

*świece zapłonowe,
spawanie laserowe,
zgrzewanie oporowe, platyna*

Wiktor DANILCZYK¹
Stanisław KRUCZYŃSKI²
Marek STĘPNIEWSKI³
Ryszard WOŁOSZYN⁴

OCENA POŁĄCZEŃ Pt – NiCr NA ELEKTRODACH ŚWIECY ZAPŁONOWEJ

W artykule przedstawiono ocenę połączeń Pt – NiCr na elektrodach świecy zapłonowej na podstawie obrazów SEM (skaningowego mikroskopu elektronowego). Dokonano analizy jakościowej i ilościowej składu połączeń w jego charakterystycznych punktach. Porównano metodę spawania laserowego i zgrzewania oporowego. Zdecydowanie lepszą technologię trwałości połączeń wykazuje spawanie laserowe.

ESTIMATION OF Pt-NiCr CONNECTIONS WITH SPARK IGNITION ELECTRODES

In this article estimation of Pt-NiCr connections with spark ignitron electrodes by use of SEM views was described. Methods of laser and resistance welding were compared. Decidedly better technology regarding to the connection durability was achieved when laser welding method was used.

1. WSTĘP

Wysokie ceny benzyny wymusiło konieczność poszukiwania i zastosowania gazowych paliw alternatywnych: LPG, CNG, Biogaz. Dla tego typu paliw diametralnie uległy zmianie kryteria pracy świec zapłonowych (temperatura, środowisko, erozja elektryczna) obniżające trwałość świec. Aby to zjawisko zminimalizować stosuje się specjalne stopy metali. Wprowadzono nowe materiały takie jak iryt, iryd, platyna, srebro itp. Testy laboratoryjne wykazały, że iryd stanowi doskonały materiał do produkcji najwyższej jakości świec zapłonowych. Należy on do materiałów szlachetnych i jest wykorzystywany w zaawansowanych technologiach. Iryd jest najtrwalszy wśród metali szlachetnych i odporny na większość związków chemicznych. Topi się dopiero w temperaturze 2450 °C.

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, 02-524 Warszawa ul. Narbutta 84, email wda@simr.pw.edu.pl

² Politechnika Warszawska Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, 02-524 Warszawa ul. Narbutta 84, email swk@simr.pw.edu.pl

³ Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul.Chrobrego 45; email: m.stepniewski@pr.radom.pl

⁴ Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul.Chrobrego 45; email: rw@pr.radom.pl

Tajemnica wysokiej jakości nowych świec irydowych tkwi w spawanej laserowo nakładce z irydu na elektrodzie świecy. Dzięki zastosowaniu takiej technologii napięcie zapłonowe zostaje skupione w cienkiej wiązce. Poprawia to spalanie we wszystkich zakresach pracy silnika. Iryd zapewnia zachowanie stałego i dokładnego odstępu pomiędzy elektrodami. Zapobiega to wypadaniu zapłonów. Podobne właściwości posiadają świece z udziałem platyny na elektrodzie bocznej i środkowej. Aby uzyskać opisane powyżej efekty z zastosowania świec zapłonowych z elektrodami platynowymi muszą być poprawnie wykonane połączenia elektrody środkowej i bocznej z drutem platynowym. Niewłaściwie wykonane spawanie tych elementów powoduje pogorszenie odprowadzenia ciepła przez niewłaściwą spoinę a tym samym podniesienie temperatury w obszarze elektrod środkowych. Podstawowym warunkiem uzyskania dobrego połączenia pomiędzy drutem i elektrodą jest bardzo dokładne zestawienie / bez szczeliny / elementów łączonych. Jakakolwiek szczelina powoduje brak połączenia. Spoinę tworzy stopiony materiał drutu i nadtopiony materiał elektrody środkowej, co może spowodować pojawienie się podtopień / niezgodności spawalniczych, tworzących karby konstrukcyjne. Podniesienie temperatury pracy elektrod środkowych powstałej w wyniku niewłaściwego wykonania połączenia spawanego powoduje również przyśpieszone zużycie erozyjne materiału, a tym samym skrócenie żywotności świec w silniku. Istotne jest, aby połączenie w miejscu spawania nie obniżało zdolności w odprowadzeniu przyjmowanego ciepła od gorących spalin i jednocześnie spoina nie ulegała erozyjnemu zużyciu.

2. METODY POŁĄCZEŃ Pt – NiCr NA ELEKTRODACH ŚWIECY ZAPŁONOWEJ

W pracy przeprowadzono badania skuteczności połączeń: spawania laserowego i zgrzewania oporowego platyny na elektrodzie bocznej i środkowej świecy zapłonowej przeznaczonej do zapłonu mieszanki powietrze – CNG.

2.1. Spawanie laserowe

Spawanie laserowe platyny do elektrod świecy wykonano za pomocą lasera CO₂ typu VFA 2500 firmy Wegmann-Baasel w sposób impulsowy. Jest to laser o szybkim przepływie wzdłużnym. Pompa Rootsa zapewnia przepływ roboczej mieszaniny gazowej składającej się z CO₂, N₂ i He (w stosunku ciśnień w laserach małej mocy około 3:3:20) o ciśnieniu 100 [mbar] z prędkością 100 [m/s]. Dzięki temu z lasera o długości rezonatora 3 [m] i łącznej długości wyładowania niespełna 2 [m] można osiągnąć moc maksymalną 2500 [W]. Laser ten może pracować w sposób ciągły i impulsowy w zakresie mocy 100+2500 [W].

2.2. Zgrzewanie elektryczne oporowe

Zgrzewanie jest metodą łączenia materiałów lub materiałów niemetalowych polegającą na powstaniu na powierzchni styku łączonych wspólnych ziaren, będących wynikiem dyfuzji i rekrytalizacji sąsiadujących ziaren metalu. Skuteczność procesu zgrzewania zależy głównie od docisku, temperatury i czasu trwania procesu. Najczęściej części łączone są nagrzewane prawie do temperatury topnienia (do tzw. stanu ciastowości), a następnie

dociskane. Miejsce połączenia nazywa się zgrzeiną, a połączone elementy tworzą złącze (połączenie) zgrzewane.

3. METODYKA BADAŃ

Wykonanie próbek do badań analizy dwóch rodzajów połączeń (oporowego i laserowego) polegało w pierwszej kolejności na zainkludowaniu badanych materiałów w żywicy przewodzącej umożliwiającej wykonanie poprawnych zdjęć w skaningowym mikroskopie elektronowym. W tym celu użyto praski do inkludowania na gorąco. Następnie otrzymane próbki szlifowano przy pomocy papierów ściernych o gradacjach od 80 do 1200. Przy każdorazowej zmianie papieru ściernego na drobniejszy zmieniano kąt szlifowania próbek o 90°, oraz omywano i osuszano próbki w celu wyeliminowania poprzednich rys. Po procesie szlifowania, próbki poddano polerowaniu. W tym celu na specjalnym papierze, przy użyciu lubrykantu oraz roztworu z diamentem o wielkości ziaren odpowiednio 3 [µm] i 1 [µm] wypolerowano próbki uzyskując powierzchnię pozbawioną jakichkolwiek rys. Zdjęcia próbek przedstawiono na rys. 1 i 2.



Rys. 1. Spawanie laserowe. Próbka lewa – elektroda boczna, próbka prawa – elektroda środkowa

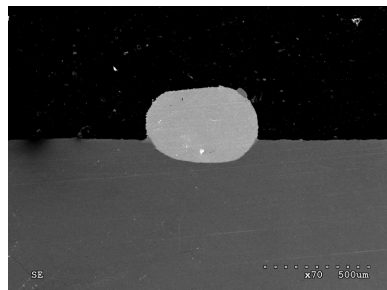


Rys. 2. Zgrzewanie oporowe. Próbka lewa – elektroda boczna, próbka prawa – elektroda środkowa

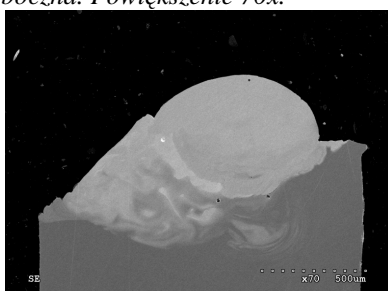
Obrazy wykonanych próbek otrzymanych przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego Hitachi S-2600N. Przedstawiono je na rys. 3 – 6. Obrazy wykonano z wykorzystaniem detektora elektronów wtórnych SE.



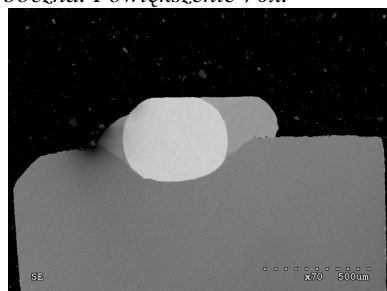
Rys. 3. Spawanie laserowe – elektroda boczna. Powiększenie 70x.



Rys. 4. Spawanie oporowe – elektroda boczna. Powiększenie 70x.



Rys. 5. Spawanie laserowe – elektroda środkowa. Powiększenie 70x.

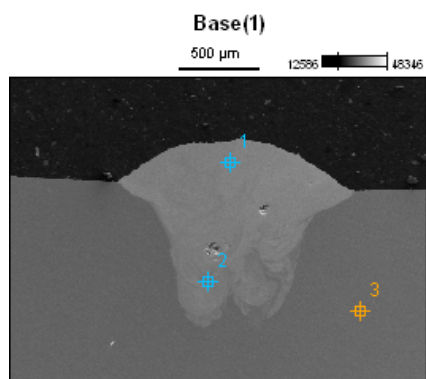


Rys. 6. Spawanie oporowe – elektroda środkowa. Powiększenie 70x.

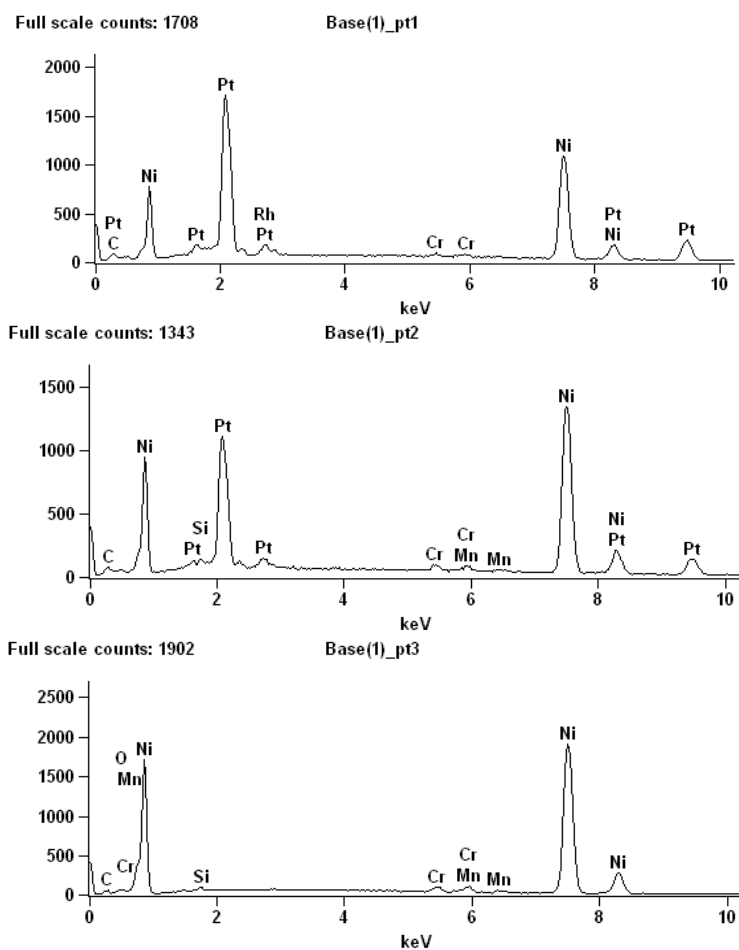
Analiza obrazów otrzymanych przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego wskazuje że najlepszą technologią nanoszenia nakładek z platyny na elektrodach świecy jest spawanie laserowe. Na obrazach spawania laserowego widać wyraźnie stopiony materiał drutu platynowego i nadtopiony materiał elektrod. Daje to dobre połączenie pomiędzy drutem i elektrodą, a tym samym prawidłowe odprowadzenie ciepła przez spoinę oraz zapewnienie odpowiedniej trwałości pracy świecy.

4. ANALIZA JAKOŚCIOWA

Analizę składu chemicznego wykonano za pomocą spektrometru rentgenowskiego. Na rys. 7 – 14 przedstawiono obrazy próbek zaś w tabelach 1 - 4 przedstawiono wyniki rentgenowskiej analizy ilościowej j w zaznaczonych punktach od 1 do 3.



Rys. 7. Obraz spawania laserowego – elektroda boczna



Rys. 8. Analiza jakościowa -spawanie laserowe – elektroda boczna

Tabela 1. Wyniki punktowej mikroanalizy ilościowej-spawanie laserowe – elektroda boczna

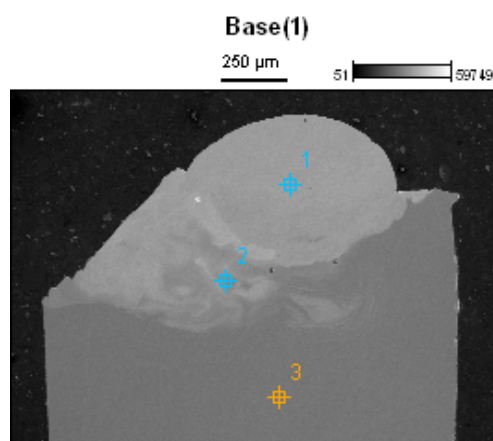
Udział masowy [%]

	C-K	O-K	Si-K	Cr-K	Mn-K	Ni-K	Rh-L	Pt-L
Base(1)_pt1	9.77			0.58		37.39	2.79	49.47
Base(1)_pt2	17.02		0.44	0.86	0.83	48.48		32.38
Base(1)_pt3	9.25	1.18	0.54	1.54	1.28	86.22		

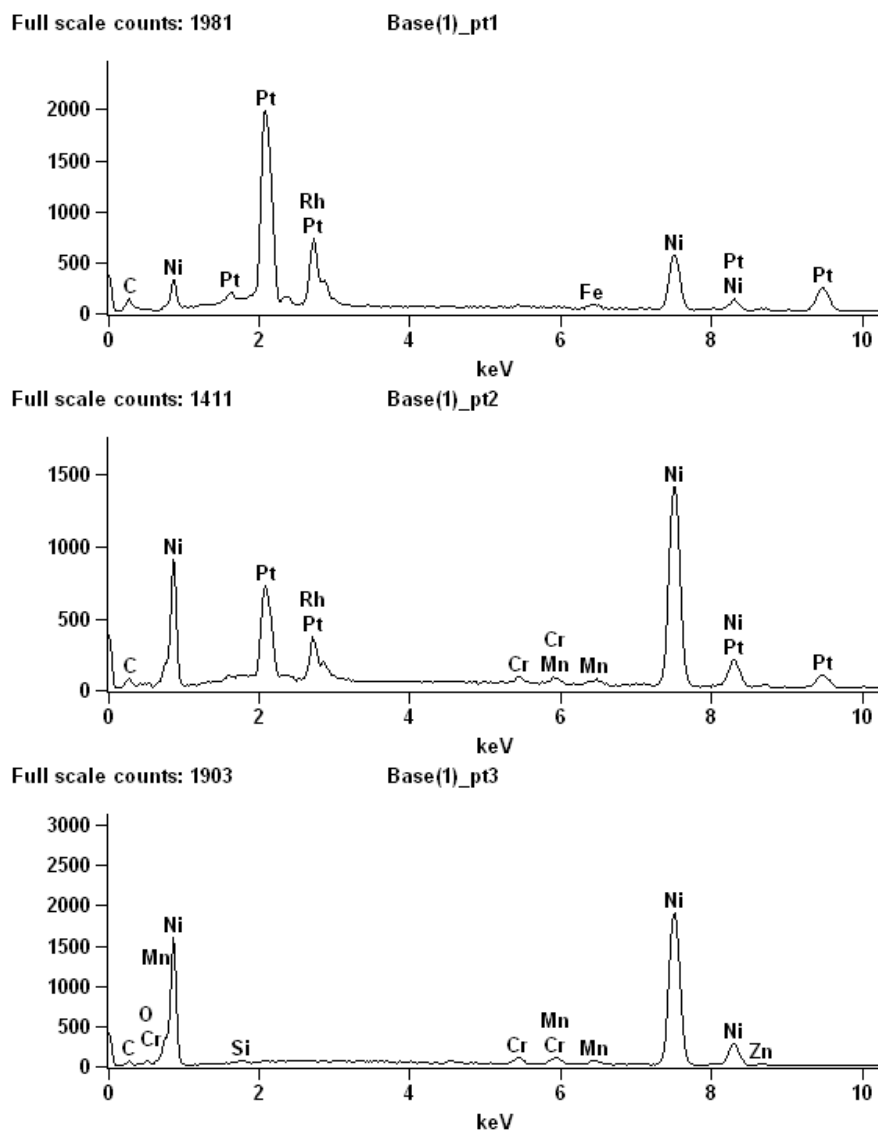
Udział atomowy [%]

	C-K	O-K	Si-K	Cr-K	Mn-K	Ni-K	Rh-L	Pt-L
Base(1)_pt1	46.69			0.64		36.56	1.56	14.56
Base(1)_pt2	57.69		0.64	0.67	0.61	33.63		6.76
Base(1)_pt3	32.30	3.08	0.80	1.24	0.98	61.60		

Z analizy jakościowej wynika, że w punkcie 2 platyna wnika w strukturę elektrody bocznej i stanowi około 30% masy stopu. Zjawisko to jest widoczne na rys. 7 zaś wartości udziałów masowych i atomowych przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 9. Obraz spawania laserowego – elektroda środkowa



Rys. 10. Analiza jakościowa -spawanie laserowe – elektroda środkowa

Z analizy jakościowej wynika, że w punkcie 2 platyna wnika w strukturę elektrody środkowej i stanowi około 23% masy stopu. Zjawisko to jest widoczne na rys. 9 zaś wartości udziałów masowych i atomowych przedstawiono w tabeli 2.

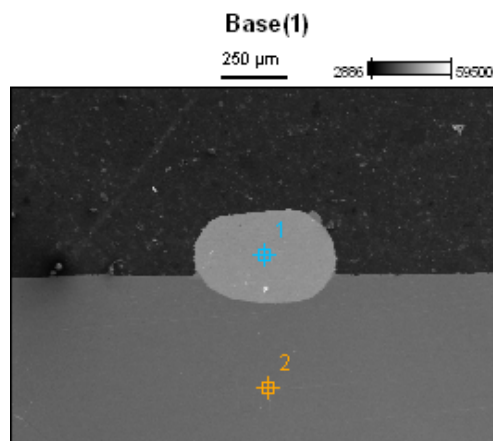
Tabela 2. Wyniki punktowej mikroanalizy ilościowej-spawanie laserowe – elektroda środkowa

Udział masowy [%]

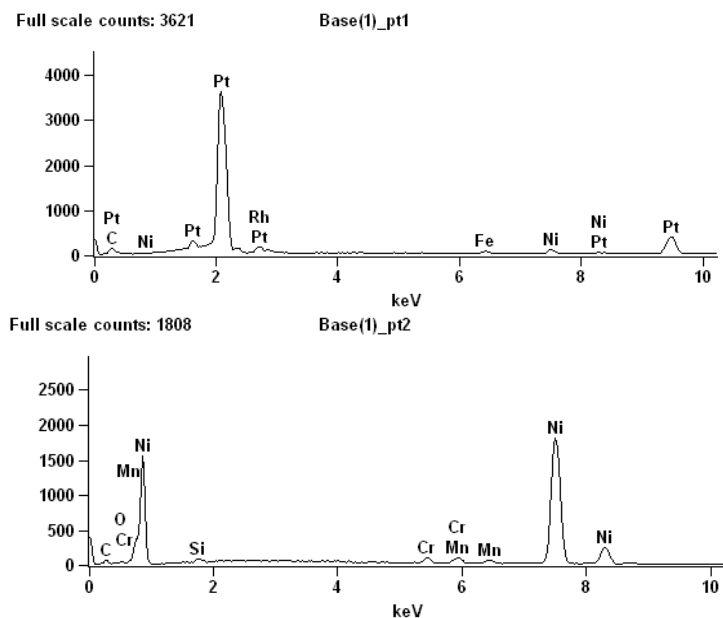
	C-K	O-K	Si-K	Cr-K	Mn-K	Fe-K	Ni-K	Zn-K	Rh-L	Pt-L
Base(1)_pt1	13.87					0.80	18.07		18.09	49.17
Base(1)_pt2	10.32			0.74	1.30		56.17		7.98	23.48
Base(1)_pt3	11.43	0.82	0.37	1.41	2.00		82.47	1.50		

Udział atomowy [%]

	C-K	O-K	Si-K	Cr-K	Mn-K	Fe-K	Ni-K	Zn-K	Rh-L	Pt-L
Base(1)_pt1	60.63					0.75	16.16		9.23	13.23
Base(1)_pt2	41.88			0.70	1.16		46.63		3.78	5.87
Base(1)_pt3	37.97	2.04	0.52	1.08	1.45		56.02	0.92		



Rys. 11. Obraz zgrzewania oporowego – elektroda boczna



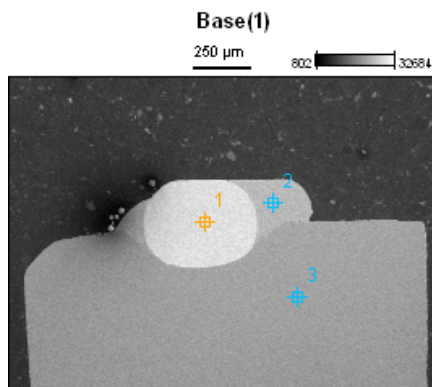
Rys. 12. Analiza jakościowa – zgrzewanie oporowe – elektroda boczna

Tabela 3. Wyniki punktowej mikroanalizy ilościowej-spawanie oporowe – elektroda boczna

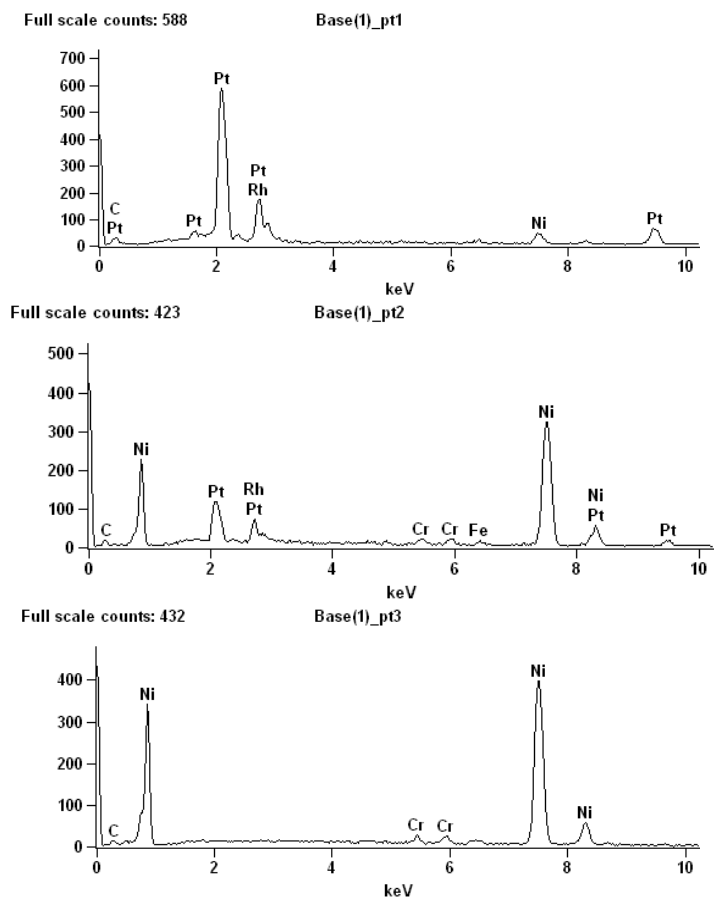
Udział masowy [%]									
	C-K	O-K	Si-K	Cr-K	Mn-K	Fe-K	Ni-K	Rh-L	Pt-L
Base(1)_pt 1	18.16					1.00	2.33	3.22	75.29
Base(1)_pt 2	14.87	0.76	0.58	1.05	1.72		81.01		

Udział atomowy [%]									
	C-K	O-K	Si-K	Cr-K	Mn-K	Fe-K	Ni-K	Rh-L	Pt-L
Base(1)_pt 1	76.11					0.90	2.00	1.58	19.42
Base(1)_pt 2	45.22	1.75	0.76	0.74	1.14		50.39		

Z analizy jakościowej i ilościowej wynika, że w platynie nie wnika w strukturę elektrody bocznej. Zjawisko to jest widoczne na rys. 11 zaś wartości udziałów masowych i atomowych przedstawiono w tabeli 3.



Rys. 13. Obraz zgrzewania oporowego – elektroda środkowa



Rys. 14. Analiza jakościowa – zgrzewanie oporowe – elektroda środkowa

Tabela 4. Wyniki punktowej mikroanalizy ilościowej-spawanie oporowe – elektroda środkowa

Udział masowy [%]

	C-K	Cr-K	Fe-K	Ni-K	Rh-L	Pt-L
Base(1)_pt1	14.19			5.19	22.19	58.42
Base(1)_pt2	12.43	1.15	0.95	63.62	6.95	14.90
Base(1)_pt3	12.62	1.64		85.75		

Udział atomowy [%]

	C-K	Cr-K	Fe-K	Ni-K	Rh-L	Pt-L
Base(1)_pt1	66.19			4.95	12.08	16.77
Base(1)_pt2	44.97	0.96	0.74	47.07	2.93	3.32
Base(1)_pt3	41.32	1.24		57.44		

Z analizy jakościowej i ilościowej wynika, że w platyn nie wnika w strukturę elektrody środkowej. Zjawisko to jest widoczne na rys. 13 zaś wartości udziałów masowych i atomowych przedstawiono w tabeli 4.

5. WNIOSKI

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić że umieszczenie nakładek z platyny na elektrodzie bocznej i środkowej świecy zapłonowej przy użyciu spawania laserowego jest lepsze od zgrzewania oporowego.

Spawanie laserowe polega na stapianiu obszaru styku łączonych przedmiotów ciepłem otrzymanym w wyniku doprowadzenia do tego obszaru skoncentrowanej wiązki światła koherentnego, o bardzo dużej gęstości mocy. Bardzo duże gęstości mocy wiązki laserowej powodują, że spawanie tą metodą powoduje głębokim wtopieniem obu łączonych materiałów, a tym samym dużą trwałość połączenia.

Skuteczność zgrzewania oporowego zależy głównie od docisku, temperatury i czasu trwania procesu. Zgrzewanie oporowe, jak widać na przykładowych obrazach, powoduje jedynie wgniecenie platyny w materiał elektrod świecy zapłonowej bez wyraźnego wtopienia. Może to powodować małą trwałość połączenia.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Oleś A.: „Metody doświadczalne fizyki ciała stałego. WNT 1998
- [2] Z. Szymański, J.Hoffman, Fizyka Spawania Laserowego, WIPPT PAN, Warszawa 2004
- [3] A. Klimpel, Technologia spawania i cięcia metali, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
- [4] Wincenty Lotko.: „ Świece zapłonowe „, Wyd. 2. - Radom : Politechnika Radomska, 2009
- [5] www.iskra-kielce.pl

- [6] Katalog świec zapłonowych GAS-SUPER, ISKRA Zakłady Precyzyjne Sp. z o.o., Kielce 2006.
- [7] Katalog świec zapłonowych U-SUPER, ISKRA Zakłady Precyzyjne Sp. z o.o., Kielce 2006.
- [8] Świece zapłonowe firmy ISKRA do silników napędzanych gazem LPG, Materiały ISKRA, Kielce 2006.