



Wpływ parametrów laserowego napawania proszkowego stali zaworowej na właściwości napoiiny

ZDZISŁAW BOGDANOWICZ, KRZYSZTOF GRZELAK

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Katedra Budowy Maszyn,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu zmian parametrów napawania na kształt oraz wybrane właściwości użytkowe warstw stelliteowych laserowo napawanych na stalach zaworowych X53CrMnNiN 21-9 oraz X43CrSi 9-3. Badaniom poddano warstwy stelliteowe napawane laserowo, plazmowo oraz techniką TIG, jak również materiał w stanie wyjściowym bez naniesionej warstwy stelliteowej. Stwierdzono najwyższą odporność warstwy stelliteowej na zużycie tribologiczne i utlenianie w wysokiej temperaturze dla elementów napawanych laserowo.

Słowa kluczowe: laserowe napawanie, stal zaworowa, stopy stelliteowe, właściwości użytkowe

Symbole UKD: 669.14

1. Wstęp

Z uwagi na ciągle rosnące wymagania konstrukcyjno-technologiczne stawiane zaworom silników spalinowych, wynikające ze zwiększania obciążeń silników i stosowanych coraz częściej paliw gazowych (LPG, CNG), istnieje konieczność szukania coraz to nowszych rozwiązań w zakresie zwiększenia ich trwałości. Materiały konstrukcyjne stosowane do produkcji zaworów wydechowych silników spalinowych powinny charakteryzować się dużą wytrzymałością, odpornością na działanie wysokiej temperatury, dużą odpornością na korozję w atmosferze spalin, dużą twardością i odpornością na zużycie tribologiczne [1]. Prace nad materiałami stosowanymi do produkcji zaworów są nieustannie rozwijane, wykorzystuje się w nich najnowsze osiągnięcia technologii materiałowej i technik wytwarzania (stopy intermetaliczne FeAl oraz kompozyty na osnowie tytanu) [2, 3, 4]. Jedną z metod kształtowania właściwości użytkowych zaworów jest nanoszenie powłok

metalicznych na najbardziej obciążone części zaworu. Powłoki te przewyższają właściwości materiału zaworu wykonanego ze stali zaworowej, co powoduje wzrost trwałości tego elementu.

Wytwarzanie powłok metalicznych realizuje się różnymi metodami m.in. spawalniczymi, cieplnymi, fizycznymi i chemicznymi. W procesach produkcji maszyn szerokie zastosowanie znalazły metody spawalnicze (natryskiwanie, napawanie), w których coraz częściej wykorzystuje się wiązkę lasera [5, 6]. 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 zastosowanie w przemyśle spawalniczym ze względu na ekonomiczność i wysoką jakość procesu.

W procesie napawania laserowego wykorzystuje się energię wiązki lasera, która stapia materiał dodatkowy w postaci drutów proszkowych lub proszków oraz nadtapia podłoże, tworząc w ten sposób trwałe połączenie metalurgiczne [7, 8, 9]. W procesie napawania laserowego wykorzystuje się gazy osłonowe do zabezpieczenia ciekłego metalu przed czynnikami zewnętrznymi, jak również jako nośnik materiału dodatkowego (proszku). Często używanymi gazami osłonowymi są Ar lub CO₂ i ich mieszanki.

Do zalet napawania laserowego można zaliczyć ograniczony wpływ oddziaływania cieplnego wiązki lasera na przedmiot, w wyniku czego uzyskuje się małe naprężenia i odkształcenia elementu po napawaniu. 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 [8].

Jako materiał natapiany na zawory silników spalinowych stosuje się głównie stopy kobaltu (zwane stellitami) w postaci drutów lub proszków. Stelity posiadają dużą odporność na działanie wysokiej temperatury w środowisku aktywnych gazów oraz odporność na zużycie ścierne i korozje.

2. Cel i zakres badań

Celem badań było określenie wpływu parametrów napawania na kształt i jakość napoiny wykonanej w procesie laserowego napawania proszkiem stelitowym stali zaworowej X53CrMnNiN 21-9, X43CrSi 9-3 oraz wyznaczenie wybranych właściwości użytkowych napawanych elementów. Skład chemiczny stali zaworowych przedstawiono w tabeli 1, a stosowanego w badaniach proszku stelitowego w tabeli 2.

TABELA 1

Stale zaworowe — skład chemiczny (PN-71/H-86022)

Znak stali	Zawartość składnika %					
	C	Mn	Si	Cr	Ni	inne
X43CrSi 9-3	0,35-0,45	max 0,7	2,0-3,0	8,0-10,0	max 0,6	–
X53CrMnNiN 21-9	0,47-0,57	8,0-11,0	max 0,5	20,0-22,0	3,25-4,50	N: 0,38-0,50

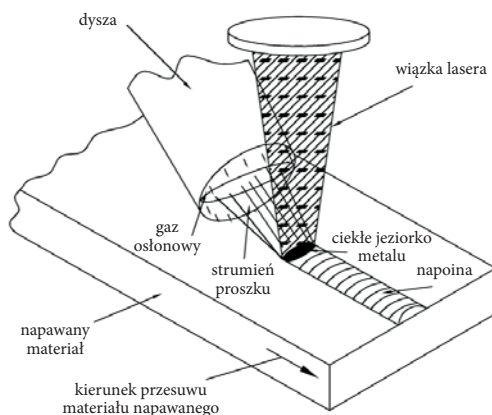
TABELA 2

Proszek stelliteowy — skład chemiczny

	Co	Cr	W	Mn	Si	Fe	C	Twardość
AMI 3901	reszta	30	8,5	0,5	1,8	0,6	1,25	40-45 HRC

Przedmiotem badań były próbki półcylindryczne ($\varnothing 20 \times 30$), wykonane ze stali zaworowych X53CrMnNiN 21-9 oraz X43CrSi 9-3 stosowanych w produkcji zaworów wydechowych silników spalinowych: m.in. silnika lotniczego ASz-62, W46 oraz SW 680. Napawanie przeprowadzono przy użyciu lasera diodowego dużej mocy HDPL 020DL firmy ROFIN, znajdującego się w Katedrze Spawalnictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Mechanizm napawania proszkowego przy użyciu lasera diodowego polega na nadtopieniu materiału podłoża wiązką lasera w wyniku absorpcji promieniowania. Do utworzonego jeziorka ciekłego metalu wdmuchiwany jest materiał napawany w postaci proszku za pomocą gazu transportującego (rys. 1).



Rys. 1. Schemat proszkowego napawania laserem diodowym ROFIN 020 DL

Napawanie przeprowadzono przy zmiennych parametrach procesu napawania (tj. zmiana gęstości mocy wiązki P [W/mm^2], prędkości napawania v [mm/min], ilości podawanego proszku q [g/min]) przedstawionych w tabeli 3. W procesie napawania jako gazu osłonowego użyto argonu. Proszek spawalniczy był podawany za pomocą gazu transportującego (argon) poprzez eliptyczną dyszę do jeziora napoiny. Konstrukcja dyszy umożliwia podawanie jednocześnie gazu osłonowego i wdmuchiwanie proszku, który jest dozowany z podajnika talerzowego. Ognisko lasera o prostokątnym przekroju $6,8 \times 1,8$ znajdowało się na powierzchni próbki. Powierzchnia próbek była szlifowana i odtłuszczona. Próbki 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).

TABELA 3

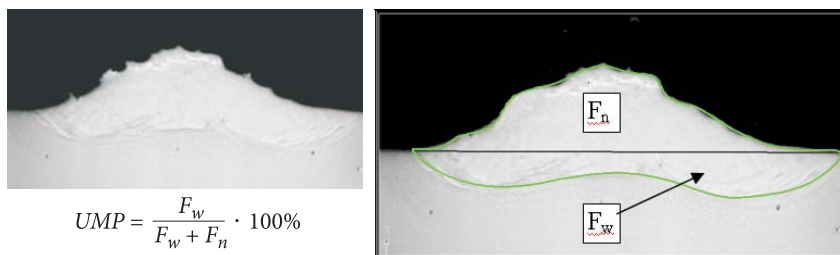
Parametry procesu napawania

Parametry stałe lasera diodowego ROFIN DL 020: plamka: plamka prostokątna $6,8 \times 1,8$ [mm]; ogniskowa: $f = 82$ [mm], ognisko znajduje się na powierzchni próbki; gaz ochronny: argon, prędkość przepływu $V_{pGO} = 10$ [l/min]; gaz transportujący: argon, prędkość przepływu $V_{pGT} = 6$ [l/min], ciśnienie $p_{GT} = 2$ [bar]; dysza podająca proszek: dysza eliptyczna 10×3 [mm]; kąt pochylecia dyszy $\beta = 45^\circ$; dysza podająca gaz osłonowy $\phi 12$ [mm].								
Zmiana gęstości mocy lasera					Zmiana ilości podawanego proszku q			
Lp.	Ozn.	$V_{\text{nap.}}$ [mm/min]	q_{proszku} [g/min]	moc [W/cm^2]	Ozn.	$V_{\text{nap.}}$ [mm/min]	q_{proszku} [g/min]	moc [W]
1	M1	200	6,3	$4,9 \cdot 10^3$	I1	200	0,1	1200
2	M2			$6,5 \cdot 10^3$	I2		0,6	
3	M3			$8,1 \cdot 10^3$	I3		2,9	
4	M4			$1,02 \cdot 10^4$	I4		4,2	
5	M5			$1,18 \cdot 10^4$	I5		7,7	
6	M6			$1,3 \cdot 10^4$	Zmiana prędkości napawania			
7	M7			$1,47 \cdot 10^4$	V1	100	2,9	1200
8	M8			$1,63 \cdot 10^4$	V2	150		
9	M9			$1,8 \cdot 10^4$	V3	250		

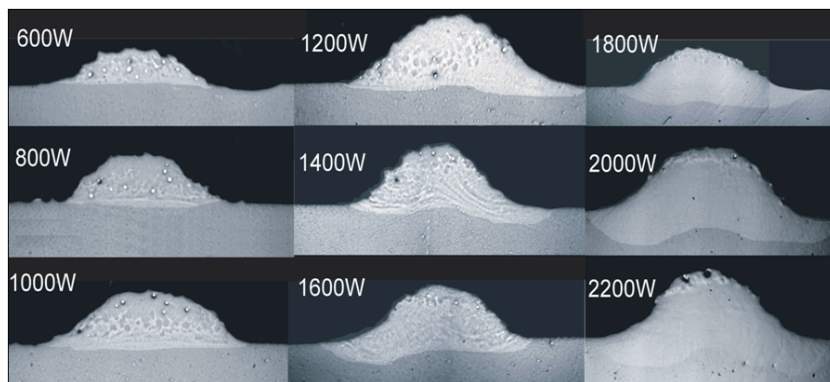
3. Wyniki badań

3.1. Pomiary parametrów geometrycznych napoiny

Ocenę procesu napawania przeprowadzono na podstawie jakościowej i geometrycznej oceny wykonanych ściegów napoiny. Określono procentowy udział materiału podłoża (UMP) w napoinie oraz grubość napawanej warstwy (rys. 2) na podstawie zdjęć wykonanych na zglądach metalograficznych w poprzecznym przekroju próbek (rys. 3). Sposób obliczenia procentowego udziału materiału podłoża UMP przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Sposób określania UMP w napoinie: F_n — pole powierzchni nadlewu napoiny; F_w — pole powierzchni wtopienia napoin [9] (pow. $\times 15$)

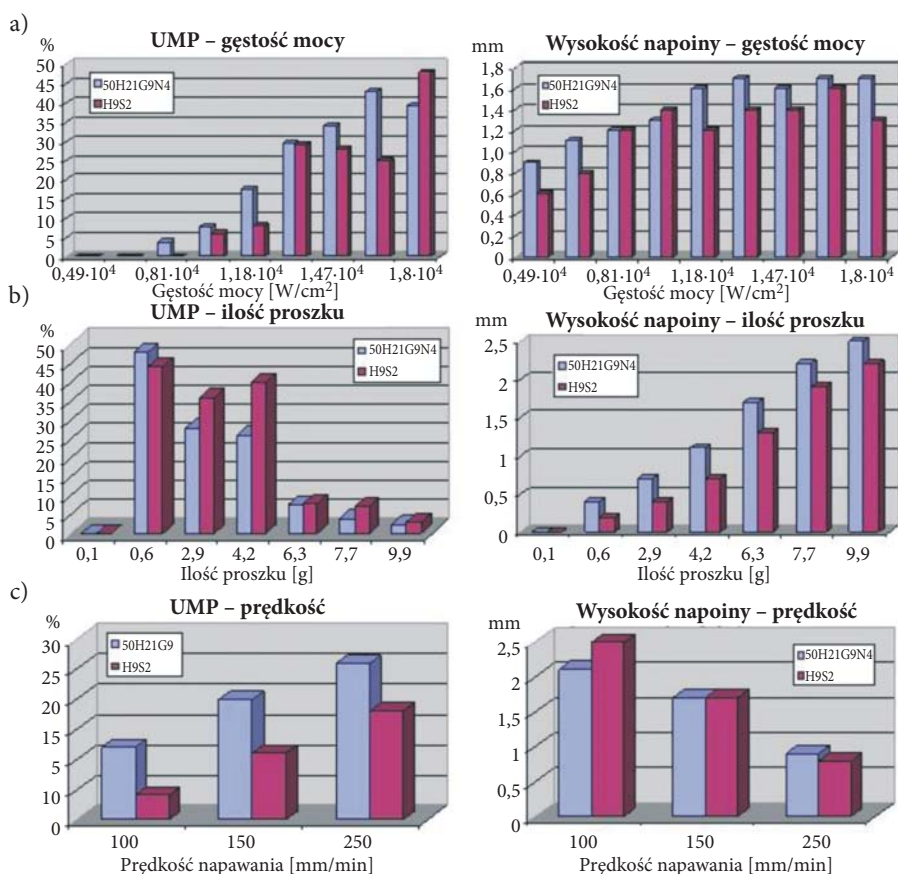


Rys. 3. Zmiana geometrii napoiny w zależności od mocy wiązki (stal X43CrSi 9-3) (pow. $\times 15$)

Analiza wyników badań pozwoliła ustalić wpływ poszczególnych parametrów na proces tworzenia się napoiny. Parametr gęstości mocy wiązki lasera ma decydujący wpływ na głębokość przetopu warstwy materiału i topienie podawanego proszku. Wraz ze wzrostem gęstości mocy wiązki wzrasta UMP (rys. 4a), co wskazuje, że następuje głębsze przetopienie podawanego proszku, a tworząca się napoina ma bardziej płaskie lico. Podczas napawania część energii wiązki lasera jest absorbowana

przez podawany proszek, co ma wpływ na wielkość tworzonego jeziorka napoiny, a tym samym wpływa na głębokość przetopu. Zmiana parametru ilości podawanego proszku powoduje, poprzez zwiększanie ilości proszku, większe absorbowanie energii wiązki przez podawany proszek oraz zasypywanie jeziorka przetopionego materiału. Powoduje to spadek UMP, a przy maksymalnej ilości proszku można uzyskać brak trwałego połączenia napoiny z podłożem na całej długości (rys. 4b).

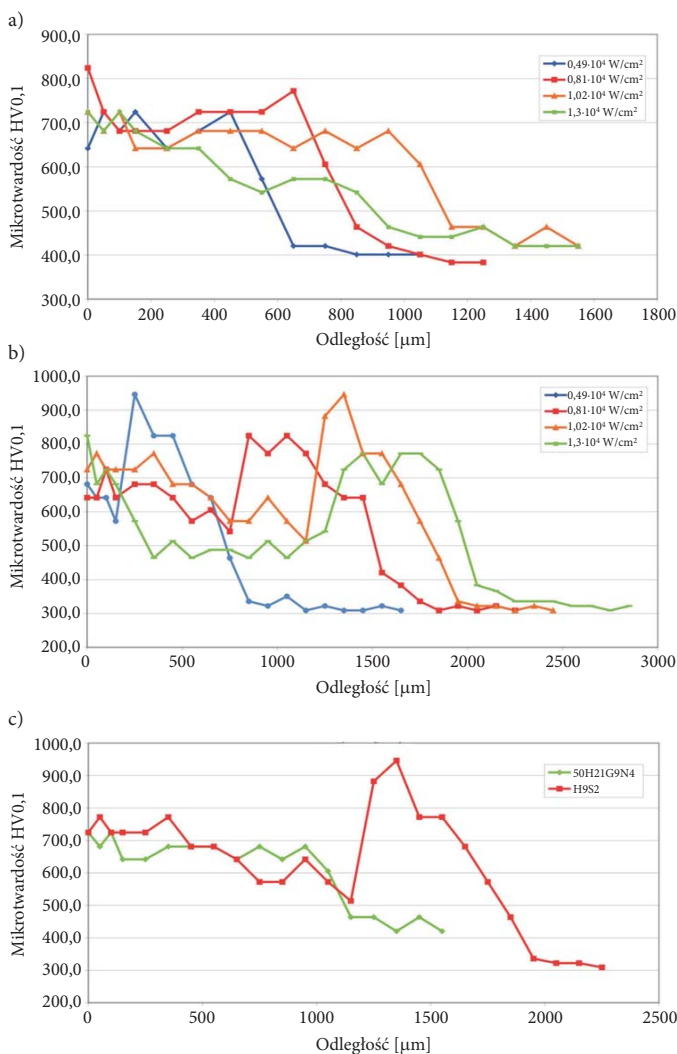
Przy dobranej gęstości mocy wiązki i odpowiedniej ilości proszku, zmiana prędkości powoduje znaczący wzrost wysokości napoiny wraz ze spadkiem prędkości przy zachowaniu dopuszczalnej wartości UMP w napoinie (rys. 4c). Parametr ten może więc być wykorzystywany jako jedyna zmienna w procesie napawania określonych elementów (gabaryty, materiał) w procesie technologicznym. Ilość proszku i gęstość mocy wiązki wpływają na jakość napawanej warstwy, a prędkość na wydajność procesu napawania.



Rys. 4. Wartości UMP i wysokości napoiny w zależności od zmiany: a) gęstości mocy wiązki; b) ilości podawanego proszku; c) prędkości napawania

3.2. Pomiary mikrotwardości napoiny

Pomiary mikrotwardości przeprowadzono liniowo w płaszczyźnie poprzecznego przekroju napoiny, rozpoczynając od lica napoiny w kierunku materiału rodzimego, za pomocą mikrotwardościomierza Shimadzu XX20 przy obciążeniu 100 g. Wyniki pomiarów przedstawiono w formie wykresów dla wybranych wartości gęstości mocy wiązki lasera (rys. 5).



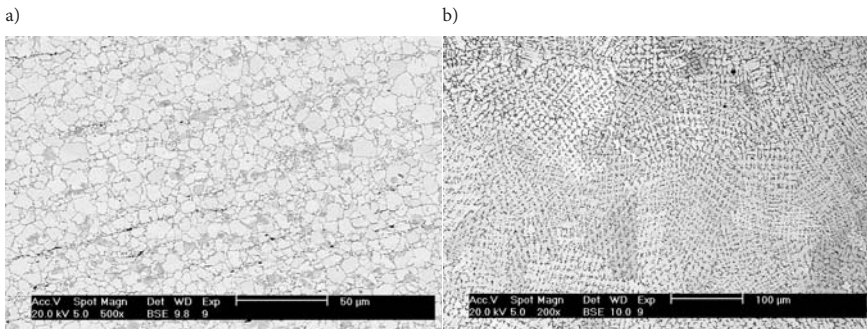
Rys. 5. Rozkład mikrotwardości napoiny wykonanej z różną gęstością mocy wiązki lasera: a) stal X53CrMnNiN 21-9; b) stal X43CrSi 9-3; c) rozkład mikrotwardości napoiny stali X53CrMnNiN 21-9 i X43CrSi 9-3 gęstość mocy: $1,02 \cdot 10^4$ [W/cm²]; $q_{\text{prosz}} = 6,3$ [g/min]; $V_{\text{nap}} = 200$ [mm/min]

Uzyskane wartości mikrotwardości napoiny dla stali X53CrMnNiN 21-9 mieszczą się w przedziale od 620 do 750 $HV_{0,1}$, natomiast dla stali X43CrSi 9-3 w przedziale od 650 do 800 $HV_{0,1}$.

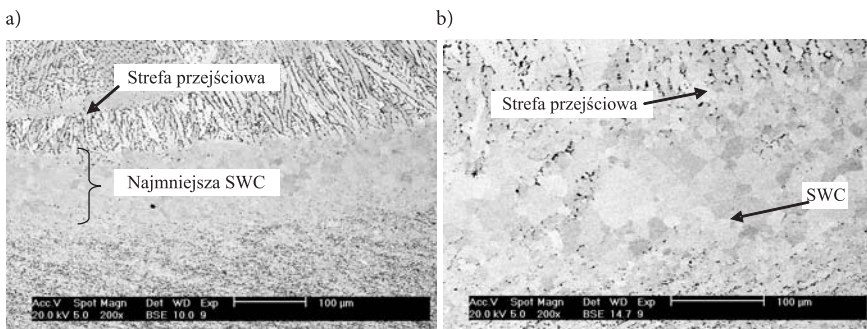
Wartości te różniły się w zależności od rodzaju i wartości parametrów napawania, jak również od rodzaju materiału rodzimego. W przypadku stali X43CrSi 9-3 zaobserwowano wzrost mikrotwardości w obszarze przejściowym pomiędzy napoiną a materiałem rodzimym, co jest spowodowane hartowaniem materiału w tej strefie. Mikrotwardość materiału rodzimego stali austenitycznej (X53CrMnNiN 21-9) wynosiła ok. 400 $HV_{0,1}$, a stali martenzytycznej (X43CrSi 9-3) ok. 300 HV. Zauważalny jest zatem znaczący przyrost twardości warstwy wierzchniej po napawaniu laserowym.

3.3. Badania strukturalne napoiny

Badanie struktury napoiny przeprowadzono przy użyciu mikroskopu skaningowego Philips XL30 wyposażonego w analizator rentgenowski DX4-EDAX, który umożliwia analizę składu chemicznego techniką EDS. Próbki były trawione elektrolitycznie w roztworze Fe_3Cr . Zdjęcia struktury przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

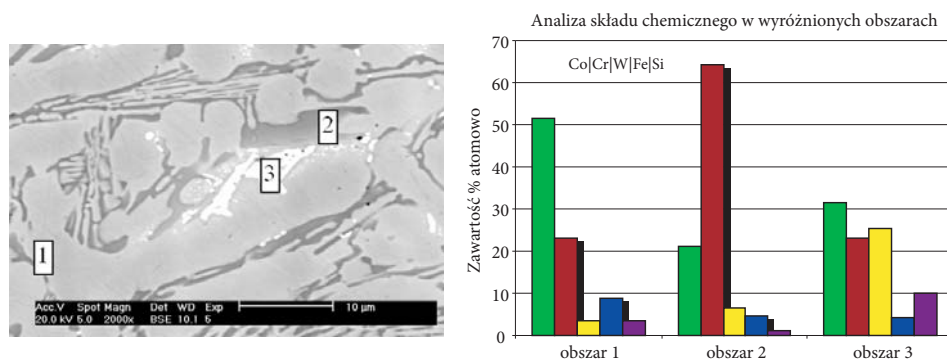


Rys. 6. Struktura materiału rodzimego: a) stali X53CrMnNiN 21-9; b) napoiny stellitej



Rys. 7. Struktura strefy przejściowej dla parametrów napawania: $v_{nap.} = 200$ mm/min; $q_{prosz.} = 6,3$ g/min; gęstość mocy: a) $1,02 \cdot 10^4$ [W/cm²]; b) $1,8 \cdot 10^4$ [W/cm²]

Mikrostruktura napawanej warstwy jest drobnoziarnista (rys. 6b), a więc korzystna pod względem właściwości użytkowych. Strukturę napoiny stanowią płytkowe węgliki w układach dendrytycznych w otoczeniu stref dominujących w wolfram i kobalt. W zależności od parametrów napawania laserowego zmienia się nie tylko jakość i kształt napoiny, ale również wpływ na strefę przejściową pomiędzy materiałem rodzimym i napoینą oraz na strefę wpływu ciepła (SWC). W strefie tej można zaobserwować rozrost ziaren, szerokość strefy rozrostu jest zróżnicowana w zależności od parametrów napawania, także wielkość tych ziaren jest różna, (rys. 7). Punktowa analiza składu chemicznego wyróżniających się obszarów struktury (rys. 8), dendrytów (1) oraz fazy zawartej w przestrzeniach międzydendrytycznych (2), (3), wykazała znaczącą zawartość kobaltu w obszarze 1, chromu w obszarze 2 oraz chromu i wolframu w obszarze 3.



Rys. 8. Zawartość poszczególnych pierwiastków w wyróżnionych strefach napoiny

4. Badania właściwości użytkowych warstw stellitowych laserowo napawanych proszkiem stellitowym

4.1. Badania odporności warstwy stellitowej na zużycie tribologiczne w warunkach tarcia suchego

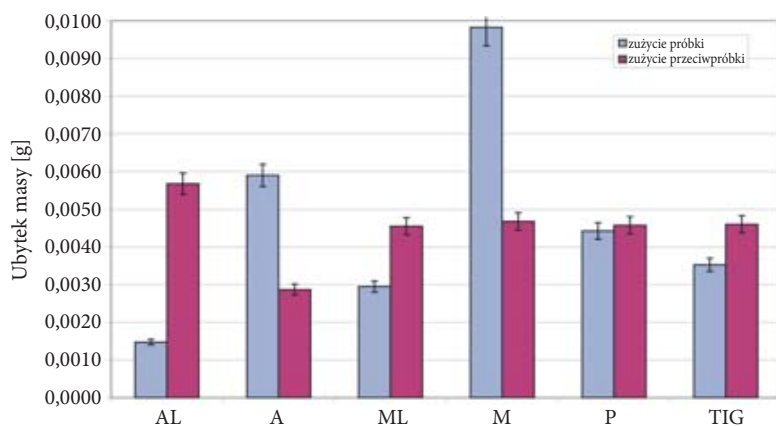
Badania zużywania tribologicznego przeprowadzono przy skojarzeniu ślizgowym trących elementów o styku liniowym (rolka–kłoczek) w warunkach tarcia suchego. Badaniom poddano warstwy stellitowe napawane trzema technikami: laserowo, plazmowo oraz TIG. Dodatkowo badaniom poddano próbki wykonane z materiału rodzimego bez naniesionej warstwy w stanie po obróbce cieplnej zgodnie z PN 71/H-86022. Badanie miało na celu ocenę przewidywanego wzrostu odporności na zużywanie tribologiczne warstwy stellitowej napawanej laserem w porównaniu z warstwami wykonanymi innymi technikami (plazmowo i TIG) oraz z materiałem w stanie wyjściowym. Jako przeciwpróbkę zastosowano rolękę ze stali 100Cr6 o twardości 64 HRC.

Badania zużycia przez tarcie przeprowadzono za pomocą maszyny tribologicznej T05, która umożliwia ciągły pomiar m.in. przemieszczenia liniowego zużywanej próbki, siły tarcia i temperatury w węźle tarcia. Dodatkowo zużycie określono metodą wagową, rejestrując zmianę masy próbki i przeciwpróbki przed i po badaniu. Dokonano również identyfikacji głównego mechanizmu zużycia w badanym węźle tribologicznym.

Badania przeprowadzono w następujących warunkach tarcia węzła ślizgowego: obciążenie styku $P = 200$ N, droga tarcia $s = 3000$ m, prędkość względna trących elementów $1,6$ m/s.

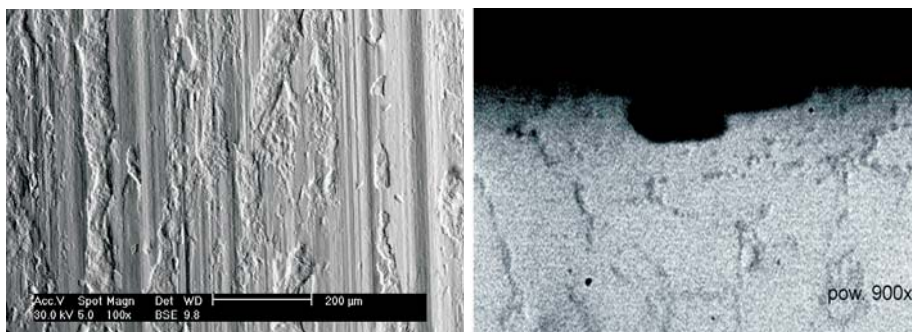
Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów sporządzono wykres porównawczy zmiany masy próbek i przeciwpróbek poddanych próbie tarcia (rys. 9). Na wykresie można zauważyć mniejsze ubytki masy próbek z warstwą stelliteową napawaną laserowo w porównaniu z materiałem wyjściowym oraz warstwami napawanymi plazmowo i TIG. Próbki z warstwą stelliteową napawaną laserem na stali X53CrMnNiN 21-9 (AL) oraz stali X43CrSi 9-3 (ML) wykazały najmniejszy ubytek masy. Warstwy stelliteowe napawane techniką plazmową oraz TIG cechują się nieznacznie większym ubytkiem masy w porównaniu z warstwą laserową. Największy ubytek masy zanotowano dla próbek z materiałów w stanie wyjściowym (stali X53CrMnNiN 21-9 i X43CrSi 9-3). Na podstawie zdjęć mikroskopowych powierzchni trących oraz zdjęć przekrojów poprzecznych próbek po próbie tarcia stwierdzono, że głównym mechanizmem zużycia jest zużywanie adhezyjne pierwszego rodzaju [10, 11, 12] (rys. 10).

Stwierdzono występowanie szczytów mikronierówności, a następnie ich ścinanie, co powodowało powstawanie wyrw na powierzchni próbki oraz namazań materiału



Rys. 9. Zużycie określone poprzez ubytek masy próbek oznaczenia: A — stal X53CrMnNiN 21-9; M — X43CrSi 9-3; warstwa stelliteowa wykonana: AL — laserowo (na stali X53CrMnNiN 21-9); ML — laserowo (stal X43CrSi 9-3); P — plazmowo

próbki na przeciwpróbce. W wyniku ścinania mikronierówności w przypadku próbki ze stali X43CrSi 9-3 dodatkowo zaobserwowano mechanizm mikroskrawania.



Rys. 10. Ślady zużycia adhezyjnego w wyniku sześcienia (warstwa stelitowa na stali X43CrSi 9-3)

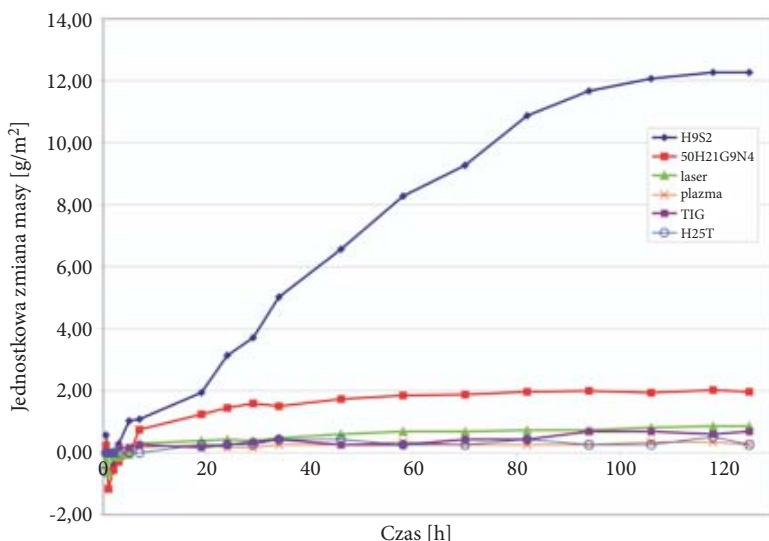
4.2. Badania odporności warstwy stelitowej na utlenianie w wysokiej temperaturze

Ocenę kinetyki utleniania warstwy stelitowej w wysokiej temperaturze przeprowadzono metodą grawimetryczną. Pomiar polegał na wygrzewaniu próbek w temperaturze 800°C przez okres 125 h. Temperaturę taką osiągają zawory wydechowe silników spalinowych mocno obciążonych [14]. W czasie wygrzewania prowadzono pomiar masy próbek w określonych odstępach czasu. Na podstawie uzyskanych pomiarów sporządzono wykres jednostkowej zmiany masy próbki w funkcji czasu trwania eksperymentu (rys. 11).

Próbki z warstwą stelitową napawaną różnymi technikami były wykonane w postaci prostopadłościanu o wymiarach 24 × 16 mm i grubości 3 mm. Napawana warstwa posiadała grubość min. 2 mm. Warstwy stelitowe napawane były na podłożu ze stali żaroodpornej 1.4749Ti posiadającej najwyższą odporność na utlenianie w wysokiej temperaturze.

Uzyskane wyniki wskazują na zróżnicowane zachowanie się badanych materiałów w środowisku utleniającym (powietrze) w wysokiej temperaturze. Stal X43CrSi 9-3 w stanie wyjściowym w początkowym okresie nie wykazuje tendencji do narastania warstewki tlenków, a nawet obserwujemy chwilowy spadek masy. Po okresie wygrzewania 30 godzin przyrost warstwy tlenków jest znaczny i ma charakter narastający. Po okresie 100 godzin obserwujemy stabilizację procesu narastania warstwy tlenkowej (rys. 11).

W przypadku stali X53CrMnNiN 21-9 oraz próbek z warstwą stelitową nie widać znaczących przyrostów masy. W początkowym okresie próbki ze stali X53CrMnNiN 21-9 oraz warstwa napawana laserowo wykazuje nieznaczny ubytek



Rys. 11. Jednostkowa zmiana masy próbek w funkcji czasu trwania eksperymentu w temperaturze 800°C

masy. Po 30-godzinnym wygrzewaniu następuje nieznaczny przyrost masy próbek z warstwami stelitowymi oraz ze stali X53CrMnNiN 21-9 i utrzymuje się on na zbliżonym poziomie do końca trwania eksperymentu (rys. 11). Jest to związane z równomiernym pokryciem próbek warstwą tlenków, która zapobiega dalszemu utlenianiu, a dodatkowo warstwa ta jest bardzo stabilna i nie wykazuje tendencji do odpadania [13]. Takie zachowanie materiałów obserwowano w badaniach żaroodporności w temperaturze 800°C.

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

1. Badania wykazały istotny wpływ doboru parametrów napawania, zwłaszcza gęstości mocy wiązki lasera na kształt napoiwy oraz jakości połączenia metalurgicznego wykonywanej warstwy z podłożem. Stwierdzono wysoką korelację parametru gęstości mocy wiązki z parametrem ilości podawanego proszku oraz pojemności cieplnej napawanych elementów. Parametr prędkości nie wpływa istotnie na jakość połączenia napoiwy z materiałem rodzimym. Ma on jednak duży wpływ na wymiary geometryczne napoiwy, co może być wykorzystane w technologii produkcji tą techniką i wpływać na wydajność procesu.
2. Badania mikrotwardości napawanych laserowo warstw potwierdzają znaczący wzrost mikrotwardości powłoki w odniesieniu do materiału podłoża. Mikrotwardość wzrasta z 400 do 720 HV dla stali X53CrMnNiN21-9 oraz z 300 do 800HV_{0,1} dla stali X43CrSi 9-3.

3. Analiza struktur napawanych laserowo warstw wykazuje ich drobnoziarnisty charakter, co jest bardzo korzystne z uwagi na ich właściwości użytkowe.
4. Badania tribologiczne wykazały najmniejsze ubytki masy próbek z laserowo napawaną warstwą stelliteową w warunkach tarcia suchego. Zużycie to jest mniejsze zarówno w porównaniu z materiałem rodzimym badanych stali zaworowych, jak również z warstwami napawanymi innymi technikami (plazmowo i TIG). Przykładowo w badaniach tribologicznych ubytek masy próbki napawanej techniką laserową wynosił 1,4mg, plazmową — 4,3 mg, TIG — 3,5 mg.
5. Badania żaroodporności potwierdziły dużą odporność na utlenianie w wysokiej temperaturze warstw stelliteowych. Nie zauważono istotnego wpływu techniki napawania warstwy stelliteowej na zmiany masy próbek podczas wygrzewania. W temperaturze 800°C na stali X43CrSi 9-3 powstawała duża ilość tlenków w postaci warstwy, która była stabilna i nie odpryskiwała podczas badań. Przebieg zmian masy próbek ze stali X53CrMnNiN 21-9 w temperaturze 800°C wykazuje początkowo przyrost warstwy tlenków, następnie proces ten ulega stabilizacji.

Artykuł wpłynął do redakcji 20.07.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w październiku 2009 r.

LITERATURA

- [1] L. A. DOBRZAŃSKI, *Metaloznawstwo z podstawami nauki o materiałach*, WNT, Warszawa, 2000.
- [2] K. LIUA, Y. C. MAA, M. GAOA, G. B. RAOA, Y. Y. LIA, K. WEIA, M. H. XINHUA WUB, *Single step centrifugal casting TiAl automotive valves*, Lorettob Intermetallics.
- [3] T. TOSHIMITSU, *Gamma Ti aluminides for non-aerospace applications*, Current Opinion in Solid State and Materials Science, 4, 1999, 243-248.
- [4] B. PAINTER, R. SHIVPURI, T. ALTAN, *Prediction of die wear during hot-extrusion of engine valves*, Journal of Materials Processing Technology, 59, 1996, 132-143.
- [5] T. BURAKOWSKI, T. WIERZCHOŃ, *Inżynieria powierzchni metali*, WNT, Warszawa, 1995.
- [6] T. BURAKOWSKI, E. ROLIŃSKI, T. WIERZCHOŃ, *Inżynieria powierzchni metali*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1992.
- [7] J. KUSIŃSKI, *Lasery i ich zastosowanie w inżynierii materiałowej*, Kraków, 2000.
- [8] A. KLIMPEL, M. MAZUR, *Podręcznik spawalnictwa*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2004.
- [9] A. KLIMPEL, *Napawanie i natryskiwanie cieplne*, Warszawa, 2000.
- [10] T. KAŁDOŃSKI, *Tribologia i płyny eksploatacyjne*, Wybrane problemy tribologii, WAT, Warszawa, 1995.
- [11] M. HEBDA, A. WACHAL, *Tribologia*, WNT, Warszawa, 1980.
- [12] P. SOLSKI, S. ZIEMBA, *Zagadnienia zużycia elementów maszyn spowodowanego tarciem*, PWN, Warszawa, 1969.

- [13] ST. MROWEC, *Kinematyka utleniania metali*, Wydawnictwo Śląsk, 1982.
- [14] J. LANC, *Zawory silników spalinowych*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1963.

Z. BOGDANOWICZ, K. GRZELAK

Influence of powder laser welding of surface parameters on padding weld quality

Abstract. The article presents experimental results of the influence of laser welding of surface parameters on the chosen usable proprieties of stellite layers on X53CrMnNiN 21-9 and X43CrSi 9-3 valve steels. Laser, plasma and TIG overlay welding stellite layers were subjected to the tests as well as material being in the initial state, without the plotted stellite layer, was investigated. The highest resistance of the stellite layer was affirmed on abrasive wear and oxidation at high temperature for elements with powder laser overlay welding surface.

Keywords: laser surfacing welding, valve steel, stellite alloys, usable properties

Universal Decimal Classification: 669.14