

# Spawanie laserowe mechanizmu siedzenia samochodowego

## Laser welding of car seat mechanism

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań połączeń spawanych elementów regulacji pochylenia oparcia siedzenia samochodowego wykonanych z niskowęglowych stali niestopowych o grubości blachy 2÷4,5 mm. Do spawania użyto lasera molekularnego CO<sub>2</sub> w osłonie helu. Jakość połączeń spawanych oceniano na podstawie: prób wytrzymałościowych, pomiarów mikrotvrdości oraz oceny geometrii złączy przez pomiar szerokości i głębokości wtopienia spoiny w badaniach metalograficznych. Badania wykazały dobrą jakość połączeń spawanych mechanizmu siedzenia samochodowego, co potwierdziło poprawność doboru parametrów technologii spawania laserowego.

### Abstract

The results of welding joints the car seat adjustment mechanism elements are given in the paper. The elements are made of low-carbon ordinary steel with thickness of sheets from 2 to 4.5 mm. Welding process is carried out with a molecular CO<sub>2</sub> laser with helium as a shielding gas. The quality of welding joints are estimated with strength tests, microhardness measurements, width and depth of the welds determined from metallographic studies. The investigation shown good quality of welding joint of elements of car seat mechanism, which confirmed good selection of the parameters of laser-welding.

### Wstęp

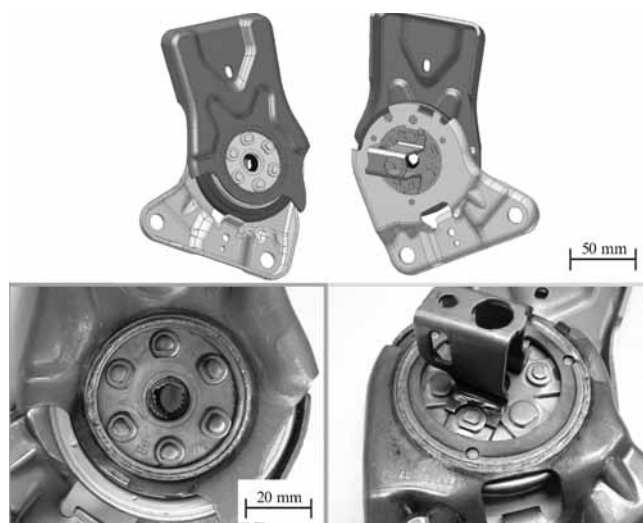
Spawanie laserowe materiałów jest stosowane coraz częściej w krajowym przemyśle [1÷5]. Elementy regulacji oparcia siedzenia samochodowego są łączone przez spawanie wiązką laserową z głębokim wtopieniem. Roztopiony materiał pod wpływem odrzutu odparowujących cząstek sily jest rozsuwany na boki i umożliwia penetrację wiązki w głąb materiału [6]. Firmą produkującą mechanizmy regulacji oparcia siedzenia samochodowego jest Zakład Mechanizmów Faurecia Wałbrzych. Obok innych inwestorów przemysłu samochodowego, zakład produkuje w systemie *just in time* elementy mechanizmu regulacji dla światowych marek samochodowych.

### Mechanizm regulacji siedzenia samochodowego

Elementy mechanizmu regulacji siedzenia samochodowego pokazano na rysunku 1.

**Dr hab. inż. Zbigniew Mirski, prof. PWr**  
– Politechnika Wroclawska, **inż. Kamil Śpiewak**  
– Zakład Mechanizmów Faurecia Wałbrzych.






Podstawowe elementy mechanizmu i ich opis przedstawiono w tablicy I, a skład chemiczny stali w tablicy II.



**Rys. 1.** Mechanizm regulacji siedzenia samochodowego [4, 5]  
**Fig. 1.** Mechanism for adjustment of the car seat [4, 5]

**Tablica I.** Elementy składowe mechanizmu siedzenia samochodowego [5]

**Table I.** The component of car seat mechanism [5]

Element	Materiał (stal)	Część
Ruchoma płytką narożna I	S 700	
Tarcza ruchoma II reclinera	C 18 E po procesie węglazotowania	
Nieruchoma płytką narożna III	S 700	
Tarcza stała IV reclinera	S 420 MC	
Wspornik V	S 500	

**Tablica II.** Skład chemiczny stali przeznaczonych na elementy mechanizmu wg PN-EN 10149-2:2000

**Table II.** Chemical composition of steel of components mechanism acc. to PN-EN 10149-2:2000

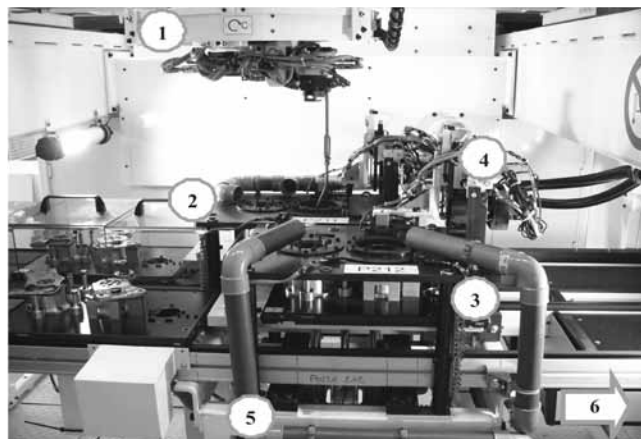
Stal	Skład chemiczny, % wag. (reszta Fe)									
	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Al	Ti	Cr
S 700	0,12	0,6	2,1	0,025	0,015	0,09	0,2	0,015	0,22	-
S 500	0,12	0,5	1,7	0,025	0,015	0,09	0,2	0,015	0,15	-
S 420MC	0,12	0,5	1,6	0,025	0,015	0,09	0,2	0,015	0,15	-
C 18E	0,17÷ 0,22	0,15 ÷0,3	0,6÷ 0,8	0,025	0,015	-	-	0,02	-	0,2

## Stanowisko do spawania laserowego i parametry procesu

Do połączenia elementów użyto lasera molekularnego CO<sub>2</sub> ROFIN DC 060 o mocy 6 kW. Emituje on niewidoczne dla ludzkiego oka, leżące w dalekiej podczerwieni, równoległe i monochromatyczne promieniowanie o długości fali 10,6 μm. Ośrodkiem czynnym tego lasera jest gaz Premix zawierający obok dwutlenku węgla także tlenek węgla, azot, tlen, ksenon i hel [7].

Do osłony powstającej spoiny zastosowano hel o czystości ≥99,999% obj., który w strefę spawania jest doprowadzany w ilości 20 dm<sup>3</sup>/min pod ciśnieniem 1÷1,5 bar. Prędkość spawania stalowych elementów mechanizmu regulacji siedzenia wynosiła 2,2÷2,8 m/min, w zależności od rodzaju stali i grubości spawanych elementów [4, 5].

Stanowisko spawania obejmuje dwie pozycje, które obsługuje głowica laserowa (rys. 2). Do każdego z nich elementy spawane są dostarczane na paletach.



**Rys. 2.** Stacja spawania laserowego: 1 – głowica spawalnicza poruszająca się wzdłuż trzech osi i obracająca się wokół dwóch osi, 2 – stanowisko spawalnicze nr 1, 3 – stanowisko spawalnicze nr 2, 4 – manipulator, 5 – instalacja odciągowa gazów spawalniczych, 6 – kierunek ruchu transportera palet [7]

**Fig. 2.** Set-up of laser welding: 1 – welding heat moving along three axis and rotating around two axis, 2 – the place of welding no. 1, 3 – the place of welding no. 2, 4 – manipulator, 5 – installation of weld gases extractor, 6 – direction of the palettes movement [7]

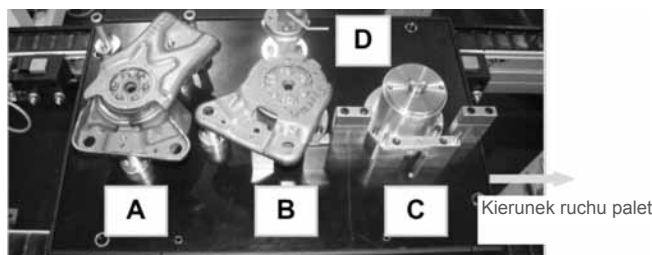
Ładowanie elementów na paletę jest uporządkowane. Są na niej 4 pozycje załadunkowe (A, B, C i D), w których umieszcza się poszczególne elementy (rys. 3).

Wymienione pozycje oznaczają: pozycja A – ruchoma płytką narożna na zespalanym reclinerze z nieruchomą płytką narożną i wspornikiem od dołu, pozycja B – nieruchoma płytką narożna na tarczy stałej reclinera, pozycja C – wolna – wykorzystywana do innych zadań, pozycja D – wspornik [7].

Podczas spawania mechanizmu najpierw spawana jest nieruchoma płytką z tarczą stałą reclinera. Następnie jest do nich spawany wspornik. Kolejnym etapem jest zdjęcie pospawanego zespołu trzech elementów z palety (pozycja B), obrócenie tarczą ruchomą reclinera do góry i ułożenie go na pozycji A, gdzie dospawana jest płytką ruchoma do ruchomej tarczy reclinera.

Przyjęto następujące kryteria dla połączeń spawanych [4, 5]:

- rodzaj złącza: zakładkowe z liniową spoiną przetopową,
- szerokość wtopienia spoiny na granicy dwóch materiałów: powyżej 1 mm,
- głębokość wtopienia spoiny w drugim materiale 0,5÷2,5 mm.



**Rys. 3.** Załadunek elementów mechanizmu na paletę [5]

**Fig. 3.** Parts of mechanism on the palette loading [5]

## Próby wytrzymałościowe

Przed próbą wytwarzania mechanizmów wykonano testy na złączach próbnych. Stanowiły je: połączenie dwóch trójkątnych płytek grubości 2,5 i 4,5 mm, wykonanych ze stali S 700 i C 18 E po procesie węglazotowania. Oba elementy trójkątne zespawano, a następnie ścinano spajające ich połączenie na maszynie wytrzymałościowej. Podczas tego testu jedna płytka była unieruchomiona, a druga była obciążana względem osi otworu centralnego. Widok ściętego połączenia spawanego pokazano na rysunku 4. Wartość momentu ścinającego uzyskanego w tej próbie wynosiła 611 daNm (rys. 5).

Po wykonaniu prób wytrzymałościowych na złączach próbnych, które potwierdziły poprawność doboru parametrów spawania, przeprowadzono podobne próby na zespawanych elementach mechanizmu. Próby te wykonano dwuetapowo. Najpierw zablokowane mechanizmy poddano oddziaływaniu siły działającej w kierunku A, a następnie w kierunku B (rys. 6). Przykładowy wynik ścinania mechanizmu w kierunku A pokazano na rysunku 7.

Wynik testu niszczącego w kierunku działania siły A osiągnął wartość 241 daNm, powyżej wartości dopuszczalnej równej 170 daNm. Na rysunku 8 pokazano mechanizm zniszczenia w tej próbie, ruchoma płytka narożna została oderwana od ruchomej tarczy *reclina*ra.

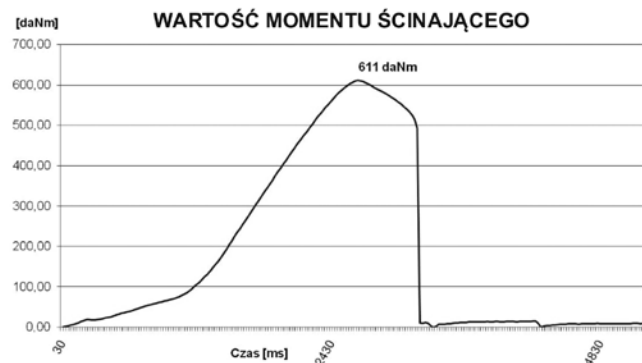
Podczas testu niszczącego elementy mechanizmu w kierunku działania siły B moment ścinający osiągnął wartość 239 daNm, powyżej wartości dopuszczalnej 190 daNm (rys. 9).

Podczas tej próby niszczącej w pospawanych elementach mechanizmu została również oderwana ruchoma płytka narożna. Na rysunku 10 widoczny jest obszar złomu po ściętej spoinie na całym obwodzie tarczy ruchomej *reclina*ra.



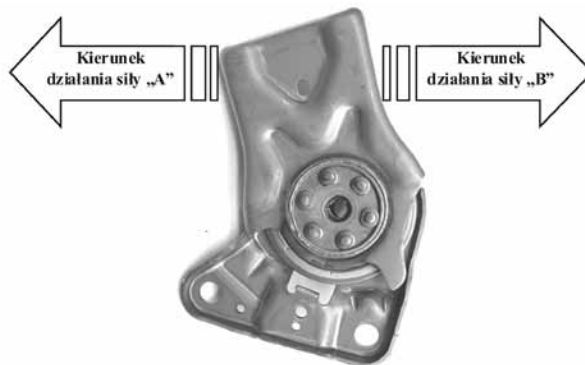
Rys. 4. Trójkątne płytki po teście niszczącym [4, 5]

Fig. 4. Triangular plates after destructive test [4, 5]



Rys. 5. Wynik testu niszczącego połączenia płytek trójkątnych [4, 5]

Fig. 5. Result of destructive test of joint of triangular plates [4, 5]



Rys. 6. Kierunek działania siły w testach wytrzymałościowych mechanizmu [4, 5]

Fig. 6. Direction of the force in destructive tests of the mechanism [4, 5]



Rys. 7. Wykres testu niszczącego w stronę działania siły A [4, 5]

Fig. 7. The plot of destructive test in direction A of the force [4, 5]



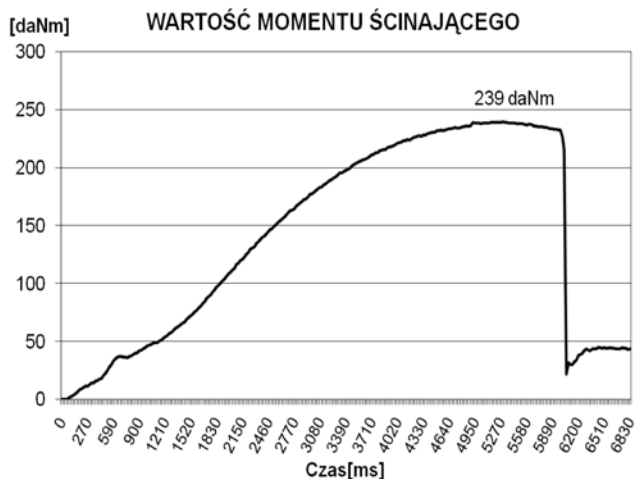
Rys. 8. Mechanizm po teście niszczącym w stronę działania siły A [4, 5]

Fig. 8. Mechanism after destructive test in direction A of the force [4, 5]

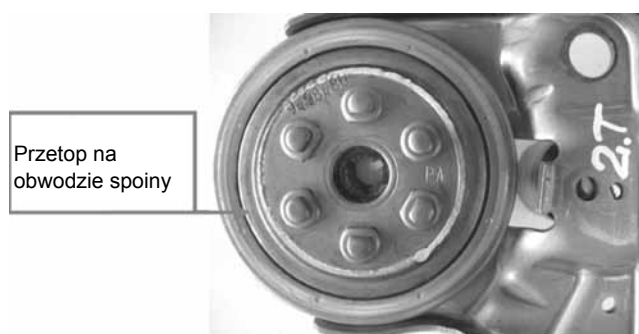
## Badania metalograficzne

Badania metalograficzne połączeń spawanych wykonano w celu weryfikacji warunków spawania, przekładających się na określone szerokości i głębokości przetopu spoin. Badania wykonano na urządzeniu Welding Expert po uprzednim przygotowaniu próbek. Przygotowanie polegało na pocięciu pospawanego mechanizmu w miejscach oznaczonych na rysunku 11 na fragmenty.

Wycięte próbki poddano szlifowaniu na papierach ściernych i polerowaniu, a następnie trawieniu chemicznemu odczynnikami na bazie chlorku



**Rys. 9.** Test niszczący dla siły B [4, 5]  
**Fig. 9.** The plot of destructive test in direction B of the force [4, 5]



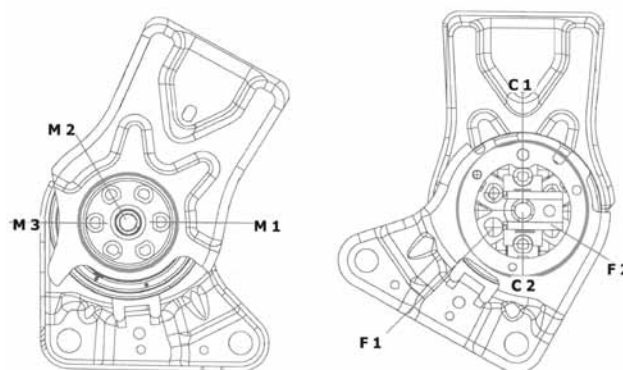
**Rys. 10.** Mechanizm po teście niszczącym w kierunku działania siły B [4, 5]  
**Fig. 10.** Mechanism after destructive test in direction B of the force [4, 5]

żelaza (30%). Tak przygotowane zgłady metalograficzne układano na szybie urządzenia Welding Expert w celu oceny szerokości i głębokości przetopu spoiny (rys. 12).

Welding Expert umożliwia pomiar próbek z dokładnością do 60  $\mu\text{m}$ . Urządzenie jest wyposażone w układ optyczny zmiany wielkości obrazu sterowany elektronicznie. Przy każdej zmianie ogniskowej program automatycznie oblicza współczynnik kalibracji. Za pomocą tego oprogramowania i urządzenia można szybko zmierzyć grubość materiałów, wysokość względem przeciwprostokątnej trójkąta równoramiennego wpisanego w przekrój spoiny pachwinowej, głębokość i szerokość wtopienia spoiny, szerokość strefy wpływu ciepła oraz zidentyfikować wszelkie niezgodności w przekroju poprzecznym spoiny. Wynik pomiaru można zapisać w arkuszu kalkulacyjnym [8].

Wyniki pomiarów geometrii spoiny w wybranych miejscach pomiarowych pokazano na rysunku 13.

Pomiary głębokości wtopienia spoiny w drugi element oraz szerokości spoiny na granicy ich połączenia wykazały spełnienie narzuconych wymagań.

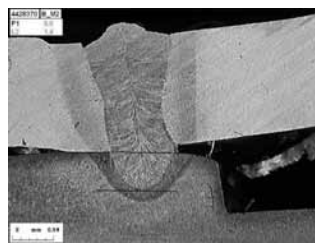


**Rys. 11.** Miejsca pomiaru spoin [4, 5]  
**Fig. 11.** The place of the welds measurement [4, 5]

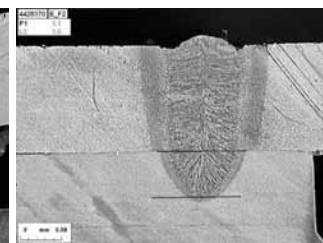


**Rys. 12.** Urządzenie pomiarowe Welding Expert [8]  
**Fig. 12.** The Welding Expert measuring apparatus [8]

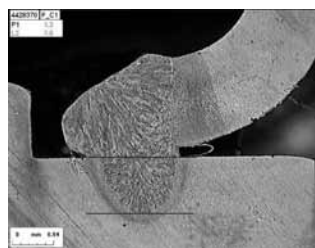
**Spoina w punkcie M2**  
 $g - 0,9 \text{ mm}$   
 $hr - 1,4 \text{ mm}$



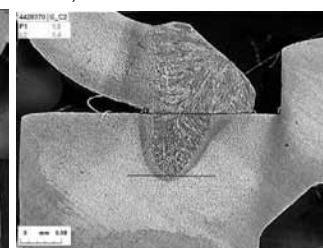
**Spoina w punkcie F2**  
 $g - 1,1 \text{ mm}$   
 $hr - 1,6 \text{ mm}$



**Spoina w punkcie C1**  
 $g - 1,3 \text{ mm}$   
 $hr - 1,8 \text{ mm}$



**Spoina w punkcie C2**  
 $g - 1,5 \text{ mm}$   
 $hr - 1,4 \text{ mm}$



**Rys. 13.** Wyniki pomiarów geometrii spoin w wybranych miejscach pomiarowych: M2, F2, C1 i C2 [4, 5];  $g$  – głębokość wtopienia w dolny element, wymagana wartość  $0,5 \pm 2,5 \text{ mm}$ ,  $hr$  – szerokość spoiny na granicy elementów, wymagana wartość  $> 1 \text{ mm}$

**Fig 13.** The results of the joints geometry measurements in places: M2, F2, C1 and C2 [4, 5];  $g$  – fusion depth in the bottom element, required value  $0,5 \pm 2,5 \text{ mm}$ ,  $hr$  – weld width in the elements boundary, required value  $> 1 \text{ mm}$

## Pomiary mikrotwardości

Pomiary mikrotwardości połączeń spawanych mechanizmów wykonano metodą Vickersa, przy obciążeniu piramidki diamentowej 50 g. mikrotwardościomierzem FM-100. Linie pomiarowe na przykładowym złączu spawanym dwóch trójkątnych płytek o grubości 2,5 i 4,5 mm, wykonanych ze stali S 700 i C 18 E po procesie węglazotowaniu pokazano na rysunku 14, a wyniki pomiarów wzdłuż tych linii zamieszczono w tablicy III.

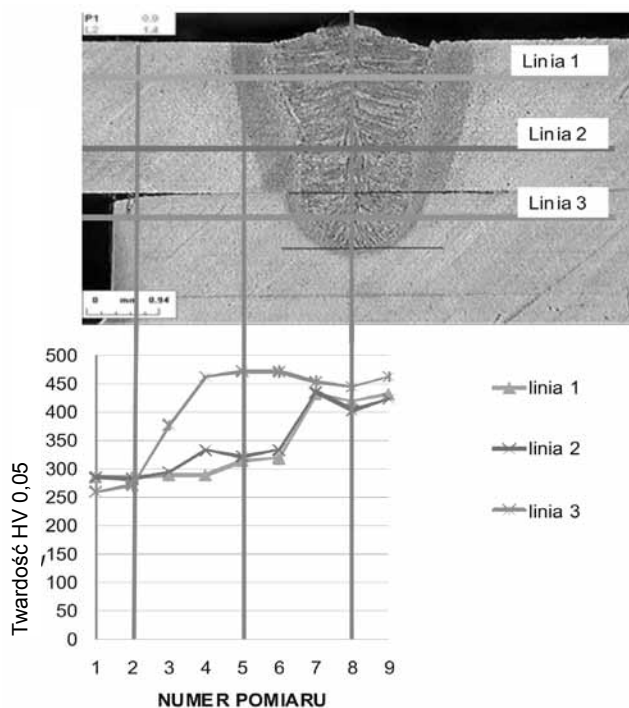
Wyniki pomiarów mikrotwardości wskazują, że złącze spawane promieniem lasera wykazuje utwardzenie w strefie wpływu ciepła i w spoinie. Twardość materiału rodzimego obu spawanych elementów wynosi poniżej 300 HV<sub>0,05</sub>. W strefie wpływu ciepła twardość w górnym materiale wzrasta o ok. 40 HV<sub>0,05</sub>, w dolnym zaś o 200 HV<sub>0,05</sub>. Twardość spoiny przy granicy wtopienia wynosi ok. 436 HV<sub>0,05</sub> w środku średnio 412 HV<sub>0,05</sub> w części należącej do górnego materiału. W dolnej części spoiny twardość w pobliżu granicy wtopienia kształtuje się na poziomie 454÷463 HV<sub>0,05</sub>,

**Tablica III.** Wyniki pomiarów mikrotwardości HV<sub>0,05</sub> obszarów złącza spawanego [4, 5]

**Table III.** The results of measurements of the microhardness HV<sub>0.05</sub> of welded joints areas [4, 5]

Miejsce pomiaru	Materiał rodzimy			Strefa wpływu ciepła			Spoina		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
nr pomiaru									
linia 1	286	286	290	290	315	320	432	420	432
linia 2	286	283	295	334	323	334	436	404	424
linia 3	260	272	378	463	473	472	454	445	463

a środek spoiny wykazuje wartość 445 HV<sub>0,05</sub>. Największą twardość osiągnięto dla wartości 473 HV<sub>0,05</sub> w strefie wpływu ciepła dolnego materiału (C 18 E po węglazotowaniu). Mimo znacznego utwardzenia spoiny i strefy wpływu ciepła nie zaobserwowano pęknięć w połączeniach spawanych mechanizmów.



**Rys. 14.** Linie pomiarowe i rozkład mikrotwardości HV<sub>0,05</sub> przykładowego złącza spawanego [4, 5]

**Fig. 14.** The measuring lines and distribution of the microhardness HV<sub>0.05</sub> of typical welded joint [4, 5]

## Podsumowanie

Opracowana technologia spawania laserowego mechanizmu oparcia siedzenia samochodowego w firmie Faurecia w Wałbrzychu wykazała na podstawie badań poprawnie dobrane parametry spawania laserem molekularnym CO<sub>2</sub> czterech elementów stalowych, stanowiących części składowe mechanizmu siedzenia samochodowego. Zarówno testy

wytrzymałościowe, polegające na ścinaniu połączeń spawanych mechanizmów, jak i pomiary geometrii spoin na podstawie badań metalograficznych przyniosły zadowalające wyniki świadczące o dobrej jakości złączy spawanych w produkowanych siedzeniach samochodowych.

## Literatura

- [1] Poradnik Inżyniera. Spawalnictwo, tom 2 (pod red. J. Pilarczyka), WNT, Warszawa 2005.
- [2] Pilarczyk J., Banasik M., Stano S., Dworak J.: Spawanie laserowe z materiałem dodatkowym i mechanicznym śledzeniem złącza, Przegląd Spawalnictwa, 12/2011, s. 9-14.
- [3] Mirski Z., Granat K., Stano S.: Możliwości spajania węglików spiekanych ze stałą wiązką lasera, Przegląd Spawalnictwa, 12/2011, s. 15-20.
- [4] Śpiewak K.: Opracowanie technologii spawania laserowego mechanizmu siedzenia samochodowego. Dyplomowa praca inżynierska wykonana pod kierunkiem Z. Mirskiego, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2010.
- [5] Materiały firmy Faurecia.
- [6] Szymański Z., Hoffman J.: Fizyka spawania laserowego, IPPT PAN, Warszawa 2004.
- [7] Materiały firmy CINETIC.
- [8] Materiały firmy CLARA VISION.

Artykuł powstał na podstawie pracy dyplomowej inż. Kamila Śpiewaka [4], który otrzymał I nagrodę w 2011 roku, w XI edycji Ogólnopolskiego Konkursu o Nagrodę i Dyplom Prezesa SIMP na najlepszą pracę dyplomową o profilu mechanicznym, obronioną w państwowej wyższej uczelni technicznej, organizowanego pod patronatem Pani Barbary Kudryckiej – Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego.