

NIEKONWENCJONALNA TECHNOLOGIA ŁĄCZENIA ELEMENTÓW KAROSERII SAMOCHODÓW – ŁĄCZENIE NITEM SAMOWYKRAWAJĄCYM

JACEK MUCHA¹, EMIL SPIŠÁK², LUBOŠ KAŠČÁK²

¹ Politechnika Rzeszowska

² Technical University in Košice, Slovakia

Streszczenie

Praca w zarysie przedstawia technologię łączenia przez nitowanie bezotworowe za pomocą nita samowykrawającego. Opisano w niej możliwości łączenia nitem specjalnym oraz uniwersalnym. Specjalny stosowany jest dla konkretnej grubości łączonych warstw materiału, natomiast wielozadaniowy umożliwia łączenie w obrębie jednego wyrobu jednym nitem różnych grubości scalanych warstw. Łączenie nitem samowykrawającym umożliwia spajanie materiałów o zróżnicowanych właściwościach mechanicznych, zarówno słabo umacniających się jak też z dużym umocnieniem materiału. Łącznik w postaci nita nie jest zakuwany, lecz wciskany w łączone materiały, a następnie odpowiednio zablokowany w łączonych elementach. Przedstawiono charakterystyki siłowe uzyskane dla złączy poddanych próbie ścinania, wykonanych za pomocą nita samowykrawającego specjalnego i uniwersalnego. Wytrzymałość ich uzależniona jest przede wszystkim od właściwości mechanicznych scalanych elementów. W przypadku łączenia blach nitem podstawowym oraz uniwersalnym uzyskano energochłonność procesu montażu na podobnym poziomie w obu przypadkach. Zanołowano natomiast zróżnicowaną wielkość absorpcji energii odkształcenia podczas testu wytrzymałościowego. Ponadto w opracowaniu zaprezentowano kilka wybranych praktycznych implementacji tej technologii w procesie montażu elementów z blach w przemyśle motoryzacyjnym.

Słowa kluczowe: łączenie, wytrzymałość połączenia, Solid SPR, montaż, nadwozie samochodowe

1. Wstęp

Rozwój technologii montażu opartych o przeróbkę plastyczną powiększa spektrum gatunków materiałów, jakie można łączyć ze sobą bez wprowadzania procesów cieplnych i konieczności wykonywania wcześniej otworów [1, 2, 3, 4].

Prowadzone są badania nad możliwością łączenia za pomocą „clinchingu” wysokowytrzymałych blach stalowych, stosowanych w przemyśle samochodowym [2, 5, 6, 7, 8]. W wyniku ograniczonych możliwości łączenia za pomocą technologii połączeń przetłoczeniowych niektórych gatunków materiałów poszukuje się nowych możliwości ich łączenia np. za pomocą technologii złączy przetłoczeniowych z podgrzewaniem łączonego materiału [9].

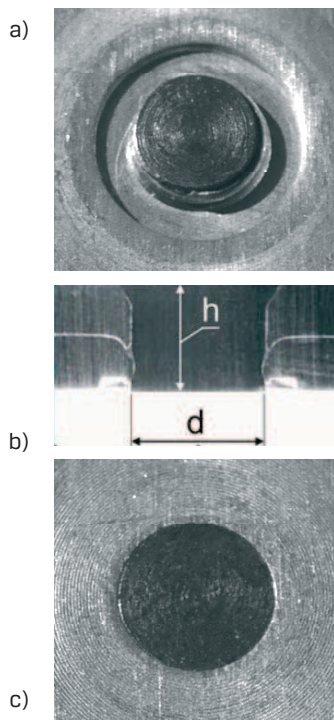
Postęp technologiczny w przemyśle, mający na celu obniżenie kosztów produkcji, zapewnienie jakości i niezawodności wytwarzanych wyrobów przy jednoczesnym skróceniu czasu wytwarzania, doprowadził do powstania nowej technologii łączenia mechanicznego pod naciskiem – nitowanie bezotworowe [10, 11].

Obecnie intensywnie rozwijane są poszukiwania nowych rozwiązań technologii montażu eliminujących np. przetłoczenie materiału w postaci wypływki.

Wypływka materiału jest efektem formowania złącza przetłoczeniowego, uzyskiwana w przypadku złączy: zaciskanych przez wytłaczanie („clinchng”), nitowanych bezotworowo z użyciem nita rurkowego (Self-Piercing Rivet, „SPR”) oraz zaciskanych przez wytłaczanie z dodatkowym pełnym nitem (ClinchRivet, „CR”)[12].

Jedną z niedawno powstałych i dobrze już opracowanych do zastosowań przemysłowych jest nitowanie bezotworowe za pomocą nita samowykrawającego (SolidSPR) [13].

W przypadku łączenia przy użyciu nita samowykrawającego możliwe jest połączenie dwóch lub więcej warstw materiału o niskiej plastyczności oraz uzyskanie z obu stron płaskiej powierzchni, bez wystającej wypływki (rys. 1c).



Rys. 1. Połączenie blach aluminiowych wykonane w technologii nitowania bezotworowego typu SolidRivet: a) widok od strony podparcia (kontaktu z matrycą) , b) przekrój złącza, c) widok od strony łba nita samowykrawającego.

Jednakże wykorzystanie technologii nitowania bezotworowego dla wyrobu o określonym kształcie podyktowane jest możliwością jej adaptacji tak, by zapewniony był dostęp dla narzędzi gwarantujący odpowiednią sztywność podparcia narzędzia, oraz jego wyprowadzanie po wykonaniu operacji. Może być stosowana w elementach konstrukcji otwartej. Wyjątkiem jest tu połączenie wykonane za pomocą wstrzeliwania łącznika [14, 15], bądź przebijane tarciowo [16]. W przypadku tych ostatnich sposobów łączenia występuje duża nierówność złącza po stronie wyjścia łącznika ze scalonych elementów.

2. Charakterystyka technologii łączenia

2.1. Łącznik i narzędzia

Łącznik w postaci nita nie jest zakuwany, lecz wciskany w łączone materiały, a następnie odpowiednio zablokowany w łączonych elementach.

Po przebiciu się przez elementy konstrukcyjne zachowuje on swój pierwotny kształt, nie dochodzi do jego deformacji. Stąd jego specyficzna budowa oraz wymagania wytrzymałościowe, tzn. trzon nita jest niewiele mniejszy od średnicy głowy (zachowana jest odpowiednia jego sztywność oraz porównywalna wartość maksymalnych nacisków z obu stron nita). Materiał, z którego został wykonany, musi charakteryzować się wyższą granicą plastyczności niż materiał łączonych blach. Łącznik może być wykonany ze stali, stopu aluminium, stali nierdzewnej lub też ceramiki technicznej.

Samowykrawający nit, ze względu na wymagania, jakie ma spełniać może występować w wersji podstawowej oraz wielozadaniowej. Budowa łącznika jest nieco inna od nitu tradycyjnego, składa się on z: głowy, trzonu, pojedynczej bruzdy na obwodzie lub kilku oraz krawędzi tnącej (rys. 2a). Długość nita wynika z największej łącznej grubości materiałów. Jeżeli łączna grubość scalanych blach się zmniejsza, to nit wystaje w obszarze swojej części tnącej. Łącznik w podstawowej odmianie umożliwia łączenie tylko określonej łącznej grubości blach, natomiast nit wielozadaniowy może być wykorzystany zasadniczo do łączenia w konstrukcji o zmiennej grubości materiału.

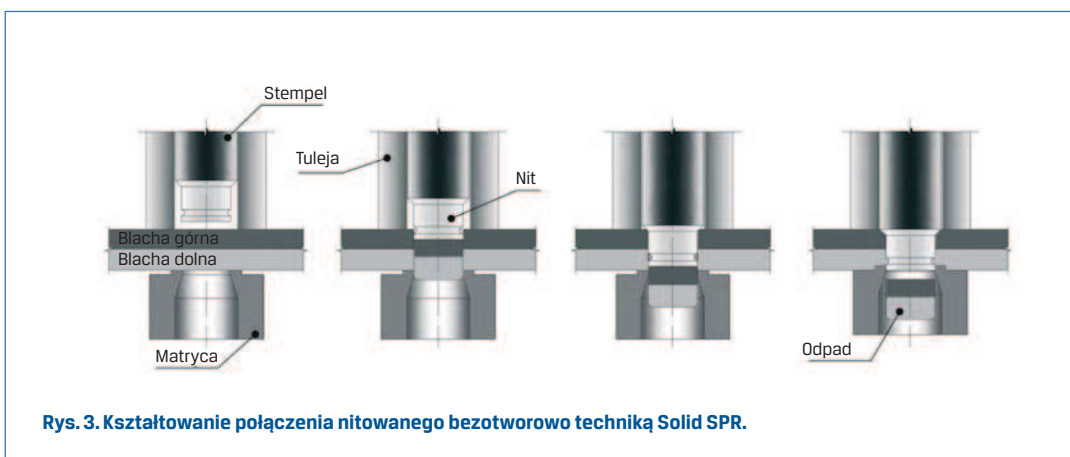


Rys. 2. Wygląd podstawowych nitów oraz narzędzi stosowanych do wykonywania połączeń typu Solid SPR:
a) nity (1 - nit specjalny, 2 - nit uniwersalny), b i c) narzędzia (matryca i stempel).

Łączenie elementów przeprowadza się za pomocą narzędzi o stosunkowo prostej budowie tj. stempla prowadzonego (rys. 2c) w tulei (która spełnia zarazem rolę dociskacza) oraz matrycy z odpowiednią granią (rys. 2b).

2.2. Przebieg procesu łączenia

Podczas wykonywania połączenia nitowego „Solid SPR” (rys. 3) nit stanowi niejako stempel tnący. W wyniku nacisku stempla właściwego na głowę nita wykrawany jest otwór w łączonych blachach (faza 1, 2, 3).

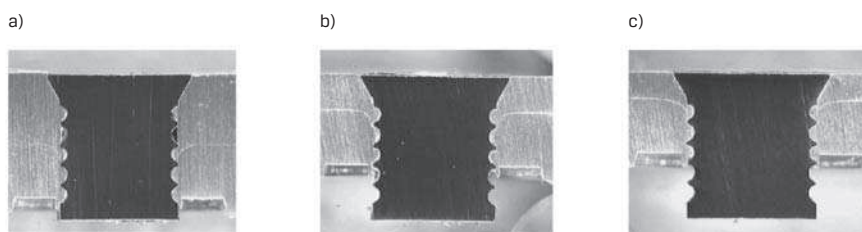


Pozostały odpad w postaci wykrojki zostaje odprowadzony otworem wykonanym w matrycy dolnej, która nie posiada płaskiej powierzchni tnącej. Charakteryzuje się ona odsadzeniem otworu, gdzie krawędź wewnętrzna stanowi część tnącą. W fazie końcowej (faza 4) następuje ściśnięcie łączonych blach tak, że materiał dolnej blachy wypełnia rowek na obwodzie nita. Powoduje to ostateczne jego unieruchomienie i wykonanie połączenia. Dodatkowy ruch może być nadany matrycy dolnej lub dociskaczowi wraz ze stemplem.

2.3. Walory użytkowe technologii

Za pomocą tej technologii (nitowanie bezotworowe nitami samowykrawającym) można łączyć takie materiały jak: stal, aluminium, stal szlachetna. Możliwe jest także łączenie materiałów powlekanych, a także lakierowanych. Technologia ta pozwala połączyć ze sobą więcej niż dwie blachy i to o różnych grubościach (rys. 4).

W przypadku montażu w obrębie jednego wyrobu mogą wystąpić różnice w całkowitej grubości łączonych blach. W takim przypadku uniwersalny nit spełnia efektywnie swoją rolę.



Rys. 4. Złącze wykonane przy użyciu uniwersalnego nita dla różnych grubości łączonych blach:
a) 2 mm + 2 mm, b) 1.15 mm + 2 mm, c) 0.8 mm + 2 mm.

W przypadku technik połączeń przetłoczeniowych może dochodzić do niekorzystnego zjawiska pęknięcia materiału, co jest efektem ubocznym i niepożądanym [2]. Wówczas możliwe jest zastosowanie innej techniki łączenia np. za pomocą nita samowykrawającego. Łączenie specjalnym nitami może z powodzeniem odbywać się dla materiałów zarówno twardych, jak i miękkich dla różnych układów własności łączonych warstw (rys. 5a, b).



Rys. 5. Kombinacja połączenia blach aluminiowych oraz stalowej i aluminiowej: a) EN AW-6181A ($g_1 = 1.5$ mm)/EN AW-5754 ($g_2 = 2.5$ mm), b) EN 10130 (2.0 mm)/EN AW-5754 ($g_2 = 2.0$ mm).

3. Wytrzymałość połączeń

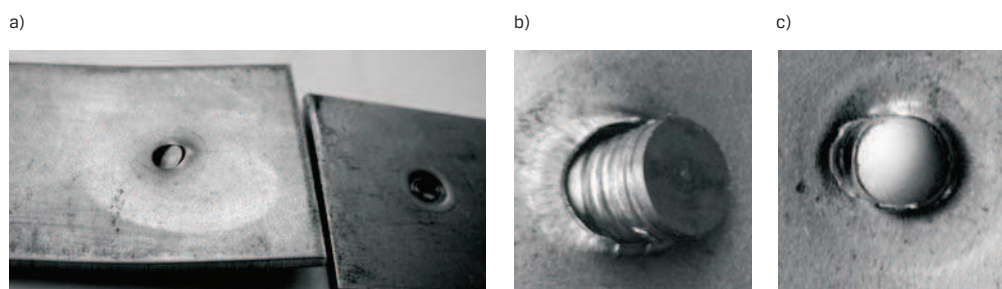
3.1. Złącze z nitami specjalnymi a uniwersalnymi

W przypadku testu ścinania złącza z nitami samowykrawającymi obserwuje się nieznaczne odchylenie blachy, w której zakotwiczony jest łeb łącznika (rys. 6). Zjawisko to występuje zarówno w przypadku złącza z nitami specjalnymi, jak też i uniwersalnymi. Od strony kontaktu powierzchni stożkowej łba nita z blachą w wyniku obciążania złącza powstaje jednostronnie dodatkowy moment zginający blachę.

W wyniku oddziaływania przez szczęki uchwytu maszyny wytrzymałościowej na blachy wymusza się odkształcanie miejsca scalenia blach. W związku z tym, że materiał blach posiada niższe własności wytrzymałościowe od nita to w wyniku obciążania złącza następuje jej odkształcanie się, aż do momentu całkowitego rozdzielenia (rys. 7).



Rys. 6. Połączenie wykonane w technologii „Solid SPR” podczas próby ścinania.

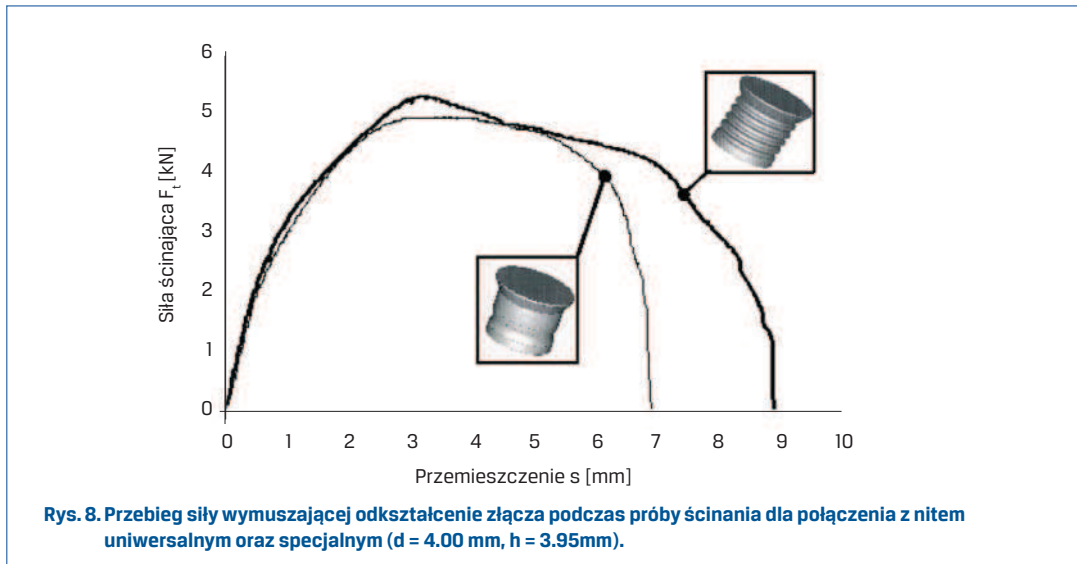


Rys. 7. Deformacja elementów złącza: a) rozdzielone blachy, b), c) miejsca scalenia po teście ścinania.

W zależności od wariantu wykonania nita (specjalny lub uniwersalny) uzyskuje się różne charakterystyki przebiegu odpowiedzi siłowej złącza na jego obciążanie (rys. 8). W przypadku zastosowania nita wielozadaniowego zaobserwowano wzrost maksymalnej siły ścinającej złącze (rys. 8), o 7.4 % w stosunku do złącza z nitem specjalnym. Zwiększenie się maksymalnej siły z 4.87 kN do 5.23 kN spowodowane jest tym, że konieczne jest ścięcie większej liczby wypustek materiału blach.

Do całkowitego zniszczenia (rozdzielenia blach) złącza z nitem uniwersalnym wymagana jest większa praca odkształcenia niż w przypadku zastosowania nita specjalnego. Złącza te różnie absorbują energię odkształcenia, co można zaobserwować na wykresie (rys. 8) w postaci różnych pól powierzchni zawartych pod krzywymi przebiegu siły w funkcji przemieszczenia wymuszającego odkształcenie.

Wykonanie złączy blach o grubości 2 mm z materiału DC01 (stali niskowęglowej do obróbki plastycznej na zimno [17]) wymagała jednakowej całkowitej siły w obu przypadkach: 32 kN (wykrawania) + 2.5 kN (docisku). Tak więc energochłonność samego procesu wykonania złączy była jednakowa, a otrzymano zróżnicowaną wartość absorpcji energii odkształcenia tych połączeń.

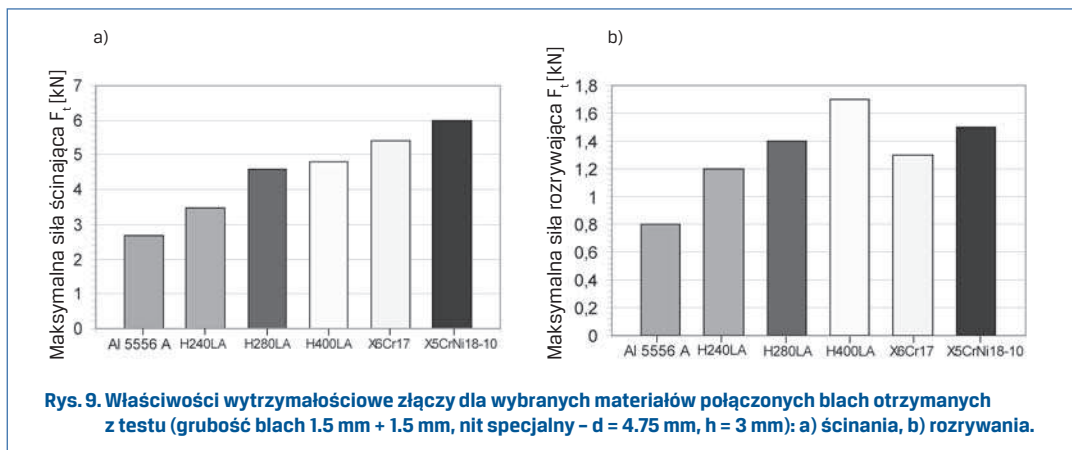


3.2. Wytrzymałość na ścinanie i rozrywanie

Łączenie nitami samowykrawającymi umożliwia spajanie materiałów o zróżnicowanych właściwościach mechanicznych (tab. 1), zarówno słabo umacniających się jak też z dużym umocnieniem materiału. W zależności od rodzaju łączonych materiałów uzyskuje się określone parametry wytrzymałościowe złącza otrzymane w teście na ścinanie i rozrywanie połączenia (rys. 9) [13]. Spośród przedstawionych materiałów największy udział wytrzymałości na rozrywanie w stosunku do wytrzymałości na ścinanie posiada złącze blach z materiału H400LA (35% udział), najmniejszy zaś dla materiału X6Cr17 (24% udział). Zatem i dla tego typu złączy usytuowanie ich w konstrukcji powinno umożliwiać przenoszenie obciążeń ścinających w największym stopniu.

Tabela 1. Wybrane właściwości mechaniczne blach złącza nitowego.

Parametr	Materiał					
	Al 5556 A EN 18273	H240LA EN 10268	H280LA EN 10268	H400LA EN 10268	X6Cr17 EN 10088	X5CrNi18-10 EN 10088
$R_{p0.2}$ [MPa]	125	305	320	430	260	230
R_m [MPa]	270	340	370	460	490	620
A_{80} [%]	24	28	24	18	20	55



W wyniku połączenia blach z różnych materiałów o jednakowej grubości, tj. 1.5 mm + 1.5 mm, tym samym nitem uzyskuje się zróżnicowaną wytrzymałość połączenia i jest ona tym wyższa im wyższa jest granica wytrzymałości łączonego materiału (tabela 1). W grupie materiału blachy ze stali mikrostopowej o podwyższonej granicy plastyczności [18] tendencja ta jest dobrze widoczna na wykresach słupkowych – rys. 9a, b.

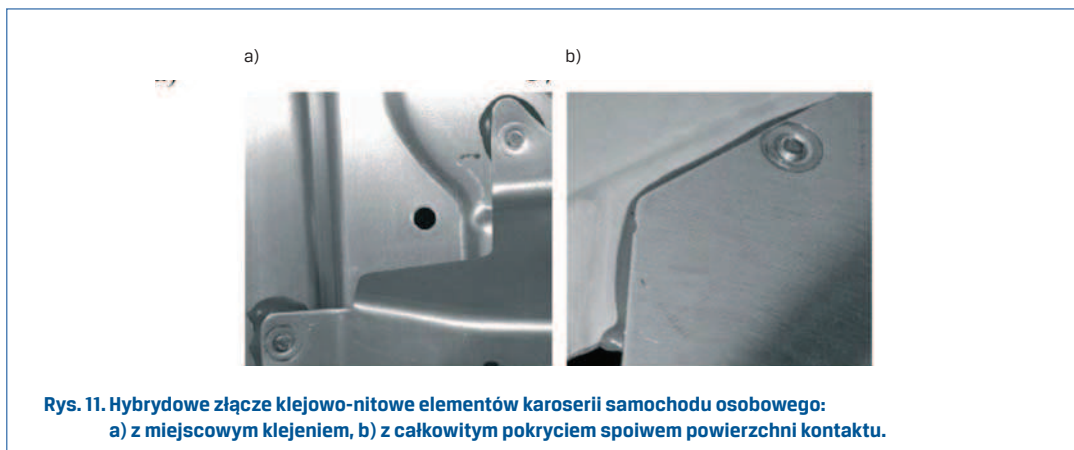
4. Przykłady zastosowań

Scalanie elementów konstrukcji w procesie montażowym wyrobu za pomocą nita samowykrawającego może być traktowane jako dodatkowe miejscowe usztywnienie wyrobu np. w przypadku łączenia cienkich blach stalowych (rys. 10).

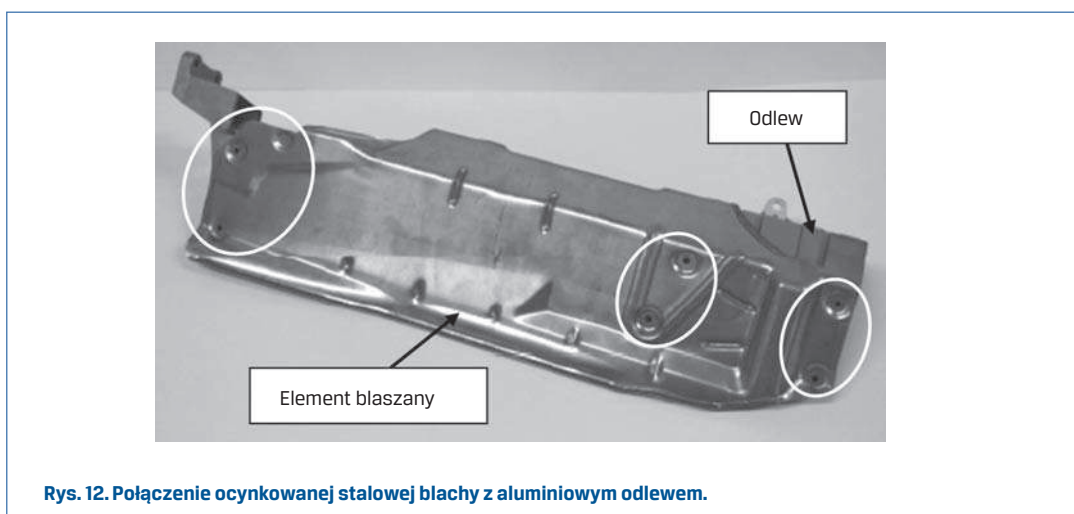
Niekiedy konstruktorzy elementów nadwozi wymagają wykonywania połączenia blach z pośrednią warstwą tłumiącą drgania lub uszczelniającą. Często wytrzymałość połączenia blach samym nitem nie jest wystarczająca. W takim przypadku łączenie elementów blaszanych wspomaga się klejeniem (połączenia hybrydowe). Specjalne masy lub klej mogą być dozowane miejscowo (rys. 11a) lub na całej powierzchni kontaktu łączonych elementów (rys. 11b). W takim przypadku nit pełni rolę miejscowego scalenia oraz stabilizatora utrzymującego w określonym położeniu klejone blachy, aż do uzyskania pełnej wytrzymałości przez spoiwo.



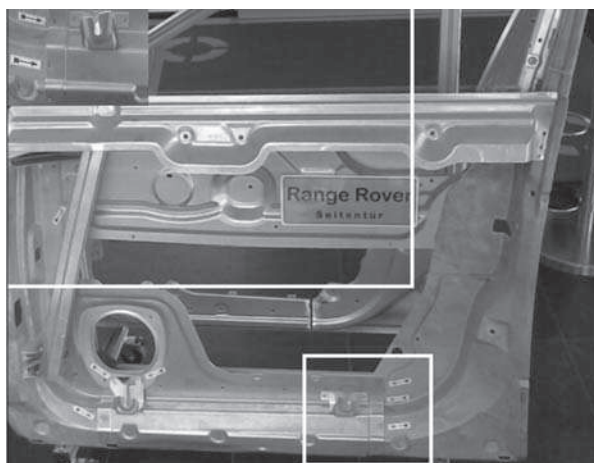
Rys. 10. Wzmacniająca poprzeczka przedziału silnika sportowego samochodu z nierdzewnej blachy stalowej (0H18N9).



Poprzez odpowiedni dobór materiału na nit używany w technologii „SolidSPR” możliwe jest łączenie konstrukcji blaszanych z ciśnieniowym odlewem cienkościennym (rys. 12). Należy pamiętać, by grubość elementu oraz własności mechaniczne jego materiału od strony matrycy pozwalały na wymuszone końcowym dociskiem przez grań matrycy wypełnienie rowka w łączniku.



Odpowiedni dobór geometrii nita wielozadaniowego, tj. jego długości, umożliwia łączenie warstw materiału o zróżnicowanej grubości (rys. 13). Gdy grubość elementów się zmniejsza, wówczas nit wystaje w obszarze swojej części tnącej ponad powierzchnię zewnętrzną blachy. Długość nita wynika z największej łącznej grubości materiałów. Po przebiciu się przez elementy konstrukcyjne łącznik w każdym przypadku grubości zachowuje swój pierwotny kształt tak, że nie dochodzi do jego deformacji.



Rys. 13. Zmontowane aluminiowe drzwi przy użyciu nita samowykrawającego.

5. Podsumowanie

Technologia łączenia "Solid SPR" za pomocą nita samowykrawającego wzbogaca paletę możliwości tworzenia węzłów konstrukcyjnych w elementach z blach, a nawet cienkościennych odlewach. Wykonanie złącza nitowego w połączeniu z klejeniem czy masą uszczelniającą za pomocą nita samowykrawającego nie nastęrcza żadnych kłopotów. Natomiast w przypadku zgrzewania jest to utrudnione, a wręcz niemożliwe. W odróżnieniu od np. zgrzewania posiada podstawową wadę, mianowicie zwiększa nieco masę pojazdu samochodowego.

Nitowanie typu „SolidSPR” umożliwia połączenie elementów o kombinacji zarówno z tworzyw stalowych i sztucznych, jak i materiałów kruchych.

Wytrzymałość tych połączeń uzależniona jest przede wszystkim od własności mechanicznych scalanych elementów.

W przypadku łączenia blach nitem podstawowym i uniwersalnym uzyskuje się energochłonność procesu montażu na podobnym poziomie w obu przypadkach. Otrzymuje się natomiast zróżnicowaną wielkość absorpcji energii odkształcenia podczas testu wytrzymałościowego tych połączeń.

Literatura

- [1] NONG, N., KEJU, O., YU Z., ZHIYUAN Q., CHANGCHENG, T., FEIPENG, L.: *Research on press joining technology for automotive metallic sheets*. Journal of Materials Processing Technology, vol. 137, nr 1-3, ss. 159-163, 2003.
- [2] KAŠČÁK, L., SPIŠÁK E., MUCHA, J.: *Joining of steel sheets for automotive industry using press joining method*. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej seria Mechanika z. 80, ss. 121-126, 2010.
- [3] MUCHA, J., KAŠČÁK L., SPIŠÁK, E.: *Analiza wytrzymałości złączy przetłoczeniowych blach stalowych, stosowanych na elementy nadwozi pojazdów samochodowych*. Archiwum Motoryzacji, nr. 3, ss. 185-196, 2010.
- [4] MUCHA, J., BARTCZAK, B.: *Thoughts on the effective modeling of the process of joining thin sheets using the clinching method*. Obróbka Plastyczna Metali, t. XXI, nr 2, ss. 105-117, 2010.
- [5] MUCHA, J.: *The characteristics of H320LA steel sheet clinching joints*. Advances in Manufacturing Science and Technology, vol. 34, nr. 4, ss. 47-61, 2010.
- [6] VARIS, J. P.: *The suitability of round clinching tools for high strength structural steel*. Thin-Walled Structures, vol. 40, nr 3, ss. 225-238, 2002.
- [7] LEE, C. J., KIM, J. Y., LEE, S. K., D. C. KO, KIM, B. M.: *Parametric study on mechanical clinching process for joining of aluminium alloy and high strength steel sheets.*, Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 24, nr 1, ss. 123-126, 2010.
- [8] ABE, Y., MATSUDA, A., KATO, T., and MORI K.: *Plastic joining of aluminium alloy and high strength steel sheets by mechanical clinching*. Steel Research International, vol. 79, nr 1, ss. 649-656, 2008.
- [9] NEUGEBAUER, R., KRAUS, C., DIETRICH, S.: *Advances in mechanical joining of magnesium*. CIRP Annals – Manufacturing Technology, vol. 57, nr. 1, ss. 283-286, 2008.
- [10] MUCHA, J.: *Rozwój technik wytwarzania złączy nitowych - nitowanie bezotworowe*. Mechanik, nr 5-6, ss. 454-460, 2007.
- [11] MUCHA, J.: *Analiza wybranych cech użytkowych połączeń nitowanych bezotworowo*. Technologia i Automaty-zacja Montażu, z. 1, ss. 10-12, 2008.