

Dominik GAŁDYŃSKI, Konrad KWIATKOWSKI

WPLYW PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH, NAPRAW POWYPADKOWYCH, STRUKTUR ENERGOCHŁONNYCH NADWOZIA NA ICH PARAMETRY WYTRZYMAŁOŚCIOWE

DOI: 10.24136/atest.2018.301

Data zgłoszenia: 30.08.2018. Data akceptacji: 25.09.2018

W artykule omówiony zostanie wpływ procesów technologicznych, jakie są stosowane w przypadku wymiany częściowej struktur energochłonnych nadwozia pojazdu, do których należy podłużnica przednia pojazdu. Przedstawione zostaną wyniki badań nad wytrzymałością tego typu struktury z uwzględnieniem procesów spawania.

WSTĘP

Podłużnica samochodowa, pomimo swych niewielkich rozmiarów, jak na całość struktury nadwozia pojazdu, pełni znaczącą rolę w procesie ochrony pasażerów. Jej budowa pozwala na zamodelowanie w sposób zamierzony procesu deformacji pojazdu w czasie trwania kolizji. Założenie to jest realizowane poprzez wykorzystanie różnych, pod względem własności, stali AHSS (z ang. Advance High Strength Steels) najczęściej typu DP, połączonych ze sobą w sposób nierozłączny metodami spawalniczymi w technologii TWB „Tailored Welded Blanks”, a następnie po odpowiednim ukształtowaniu w procesie tłoczenia półfabrykatów, połączonych ze sobą, przeważnie z wykorzystaniem procesu zgrzewania oporowego. Tak złożony proces technologiczny wytwarzania komponentów nadwozia wymaga opracowania technologii ich naprawy. W przypadku jego częściowego uszkodzenia, technologia zakłada wymianę częściową, bez konieczności całkowitej wymiany [1].

W swym założeniu usunięcie części uszkodzonego fragmentu konstrukcji pojazdu trwale połączonego z resztą struktury, przy zastosowaniu reżimu opracowanego procesu technologicznego, pozwala na przywrócenie funkcjonalności nadwozia jak sprzed uszkodzenia, bez groźby utraty parametrów wytrzymałościowych całości konstrukcji. W przedmiotowym artykule przedstawiono wyniki badań, jakie mogą wskazywać, że założenie to nie jest tak oczywiste.

1. PRZYGOTOWANIE MODELU JEDNOOMEOWEJ STRUKTURY ENERGOCHŁONNEJ.

Do próby ściskania osiowego przygotowano struktury energochłonne z blachy DP800/1000 o parametrach.

Typ	Rp0.2 [MPa]	Rm [MPa]	A80 [%]
DP800	571	872	14.0
DP1000	747	1050	11.5

Tabela 1. Parametry wytrzymałościowe przy rozciąganiu, użytej do badań stali.

Modele te zostały wykonane z arkusza blachy, wzdłuż kierunku walcowania (KW 0), formatki miały wysokość odpowiadającą wymiarowi końcowemu kolumny: 300 mm, szerokość 220mm i 100mm

wynikającą z rysunku rozwinięcia części. Zostały one uformowane na prasie krawędziowej. Tak powstałe komponenty poddane zostały procesowi zgrzewania punktowego.

2. PARAMETRY ENERGOCHŁONNOŚCI ŚCISKANEGO PROFILU CIENKOŚCIENNEGO

Przedstawione wyniki badań zostały opisane wg poniższych parametrów energochłonności.

Do najważniejszych z nich należy średnia siła P_{sr} . Parametr P_{sr} pozwala porównywać „odporność” na zgniatanie profili o różnej geometrii [2,3,4,5]. Wraz ze wzrostem prędkości odkształceń rośnie energochłonność profilu, ponieważ następuje tzw. efekt umocnienia materiału.

$$P_{sr} = \frac{E_c}{\delta_k}, [N]$$

Wartość energii E_c zaabsorbowanej przez zgniatany profil o różnej geometrii, przedstawia pole pod krzywą siła–przemieszczenie $P=f(\delta)$. Jest to obszar progresywnego tworzenia się fałd [2,3,4,5]:

$$E_c = \int_0^{\delta_k} F(\delta)d\delta = F_S \delta_K [J]$$

Siła maksymalna P_{max} , pojawia się na początku przebiegu i określa wartość siły niezbędnej do powstania pierwszej fałdy. Siła maksymalna P_{max} jest zazwyczaj mniejsza w przypadku eksperymentów quasi-statycznych, co jest związane z efektem umocnienia. [2,3,4,5]:

$$P_{max} = \max[F(\delta)], \delta \in (0, \delta_k), [N]$$

3. PRZEBIEG EKSPERYMENTU

Element energochłonny został zamocowany w dolnej i górnej belce na specjalnie do tego przygotowanym mocowaniu uniemożliwiającym wysunięcie się profilu podczas badania. Podczas eksperymentu rejestrowana była siła i przemieszczenie. Pomiary wykonane były z częstotliwością 15 Hz na komputerze połączonym z maszyną wytrzymałościową. Odpowiednio dobrane parametry geometryczne modelu pozwoliły podczas eksperymentu ściskania osiowego uzyskać przebieg progresywny. Proces ten przebiegał w sposób założony, a powstające fałdy wybojczywe cechowały się regularnością.

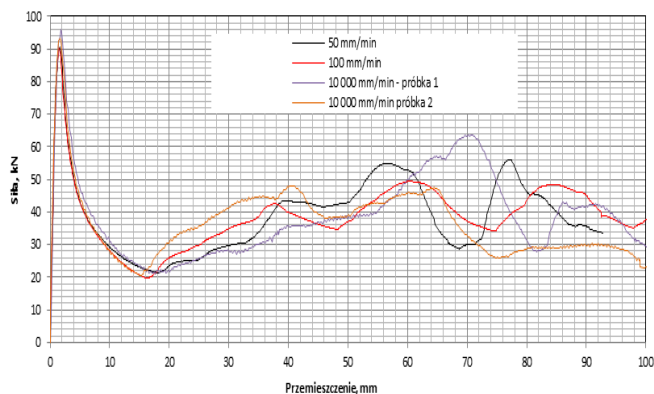
4. I ETAP EKSPERYMENTU.

Pierwszym etapem eksperymentu było ustalenie, czy w zakresie prędkości serwohydraulicznej maszyny wytrzymałościowej Instron 8850 (rys. 1), na jakiej były przeprowadzone badania, można zauważyć wpływ umocnienia się materiału podczas ściskania osiowego.



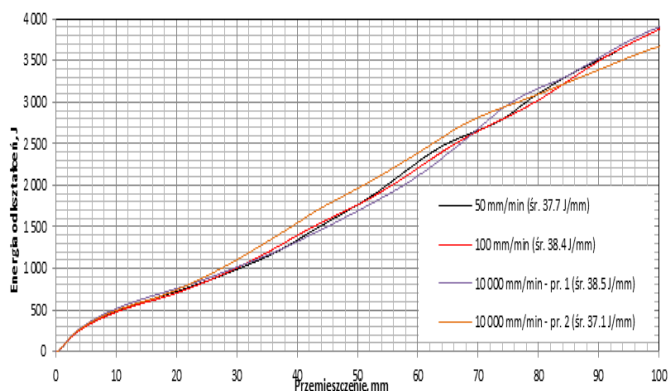
Rys. 1. Stanowisko badawcze do ściskania z modelem przed i po próbie.

W zakresie prędkości odkształceń 50 - 10 000 mm/min nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic wzrostu siły F_{max} powodującej zniszczenie podłużnicy (rys.2, tabela 2).



Rys.2 Charakterystyka siła - przemieszczenie ściskania osiowego podłużnic z różnymi prędkościami

Również w zakresie prędkości odkształceń 50 - 10 000 mm/min, nie obserwuje się istotnych statystycznie różnic zmian energii niszczenia podłużnic (rys. 3, tabela 2).



Rys.3. Praca ściskania w funkcji przemieszczenia tłoka maszyny z różnymi prędkościami

	P_{sr} [kN]	E_c [J]	P_{max} [kN]
50 mm/min	38.83	3600	90.80
100 mm/min	38.72	3880	90.30
10 000 mm/min	38.86	3902	96.10
10 000 mm/min	36.62	3673	93.20
Średnia	38.26	3764	92.60
Odchylenie standardowe	1.09	150	2.65

Tabela 2. Zestawienie parametrów energochłonności badanych ustrojów.

Na podstawie przeprowadzonej prób ściskania modeli wykonanych ze stali DP800, można zauważyć, że dla prędkości odkształceń od 50 mm/min do 10 000 mm/min, nie obserwuje się istotnych statystycznie różnic wzrostu siły P_{sr} , o czym świadczy odchylenie standardowe na poziomie 2.8% wartości średniej, co skłania do oceny otrzymanych wyników, jako statystycznie równych. Otrzymane wyniki 1, 2, 3 obserwacji, podczas ściskania modelu z prędkościami od 50 do 10000 mm/min zawierają się w pojedynczym odchyleniu standardowym. Czwarty wynik P_{sr} z próby, z identyczną prędkością jak przy trzeciej obserwacji, zawiera się w podwójnym odchyleniu standardowym. Wyniki standaryzacji wartości cechy U dla wyników obserwacji 1,2,3 wynoszą kolejno 0.52, 0.42, 0.55, dla wyniku 4 wynosi -1.50. Wyraźnie widoczna jest zbieżność wyników w obserwacjach 1, 2, 3 wskazująca, że pierwotna wartość tych wyników jest około połowę odchylenia standardowego większa od średniej arytmetycznej. Wartości standaryzacji U mniejsze od jeden, czyli takie jak w omawianych trzech przykładach wskazują, że jednostka w takim rozkładzie znajduje się w grupie najbardziej typowej. W przypadku 4 obserwacji, pierwotna wartość tego wyniku jest około półtorej odchylenia standardowego mniejsza od średniej arytmetycznej, co kwalifikuje ją do średnio typowych, przy czym obserwacja 3 i 4 jest dla tej samej prędkości. Oznacza to, że współczynnik zmienności w obrębie pomiarów dla jednej prędkości wynosi 4.1%.

W przypadku parametrów P_{max} , czy energii odkształceń E_c , również nie obserwuje się istotnych zmian wyników obserwacji. W przypadku wartości obserwacji P_{max} , odchylenie standardowe stanowi 2.86% wartości średniej dla E_c stanowi 3.99%. Otrzymane wyniki obserwacji P_{max} 1, 2, 4, zawierają się w pojedynczym odchyleniu standardowym. Trzeci wynik (prędkością 10 000 mm/min) zawiera się w podwójnym odchyleniu standardowym. Wyniki standaryzacji wartości cechy U dla wyników obserwacji 1, 2, 4 wynoszą kolejno -0.68, -0.87, 0.23, dla wyniku 3 wynosi -1.32.

W przypadku wartości obserwacji E_c , otrzymane wyniki obserwacji E_c , 2, 3, 4, zawierają się w pojedynczym odchyleniu standardowym. Pierwszy wynik (prędkość 50 mm/min) zawiera się w podwójnym

odchyleniu standardowym. Wyniki standaryzacji wartości cechy U dla wyników obserwacji 2, 3, 4 wynoszą kolejno 0.77, 0.92, -0.61, a dla wyniku 4 wynosi -1.09.

5. II ETAP EKSPERYMENTU

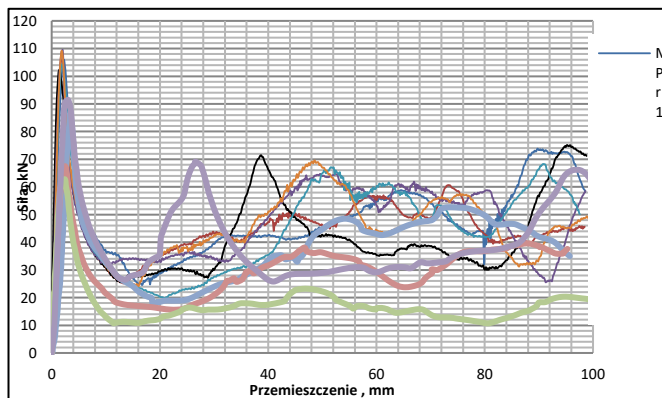
Drugim etapem eksperymentu było sprawdzenie, czy można zaobserwować istotne statystycznie różnice zmian parametrów energochłonności powodujących zniszczenie struktury modelu ściskanego osiowo, w przypadku profilu niespawanego ($MP_{r1,2}$) i profilu, na którym został przeprowadzony proces spawania. Dodatkowo profile spawane zostaną podzielone na dwie grupy, z których pierwsza będzie uwzględniać wykonanie spoiny bez szlifowania jej lica ($MP_{r3,4,5,6}$ -spaw), zaś druga ze szlifowaniem lica spoiny do grubości materiału rodzimego ($MP_{r7,8,9,10}$ -spaw/szlif), jak ma to miejsce podczas napraw pokolizyjnych dla zachowania walorów estetycznych.

Seria pomiarowa składała się łącznie z 10 próbek: dwóch niespawanych i ośmiu spawanych, w tym czterech spawanych i czterech spawanych i szlifowanych (rys. 4). Badanie przeprowadzono z prędkością odkształceń równym 50 mm/min.

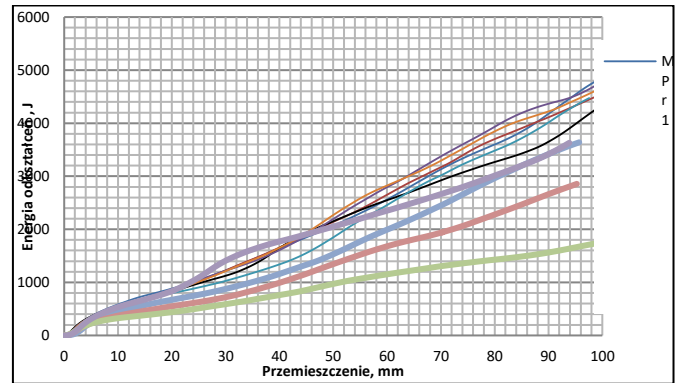


Rys. 4. Stanowisko badawcze do ściskania z modelem niespawanym, spawanym i spawanym z oszlifowanym licem spoiny.

Wyniki oznaczeń przedstawiono na rysunkach 5 i 6 oraz w tabeli 3.



Rys. 5. Charakterystyka siła – przemieszczenie, profilu niespawanego ($MP_{r1,2}$), profilu ze spoiną bez szlifowania jej lica ($MP_{r3,4,5,6}$ -spaw), i szlifowaniem lica spoiny ($MP_{r7,8,9,10}$ -spaw/szlif).



Rys. 6. Charakterystyka praca ściskania – przemieszczenie, profilu niespawanego ($MP_{r1,2}$), profilu ze spoiną bez szlifowania jej lica ($MP_{r3,4,5,6}$ -spaw) i szlifowaniem lica spoiny ($MP_{r7,8,9,10}$ -spaw/szlif).

	P_{sr} [kN]	E_c [J]	P_{max} [kN]
profil niespawany MP_{r1}	48.47	4778	106.0
profil niespawany MP_{r2}	45.56	4486	106.3
profil spawany MP_{r3} -spaw	43.16	4268	102.3
profil spawany MP_{r4} -spaw	47.69	4708	109.5
profil spawany MP_{r5} -spaw	45.84	4473	104.3
profil spawany MP_{r6} -spaw	46.73	4626	109.2
profil spawany MP_{r7} -spaw/szlif	37.62	3638	86.9
profil spawany MP_{r8} -spaw/szlif	29.98	2856	67.5
profil spawany MP_{r9} -spaw/szlif	17.59	1763	62.8
profil spawany MP_{r10} -spaw/szlif	40.28	4028	91.5

Tabela 3. Zestawienie parametrów energochłonności badanych ustrojów z analizą statystyczną.

Do omówienia powyższych wyników wykorzystana została metoda statystyczna dla prób powiązanych. Tak istotna powtarzalność wyników pomiarów obserwacji dla modeli nienaprawianych skłoniła do zastosowania tej metody zakładając, że znana jest wartość cechy badanych modeli przed i po poddaniu ich procesowi spawania, co pozwoliło określić wpływ tego procesu na poziom wartości cechy. Wartość cechy X_1 ustalono na podstawie średniej arytmetycznej obserwacji z próby. Hipoteza zerowa zakładała, że po dokonanych zmianach (spawaniu) wartość parametrów energochłonności pozostała na podobnym poziomie, przy hipotezie alternatywnej, że parametry energochłonne zmniejszyły się po przeprowadzeniu tych procesów.

Jako pierwszy poddano analizie parametr P_{sr} dla próbek profili niespawanych MP_r i profili spawanych $MP_{r3,4,5,6}$ -spaw. Przyjęto i obliczono: $\alpha=0.05$; $2\alpha=0.1$; $\bar{r}_{\text{sr}}=1.16$; $s_{\text{R}}=1.949$; statystyka $t=1.189$. Z tablicy t-Studenta z 3 stopniami swobody odczytano dla $2\alpha=0.1$ wartość $t_{0,1; 3} = 2.353$, czyli obszar krytyczny tworzy przy prawostronnej hipotezie alternatywnej przedział $(2.353; \infty)$. Wartość obliczona statystyki t wynosi 1.189 i nie należy do obszaru krytycznego, w związku z czym hipoteza zerowa nie zostaje odrzucona, wskazując tym samym, że nie zmniejszyły się istotnie wyniki obserwacji z prób po zastosowaniu procesu spawania.

Następnie został poddany analizie parametr P_{sr} dla próbek profili niespawanych MP_r i profili spawanych $MP_{r7,8,9,10}$ -spaw/szlif. Przyjęto i obliczono: $\alpha=0.05$; $2\alpha=0.1$; $\bar{r}_{\text{sr}}=15.65$; $s_{\text{R}}=10.171$; statystyka $t=3.072$. Z tablicy t-Studenta z 3 stopniami swobody odczytano dla $2\alpha=0.1$ wartość $t_{0,1; 3} = 2.353$, czyli obszar krytyczny tworzy przy

prawostronnej hipotezie alternatywnej przedział $(2.353; \infty)$. Wartość obliczona statystyki t wynosi 3,072 i należy do obszaru krytycznego, w związku z czym hipoteza zerowa zostaje odrzucona, wskazując tym samym, że zmniejszyły się istotnie wyniki obserwacji z prób po zastosowaniu procesu spawania ze szlifowaniem lica spoiny do grubości materiału rodzimego.

Poddano analizie parametr energii odkształceń E_c . Analogicznie jak poprzednio poddano analizie wyniki obserwacji cechy dla spoiny bez szlifowania i ze szlifowaniem. Dla pierwszego rozwiązania $\bar{r}_{sr} = 113.25$; $s_R = 193.47$; statystyka $t = 1.17$ nie należy do obszaru krytycznego, w związku z czym hipoteza zerowa nie zostaje odrzucona. Dla drugiego rozwiązania $\bar{r}_{sr} = 1560$; $s_R = 999$; statystyka $t = 3.12$ należy do obszaru krytycznego, w związku z czym hipoteza zerowa zostaje odrzucona.

Ostatnim analizowanym parametrem był P_{max} i jak poprzednio zbadano spoinę bez szlifowania i ze szlifowaniem lica spoiny. Dla pierwszego rozwiązania $\bar{r}_{sr} = -0.2$; $s_R = 3.58$; statystyka $t = -0.11$ nie należy do obszaru krytycznego, w związku z czym hipoteza zerowa nie zostaje odrzucona. Dla drugiego rozwiązania $\bar{r}_{sr} = 28.92$; $s_R = 14.12$; statystyka $t = 4.09$ należy do obszaru krytycznego, w związku z czym hipoteza zerowa zostaje odrzucona.

PODSUMOWANIE.

Wyniki badań empirycznych wskazują na znaczący wpływ procesu szlifowania spoiny na nośność badanego ustroju, a dokładniej wpływ przekroju poprzecznego. Dlatego założenie, cytując Timoshenko, że: zniszczenie następuje w wyniku przekroczenia granicy plastyczności materiału w najsłabszym przekroju poprzecznym [6], oznacza, że lokalna utrata stateczności występuje w miejscu imperfekcji, w rezultacie czego powstaje pierwsza fala plastyczna, należałoby uzupełnić. Dla badanego przypadku, w którym prócz różnic wytrzymałości w pasmach poprzecznych ustroju, występują także różnice wielkości jego przekroju i dla czystego ściskania badanego ustroju jego zmiana postaciowa, nastąpi w chwili, gdy naprężenia występujące w ściskanym przekroju poprzecznym przekroczą wartość naprężeń plastycznych w rzeczywistej szerokości efektywnej. Obciążenie graniczne, powyżej którego następuje zmiana postaciowa ściskanej płyty, nie zależy od jej szerokości, a jest proporcjonalne do kwadratu jej grubości, przy założeniu że brzegi płyty pozostają proste [6].

BIBLIOGRAFIA

1. Krajewski S., Nowacki J., Dual-phase steels microstructure and properties consideration based on artificial intelligence techniques, Archives of Civil and Mechanical Engineering (ISSN: 1644-9665, Tom: 14, Zeszyt: 2, Strony: 278-286)
2. White M.D., Jones N., Experimental quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat thinwalled sections, International Journal of Mechanical Sciences, 1999, 41, 179-202 praca zbiorowa: *Słownik Fizyczny*, Wyd. „Wiedza Powszechna”, Warszawa 1996
3. Kopczyński A., Rusiński I.: Bezpieczeństwo bierne. Pochłanianie energii przez profile cienkościenne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2010.
4. Kaczyński P. Rusiński I.: Ocena wytrzymałości połączeń punktowych w cienkościennych strukturach energochłonnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014.
5. Hung Anh LY, Thinh THAI-QUANG. Numerical Investigation of Circular and Square Tubes subjected to Low Velocity Impact Load., International Journal of Mechanical Engineering and Applications. Vol.3, No. 1-3, 2015, pp. 54-62.
6. Timoshenko S.P., Gere J.M.: Teoria stateczności sprężystej. Arkady, Warszawa 1963

Influence of technological processes of post-accident repairs of energy-intensive of the body on their strength parameters

The article discusses the influence of technological processes which is used in the case of partial replacement of energy-absorbing structures of the vehicle body to which the front longitudinal member of the vehicle belongs. The results of research on the strength of this type of structure including the welding processes and compared with the model have been presented.

Autorzy:

mgr inż. **Dominik Gałdyński** - Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych, dominik.galdynski@zut.edu.pl

dr inż. **Konrad Kwiatkowski** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, konrad.kwiatkowski@zut.edu.pl