

Technologia naprawy uchwytów klapy dużej biernej silnika odrzutowego RD-33

RD-33 jet engine large passive flap handles repair technology

Streszczenie

Badania uszkodzeń uchwytów klapy dużej biernej silnika wykazały, że naprawa tych elementów wymaga opracowania warunków technologicznych napawania automatycznego plazmowego PTA oraz napawania laserowego HPDL materiałami dodatkowymi zapewniającymi zwiększoną odporność na zużycie ścierne metal-metal, w stosunku do materiału podłoża. Wstępne próby napawania plazmowego PTA oraz napawania laserowego HPDL wykazały, że można uzyskać napoiny wysokiej jakości. Przez odpowiedni dobór parametrów napawania możliwe jest sterowanie wymiarami napoin oraz udziałem materiału podłoża w napoinie. Wykonano również badania odporności na zużycie ścierne połączenia metal-metal zgodnie z normą ASTM G99. Wyniki badań tribologicznych wykazały, że warstwa napawana laserowo z dodatkiem proszku 50%Ti-50%WC spełnia wszystkie warunki i jest prawie 124 razy bardziej odporna na zużycie ścierne typu metal-metal niż powierzchnia nieutwardzona.

Abstract

Tests of handles of large passive flap, showed that the repair of these elements requires the development of technological conditions of automatic plasma PTA surfacing and HDPL laser surfacing with filler materials ensuring increase resistance to wear of metal-metal, relative to the substrate material. Trial attempts of PTA plasma surfacing and HPDL laser surfacing showed that there is a range of parameters to obtain high-quality padding welds. By appropriate parameters it is possible to control the padding weld dimensions and the participation of substrate material in the padding weld. There is also carried out the wear resistance of metal-metal in accordance with ASTM G99 tests. Tribological test results showed that the layer made with the use of laser and powder, 50%Ti 50% WC meets the best conditions and is almost 124 times more resistant to metal-metal abrasive wear than the unhardened surface.

Wstęp

Lotnicze silniki odrzutowe pracują w warunkach losowo zmiennych obciążeń dynamicznych (udarowych i zmęczeniowych), w temperaturze przekraczającej 1000°C i przy jednoczesnym oddziaływaniu zjawisk zużycia ściernego i erozji, pełzania, starzenia, kawitacji i korozji (głównie gazowej) [1÷3]. W celu zapewnienia możliwie najwyższej trwałości części lotniczych silników odrzutowych, wykonane są one głównie z nadstopów niklu, nadstopów kobaltu oraz stopów tytanu. Materiały te cechują się wysoką wytrzymałością, bardzo dobrą żaroodpornością i żarowytrzymałością (nadstopy niklu i kobaltu), odpornością na zużycie kawitacyjne, korozję i erozję oraz

wysoką odpornością na pękanie gorące, zmęczeniowe i krusze [4÷7]. Pomimo tak dobrych właściwości eksploatacyjnego, części silników odrzutowych ulegają zużyciu objawiającemu się głównie w postaci pęknięć lub utraty masy.

Z uwagi na szczególne warunki pracy lotniczych silników odrzutowych, bez względu na rzeczywisty stan zużycia silnika, zgodnie z wymogami producenta, silniki te muszą być poddawane okresowym przeglądom i remontom. Bardzo wysoki koszt części z nadstopów niklu i kobaltu oraz stopów tytanu, a jednocześnie rosnący poziom jakości nowoczesnych spawalniczych technologii naprawczych sprawia, że światowy przemysł lotniczy coraz powszechniej stosuje do naprawy zużytych części silników lotniczych technologie spawania, napawania i natryskiwania cieplnego [2, 8]. Producenci silników lotniczych dokładnie określają wymagania jakościowe spawalniczych prac naprawczych, czego przykładem jest np. specyfikacja firmy Pratt & Whitney – naprawy

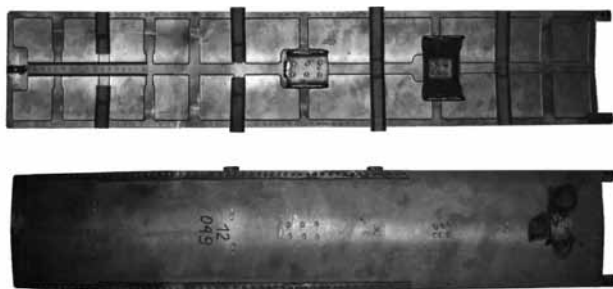
Prof. dr hab. inż. Andrzej Klimpel, dr inż. Agnieszka Rzeźnikiewicz – Politechnika Śląska, Gliwice.

odlewów łopatek z nadstopów niklu: *Specification – CPW 685 – Micro – weld repair of turbine vane and vane segment castings* [9]. Jednak szczegółowe warunki technologiczne spawalniczych prac naprawczych części silników lotniczych są z reguły zastrzeżone jako tajemnica handlowa. Typowe wady eksploatacyjne części silników lotniczych to pęknięcia wewnętrzne i zewnętrzne, o charakterze zmęczeniowym powstałe pod wpływem znacznych i zmiennych obciążeń eksploatacyjnych silników. Drugą, ważną grupą wad są ubytki materiału o różnym kształcie i objętości powstałe w wyniku zużycia pod wpływem łącznego lub oddzielnego oddziaływania zjawisk tarcia, erozji, korozji, kawitacji itd. Stopień zużycia decyduje o dalszej naprawie lub złomowaniu i wymianie na nową część.

W artykule opisano badania nad opracowaniem warunków technologicznych naprawy uchwytów kłapy dużej biernej.

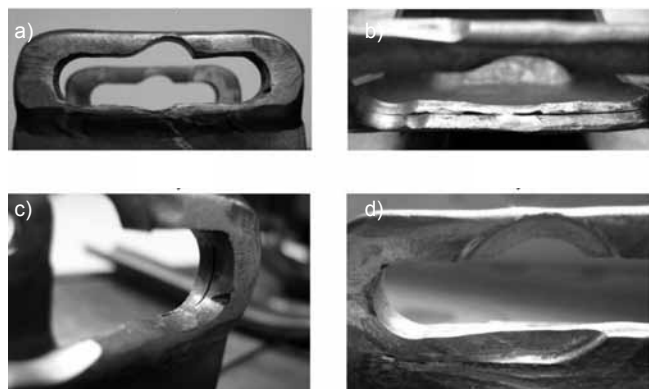
Przebieg badań

Kłapy duże bierne silnika RD-33 wykonane są ze stopu tytanu WT-20 i OT4-1, jako złożona, płaska konstrukcja spawano-nitowana, w której do blachy płata kłapy wykonanej ze stopu WT-20 przytwierdzone są



Rys. 1. Kłapa duża bierna silnika odrzutowego RD-33 samolotu MIG 29, ze stopu tytanu WT-20

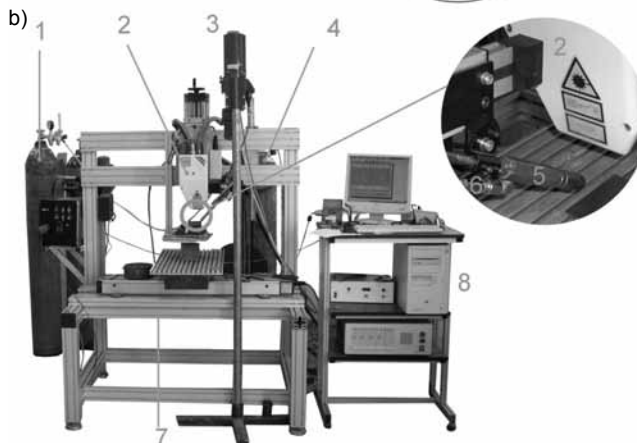
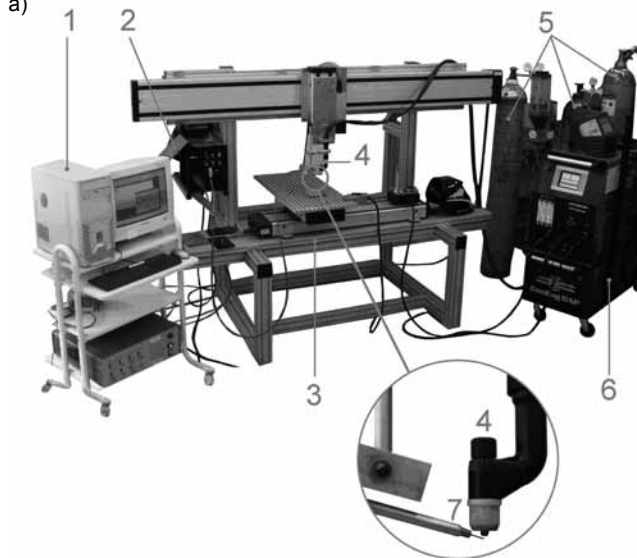
Fig. 1. View of jet engine RD-33 large passive flap from MIG 29, WT-20 titanium alloy made



Rys. 2. Ubytki w uchwytach mocujących kłapy dużej biernej silnika RD-33 powstające na skutek zużycia ściernego: 1 – w obszarze półki górnej uchwytu, 2 – wokół półki dolnej uchwytu, 3 – w bocznej części otworu ucha uchwytu, 4 – w wewnętrznym obszarze ucha uchwytu

Fig. 2. Abrasive wear defects in the large passive flap handles of RD-33 jet engine: 1 – in the upper handle plate, 2 – in the bottom handle plate, 3 – side of the lifting ear of the handle, 4 – in the inner of the lifting ear of the handle

dwa uchwyty ze stopu WT-20 i dwanaście zaczepów wewnętrznych i zewnętrznych, wykonanych ze stopu OT4-1. Kłapy zamocowane są w konstrukcji silnika RD-33 za pomocą sworzni ze stopu niklu HN77TJUR (rys. 1). Praca w wysokiej temperaturze przy losowo zmiennych obciążeniach dynamicznych i jednoczesnym oddziaływaniu tarcia metal-metal sprawia, że następuje intensywne zużycie ściernie obu uchwytów mocujących (rys. 2). Badania uszkodzeń uchwytów kłapy dużej biernej wykazały, że ich naprawa wymaga opracowania warunków technologicznych napawania automatycznego plazmowego PTA oraz napawania laserowego HPDL materiałami dodatkowymi zapewniającymi zwiększoną odporność na zużycie ściernie



Rys. 3. Stnowiska badawcze do spawania automatycznego: a) plazmowego: 1 – komputer sterujący stanowiskiem, 2 – podajnik drutu, 3 – stół, 4 – palnik plazmowy, 5 – butle z gazem, 6 – urządzenie Eutronic GAP 2001DC, 7 – materiał dodatkowy podawany w postaci drutu; b) laserem HPDL: 1 – butle z gazem osłonowym (argon), 2 – głowica laserowa, 3 – talerzowy podajnik proszku, 4 – butla gazu transportującego proszek (argon), 5 – dysza podawania proszku, 6 – dysza gazu osłonowego, 7 – spawalniczy stół sterowany komputerowo, 8 – komputer sterujący stanowiskiem

Fig. 3. View of test stations for automatic welding: a) plasma: 1 – control computer controller, 2 – wire feeder, 3 – table, 4 – plasma torch, 5 – gas cylinders, 6 – GAP 2001DC Eutronic device, 7 – wire filler material; b) HPDL laser: 1 – gas cylinders (argon), 2 – laser head, 3 – powder disc tray feeder, 4 – gas cylinder for powder supply (argon), 5 – powder feed nozzle, 6 – shielding gas nozzle, 7 – computer-controlled welding table, 8 – computer controller

Tablica I. Skład chemiczny stopu tytanu WT-20 i GRADE -5 oraz materiałów dodatkowych w postaci drutu z tytanu technicznego GRADE -2 i proszku z tytanu technicznego Amperit 155

Table I. Chemical composition of WT-20 and GRADE -5 titanium alloys, GRADE -2 titanium wire filler material and Amperit 155 titanium powder filler material

Nazwa stopu	Zawartość pierwiastków. % wag.												
	Al	Mo	Ti	I	Zr	C	Fe	Si	O	N	H	Mg	Mo
WT-20	5,5÷7,5	0,5÷2,0	reszta	0,8÷1,8	1,5÷2,5	0,1	0,3	0,15	0,15	0,05	0,02	-	-
GRADE-5	5,5÷6,75	-	reszta	3,5÷4,5	-	0,08	0,25	-	0,2	0,05	0,02	-	-
GRADE-2	-	-	reszta	-	-	0,1	0,3	-	0,25	0,03	-	-	-
Amperit 155	0,1	0,1	reszta	-	-	-	0,3	0,1	0,4	0,1	0,1	0,2	0,1

połączenia metal-metal w stosunku do materiału podłoża (rys. 3). W procesie automatycznego napawania plazmowego PTA jako materiał dodatkowy zastosowano drut z tytanu technicznego Ti-GRADE 2 o średnicy 1,2 mm, natomiast w procesie spawania laserowego HPDL jako materiał dodatkowy zastosowano proszek z tytanu technicznego o czystości 99,6% i ziarnistości 45÷50 µm. W celu rozszerzenia możliwych do zastosowania materiałów dodatkowych o materiały na osnowie kobaltu, cechujące się wysoką twardością stopiwa (ok. 40÷45 HRC), wykonano badania wpływu parametrów procesu napawania laserem HPDL proszkiem ze stopu kobaltu T400 na kształt i jakość prostych ściegów napoin (tabl. I). Dalsze badania procesu napawania laserowego HPDL przeprowadzono wykonanym we własnym zakresie proszkiem cermetalowym 50%Ti-50%WC.

W celu opracowania warunków technologicznych automatycznego napawania naprawczego plazmowego PTA konstrukcji klapy dużej biernej silnika, przeprowadzono wstępne próby napawania plazmowego PTA prostych ściegów napoin drutem z tytanu technicznego GRADE 2 o średnicy 1,2 mm, na dokładnie oczyszczonej powierzchni blach ze stopu tytanu GRADE 5 o grubości 2 mm. Badania wizualne oraz metalograficzne wykazały, że opracowane warunki technologiczne napawania plazmowego PTA drutem z tytanu technicznego GRADE 2 umożliwiają wykonanie wysokiej jakości prostych ściegów napoin w dużym zakresie szerokości ściegu (3,50÷7,45 mm) i wysokości nadlewu (0,88÷1,84 mm).

Badania procesu napawania laserowego HPDL proszkiem z tytanu technicznego AMPERIT 155, blach ze stopu tytanu GRADE 5 o grubości 2 mm wykazały, że jest możliwe uzyskanie prostych ściegów napoin o wysokiej jakości. Dobierając odpowiednie parametry napawania, można wykonać napoiny o wysokości nadlewu 0,48÷1,15 mm, szerokości lica 3,01÷6,38 mm, głębokości wtopienia 0,17÷0,64 mm oraz udziale materiału podłoża w napoinie 14÷61%.

W celu rozszerzenia możliwych do zastosowania materiałów dodatkowych o materiały na osnowie kobaltu, cechujące się wysoką twardością stopiwa, rzędu 40÷45 HRC, przeprowadzono badania wpływu parametrów procesu napawania laserem HPDL proszkiem ze stopu kobaltu T400, na kształt i jakość prostych ściegów napoin, na powierzchni

blachy ze stopu tytanu WT-20 grubości 6 mm. Użytko napoiny o poprawnym kształcie. Odnotowano znaczny wzrost twardości metalu napoiny – 1000÷1150 HV1,0. Tak znaczny wzrost twardości napoin został spowodowany dyspersyjnymi wydzieleniami bardzo twardego węgla tytanu oraz prawdopodobnie umocnieniem osnowy tytanem.

Dalsze badania procesu napawania laserowego HPDL przeprowadzono z wykonanym we własnym zakresie proszkiem cermetalowym 50%Ti-50%WC. Na podstawie badań wizualnych, penetracyjnych oraz metalograficznych wykazano, że w stosunkowo szerokim zakresie parametrów możliwe jest wykonanie prostych ściegów napoin wysokiej jakości. W procesie napawania płytek ze stopu tytanu WT-20 grubości 6 mm uzyskano proste ściegi napoin o szerokości lica 6,12÷6,43 mm, wysokości nadlewu 0,21÷0,76 mm, głębokości wtopienia 0,38÷0,97 mm oraz udziale materiału podłoża w napoinie 46÷67% (tabl. II, rys. 4). Procentowy udział sferycznych węglików wolframu w twardej osnowie stopu tytanu jest zależny od energii liniowej napawania laserowego i wynosi 6÷26% (tabl. II). Ponieważ w procesie napawania laserowego następuje częściowy rozpad węglików WC, wolfram i węgiel umacniają osnowę i w efekcie twardość HRC zmierzona na powierzchni lica napoin oraz twardość HV1,0 zmierzona na przekroju poprzecznym napoin jest na tym samym poziomie, w zakresie 54÷60 HRC i 413÷462 HV1,0, znacznie powyżej twardości materiału podłoża. W przypadku napawania laserowego HPDL, proszkiem cermetalowym 50%Ti-50%WC, próbek wyciętych z blachy ze stopu tytanu GRADE 5 grubości 2 mm, uzyskano proste ściegi napoin wysokiej jakości o szerokości lica napoiny 5,16÷6,13 mm, wysokości nadlewu 0,47÷0,77 mm, głębokości wtopienia 0,45÷1,05 mm oraz udziale materiału podłoża w napoinie 55÷65% (tabl. III, rys. 4). Wyższy udział materiału podłoża w napoinie w stosunku do napoin wykonanych na płycie ze stopu tytanu WT-20 o grubości 6,0 mm, wynika ze znacznie mniejszej pojemności cieplnej blachy ze stopu tytanu GRADE 5 o grubości tylko 2,0 mm.

Wykonano badania technologii stopowania laserowego HPDL proszkiem sferycznym węgla wolframu WC o ziarnistości 100÷150 µm powierzchni próbek wyciętych z blachy GRADE -5 grubości 2 mm oraz płytek ze stopu WT-20 grubości 6,0 mm. Badania jakości, wymiarów geometrycznych i twardości

ściegów wzbogaconych WC na podłożu ze stopu tytanu WT-20 wykazały, że ściegi napawane w zakresie parametrów optymalnych, są wolne od wad wewnętrznych i zewnętrznych, a rozkład sferycznych węglików wolframu WC jest równomierny na całej powierzchni przekroju poprzecznego ściegu przetopienia

(rys. 5). Pomimo wysokiej twardości ściegów stopowanych węglikiem wolframu WC, ich twardość na powierzchni lica mieści się w granicach 40÷50 HRC, a mikrotwardość HV_{0,1}, mierzona na przekroju poprzecznym ściegów, w zakresie 350÷400 HV_{0,1}. Możliwe jest wykonanie prostych ściegów stopowanych o szerokości

Tablica II. Wpływ parametrów napawania laserowego HPDL proszkiem cermetalowym 50%Ti-50%WC* płytki ze stopu tytanu WT-20 o grubości 6 mm, na jakość i kształt prostych ściegów napoin oraz udział materiału podłoża w napoinie (rys. 4)

Table II. Parameters influence of HPDL laser surfacing of 6 mm thick WT-20 titanium alloy plates with the use of 50%Ti-50%WC* cermet powder on the quality and shape of straight bead of padding welds and participation of substrate material in the padding welds (fig. 4)

Ozn. napoiny	Moc wiązki, kW	Prędkość podawania proszku, g/min	Szerokość lica mm	Wysokość nadlewu mm	Głębokość wtopienia, mm	U %	Udział WC w napoinie, %
W1	1,2	8,72	6,12	0,21	0,38	64	26,44
W2	1,4	14,0	6,15	0,61	0,53	46	26,44
W3	1,8	14,0	6,38	0,76	0,81	52	15,42
W4	2,0	14,0	6,43	0,48	0,97	67	5,95

Uwagi: Prędkość napawania 200 mm/min. Długość ogniskowej 82 mm. Wymiary ogniska wiązki laserowej 1,8x6,8 mm.

* Ziarnistość proszku 50%Ti-50%WC – 45÷150 µm.

Tablica III. Wpływ parametrów napawania laserowego HPDL proszkiem cermetalowym 50% Ti +50% WC płaskich próbek ze stopu tytanu GRADE 5 o grubości 2 mm, na jakość prostych ściegów napoin oraz kształt, udział materiału podłoża w napoinie (rys. 4)

Table III. Parameters influence of HPDL laser surfacing of 2 mm thick GRADE 5 titanium alloy plates with the use of 50%Ti+50%WC cermet powder on the quality and shape of straight bead of padding welds and participation of substrate material in the padding welds (fig. 4)

Ozn. napoiny	Moc wiązki kW	Prędkość podawania proszku, g/min	Szerokość lica mm	Wysokość nadlewu, mm	Głębokość wtopienia, mm	U %
G1	1,2	12,2	5,74	0,77	0,82	59
G2	1,4	15,8	5,84	0,62	0,78	58
G3	1,4	8,7	6,13	0,73	1,05	65
G4	1,0	8,7	5,16	0,47	0,45	55

Uwagi: Napawanie w kierunku prostokątym do szerszego boku ogniska wiązki laserowej o wymiarach 1,8x6,8 mm. Długość ogniskowej 82 mm. Natężenie przepływu gazu osłonowego 15 l/min. Natężenie przepływu gazu podającego proszek 8 l/min. Prędkość napawania 200 mm/min.

Tablica IV. Wpływ parametrów procesu stopowania laserem HPDL proszkiem sferycznym węglika wolframu WC powierzchni blachy ze stopu tytanu GRADE 5 o grubości 2 mm, na kształt i jakość prostych ściegów stopowania (rys. 5)

Table IV. Parameters influence of HPDL laser WC spherical powder alloying of 2 mm thick GRADE -5 titanium alloy plates on the quality and shape of straight bead of padding welds (fig. 5)

Oznaczenie ściegu stopowania	Moc wiązki kW	Natężenie podawania proszku, g/min	Prędkość stopowania, m/min	Szerokość lica mm	Głębokość stopowania mm
W1	1,2	13,5	200	6,03	1,0
W2	1,4	13,5	200	6,41	1,33
W6	1,2	29,5	300	5,72	0,68
W7	1,2	29,5	400	5,34	0,53

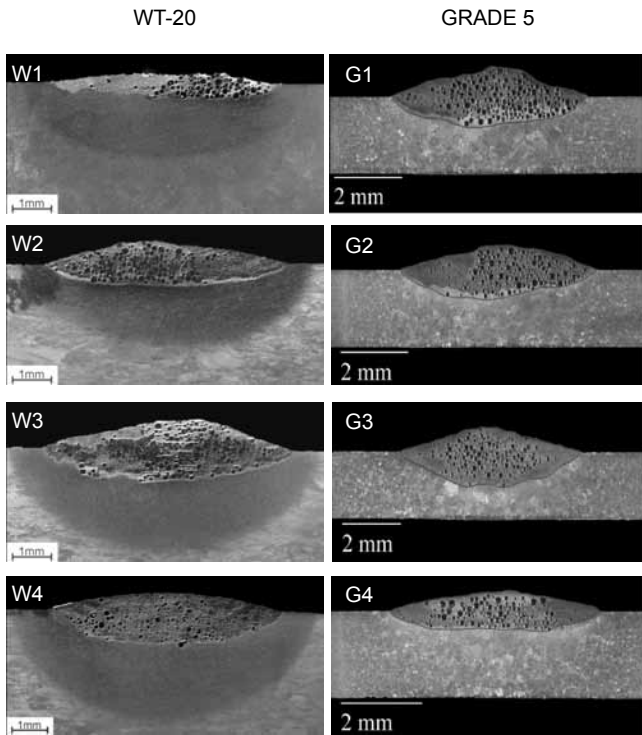
Uwagi: Wiązka laserowa o wymiarach 1,8x6,8 mm ogniskowana na powierzchni stopowanej blachy, długość ogniskowa wiązki laserowej 82 mm. Osłona obszaru stopowania – argon o natężeniu przepływu 15 l/min, osłona wleczona – argon.

Tablica V. Wpływ parametrów stopowania laserowego HPDL proszkiem sferycznym węglika wolframu WC powierzchni płytki ze stopu tytanu WT-20 o grubości 6 mm na kształt i jakość prostych ściegów stopowanych (rys. 5)

Table IV. Parameters influence of HPDL laser WC alloying of 2 mm thick WT-20 titanium alloy plates on the quality and shape of straight bead of padding welds (fig. 5)

Oznaczenie ściegu stopowania	Moc wiązki kW	Natężenie podawania proszku, g/min	Prędkość stopowania, m/min	Szerokość lica mm	Głębokość wtopienia, mm	Udział WC %
S7	1,4	9,15	0,80	4,56	0,35	3,85
S8	1,6	9,15	0,80	4,01	0,39	3,70
S9	1,6	12,67	0,80	5,01	0,44	8,18
S11	1,6	23,23	0,80	5,35	0,61	14,80

Uwagi: Długość ogniskowej 82 mm. Wymiary ogniska wiązki laserowej 1,8x6,8 mm. Natężenie przepływu gazu osłonowego 20 l/min.



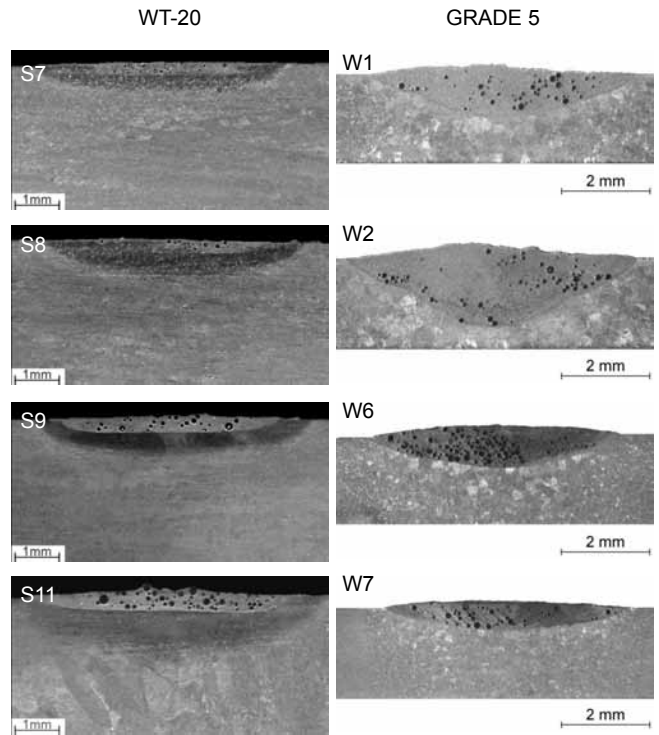
Rys. 4. Makrostruktura prostych ściegów napoin wykonanych laserem HPDL proszkiem cermetalowym 50%Ti-50%WC, na powierzchni blachy ze stopu tytanu WT-20 grubości 6 mm oraz na powierzchni blachy ze stopu tytanu GRADE -5 grubości 2 mm

Fig. 4. Macrostructure of straight bead of padding welds made with the use of HPDL laser and 50%Ti-50%WC cermet powder on the surface of 6 mm thick WT-20 titanium alloy plates and 2 mm thick GRADE-5 titanium alloy plates

w zakresie 5,3÷6,4 mm i grubości 0,5÷1,3 mm (tab. IV, rys. 5). W przypadku ściegów stopowanych powierzchni blach ze stopu tytanu WT-20 o grubości 6 mm badania wizualne, penetracyjne i metalograficzne wykazały, że możliwe jest uzyskanie wysokiej jakości ściegów stopowanych, wolnych od jakichkolwiek wad wewnętrznych. Przez odpowiedni dobór parametrów stopowania laserowego HPDL, proszkiem WC, możliwe jest uzyskanie ściegów o szerokości 4,0÷5,3 mm i grubości 0,3÷0,6 mm. Pomimo ograniczonej zawartości węglików wolframu WC w osnowie tytanowej, w zakresie 3,7÷15% (tab. V), struktura ściegów przetopienia została znacznie utwardzona rozpuszczonym w niej wolframem i węglem, a wskutek tego twardość lica ściegów stopowanych mieści się w granicach 51÷58 HRC, na przekroju poprzecznym twardość osnowy wynosi 330÷360 HV0,3.

Badania odporności na zużycie ścierne połączenia metal-metal

Badanie odporności na zużycie ścierne połączenia metal-metal wykonano metodą „Pin-on-Disk” wg normy ASTM G99-95A: „Standard Test Method for Wear Testing with Pin-on-Disk Apparatus” na nowoczesnym stanowisku badawczym sterowanym komputerowo, T-01M firmy iTeE-PiB (rys. 6).

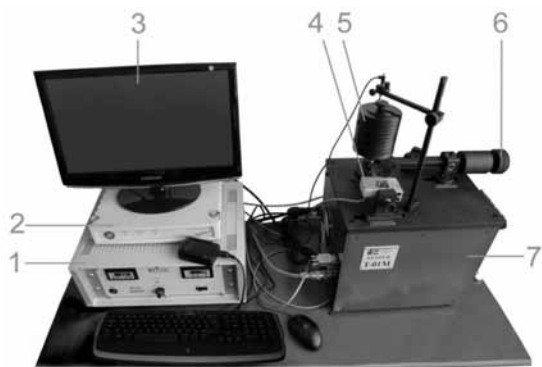


Rys. 5. Makrostruktura ściegów stopowanych laserowo HPDL węglkiem wolframu WC, powierzchni blachy ze stopu tytanu WT-20 grubości 6 mm oraz na powierzchni blachy ze stopu tytanu GRADE -5 grubości 2 mm

Fig. 5. Macrostructure of WC alloyed bead of padding welds made with the use of HPDL laser on the surface of 6 mm thick WT-20 titanium alloy plates and 2 mm thick GRADE -5 titanium alloy plates

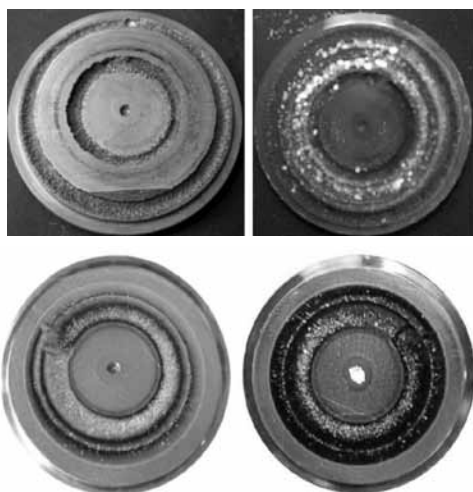
Badania nad opracowaniem warunków technologicznych napawania naprawczego plazmowego PTA oraz laserowego HPDL wytarcz uchwytów klapy wykazały, że najwyższą jakość napoin naprawczych uzyskano w przypadku technologii napawania laserem HPDL i stąd też badania odporności na zużycie ścierne przeprowadzono na powierzchni warstw wierzchnich napawanych proszkiem cermetalowym 50%Ti+50%WC oraz warstw stopowanych sferycznym węglkiem wolframu za pomocą lasera HPDL oraz próbki porównawczej ze stopu tytanu GRADE 5 (rys. 7, tab. VI).

Wykonane badania odporności na zużycie ścierne typu metal-metal wykazały najwyższą odporność napoin napawanych laserem HPDL proszkiem cermetalowym 50%Ti-50%WC – aż 124 razy większą od odporności na zużycie ścierne materiału podłoża ze stopu tytanu GRADE 5 (tab. VI, rys. 8). Warstwa stopowana sferycznym węglkiem wolframu WC pomimo wysokiej twardości lica, porównywalnej do twardości lica napoin wykonanych proszkiem cermetalowym 50%Ti-50%WC, charakteryzuje się niewiele wyższą (1,3 razy) odpornością na zużycie ścierne metal-metal od materiału podłoża. Tak duża różnica odporności na zużycie ścierne napoin i warstw stopowanych wynika z mniejszej grubości warstwy stopowanej oraz mniejszego udziału objętościowego sferycznych węglików wolframu w warstwie stopowanej laserowo HPDL (rys. 9).



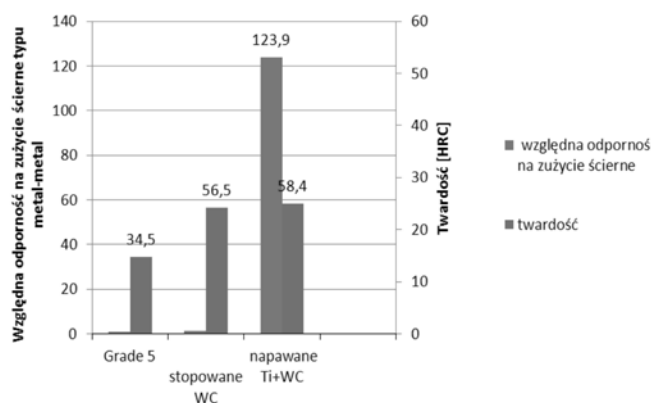
Rys. 6. Stanowisko do badania tarcia i zużycia materiałów konstrukcyjnych metodą kula-tarcza (ang. *pin-on-disk*): 1 – sterownik/komputer BT-01 z zainstalowanym programem pomiarowo-rejestrującym, 2 – cyfrowy wzmacniacz pomiarowy SPIDER 8, 3 – monitor, 4 – siłomierz, 5 – obciążniki, 6 – przeciwwaga, 7 – tribometr T-01M

Fig. 6. The station of the friction and wear testing of construction materials by a pin-on-disk method: 1 – driver / BT-01 computer with measurement-recording software, 2 – digital measuring amplifier SPIDER 8, 3 – monitor, 4 – dynamometer, 5 – weights, 6 – counterweight, 7 – tribometer T-01M



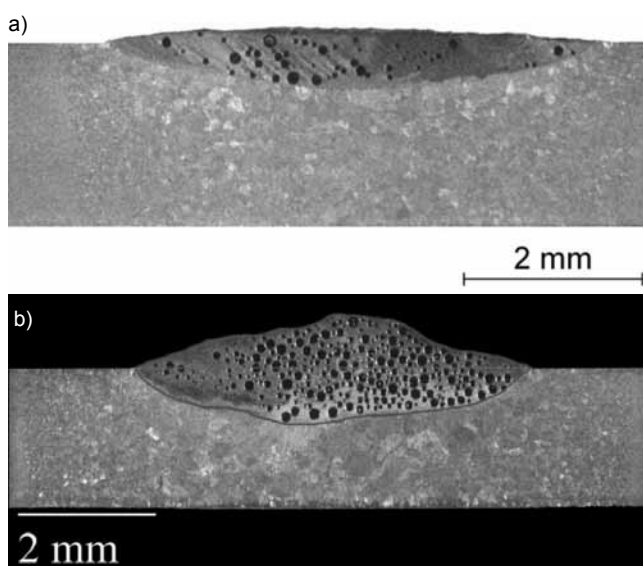
Rys. 7. Widok lica ściegu stopowanego i lica napoin po badaniach wizualnych i badaniach penetracyjnych próbek przeznaczonych do badań odporności na zużycie ściernego typu metal-metal

Fig. 7. View of alloyed face of the bead and the face of the padding weld after visual assessment and penetration testing of samples for metal-metal resistance to abrasive wear testing



Rys. 8. Porównanie stopnia odporności na zużycie warstw stopowanych oraz napawanych laserem HPDL względem powierzchni próbki ze stopu tytanu GRADE 5 oraz ich twardości HRC (tabl. IV)

Fig. 8. Comparison of resistance to abrasive wear of HPDL laser alloying and surfacing layers to the surface of GRADE 5 titanium alloy samples and the hardness of HRC (Tabl. IV)



Rys. 9. Makrostruktura ściegów stopowanych laserem HPDL proszkiem sferycznym węgla wolframu (WC) (a) oraz napoin napawanych laserem HPDL proszkiem 50%Ti+50%WC (b)

Fig. 9. Macrostructure of HPDL laser WC spherical powder alloyed beads and padding weld surfaced by HPDL laser (a) and 50%Ti-50%WC powder (b)

Tablica VI. Wyniki badań odporności na zużycie ściernego typu metal-metal warstwy stopowanej laserem HPDL proszkiem sferycznym WC oraz napawanych laserem HPDL proszkiem cermetalowym 50%Ti-50%WC (rys. 7, 8)

Table VI. Results of tests for metal-metal resistance to abrasive wear of laser HPDL WC spherical powder alloyed layer HPDL laser surfacing with the use of 50%Ti-50%WC cermet powder (fig. 7, 8)

Parametry	Stopowana WC		Napawana 50%Ti-50%WC		Stop tytanu GRADE 5	
	przed	po	przed	po	przed	po
Masa próbki	33,9087	33,8955	45,1059	45,1057	34,6729	34,6576
Ubytek	0,0132		0,0002		0,0153	
Masa kulki	4,0743	4,0741	4,0749	4,0742	4,0742	4,0737
Ubytek	0,0002		0,0007		0,0005	
Gęstość warstwy, g/cm ³	5,0178		7,2983		4,507	
Ubytek objętości, mm ³	2,6301		0,0274		3,3947	
Odporność względem GRADE 5 *	1,3 razy większa		123,9 razy większa		1	

Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły na opracowanie warunków technologicznych napawania i stopowania naprawczego kłapy dużej biernej silnika odrzutowego samolotu MIG 29. Po szczegółowej analizie konstrukcji uchwytów oraz możliwych do zastosowania technologii naprawy uznano, że najlepszym rozwiązaniem będzie zastosowanie następującej procedury naprawy:

- wycięcie górnej części ucha uchwytu,
- automatyczne napawanie i/lub stopowanie laserowe płytki ze stopu tytanu WT-20 lub GRADE 5 o grubości 6 mm warstwą o grubości 1,0÷1,5 mm, o wysokiej odporności na zużycie ściernie typu metal-metal,

- kontrola jakości napoiny,
- wyrównanie i dokładne oczyszczenie powierzchni dolnej półki ucha uchwytu,
- napawanie plazmowe PTA lub napawanie laserowe powierzchni dolnej półki ucha uchwytu warstwą o grubości 1,0÷1,5 mm o wysokiej odporności na zużycie ściernie typu metal-metal,
- wycięcie z napawanej płytki ze stopu tytanu WT-20 lub GRADE 5 prętów o wymaganej długości, wyrównanie powierzchni napawanej warstwy do wymaganej grubości napoiny, wygięcie końcówek pręta i przyspawanie ręczne plazmowe PTA pręta do półki dolnej uchwytu,
- kontrola jakości złączy spawanych uchwytu.

Literatura

- [1] A. Klimpel: Napawanie i natryskiwanie cieplne. Technologie, WNT, Warszawa, 2000.
- [2] L. Shepeleva et al.: Laser cladding of turbine blades, Surface & Coatings Technology 125, 2000, s. 45 – 48.
- [3] L. Swadźba et al.: Erosion and corrosion resistant coatings for aircraft compressor blades, Surface and Coatings Technology 62, 1993, s. 486-492.
- [4] A. Moiseyev: Titanium Alloys: Russian Aircraft and Aerospace Applications, J. N. Fridlyander, D. G. Eskin, Advances in Metallic Alloys, Taylor & Francis Group, Vol. V, 2006.
- [5] M. Hetmańczyk, L. Swadźba, B. Mendala: Advanced materials and protective coating in aero-engines application, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 24/1, 2007, s. 372-381.
- [6] Ch. Leyens, M. Peters: Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications, Wiley-VCH Verlag GmbH, 2005.
- [7] A. Klimpel, A. Olejnik, D. Janicki, A. Lisiecki: Laserowe spawanie naprawcze kłap wylotowych odrzutowego silnika lotniczego z nadstopu niklu, Przegląd Spawalnictwa nr 12, 2009, s. 11-18.
- [8] S. Nowotny, S. Scharek, A. Schmidt: Advanced Laser Technology Applied to Cladding and Buildup, Welding Journal, Vol. V, 2007.
- [9] Pratt & Whitney Canada Corp. Specification: Micro-weld repair of turbine vane and vane segment castings.

Wydarzenia

Zakład Air Products w Siewierzu otrzymał prestiżową europejską złotą nagrodę stowarzyszenia EIGA w dziedzinie bezpieczeństwa

Zakład w Siewierzu należący do Air Products, największego dostawcy gazów technicznych w Polsce, otrzymał europejską złotą nagrodę stowarzyszenia EIGA (European Industrial Gases Association – Europejskie Stowarzyszenie Gazów Technicznych), która jest najbardziej prestiżową nagrodą w tej branży, przyznawaną za wyjątkowe osiągnięcia w dziedzinie bezpieczeństwa.

Zakład Air Products w Siewierzu otrzymał złotą nagrodę stowarzyszenia EIGA za 1 500 000 przepracowanych godzin bez wypadków powodujących straty w czasie pracy zakładu. To najbardziej prestiżowe wyróżnienie przyznawane jest przez stowarzyszenie EIGA za 15 kolejnych lat lub 1 milion przepracowanych godzin bez wypadków powodujących straty w czasie pracy zakładu. Złota nagroda stowarzyszenia EIGA po raz kolejny przyznana zakładowi Air Products w Siewierzu, potwierdza jego funkcjonowanie zgodnie z zasadami bezpieczeństwa obowiązującymi w branży oraz zaangażowanie firmy na tym polu. Zakład Air Products w Siewierzu został uhonorowany tą nagrodą także w ubiegłym roku.

„Bezpieczeństwo to jeden z priorytetów dla firmy Air Products. Działamy odpowiedzialnie, dlatego też chcemy zapewnić

całkowitą zgodność funkcjonowania Air Products ze światowymi standardami bezpieczeństwa. Organizujemy dla pracowników liczne szkolenia oraz stale informujemy ich o zasadach bezpieczeństwa, ponieważ tylko wspólny wysiłek może zapewnić nam osiągnięcie zamierzonych celów. Poza respektowaniem wymogów obowiązujących w całej branży, ustaliśmy także wewnętrznie bardzo wysokie standardy bezpieczeństwa pracy w naszych zakładach. Tym bardziej jesteśmy dumni z naszych pracowników, ponieważ to właśnie dzięki ich zaangażowaniu udało nam się uzyskać ten wynik, doceniony przez Europejskie Stowarzyszenie Producentów Gazów Technicznych (EIGA)” – powiedział Tadeusz Świerkosz, menedżer ds. bezpieczeństwa, Air Products.

W uznaniu dla dostosowania standardów operacyjnych do najlepszych praktyk w zakresie bezpieczeństwa i środowiska pracy (Environmental Health and Safety), Europejskie Stowarzyszenie Producentów Gazów Technicznych (EIGA) przyznało złotą nagrodę w dziedzinie bezpieczeństwa także innemu europejskiemu zakładowi Air Products, zlokalizowanemu w Aberdeen w Szkocji. Nagrodę przyznano za 50 kolejnych lat bez wypadków powodujących straty w czasie pracy zakładu. Jest to następny wyraz uznania dla zaangażowania Air Products w zapewnianie bezpieczeństwa w środowisku pracy oraz potwierdzenie osiągnięć firmy na tym polu.

Dorota Grzegorzcyk, Jarosław Soroczyński