

**Wpływ przygotowania powierzchni na strukturę spoin uzyskanych po spawaniu laserem CO<sub>2</sub> z wykorzystaniem technologii Remote Welding**B. Graf<sup>a</sup>, K. Labisz<sup>b</sup><sup>a</sup> Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny,  
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów  
Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie  
email : krzysztof.labisz@polsl.pl

**Streszczenie:** Celem badań było określenie struktury i właściwości spoin po spawaniu laserem CO<sub>2</sub> z wykorzystaniem technologii Remote Welding, w oparciu o przygotowanie powierzchni komponentów tłoczonych ze stali konstrukcyjnej niskowęglowej wykorzystywanych w przemyśle samochodowym na elementy konstrukcji foteli. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono że, na przekroju poprzecznym spoin występują trzy strefy: materiał rodzimy, strefa wpływu ciepła, spoina. Zauważalny jest proporcjonalny wzrost maksymalnej głębokości kraterów powstałych w wyniku uwalniania się odparowanej pod wpływem wysokiej temperatury spoiny warstwy oleju.

**Abstract:** The work was intended to examine the impact of surface preparation of low-carbon steel on the structure of joints produced during laser welding using CO<sub>2</sub> laser and remote welding system RWS. Research has shown the relationship between the way the preparation of components for laser welding, and the quantity and nature of nonconformity. With the increase of oil film on components increasing number of nonconformities, and the dimensions of craters arising as a result of evaporation excess oil from among the assembly components.

**Słowa kluczowe:** laser CO<sub>2</sub>, spawanie, remote welding, stal o podwyższonej granicy plastyczności

**1. WSTĘP**

Dzięki swoim charakterystycznym właściwościom, skupiona wiązka lasera CO<sub>2</sub> umożliwia obrabiać materiały z bardzo dużymi prędkościami, jednocześnie spełniając wszelkie wymogi związane z normami bezpieczeństwa oraz jakości wyrobów obrabianych laserowo.

Wraz z rozwojem technik sterowania, budową nowoczesnych napędów, oraz wykorzystywaniu nowoczesnego oprogramowania inżynierskiego wspierającego projektowanie maszyn CAD/CAM, technologia obróbki laserowej osiąga coraz wyższą dokładność.

Celem badań było określenie wpływu przygotowania powierzchni - stopnia jej zaolejenia - elementów tłoczonych, wykorzystywanych na komponenty metalowe foteli samochodowych, na strukturę spoin uzyskiwanych po procesie spawania laserowego laserem CO<sub>2</sub>. Do badań wykorzystano technologię Remote Welding (spawanie zdalne z wykorzystaniem długich ogniskowych).

## 2. METODYKA BADAŃ

Materiałem przeznaczonym do badań była stal typu S550MC wykorzystywana na elementy tłoczone. Dzięki podwyższonej granicy plastyczności możliwe jest znaczne ograniczenie grubości elementów przy zachowaniu takich samych własności mechanicznych.

Próbki zostały podzielone na trzy grupy, w każdej po 10 szt. w zależności od stopnia zaolejenia: części zaolejone po procesie tłoczenia, części wytarte czyściwem bawełnianym, części odtłuszczone w kąpeli czystego acetonu.

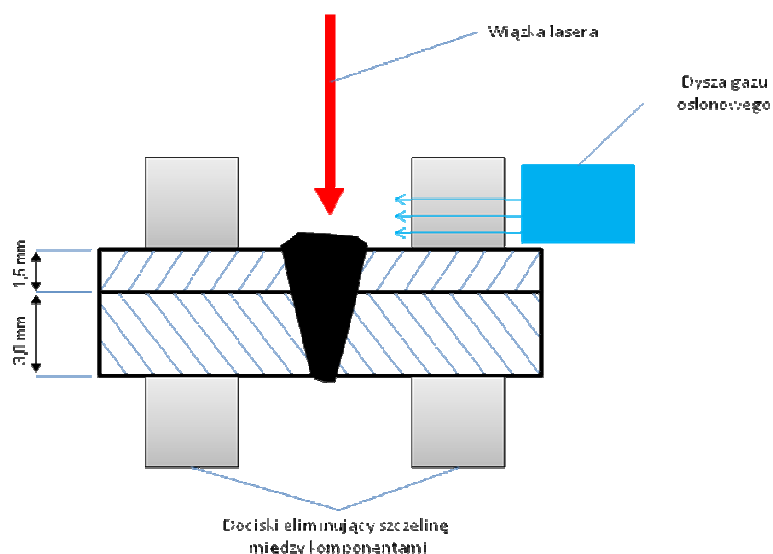
Tablica 1.

Skład chemiczny badanej stali

Skład chemiczny stali typu S550MC									
Pierwiastek Stopowy	C	Si	Mn	P	S	Al.	Nb	V	Ti
Udział procentowy [%]	0,10	0,03	1,50	0,025	0,010	0,015	0,09	0,20	0,15

Każda z grup została poddana procesowi spawania laserowego (rys. 1). Do tego celu wykorzystano celę do spawania laserowego, gdzie źródłem promienia był laser firmy Rofin Sinar, typ SLAB o mocy znamionowej 6 kW. Proces w trybie automatycznym umożliwił robot Remote Welding System, firmy SEF model RWS-ULS. Zastosowano ogniskową 1456,3 mm, która przy mocy promienia 6kW pozwoliła spawać z prędkością 1,8 m/min. Do osłony łoża spoiny zastosowano hel o czystości 4.6, który przy przepływie ok. 60 l/min umożliwił zapobiec powstawaniu plazmy par metali oraz zjonizowanego powietrza.

Na powierzchni próbek wykonano dwie spoiny, które połączyły elementy o grubości odpowiednio 1,5 i 3mm. Z trzech grup, wybrano po jednej próbce w celu wykonania próby łamania. Pozostałe próbki poddano badaniom makroskopowym w celu określenia wpływu zaolejenia części na kształt i charakter wad struktury łoża spoin. Badania mikroskopowe miały po pierwsze pozwolić sklasyfikować geometryczne wady spoin, a także dały możliwość określenia struktury materiału rodzimego, strefy wpływu ciepła oraz samej spoiny. Wykonano również badania twardości wykorzystując metodę Rocwella.



Rysunek 1. Schemat ułożenia łączonych elementów względem siebie, pozycja dyszy podającej gaz osłonowy, kierunek padania wiązki lasera oraz sposób mocowania elementów w uchwycie spawalniczym

### 3. ANALIZA WYNIKÓW DO BADAŃ

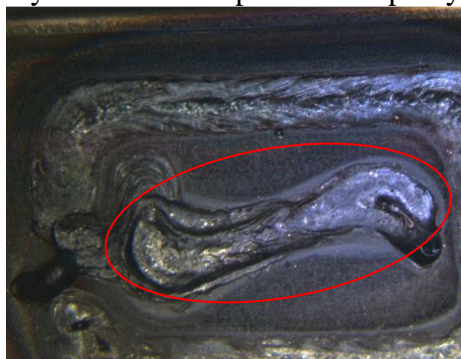
W czasie prowadzenia obserwacji makroskopowych wyznaczono cztery rodzaje niezgodności zaobserwowanych na spoinach od strony lica (rys. 3-8): podtopienie lica spoiny, głęboki krater końcowy, krater na prostym odcinku spoiny, odprysk pospawalniczy.



Rysunek 3. Podtopienie lica spoiny



Rysunek 4. Głęboki krater końcowy



Rysunek 5. Podtopienie lica spoiny



Rysunek 6. Krater

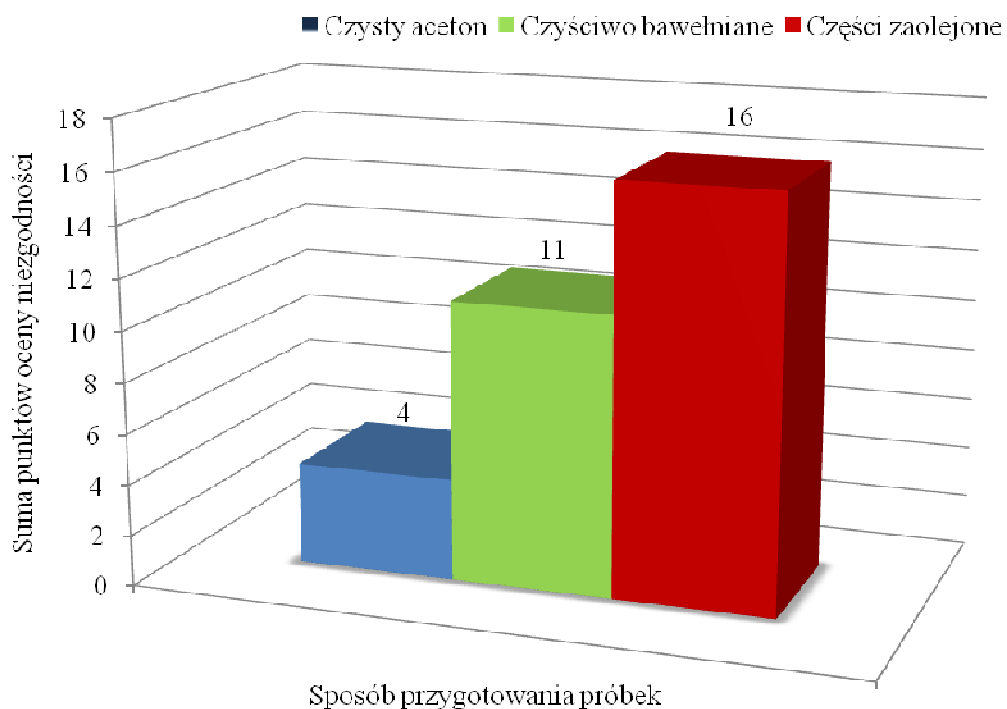


Rysunek 7. Odprysk

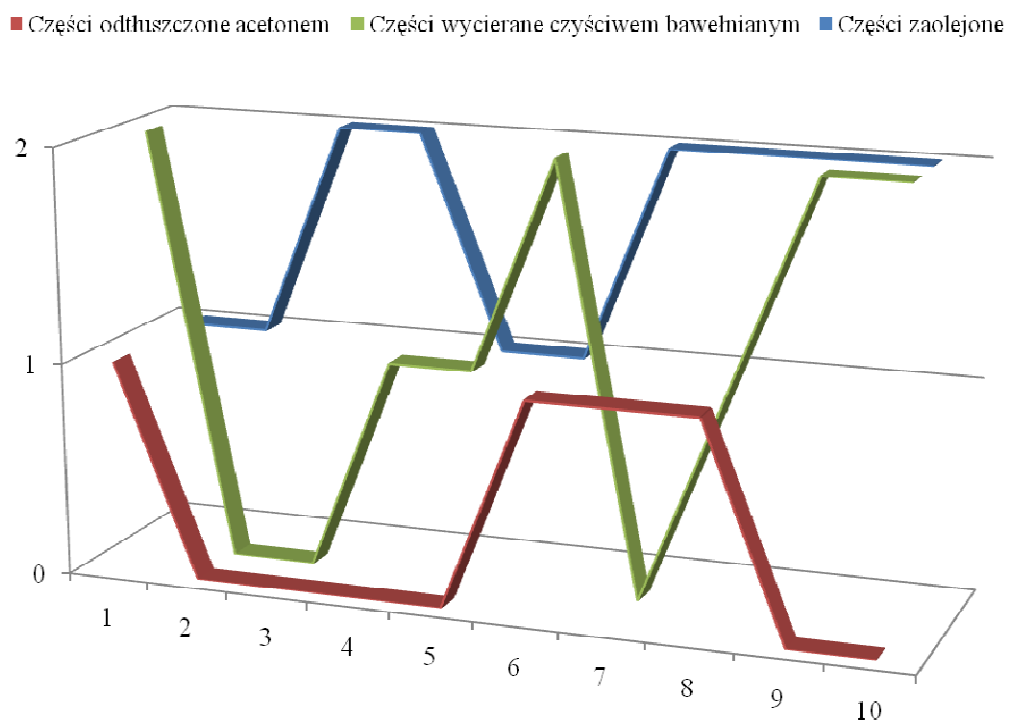


Rysunek 8. Brak widocznych niezgodności

W celu określenia wpływu zaolejenia części na wygląd obszaru, w którym umiejscowione były spoiny wyznaczono trzy stopniową skalę porównawczą: 0 – dla próbek, w których nie zauważono żadnych niezgodności; 1 – dla próbek, w których zauważono pojedynczą niezgodność, np. krater o małej średnicy, pojedynczy odprysk, podtopienie lica spoiny na krótkim odcinku; 2 – dla próbek, w których stwierdzono więcej niż jedną niezgodność. Rysunek 9 obrazuje sumę punktów niezgodności dla danego sposobu przygotowania powierzchni, natomiast rysunek 10 przedstawia punktację dla danej próbki.



Rysunek 9. Liczba niezgodności lica spoin w zależności od sposobu przygotowania powierzchni



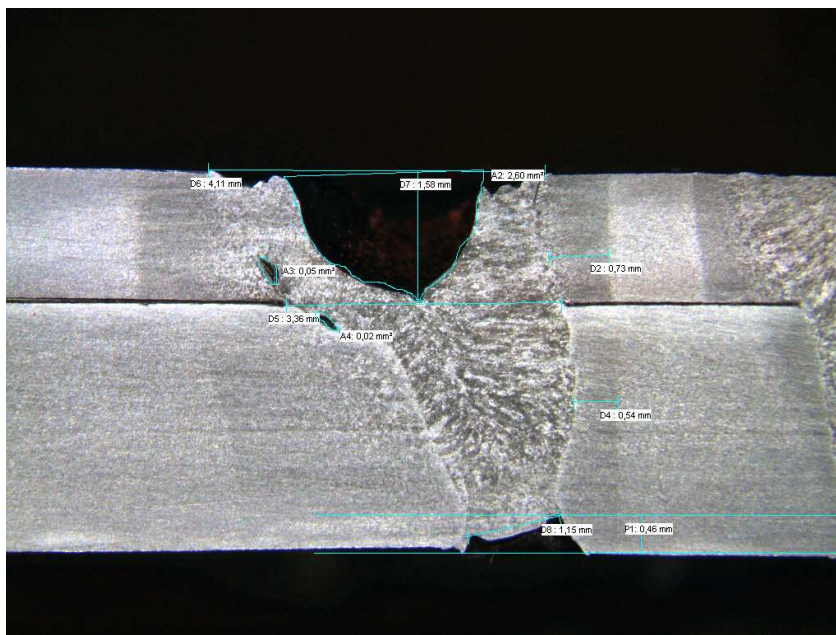
Rysunek 10. Liczba oraz stopień niezgodności w zależności od sposobu przygotowania powierzchni

Dzięki badaniom metalograficznym makroskopowym (rys. 11) zaobserwowano, że wraz ze wzrostem zaolejenia części wzrasta maksymalna głębokość kraterów powstających na wskutek odparowania oleju pomiędzy łączonych elementów. Również strefa wpływu ciepła zwiększa się wraz ze wzrostem ilości oleju na próbkach. Szerokość kraterów powstałych na wskutek odparowywania oleju, jest wyraźnie większa w przypadku części zaolejonych, części odtłuszczone acetonem i czyściwem bawełnianym zachowują podobną szerokość krateru

Tablica 2.

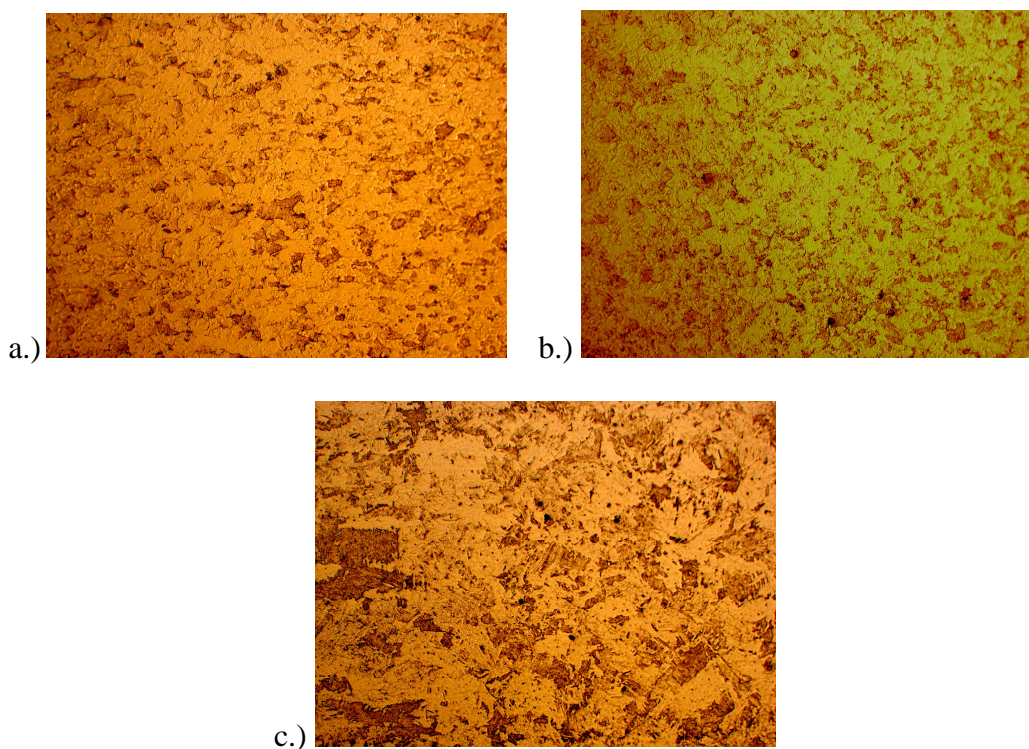
Zestawienie badanych geometrycznych parametrów spoin

Sposób odtłuszczenia powierzchni	Średnia szerokość krateru [mm]	Średnia maksymalna głębokość krateru [mm]	Średnia głębokość strefy wpływu ciepła [mm]
Aceton	3,23	0,65	0,77
Czyściwo bawełniane	3,22	1,12	0,87
Próbki zaolejone	3,42	1,53	0,9



Rysunek 11. Zdjęcie makroskopowe krateru powstałego na wskutek uwolnienia się par oleju w czasie procesu spawania.

Na przekroju poprzecznym spoin stwierdzono występowanie trzech stref: materiał rodzimy, strefa wpływu ciepła, spoina. Badana stal ma strukturę ferrytyczno perlityczną (rys. 12).



Rysunek 12. Struktura próbki po spawaniu laserowym: a.) struktura materiału rodzimego; b.) struktura strefy wpływu ciepła; c.) struktura spoiny.

Tablica 3.  
Wyniki pomiaru twardości metodą Rockwella

Próbki zaolejone	Czyściwo bawełniane	Aceton
Spoina (HRB)		
79	71	85
83	82	85
88	88	94

Z powyższego zestawienia średnich wartości wynika, że w przypadku próbek zaolejonych średnia wartość twardości osnowy wzrosła o 8 HRB, próbek oczyszczonych czyściwem bawełnianym spadła o 9 HRB a próbek odtłuszczonych w kąpieli acetonu spadła o 2 HRB. Jednoznacznie natomiast można określić, że próbki zaolejone miały dużo niższą twardość zarówno spoiny (83 HRB) jak i materiału rodzimego (75 HRB) w porównaniu z częściami odtłuszczonymi czyściwem bawełnianym (80 i 89 HRB) i acetonem (88 i 90 HRB).

#### 4. PODSUMOWANIE

Na przekroju poprzecznym spoin stwierdzono występowanie trzech stref: materiał rodzimy, strefa wpływu ciepła, spoina. Badana stal ma strukturę ferrytyczno perlytyczną.

Zaolejenie części przeznaczonych do spawania laserowego, laserem CO<sub>2</sub>, z użyciem głowicy do spawania zdalnego typu RWS-ULS ma wpływ na strukturę spoin. Wraz ze wzrostem zaolejenia próbek wzrasta strefa wpływu ciepła. Zauważalny jest proporcjonalny wzrost maksymalnej głębokości kraterów powstałych w wyniku uwalniania się odparowanej pod wpływem wysokiej temperatury spoiny warstwy oleju.

Szerokość kraterów wzrasta zauważalnie tylko na próbkach zaolejonych, w porównaniu z próbkami odtłuszczonymi acetonem oraz próbkami oczyszczonymi czyściwem bawełnianym. Pomiar twardości metodą Rockwella wykazał, że przygotowanie powierzchni ma wpływ na twardość spoin. W przypadku zaolejonych komponentów zaobserwowano wzrost wyników twardości po spawaniu z 75 do 83 HRB, w przypadku czyściwa bawełnianego spadek z 89 do 80 HRB, a w przypadku acetonu spadek z 90 do 88 HRB. Najwyższy średni wynik z pomiaru twardości miały próbki odtłuszczone acetonem.

Na podstawie testu destrukcyjnego można stwierdzić, że zaolejenie części nie mają znaczącego wpływu na wytrzymałość spoin, jednak ze względu na sposób wykonania testu (niedającego mierzalnego wyniku) nie można określić jak zaolejenie części wpływa na siłę zrywającą.

Części zaolejone w czasie spawania laserowego, mogą mieć wpływ na szybsze zanieczyszczenie elementów optyki robota do spawania laserowego (lustro skanujące, soczewka, teleskop).

#### LITERATURA

1. Dobrzański L.A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego. WNT, Warszawa – 2002
2. Trumpf GmbH: „Laser Factbook. The whole Truth”, Trumpf, 2005
3. E. Turyk: „Technologia spawania i napawania stali, staliwa i żeliwa” IS, Gliwice, 1996

4. PN-EN ISO 13919-1, „Spawanie. Złącza spawane wiązką elektronów i wiązką promieniowania laserowego. Wytoczne do określenia poziomów jakości według niezgodności spawalniczych. Część 1: Stal.”, PKN, Warszawa 2002
5. Strona internetowa <http://technologia laserowa.republika.pl/>
6. Materiały szkoleniowe firmy Rofin Sinar GmbH, Hamburg 2008
7. Walker R.: Process Fundamentals of industrial laser welding and cutting, Rofin, Pymouth, 1999
8. Wirth P.: Introduction to industrial laser materials processing, Rofin, Hamburg, 2004
9. HPDL laser, Proceedings of the 2nd International Conference on “Manufacturing Engineering” ICMEN 2005, Kassandra-Chalkidiki-Greece, 2005, 185-191