



12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

Badania technologii napawania laserowego i plazmowego proszkami na osnowie kobaltu, przyłgni grzybków zaworów ze stali X40CrSiMo10-2

A. Klimpel, A. Lisiecki, D. Janicki

Katedra Spawalnictwa, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice

W artykule przedstawiono wyniki badań technologii napawania laserowego proszkowego oraz plazmowego powierzchni roboczej (przyłgni) grzybków zaworów silników okrętowych ze stali X40CrSiMo10-2. Wykazano, że jest możliwe wykonanie wysokiej jakości napoin proszkami na osnowie kobaltu, przy czym proces napawania laserem HPDL zapewnia wyższą dokładność sterowania jakością i kształtem napoin oraz energią liniową napawania (udziałem materiału podłoża w napoinie) w stosunku do procesu napawania PTA.

1. BADANIA TECHNOLOGII NAPAWANIA LASEROWEGO PROSZKOWEGO

Badania nad opracowaniem technologii napawania laserowego proszkowego powierzchni roboczej (przyłgni) grzybków zaworów silników okrętowych ze stali X40CrSiMo10-2, przeprowadzono za pomocą lasera diodowego dużej mocy HPDL firmy ROFIN SINAR DL 020, o maksymalnej mocy wiązki 2,3 kW. Laser ROFIN SINAR DL 020 zawiera głowicę wyposażoną w dwa pakiety diod zasilanych z oddzielnych źródeł prądu, układ sterowania mocą wiązki laserowej oraz układ chłodzenia pakietów diod, rys. 1 i tabl. 1 [1,2]. Głowica lasera zamocowana jest na przewodnicy liniowej układu pozycjonowania firmy ISEL AUTOMATION sterowanym numerycznie, a napawane krążki oraz zawory ze stali X40CrSiMo10-2 mocowano w obrotniku, na stole krzyżowym tego układu. Dokładność pozycjonowania układu wynosi 0,20 [μm] / 100 [mm]. Stanowisko do napawania laserowego proszkowego wyposażono dodatkowo w układ podawania proszku do obszaru napawania, z dokładnie sterowanym natężeniem podawania proszku w zakresie 0,8-25 [g/min].

W celu opracowania warunków technologicznych napawania laserowego proszkowego przyłgni grzybków zaworów, przeprowadzono wstępne próby napawania ściegami w pozycji podłnej po torze kołowym, krążków o grubości 8,0 [mm] i średnicy 75 mm, ze stali zaworowej X40CrSiMo10-2, symulując w ten sposób warunki napawania przyłgni grzybków zaworów. W czasie prób napawania wiązkę laserową ogniskowano na górnej powierzchni napawanego krążka, przy odległości ogniskowej 82 [mm] i wielkości ogniska 1,8 × 6,8 [mm]. Do badań warunków technologicznych napawania laserowego proszkowego wytypowano trzy proszki na osnowie kobaltu EuTroLoy 16006, EuTroLoy 16012 oraz PG 5218 firmy Castolin, przeznaczone oryginalnie do napawania plazmowego proszkowego grzybków zaworów silników spalinowych, tabl. 2 [3].

Jako kryteria oceny jakości procesu napawania laserowego proszkowego przyjęto:

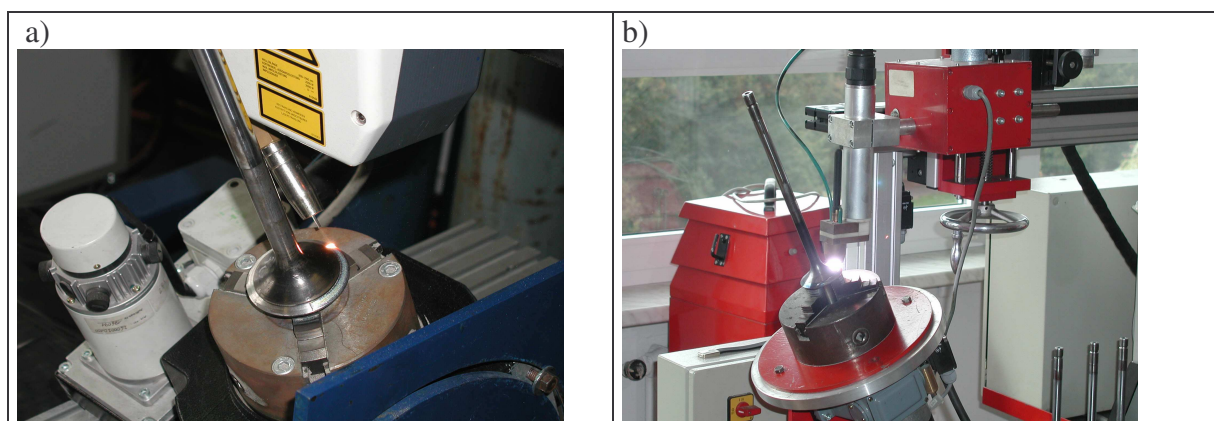
- wysoka jakość napoin oceniana na podstawie oględzin zewnętrznych, badań penetracyjnych i badań ultradźwiękowych (brak wad, a zwłaszcza pęknięć oraz gładkie i równe lico napoiny),
- pojedynczy ścieg napoin o szerokości 6,0-6,5 [mm] i grubości 1,0-1,5 [mm], grubość napoiny 4,0-4,5 [mm].

Na podstawie badań wpływu podstawowych parametrów napawania laserowego proszkowego na jakość i kształt napoin: mocy wiązki lasera, położenia ogniska wiązki, prędkości napawania, położenia dyszy podającej proszek do jeziora spawalniczego, rodzaj proszku, natężenie podawania proszku, natężenie przepływu gazu ochronnego oraz temp. podgrzewania wstępnego, ustalono optymalne warunki technologiczne napawania płaskiej powierzchni krążków ze stali X40CrSiMo10-2, tabl. 3. Badania wykazały, że skład chemiczny badanych proszków na osnowie kobaltu nie wywiera wpływu na jakość napoin i nie jest konieczne podgrzewanie wstępne. Następnie przeprowadzono badania nad ustaleniem warunków technologicznych napawania laserowego proszkowego przyłgni grzybków zaworów, w oparciu o warunki technologiczne napawania ściegów kołowych na płaskiej powierzchni krążków, tabl. 3. Zawory o powierzchni roboczej (przyłgni) grzybka przygotowanej przez podtoczenie o szerokości ok. 4,0 [mm] i głębokości ok. 0,8 [mm], mocowano w obrotniku sterowanym numerycznie, a dwa ściegi napoiny o zakładce rzędu 30-40% (ok. 3,0 [mm]), układano w pozycji podolnej. Okazało się, że w przypadku każdego z proszków konieczne jest podgrzewanie wstępne zaworów, w celu uniknięcia pęknięć poprzecznych ściegów. Na podstawie badań wpływu temp. podgrzewania wstępnego na jakość napoin wykazano, że dopiero przy podgrzewaniu do temp. powyżej 250-300⁰C ściegi napoin są wolne od pęknięć, tabl. 4. Twardość napoin po obróbce wykańczającej grzybka zaworu mieści się w granicach 48-56 HRC.

Dalsze badania wykazały, że w celu zapewnienia wymaganego naddatku na obróbkę wykańczającą zaworów próbnych do badań eksploatacyjnych oraz ograniczenia wpływu ciepła napawania na grzybek zaworu o małej pojemności cieplnej, konieczne jest wykonanie napoin o grubości ok. 4,5-5,0 [mm] i szerokości ok. 8,0 [mm]. Takie wymiary napoin wymagały opracowania warunków technologicznych napawania dwuwarstwowego z dwoma ściegami w każdej warstwie, tabl. 5. Parametry napawania (energię liniową napawania) dobrano w ten sposób, aby spełniając kryterium jakości, uzyskać w pierwszej warstwie możliwie najniższy udział materiału rodzimego. Widok zaworów próbnych, o przyłgni grzybka zaworu napawanej dwuwarstwowo proszkami na osnowie kobaltu EuTroLoy 16006, EuTroLoy 16012 oraz PG 5218 firmy Castolin, tabl. 2 i 5, przedstawiono na rys. 2.

Tablica 1. Dane techniczne lasera diodowego dużej mocy ROFIN DL 020

Parametr	Wielkość
Długość fali	808 [nm] ± 5[nm] lub 940 [nm] ± 10 [nm]
Max moc wyjściowa wiązki (promieniowanie ciągłe)	2500 [W]
Zakres płynnej regulacji mocy wiązki roboczej	100 – 2500 [W]
Sprawność energetyczna	35 – 50 [%]
Długość ogniska wiązki	82 [mm] / 32 [mm]
Wymiary ogniska wiązki	1,8 × 6,8 [mm] / 1,8 × 3,8 [mm]
Zakres gęstości mocy wiązki na powierzchni ogniska	0.8 – 36,5 [kW/cm ²]



Rys. 1. Widok stanowiska do napawania grzybków zaworów oraz przebieg procesu napawania: a) laserem HPDL, wyposażonym w oprzyrządowanie do napawania laserowego proszkowego, b) napawania PTA proszkowego urządzeniem CASTOLIN EUTRONIC GAP

Tablica 2. Skład chemiczny i twardość napoin PTA wykonanych proszkami stosowanymi w badaniach procesu napawania laserowego i PTA przylgni grzybków zaworów

Rodzaj proszku	Skład chemiczny w % mas.								Twardość napoiny
	C	Si	Cr	W	Ni	Mo	Fe	Co	
EuTroLoy 16006	1,2	1,2	28,8	4,9	2,2	<0,1	2,0	reszta	37-40 HRC
EuTroLoy 16012	1,55	1,21	29,7	9,0	2,0	0,01	1,7	reszta	43-46 HRC
PG5218	1,32	1,25	29,0	5,3	2,1	<0,1	1,9	reszta	41-44 HRC

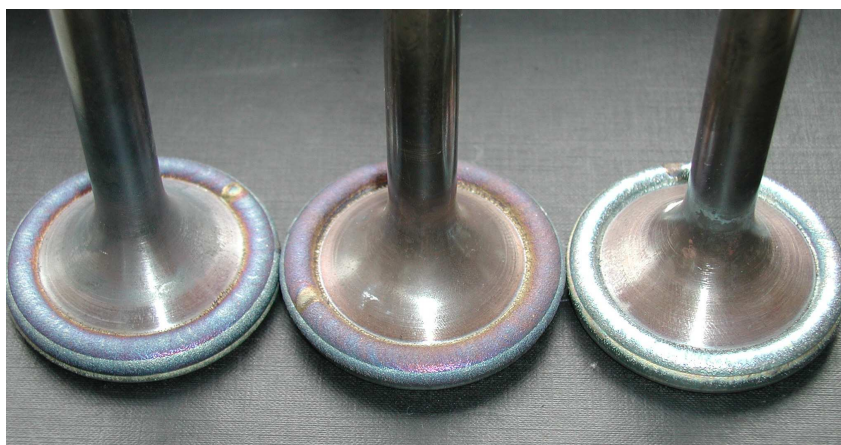
Tablica 3. Warunki technologiczne napawania laserowego proszkowego laserem HPDL ROFIN DL020, proszkami na osnowie kobaltu EuTroLoy 16006, EuTroLoy 16012 oraz PG 5218 firmy Castolin, ściegów kołowych napoin na krążkach ze stali X40CrSiMo10-2, rys. 2

Technika napawania	Moc lasera [kW]	Prędkość napawania [m/min]	Natężenie podawania proszku [g/min]	Grubość napoiny [mm]	Szerokość napoiny [mm]
1 warstwa	1,0-1,4	0,20-0,30	5,0-6,0	1,0-1,5	ok. 6,0-6,5

Uwagi: Długość ogniskowa wiązki lasera - 82,0 [mm], szerokość wiązki lasera na powierzchni napawanej płytki - ok. 6,8 [mm], natężenie gazu transportującego proszek - argonu - 2,0 [l/min], natężenie gazu ochronnego - argonu - 6 [l/min], średnica dyszy podajnika proszku - 1,2 [mm], kąt pochylenia dyszy - ok. 40 [°], odległość dyszy od jeziora spawalniczego - ok. 10,0 [mm]. Nie jest wymagane podgrzewanie wstępne krążków.

Tablica 4. Wpływ temp. podgrzewania wstępnego na jakość napoin laserowych przylgni grzybka zaworu, rys. 4

Rodzaj proszku	Temperatura podgrzewania wstępnego zaworów - [°C]				
	100	150	200	250	300
EuTroLoy 16006	pęknięcia poprzeczne	pęknięcia poprzeczne	pęknięcia poprzeczne	brak pęknięć	brak pęknięć
EuTroLoy 16012	pęknięcia poprzeczne	pęknięcia poprzeczne	pęknięcia poprzeczne	brak pęknięć	brak pęknięć
PG5218	pęknięcia poprzeczne	pęknięcia poprzeczne	pęknięcia poprzeczne	brak pęknięć	brak pęknięć



Rys. 2. Widok zaworów próbnych napawanych laserem HPDL proszkami na osnowie kobaltu EuTroLoy 16006, EuTroLoy 16012 oraz PG 5218 firmy Castolin, tabl. 5

Tablica 5. Warunki technologiczne napawania laserowego proszkowego laserem HPDL ROFIN DL020, proszkami na osnowie kobaltu EuTroLoy 16006, EuTroLoy 16012 oraz PG 5218 firmy Castolin, przyłgni grzybków zaworów ze stali X40CrSiMo10-2, rys. 5

Technika napawania	Moc lasera [kW]	Prędkość napawania [m/min]	Natężenie podawania proszku [g/min]	Grubość napoiny [mm]	Szerokość napoiny [mm]
1 warstwa – 2 ściegi	1,0-1,2	0,20	5,0	1,0-1,2	ok. 6,0
2 i 3 warstwa – 2 ściegi	1,1-1,2	0,20	5,0	1,3-1,5	ok. 6,0

Uwagi: Długość ogniskowa wiązki lasera - 82,0 [mm], szerokość wiązki lasera na powierzchni napawanej płytki - ok. 6,8 [mm], natężenie gazu transportującego proszek – argonu – 2,0 [l/min], natężenie gazu ochronnego – argonu – 6 [l/min], średnica dyszy podajnika proszku - 1,2 [mm], kąt pochylecia dyszy – ok. 40 [°], odległość dyszy od jeziora spawalniczego – ok. 10,0 [mm]. Zakładka ściegów 30-40% (ok. 3,0 [mm]). Wymagane podgrzewanie zaworu wstępne do temp. 250-300°C.

2. BADANIA TECHNOLOGII NAPAWANIA PLAZMOWEGO PROSZKOWEGO

Napawanie plazmowe proszkowe – PTA, powierzchni roboczej (przyłgni) grzybków zaworów ze stali X40CrSiMo10-2 prowadzono automatycznie za pomocą urządzenia do napawania plazmowego proszkowego EUTRONIC GAP 200 firmy CASTOLIN, rys. 1. Stanowisko do napawania wyposażono w sterowany numerycznie obrotnik, w którego uchwycie mocowano napawane zawory. W badaniach zastosowano podobnie jak do napawania laserowego proszkowego, trzy proszki na osnowie kobaltu EuTroLoy 16006, EuTroLoy 16012 oraz PG 5218, tabl. 2. W celu ustalenia warunków technologicznych napawania PTA powierzchni roboczej grzybków zaworów, określono wpływ parametrów napawania PTA na kształt i jakość napoin. Wstępne próby napawania przeprowadzono ściegami po torze kołowym na krążkach ze stali X40CrSiMo10-2, symulując w ten sposób proces napawanie przyłgni grzybka zaworu.

Jako kryteria oceny jakości procesu napawania PTA przyjęto:

- wysoka jakość napoin oceniana na podstawie oględzin zewnętrznych, badań penetracyjnych i badań ultradźwiękowych (brak wad, a zwłaszcza pęknięć oraz gładkie i równe lico napoiny),
- pojedynczy ścieg napoin o szerokości ok. 6,0 [mm] i grubości 1,2-1,5 [mm], grubość napoiny 4,5-5,0 [mm].

Na podstawie badań wpływu podstawowych parametrów napawania PTA na jakość i kształt napoin kołowych na krążkach ze stali X40CrSiMo10-2: natężenie prądu łuku plazmowego, prędkości napawania, natężenie podawania proszku, natężenie przepływu gazu podającego proszek, gazu plazmowego i gazu ochronnego, ustalono wstępne warunki technologiczne napawania grzybków zaworów. Próby napawania PTA z ruchem wahadłowym palnika wykazały, że możliwe jest wykonanie warstw o wymaganej szerokości kształcie, lecz w wyniku dużej energii liniowej napawania następuje nadmierne nagrzewanie grzybka zaworu i jego odkształcenia. Zawory próbne o powierzchni roboczej grzybka przygotowanej przez podtoczenie o szerokości ok. 4,0 [mm] i głębokości ok. 1,0 [mm], mocowano w obrotniku sterowanym numerycznie, rys. 1. Na podstawie wstępnych prób napawania grzybków zaworów stwierdzono, że w celu zapewnienia wymaganego nadatku na obróbkę wykańczającą zaworów próbnych do badań eksploatacyjnych oraz, konieczne jest wykonanie napoin o grubości ok. 4,5-5,0 [mm] i szerokości ok. 10,0 [mm], rys. 3. Takie wymiary napoin oraz konieczność ograniczenia wpływu ciepła napawania na grzybek zaworu o małej pojemności cieplnej, wymagały opracowania warunków technologicznych napawania PTA trzema warstwami zawierającymi trzy ściegi, tabl. 6. Proces napawania zaworów próbnych prowadzono w pozycji podolnej, a w celu zapobieżenia pęknięciom poprzecznym napoiny, zawory przed napawaniem podgrzewano wstępnie do temp. ok. 250°C, a temp. międzysciegową utrzymywano na poziomie ok. 200°C. Temperatury te ustalono na podstawie badań przeprowadzonych podobnie jak w przypadku napawania laserowego proszkowego, tabl. 4. Twardość napoin PTA po obróbce wykańczającej grzybka zaworu mieści się w granicach 37-46 HRC.

Widok zaworów próbnych napawanych automatycznie PTA proszkami EuTroLoy 16006, EuTroLoy 16012 oraz PG 5218 firmy Castolin przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Widok zaworów próbnych napawanych PTA proszkami na osnowie kobaltu EuTroLoy 16006, EuTroLoy 16012 oraz PG 5218 firmy Castolin, urządzeniem EUTRONIC GAP 200, rys. 8 i tabl. 7

Tablica 6. Warunki technologiczne napawania ściągów kołowych automatycznie PTA na osnowie kobaltu EuTroLoy 16006, EuTroLoy 16012 oraz PG 5218 firmy Castolin powierzchni roboczej grzybków zaworów ze stali X40CrSiMo10-2, rys. 9 i 11

Rodzaj proszku	Warstwa napoiny	Natężenie prądu [A]	Natężenie przepływu gazu ochronnego [l/min]	Natężenie przepływu gazu transportującego [l/min]	Natężenie podawania proszku [g/min]
EuTroLoy 16006	1	40,0-55,0	7,0	3,0	10,0-12,0
	2	45,0-55,0			
	3	45,0-55,0			
EuTroLoy 16012	1	45,0-55,0	7,0	3,0	10,0-12,0
	2	45,0-60,0			
	3	45,0-60,0			
PG 5218	1	40,0-45,0	7,0	3,0	10,0-12,0
	2	45,0-50,0			
	3	45,0-50,0			

Uwagi: Gaz plazmowy – argon o natężeniu przepływu 3,0 [l/min], gaz podający proszek i gaz ochronny mieszanka MIX 5 – argon + 5% H₂, odległości dyszy palnika od materiału 4,0-5,0 [mm]. Temperatura podgrzewania wstępnego 250 °C. Temperatura międzyściegowa 200 °C. Prędkość obrotowa stołu 0,8 [obr/min]. Szerokość napoin ok. 8,0 [mm], grubość 4,0-4,5 [mm].

3. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań technologii napawania laserowego oraz napawania PTA proszkami na osnowie kobaltu EuTroLoy 16006, EuTroLoy 16012 oraz PG 5218 firmy Castolin stwierdzono:

1. Proces napawania laserem HPDL zapewnia wyższą dokładność sterowania jakością i kształtem napoin oraz energią liniową napawania (udziałem materiału podłoża w napoinie) w stosunku do procesu napawania PTA, rys. 5 i 11. W przypadku obu technologii napawania zapewniona jest wysoka jakość napoin oraz twardość warstwy wierzchniej w granicach: napoiny laserowe 48-56 HRC, napoiny PTA 37-46 HRC.
2. W celu zapewnienia wymaganej jakości i kształtu napoin, tak w przypadku napawania laserowego, jak i PTA konieczne jest napawanie wielowarstwowe, z ograniczeniem energii liniowej napawania, tabl. 5 i 7.
3. Z uwagi na odmienne właściwości fizyczne badanych proszków na osnowie kobaltu, w przypadku napawania PTA konieczny jest dokładny dobór parametrów napawania, w zależności od rodzaju zastosowanego proszku, tabl. 7.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego Nr 4 T08C 062 24 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

LITERATURA

1. Klimpel A.: Napawanie i natryskiwanie cieplne. Technologie. WNT, W-wa. 2000,
2. Klimpel A.: Lasery diodowe dużej mocy w spawalnictwie. Przegląd Spawalnictwa. 1999, nr 8,
3. Katalog firmy Castolin Eutectic.