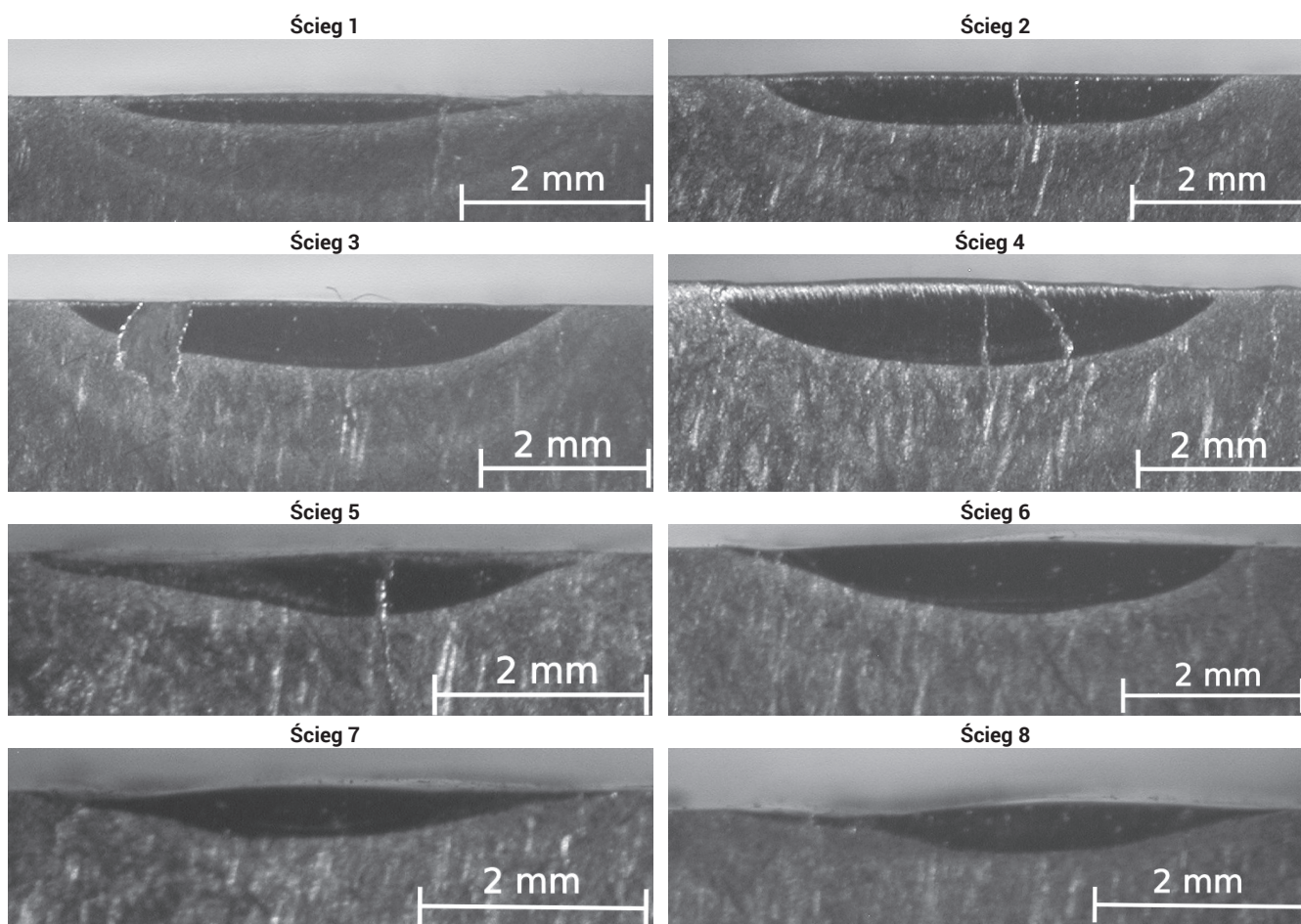
Table III. ZICr25V high chromium cast iron laser surface melting process parameters

Nr	Moc lasera [W]	Prędkość obróbki [m/min]	Energia liniowa [kJ/m]
1	1000	0,2	300
2	1200	0,2	360
3	1600	0,2	480
4	2000	0,2	600
5	1000	0,1	600
6	1600	0,3	320
7	1600	0,4	240
8	1600	0,5	192

Wyniki badań

Na rysunku 1 przedstawiono widok przekrojów poprzecznych ściegów. Z uwagi na wysoką twardość i kruchość badanego żeliwa chromowego, w czasie procesu przetapiania, który odbywał się bez podgrzania wstępnego, doszło do powstania licznych pęknięć w obszarze przetopienia. Jest to również wynikiem dużych szybkości krystalizacji i chłodzenia w jeziorzku ciekłego metalu. W tablicy IV zestawiono wyniki pomiarów

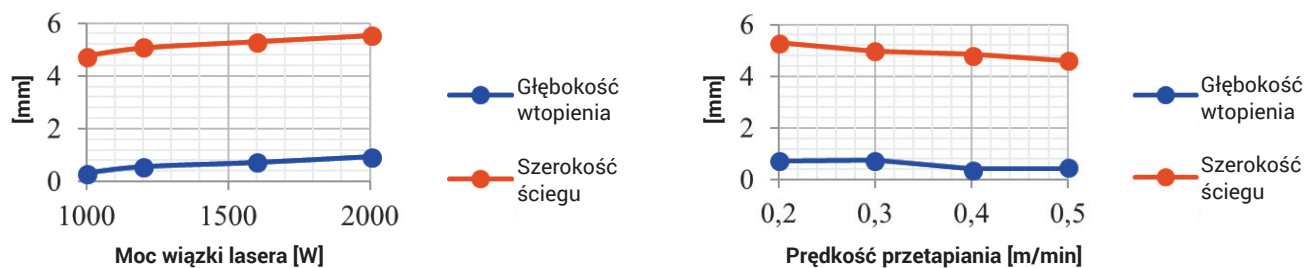
głębokości wtopienia i szerokości ściegów przy poszczególnych parametrach. Widoczna jest zależność geometrii ściegów od zastosowanych parametrów procesu przetapiania (rys. 2). Wraz ze wzrostem mocy wiązki lasera, przy stałej prędkości obróbki, wzrasta głębokość wtopienia oraz szerokość ściegu. Natomiast wraz ze wzrostem prędkości przetapiania zarówno głębokość wtopienia jak i szerokość ściegu maleją.



Rys. 1. Widok przekrojów poprzecznych przetopionych ściegów
Fig. 1. Cross-sections of melted beads

Tablica IV. Wyniki pomiarów głębokości wtopienia
Table IV Penetration depth measurements results

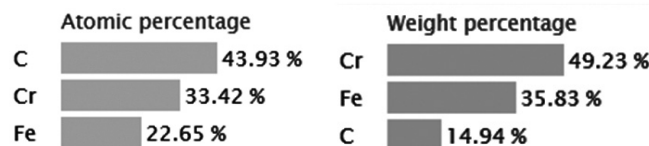
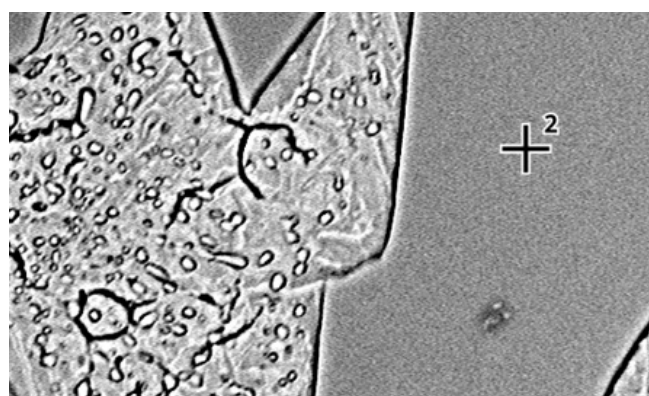
Numer ściegu	1	2	3	4	5	6	7	8
Głębokość wtopienia [mm]	0,32	0,56	0,72	0,94	0,57	0,75	0,41	0,43
Szerokość ściegu [mm]	4,76	5,06	5,3	5,53	4,8	4,96	4,86	4,6



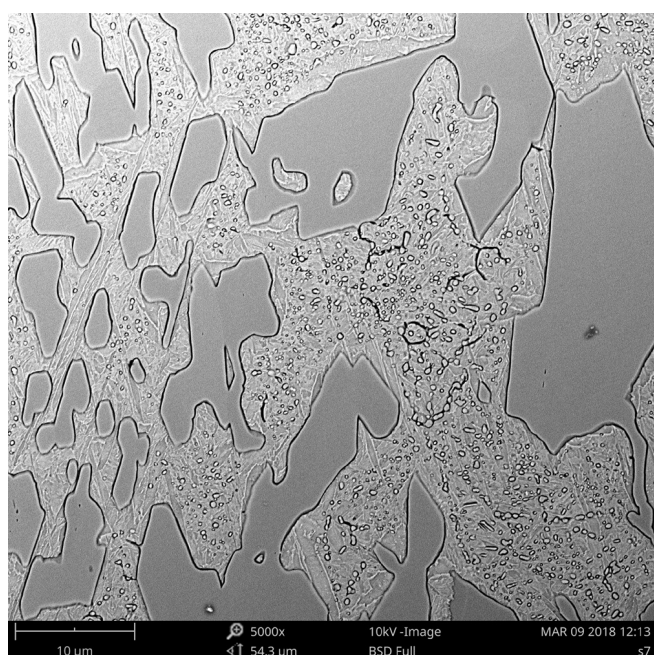
Rys. 2. Zależność parametrów geometrycznych ściegów od parametrów procesu laserowego przetapiania
Fig. 2. The dependence of geometrical parameters of beads on the parameters of the laser surface melting process

Żeliwo chromowe ZlCr25V (rys. 3) jest żelazem okołoeutektycznym. Mikrostruktura składa się z węglików chromu (rys. 4) rozmieszczonych w osnowie austenityczno-martensytycznej. Poza węglkami eutektycznymi wydzielonymi w procesie krystalizacji, widoczne są również niewielkie węgliki wtórne, na co wskazuje wynik powierzchniowej analizy EDS (rys. 5). Na analizowanej powierzchni materiału rodzimego, udział węglików w osnowie wynosi 52,89%.

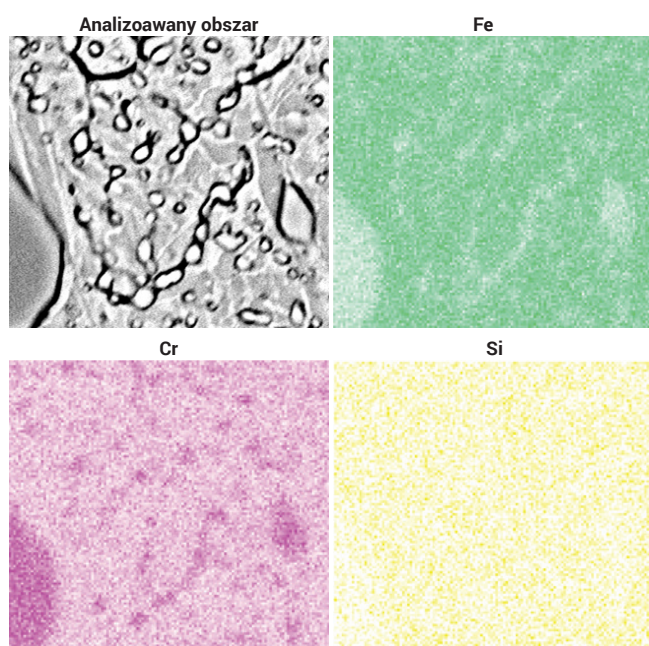
Mikrostruktura powierzchni żeliwa chromowego (rys. 6) po procesie przetapiania laserowego uległa znacznemu rozdrobnieniu, ze względu na uzyskaną znacznie większą prędkość krystalizacji i chłodzenia niż w przypadku procesu technologicznego wytwarzania żeliwa chromowego. W strukturze ściegu przetopionego wydzielone są węgliki chromu w osnowie austenitycznej, przy czym węgliki te cechują się znacznym rozdrobnieniem w stosunku do występujących w materiale podstawowym. Występują one w formie komórek eutektycznych. W obszarze przetopienia w pobliżu linii wtopienia (rys. 7a) zauważalne są znacznej wielkości węgliki chromu, będące nadtopionymi węglkami materiału podstawowego, które zostały wchłonięte do jeziora ciekłego metalu



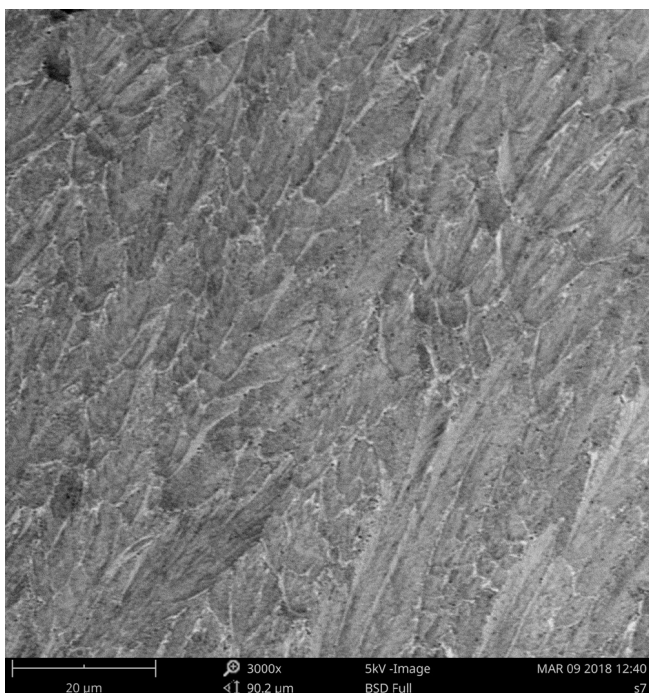
Rys. 4. Wynik punktowej analizy EDS
Fig. 4. Spot EDS analysis result



Rys. 3. Widok przekrojów poprzecznych przetopionych ściegów
Fig. 3. ZlCr25V high chromium cast iron microstructure



Rys. 5. Wyniki analizy powierzchniowej EDS
Fig. 5. Surface EDS analysis results



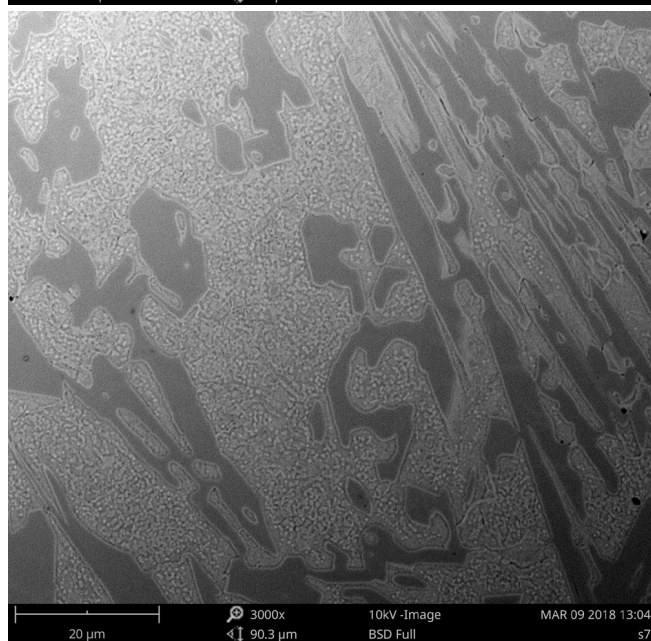
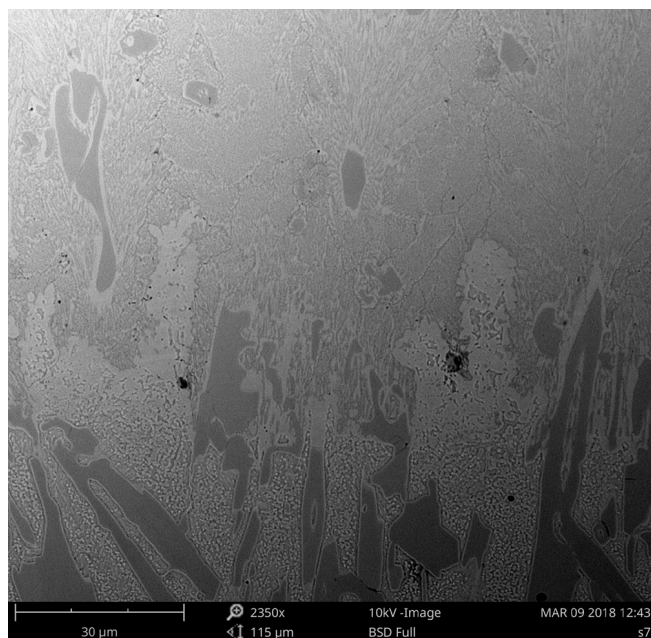
Rys. 6. Mikrostruktura powierzchni przetopionego laserowo żeliwa chromowego

Fig. 6. Laser surface melted high chromium cast iron surface microstructure

w procesie przetapiania ze względu na występujące w czasie procesu ruchy konwekcyjne. Ze względu na wysoką dynamikę procesu oraz ich wysoką temperaturę topnienia, nie doszło jednak do ich rozpuszczenia i ponownego wydzielenia w czasie chłodzenia. Linia wtopienia powstała po procesie laserowego przetapiania cechuje się znaczną nieregularnością.

W strefie wpływu ciepła (rys. 7b), podobnie jak w materiale podstawowym, struktura składa się z osnowy i wydzielań węglkowych. W pobliżu linii wtopienia doszło w tym obszarze do rozpuszczenia węglków wtórnych w osnowie. Udział węglków na analizowanej powierzchni w strefie wpływu ciepła wynosi 59,96%.

W tabelicy V przedstawiono wyniki pomiarów mikro-twardości Vickersa HV0,2 w osi ściegów i SWC oraz materiału podstawowego. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów mikro-twardości wszystkich wykonanych ściegów można stwierdzić, że proces przetapiania powierzchni wpływa na podwyższenie jej twardości. Analizując rozkład



Rys. 7. Mikrostruktura strefy wpływu ciepła przetapianego żeliwa chromowego

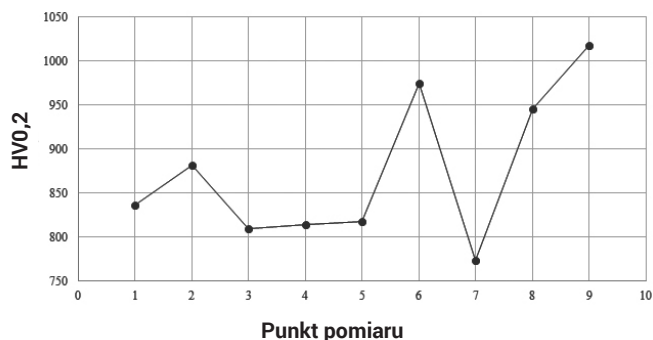
Fig. 7. Heat affected zone of laser surface melted high chromium cast iron microstructure

Tablica V. Wyniki pomiarów mikro-twardości Vickersa

Table V. Vickers microhardness results

Numer pomiaru		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Przetopienie					SWC			
Ścieg 1	Mikrotwardość HV0,2	840	829	759	799	829	738	842	712	677
Ścieg 2		739	823	865	870	846	752	788	854	791
Ścieg 3		836	882	810	814	818	975	773	946	1018
Ścieg 4		845	856	960	926	870	805	871	876	921
Ścieg 5		677	717	734	782	790	783	742	804	849
Ścieg 6		790	792	855	877	794	783	742	804	849
Ścieg 7		858	810	872	824	877	941	928	738	746
Ścieg 8		858	902	809	850	933	907	878	845	744
Materiał rodzimy		764	783	739	782	788		Średnia	771,2	

mikrotwardości w osi ściegu (rys. 8), widoczna jest większa równomierność wyników w obszarze przetopienia w porównaniu do SWC. Jest to spowodowane faktem występowania w warstwie wierzchniej struktury o większym rozdrobieniu

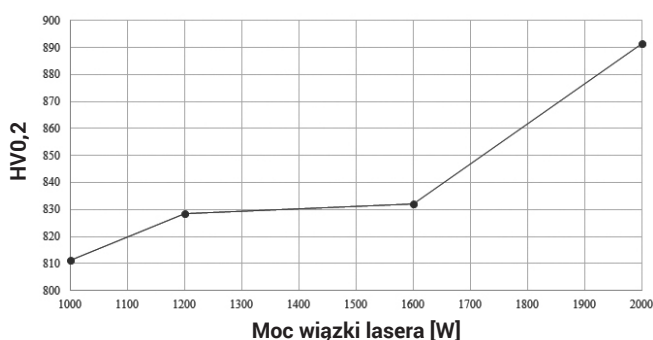


Rys. 8. Rozkład twardości na przekroju poprzecznym ściegu 3 po przetopieniu laserowym

Fig. 8. Laser surface melted bead 3 cross-section microhardness distribution

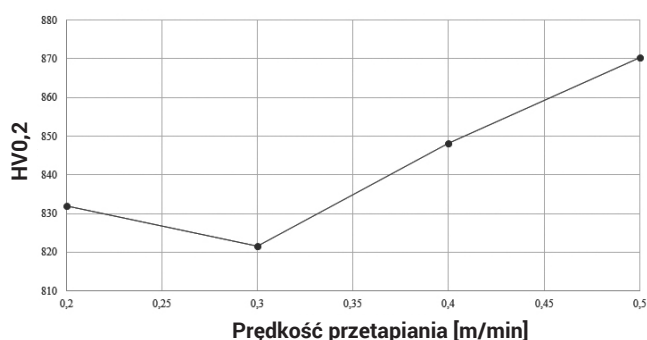
niż w przypadku SWC i materiału podstawowego, w których węgliki mają znacznie większe rozmiary.

Zastosowane parametry przetapiania laserowego bezpośrednio przekładają się na średnią twardość warstwy wierzchniej (rys. 9). Zwiększając moc wiązki lasera, przy stałej prędkości przetapiania, dochodzi do zwiększenia twardości powierzchni. Podobnie, przy stałej mocy wiązki lasera, w przypadku zwiększania prędkości obróbki, dochodzi do wzrostu twardości warstwy przetapianej. Jest to spowodowane uzyskaniem wyższych szybkości krystalizacji i chłodzenia, co ma wpływ na uzyskaną wielkość rozdrobienia struktury. Podczas doboru parametrów dających tą samą energię liniową widoczna jest znaczna różnica w uzyskanej twardości powierzchni. W przypadku zastosowania większej mocy wiązki lasera oraz większej szybkości obróbki, uzyskano średnią twardość warstwy przetapianej o 150 HV wyższą niż w przypadku niższych wartości mocy wiązki i prędkości obróbki. Twardość powierzchni wpływa na odporność materiału na zużycie ściernie. Badania dotyczące odporności na ściernie żeliwa chromowego po przetopieniu laserowym będą kontynuowane, a ich wynik przedstawiony w osobnym artykule.



Rys. 9. Zależność mikrotwardości ściegów od parametrów procesu laserowego przetapiania

Fig. 9. The dependence of surface microhardness on the parameters of the laser surface melting process



Podsumowanie

Proces laserowego przetapiania powierzchni żeliwa chromowego wpływa korzystnie na podwyższenie twardości warstwy wierzchniej. Poprawa własności w tym obszarze związana jest z uzyskaniem bardziej drobnoziarnistej struktury w porównaniu do materiału podstawowego, co jest skutkiem uzyskania większych szybkości chłodzenia. Parametry obróbki laserowej mają bezpośredni wpływ na uzyskaną twardość warstwy wierzchniej oraz na jej geometrię. Przy stałej prędkości przetapiania, wraz ze wzrostem mocy wiązki lasera dochodzi do wzrostu głębokości wtopienia, szerokości ściegu oraz twardości warstwy wierzchniej. Zwiększając prędkość obróbki przy stałej mocy wiązki lasera, twardość warstwy wierzchniej również rośnie, natomiast głębokość wtopienia oraz szerokość ściegu maleją.

Literatura

- [1] Kilarski J.: Wpływ C, Cr i innych pierwiastków na strukturę i twardość żeliw chromowych, *Solidification of Metals and Alloys*, No. 34, 1997.
- [2] Studnicki A., Kilarski J., Przybył M., Suchoń J.: Eksperymenty technologiczne wytwarzania odlewów z żeliwa chromowego w warunkach odlewni przemysłowej, *Archives of Foundry*, Volume 5, Book 17, 2005.
- [3] Studnicki A.: Rola wybranych modyfikatorów w krystalizacji żeliwa chromowego odpornego na zużycie ściernie, *Wydawnictwo Komisji Odlewnictwa PAN, Katowice-Gliwice*, 2013.
- [4] Kagawa A., Okamoto T., Saito K., Ohta M.: Hot hardness of (Fe,Cr)₃C and (Fe,Cr)₇C₃ carbides, *Journal of materials science* 19, pp. 2546-2554, 1984.
- [5] Wang S., Song L., Qiao Y., Wang M.: Effect of Carbide Orientation on Impact-Abrasive Wear Resistance of High-Cr Iron Used in Shot Blast Machine, *Tribol Lett* 50, pp. 439-448, 2013.
- [6] Burakowski T., Wierzczoń T.: *Inżynieria powierzchni metali*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1995.
- [7] Dahotre N.B.: *Laser surface engineering*, *Advanced Materials & Processes*, pp. 35-39, 2002.
- [8] Dobrzański L.A.: *Kształtowanie struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych*, *Prace Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach*, Gliwice, 2009.