

# APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

## Metody spawania i zgrzewania nadwozia pojazdu

*TOMASZ WĘGRZYN<sup>1</sup>, TOMASZ ŚLIWIŃSKI<sup>1</sup>, DARIUSZ SIETESKI<sup>1</sup>, DAMIAN HADRYŚ<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>POLITECHNIKA ŚLĄSKA, WYDZIAŁ TRANSPORTU

<sup>2</sup>WYŻSZA SZKOŁA ZARZĄDZANIA OCHRONĄ PRACY W KATOWICACH

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono podstawowe metody spawalnicze używane do łączenia elementów nadwozi pojazdów. Skupiono się głównie na zgrzewaniu punktowym i spawaniu. Zbadano również siły niezbędne do zniszczenia tych połączeń.

### Fusion and pressuer welding methods in vehicle body

### ABSTRACT

The article presents the basic methods of welding used to assembly elements of the vehicle body. It focuses on welding and welding point. The tests of force required to destroy these connections were also examined.

## 1. WPROWADZENIE

Współcześnie obok konwencjonalnych, dobrze spawalnych blach stalowych o niskiej zawartości węgla (poniżej 0,27%) coraz powszechniejsze jest wykorzystywanie stali o zwiększonej wytrzymałości oraz stopów aluminium i innych metali lekkich. Zmiany te mają na celu obniżenie masy pojazdu, co przekłada się bezpośrednio na zużycie paliwa oraz podzespołów takich jak hamulce i zawieszenie. Coraz powszechniej wprowadza się także elementy z tworzyw sztucznych oraz kompozytów, choć stale w dalszym ciągu wiodą prym w świecie motoryzacyjnym, co poniekąd wynika z wyższych kosztów wprowadzania nowych technologii oraz materiałów. Dotyczy to nie tylko zakładu produkującego, ale także ewentualnych późniejszych napraw.

Kolejnym, najprawdopodobniej ważniejszym od powyższych, czynnikiem wpływającym na dobór materiału jest bezpieczeństwo. Odpowiednia kombinacja materiału oraz techniki jego łączenia mają decydujący wpływ na bezpieczeństwo konstrukcji. Dlatego właśnie coraz powszechniejsze jest stosowanie, w zależności od potrzeb, różnych rodzajów stali jak na przykładzie znajdującym się na Rysunku 1.

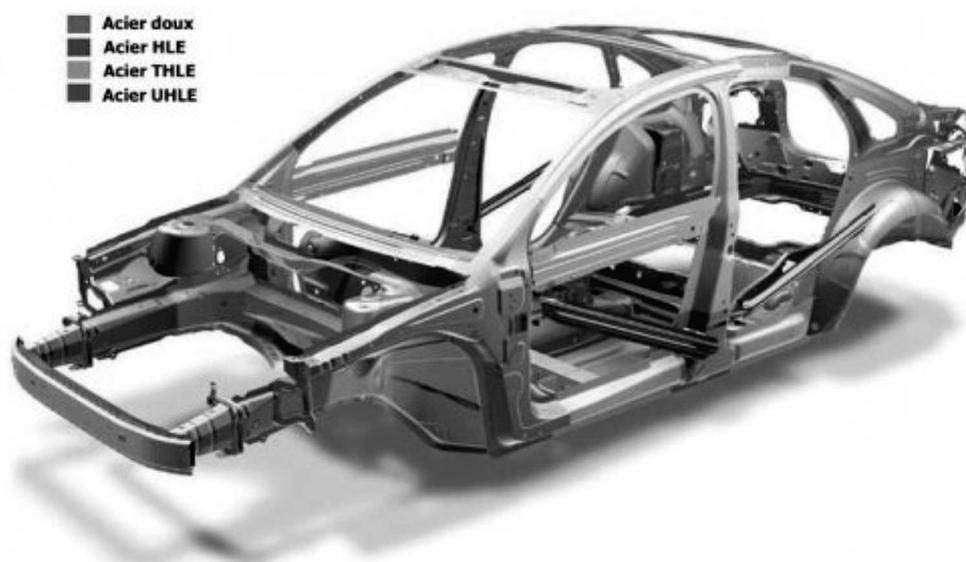
Jak można zauważyć – aby pojazd uzyskał odpowiednią sztywność i możliwie najmniejszą masę, a koszty jego konstrukcji były optymalne użyto aż czterech rodzajów stali o różnej wytrzymałości. Fabrycznie do łączenia elementów powszechnie stosuje się metodę zgrzewania oporowego punktowego, której niepodważalne zalety to niskie koszty, powtarzalność właściwości połączeń oraz możliwość automatyzacji procesu. Sporadycznie natomiast używa się metody spawania elektrycznego w osłonie gazów ochron-

nych, na przykład podczas mocowania zawiasów drzwiowych.

Rozwój technologii produkcji wymusza także zmiany w technologii napraw. Oryginalne, fabryczne połączenia zgrzewane często muszą zostać rozłączone, a następnie odtworzone. Niestety praktyka warsztatowa pokazuje, że naprawy nie zawsze są wykonywane zgodnie z technologią napraw podaną przez producenta. Wynika to z faktu, że mimo wielu zalet zgrzewania punktowego oporowego wiele warsztatów nie dysponuje odpowiednimi maszynami, a sam proces zgrzewania też niesie pewne technologiczne trudności.

Konwencjonalne blachy, z których wykonane są elementy karoserii powinny charakteryzować się plastycznością, elastycznością oraz być dobrze spawalne. Współcześnie w przemyśle motoryzacyjnym stosuje się jednak różne jakości blach. Ich dobór jest głównie uzależniony od funkcji jaką dany element ma spełnić.

Plastyczność decyduje o podatności blachy na rozciąganie i ściskanie podczas nadawania pożądanego kształtu, więc jest decydującą cechą stwierdzającą czy surowiec nadaje się do tłoczenia. Oczywistym jest, że lepszą plastyczność mają blachy z grupy LSS. Elastyczność natomiast charakteryzuje zdolność elementu do odkształceń sprężystych, przy czym zwiększoną sprężystość wykazują elementy głęboko tłoczone. Wynika to z faktu, że kształt jest utrzymywany przez naprężenia wewnętrzne powstałe podczas tłoczenia i będzie się on utrzymywał do momentu, w którym wartość działającej siły przekroczy wartość tych naprężeń. Natomiast kształt pierwotny materiału będzie zachowany do momentu kiedy wartość siły nacisku nie przekroczy wartości granicy



Rysunek 1. Przekrój jakościowy stali użytych w produkcji pojazdu [1]

plastyczności dla danego materiału. Dlatego właśnie do produkcji elementów karoserii samochodowych powszechnie stosuje się blachy walcowane na zimno o grubości 0,5 do 2,5 mm wytworzone ze stali o niskiej wytrzymałości. Elastyczność nadaje się im dopiero podczas procesu tłoczenia.

Sposób łączenia poszczególnych elementów nadwozia pojazdu jest ponadto ważnym czynnikiem w procesie projektowania, ponieważ rodzaj i ilość połączeń mają wpływ na nośność nadwozia. Generalnie do łączenia elementów nadwozia używane jest zgrzewanie punktowe, jednak prócz tego wykorzystuje się również inne metody, takie jak na przykład spawanie metodą MAG lub spawanie laserowe.

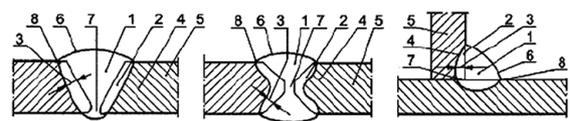
## 2. ZGRZEWANIE

Zgrzewanie jest sposobem łączenia materiałów polegającym na punktowym rozgrzaniu przyległych powierzchni tak, aby przekształciły się w stan plastyczny, a następnie dociśnięciu ich do siebie z określoną siłą. Po ochłodzeniu powstaje zgrzeina trwale scalająca materiał. W zależności od sposobu doprowadzenia ciepła procesy można podzielić na trzy sposoby. Pierwszy z nich zakłada nagrzanie materiału od zewnętrznej strony łączonych elementów (zwane zgrzewaniem kontaktowym), drugi natomiast zwiększenie temperatury od wewnętrznej strony łączonych elementów (zgrzewanie gorącym powietrzem, laserowe, tarciove). Ostatni sposób zakłada wytworzenie ciepła we wnętrzu spajanych materiałów (wykorzystywany w metodach zgrzewania mikrofalami, elektrycznego oporowego oraz metodą prądów wysokiej częstotliwości) [2]. W technice motoryzacyjnej najpopularniejszą metodą jest zgrzewanie elektryczne oporowe. Ze względu na niewątpliwe zalety zgrzewania takie jak niski koszt, duża powtarzalność, możliwość automatyzacji oraz wysoka jakość połączeń proces ten jest najpopularniejszym sposobem fabrycznego łączenia elementów karoserii. Kolejną bardzo istotną zaletą jest możliwość wykonywania zgrzein we wszystkich płaszczyznach bez spadku jakości spoiny. Już podczas projektowania konstrukcji pojazdu zwraca się baczną uwagę, aby połączenia poszczególnych elementów mogły być wykonywane w sposób jak najbardziej zrobotyzowany, a zgrzewanie zdecydowanie to ułatwia. Gotowe, wytłoczone elementy pojazdu trafiają na taśmę produkcyjną, gdzie począwszy od podłogi są składane oraz łączone ze sobą. Drobne elementy takie jak poszycie drzwi mogą być zgrzewane przy użyciu zgrzewarek ręcznych, lecz kluczowe dla bezpieczeństwa połączenia wykonywane są w pełni automatycznie, a

systematyczne badania kontrolne zapewniają wysoki poziom bezpieczeństwa, nie dopuszczają aby pojazdy z wadami zgrzein opuściły fabrykę.

## 3. SPAWANIE

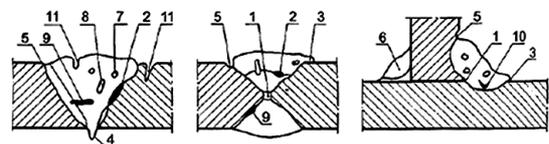
Spawaniem nazywamy sposób łączenia materiałów polegający na ich nagraniu do momentu topienia materiału. Podczas spawania zwykle dodaje się spoiwo, czyli materiał stapiany razem z materiałem rodzimym wypełniając spoinę. Nazwy poszczególnych elementów spoiny ukazuje Rysunek 2. Do zalet spawania można zaliczyć łatwość i szybkość wykonania oraz prostotę konstrukcji (brak dodatkowych elementów). Wadami tego sposobu łączenia materiału jest natomiast potrzeba zatrudniania wykwalifikowanej kadry oraz posiadania specjalistycznych maszyn. Nie wszystkie połączenia spawane da się wykonać we wszystkich pozycjach (np. obrócone o 180 stopni w osi równoległej do podstawy).



- |                               |                  |
|-------------------------------|------------------|
| 1 - spoina                    | 6 - lico spoiny  |
| 2 - stopiony materiał rodzimy | 7 - grani spoiny |
| 3 - głębokość wtopienia       | 8 - brzeg spoiny |
| 4 - strefa wpływu ciepła      |                  |
| 5 - materiał rodzimy          |                  |

Rysunek 2. Elementy spoiny [3]

Rysunek 3 schematycznie obrazuje wady połączeń spawanych. Można je podzielić na wady zewnętrzne takie jak krater, pęknięcia czy nadmierne przetopy, oraz wady wewnętrzne niewidoczne z zewnątrz. Do ostatnich można zaliczyć pęcherze, braki przetopu grani oraz wtopienia spoiwa w materiał rodzimy.



- |  |                       |
|--|-----------------------|
| 1 - brak przetopu grani                                |                       |
| 2 - brak wtopienia spoiwa w metal rodzimy              |                       |
| 3 - nawis wynikający z nieprzetopienia krawędzi metalu |                       |
| 4 - wyciek stopiwa po stronie grani                    |                       |
| 5 - podtopienie w formie karbu                         | 9 - wtrącenia żużlowe |
| 6 - krater na powierzchni spoiny                       | 10,11 - pęknięcia     |
| 7,8 - pęcherze gazowe                                  |                       |

Rysunek 3. Wady spoin [3]

Brak przetopu podczas spawania elektrycznego powstaje wskutek braku odpowiedniego odstępu między brzegami spawanego materiału, zbyt szybkie-

go posuwu elektrody, małego natężenia prądu, oraz nie stosowania zukosowania blach przy ich grubości powyżej 4 mm. Szczególnym przypadkiem tej wady jest brak stopienia grani, wywołujące naprężenia, które nawet przy małym kącie zgięcia doprowadza do pęknięcia spoiny. Nadmierny przetop powstaje w sytuacji odwrotnej niż brak przetopu i także jest poważną wadą spawalniczą, gdyż znacząco osłabia złącze i często przeszkadza w prawidłowym spasowaniu sąsiadujących elementów, tak samo jak zbyt duży nadlew spoiny. Jeżeli rowek nie jest w wystarczającym stopniu wypełniony spoiną wadę taką nazywa się wklęsłością spoiny. Kolejną wadą jest przetopienie brzegów spoiny najczęściej występujące podczas spawania w pozycji pionowej oraz naściennej. Podobnie jak w przypadku nadmiernego przetopu jest wynikiem zbyt dużych natężeń prądów oraz nieprawidłowego prowadzenia elektrody i wynika z faktu, że stopione tworzywo jest wydmuchiwane i tworzy między spoiną a materiałem rodzimym jedną lub dwie bruzdy. Kratery są wadą powstałą przez złe zakończenie spoiny, gdzie miejsca zakończenia spoin mają znaczne wgłębienia i brak w nich spoiwa. Aby zapobiec ich występowaniu należy stosować krótkie przerwy spawania w celu przyspieszenia krzepnięcia materiału. Kolejną powszechną wadą są pęknięcia wynikłe ze zbyt szybkiego studzenia materiału, szczególnie podczas spawania stali twardych. Pęknięcia występują zarówno na zewnątrz jak i wewnątrz materiału [3].

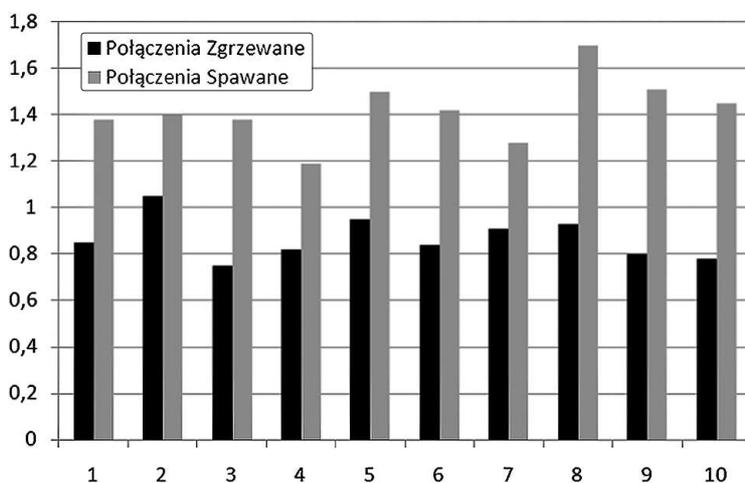
W zależności od wzajemnego umiejscowienia łączonych elementów można wyróżnić spoiny: czołowe, pachwinowe, grzbietowe i otworowe. Pierwsze trzy techniki spawania używane są podczas powypadkowych napraw ram samochodów ciężarowych oraz ich modyfikacji pod indywidualne zamówienie. Ostatni rodzaj spoin jest powszechnie używany w naprawach blacharskich do łączenia blach karoseryjnych w zastępstwie procesu zgrzewania. Metoda ta polega na wypełnieniu wykonanych w zewnętrznej blasze otworów spoiną. Średnica otworu uzależniona jest od grubości blachy zewnętrznej. Koncerny motoryzacyjne przyjmują w technologii za właściwie zastępowanie zgrzewania spawaniem otworowym. Zalecane jest wówczas stosowanie aby stanowisko napraw było wyposażone w maszynę dysponującą natężeniem spawania minimum 200A, co umożliwi spawanie blach w zakresie do 4 mm, drutem elektrodowym o średnicy 0,6-0,8 mm. Niestety problematyczne jest wykonanie poprawnej spoiny otworowej w blachach o niewielkiej grubości.

Połączenia punktowe wykonywane w zastępstwie zgrzewania punktowego dzielone są w literaturze na wspomniane połączenia otworowe oraz połączenia polegające na całkowitym przetopieniu blachy zewnętrznej (bez otworu) i częściowe przetopienie blachy wewnętrznej.

W spawalnictwie stosuje się dwa zasadnicze rodzaje elektrod. Pierwszym rodzajem są elektrody nietopliwe, gdzie wolframowe używane są do spawania w atmosferze argonu, natomiast węglowe stosuje się podczas łączenia cienkich blach stalowych, miedzi i aluminium. Drugą odmianą elektrod to elektrody topliwe, które dzieli się dodatkowo na otulone, nieotulone oraz rdzeniowe. Te ostatnie mają postać rurki blaszanej zawierającej proszek którego skład działa jak otulina wzbogacając spoinę w składniki stopowe. Elektrody nieotulone są używane wyłącznie podczas spawania w osłonie gazów i pod topnikiem. Otulina elektrod, w zależności od jej składu, wpływa w zasadniczy sposób na skład chemiczny spoiny. Zbudowana jest ona z różnorodnych, rozdrobnionych składników mineralnych i organicznych, żelazostopów oraz metali [2].

#### 4. WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZEŃ

Stale stosowane w przemyśle motoryzacyjnym powinny mieć dużą udarność. Współczesna technologia wytwarzania stali pozwala na uzyskanie stali o bardzo małym stężeniu tlenu oraz dokładnie skontrolowanej wielkości wytrąceń niemetalicznych oraz tlenkowych [4]. Jest to ważny problem w metalurgii spawania ram samochodowych, gdyż wymaga zastosowania procesów spawania niskotlenowego. Klasyczne spoiny wykonane rutyłowymi elektrodami otulonymi mogą zawierać ponad 700 ppm tlenu, podczas gdy jego zawartość w spoinach wykonanych metodą TIG



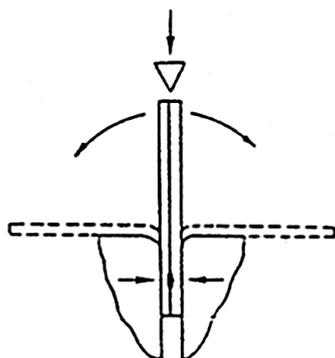
Rysunek 4. Uśrednione maksymalne siły (oś Y w kN) niszczące poszczególne połączenia (oś X)

może być mniejsza od 50 ppm. Zarówno w sytuacji nadmiaru jak i niedomiaru tlenu nie uzyskuje się maksymalnej udarności złącza, należy także pamiętać, że duże znaczenie ma nie tylko stężenie tlenu ale także rodzaj wtrąceń tlenkowych, gęstość rozmieszczenia oraz ich wielkość i budowa.

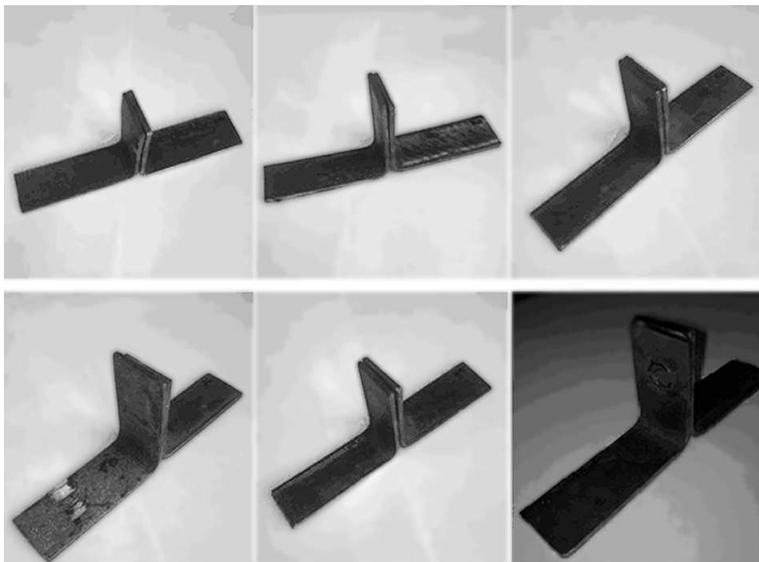
Wytrzymałość połączeń zgrzewanych jest w dużym stopniu uzależniona od prawidłowego ich wykonania. Charakteryzują się one wysoką udarnością wytrzymałością styczną oraz zmęczeniową. Na Rysunku 4 pokazane jest porównanie maksymalnych sił niszczących przy połączeniach zgrzewanych oraz spawanych.

## 5. BADANIA

Do przeprowadzenia badań wykorzystano maszynę wytrzymałościową firmy VEB Werkstoffprufmaschinen. Przyrząd ten pozwala na precyzyjne wykonanie mechanicznej próby odrywania pojedynczych spoin punktowych w celu ustalenia różnic pomiędzy połączeniami elementów. Odpowiednie połączenia wykonano za pomocą spawania punktowego



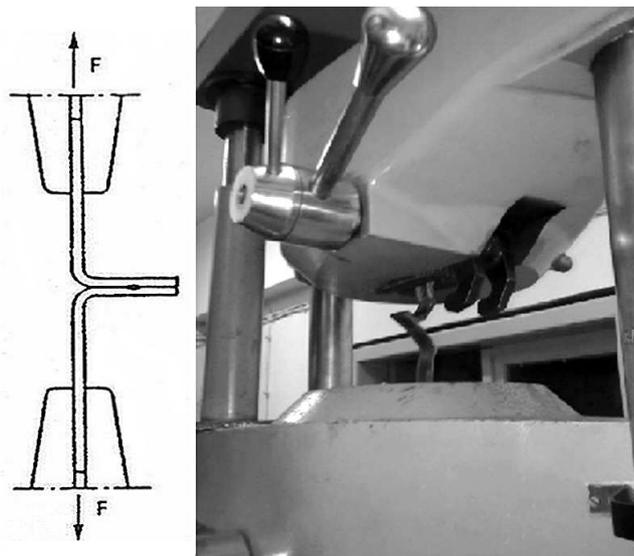
Rysunek 5. Przygotowanie próbki [5]



Rysunek 6. Elementy przygotowane do próby rozrywania (próbki ustawiono kolejno od 1 do 6)

elektrodą otuloną EB 1.50 oraz zgrzewarką RZP-2A. Sposób w jaki przygotowano próbki przedstawiono na Rysunku 5.

W badaniach wykorzystano stalowe próbki, które zostały pobrane w taki sposób, żeby kierunek siły niszczącej połączenie, był zgodny z kierunkiem walcowania blachy dla każdej z próbek. Elementy przygotowane do próby rozrywania na Rysunku 6. Pierwsze trzy zdjęcia przedstawiają próbki wykonane za pomocą spawania (przypawania), kolejne trzy za pomocą zgrzewania punktowego.



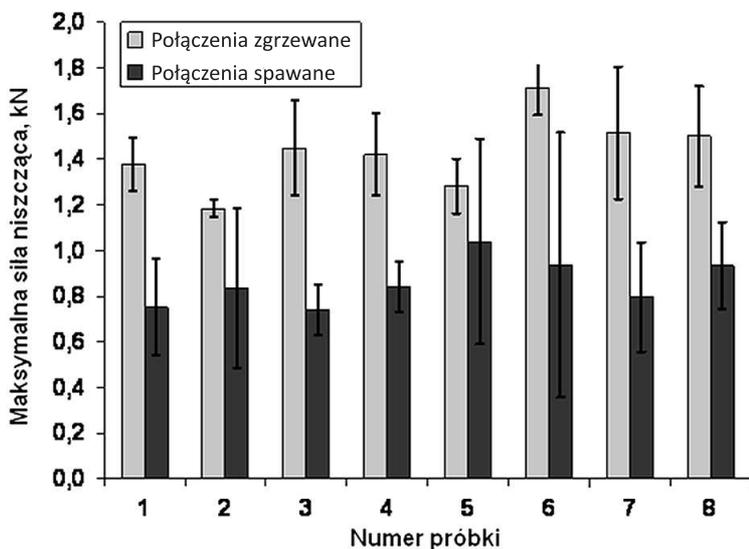
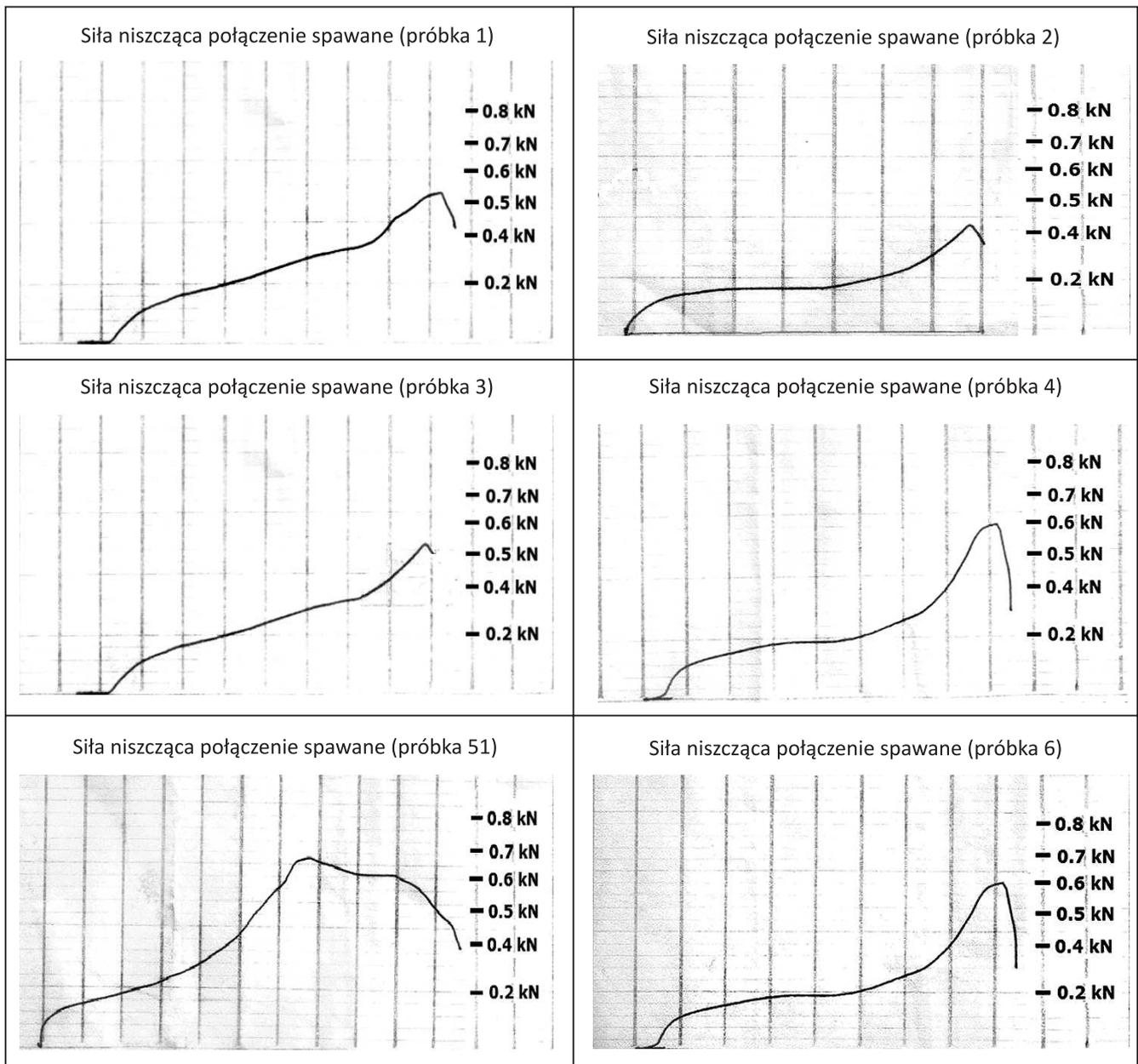
Rysunek 7. Schemat próby odrywania (z lewej) [5] i próby podczas badania (z prawej)

Badanie polegało na umieszczeniu próbki w uchwytach maszyny i przyłożeniu siły o przeciwnych zwrotach. Schemat mechanicznej próby odrywania oraz zdjęcia podczas badań pokazane są na Rysunku 7. Dla każdego połączenia wykonano próbę na rozrywanie, poniżej przedstawiono wykresy (Tab. 1) uzyskanych sił do rozerwania próbki podczas badań.

Do rozerwania próbek wykonanych przy pomocy przypawania potrzebowano siły od około 0,42 kN do 0,55 kN, natomiast próbki zgrzewane punktowo charakteryzują się większą powtarzalnością wyników oraz tym, że wyniki były mniej rozbieżne niż w przypadku spawania. Siła potrzebna do rozerwania zgrzewanych próbek wahała się od 0,6 do 0,68 kN. W przypadku wszystkich próbek, rozrywanie następowało w strefie wpływu ciepła.

Podobna sytuacja miała miejsce dla próbek, które zostały pobrane z nadwozi pojazdów eksploatowanych. Połączenia w tych próbkach zostały wykonane przez spawanie i zgrzewanie punktowe. We wszystkich przy-

**Tabela 1.** Wykresy sił potrzebnych do rozerwania poszczególnych próbek



**Rysunek 8.** Zestawienie średnich wartości maksymalnych sił niszczących dla poszczególnych pojazdów [6]

padkach zgrzeiny punktowe osiągały wyższe wartości siły niszczącej. Przykładowe wyniki przedstawiono na Rysunku 8.

We wszystkich zbadanych przypadkach połączenia zgrzewane charakteryzowały się lepszymi właściwościami mechanicznymi w porównaniu do połączeń spawanych. Ponadto, wyniki uzyskane dla zgrzein cechowały się większą powtarzalnością.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy uzyskanych wyników, stwierdzono, że:

- wybór metody spawania ma wpływ na bezpieczeństwo konstrukcji spawanych ram samochodowych i ich wytrzymałość,
- nieodpowiedni dobór stopiwa może mieć istotny wpływ na awarie,
- wykorzystanie metod spawalniczych niskotlenowych do łączenia elementów ram samochodowych pozwala uzyskać stopiwo o wyższej wytrzymałości na rozciąganie, wyższej granicy plastyczności oraz większej wytrzymałości zmęczeniowej,
- niskotlenowe metody spawalnicze zapewniają poprawnie przeprowadzoną naprawę ramy pojazdu ciężarowego, co w konsekwencji przekłada się na bezpieczną eksploatację pojazdu,
- do zniszczenia połączeń wykonanych przy pomocy zgrzewania jest niezbędna większa siła, niż w przypadku połączeń spawanych punktowo,
- połączenia zgrzewane punktowo charakteryzują się tym, że jest większa powtarzalność wyników odnośnie siły niszczącej takie złącze niż połączenia spawane punktowo,
- w przypadku poprawnie wykonanych połączeń zgrzewanych jak i spawanych rozrywanie badanych próbek następowało w strefie wpływu ciepła.

#### LITERATURA

- [1] strona internetowa: <http://mamwarsztat.reds.pl>.
- [2] Piwowar S., *Spawanie i zgrzewanie elektryczne*, Warszawa, PWSZ 1996.
- [3] strona internetowa: <http://www.pkm.pollub.pl>.
- [4] Węgrzyn T., Miros M., Hadryś D.: *Połączenia spawane wykonywane podczas napraw powypadkowych nadwozi pojazdów samochodowych*, Przegląd Spawalnictwa, 02/2008.
- [5] Senkara J.: *Współczesne stale karoseryjne dla przemysłu motoryzacyjnego i wytyczne technologiczne ich zgrzewania*, Przegląd Spawalnictwa 11/2009.
- [6] Hadryś D.: *Wpływ naprawy powypadkowej metodami spawalniczymi na bezpieczeństwo bierne konstrukcji nośnych pojazdów*, Rozprawa doktorska, 2009 Katowice.
- [7] Węgrzyn T.: *Pierwiastki stopowe w stopiwie stalowych elektrod zasadowych*, Przegląd Spawalnictwa, 04/2007.