

## SELECTION PARAMETERS OVERLAYING WELDING LASER STEEL POWDERS CHROMIUM AND NICHROME WITH MAKE USE OF THE DIODE LASER LARGE POWER

**Zdzisław Bogdanowicz, Krzysztof Grzelak, Stanisław Kowalczyk**

*Military University of Technology  
Faculty of Mechanical Engineering  
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warsaw, Poland  
tel.: +48 22 6839048, 6837685, fax:+48 22 6837366  
e-mail: z.bogdanowicz@wme.wat.edu.pl, k.grzelak@wme.wat.edu.pl  
s.kowalczyk@wme.wat.edu.pl*

### **Abstract**

*This work presents the results of research concerning the influence of parameters laser process melting the surface layer using powder of metal as a welding material. Facing by welding test were conducted on high-quality carbon steel commonly used on vehicles elements and on austenitic steel used on combustion engines elements. The powder of chromium of chemical constitution 99% Cr and powder of nichrome of chemical constitution 75% Ni, 20%Cr, 5% Al were used in this research. The process of the overlaying by welding was conducted with the use of HDPL diode laser of large power. Facing by welding process variables are: power of laser beam and quantity of passed powder. The results of influence of these parameters on shape and geometrical properties created layer are presented on graphs, which were based on metallographic pictures of microsection metallographic. The research for chosen samples was conducted on microhardness as well as analysis of structure obtained surfaces. The analysis of results of microhardness measurement permits to affirm the considerable growth of hardness of obtained surface in case of welding the surfaces by powder Cr as well as the fall of hardness in case of using the powder NiCr in relation to the base material. The observation of microstructure showed the dendritic structure after surfaces by welding Cr and hardening the base material (steel 45) as a result of influence of the laser beam. The analysis of microstructure after surfaces by welding NiCr showed the considerable porosity as well as a small influence on the structure of the base material, presented by an insignificant growth of crystallites in weld interface (the austenitic steel).*

**Keywords:** diode laser, metal powders, surfacing by welding, structure, properties

## DOBÓR PARAMETRÓW NATAPIANIA LASEROWEGO STALI PROSZKAMI CHROMU I NICHROMU Z WYKORZYSTANIEM LASERA DIODOWEGO DUŻEJ MOCY

### **Streszczenie**

*W pracy opisano wyniki badań wpływu parametrów procesu laserowego przetapiania warstwy wierzchniej z użyciem, jako materiału natapianego, proszku metalu. W badaniach użyto proszku chromu o składzie 99%Cr oraz proszku ni-chromu o składzie 75%Ni, 20%Cr, 5%Al. Próby natapiania przeprowadzono na stali węglowej wyższej jakości, powszechnie stosowanej na elementy pojazdów mechanicznych oraz na stali austenitycznej wykorzystywanej na niektóre elementy silników pojazdów samochodowych. Proces natapiania przeprowadzono z użyciem lasera diodowego dużej mocy HDPL. Zmiennymi w procesie napawania były: moc wiązki lasera oraz ilość podawanego proszku. Wyniki wpływu tych parametrów na kształt i właściwości geometryczne utworzonej warstwy przedstawiono w postaci wykresów, na podstawie zdjęć metalograficznych zglądów poprzecznych wykonanych próbek. Dla wybranych próbek przeprowadzono badania mikrotwardości oraz analizę struktury uzyskanych warstw. Analiza wyników pomiaru mikrotwardości pozwala stwierdzić znaczny wzrost twardości uzyskanej warstwy w wypadku natapiania proszkiem Cr oraz spadek twardości w odniesieniu do proszku NiCr w stosunku do materiału podłoża. Obserwacja mikrostruktury wykazała budowę dendrytyczną warstwy Cr oraz hartowanie materiału podłoża (stal 45) w wyniku oddziaływania wiązki lasera. Analiza mikrostruktury warstwy NiCr wykazała znaczną porowatość oraz niewielki wpływ na strukturę materiału podłoża (stal austenityczna - nieznaczny rozrost ziaren w strefie przejściowej).*

**Słowa kluczowe:** laser diodowy, proszki metalu, natapianie warstw, struktura, właściwości

## 1. Wstęp

Wzrost obciążeń eksploatacyjnych powoduje wzrost wymogów konstrukcyjno-technologicznych stawianych podzespołom pojazdów samochodowych. Wpływa to na konieczność szukania coraz to nowszych rozwiązań w zakresie zwiększenia ich trwałości. Materiały konstrukcyjne w zależności od charakteru pracy elementu pojazdu powinny charakteryzować się dużą wytrzymałością, dużą twardością i odpornością na ścieranie, a w określonych warunkach dużą odpornością na korozję i odpornością na działanie wysokich temperatur. Ciągły rozwój inżynierii materiałowej pozwala na dobór odpowiednich materiałów lub wybór odpowiedniego sposobu kształtowania właściwości materiału, tak aby spełniał on określone kryteria. Jedną z metod kształtowania właściwości użytkowych elementów maszyn jest nanoszenie warstw metalicznych. Warstwy są nanoszone na najbardziej obciążone miejsca danego elementu. Metoda ta jest bardzo ekonomiczna, gdyż pozwala uzyskiwać warstwy o wysokich właściwościach użytkowych w ściśle określonych miejscach elementu wykonanego z relatywnie taniego materiału. Technikę tą można z powodzeniem stosować również w regeneracji zużytych elementów pojazdów samochodowych. Wytwarzanie warstw realizuje się różnymi metodami m.in. spawalniczymi, cieplnymi, fizycznymi i chemicznymi. W procesach produkcji elementów oraz regeneracji podzespołów szerokie zastosowanie znalazły metody spawalnicze (natapianie, napawanie), w których coraz częściej wykorzystuje się wiązkę lasera. Ciągły rozwój urządzeń laserowych sprawia, iż są one coraz tańsze i znajdują szerokie zastosowanie, także w przemyśle maszynowym. Jednym z takich, stosunkowo tanich, urządzeń laserowych jest laser diodowy dużej mocy HPDL, który znalazł szerokie zastosowanie w przemyśle spawalniczym ze względu na ekonomiczność i wysoką jakość procesu.

Do zalet napawania i natapiania laserowego można zaliczyć ograniczony wpływ oddziaływania cieplnego wiązki lasera na przedmiot, w wyniku czego uzyskuje się małe naprężenia i odkształcenia elementu po obróbce. Szybkie odprowadzenie ciepła powoduje powstanie bardzo drobnoziarnistej struktury napoiny o dużej czystości metalurgicznej. Dzięki dużym możliwościom sterowania procesem można ograniczyć udział materiału podłoża w napoinie do ok. 4%, co pozwala na uzyskanie warstwy wierzchniej o żądanych właściwościach, już w pierwszej warstwie napoiny. Zastosowanie światłowodu w doprowadzaniu wiązki laserowej do głowicy daje możliwość zautomatyzowania i zrobotyzowania procesu spawalniczego [3,4,5].

Jako materiał natapiany stosuje się różne pierwiastki, które modyfikują skład chemiczny, strukturę oraz własności wytworzonej w ten sposób warstwy wierzchniej (WW). Z danych literaturowych wynika, że po wprowadzeniu do WW pierwiastków takich jak azot [7], krzem [2], kobalt [6], chrom [8] oraz różnego rodzaju kompozycje pierwiastków Co-Cr-W-Si [9], Ni-Cr-Al-Fe [1] polepsza się w istotny sposób takie właściwości jak: twardość, odporność na zużycie i korozję.

Chrom należy do najczęściej stosowanych dodatków stopowych w stalach oraz jako materiał stopowany lub napawany na elementy maszyn ze względu m.in. na swą niską cenę, znacząco poprawiając właściwości użytkowe WW. Chrom tworzy w stali różne odmiany węglików np.  $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_3$  itp., zwiększa on hartowność stali oraz przy dużych zawartościach, powyżej kilkunastu procent, zapewnia antykorozyjność i żarowytrzymałość stali. Zapewnia stali odpowiednią twardość oraz poprawia odporność na utlenianie poprzez wytworzenie na powierzchni cienkiej warstwy tlenków chroniąc materiał przed dalszym utlenianiem. Poprzez zwiększenie hartowności i odpuszczalności stali, na skutek dodania chromu i tworzenia się twardych węglików, zwiększa on odporność na ścieranie i zużycie w podwyższonych temperaturach. Duża zawartość chromu powyżej 25% powoduje kruchość stali. Aby temu przeciwdziałać wprowadza się często dodatek niklu. Poprawia on właściwości plastyczne stali osłabione przez chrom, zwiększa udarność. Zwiększa żaroodporność stali i poprawia hartowność zwłaszcza w obecności Cr. Nikiel jest pierwiastkiem austenitotwórczym. Dlatego też do wytwarzania WW często stosuje się oba te pierwiastki jednocześnie stosując np. natapianie proszków NiCr.

## 2. Przebieg badań

Celem badań było określenie wpływu parametrów napawania na kształt i jakość napoiny oraz własności WW wykonanej w procesie laserowego natapiania stali węglowej i stopowej proszkami chromu i nichromu.

Przedmiotem badań były próbki w kształcie prostokąta, wykonane ze stali węglowej wyższej jakości 45 (skład chemiczny w Tab. 1) powszechnie stosowanych w produkcji wielu elementów pojazdów samochodowych, np. kół zębatach, wałków itp. Próbki te były napawane proszkiem chromu o składzie 99%Cr. Próbki napawane ni-chromem o składzie 75%Ni, 20%Cr, 5%Al, miały kształt pół-cylindryczny ( $\phi 20 \times 30$ ), wykonane były ze stali zaworowej 50H21G9N4 (skład chemiczny w Tab. 1) stosowanej w produkcji m.in. zaworów wydechowych silników spalinowych: np. silnika lotniczego ASz-62, silników pojazdów samochodowych SW 680.

Tab. 1. Stale - skład chemiczny (PN-71/H-86022)

Tab. 1. Steel-chemical constitution

Znak stali	Zawartość składnika %					
	C	Mn	Si	Cr	Ni	inne
45	0,42-0,5	0,5-0,8	0,1-0,4	max 0,3	max 0,3	Mo: 0,1; Al: 0,05
50H21G9N4	0,47-0,57	8,0-11,0	max 0,5	20,0-22,0	3,25-4,50	N: 0,38-0,50

Tab. 2. Parametry procesu natapiania

Tab. 2. Variables of a process overlaying welding

Proszek Cr				
Oznaczenie	Moc wiązki laserowej [W]	Natężenie podawania proszku [g/min]	prędkość napawania [m/min]	uwagi
P1	1200	4,0	0,2	stopowanie
P2	1400			
P3	1600			
P4	1800			
P5	1400	6,0		napawanie
P6	1600			
P7	1800			
P8	2000	2,0		stopowanie
P9	1200			
P10	1400			
P11	1600			
P12	1800			
P13	2000			
Proszek NiCr				
Oznaczenie	moc [W]	Natężenie podawania proszku q [g/min]	prędkość napawania $v_{nap.}$ [m/min]	uwagi
M1	600	6,3	0,2	napawanie
M2	800			
M3	1000			
M4	1200			
M5	1400			
M6	1600			
M7	1800			
M8	2000			
M9	2200			

Napawanie przeprowadzono przy użyciu lasera diodowego dużej mocy HDPL 020DL firmy ROFIN, znajdującego się w Katedrze Spawalnictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Laser ten posiada wiązkę zogniskowaną w kształcie prostokąta o wymiarach 6,8x1,8 mm. Ognisko wiązki znajdowało się na powierzchni przedmiotu, a ogniskowa wynosiła  $f=82\text{mm}$ .

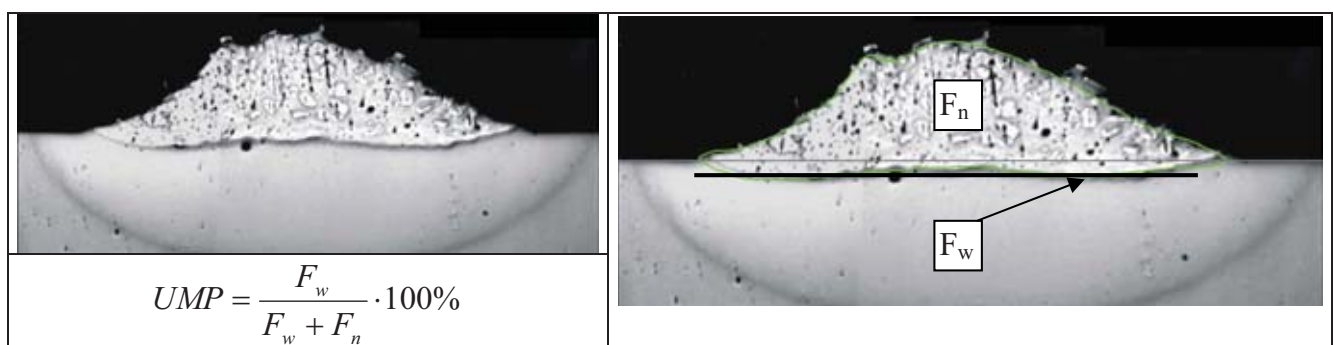
Napawanie i natapianie przeprowadzono przy zmiennych parametrach procesu (tj. zmiana mocy wiązki  $P[\text{W}]$ , ilości podawanego proszku  $q[\text{g}/\text{min}]$ ), przedstawionych w tabeli 2. W procesie napawania jako gazu osłonowego użyto argonu, w ilości 10 l/min podawanego poprzez dyszę o średnicy 12 mm. Proszek spawalniczy był podawany za pomocą gazu transportującego (argon 6 l/min pod ciśnieniem 2 bary) poprzez eliptyczną dyszę, o wymiarach 10x3 mm, do jeziora napoiny. Konstrukcja dyszy umożliwia podawanie jednocześnie gazu osłonowego i wdmuchiwanie proszku, który jest dozowany z podajnika talerzowego. Powierzchnia próbek była przeszlifowana i odtłuszczona. Próbkę były umieszczone na stole roboczym, który umożliwia ruch prostoliniowy w płaszczyźnie XY, ruch wzdłuż osi Z realizowany był przez przesuw głowicy (ustawienie ogniska wiązki na powierzchni próbki).

### 3. Wyniki badań

#### 3.1. Pomiary właściwości geometrycznych

Ocenę procesu napawania przeprowadzono na podstawie jakościowej i geometrycznej oceny wykonanych ściegów. Określono procentowy udział materiału podłoża (UMP) w przetopionej warstwie oraz grubość warstwy (Rys. 1), na podstawie zdjęć wykonanych na zglądach metalograficznych w poprzecznym przekroju próbek (Rys. 2). Sposób obliczenia procentowego udziału materiału podłoża (UMP, ang. VMB) przedstawiono na Rys. 1.

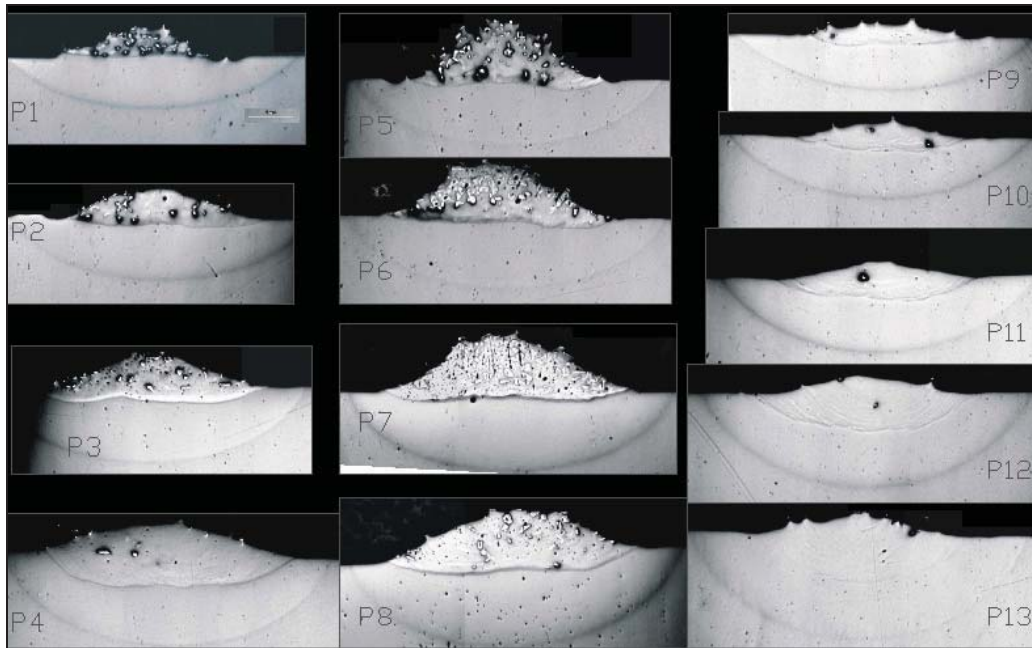
Analiza wyników badań pozwoliła ustalić wpływ poszczególnych parametrów na jakość wykonywanej warstwy (Rys. 3). Parametr mocy wiązki lasera ma decydujący wpływ na głębokość przetopu warstwy materiału i topienie podawanego proszku. W przypadku przetapiania proszku Cr wraz ze wzrostem mocy wiązki wzrasta UMP, co wskazuje, że następuje lepsze przetopienie podawanego proszku, a tworząca się warstwa ma bardziej płaskie lico. Dla próbek P1-P3 i P9-P13 przy danych parametrach (Tab. 2) występowało stopowanie, czyli wzbogacenie warstwy wierzchniej materiału rodzimego w chrom przy minimalnym utworzeniu warstwy ponad materiał rodzimy (która zostanie usunięta w obróbce wykańczającej). Podczas tego procesu część energii wiązki lasera jest absorbowana przez podawany proszek, co ma wpływ na wielkość tworzonego jeziora napoiny, a tym samym wpływa na głębokość przetopu.



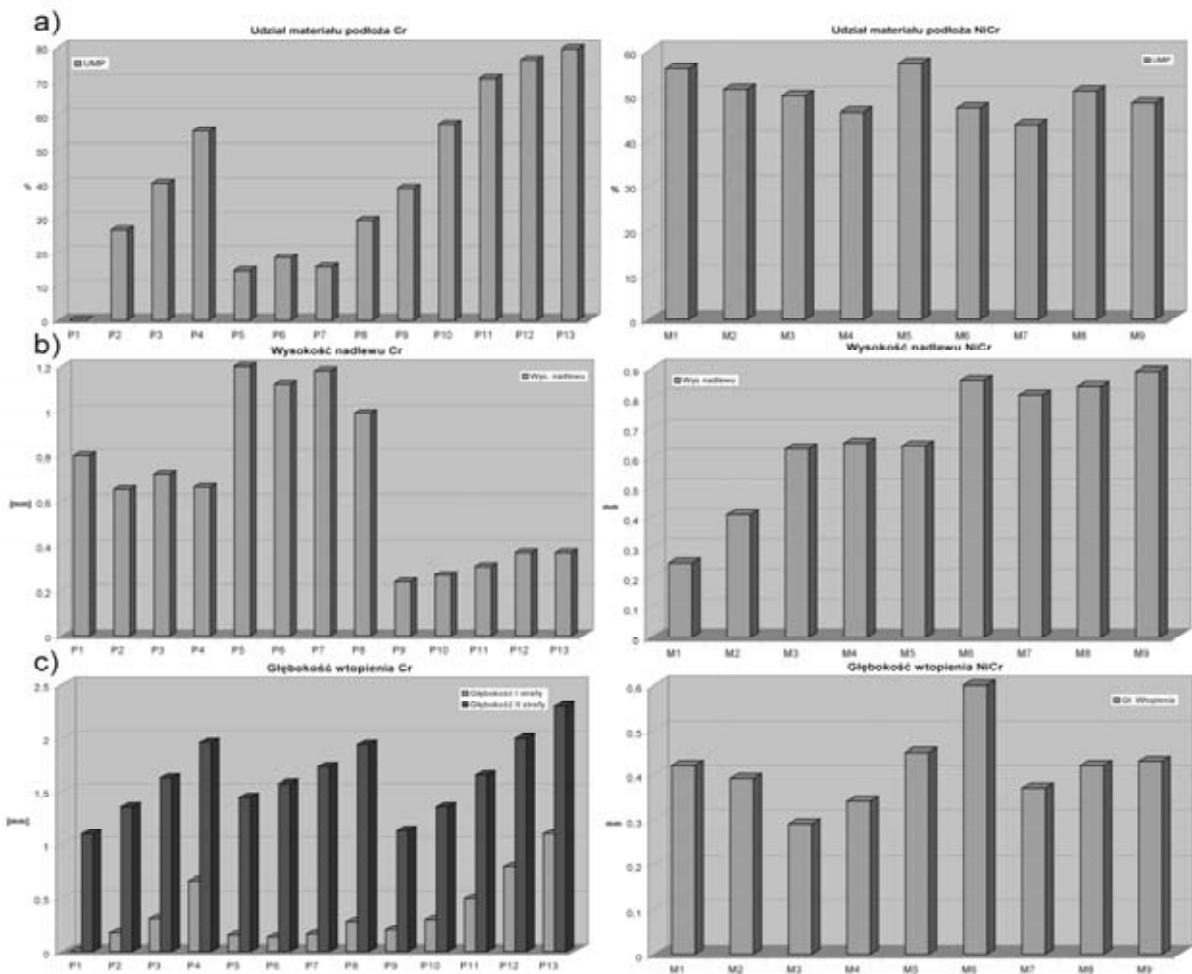
Rys. 1. Sposób określania UMP w napoinie:  $F_n$  - pole powierzchni nadlewu napoiny;  $F_w$  - pole powierzchni wtopienia napoiny

Fig. 1. Determine the relationship VMB in padding weld:  $F_n$  – area excess weld metal;  $F_w$  – area fusion penetration

Zmieniając parametr ilości podawanego proszku powodujemy, poprzez zwiększanie ilości proszku, większe absorbowanie energii wiązki przez proszek oraz zasypywanie jeziora przetopionego materiału.



Rys. 2. Zmiana makrostruktury warstwy w zależności od parametrów wiązki  
 Fig. 2. Modification macrostructure surface layer



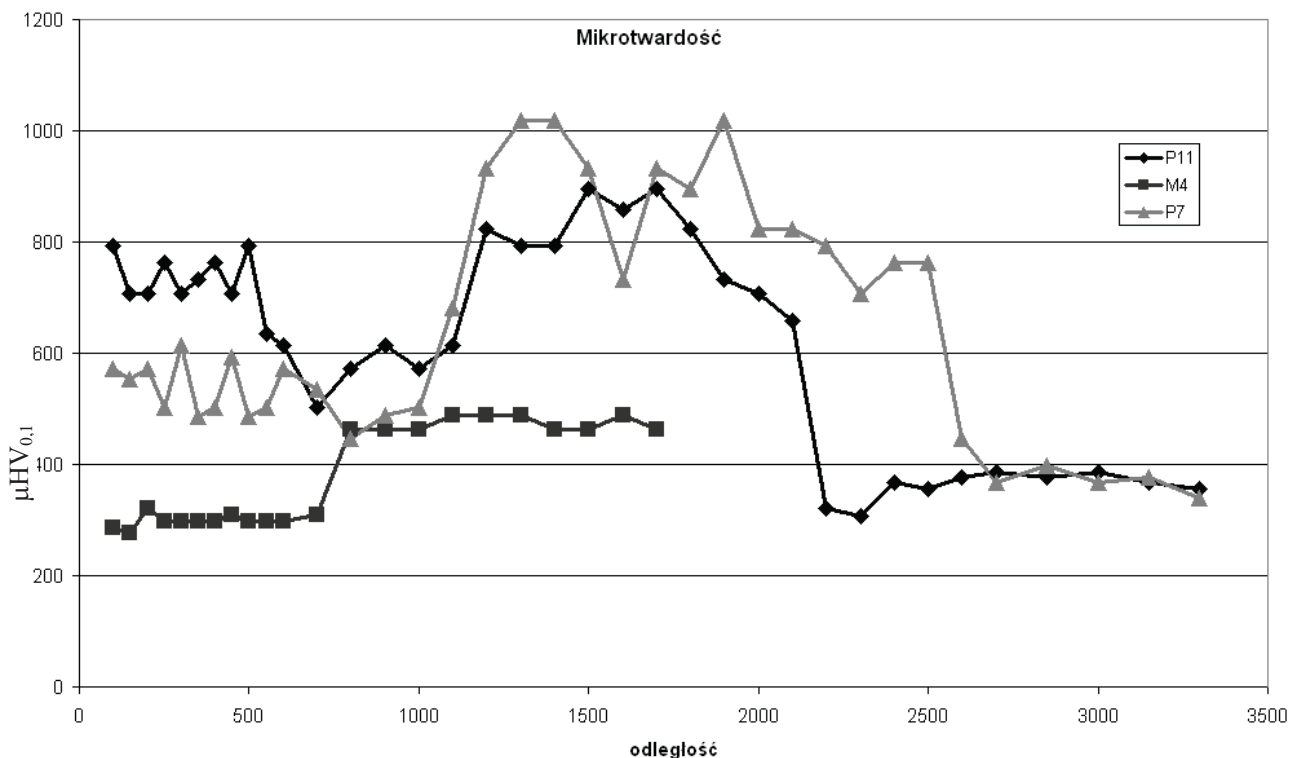
Rys. 3. Wyniki pomiarów parametrów warstwy z zależności od parametrów procesu a) udział materiału podłoża; b) wysokość nadlewu; c) głębokość przetopu  
 Fig. 3. Result of measurement surface layer independent of process parameter a) volume fraction materials base(VMB), b) height excess weld meta, c) depth fusion penetration

Powoduje to spadek UMP, a przy maksymalnej ilości proszku można uzyskać brak trwałego połączenia napoiny z podłożem na całej długości. Jednocześnie przy zwiększaniu ilości proszku uzyskuje się grubsze warstwy zewnętrzne (próbki P4-P8), które mogą być nowymi WW obrabianego przedmiotu (napawanie).

W procesie natapiania proszku NiCr uzyskano stosunkowo duży UMP nawet dla małych mocy wiązki lasera, co świadczy o innym oddziaływaniu wiązki lasera z proszkiem NiCr. Temperatura topnienia głównego składnika proszku Ni jest dużo niższa niż Cr, co powoduje mniejsze zapotrzebowanie energii na przetopienie proszku i tym samym więcej energii dociera do obrabianego elementu. W tym przypadku zmiana mocy wiązki nie miała istotnego wpływu na UMP, decydowała jednak o wysokości uzyskanej warstwy oraz o głębokości strefy wpływu ciepła (SWC). Dla proszku NiCr należy poszerzyć zakres badań o wpływ ilości podawanego proszku na geometryczne własności napoiny.

### 3.2. Badania właściwości mechanicznych

Pomiary mikrotwardości przeprowadzono liniowo w płaszczyźnie poprzecznego przekroju napoiny rozpoczynając od lica napoiny w kierunku materiału rodzimego, na mikrotwardościomierzu Shimadzu XX20 przy obciążeniu 100g. Wyniki pomiarów przedstawiono w formie wykresów dla wybranych próbek (rys. 4).



Rys. 4. Rozkład mikrotwardości w głąb materiału w zależności od parametrów procesu (Tab. 2)  
Fig. 4. Micro-hardness distribution independent of process parameter (Tab 2)

Wartości te różniły się w zależności od rodzaju i wartości parametrów procesu, jak również od rodzaju natapianego proszku. W przypadku stali 50H21G9N4 napawanej proszkiem NiCr zaobserwowano spadek mikrotwardości w napoinie, co jest spowodowane właściwościami głównego składnika tego proszku (Ni). Mikrotwardość materiału rodzimego stali austenitycznej (50H21G9N4) wynosiła ok. 400HV<sub>0,1</sub>, natomiast uzyskanej warstwy wynosiła ok. 300HV<sub>0,1</sub>.

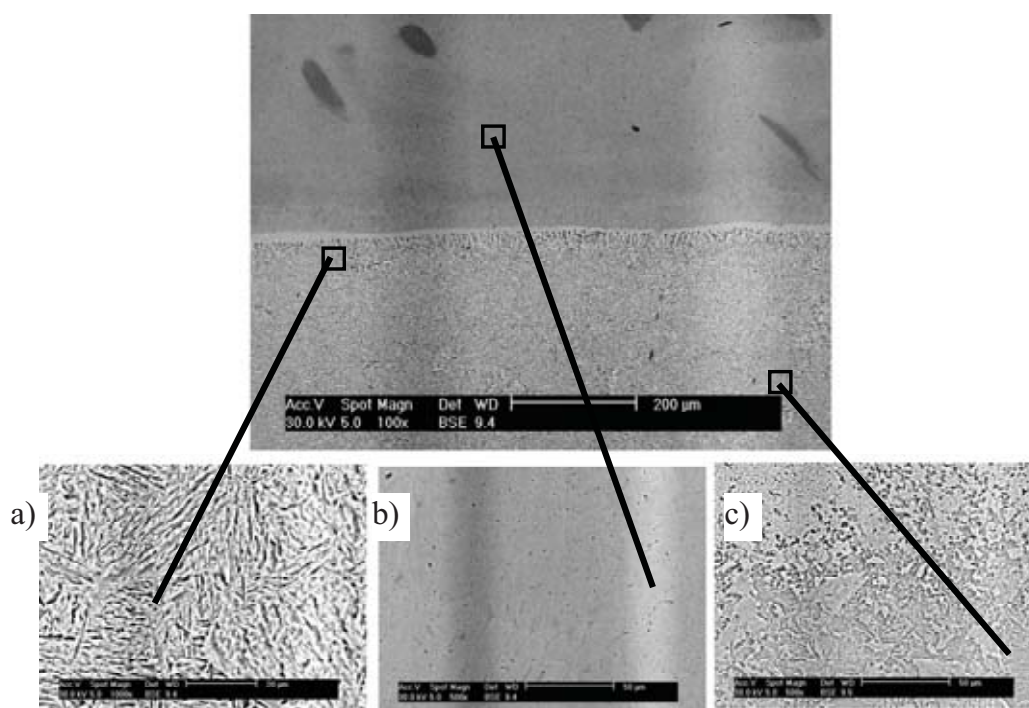
Zauważalny jest zatem znaczący spadek twardości warstwy wierzchniej po napawaniu laserowym. Fakt ten wskazuje na zastosowanie tego rodzaju proszku dla elementów, w których twardość powierzchni nie jest decydującym czynnikiem.

W przypadku natapiania proszkiem Cr zaobserwowano wzrost mikrotwardości uzyskanej warstwy w odniesieniu do materiału rodzimego. W wypadku napawania (próbki P4-P8) wzrost ten wyniósł ok.  $200\text{HV}_{0,1}$  i miał charakter nierównomierny. Może to być spowodowane występowaniem stref wydzielonego lub nie przetopionego chromu w obszarze napoiny (Rys. 2.). W przypadku większych mocy wiązki przy mniejszej ilości proszku (próbki P9-P13) przetop był pełniejszy i takie strefy już nie występują, a wzrost dochodzi do ok.  $300\text{HV}_{0,1}$  i jest bardziej równomierny. Stwierdzono również hartowanie się materiału rodzimego (stal 45) w strefie przejściowej, świadczy o tym wzrost mikrotwardości w tym obszarze.

### 3.3. Badania strukturalne

Badanie mikroskopowe przeprowadzono przy użyciu mikroskopu skaningowego Philips XL30. Próbkę natapianą proszkiem NiCr oraz Cr były trawione w roztworze  $\text{Fe}_3\text{Cl}$ . Na Rys. 5 i 6 przedstawiono strukturę warstwy wykonanej dla wybranych parametrów obróbki.

W mikrostrukturze strefy przetopionej, czyli wzbogaconej w chrom stwierdzono występowanie płaskiego frontu krzepnięcia na granicy z nieprzetopioną osnową przechodzący w kryształy kolumnowe i dendrytyczne ułożone równoległe do kierunku odprowadzania ciepła (Rys. 5b i 6b). Zaobserwowano również strukturę martenzytyczną, co potwierdza hartowanie się stali 45 w wyniku oddziaływania wiązki lasera tuż pod utworzoną warstwą (Rys. 5a i 6c).

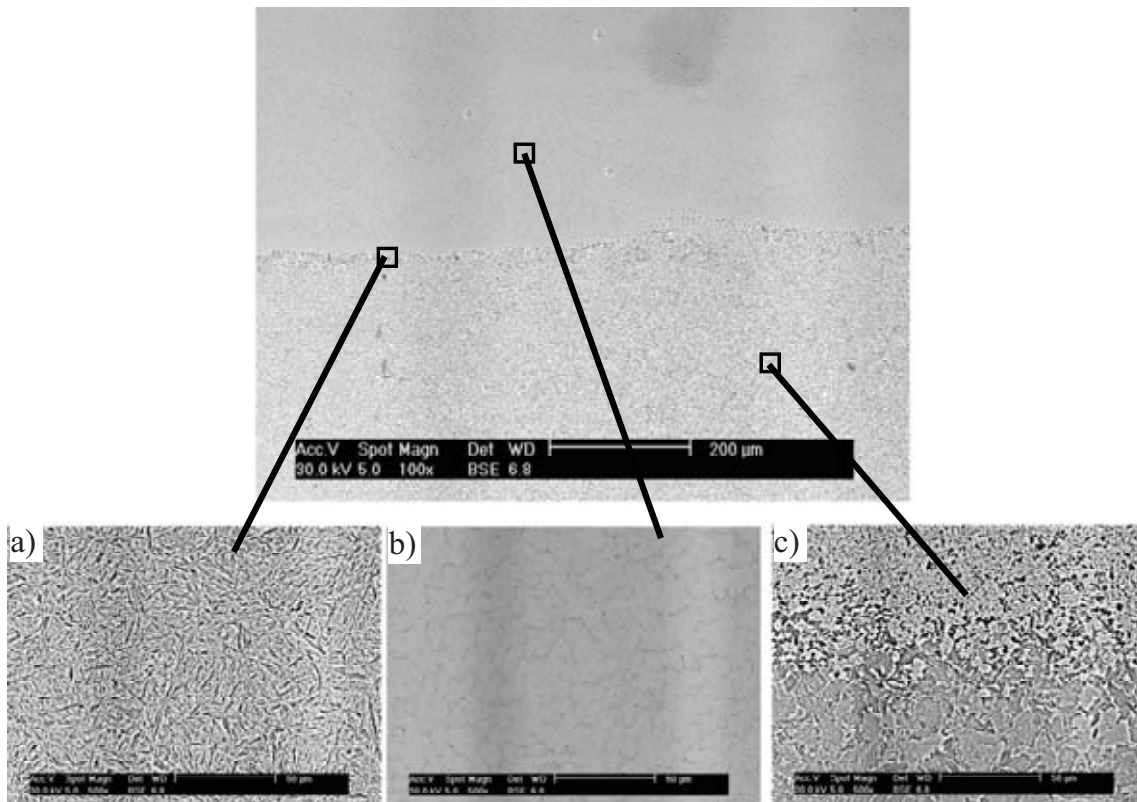


Rys. 5. Struktura warstwy wykonanej parametrami procesu P7 (Tab. 2) a) strefa przejściowa b) napoina; c) materiał rodzimy stal 45

Fig. 5. Overlay structure make process parameter P7 (Tab 2) a) weld interface, b)padding weld, c)stock steel 45

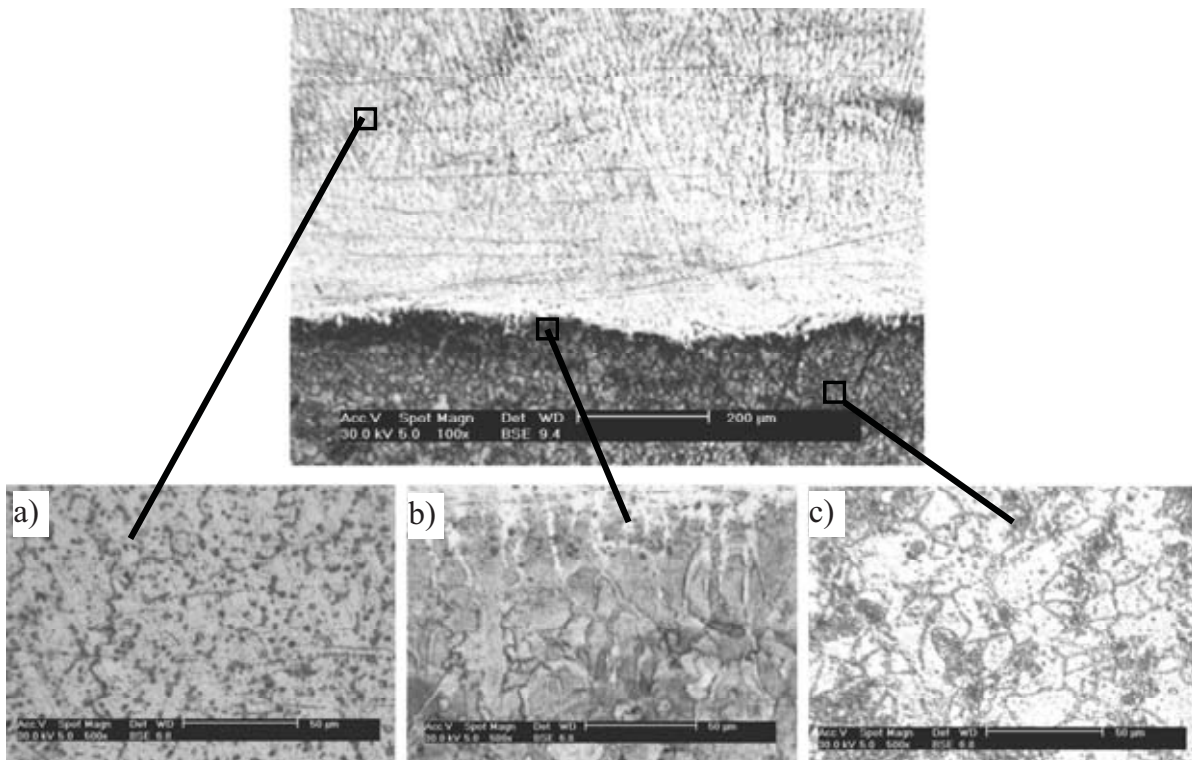
Wpływ oddziaływania wiązki lasera na podłoże ze stali 50H21G9N4 jest nie duży i zaobserwowano niewielki rozrost ziaren w strefie przejściowej (Rys. 7b). Struktura napoiny warstwy NiCr wykazuje znaczną porowatość, co może być wykorzystane do transportu i przemieszczania płynów smarujących w układach ciernych (Rys. 7a).

Dla wybranych próbek dokonano pomiaru liniowego rozkładu pierwiastków w wykonanej warstwie przy użyciu mikrosondy rentgenowskiej wzdłuż linii skanowania prostopadłych do natapianej powierzchni. Przykładowe rozkłady koncentracji poszczególnych pierwiastków przedstawiono na Rys. 8 i 9.



Rys. 6. Struktura warstwy wykonanej parametrami procesu P11 (Tab. 2) a) strefa przejściowa b) warstwa natopiona; c) materiał rodzimy stal 45

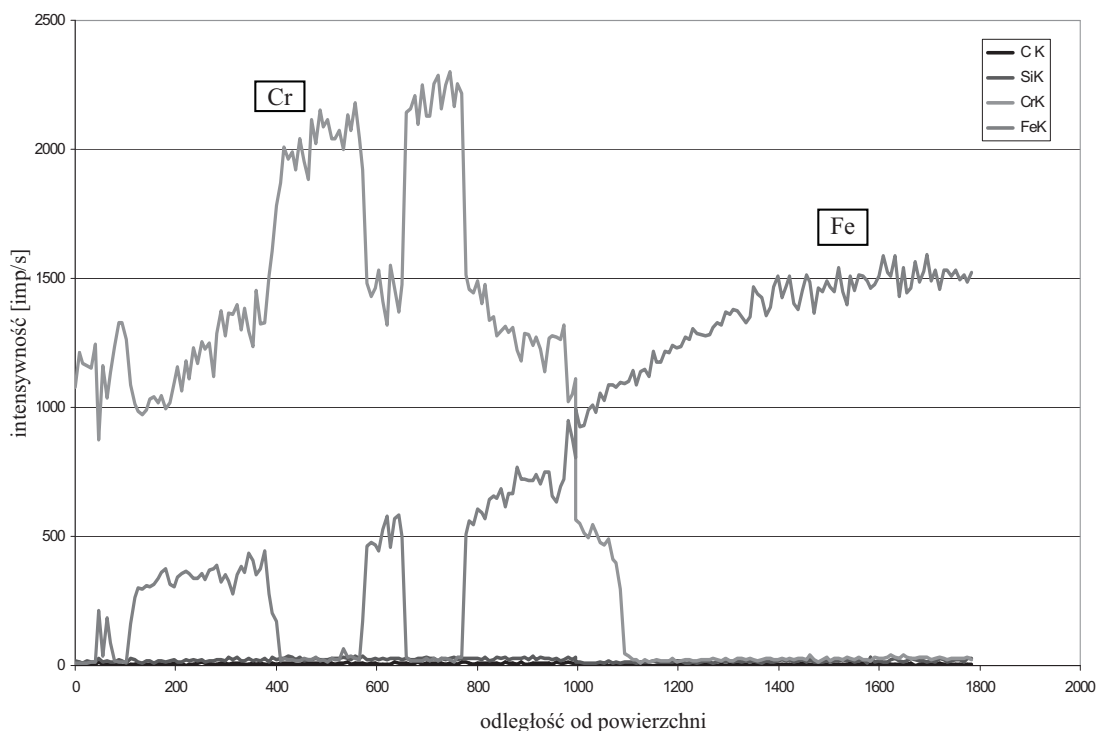
Fig. 6. Overlay structure make process parameter 11 (Tab. 2) a) weld interface, b) padding weld, c) stock steel 45



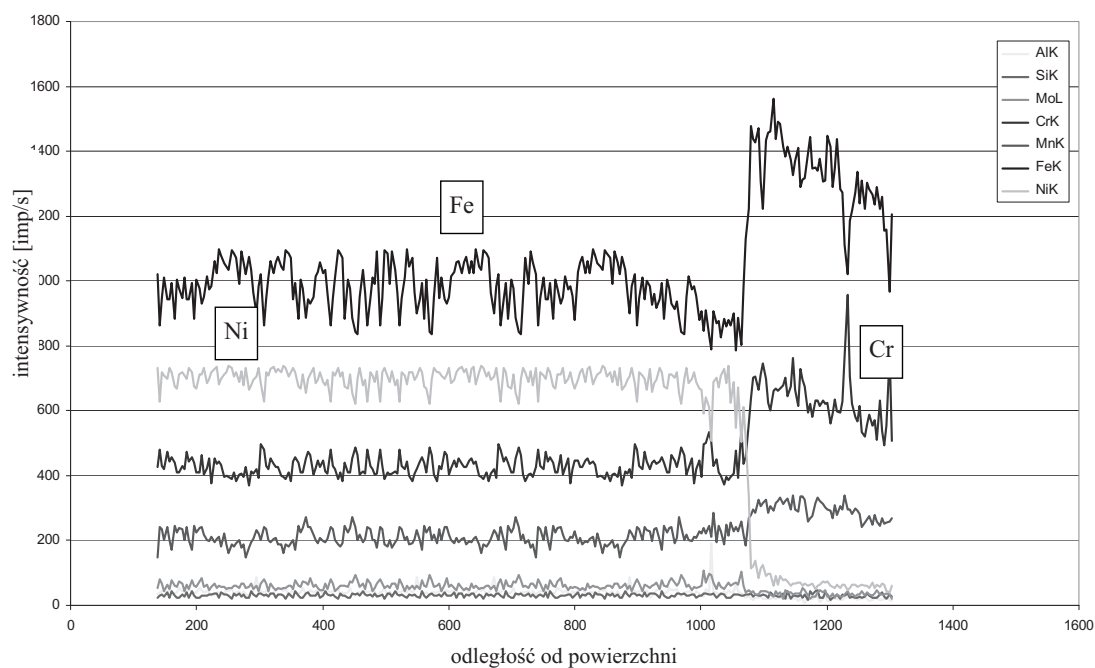
Rys. 7. Struktura warstwy wykonanej parametrami procesu M4 (Tab. 2) a) warstwa natopiona b) strefa przejściowa; c) materiał rodzimy stal 50H21G9N4

Fig. 7. Overlay structure make process parameter P7 (Tab. 2) a) weld interface, b) padding weld, c) stock steel 45





Rys. 8. Liniowy rozkład pierwiastków w warstwie natapianej (parametry procesu P7- Tab. 2)  
 Fig. 8. Linear distribution alloying elements (process parameter P7- Tab. 2)



Rys. 9. Liniowy rozkład pierwiastków w warstwie natapianej (parametry procesu M4 - Tab. 2)  
 Fig. 9. Linear distribution alloying elements (process parameter M4 - Tab. 2)

Z analizy przebiegu rozkładu pierwiastków w przypadku użycia proszku Cr wynika nierównomierna koncentracja natapianego składnika w warstwie, przy małych mocach wiązki lasera (Rys. 8). Świadczyć to może o niezupełnym przetopie podawanego proszku lub miejscowej koncentracji natapianego składnika w wyniku zawirowań wywołanych ruchami konwekcyjnymi w jeziorce wytwarzanej warstwy [8]. Rozkład pierwiastków w warstwie natapianej NiCr jest równomierny i odzwierciedla skład chemiczny użytego proszku (Rys. 9).

#### 4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Dotychczasowe badania wykazują istotny wpływ doboru parametrów napawania, zwłaszcza mocy wiązki lasera. Podczas początkowego etapu badań stwierdzono duży wpływ tego parametru na jakość i kształt napoiny w przypadku natapiania proszkiem Cr. Parametr ten jest mocno uzależniony od parametru ilości podawanego proszku oraz pojemności cieplnej napawanych elementów. W przypadku proszku NiCr stwierdzono niewielki wpływ zmiany mocy wiązki lasera na UMP, co może być spowodowane zbyt małą ilością podawanego proszku, dlatego też należy poszerzyć badania o wpływ tego parametru.

Badania mikrotwardości warstw natapianych proszkiem chromu potwierdzają znaczący wzrost twardości. Wynik ten można wykorzystać jako przesłankę do stosowania tego rodzaju warstw na elementy, od których wymaga się dużej odporności na zużycie. Twardość warstw NiCr ma wartość ok. 300HV i jest niższa od twardości podłoża na którym została utworzona. Twardość tej warstwy jest jednakże równa twardości szerokiej gamy stali stopowych i węglowych wyższej jakości, co nie dyskwalifikuje użycia tego rodzaju proszku do natapiania elementów pojazdów samochodowych.

Analiza struktury warstwy Cr wykazała budowę kryształów kolumnowych i układów dendrytów, powstałych w wyniku przebiegu kierunku frontu krystalizacji. Stwierdzono również hartowanie się podłoża (stal 45) w wyniku oddziaływania wiązki lasera. Struktura warstwy NiCr wykazała dużą porowatość. Mikropory mogą być wykorzystane do rozprzeczania i transportowania płynów smarujących w układach ciernych.

#### Literatura

- [1] De Damborenea, J. J., *Laser processing of NiCrAlFe alloy: microstructure evolution*, J. of Mat. Science, 27 pp. 1271-1274, 1992.
- [2] Fasasi, A. Y., Roy, S. K., Galerie, A., *Laser surface alloying of Ti-6Al-4V with silicon for improved hardness and high-temperature oxidation resistance*, Materials Letters, Vol. 13, pp. 204-211, 1992.
- [3] Klimpel, A., Mazur, M., *Podręcznik spawalnictwa*, Wydawnictwo Pol. Śl. Gliwice, 2004.
- [4] Klimpel, A., *Napawanie i natryskiwanie cieplne*, Warszawa, 2000.
- [5] Kusiński, J., *Lasery i ich zastosowanie w Inżynierii Materiałowej*, Kraków, 2000.
- [6] Smoleńska, H., Kończewicz, W., *Morphology studies of cobalt base clad layers produced by laser technology*, Inżynieria Materiałowa, 3 pp. 493-496, 2004.
- [7] Sobiecki, J., Patejuk, A., Bogdanowicz, Z., Kowalczyk, S., *Selected mechanical properties of glow discharge nitrided austenitic steel*, Material Science & Engineering, pp 198-202, 2004.
- [8] Woldan, A., Kusiński, J., Tasak, E., Kąc, S., *Wpływ laserowego stopowania stali węglowej chromem na strukturę i własności warstwy wierzchniej*, Inżynieria Materiałowa, 6 pp. 478-481, 2000.
- [9] Smoleńska, H., *Morfologia napawanych warstw na bazie kobaltu po utlenianiu i korozji w gazach spalinowych*, Problemy Eksploatacji, Vol. 1, 2006.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2009 jako projekt badawczy*