

SEBASTIAN STANO

Instytut Spawalnictwa (obecnie Sieć Badawcza Łukasiewicza)

RADOMIR ANIOŁ

Sonima Sp. z o.o.

MOŻLIWOŚCI I OGRANICZENIA ZASTOSOWANIA PROCESU SPAWANIA LASEROWEGO, DO ŁĄCZENIA ODLEWANYCH ELEMENTÓW MANIFOLD TURBINY SILNIKÓW SPALINOWYCH. CZ.1 SPAWANIA LASEROWE TURBINY Z MIESZKIEM KOMPENSACYJNYM

s. 49-62

STRESZCZENIE

W pierwszej części artykułu przedstawiono wyniki badań technologicznych, dotyczących spawania laserowego elementów odzwierciedlających połączenie turbiny z mieszkiem sprężystym, stanowiących części zespołu manifold. Określono wpływ mocy wiązki laserowej, prędkości spawania, kąta propagacji wiązki, położenia ogniska oraz rozmiarów ogniska wiązki na przebieg procesu spawania, jakość spoiny oraz głębokość wtopienia.

SŁOWA KLUCZOWE

zespół manifold, spawanie laserowe, przygotowanie do spawania, głębokość wtopienia, jakość złączy spawanych

Wprowadzenie

Spawanie laserowe jest procesem, w którym do stopienia elementów łączonych wykorzystuje się zaabsorbowaną przez materiał monochromatyczną, koherentną, skoncentrowaną wiązkę światła. Współczesne konstrukcje laserów na ciele stałym – lasery dyskowe, lasery włóknowe (długość emitowanej fali elektromagnetycznej ok. 1 μm) oraz lasery gazowe CO_2 (długość emitowanej fali elektromagnetycznej 10,6 μm) umożliwiają uzyskanie bardzo dużych gęstości mocy w obszarze oddziaływania wiązki laserowej, co pozwala uzyskać duże głębokości wtopienia oraz duże prędkości spawania. Energia liniowa spawania (określana jako stosunek mocy wiązki laserowej do prędkości spawania) jest znacznie mniejsza w porównaniu do metod spawania łukowego, przy równoczesnym wzroście wydajności procesu. Proces spawania prowadzony jest zazwyczaj bez materiału dodatkowego. Spoina powstaje w wyniku stopienia krawędzi łączonych elementów. Przy dużych gęstościach mocy spoina jest wąska i głęboka (spawanie tzw. techniką z oczkiem). Z tego powodu wymagane jest bardzo dokładne i powtarzalne zestawienie elementów do spawania, tak aby wiązka laserowa zawsze powtarzalnie trafiała w styk przylegających do siebie, bez szczeliny łączonych elementów.

Przy mniejszych gęstościach mocy, uzyskiwanych najczęściej w wyniku rozogniskowania wiązki laserowej, możliwe jest spawanie techniką z jeziorkiem. Uzyskiwane głębokości wtopienia są znacznie mniejsze niż w przypadku spawania techniką z oczkiem, a lico znacznie szersze. Spoiny takie bardziej są zbliżone kształtem do spoin uzyskiwanych metodami łukowymi i charakteryzują się bardzo wysoką estetyką lica spoiny. Podobnie jak w przypadku spawania techniką z oczkiem, raczej nie stosuje się materiału dodatkowego, a elementy przeznaczone do spawania powinny być zestawione bez szczeliny. O rodzaju zastosowanej techniki spawania decydują wymagania jakie stawiane są połączeniom, głównie głębokość wtopienia oraz geometria styku łączonych elementów [1-10].

Zespół manifold w silnikach spalinowych jest elementem złożonym, o skomplikowanym kształcie. Najczęściej jest on wytwarzany poprzez pospawanie ze sobą elementów blaszanych i rur, które na końcu tworzą monolityczną konstrukcję. Wykonanie takiego elementu manifold jest czasochłonne i kosztowne, a kształt utworzonych kanałów jest w dużym stopniu ograniczony zastosowanymi elementami składowymi. Stąd podjęto próby zastąpienia elementów blaszanych elementami odlewanymi, które w stosunku do elementów spawanych powinny zapewnić oszczędność czasu ich wykonania oraz kosztów produkcji, przy równoczesnym większym zróżnicowaniu uzyskiwanych kształtów przekroju. Zespół manifold tworzą trzy odlewy stalowe, połączone ze sobą za pośrednictwem mieszkań kompensacyjnych. Podstawowe trudności podczas wykonywania połączeń spawanych w ww. zespole to:

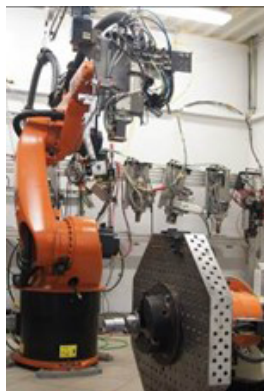
- znaczne różnice grubości łączonych elementów (grubość ścianki odlewu jest znacząco większa od grubości ścianki mieszkania kompensacyjnego),
- konieczność zachowania położenia kołnierzy kanałów wylotowych w jednej płaszczyźnie, a przez to utrudniony dostęp do miejsca spawania,
- niedopuszczenie do przetopienia na wskroś elementów łączących (w szczególności mieszkań kompensacyjnych),
- utrudnione spawanie elementów stalowych, w porównaniu do stalowych.

W ramach współpracy z partnerem przemysłowym podjęto badania nad zastosowaniem do łączenia zespołu manifold różnych metod spawania łukowego oraz spawania laserowego. Podstawowym wymaganiem stawianym tego typu połączeniom jest uzyskanie odpowiedniej wytrzymałości, a przede wszystkim: szczelność złącza, braku przetopu ścianki mieszkania sprężystego oraz minimalne zanieczyszczenie elementów po spawaniu. W pierwszej części artykułu opisano wyniki prac związane z zastosowaniem spawania laserowego do łączenia turbiny z mieszkami kompensacyjnymi, stanowiących elementy zespołu manifold.

Stanowisko i materiały do badań

Do przeprowadzenia badań technologicznych spawania laserowego elementów zespołu manifold przygotowano stanowisko zrobotyzowane, składające się z: robota przemysłowego KUKA KR30HA, stołu obrotowo-uchylnego DKP-400 oraz lasera przemysłowego na ciele stałym TruDisk 12002, o maksymalnej mocy wiązki laserowej na materiale 12 KW, rys. 1. Do badań wykorzystano optykę roboczą D70, wyposażoną w soczewkę kolimatora o długości ogniskowej $f_{kol} = 200$ mm i soczewkę skupiającą o długości ogniskowej $f_{og} = 400$ mm. TruDisk 12002 połączono z głowicą roboczą D70 światłowodem, o średnicy 400 μ m, co skutkuje uzyskaniem średnicy ogniska wiązki laserowej, o wymiarach 0,8 mm, rys. 1.

a)



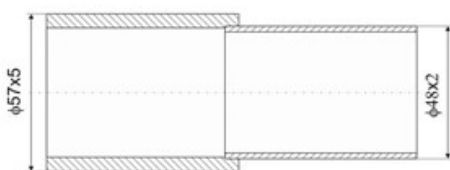
b)



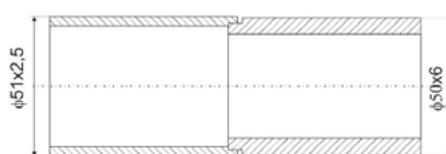
Rys. 1. Widok zrobotyzowanego stanowiska badawczego do spawania laserowego (a) i element testowy zamocowany w obrotniku urządzenia (b)

Elementy odlewane wykonano z żarowytrzymałego staliwa austenitycznego GX40CrNiSi25-20 (1.4848), a mieszki kompensacyjne ze stali żaroodpornej X15CrNiSi20-12 (1.4828) oraz ze stopu niklu Inconel 625 (2.4856). Do celów badawczych partner przemysłowy dostarczył elementy testowe złącza, odwzorowujące rzeczywiste połączenia spawane (odlew staliwny + mieszek kompensacyjny). Dokładność przygotowania elementów testowych odzwierciedlała dokładność i tolerancję zestawienia elementów rzeczywistych, zaprojektowanych jako elementy spawane łukowo. Na rys. 2 przedstawiono szkice złączy odwzorowujących połączenia spawane zespołu manifold. Elementy testowe przed spawaniem szczipiano za pomocą lasera impulsowego.

a)



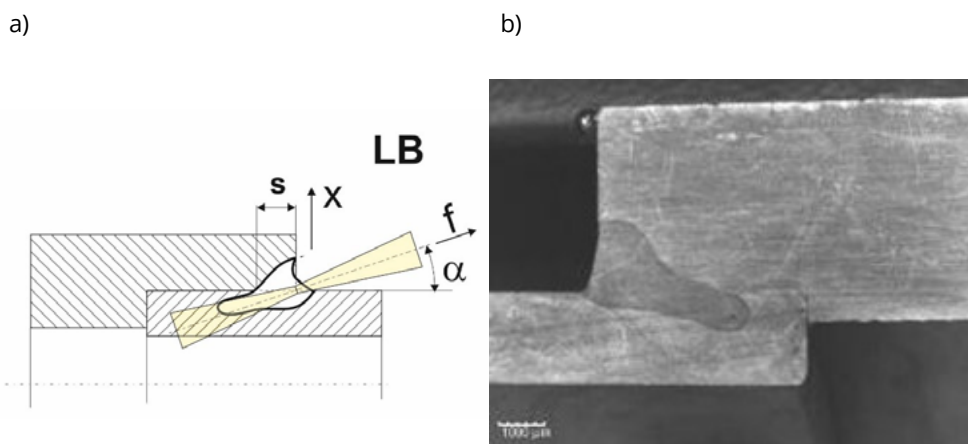
b)



Rys. 2. Szkice złączy odwzorowujących połączenia spawane zespołu manifold: a) połączenie turbina – mieszek, b) połączenie mieszek - kolektor

Połączenie turbiny z mieszkiem kompensacyjnym

Obszar styku łączonych elementów turbiny i mieszka kompensacyjnego pierwotnie został zaprojektowany do spawania łukowego i wykonania spoiny pachwinowej. W przypadku spawania tego typu złącza laserem, odpowiednie pochylenie głowicy laserowej umożliwi utworzenie spoiny quasi pachwinowej, tzn. spoiny w złączy przygotowanym jak do spawania złącza ze spoiną pachwinową, ale w której o przenoszonych naprężeniach nie decyduje wysokość trójkąta równoramiennego wpisanego w spoinę, a jedynie długość przetopionego obszaru styku łączonych elementów s (rys. 3a). Wg. normy PN-EN ISO 15614-11, dotyczącej kwalifikowania technologii spawania laserowego, tego typu spoina w złączy zakładkowym lub teowym jest określana jako „spoina pachwinowa (niepełny przetop)”.

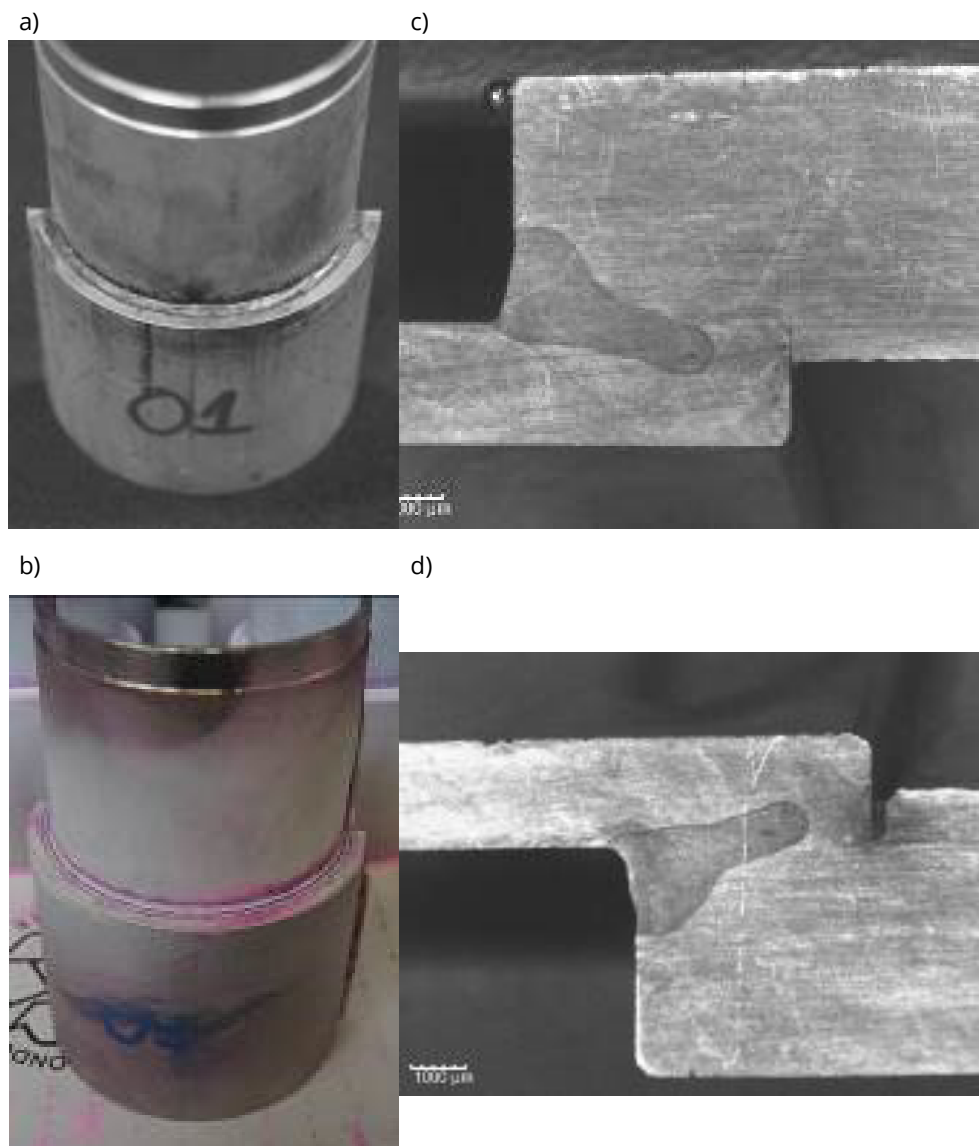


Rys. 3. Schemat pomiaru głębokości wtopienia w złączy turbina – mieszek kompensacyjny spawanym laserem (a) i przykładowa makrostruktura złącza spawanego laserem (b): α – kąt nachylenia kierunku propagacji wiązki laserowej, f – położenie ogniska wiązki laserowej wzdłuż osi jej propagacji (stopień rozogniskowania wiązki laserowej), x – przesunięcie ogniska wiązki laserowej względem widocznej krawędzi styku łączonych elementów w kierunku prostopadłym do osi symetrii turbiny i mieszka kompensacyjnego

Na podstawie wstępnych prób technologicznych własnego doświadczenia, przyjęto wyjściowe parametry procesu spawania laserowego, tabl. 1, określane dalej jako parametry referencyjne. Spawanie laserowe przebiegało w sposób stabilny. Badania wizualne oraz penetracyjne nie wykazały obecności niezgodności powierzchniowych, czy też nieciągłości spoiny wynikających ze złego pozycjonowania wiązki laserowej, rys. 4a-b. Złącze spawane przecięto wzdłuż osi rury i uzyskano dwa zgłady spoiny z przeciwległych obszarów. Badania makroskopowe nie ujawniły niezgodności wewnętrznych. Zmierzono głębokość wtopienia spoin s_1 i s_2 , tabl. 1, usytuowanych po przeciwległych stronach przekroju.

Tablica 1. Parametry spawania laserowego oraz uzyskane głębokości wtopienia w złączy referencyjnym turbiny i mieszka kompensacyjnego

nr próbki	moc wiązki laserowej P [W]	prędkość spawania v [m/min]	kąt α [°]	rozogniskowanie f [mm]	przesunięcie x [mm]	wtopienie s_1 [mm]	wtopienie s_2 [mm]
4	2 500	1,5	20	0	0	2,98	2,89

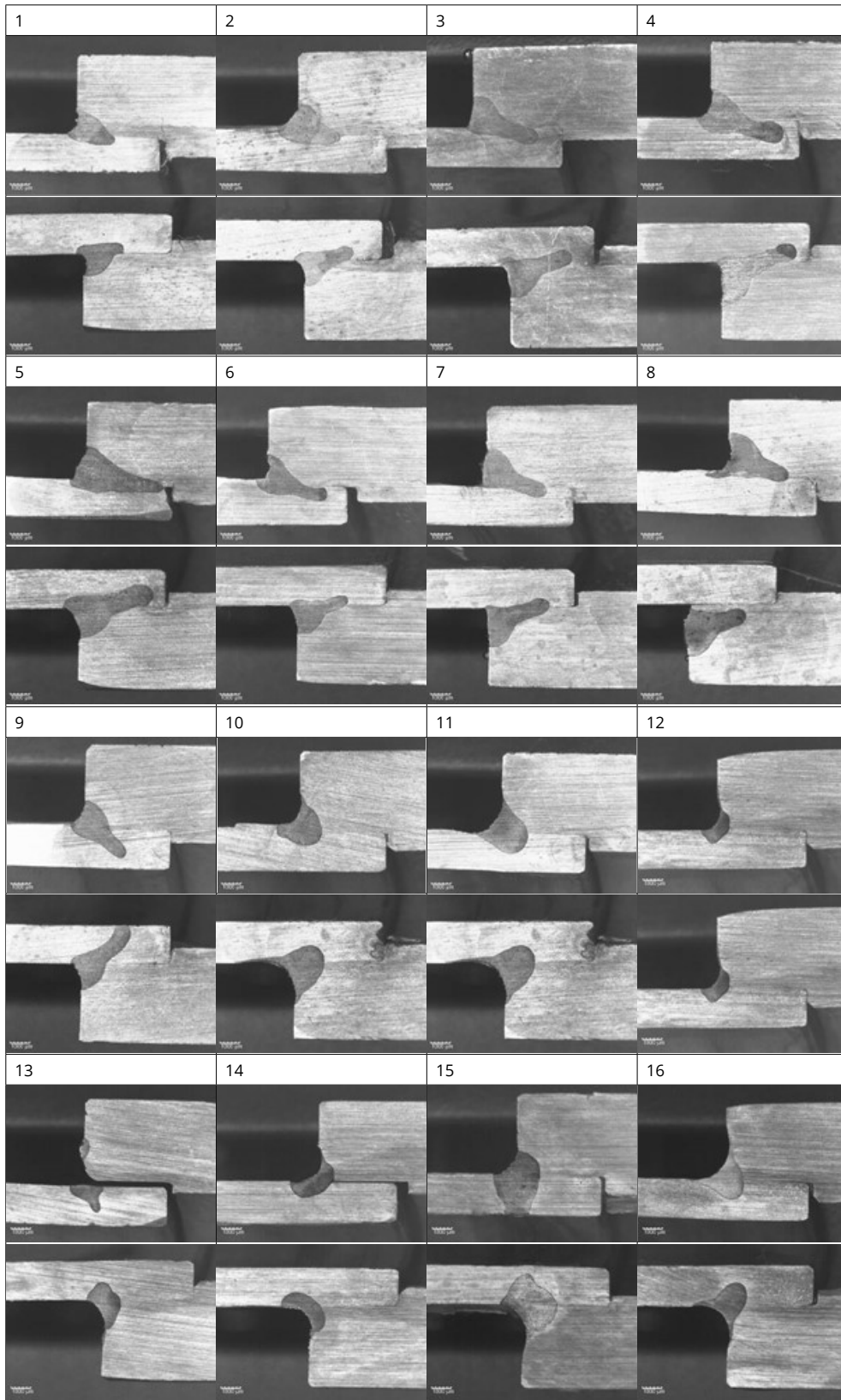


Rys. 4. Widoki lica spoiny (a i b) oraz makrostruktury spoiny (c i d) w spawanym laserowo złączu referencyjnym turbiny i mieszka kompensacyjnego

Bazując na parametrach referencyjnych wykonano szereg prób spawania laserowego turbiny i mieszka kompensacyjnego, przy różnych ustawieniach wiązki i z zastosowaniem różnych parametrów spawania. Parametry spawania oraz szczegóły geometryczne wiązki przedstawiono w tabl. 2. Wszystkie złącza poddano badaniom wizualnym, a następnie przecięto je wzdłuż osi rury i przeprowadzono badania metalograficzne makroskopowe oraz przeprowadzono pomiary głębokości wtopienia. Makrostruktury uzyskanych spoin (dwie makrostruktury na złącze) pokazano na rys. 5

Tablica 2. Parametry spawania laserowego oraz uzyskane głębokości wtopienia w złączu turbiny i mieszka kompensacyjnego

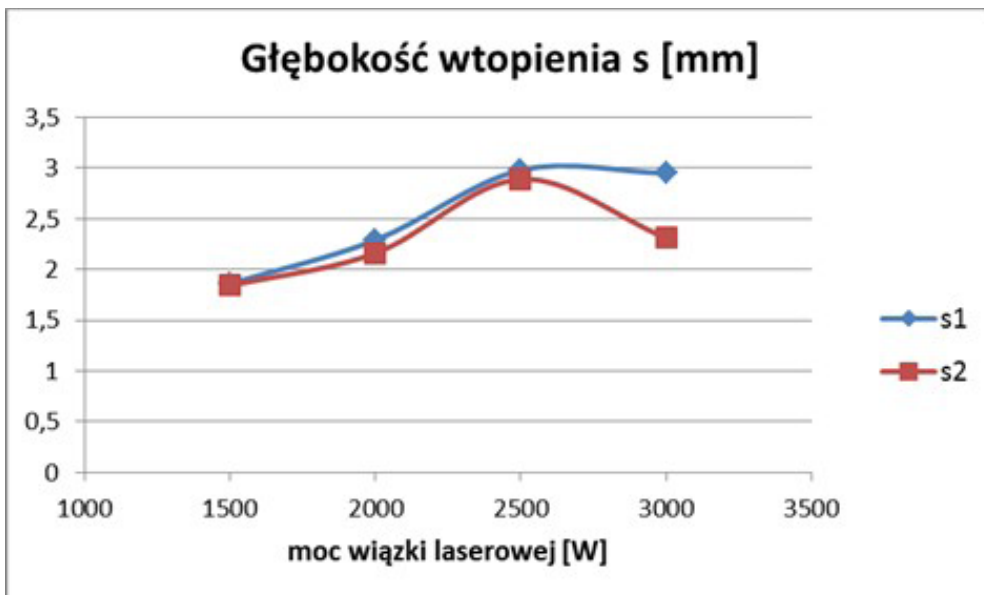
Lp.	nr próbki	moc wiązki laserowej P [W]	prędkość spawania v [m/min]	kąt α [°]	rozogniskowanie f [mm]	przesunięcie x [mm]	wtopienie	
							s1 [mm]	s2 [mm]
1	4	1500	1,5	20	0	0	1,86	1,84
2	3	2000	1,5	20	0	0	2,29	2,16
3	1	2500	1,5	20	0	0	2,98	2,89
4	2	3000	1,5	20	0	0	2,95	2,31
5	5	2500	1	20	0	0	2,93	3,9
6	6	2500	2	20	0	0	2,55	2,16
7	7	2500	1,5	20	0	0,5	3,13	2,99
8	9	2500	1,5	20	0	1	0,00	0,00
9	10	2500	1,5	40	0	0	1,32	1,34
10	11	2500	1,5	40	30	0	1,48	1,17
11	12	3500	1,5	40	30	0	1,54	1,38
12	14	1500	1,5	70	0	0	0,60	0,62
13	16	2000	1,5	70	0	0	0,91	0,00
14	15	2000	0,82	70	20	0	0,57	0,72
15	17	2500	0,82	70	20	0	1,88	1,2
16	18	2500	0,66	70	30	0	0,93	0,94



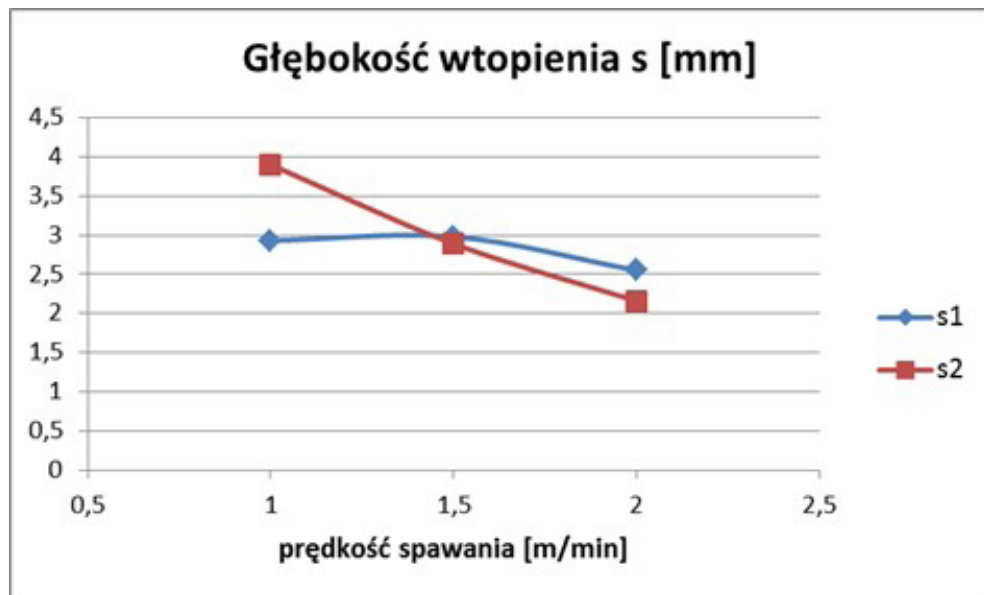
Rys. 5. Makrostruktury złączy turbiny i mieszka kompensacyjnego wykonanych laserem, parametry wg tabl.2

Analiza uzyskanych wyników wykazała, że minimalny możliwy do ustawienia ze względu na kaustykę wiązki kąt wejścia wiązki laserowej w obszar styku $\alpha=20^\circ$ umożliwia uzyskanie spoiny o prawidłowym kształcie oraz wielkości przetopienia s , zależnej od zastosowanej mocy wiązki laserowej i prędkości spawania – rys. 5 (makrostruktury od 1-6). Maksymalną głębokość wtopienia – ok. 3 mm, uzyskano dla mocy wiązki laserowej od 2500 W do 3000 W i prędkości spawania 1,5 m/min (makrostruktury 3 i 4, rys. 5) oraz dla mocy wiązki laserowej 2500 W i prędkości spawania 1 m/min (makrostruktura nr 5, rys. 5). Wraz ze wzrostem mocy wiązki laserowej, przy stałej prędkości spawania $v=1,5$ m/min wzrasta głębokość wtopienia s . Uzyskane wyniki zobrazowano na wykresie, przedstawionym na rys. 6. Już przy mocy wiązki laserowej 1500 W, głębokość wtopienia s zbliżona jest do grubości ścianki mieszka, wynoszącej 2 mm. Stosowanie spawania z mocą wiązki laserowej powyżej 2500 W (przy położeniu ogniska wiązki na materiale spawanym – $f = 0$ mm), nie wpływa istotnie na zwiększenie głębokości wtopienia s , a jedynie na zwiększenie wtopienia w materiał mieszka, wzdłuż osi propagacji wiązki laserowej. Wynika to z zastosowanego kąta wejścia wiązki laserowej i ograniczonego przyrostu szerokości spoiny laserowej, wraz ze wzrostem mocy wiązki. Stąd wniosek, że przy ustawieniu $\alpha = 20^\circ$, $f = 0$ mm, $x = 0$ mm i $v = 1,5$ m/min zastosowanie mocy wiązki laserowej na poziomie 1500 – 2000 W jest wystarczające. Uzyskane różnice w głębokości wtopienia w dwóch przeciwległych miejscach wykonania zglądu metalograficznego makroskopowego są niewielkie, jedynie dla mocy 3000 W różnica ta wynosi 0,97 mm. Wynika to ze specyficznego kształtu spoiny laserowej (wąska dolna część przetopienia), zastosowanego kąta wejścia wiązki laserowej w obszar styku łączonych materiałów oraz dokładności wykonania elementów do spawania. Pomimo uzyskania podobnej głębokości wtopienia wzdłuż osi propagacji wiązki laserowej, prawdopodobnie niewielkie zmiany w pozycjonowaniu głowicy lub niedokładność wykonania elementów skutkowały tym, że w jednym z przekrojów obszar przetopienia nie objął styku elementów łączonych na podobnej długości. Analiza wyników badań metalograficznych wykazała, że przy stałej mocy wiązki, zwiększenie prędkości spawania powoduje zmniejszenie głębokości wtopienia. Zależność tę zobrazowano na wykresie, który przedstawiono na rys. 7.

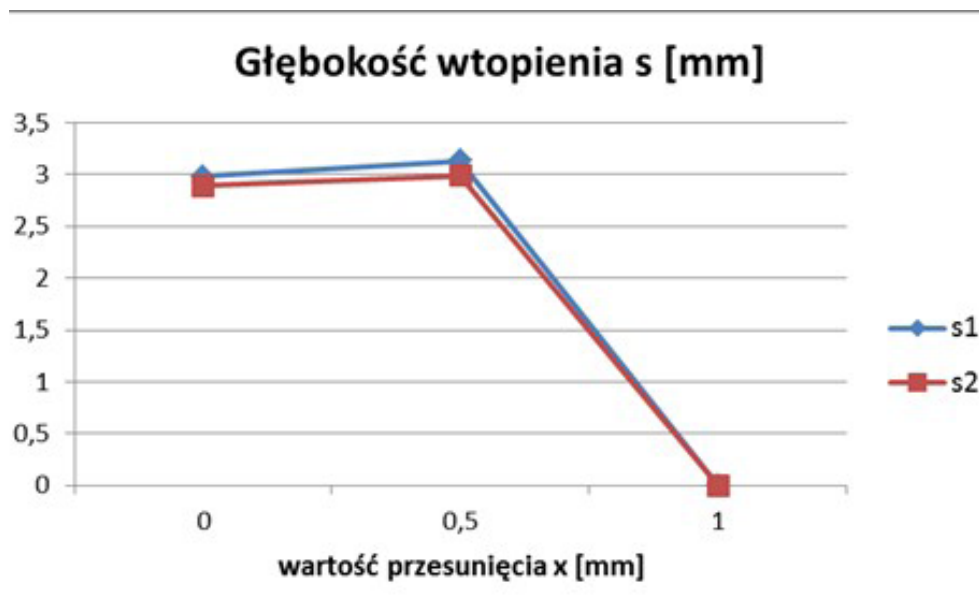
Ponieważ w elementach odlewanych trudne jest uzyskanie wysokiej tolerancji wymiarowej oraz możliwe jest nałożenie się tolerancji wykonania detali, z tolerancją urządzenia pozycjonującego głowicę laserową, zbadano również wpływ przesunięcia x (rys. 3) na wielkość przetopu s w złączu spawanym. Zależność zobrazowano na wykresie, który przedstawiono na rys. 8. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem przesunięcia x powyżej 0,5 mm pojawia się niebezpieczeństwo uzyskania braku przetopu (rys. 5, makrostruktura 8). Dla wartości przesunięcia $x = 1$ mm, w jednym obszarze płaszczyzny przekroju wiązka laserowa w ogóle nie przetopiła styku łączonych elementów. Niezgodność tę łatwo można zauważyć podczas badań wizualnych lub penetracyjnych złącza. W drugim obszarze wiązka laserowa nadtopiła styk łączonych elementów w obszarze lica i grani spoiny, pozostawiając nieprzetopiony styk w obszarze środkowym, rys. 9. Niezgodność ta jest bardzo istotna pod względem własności wytrzymałościowych, a równocześnie niemożliwa do wykrycia za pomocą badań wizualnych, czy też badań szczelności.



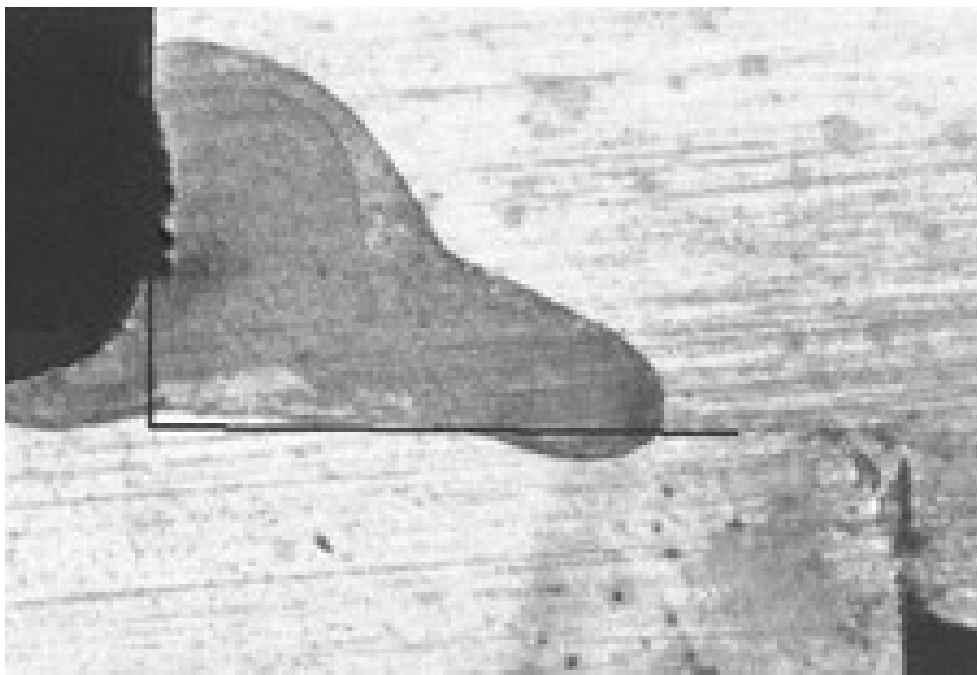
Rys. 6. Wpływ mocy wiązki laserowej na głębokość wtopienia w złączu turbiny i mieszka kompensacyjnego spawanym laserem ($v = 1,5$ m/min $\alpha = 20^\circ$, $f = 0$ mm, $x = 0$ mm)



Rys. 7. Wpływ prędkości spawania na głębokość wtopienia w złączu turbiny i mieszka kompensacyjnego spawanym laserem ($P = 2,5$ kW, $\alpha = 20^\circ$, $f = 0$ mm, $x = 0$ mm)



Rys. 8. Wpływ przesunięcia x (rys. 3) na głębokość wtopienia w złączu turbiny i mieszka kompensacyjnego spawanym laserem ($P = 2,5 \text{ kW}$, $v = 1,5 \text{ m/min}$, $\alpha = 20^\circ$, $f = 0 \text{ mm}$)



Rys. 9. Makrostruktura złącza turbiny i mieszka kompensacyjnego spawanego laserem z przesunięciem $x = 1 \text{ mm}$ z zaznaczonym profilem krawędzi turbiny i widocznym brakiem przetopu

Zastosowany w powyższych próbach spawania kąt $\alpha = 20^\circ$ jest kątem optymalnym ze względu na maksymalne z możliwych dla stosowanej w badaniach optyki zbliżenie się osi propagacji wiązki laserowej do osi styku łączonych elementów. Kąt ten może być niemożliwy do uzyskania ze względów konstrukcyjnych docelowego elementu mieszka i turbiny oraz oprzyrządowania mocująco – pozycjonującego elementy do spawania. W związku z tym, podjęto próby spawania z kątem wejścia wiązki laserowej w styk łączonych elementów, większym od kąta początkowego. Próby spawania z kątem wejścia 40° wykazały, że przy takim kącie α zmniejsza się głębokości wtopienia s , a także istnieje niebezpieczeństwo przetopienia na wskroś ścianki mieszka (rys. 5, makrostruktura 9). Dalsze próby spawania ze zwiększonym kątem α wykonano ze zmniejszoną mocą wiązki laserowej i/lub wiązką rozogniskowaną.

Rozogniskowanie wiązki laserowej – podniesienie głowicy laserowej o $f = 30$ mm, przy kącie wejścia wiązki laserowej $\alpha = 40^\circ$ spowodowało zmianę kształtu uzyskanej spoiny. Wykonano próby spawania przy dwóch poziomach mocy wiązki laserowej 2500 W (rys. 5, makrostruktura 10) oraz 3500 W (rys. 5, makrostruktura 11). Kształt uzyskanych spoin był bardziej zbliżony do spoin wykonanych metodami łukowymi – uzyskano większą szerokość lica i mniejsze wtopienie, zbliżone do szerokości lica. Uzyskano równomierne i estetyczne lico spoiny, co świadczy o przejściu, w wyniku rozogniskowania wiązki laserowej, z procesu spawania laserowego techniką z oczkiem, na technikę spawania z jeziorkiem. Pomimo tego, że na makrozglądzie złącza spawanego z mocą 3500W nie ujawniono przetopienia ścianki mieszka na wskroś, to oględziny wnętrza mieszka ujawniły miejscowy jego przetop w obszarze zakładki, a więc w miejscu kumulacji ciepła wprowadzanego do złącza.

Próby spawania z ustawieniem wiązki laserowej pod kątem $\alpha = 70^\circ$ oraz z ustawieniem ogniska wiązki laserowej na powierzchni łączonych materiałów w obszarze styku wykazały, że istnieje duża trudność w uzyskaniu stabilnego procesu spawania. Wiązka laserowa „ślizga się” po krawędzi otworu turbiny. Po jednej stronie złącza obwodowego wiązka laserowa odbiła się częściowo od krawędzi otworu turbiny, rozogniskowała się tworząc szeroką spoinę. Z drugiej strony, przy dodatkowym pojawieniu się szczeliny, wiązka laserowa nadtopiła krawędź otworu turbiny i wtopiła się w materiał mieszka (rys. 5, makrostruktura 13). Rozogniskowanie wiązki laserowej o $f = 20$ mm oraz zmniejszenie prędkości spawania pozwala uzyskać szerszą spoinę o estetycznym licu (rys. 5, makrostruktura 14). Spada jednak głębokość wtopienia s do ok. 0,6 mm. Zwiększenie mocy wiązki laserowej zwiększa głębokość wtopienia s , ale ze względu na kąt padania wiązki laserowej $\alpha = 70^\circ$, zwiększa się równocześnie wtopienie w ściankę mieszka, co może prowadzić do jej miejscowego przetopu (rys. 5, makrostruktura 15). Dalsze rozogniskowanie wiązki laserowej do $f = 30$ mm, z równoczesnym zmniejszeniem prędkości spawania do 0,66 m/min umożliwiło uzyskanie stabilnego procesu spawania, bez przetopienia ścianki mieszka, a głębokość wtopienia s wynosiła ok. 1 mm (rys. 5, makrostruktura 16).

Podsumowanie

Uzyskanie prawidłowych i powtarzalnych połączeń laserowych mieszka kompensacyjnego z turbiną jest trudne. Trudności te wynikają bezpośrednio z konstrukcji łączonych elementów, lokalizacji spoin oraz dokładności wymiarowej elementów przeznaczonych do spawania. Zestawiane ze sobą losowo elementy mieszka i turbiny raz umożliwiały spawanie elementów zestawionych ze sobą w sposób prawidłowy - bez szczeliny i wykonanie prawidłowego złącza. Innym razem, elementy były ze sobą spasowane w sposób luźny. W początkowej fazie spawania spoina formowała się w sposób prawidłowy. W wyniku skurczu spoiny i luźnego spasowania elementów po przeciwnej stronie złącza, szczelina powiększała się na tyle, że proces spawania ulegał zakłóceniu i pojawiały się miejscowe niezgodności (wkłębnięcia, braki ciągłości spoiny). Dalsze działania mające na celu poprawę stabilności i powtarzalności procesu spawania laserowego muszą być związane także ze zmianami w technologii wykonania elementów przeznaczonych do spawania. Wprowadzenie zmian konstrukcyjnych w mieszkach kompensacyjnych i/lub w obudowie turbiny oraz zawężenie tolerancji wykonania tych elementów w celu ich lepszego spasowania może jednak powodować znaczący wzrost części przeznaczonych do spawania, a niejednokrotnie może być niemożliwe do wykonania (np. ze względu na współpracę tych elementów z konkretnymi silnikami spalinowymi). Dodatkowo, wymagany jest odpowiedni dostęp głowicy laserowej, umożliwiający pozycjonowanie ogniska wiązki laserowej w styku elementów łączonych. Dostęp ten nie może być ograniczony przez układy mocująco - pozycjonujące elementy do spawania oraz bezpośrednio przez elementy spawane o skomplikowanym kształcie. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w procesie spawania laserowego turbiny i mieszka kompensacyjnego, najkorzystniejszym jest ustawienie wiązki laserowej pod jak najmniejszym możliwym kątem tak, aby kierunek propagacji wiązki laserowej był jak najbardziej zbliżony do styku łączonych elementów (parametry nr 3 wg tabl. 2). W przypadku konieczności spawania pod większym kątem, np. ze względu na możliwości pozycjonowania głowicy, należy rozogniskować wiązkę laserową, zwiększając tym samym objętość spoiny i stabilność procesu spawania (parametry nr 16 wg tabl. 2).

Wnioski

1. Spawanie laserowe mieszka kompensacyjnego z turbiną, stanowiących elementy zespołu manifold, umożliwia uzyskanie spoin charakteryzujących się dobrą jakością i odpowiednią głębokością wtopienia.
2. Największy wpływ na przebieg procesu spawania i jakość połączeń mają parametry spawania laserowego, usytuowanie wiązki laserowej względem złącza, a także tolerancje wykonania elementów i dokładność ich zamocowania w oprzyrządowaniu.
3. Wzrost mocy wiązki laserowej powoduje zwiększenie głębokości wtopienia, a przy stałej mocy wiązki, zwiększenie prędkości spawania powoduje zmniejszenie głębokości wtopienia.
4. Najkorzystniejszy ze względu na jakość złączy i głębokość wtopienia kąt nachylenia kierunku propagacji wiązki laserowej wynosi 20° . Zwiększenie kąta powoduje utratę stabilności procesu spawania i powstawanie niezgodności spawalniczych, w szczególności braku wtopienia.
5. Przesunięcie wiązki laserowej względem styku łączonych elementów powoduje powstawanie niezgodności kształtu spoiny oraz lokalnego braku wtopienia w jeden z łączonych elementów.
6. Rozogniskowanie wiązki laserowej umożliwia zwiększenie objętości spoiny, poprawę estetyki, ale jednocześnie powoduje zmniejszenie głębokości wtopienia.

Badania sfinansowano w ramach projektu pt.: „Opracowanie innowacyjnej technologii spawania łukowego i laserowego wraz z określeniem ich wpływu na emisję do atmosfery i środowiska pracy” (o numerze: POIR.01.02.00-00-0210/16), realizowanego w ramach Działania 1.2 Sektorowe programy B+R (INNOMOTO) z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020, współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Pilarczyk J., Banasik M., Dworak J., Stano S.: Technologiczne zastosowanie wiązki laserowej w Instytucie Spawalnictwa, Przegląd Spawalnictwa, nr 5-6/2006
- [2] Banasik M., Stano S.: Lasery dyskowe – źródło ciepła dla procesów spawalniczych, Przegląd Spawalnictwa nr 7/2011
- [3] Vaamonde Couso, E., Vázquez Gómez, J. (2010). Laser Beam Welding and Automotive Engineering. In: Moreira, P., da Silva, L., de Castro, P. (eds) Structural Connections for Lightweight Metallic Structures. Advanced Structured Materials, vol 8. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [4] Klimpel A.: Technologie laserowe. Wyd. Politechniki Śląskiej. Gliwice 2012
- [5] S. Matsuoka, Y. Okamoto, A. Okada, “Influence of weld bead geometry on thermal deformation in laser micro-welding” Procedia CIRP 6, s.492-497, 2013
- [6] Pilarczyk J (red.): Poradnik inżyniera Spawalnictwo tom I i II, Wydawnictwa WNT, Warszawa 2014.
- [7] Lisiecki A.: Diode laser welding of high yield steel. Proc. of SPIE Vol. 8703, Laser Technology 2012: Applications of Lasers, 87030S (January 22, 2013), DOI: 10.1117/12.2013429.
- [8] Stano S., Urbańczyk M.: Różne techniki spawania laserowego cz. I. Stal metale & nowe technologie 1-2/2015
- [9] Stano S., Urbańczyk M.: Różne techniki spawania laserowego cz. II. Stal metale & nowe technologie 3-4/2015
- [10] T.E. Abioye, T.O. Olugbade and T.I. Ogedengbe: Welding of dissimilar metals using gas metal arc and laser welding techniques: a review. Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences Vol. 8, No. 6, 2017

POSSIBILITIES AND LIMITATIONS OF USING THE LASER WELDING PROCESS TO JOIN CAST MANIFOLD AND TURBINE ELEMENTS OF COMBUSTION ENGINES. PART 1. LASER WELDING OF A TURBINE WITH A BELLOWS SPRING

ABSTRACT

The first part of the article presents the results of technological research on laser welding of elements reflecting the connection of the turbine with the bellows spring, constituting parts of the manifold assembly. The influence of the laser beam power, welding speed, beam propagation angle, focus position and beam focus size on the welding process, weld quality and penetration depth was determined.

KEYWORDS

manifold assembly, laser welding, preparation for welding, penetration depth, quality of welded joints



Rzeczpospolita
Polska



Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



Artykuł udostępniony na licencjach Creative Commons/ Article distributed under the terms of Creative Commons licenses: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0). License available: www.creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/