

# APARATURA

## BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

### Wpływ metod naprawy podłużnicy na bezpieczeństwo bierne pojazdu osobowego

TOMASZ WĘGRZYN<sup>1</sup>, DAMIAN HADRYŚ<sup>1</sup>, MARCIN ŚWIERSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>WYŻSZA SZKOŁA ZARZĄDZANIA OCHRONĄ PRACY W KATOWICACH

<sup>2</sup>KOPALNIA WĘGLA KAMIENNEGO WUJEK

**Słowa kluczowe:** podłużnica, bezpieczeństwo bierne, stopy aluminium, zderzenie

#### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące naprawy powypadkowej podłużnicy samonośnego nadwozia pojazdu, wykonanych ze stopów aluminium. Przeprowadzono badania o charakterze dynamicznym i porównano wyniki dla elementów nowych i naprawionych. Podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, która z zaproponowanych metod naprawy jest lepsza w aspekcie bezpieczeństwa użytkowników pojazdu.

#### Influence of method repair of longitudinal on passive safety of passenger vehicle

**Keywords:** longitudinal, passive safety, aluminum alloy, car crash

#### ABSTRACT

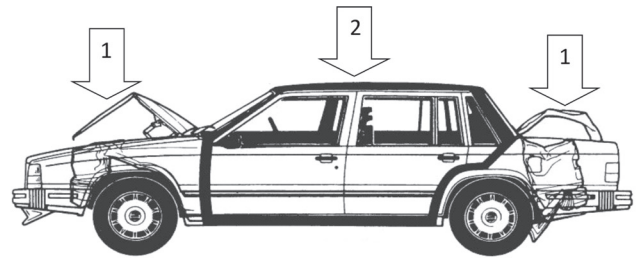
The article presents the issues of post-accident repair of carbody longitudinal, which are made by aluminum alloys. The dynamic tests were carried out. Results for new and repaired parts were compared. It attempts to answer the question, which of the proposed repair method is better in terms of safety of the vehicle users.

## 1. WPROWADZENIE I CEL BADAŃ

W celu zapewnienia bezpieczeństwa pracy kierowców i pozostałych użytkowników pojazdów, należy zwrócić uwagę na wiele różnych aspektów. Jednym z podstawowych jest szeroko rozumiane bezpieczeństwo bierne. Pojęcie bezpieczeństwa biernego pojazdu odnosi się do elementów i zespołów pojazdu, które w czasie zderzenia mają wpływ na ograniczenie szkodliwych czynników (np. opóźnienie, deformacja nadwozia) i bezpośrednich skutków wypadku dla wszystkich osób znajdujących się w pojeździe [1]. Ważnym zagadnieniem jest tutaj przejęcie i rozproszenie energii zderzenia [2, 3]. Sprowadza się ono do stworzenia bezpiecznej konstrukcji pojazdu (głównie nadwozia), która polega na wydzieleniu stref o różnych właściwościach. Strefy zewnętrzne mają za zadanie przejąć i rozproszyć energię zderzenia, natomiast strefa środkowa – przestrzeń pasażerska – ma stanowić klatkę bezpieczeństwa zapewniającą przestrzeń życiową (Rys. 1).

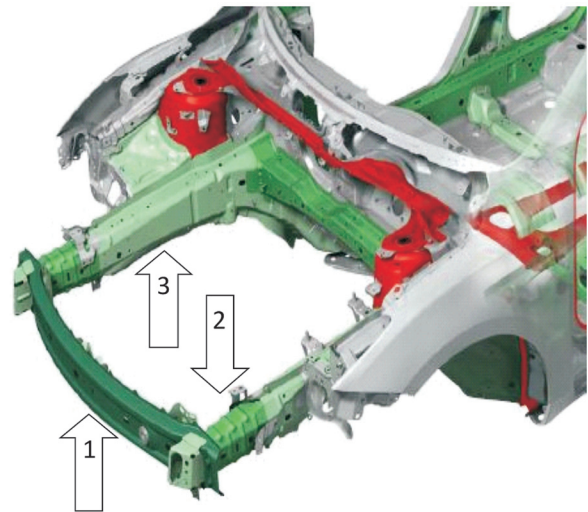
W celu zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa biernego opracowano koncepcję bezpiecznego nadwozia. Stanowi ona o podziale nadwozia pojazdu na strefy o różnej nośności. Ze względu na fakt, że bardzo często dochodzi do zderzeń, podczas których deformowana jest przednia część pojazdu, na strefę tę należy zwrócić szczególną uwagę. Strefa absorpcji energii zderzenia składa się z belki zderzaka, która jako pierwsza ma kontakt z przeszkodą. Przenosi ona energię zderzenia symetrycznie na dwie podłużnice, które eliminują zagrożenie zdrowia i życia kierowcy (Rys. 2).

Elementem szczególnie ważnym w strukturze nadwozia i odpowiedzialnym za pochłanianie energii jest podłużnica. W większości popularnych pojazdów osobowych nadwozie samonośne wykonane jest z różnego gatunku stali. Jednak można zaobserwować przypadki wykonania nadwozia ze stopów aluminium. Dotyczy to zarówno elementów poszycia zewnętrznego, jak i elementów przenoszących bardzo duże naprężenia. Niska sprężystość tych stopów implikuje naturalne tendencje do silnych deformacji w bezpośredniej strefie zderzenia bez przenoszenia sił odkształcających do przestrzeni pasażerskiej. Elementy deformują się zatem w bezpośredniej strefie uderzenia. Właściwość ta eliminuje możliwość pojawiania się deformacji w partiach nadwozia sąsiadujących z klatką przeżycia i w samej klatce. Ponadto, ułatwia to ocenę uszkodzenia nadwozia.



**Rysunek 1** Koncepcja podziału samochodu osobowego na strefy [6]: 1 – strefa dużej deformacji przy zderzeniu (tzw. strefa kontrolowanego zgniotu), 2 – strefa nieodkształcalna (tzw. klatka przeżycia)

**Figure 1** Conception of passenger car selection to zones [6]: 1 – zone of large deformation, 2 – inflexible zone



**Rysunek 2** Przednia strefa absorpcji energii zderzenia [6]: 1 – belka zderzaka, 2 – skrzynka zderzeniowa (tzw. crashbox), 3 – podłużnica

**Figure 2** Front zone for crash energy absorption [6]: 1 – bumper beam, 2 – collision box (called crashbox), 3 – longitudinal

Stopy stosowane do produkcji pojazdów to stopy do formowania na zimno (Al-Mg, Al-Mg-Mn) i na gorąco (Al-Mg-Si). Do często stosowanych należą stopy serii 6XXX o średniej wytrzymałości i serii 7XXX o wysokiej wytrzymałości. Ich główne zastosowanie to belki zderzaka i skrzynki zderzeniowe. Stopy serii 5XXX to stopy nie podlegające obróbce termicznej. Wykorzystywane są do budowy wewnętrznych struktur nadwozia. Formę końcową uzyskują poprzez walcowanie na zimno i gorąco. Klasyfikację i oznaczenie stopów aluminium przedstawiono w Tabeli 1.

Jeśli chodzi o fabryczne połączenia poszczególnych elementów nadwozia w całość, to sprawa ta wygląda inaczej niż w przypadku nadwozi stalowych. W nadwoziach stalowych głównym sposobem łączenia elementów podczas produkcji nadwozia jest zgrzewanie punktowe. Tylko w nie-

**Tabela 1** Podział i oznaczenie stopów aluminium [7]**Table 1** Distribution and identification of aluminum alloys [7]

Oznaczenie	Główny dodatek	
1XXX	Al	99% aluminium
2XXX	Al – Cu	miedź
3XXX	Al – Mn	mangan
4XXX	Al – Si	krzem
5XXX	Al – Mg	magnez
6XXX	Al – Mg – Si	magnez + krzem
7XXX	Al – Zn – Mg	cynk + magnez

znacznej mierze wykonuje się połączenia spawane różnymi metodami (np. MAG, MIG, spawanie laserowe). Natomiast w przypadku nadwozi ze stopów aluminium połączenia fabryczne to połączenia spawane i nitowane. Dotyczy to zarówno elementów poszycia zewnętrznego, jak i elementów przenoszących bardzo duże naprężenia wynikające z samego ruchu pojazdu oraz zderzeń. Jako przykład takich elementów można podać podłużnice nadwozia samonośnego. Podczas przeprowadzania naprawy elementu nadwozia (w tym również podłużnicy) fabryczne połączenia ulegają najczęściej zniszczeniu lub pojawiają się połączenia, których nie było w nadwoziu fabrycznym. Pierwszy przypadek ma miejsce, gdy połączenia fabryczne są usuwane, a w ich miejsce są wykonywane połączenia nowe. Połączenia mogą być zastępowane połączeniami identycznymi w stosunku do połączeń fabrycznych (np. połączenia nitowane). Niejednokrotnie zdarza się jednak, że fabryczne połączenia są zastępowane połączeniami wykonanymi inną technologią (np. fabryczne połączenia nitowane zastępuje się połączeniami spawanymi). Drugi przypadek ma miejsce podczas naprawy elementu nadwozia przez jego częściową wymianę. Wykonuje się wtedy cięcia i nowe połączenia w ściśle określonych przez producenta miejscach. Szczególnie ważne jest to dla elementów bezpieczeństwa biernego nadwozia pojazdu (np. podłużnic), ponieważ pojawiają się połączenia, których nie ma w nadwoziu fabrycznym. Ich obecność w nieodpowiednim miejscu lub wykonanie w nieodpowiedniej technologii może skutkować zmniejszeniem się poziomu bezpieczeństwa podczas użytkowania pojazdu po naprawie.

W trosce o bezpieczeństwo bierne użytkowników pojazdów naprawa powypadkowa powinna przywrócić wszystkie charakterystyki, które zostały

nadane nadwoziu w czasie procesu produkcji do wartości przynajmniej jak sprzed zderzenia. Dotyczy to zarówno nadwozi stalowych, jak i wykonanych ze stopów aluminium. Charakter i stopień uszkodzenia elementów nadwozia określa metodę naprawy, wymaganą do odbudowania konstrukcji nośnej nadwozia. Podczas naprawy stosuje się dwie metody wymiany uszkodzonej podłużnicy:

- wymiana całego uszkodzonego elementu,
- wymiana fragmentu uszkodzonej części.

Metody te są zalecane przez producentów pojazdów zarówno dla elementów poszycia zewnętrznego, jak i dla elementów, które zostały zaprojektowane do przejścia i rozproszenia energii zderzenia (np. podłużnice). Wybór konkretnej z przedstawionych powyżej metod naprawy jest uzależniony od stopnia deformacji danego elementu oraz od lokalizacji deformacji w tym elemencie. Podsumowując tę myśl można powiedzieć, że w przypadku nadwozia samonośnego ze stopów aluminium producenci dopuszczają naprawę podłużnicy przez wymianę częściową tego elementu lub przez wymianę całego elementu, w zależności od stopnia jego deformacji. Wynika z tego zatem, że każdy przypadek należy rozpatrywać indywidualnie i dobrać miejsca cięcia oraz miejsca i sposób łączenia ściśle według wytycznych producenta pojazdu.

Wytyczne producenta pojazdu dotyczące naprawy nadwozia lub elementu są zwykle szczegółowo opisane w materiałach specjalistycznych danej marki. Wytyczne te są stosowane w autoryzowanych warsztatach napraw pojazdów. Warsztaty mają wyłączny dostęp do materiałów specjalistycznych i szkoleniowych. Jednak zdarza się, że w warsztatach nieautoryzowanych naprawy nie są wykonywane zgodnie z wytycznymi producentów pojazdów i bez wymaganego reżimu technologicznego. Często jedynym źródłem wiedzy o sposobie naprawy powypadkowej dla danego modelu pojazdu są informacje zawarte w programach do kosztorysowania napraw pojazdów.

Obecnie do łączenia elementów nadwozia podczas napraw najczęściej używa się połączeń spawalniczych (spoin lub zgrzein), jednak można spotkać się również np. z nitowaniem. Spoiny wykonywane są najczęściej metodami MAG, MIG lub TIG. W trakcie łączenia blach elementów z wykorzystaniem spawania wykonuje się spoiny punktowo-otworowe i ciągłe. Spoiny otworowo-punktowe są alternatywą dla zgrzewania punktowego

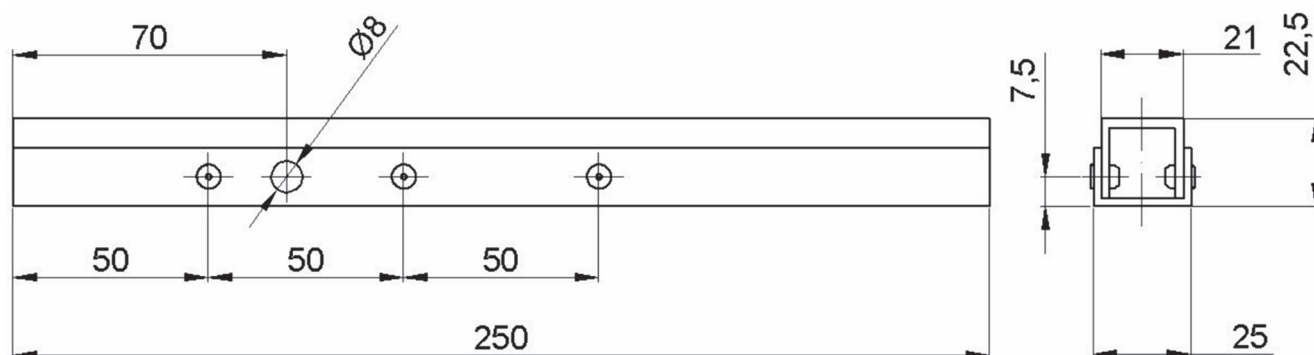
i nitowania. Dotyczą one miejsc łączenia elementów na tzw. zakładkę. Łączenie polega na wykonaniu otworu przelotowego w elemencie zewnętrznym, dociśnięciu łączonych elementów ze sobą i wykonaniu spoiny w przygotowanym wcześniej otworze [4-6].

Odpowiednio dobrana technologia naprawy podłużnic jest bardzo ważnym zagadnieniem dotyczącym bezpieczeństwa użytkowania naprawionego pojazdu. Nieodpowiednio dobrana technologia naprawy lub nieodpowiedni reżim technologiczny podczas wykonywania naprawy może skutkować osłabieniem konstrukcji nadwozia i powodować pogorszenie poziomu bezpieczeństwa biernego.

## 2. BADANIA WŁASNE

Na podstawie powyższego przeprowadzono badania na elementach wykonanych ze stopów aluminium. Badania polegały na stanowiskowej dynamicznej deformacji modelowych podłużnic. Przebadano podłużnice modelowe nowe i poddane naprawie. Naprawy wykonano z użyciem łączenia elementów i ich części z wykorzystaniem spawania.

W celu zapewnienia powtarzalności wyników ze względu na kształt elementów do badań, zaproponowano modelowe podłużnice. Stanowiły one uproszczoną i pomniejszoną postać elementów rzeczywistych stosowanych w pojazdach. Miały one długość 250 mm, a za element inicjujący odkształcenie przyjęto otwór przelotowy o średnicy 8 mm (Rys. 3). Jako materiał przyjęto stop aluminium typu EN AW-6060, o składzie chemicznym przedstawionym w Tabeli 2 i właściwościach mechanicznych przedstawionych w Tabeli 3. Wykorzystany stop aluminium należy do serii 6XXX, która stosowana jest w przemyśle motoryzacyjnym do produkcji elementów energochłonnych.



Rysunek 3 Modelowa podłużnica  
Figure 3 Model longitudinal

Tabela 2 Skład chemiczny profilu ze stopu aluminium [7]

Table 2 The chemical composition of an aluminum alloy profile [7]

Skład chemiczny stopu aluminium profilu EN AW6060 (wg. DIN AlMgSi0,5)								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Inne	Al
0,3-0,6	0,1-0,3	0,1	0,1	0,35-0,6	0,15	0,05	0,15	reszta

Tabela 3 Właściwości mechaniczne profilu ze stopu aluminium [7]

Table 3 The mechanical properties of aluminum alloy profile [7]

Właściwości mechaniczne kształtownika EN AW-6060 T6		
$R_{m \min}'$ , MPa	$R_{p0,2 \min}'$ , MPa	$A_{\min}'$ , %
215	160	8

W celu porównania przebiegu zderzenia dla elementów nowych i naprawionych różnymi metodami, wykonano na potrzeby badań trzy rodzaje modelowych podłużnic:

- elementy zbudowane z części łączonych za pomocą nitowania – próbki odpowiadające elementom nowym (Rys. 3),
- elementy zbudowane z części łączonych z zastosowaniem spoiny czołowej poprzecznej na elemencie z połączeniami nitowanymi – próbki odpowiadające elementom naprawionym,
- elementy zbudowane z części łączonych z zastosowaniem spoiny otworowo-punktowej zamiennie do połączeń nitowanych – próbki odpowiadające elementom naprawionym.

Dla elementów podlegających naprawie wykonano prace spawalnicze z wykorzystaniem metod MIG i TIG. Parametry spawania i podstawowe dane drutu elektrodowego oraz prętów aluminiowych przedstawiają odpowiednio Tabele 4 i 5.



**Tabela 4** Skład chemiczny stopiwa użytego w metodzie MIG i TIG

**Table 4** The chemical composition of weld metal used in MIG and TIG welding

Rodzaj stopiwa	Skład chemiczny stopiwa, %		
	Si	Al	Mn
Drut elektrodowy AISi5	5,0	reszta	-
Pręty elektrodowe AISi12	13,0	reszta	0,2

**Tabela 5** Parametry spawania metodami MIG i TIG

**Table 5** Parameters of MIG and TIG welding

Metoda spawania	Gaz ostonowy	Natężenie przepływu gazu, dm <sup>3</sup> /min	Średnica stopiwa, mm	Natężenie prądu, A	Napięcie, V	Prędkość podawania stopiwa, m/min
MIG	Ar	14	1,0	75	16	7
TIG	Ar	14	1,6	120	19	manualnie

Dla odzwierciedlenia warunków zderzenia postanowiono zasymulować zderzenie czołowe. Udział procentowy takiego zderzenia w zdarzeniach drogowych jest znaczący, a jego konsekwencje dla zdrowia i życia znajdujących się w pojeździe są bardzo poważne. W celu zapewnienia powtarzalnych warunków obciążania badanych elementów zbudowano stanowisko badawcze (Rys. 4 i Tab. 6). Idea badania polegała na deformacji dynamicznej modelowej podłużnicy w wyniku uderzenia spadającej swobodnie, z założenia nieodkształcalnej masy.

### 3. UZYSKANE WYNIKI I ICH ANALIZA

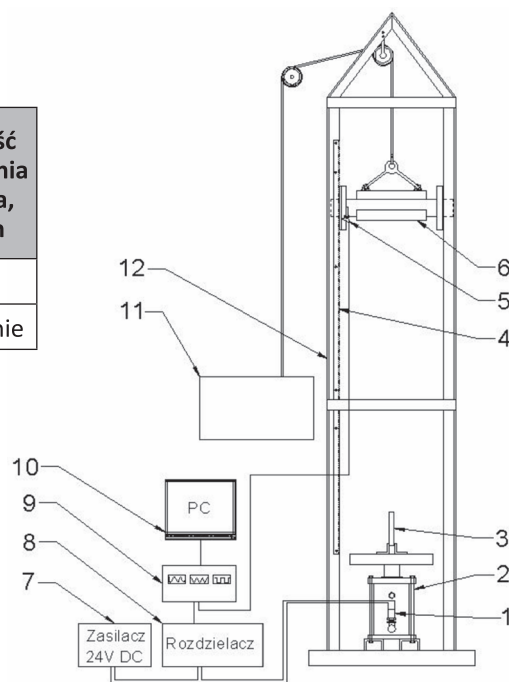
Modelowe podłużnice po próbie deformacji przedstawia Rysunek 5. Przykładowe zestawienie wyników uzyskanych podczas pomiarów oraz wartości obliczonych przedstawiają rysunki od 6 do 8. Na początku przeprowadzono serię testów próbnych. Następnie wykonano po trzy próby dla każdego rodzaju badanych elementów.

Uzyskane podczas badań dynamicznych deformacje modelowych podłużnic przedstawiały podobne wartości. Wyjątkiem był tu przypadek elementów naprawionych z zastąpieniem połączeń nitowanych spoinami otworowo-punktowymi wykonanymi metodą TIG. Elementy te charakteryzowały się deformacją około dwukrotnie większą w porównaniu do elementów nowych. Również

**Tabela 6** Charakterystyka stanowiska badawczego

**Table 6** Characteristic of test stand

Parametr	Wartość
Wysokość spadku swobodnego bijaka uderzeniowego	do 2,5 m
Prędkość bijaka w momencie uderzenia	do 7,0 m/s (25,2 km/h)
Masa bijaka	do 100 kg
Energia uderzenia	do 2453 J

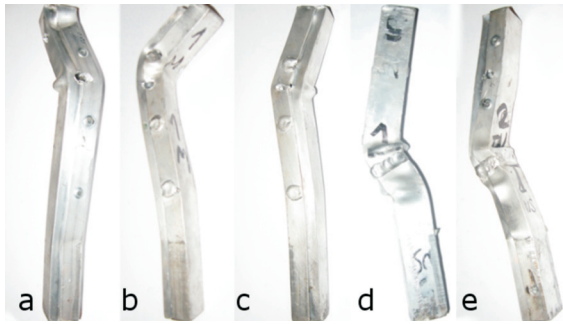


**Rysunek 4** Stanowisko badawcze: 1 – przetwornik ciśnienia, 2 – siłownik pneumatyczny, 3 – modelowa podłużnica, 4 – listwa zębata, 5 – przetwornik magneto-indukcyjny, 6 – bijak, 7 – zasilacz, 8 – układ połączeniowy, 9 – oscyloskop, 10 – komputer PC z oprogramowaniem, 11 – układ podnosząco-spustowy, 12 – konstrukcja wieży stanowiska

**Figure 4** The test stand: 1 – pressure sensor, 2 – pneumatic actuator, 3 – model longitudinal, 4 – rack, 5 – magneto-inductive sensor, 6 – ram, 7 – power supply, 8 – connection system, 9 – oscilloscope, 10 – computer, 11 – hoisting system, 12 – frame position of the tower

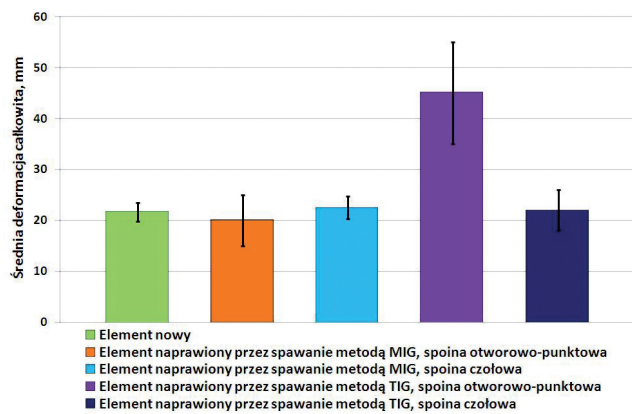
rozzrzt wyników poszczególnych prób był dla tego przypadku największy.

W przypadku wartości energii użytej na odkształcenie uzyskanej z badań i obliczeń stwierdzono dość znaczne różnice pomiędzy przebadanymi metodami spawania. Większą pracą odkształcenia w stosunku do elementów nowych charakteryzowały się modelowe podłużnice spawane metodą MIG niż metodą TIG i to niezależnie od rodzaju wykonywanych połączeń spawanych.

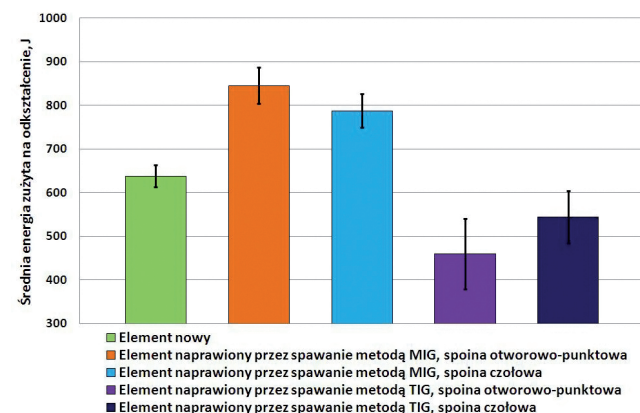


**Rysunek 5** Modelowe podłużnice po próbie na stanowisku badawczym [źródło własne]: a – podłużnica nowa – nitowana, b – podłużnica naprawiana ze spoinami otworowo-punktowymi (metoda MIG), c – podłużnica naprawiana ze spoinami otworowo-punktowymi (metoda TIG), d – podłużnica naprawiana ze spoiną czołową (metoda MIG), e – podłużnica naprawiana ze spoiną czołową (metoda TIG)

**Figure 5** Model longitudinals after tests: – new longitudinal with rivets, b – longitudinal repaired by MIG welding (hole-point joint), c – longitudinal repaired by TIG welding (hole-point joint), d – longitudinal repaired by MIG welding (butt), e – longitudinal repaired by TIG welding (butt)

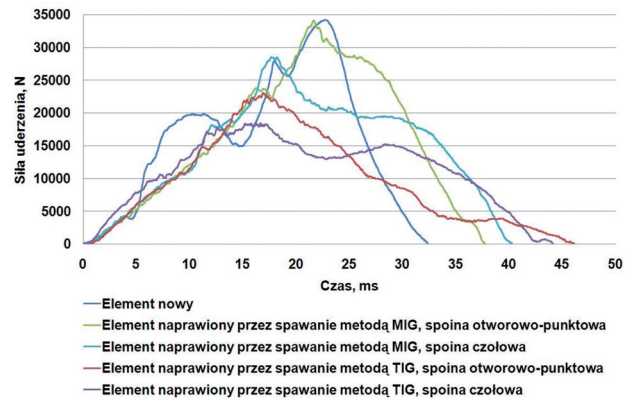


**Rysunek 6** Średnia deformacja całkowita modelowych podłużnic uzyskana w efekcie obciążenia dynamicznego  
**Figure 6** Average total deformation of model longitudinals obtained as a result of the dynamic load



**Rysunek 7** Średnia praca odkształcenia badanych modelowych podłużnic

**Figure 7** Average energy used to deform the tested longitudinal



**Rysunek 8** Przykładowe przebiegi czasowe siły uderzenia uzyskane podczas badań

**Figure 8** Sample of time course of impact forces

Porównując przebiegi czasowe siły uderzenia dla poszczególnych przebadanych elementów stwierdzić można, że największe wartości uzyskano dla elementów nowych. Nieznacznie mniejsze wartości charakteryzowały elementy spawane otworowo-punktowo metodą MIG. Natomiast najmniejsze wartości obserwowano dla elementów spawanych metodą TIG.

Z uwagi na to, że elementy modelowe miały identyczne cechy geometryczne, a materiał pochodził z jednej partii, można przypuszczać, że kluczową sprawą jest dobór metody spawania dla konkretnej metody naprawy elementu. Na podstawie przeprowadzonych na modelowych elementach badań można stwierdzić, że odpowiedniejszą metodą spawania w tym przypadku jest metoda MIG. Elementy naprawione z wykorzystaniem tej metody spawania charakteryzują się zbliżoną wartością deformacji oraz większą zdolnością do pochłaniania energii zderzenia w odniesieniu do elementów nowych. Gorzej wypadły elementy naprawione z wykorzystaniem metody spawania TIG. Szczególnie wyraźne jest to w przypadku porównania deformacji elementu ze spoinami otworowo-punktowymi do deformacji elementu nowego. Ponadto, elementy naprawione z wykorzystaniem spawania metodą TIG charakteryzowały się mniejszą zdolnością do pochłaniania energii zderzenia w odniesieniu do elementów nowych. Należy również zauważyć, że największy rozrzut wyników można zaobserwować generalnie dla metody spawania TIG. Fakt ten można tłumaczyć powtarzalnością prac wykonywanych przez spawacza. Na uwagę zasługuje też fakt, że znacznie większe umiejętności musi posiadać spawacz w metodzie TIG niż w metodzie MIG. Zgodne jest to z ogólnym przekonaniem,

że znacznie łatwiej opanować spawanie metodą MIG niż metodą TIG. W metodzie TIG istnieje między innymi potrzeba manualnego podawania materiału dodatkowego, co w metodzie MIG odbywa się w sposób automatyczny.

#### 4. PODSUMOWANIE

Na podstawie wyników badań uzyskanych podczas testów dynamicznych dotyczących pochłaniania energii uderzenia przez modelowe podłużnice można stwierdzić, że korzystniejsze wartości parametrów opisujących proces zderzenia uży-

skano dla metody spawania MIG. Należy podkreślić, że miało to miejsce niezależnie od rodzaju wykonanych połączeń spawanych.

Wykorzystanie metod spawalniczych w naprawie blacharskiej podłużnicy pojazdu nie powoduje pogorszenia ochrony kierowcy i pasażera przed skutkami zderzenia czołowego. Warunkiem tego jest jednak odpowiednie dobranie metody spawania, materiałów dodatkowych do spawania, parametrów procesu i dotrzymanie reżimu technologicznego. Poza tym, bardzo ważne jest zapewnienie wykwalifikowanego pracownika wykonującego prace spawalnicze.

#### LITERATURA

- [1] ATM: Bezpieczeństwo to statystyki. *Auto Technika Motoryzacyjna*, nr 9, 2007, 46.
- [2] Węgrzyn T., Hadryś D., Miros M., Połączenia spawalnicze wykonywane podczas napraw powypadkowych pojazdów samochodowych; *Przegląd Spawalnictwa*, nr 2/2008.
- [3] Węgrzyn T., Śliwiński T., Sieteski D., Hadryś D., Metody spawania i zgrzewania nadwozia pojazdu, Konferencja Międzynarodowa TLTS, czerwiec 2011, Zakopane.
- [4] Miros M., Hadryś D., Naprawa powypadkowych części samochodów osobowych i ciężarowych z wykorzystaniem metod spawalniczych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Transport*, z. 61, Gliwice 2007.
- [5] Węgrzyn T., Piwnik J., Hadryś D., Wieszała R., Car body welding with micro-jet cooling, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, JAMME*, 2011, vol. 49/1.
- [6] Węgrzyn T., Naprawy konstrukcji nośnej pojazdów samochodowych różnotlenowymi metodami spawalniczymi. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
- [7] <http://keytometals.com/page.aspx?ID>Login&LN=PL> [dostęp 05.11.2012].