



Struktura i własności odlewniczego stopu magnezu po laserowej obróbce powierzchniowej

W. Kwarciański^a, J. Domagała^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny
email: w.kwarcinski@gmail.com

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny,
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów
Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie
email: justyna.domagala@polsl.pl

Streszczenie:

W pracy przedstawiono strukturę i własności odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1 po laserowej obróbce powierzchniowej. Celem pracy było polepszenie własności warstwy wierzchniej odlewniczego stopu magnezu przez przetopienie i jednoczesne wtapianie cząstek TiC w obszar jeziora. Laserowe wtapianie cząstek TiC w płytki ze stopu magnezu MCMgAl6Zn1 zostało wykonane przy użyciu lasera diodowego dużej mocy HPDL (High Power Diode Laser). Badania obejmują obserwację struktur warstwy wierzchniej odlewniczego stopu magnezu po laserowym wtapianiu cząstek TiC, przy zastosowaniu mikroskopii świetlnej oraz skaningowej mikroskopii elektronowej. Przedstawiono wyniki powierzchniowej mikroanalizy jakościowej i ilościowej oraz rentgenowskiej jakościowej analizy fazowej. Zmierzona została chropowatość powierzchni przetopienia „lica” oraz mikrotwardość w funkcji głębokości przetopienia warstwy wierzchniej.

Abstract:

Structure and properties of the MCMgAl6Zn1 cast magnesium alloy after laser surface treatment are presented in this paper. The aim of this work was to improve the properties of the surface layer of the MCMgAl6Zn1 cast magnesium alloy by melting and simultaneous feeding the titanium carbide particles into the molten pool. Laser treatment of the MCMgAl6Zn1 magnesium alloy bars with the titanium carbide was carried out using high power diode laser HPDL (High Power Diode Laser). The structure examination was carried out using the light microscope and scanning electron microscope. Results of quantity and quality phase microanalysis and Xray diffraction has been reported. The microhardness of surface layer was measured as a function of depth of alloyed layer, surface roughness was reported as well.

Słowa kluczowe: odlewniczy stop magnezu, wtapianie laserowe, węgiel tytanu

1. WSTĘP

Dążenie do uzyskania materiału inżynierskiego wykazującego niską gęstość, dobre własności mechaniczne oraz niskie koszty wytwarzania i przetwórstwa, jest powodem coraz częstszego wykorzystywania odlewniczych stopów magnezu, jako materiału konstrukcyjnego. Gałęziami przemysłu, w których odlewnicze stopy magnezu znajdują zastosowania są: przemysł motoryzacyjny, lotniczy, zbrojeniowy, włókienniczy oraz elektrotechniczny, a także elektroniczny. Największe nadzieje aplikacyjne, przekładające się bezpośrednio na największy wzrost stosunkowej masy stopów magnezu w masie całej maszyny, obserwuje się w przemyśle motoryzacyjnym, gdzie stopy magnezu stanowią realną alternatywę dla stali, stopów aluminium oraz polimerów. Jednakże ze względu na małą odporność na korozję oraz niską odporność na zużycie ściernie, konieczne staje się stosowanie środków zapobiegających degradacji powierzchniowej elementów z tychże stopów. Możliwości znacznej poprawy własności korozyjnych oraz podwyższenia odporności na zużycie ściernie, przynoszą tu metody modyfikacji warstwy wierzchniej metali [1-3,5-9]. W niniejszej pracy uwaga zwrócona została na technologie laserowej przetopieniowej obróbki warstwy wierzchniej. W przypadku odlewniczych stopów magnezu zastosowanie technologii laserowych jest stosunkowo nową metodą podnoszenia własności warstwy wierzchniej, wiązane są z nią duże nadzieje aplikacyjne. Korzyści wynikające z możliwości szerszego zastosowania ultralekkich materiałów inżynierskich, jakimi są odlewnicze stopy magnezu, są znaczne, m.in. przez zastosowanie stopów magnezu można w znaczny sposób obniżyć masę samochodów i samolotów, co prowadzi do redukcji zużycia paliwa. W przemyśle motoryzacyjnym zastępowanie tworzyw sztucznych cienkościennymi odlewami magnezowymi, wpływa na procentowy wzrost masy pojazdu samochodowego mogącej być poddanej recyklingowi [4,10,11].

Niska gęstość (od 1,75 do 1,85 g/cm³) w połączeniu z stosunkowo dobrą wytrzymałością jest ogromną zaletą stopów magnezu, jednak niska odporność na zużycie ściernie i wysoka podatność na korozję stanowi ograniczenie do szerszego zastosowanie stopów magnezu jako materiału konstrukcyjnego. Ten stan rzeczy ma szansę zostać całkowicie wyeliminowany, poprzez zastosowanie metod obróbki warstwy wierzchniej, będące w ostatnich latach trendem inżynierii materiałowej [2,6-9].

2. PRZEBIEG BADAŃ

Badania wykonano na próbkach wykonanych z odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1, po wtapieniu laserowym cząstkami TiC, przy zastosowaniu diodowego lasera wysokiej mocy HPDL. Skład chemiczny materiału podłoża przedstawiono w tabelicy 1.

Tablica 1.

Skład chemiczny odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1

Stężenia masowe pierwiastków stopowych w badanym materiale, %												
Al	Zn	Mn	Cu	Si	Fe	Ni	Sn	Pb	Be	Zr	Ce	Mg
5,624	0,46	0,16	0,0024	0,034	0,07	0,0017	0,0009	0,034	0,0003	0,003	0,01	93,6

Odlewanie stopów wykonano w indukcyjnym piecu tyglowym, z wykorzystaniem kąpieli ochronnej Flux 12, wyposażonym w dwa filtry ceramiczne przy zastosowanej temperaturze topnienia odpowiedniej dla wytwarzanego materiału 750 ± 10 °C. Ze względu na zachowanie czystości metalurgicznej wytapianego metalu wykonana została rafinacja gazem obojętnym o przemysłowej nazwie Emgesalem Flux 12. Dla poprawy jakości powierzchni metalu zastosowano warstwę ochronną Alkon M62. Materiał odlano w matrycach ze spoiwem bentonitowym. Odlewane stopy poddano obróbce cieplnej w elektrycznym piecu próżniowym Classic 0816 Vak w atmosferze ochronnej argonu. Obróbka cieplna składała się z wstępnego wygrzewania materiału w temperaturze 375 °C przez 3 godziny, przesycań w temperaturze 430 °C z wygrzewaniem przez 10 godzin i następnym starzeniu w temperaturze 190 °C przez 15 godzin. Tak obrobiony cieplnie materiał został pocięty w sztabki o wymiarach 50x18x10mm, które w celu otrzymania gładkiej powierzchni przed procesem laserowej obróbki zostały wyszlifowane na papierze SiC o ziarnistości 1200, a następnie odłuszczone.

Wtapianie laserowe odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1 proszkiem TiC, odbyło się przy zastosowaniu lasera diodowego dużej mocy HPDL Rofin DL 020. Materiał dodatkowy w postaci proszku był podawany w strumieniu gazu do obszaru jeziora przetopienia utworzonego na obrabianej laserowo powierzchni. W obszarze plamki ogniska wiązki laserowej materiał podłoża ulegał topieniu i wymieszaniu z proszkiem węgla tytanu, następnie materiał podłoża ulegał krzepnięciu. W celach badawczych wykonano próbki, dla których prędkość skanowania i ilość podawanego proszku w czasie był stała, różna natomiast była moc wiązki laserowej (tablica 2).

Tablica 2.

Podstawowe parametry procesu stopowania

Parametr procesu	Wartości				
Prędkość skanowania, [m/min]	0,5				
Prędkość podawania proszku, [g/min]	7 ± 1				
Moc wiązki laserowej, [kW]	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

Badania strukturalne zostały wykonane na mikroskopie świetlnym Leica QWin, a także na skaningowym mikroskopie elektronowym SUPRA35VP firmy Zeiss.

Rentgenowską jakościową analizę fazową przeprowadzono w celu określenia składu fazowego stopowanej warstwy wierzchniej, aparaturą użytą w tym badaniu był dyfraktometr rentgenowski X'Pert firmy Philips. Zastosowano zapis krokowy co $0,05^\circ$ i czas zaliczania 5 sekund, stosując przefiltrowane promieniowanie rentgenowskie pochodzące z lampy o anodzie kobaltowej. Pomiary wykonano w zakresie kątowym 2θ od 35° do 115° .

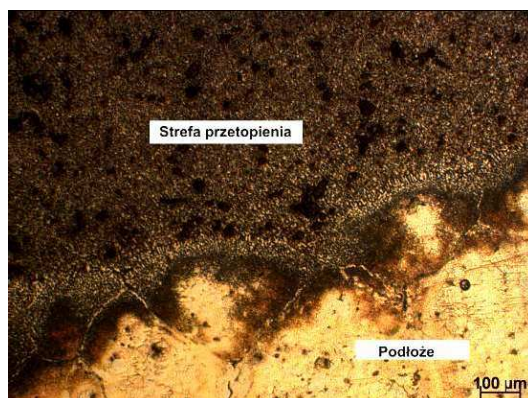
Pomiary chropowatości powierzchni wykonano w celu oceny wpływu mocy wiązki lasera na zniekształcenie przetopionej warstwy wierzchniej. Badanie to zostało przeprowadzone przy pomocy przenośnego profilografometru Surtronic 3+ firmy Taylor Hobson Precision.

Pomiary mikrotwardości wykonano na przekroju poprzecznym warstwy wierzchniej modyfikowanego stopu MCMgAl6Zn1 . Badanie wykonano na mikrotwardościomierzu Vickersa z automatycznym torem pomiarowym z wykorzystaniem analizy obrazu Future-Tech FM – 700ARS.

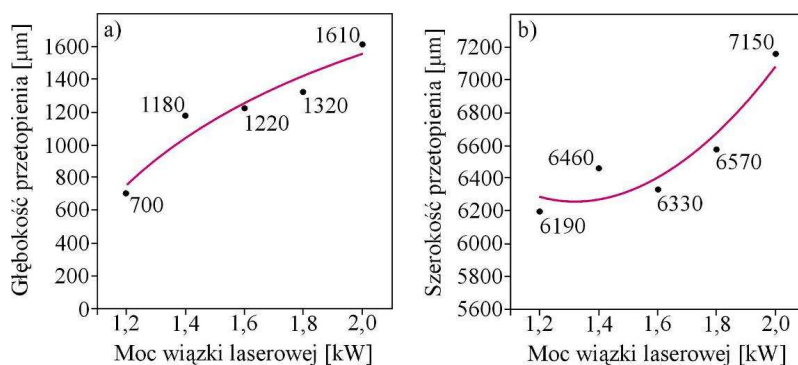
Na podstawie badań metalograficznych uzyskanej warstwy wierzchniej, stwierdzono występowanie w warstwie wierzchniej dwóch stref: strefy przetopienia (SP) i strefy wpływu ciepła (SWC). Strefa przetopiona warstwy wierzchniej wykazywała charakter typowy dla kompozytów MMCs (metal-matrix composites) ze zbrojeniem pod postacią twardych cząsteczek TiC w otoczeniu osnowy, tworzonej przez przetopiony stop magnezu MCMgAl6Zn , w skład którego wchodziły dwie fazy: $\text{Mg } \alpha$ oraz międzymetaliczna faza β – $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$. Mikrostruktura warstwy zmodyfikowanej laserowo zawiera głównie dyspersyjne cząstki TiC w osnowie stopu Mg i Al . Morfologia obszaru warstwy wierzchniej po laserowej obróbce w przeważającym stopniu składa się z dendrytów podstawowego stopu magnezu z eutektyką płytkową $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ i Mg w obszarach międzidendrytycznych (rys.1).

Szerokość i głębokość, uzyskanej w wyniku pojedynczego skanowania wiązką lasera, warstwy wierzchniej wzrastała wraz ze zwiększeniem mocy wiązki lasera (rys. 2).

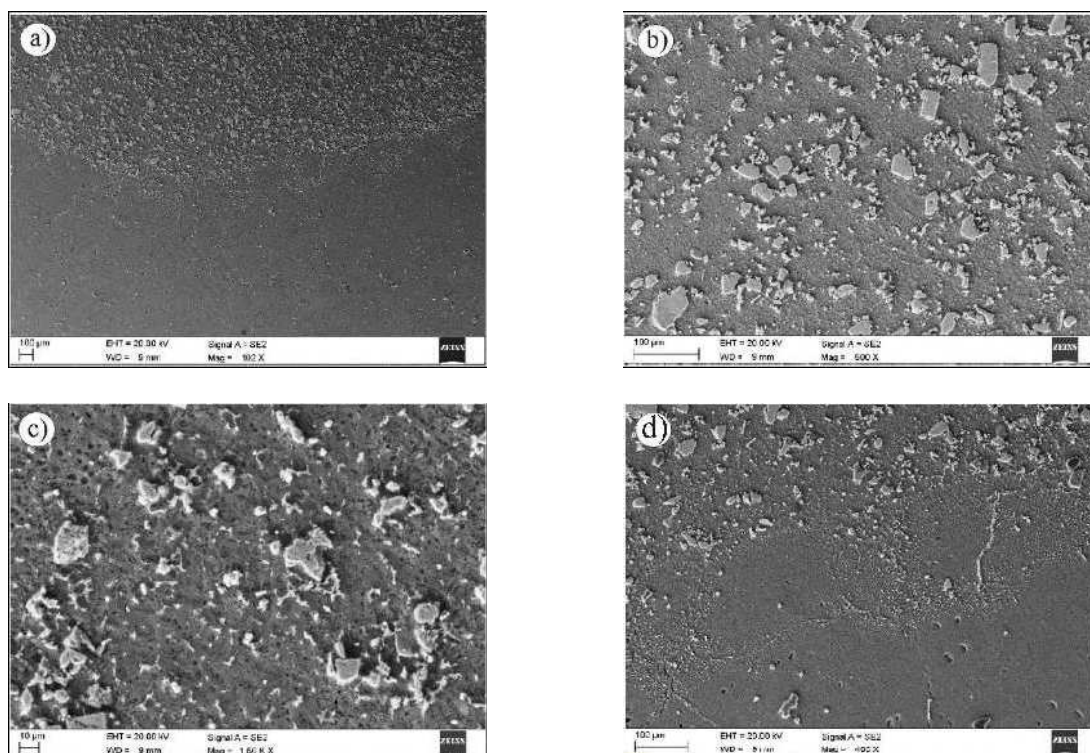
W czasie wtapienia z użyciem mocy wiązki laserowa w zakresie od 1,2 do 2,0 kW nie doszło do stopienia cząstek proszku TiC (rys.3). Połączenie cząstek proszku TiC ze stopem EN-MCMgAl6Zn1 nie wykazywało żadnych wad, prawdopodobnie zachodziła silna adhezja cząstek TiC ze stopem magnezu.



Rysunek 1. Przekrój poprzeczny odlewniczego stopu magnezu po wtapieniu laserowym ukazujący granicę rozdziału pomiędzy strefą przetopienia a podłożem.

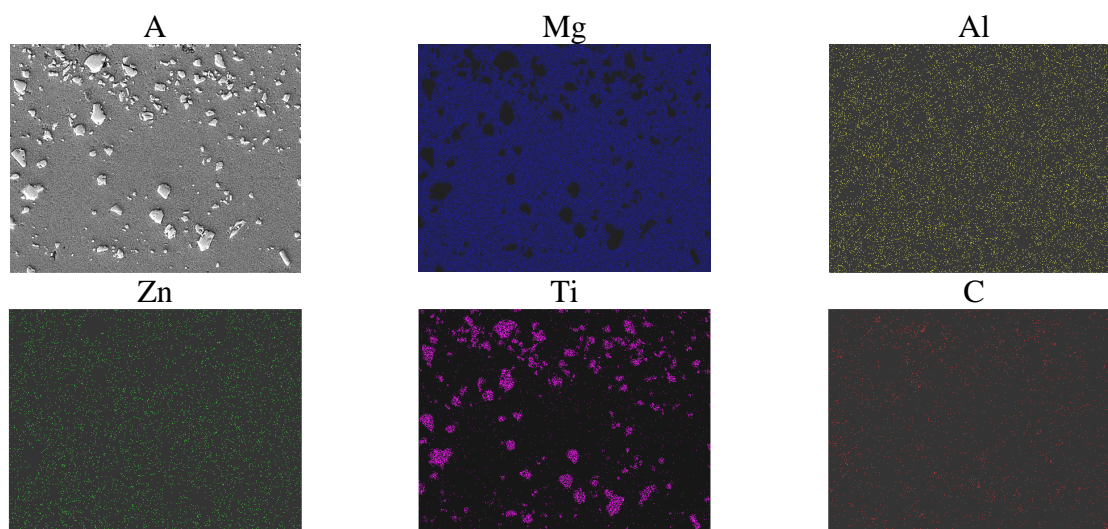


Rysunek. 2. Wykresy przedstawiające wpływ mocy wiązki lasera na a) głębokość, b) szerokość przetopienia.



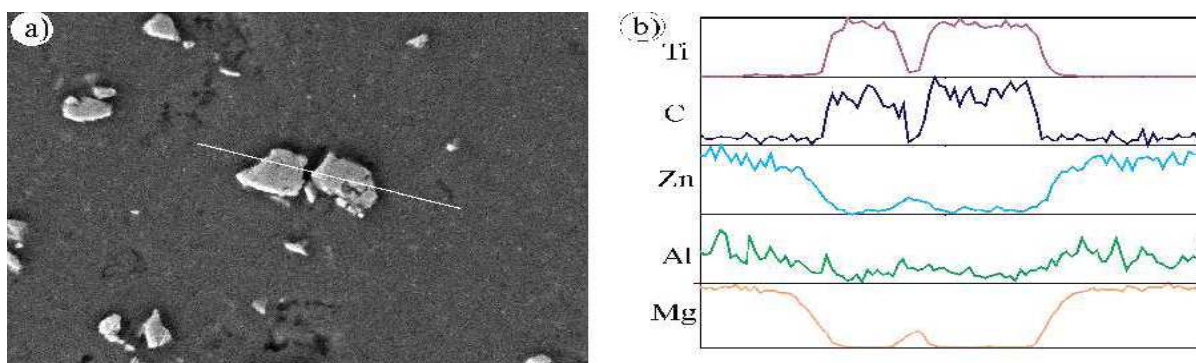
Rysunek 3. Mikrostruktura zmodyfikowanej laserowo warstwy wierzchniej stopu MCMgAl6Zn1 z cząstkami węglika tytanu, moc wiązki lasera - 2,0 kW, a) przekrój poprzeczny, b-c) strefa centralna przetopienia, d-e) granica pomiędzy przetopieniem, a podłożem (SEM).

Analiza powierzchniowa składu chemicznego uzyskanych warstw wierzchnich potwierdza obecność Mg, Al, Zn, Ti, C oraz obrazuje rozmieszczenie węglika tytanu w warstwie wierzchniej po laserowej obróbce (rys. 4).

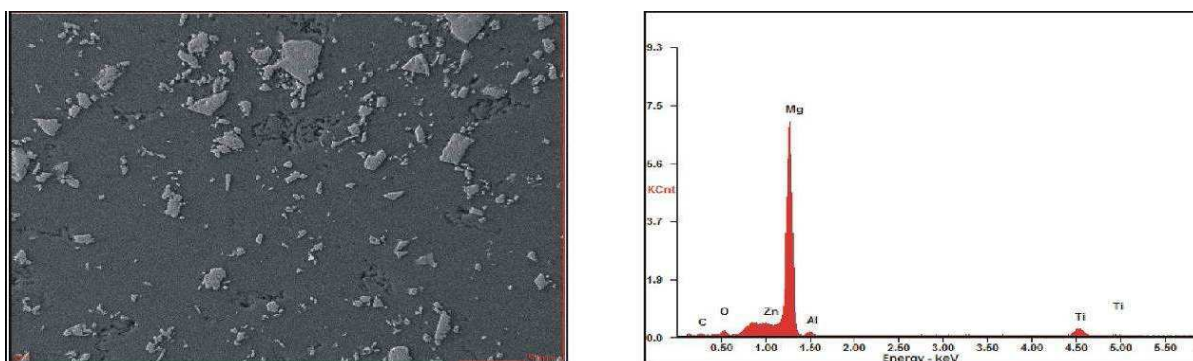


Rysunek 4. Strefa centralna odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1 po wtopianiu laserowym cząstek TiC: obraz uzyskany z wykorzystaniem elektronów wtórnych (SE) oraz mapy rozmieszczenia pierwiastków

Linowa analiza zmian składu chemicznego (rys. 5), a także badanie składu chemicznego przy użyciu spektrometru promieniowania rentgenowskiego z dyspersją energii (EDS) (rys.6, tablica 3) wykonano na przekroju poprzecznym odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1 po wtapieniu TiC potwierdzają występowanie magnezu, aluminium, cynku, tytanu oraz węgla w laserowo zmodyfikowanej warstwie.



Rysunek 5. Struktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1 po wtapieniu laserowym cząstkami TiC, moc lasera: 2,0 kW prędkość skanowania 0,5 m/min; a) struktura; b) liniowa analiza zmian składu chemicznego.



Rysunek 6. Wykres energii rozproszenia promieniowania rentgenowskiego analizowanego mikroobszaru odlewniczego stopu magnezu po wtapieniu laserowym TiC, moc lasera: 2,0 kW, (SEM – EDS).

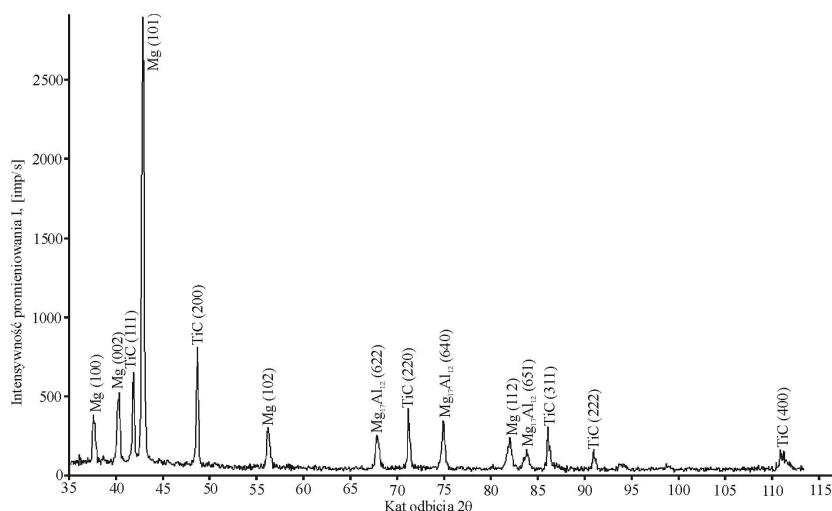
Tablica 3.

Skład chemiczny obszaru poddanego mikroanalizie (Rys.6) (SEM – EDS)

Pierwiastek	Zawartość masowa, %	Zawartość obj, %
C	6,28	12,66
O	4,56	6,9
Zn	8,0	2,96
Mg	71,96	71,7
Al	2,86	2,56
Ti	6,35	3,21

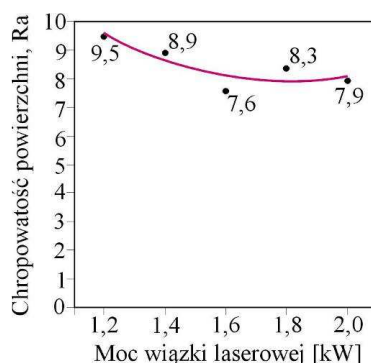
Wykonane analizy ujawniają, iż po laserowej obróbce w warstwie wierzchniej odlewniczego stopu magnezu w miejscach występowania twardych cząstek węgla tytanu nie stwierdzono obecności Mg, Al, Zn, co potwierdza, że w obszarze przetopienia nie doszło do stopienia, czy też rozpuszczenia cząstek węgla tytanu.

Na podstawie rentgenowskiej jakościowej analizy fazowej strefy przetopienia warstwy wierzchniej, gdzie w osnowie odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1 wtopione zostały cząstki TiC, stwierdzono występowanie Mg, fazy $Mg_{17}Al_{12}$ oraz węgla tytanu TiC.



Rysunek 7. Dyfraktogram rentgenowski odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1 po wtapianiu laserowym węglikiem tytanu, z użyciem mocy wiązki lasera 1,6 kW i prędkości skanowania 0,5 m/min.

Na podstawie wykonanych pomiarów chropowatości powierzchni warstwy wierzchniej ustalono, iż średnia chropowatość zawiera się w przedziale Ra 7,9 - 9,5 μm . Zauważono ponadto, że średnia chropowatość powierzchni próbek wykazuje tendencję spadkową w miarę zwiększania mocy wiązki lasera (rys.8, tablica 4).



Rysunek 8. Wpływ mocy wiązki laserowej na chropowatość powierzchni „lica” przetopienia.

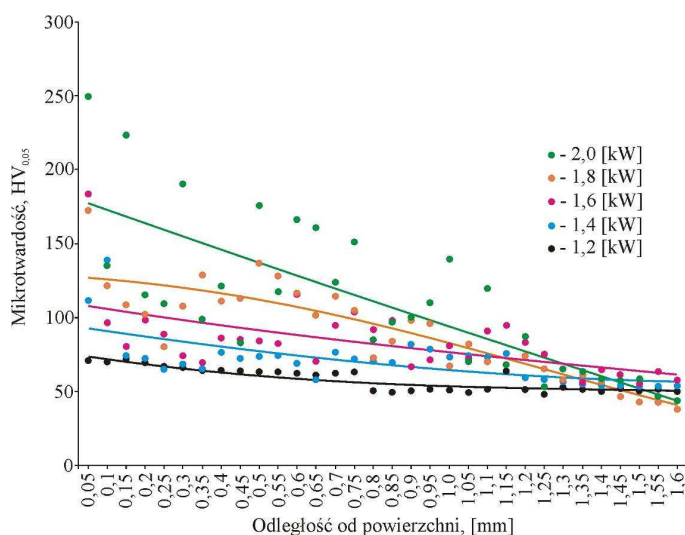
Tablica 4.

Podstawowe wielkości statystyczne, obliczone dla dziesięciu prób pomiaru chropowatości powierzchni

Mocy wiązki laserowej [kW]	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Wartość średnia, Ra	9,5	8,9	7,6	8,3	7,9
Odchylenie standardowe	0,9	0,87	0,8	1,1	1,2
Poziom istotności	0,05				
Przedział ufności	0,6	0,6	0,6	0,8	0,9

Na podstawie wykonanych pomiarów, zauważony został wzrost mikrotwardości warstwy wierzchniej po laserowej obróbce w porównaniu z niemodyfikowanym stopem MCMgAl6Zn1. Stwierdzono, iż średnia wartość mikrotwardości warstwy wierzchniej wzrasta wraz ze wzrostem mocy wiązki lasera (rys.9). Mikrotwardość warstwy wierzchniej po laserowym wtapieniu cząstek TiC, dla mocy 2,0 kW zawiera się w przedziale 80-250 HV_{0,05}, przy mikrotwardości materiału podłoża (stopu MCMgAl6Zn1) 55 HV_{0,05}.

Ponadto zaobserwowano, iż wraz ze wzrostem głębokości w strefie przetopienia mikrotwardość wykazuje tendencję malejącą (rys.9, tablica 5). Zaobserwowany wzrost mikrotwardości zmodyfikowanej laserowo warstwy wierzchniej w porównaniu z mikrotwardością podłoża spowodowany jest rozdrobnieniem ziarna i występowaniem twardych cząstek węgla tytanu. W niektórych obszarach zauważono znaczne różnice w odczycie wyników. Prawdopodobnie spowodowane jest to przypadkowym rozmieszczeniem węgla tytanu.



Rysunek 9. Zmiana mikrotwardości warstwy wierzchniej odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1 po stopowaniu TiC.

Tablica 5.

Średnia mikrotwardość $HV_{0,05}$ na różnych głębokościach przetopienia warstwy wierzchniej odlewniczego stopu magnezu $MCMgAl_6Zn_1$ po wtapianiu laserowym cząstek TiC

Głębokość przetopienia, [mm]	Moc wiązki laserowej, [kW]				
	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
0 – 0,4	67	83	97	116	155
0,4 – 0,8	61	70	90	110	132
0,8 – 1,2	56	73	82	80	95
Mat. podłoża	55				

PODSUMOWANIE

Stopy magnezu głównie za sprawą niskiej gęstości, jak i zadowalających własności mechanicznych, znajdują coraz szersze zastosowanie jako materiał konstrukcyjny. Jednakże, wykazują one niską odporność na korozję i na zużycie ściernie. W celu podwyższenia własności warstw wierzchnich stopów magnezu stosuje się wiele technologii modyfikacji powierzchni. W pracy przedstawiono kształtowanie warstwy wierzchniej odlewniczego stopu magnezu $MCMgAl_6Zn_1$ poprzez laserowe wtapianie cząstek TiC, przy zastosowaniu diodowego lasera wysokiej mocy HPDL. Wtapianie laserowe odlewniczego stopu magnezu wykonano przy zmiennych wartościach mocy wiązki lasera w zakresie 1,2-2,0 kW i przy stałej prędkości wtapiania 0,5 m/min. Zaobserwowano, iż warstwa wierzchnia po laserowej obróbce węglikiem tytanu stopu magnezu $MCMgAl_6Zn_1$ wykazuje charakterystykę typową dla kompozytów (MMC). Zarówno grubość, jak i szerokość stref przetopienia zależna jest od zastosowanej mocy lasera, wyższa moc odpowiada zwiększonej grubości i szerokości uzyskanej warstwy wierzchniej. Obróbka laserowa warstwy wierzchniej odlewniczego stopu magnezu $MCMgAl_6Zn_1$ znacznie poprawia mikrotwardość strefy przetopionej (80-250 $HV_{0,05}$) w stosunku do mikrotwardości podłoża (ok. 55 $HV_{0,05}$), spowodowane to jest rozdrobnieniem ziarna a także dyspersyjnym rozmieszczeniem twardych faz $Mg_{17}Al_{12}$ i występowaniem twardych cząstek węglika tytanu. Średnia wartość mikrotwardości warstwy wierzchniej wzrasta wraz ze wzrostem mocy wiązki lasera użytej w procesie wtapiania. Wykonane badania, potwierdzają możliwość stosowania lasera diodowego wysokiej mocy (HPDL), jako źródła promieniowania laserowego, w laserowej obróbce odlewniczych stopów magnezu.

LITERATURA

1. Adamczyk J., Inżynieria materiałów metalowych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004
2. Abbas G., Lin Li, Uzma Ghazanfar, Zhu Li, Effect of high power diode laser surface melting on wear resistance of magnesium alloys, *Wear*, nr 260 (2006) 175 – 180
3. Binczyk F., Konstrukcyjne stopy odlewnicze, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.

4. Buratowski T., Wierzchoń T., Inżynieria powierzchni metali, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995.
5. Dobrzański L.A., Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, Materiały inżynierskie z podstawami projektowania inżynierskiego, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
6. Dobrzański L.A., Domagała J., Tański T., Klimpel A., Janicki D., Laser surface treatment of magnesium alloy with WC and TiC powders using HPDL, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 28/2 (2008) s. 179-186
7. Dutta Majumdar J., B., Mordike B.L., Galun R., Manna I., Effect of laser melting corrosion and wear resistance of a commercial magnesium alloy, *Materials Science and Engineering*, nr A361 (2003) s. 119 – 129.
8. Dutta Majumdar J., Ramesh Chandra B., Mordike B.L., Galun R., Manna I., Laser composite surface of a magnesium alloy with silicon carbide, *Composite Science and Technology*, 63 (2003) s. 771-778.
9. Górny Z., Sobczak J., Nowoczesne tworzywa odlewnicze na bazie metali nieżelaznych, Wydawnictwo ZA – PIS, Kraków 2005.
10. Klimpel A., Zastosowanie lasera diodowego dużej mocy do spawania i napawania, *Przegląd spawalnictwa*, nr 6 (2001) s. 1 – 6.
11. Klimpel A., Napawanie i natryskiwanie cieplne: technologie, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.