

Szymon TOFIL¹
Krzysztof ANTOSZEWSKI²

BADANIA TRWAŁOŚCI ZŁĄCZA NiCr-Pt MIKROSPAWANEGO LASEREM Nd:YAG PRACUJĄCEGO W SILNIKU SPALINOWYM O ZAPŁONIE ISKROWYM

W pracy przedstawiono badania trwałości złącza NiCr-Pt mikrospawanego laserem Nd:YAG pracującego w silniku spalinowym o zapłonie iskrowym. Przedstawiono wybrane problemy mikrospawania elementów małogabarytowych laserem Nd:YAG oraz wyniki prób tego spawania. W ramach aktualnie prowadzonych badań wykonano pomiary mikrotwardości i obserwacje mikrostruktury przy użyciu mikroskopu metalograficznego oraz skaningowego. Badania eksploatacyjne wykonano na mikroskopie stereoskopowym OLYMPUS SZX10 oraz kształtografie TOPO 01Kv2.

1. WPROWADZENIE

Ostatnia dekada XX wieku przyniosła znaczący postęp w rozwoju wielu gałęzi przemysłu. Nastąpił także rozwój urządzeń laserowych wykorzystywanych począwszy od sprzętu wojskowego poprzez maszyny przemysłowe skończywszy na zastosowaniach w urządzeniach gospodarstwa domowego. Urządzenia laserowe w przemyśle wykorzystuje się między innymi do: cięcia, spawania, znakowania, mikroobróbki oraz wielu innych [4-7].

Proces spawania laserowego polega na przetopieniu metali w miejscu ich zetknięcia zogniskowaną wiązką promieniowania o gęstości mocy 10^4 – 10^6 W/mm² [8]. Spawanie laserowe wykorzystuje energię świetlną w celu szybkiego podgrzania spoiny oraz zmniejszenia strefy wpływu ciepła między łączonymi detalami. Natężenie energii światła jest kontrolowane poprzez rozmiar wiązki, napięcie, długość impulsu pojedynczego lub powtarzającego się w ściśle określonych jednostkach czasu. Ponieważ używane jest źródło światła o wysokiej intensywności przez spajany element nie przepływa prąd elektryczny. Podczas spawania laserowego między łączonymi detalami nie ma żadnych oddziaływań elektrycznych a więc brak jest skutków polaryzacji w spoinie. Promień lasera jest używany do stopienia materiału rodzimego a także opcjonalnie topiony jest pręt spoinowy. Przy

¹ Politechnika Świętokrzyska, Centrum Laserowych Technologii Metali

² Politechnika Świętokrzyska, Ośrodek Ochrony Własności Intelektualnej

wyborze materiału pręta na spoinę należy wystrzegać się zanieczyszczeń, które mogą prowadzić do obniżenia jakości wykonanej spoiny [2],[9],[10].

Aby wykonywać wysokiej jakości konstrukcje spawane ze stali austenitycznych odpornych na korozję, należy opracować technologię i techniki zapewniające zarówno odpowiednią jakość połączeń jak i optymalną wydajność procesu spawania. Stale austenityczne typu 18/8 uznaje się za dość dobrze spawalne. Problemy pękania gorącego i korozji międzykrystalicznej złączy spawanych ograniczone są w znacznym stopniu dzięki bardzo wysokiej czystości metalurgicznej stali i materiałów dodatkowych oraz możliwościami dokładnej regulacji energii liniowej spawania. Jedynym problemem szczególnie w przypadku spawania cienkich blach, pozostaje zmniejszenie odkształceń spawalniczych, wynikających z dużego współczynnika rozszerzalności cieplnej stali austenitycznych, ok. $18 \cdot 10^{-6}$ [1/K] i bardzo małej przewodności cieplnej, ok. 15,5[W/m*K].

Klasyczną metodą spawania cienkich blach ze stali austenitycznych jest spawania metodą GTA i PTA, gdzie w celu ograniczenia odkształceń spawalniczych stosuje się sztywne oprzyrządowanie, odkształcenie wstępne złączy lub intensywne chłodzone wodą podkładowki miedziane formujące grań złącza [1].

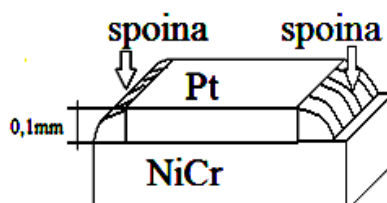
Spawanie laserowe oferuje możliwości niedostępne przy wykorzystaniu technologii spawania konwencjonalnego. Techniki laserowe zostały wdrożone do obróbki metali, w tym do cięcia, spawania, wycinania, specjalnej obróbki powierzchniowej. Złącza spawane laserowo wykazują własności najwyższe ze złączy spawanych innymi metodami, dotyczy to m.in. nisko- i wysokostopowych stali węglowych, (stopów) niklu, kobaltu, (stopów) tytanu i pozostałych metali reaktywnych trudno topliwych. Cechy charakterystyczne światła laserowego to: równoległość wiązki, pasmo spektralne, gęstość mocy, spójność (koherencja). Proces spawania laserowego charakteryzują następujące zalety: wysoka czystość procesu (zależna od przygotowania powierzchni i czystości gazów), możliwość łączenia materiałów trudno spawalnych oraz spawania z wysoką precyzją (łączenie elementów cienkich i grubych), łatwość automatyzacji, wysoka gęstość mocy (w przypadku spawania głębokiego) dzięki czemu uzyskuje się małe dystorsje, spawanie przebiega pod ciśnieniem atmosferycznym (w przeciwieństwie do spawania wiązką elektronów, które wykonuje się w próżni) oraz bardzo ważną zaletą jaką jest wąska strefa wpływu ciepła [8].

Pewne jest, że zarówno narzędzia do spawania laserowego jak i konwencjonalnego będą nadal się rozwijać i stwarzać coraz to nowsze możliwości ich wykorzystania w celu spełniania wymogów klientów. W ślad za rozwojem technik wykonywania rozwijają się także metody badania i analizy wyników tych procesów [3],[11].

Jedną z ważniejszych gałęzi technologicznych gdzie spawanie laserowe znalazło szerokie zastosowanie jest przemysł motoryzacyjny. Pojedyncze maszyny a także całe zespoły pracujących ze sobą gniazdowo maszyn wykonują prace w ciężkich i groźnych dla zdrowia człowieka warunkach. Zautomatyzowanie tych procesów niesie ze sobą cały szereg możliwości ciągłej i wydajniejszej pracy na równym poziomie powtarzalności. Dzięki tym rozwiązaniom można zmniejszyć koszty produkcji detali a także zminimalizować ilość użytego materiału. Za pomocą tej techniki wykonuje się spawy elementów wielkogabarytowych takich jak karoserie samochodowe oraz szereg małogabarytowych detali a wśród nich świece zapłonowe.

2. BADANIA WŁASNE

Próby spawania polegały na wykonaniu spoin na małogabarytowych elementach wykonanych ze stopów na bazie platyny. Elementy wykonane z płytki platynowej o grubości 0,1mm spawane były do podłoża z Ni-Cr według schematu przedstawionego na rys. 1.



Rys 1. Schemat łączenia elementów NiCr-Pt
Fig. 1. Schema of connecting elements NiCr-Pt

Do spawania zastosowano laser Nd:YAG o następującej charakterystyce: typ lasera: laser Nd:YAG model BLS 720, średnia moc: 150W, moc szczytowa: 7kW, energia impulsu: 35J, czas impulsu: 0,3–20ms, częstotliwość: do 300Hz.

2.1. CZĘŚĆ TECHNOLOGICZNA

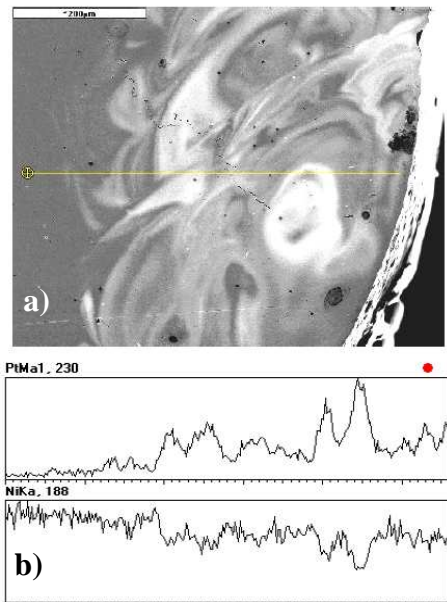
W pierwszej kolejności rozwiązano bardzo ważny problem pozycjonowania łączonych elementów względem siebie jak również względem wiązki promienia laserowego. Wykorzystano do tego celu specjalnie wykonane oprzyrządowanie oraz przygotowanie elementów łączonych. Płaska płytka ze stopu na bazie platyny została wstępnie przygrzana do podłoża.

Parametry spawania dobrano eksperymentalnie na podstawie obserwacji zmian efektów spawania przy zmianie poszczególnych parametrów procesu. Regulowano moc lasera poprzez zmiany napięcia zasilającego lampy, częstotliwość działania impulsów, czas ich trwania oraz prędkość posuwu w trakcie spawania. Proces prowadzono przy osłanianiu strefy spawanej azotem. Najkorzystniejsze efekty osiągnięto przy następujących parametrach pracy lasera: moc 50W co odpowiada napięciu na lampach 600V, częstotliwość 5Hz, prędkość posuwu 120mm/min.

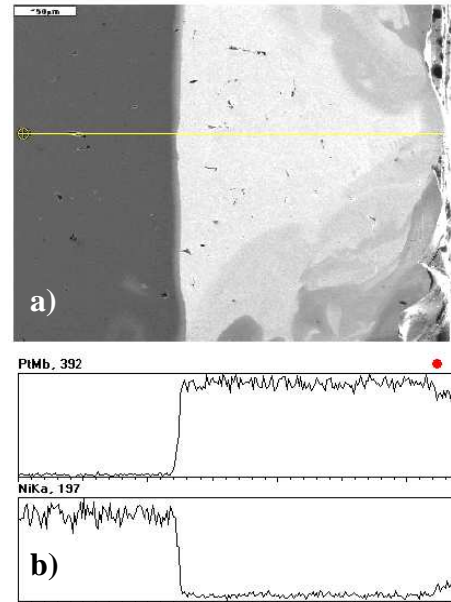
Wykonano zglądy poprzeczne spoiny, które obserwowano na mikroskopie metalograficznym oraz skaningowym. W wybranych strefach spoiny dokonano analizy liniowego rozkładu wybranych pierwiastków oraz parametrów mikrotwardości. W opracowaniu przedstawiono wybrane wyniki przeprowadzonych badań.

Przedstawiona na rysunku 2 strefa przetopu charakteryzuje się wyraźnie widocznymi efektami ruchów konwekcyjnych. Jaśniejsze pola oznaczają strefy bogatsze w platynę. Wymieszanie nie jest równomierne w środkowej części kadru widoczne jest mikropęknięcie

układające się prostopadłe do lica spoiny. Wymienione zjawiska świadczą o tym, że materiał spoiny znajdował się w stanie ciekłym zbyt krótko aby nastąpiło równomierne wymieszanie i skompensowanie naprężeń.

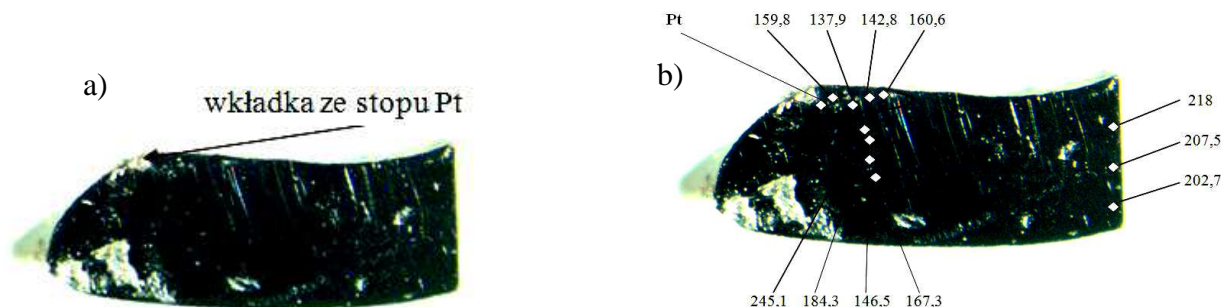


Rys. 2. Strefa krawędzi lewej przetopu: a) widok, b) liniowy rozkład pierwiastków w spoinie NiCr-Pt
Fig. 2. The left edge of the zone melting: a) picture, b) linear distribution of elements in the joint NiCr-Pt

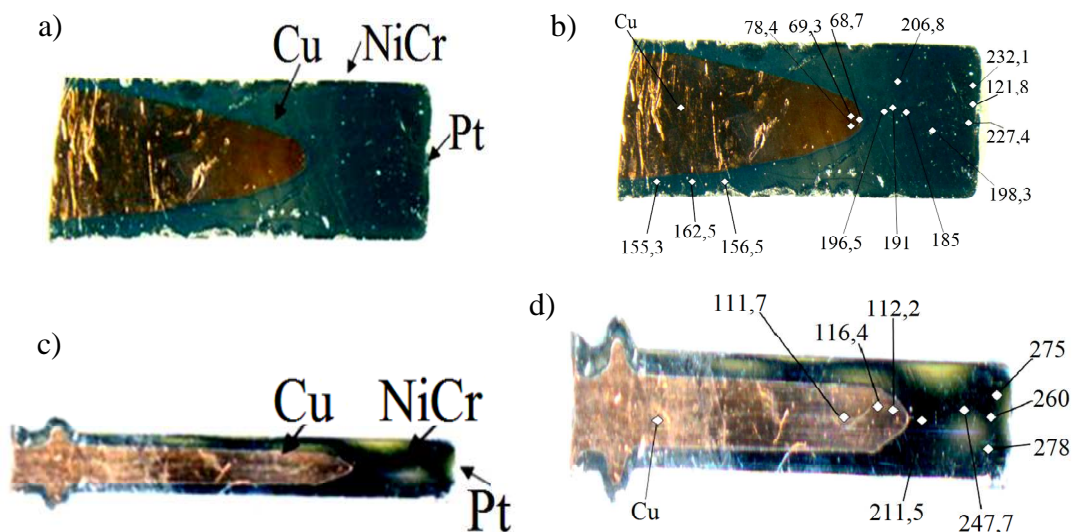


Rys. 3. Strefa środkowa połączenia NiCr-Pt: a) widok, b) liniowy rozkład pierwiastków w spoinie NiCr-Pt
Fig. 3. Centre zone of the connection NiCr-Pt: a) picture, b) linear distribution of elements in the joint NiCr-Pt

W środkowej strefie połączenia, widocznej na rysunku 3, brak jest przetopu - połączenie ma charakter połączenia zgrzewanego o bardzo cienkiej strefie dyfuzji. Górna część elementu łączzonego jest częściowo przetopiona, widoczne są tu strefy o różnej zawartości platyny. Wymieszanie składników przetopu, widoczne w prawej części kadru jest równomierne.



Rys. 4. Świeca zapłonowa z przyspawaną wkładką ze stopu Pt: a) widok zglądu elektroda masowa (boczna), b) pomiary wykonane za pomocą mikrotwardościomierza z obciążeniem HV0,1
Fig. 4. Spark plug with welded cover of Platinum alloy: a) picture of the microsections the mass (lateral) electrode, b) measurements made by microhardness machine with load HV0.1



Rys. 5. Świeca zapłonowa z przyspawaną wkładką ze stopu Pt: a), c) widok zglądu elektrody środkowej, b), d) pomiary wykonane za pomocą mikrotwardościomierza z obciążeniem HV0,1
 Fig. 5. Spark plug with welded cover of Platinum alloy: a), c) picture of the microsections the centre electrode. b), d) measurements made by microhardness machine with load HV0,1

Pomiary mikrotwardości pozwalają nam na wnioskowanie dotyczące zmian strukturalnych w złączu i jego otoczeniu. Tym samym można poprzez te pomiary zidentyfikować strefy wpływu ciepła.

Przeprowadzone pomiary mikrotwardości wykazują, że w strefach przetopu występuje zwiększenie twardości w obszarach bogatych w platynę. Mikrotwardość wynosi tu od 260 do 278 HV0,1 wobec około 200 HV0,1 w strefie nieprzetopionej. Wynik ten dowodzi, że w tej nieprzetopionej strefie doszło do przegrzania i rozdrobnienia struktury platyny skutkującego wzrostem twardości. Twardość wyjściowa użytego surowca wynosi od 120 do 142 HV0,1. W elektrodzie na rys. 5 występuje wkładka miedziana dla ułatwienia odprowadzenia ciepła. Jej twardość w zależności od sposobu wytwarzania wynosi od 68 do 116 HV0,1.

2.2. CZĘŚĆ EKSPLOATACYJNA

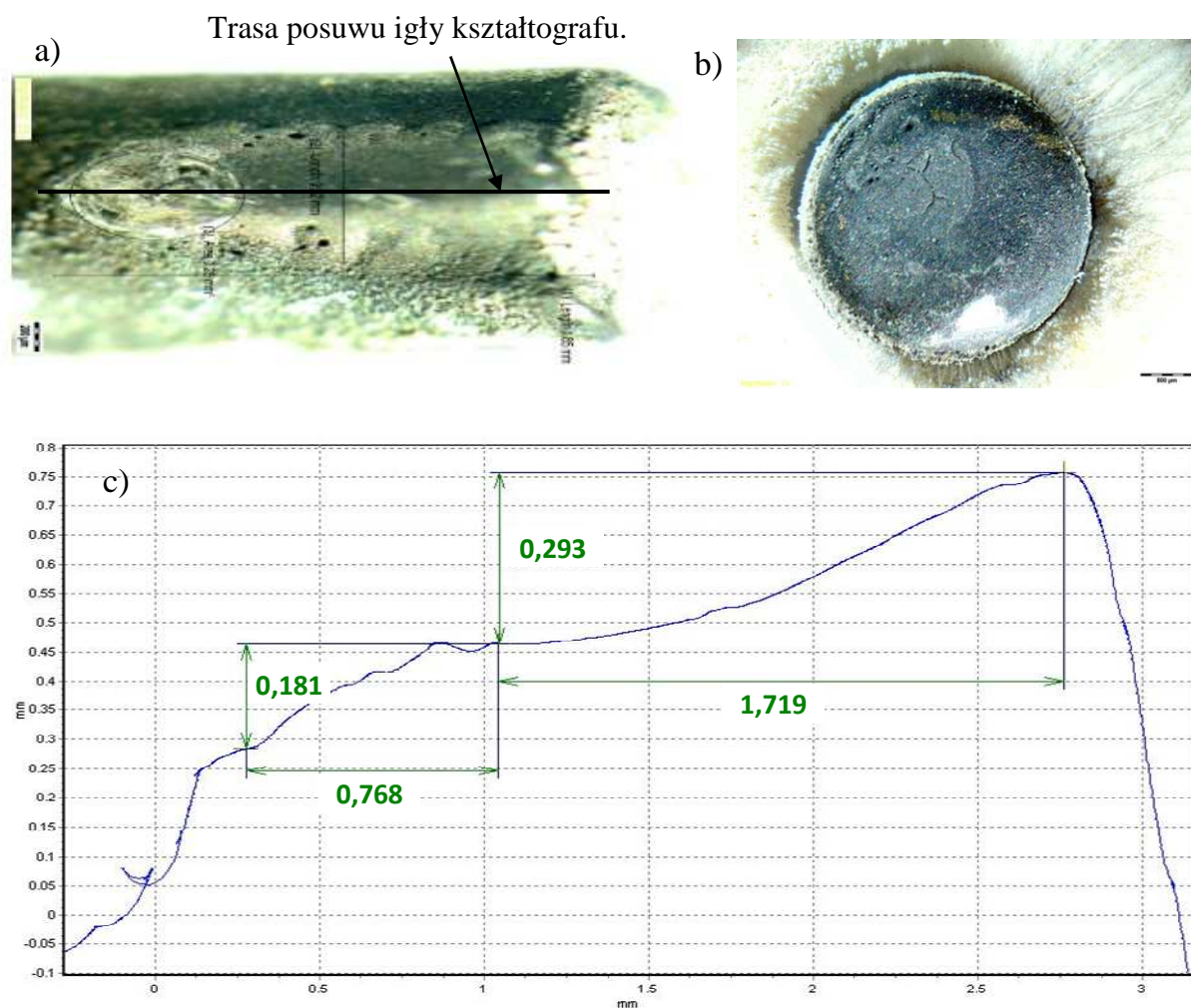
W pracy przedstawiono badania trwałości laserowo wykonanego złącza NiCr-Pt pracującego w warunkach wyładowania elektroiskrowego.

Badanie efektów spawania polegało na wizualnej ocenie jakości spoiny z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Olympus SZX10 z maksymalnym powiększeniem 126x. Poniżej przedstawiono wyniki obserwacji.

Pierwsza próbka to świeca zapłonowa ISKRA BG-10X po 430 godzinach pracy w silniku QASCOL produkcji hiszpańskiej napędzanego biogazem.

Elektroda boczna wykonana ze stopu NiCr z platynową nakładką o wymiarach: 1,85mm długość i 0,92mm szerokość. Elektroda została uszkodzona w znacznym stopniu czego dowodem są duże zmiany na powierzchni środkowej części platynowej nakładki

elektrody o powierzchni około $0,28\text{mm}^2$, zajmujące około $\frac{1}{3}$ całej jej powierzchni. Mogło to być spowodowane działaniem człowieka podczas demontażu i przygotowań do badania. Spawy dobrze widoczne, zwłaszcza po lewej stronie. Niewielkie skupiska porów w pobliżu miejsca gdzie znajduje się uszczerbek. Po badaniu na kształtografie można stwierdzić boczne zużycie elektrody z widoczną wypływką w drugiej części a także zauważalnym miejscem jakie zajmuje uszczerbek, na długości około $0,76\text{mm}$.

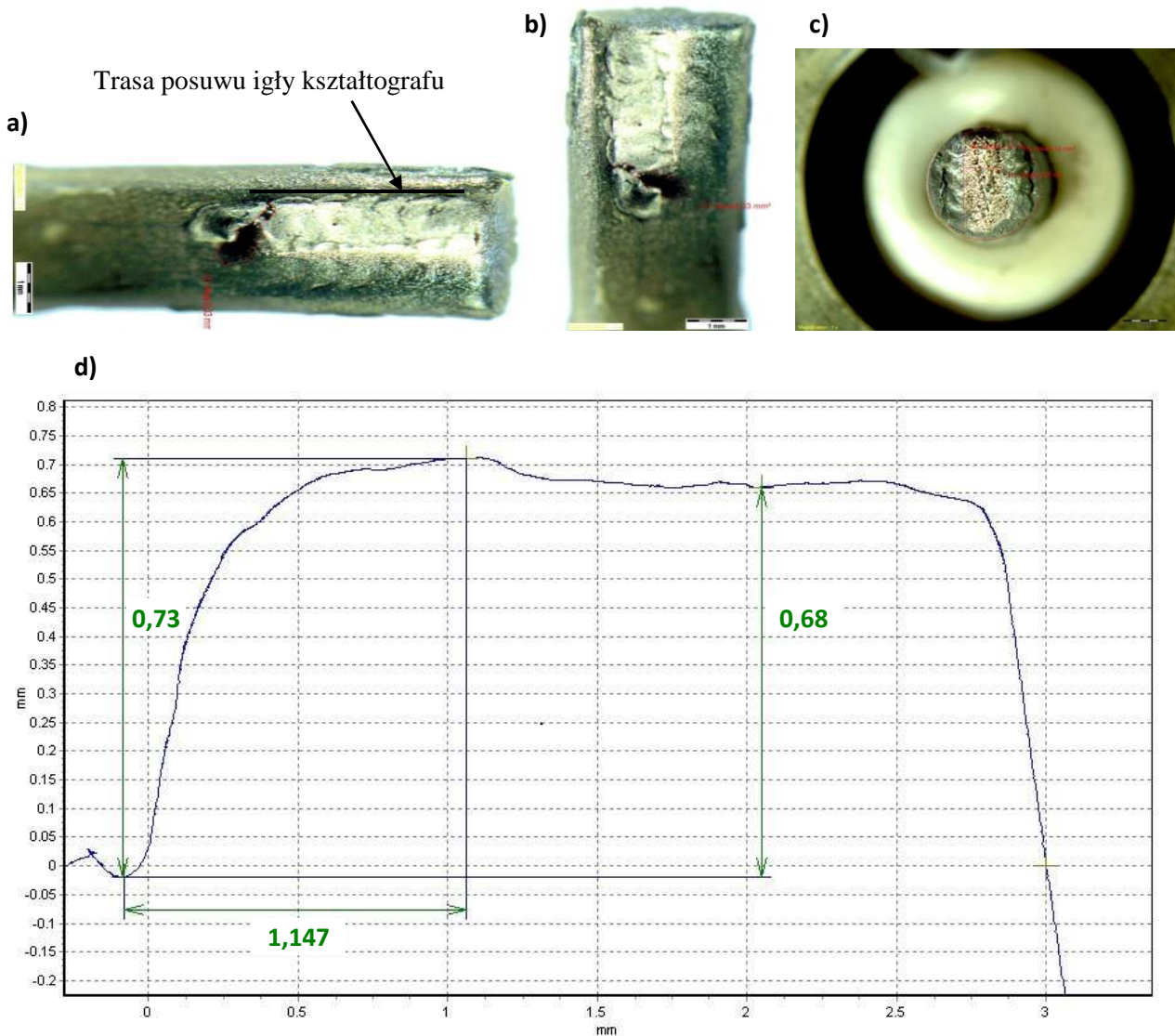


Rys. 6. Świeca zapłonowa ISKRA BG-10X: a) elektroda masowa boczna, b) elektroda środkowa w powiększeniu 40x, c) profil zużycia elektrody masowej bocznej uzyskany za pomocą kształtografu,

Fig. 6. Spark plug ISKRA BG-10X: a) mass lateral electrode, b) centre electrode in magnification 40x, c) wear and tear profile of mass electrode obtained by shaper machine

Elektroda środkowa także wykonana ze stopu NiCr z platynową nakładką w pobliżu centralnej części ma duże rozgałęziające się pęknięcie, wokół którego można zauważyć odbarwienie koloru i znaczną porowatość struktury w miejscach pęknięć a także jeden większy krater. Na brzegu elektrody zauważalne przebarwienia koloru miedzanego.

Druga próbka to świeca zapłonowa ISKRA CG-7M V2a pracująca w silniku MAN o przebiegu 28 804 km napędzanego gazem ziemnym.



Rys. 7. Świeca zapłonowa ISKRA CG-7M V2a: a), b) elektroda masowa boczna, c) elektroda środkowa w powiększeniu 5x d) profil zużycia elektrody masowej bocznej uzyskany za pomocą kształtografu,
 Fig. 7. Spark plug ISKRA BG-10X: a) b) mass lateral electrode, c) centre electrode in magnification 5x, d) wear and tear profile of mass lateral electrode obtained by shaper machine

Elektroda boczna wykonana ze stopu NiCr z platynową nakładką o wymiarach: długość 3,62mm, szerokość 1,79mm. Powierzchnia elektrody bocznej jest wyraźnie zniszczona - widoczny duży, głęboki krater już podczas oględzin gołym okiem. Jego obszar zajmuje około $0,33\text{mm}^2$. Część platyny oderwana od reszty struktury elektrody z bardzo dobrze widocznymi miejscami spawów, powierzchnia w ich sąsiedztwie jest wyraźnie popękana. Elektrode cechuje niewielka porowatość. Po badaniu kształtografem zauważalne centralne zużycie elektrody jednak niezbyt znaczne o niewielkim ubytku platyny. Elektrode środkową także wykonano ze stopu NiCr z platynową nakładką o długości pręcika 2,17mm. Jej struktura jest znacznie porowata a spawy wokół elektrody - bardzo dobrze widoczne, bez zauważalnych zniszczeń.

3. WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają lepiej poznać proces spawania stopu NiCr ze stopami na bazie platyny. Fotografije wykonane za pomocą mikroskopu metalograficznego oraz skaningowego obrazują rozkład i sposób wymieszania się pierwiastków dzięki czemu można efektywniej dobrać parametry procesu spajania. Również obserwacja wyeksploatowanych świec pozwala lepiej zrozumieć charakter zjawisk zachodzących podczas ich pracy w warunkach wyładowania elektroiskrowego. Badania nad tymi zjawiskami ciągle się rozwijają co w przyszłości powinno przynieść lepsze efekty technologiczne procesu produkcji a także bardziej wydłużone użytkowanie tych małych lecz jakże wiele potrzebnych w motoryzacji elementów.

LITERATURA

- [1] KLIMPEL A., LISIECKI A., FIGIEL T., 2002, *Spawanie laserem diodowym dużej mocy stali austenitycznych*, Przegląd Spawalnictwa, 4, 1-5.
- [2] KLIMPEL A., 1999, *Spawanie zgrzewanie i cięcie metali*, WNT, Warszawa.
- [3] TOFIL Sz., ANTOSZEWSKI B., 2011, *Problemy mikrospawania laserowego elementów z NiCr, W oraz stopów Pt*, Warstwa Wierzchnia Technologicznie Kształtowana, IBEN, Gorzów Wlkp.
- [4] RADEK N., 2011, *Electro spark deposition and laser technology in surface engineering*, Rozdział 2.6 w monografii: Selected problems of modeling and control in mechanics, Edited by Stanisław Adamczak and Leszek Radziszewski, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 146-157.
- [5] RADEK N., ANTOSZEWSKI B., 2009, *Influence of laser treatment on the properties of electro-spark deposited coatings*, Kovove Materialy-Metallic Materials, , 47/1, 31-38.
- [6] RADEK N., WAJS E., LUCHKA M., 2008, *The WC-Co electrospark alloying coatings modified by laser treatment*, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 47/3-4, 197-201.
- [7] RADEK N., BARTKOWIAK K., 2011, *Laser Treatment of Cu-Mo Electro-Spark Deposited Coatings*, Physics Procedia (Elsevier), 12, 499-505.
- [8] RADEK N., ŚLUSARCZYK R., 2002, *Wpływ parametrów spawania laserowego na własności mechaniczne spoiny*, Przegląd Spawalnictwa, 4, 18-20.
- [9] POWEL P.M., 2003, *Laser-Based Micromachining Gets Practical*, Photonics Spectra, 70.
- [10] DOMAŃSKI R., 1990, *Promieniowanie laserowe – oddziaływanie na ciała stałe*, WNT, Warszawa.
- [11] SPADŁO S., 2006, *Teoretyczno-eksperymentalne aspekty obróbki elektroerozyjno-mechanicznej*, Monografie Studia Rozprawy, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, PL ISSN 0239-4979, 195.

RESEARCH OF DURABILITY JOINTS NiCr-Pt MICROWELDING BY Nd:YAG LASER WORKING IN AN INTERNAL-COMBUSTION ENGINE WITH SPARK IGNITION

This paper presents research of NiCr-Pt joints durability mikrowelded by Nd:YAG laser working in an internal-combustion engine with spark ignition. The paper presents selected problems of the microwelding of undersized elements made by a Nd:YAG laser and the results of tests. As part of currently conducted research measurements were performed of the micro hardness and observation of the microstructure using the metallographic and scanning electron microscopy. Exploitation tests were performed on a stereoscopic microscope OLYMPUS SZX10 and shaper machine TOPO 01Kv2.