

NON-STANDARD CAR BODY ELEMENT JOINING PROCESS WITH SOLID SELF-PIERCING RIVET

JACEK MUCHA*, EMIL SPIŠÁK **, LUBOŠ KAŠČÁK **

* Rzeszow University of Technology

** Technical University in Košice, Slovakia

Summary

This paper outlines the riveting process using the piercing rivet. The possibilities of special and multipurpose rivet joining have been described. The special rivet is used for a specified thickness of material joined, and the universal rivet is used to join several material layers of various thickness. The piercing rivet enables joining the materials of different mechanical properties, featuring both high and low material strain hardening. The fastener is not being clinched, but interfered into materials being joined, and then properly locked in them. There have been presented the force characteristics, achieved for shear tested joints made up of special and universal piercing rivet. The joint strength depends significantly on mechanical properties of joined elements. When joining the sheets using standard and universal rivet, the energy consumption of the process has been similar in both cases. However, the different deformation energy absorption value has been observed during the strength test of these joints. Moreover, several selected real life implementations (automotive industry, steel plate joining) of this process have been presented in this paper.

Keywords: joining, strength of a joint, Solid SPR, assembly, motor-car body

1. Introduction

Current development of assembly technology based on the plastic processing extends the variety of material types, which can be joined together without thermal processing and predrilling [1, 2, 3, 4].

The capability of clinching of highly durable steel sheets, which are currently used in an automotive industry [5, 6, 7, 8], is being examined. Due to limited joining capabilities of redrawing joints for some material types, new joining methods for these materials are being researched, e.g. clinching joining along with heating of the material being joined [9].

The process development in the industry domain, which aims in reducing production costs, providing with high quality and reliability of manufactured goods along with reducing time

to manufacture, enabled the new mechanical joining technology under pressure – self-pierce riveting [10, 11].

Nowadays, new technology solutions are extensively sought, e.g. by redrawing the material in form of flash.

The flash is the result of redrawing joint forming and is achieved for the following joints: "clinching", self-pierce riveting with a self-piercing rivet (SPR) and clinched by oppressing with an additional solid rivet (ClinchRivet, "CR") [12].

One of recently invented and well developed methods for industrial purposes is a self-pierce riveting using the solid rivet (SolidSPR) [13].

When joining with the piercing rivet it is possible to join two or more material layers of low plasticity and achieving the plane surface on both sided without protruding flash (Fig. 1c).

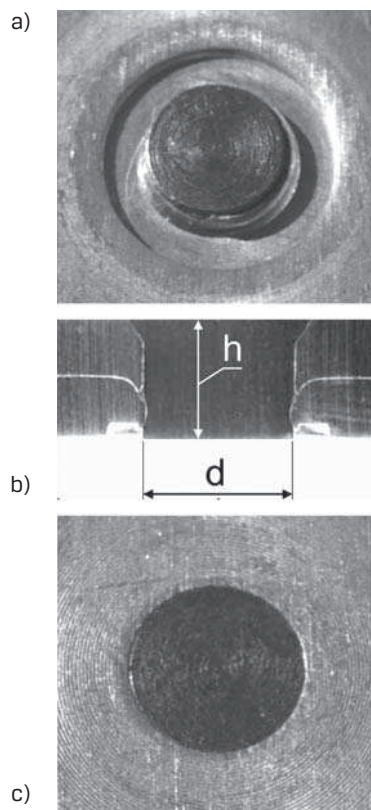


Fig. 1. Aluminum sheet plate joint using the SolidRivet self-pierce riveting: a) support side (die contact side) view, b) joint cross section, c) rivet head view.

However, the use of self-pierce riveting technology for a product of specified shape is justified by the capability of its adaptation that the tool access is guaranteed to achieve the tool adequate support rigidity and its retraction after the process. This technology may be used in the open design components. The exception is the joint made by driving the fastener [14, 15] or pierced frictionally [16]. The joining methods mentioned in the end feature high joint unevenness on the side where the fastener exits the elements being joined.

2. Joining technology characteristics

2.1. The fastener and tools

The fastener (rivet) is not being clinched, but interfered into materials being joined, and then properly locked in them.

Once pierced through the materials, the fastener preserves its original form and is not deformed. This determines its specific construction and strength requirements, i.e. the rivet stem diameter is almost the same as the head diameter (the rigidity is preserved and comparable pressure value on both sides of the rivet). The rivet material must feature a higher yield stress than the material being joined. The fastener may be made of steel, aluminum alloy, stainless steel or technical ceramics.

Due to requirements to be satisfied, the piercing rivet may be used in the standard and universal version. This fastener's design differs from the conventional rivet, and includes: the head, stem, single or some notches on its perimeter and the cutting edge (Fig. 2a). The rivet length is determined by the highest total material thickness. If total thickness of joined sheets lowers, the rivet protrudes in its cutting edge zone. The conventional version of the fastener enables joining only specified total sheet thickness, whereas the universal rivet may be generally used to join materials of different thickness.

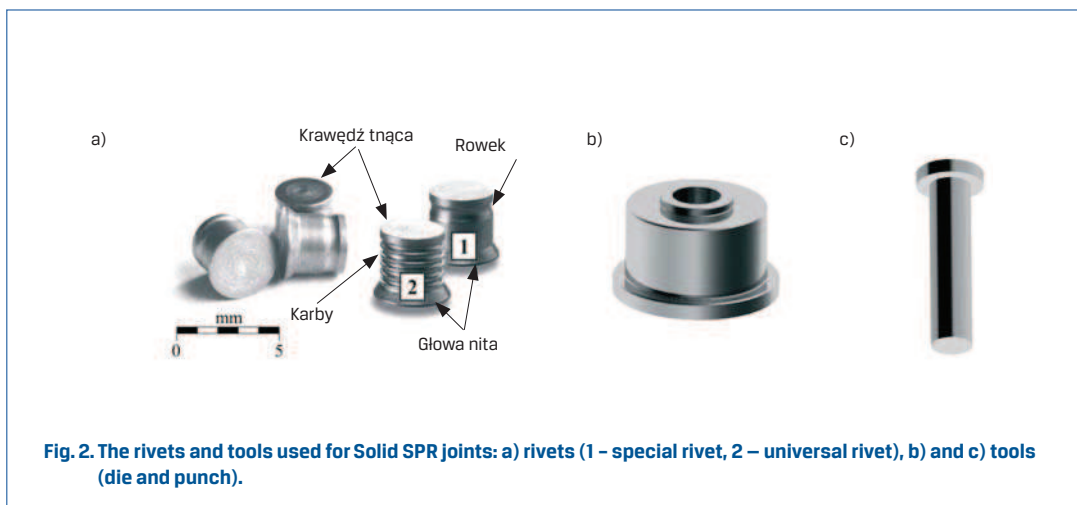


Fig. 2. The rivets and tools used for Solid SPR joints: a) rivets (1 - special rivet, 2 - universal rivet), b) and c) tools (die and punch).

Joining is made using tools of relatively simple design, i.e. the punch (Fig. 2c), which is guided inside the bushing (which acts also as a clamping device) and the die with a specified edge (Fig. 2b).

2.2. Joining process overview

When making the riveting joint forming using the Solid SPR (Fig. 3), the rivet acts as a cutting punch. The hole in the sheets joined is cut when the punch presses the rivet head (phase 1, 2, 3).

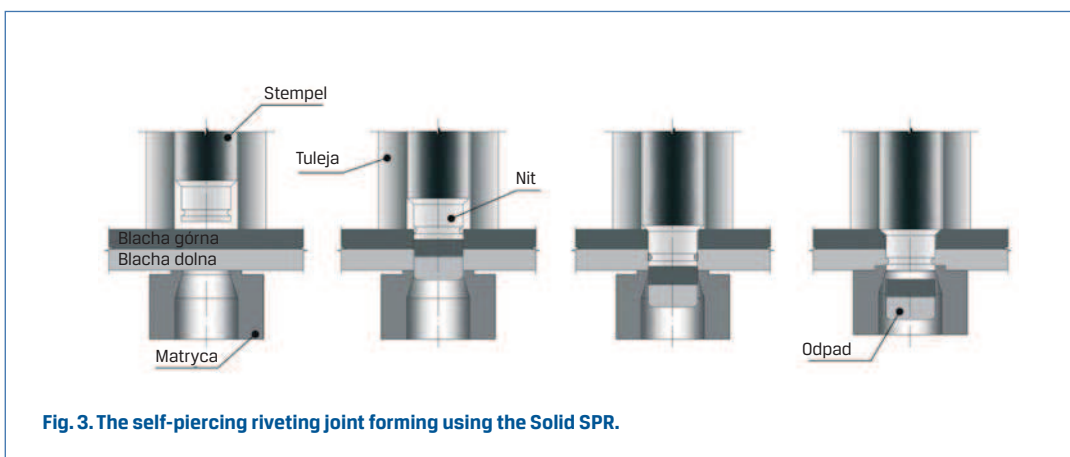


Fig. 3. The self-piercing riveting joint forming using the Solid SPR.

The scrap in form of a sheared blank is discharged by the opening made in the bottom die, which has no flat cutting edge. The opening is offset and its internal edge acts as a cutting edge. In the final phase (phase 4) the joined sheets are pressed in a way that the bottom sheet material fills in the groove on the rivet perimeter. Finally, this locks the rivet and the joint is made. The additional movement may be made by the bottom die or the clamping device with punch.

2.3. Technology advantages

This technology (self-pierce riveting with the solid self-piercing rivet) enables joining the following materials: the steel, aluminum, stainless steel. It is also possible to join coated and painted materials. This technology enables joining more than two sheets and of different thickness (Fig. 4).

The differences in total thickness of joined sheets may occur within a single product. In such a case, the universal rivet works effectively.

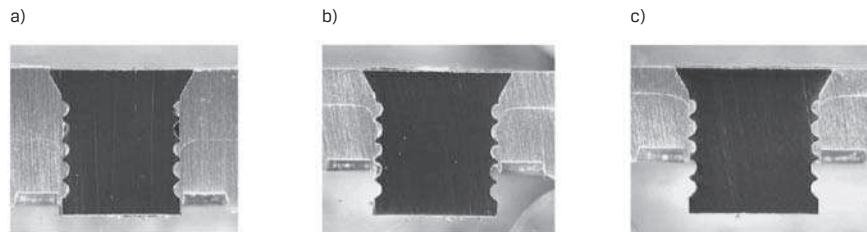


Fig. 4. The joint made up with universal rivet for various thickness of joined sheets: a) 2 mm + 2 mm, b) 1.15 mm + 2 mm, c) 0.8 mm + 2 mm.

For redrawing joint technology an adverse material fracture may occur, which is a side and unwanted effect [2]. Then the different joining technique can be used, e.g. using the piercing rivet. The specialized rivet may be used for joining both hardened and soft materials and for various property combinations of joined layers (Fig. 5a, b).



Fig. 5. Joint combinations: 2 aluminum sheets and steel/aluminum sheet: a) EN AW-6181A (g1 = 1.5 mm)/EN AW-5754 (g2 = 2.5 mm), b) EN 10130 (2.0 mm)/EN AW-5754 (g2 = 2.0 mm).

3. Joint strength

3.1. The joint with a specialized and universal rivet

For shearing test of the solid self-piercing rivet joint, the sheet where the fastener head is anchored, is slightly deflected (Fig. 6). This phenomena occurs both for the joint made with specialized and universal rivet. Due to a joint loading, the additional single-action moment bending the sheet occurs on the side of conical head contact surface with the sheet.

The sheet merging area's deformation is forced by the tensile testing machine jaws acting on sheets. Due to a fact that the sheet material strength is lower than the rivet strength, loading the joint causes the sheet deformation until total separation (Fig. 7).



Fig. 6. The shear test of Solid SPR joint.

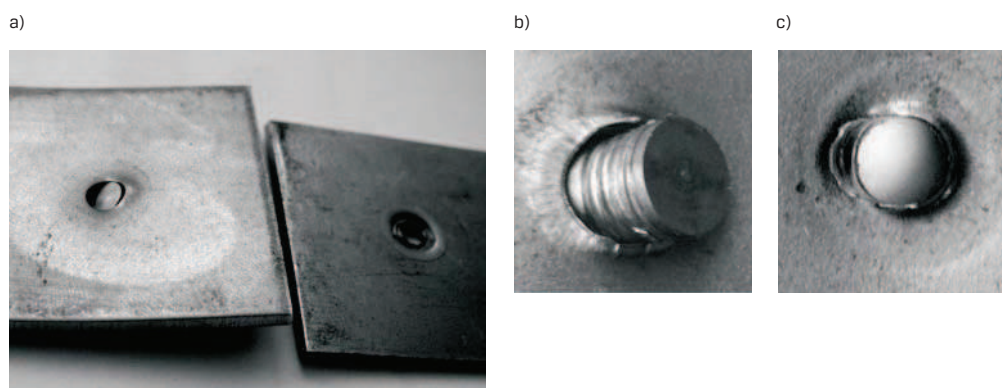
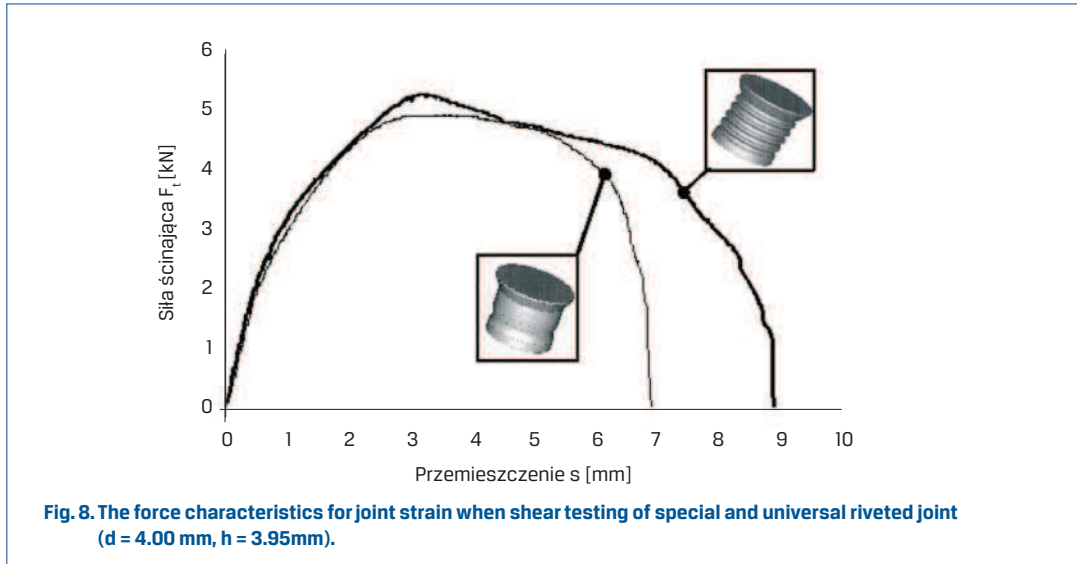


Fig. 7. The deformation of joint pieces: a) separated sheets, b), c) merge area after the shear test.

Depending on the rivet characteristics (specialized or universal), different force characteristics of joint loading are achieved (Fig. 8). For a universal rivet, the maximum shearing force (Fig. 8) increase by 7.4% comparing to a specialized rivet was observed. Increasing the maximum force from 4.87 kN to 5.23 kN is caused by necessity to shear more sheet material tabs.

Higher deformation effort is required for a total destruction (sheet separation) of joint with universal rivet than for a specialized rivet. These joints absorb the deformation energy in a different way, which is visible on the chart (Fig. 8) in form of different areas under force curve vs. displacement that forces the deformation.

In order to joint sheets of thickness 2 mm made of DC01 (low carbon steel for cold plastic working [17]), identical total force was required in both cases: 32 kN (blanking) + 2.5 kN (pressure). Thus the energy consumption of the joining process was identical, and the different deformation energy absorption value was achieved for these joints.

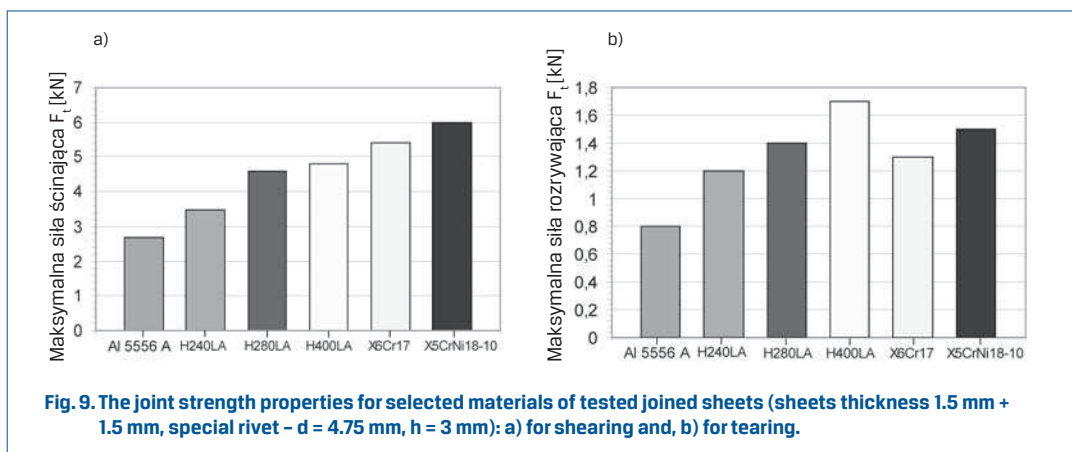


3.2. Shearing and tearing strength

The solid self-piercing rivet enables joining the materials of different mechanical properties (Tab. 1), featuring both high and low material strain hardening. Depending on joined material types, the specified joint strength parameters are achieved in joint shearing and tearing test (Fig. 9) [13]. For presented materials, the highest contribution of tearing strength vs. shearing strength features the joint made of H400LA (35% contribution), and the lowest the joint made of X6Cr17 (24% contribution). The joint location in the design should enable carrying the shearing loads in the highest level.

Table 1. The selected mechanical properties of rivet joint sheets.

Parameter	Material					
	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



When joining the sheets made of different materials and of identical thickness, i.e. 1.5 mm + 1.5 mm with identical rivet, the different joint strength is achieved. The higher the material limit strength, the higher the joint strength (Tab. 1). This trend is clearly visible on the bar charts (Fig. 9a, b) in the microalloyed steel sheet group with increased yield stress value [18].

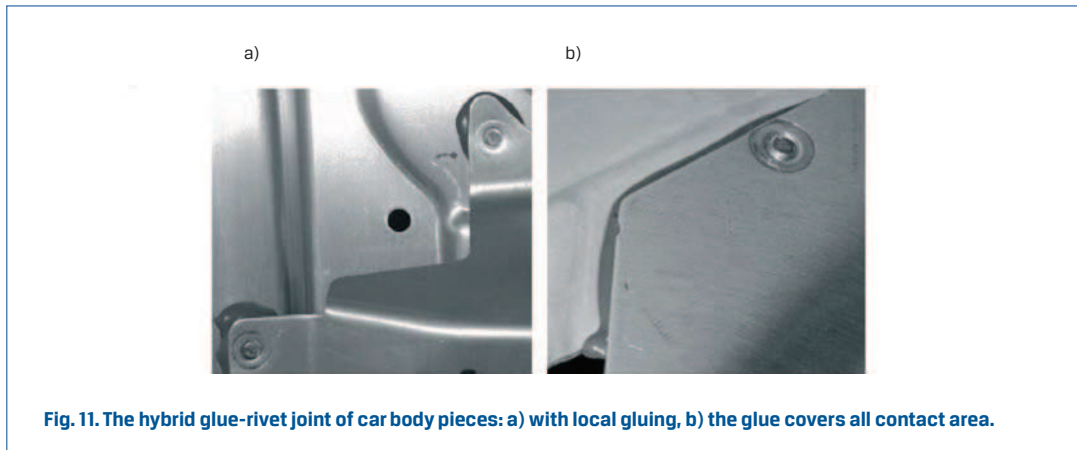
4. Application examples

Joining the constructional elements using the solid self-piercing rivet during the assembly process can be considered as an additional, local hardening of a product, e.g. when joining thin steel sheets (Fig. 10).

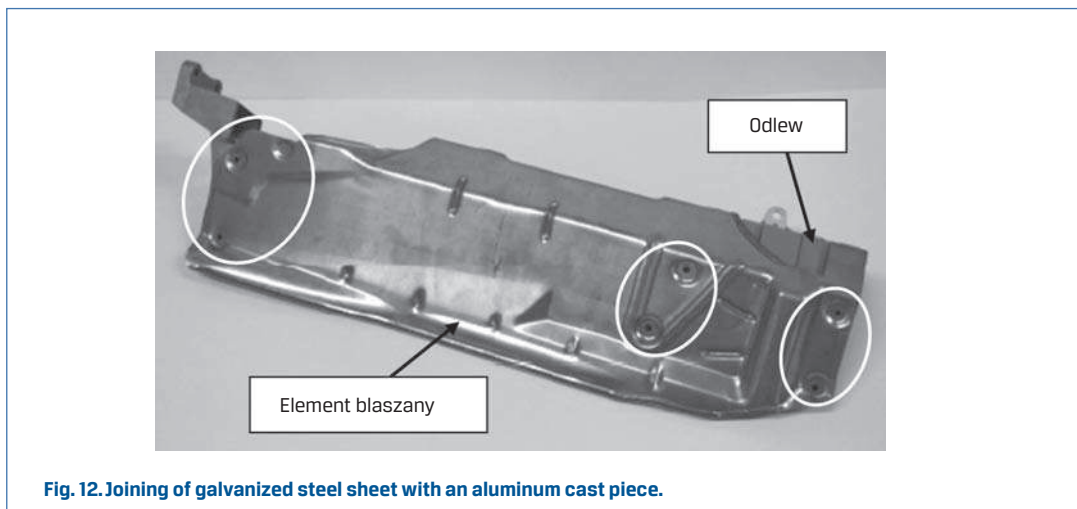
Sometimes the car body designers require joining the sheets with an intermediate layer, which acts as a sealant or vibration damper. In many cases, the strength of a joint made using only a rivet is not satisfactory. If this is the case, the sheet joint is assisted by gluing (hybrid joints). The specialized substance or glue may be applied locally (Fig. 11a) or on entire contact surface of joined elements (Fig. 11b). In this case the rivet acts as a local merging and stabilizer supporting glued sheets in required position, until a final strength is achieved by the bonding agent.



Fig. 10. The reinforcing cross bar made of stainless steel (0H18N9) in the engine chamber of a sport car.



Proper selection of the "SolidSPR" rivet material enables joining the sheets with thin walled casting (Fig. 12). It is important that the element thickness and its material mechanical properties on the die side enable filling the fastener groove by final pressure of the die ridge.



Proper selection of the universal rivet geometry, i.e. its length, enables joining materials of different thickness (Fig. 13). If thickness of joined sheets lowers, the rivet protrudes in its cutting edge zone above the outside surface of the sheet. The rivet length is determined by the highest total material thickness. Once pierced through the materials, the fastener preserves its original form and is not deformed for each material thickness.

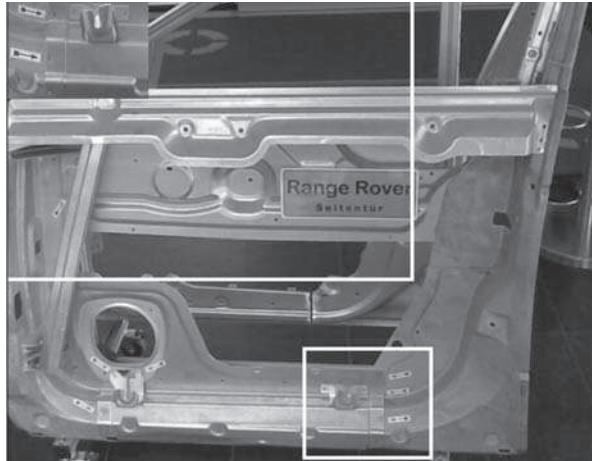


Fig. 13. Assembled car doors using the solid self-piercing rivet.

5. Summary

"SolidSPR" joining technology using solid self-piercing rivet extends the capability of sheet joining, and also thin walled casting elements. Making the solid self-piercing rivet joint in a combination with glue or sealant is not a problem. On the other hand, for spot welding it is difficult or even impossible. Despite the spot welding, this method has a significant disadvantage, namely increasing the car weight.

"SolidSPR" enables joining the steel and plastic elements, and also brittle materials.

The joint strength depends significantly on mechanical properties of joined elements.

When joining the sheets using standard and universal rivet, the energy consumption of the process is similar in both cases. However, the different deformation energy absorption value is achieved during the strength test of these joints.

References

- [1] NONG, N., KEJU O., YU, Z., ZHIYUAN, Q., CHANGCHENG T. AND FEIPENG, L.: *Research on press joining technology for automotive metallic sheets*. Journal of Materials Processing Technology, vol. 137, nr 1-3, pp. 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, pp. 121-126, 2010.
- [3] MUCHA, J., KAŠČÁK, L. AND SPIŠÁK, E.: *Analiza wytrzymałości złączy przetłoczeniowych blach stalowych, stosowanych na elementy nadwozi pojazdów samochodowych.*, Archiwum Motoryzacji, nr. 3, pp. 185-196, 2010.
- [4] MUCHA J. AND 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, pp. 105-117, 2010.
- [5] MUCHA, J.: *The characteristics of H320LA steel sheet clinching joints*. Advances in Manufacturing Science and Technology, vol. 34, nr. 4, pp. 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, pp. 225-238, 2002.
- [7] LEE, C. J., KIM, J. Y., LEE, S. K., D. C. KO AND 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, pp. 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, pp. 649-656, 2008.
- [9] NEUGEBAUER, R., KRAUS C. AND DIETRICH, S.: *Advances in mechanical joining of magnesium*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 57, nr. 1, pp. 283-286, 2008.
- [10] MUCHA, J.: *Rozwój technik wytwarzania złączy nitowych - nitowanie bezotworowe*. Mechanik, nr 5-6, pp. 454-460, 2007.
- [11] MUCHA, J.: *Analiza wybranych cech użytkowych połączeń nitowanych bezotworowo*. Technologia i Automatykacja Montażu, z. 1, pp. 10-12, 2008.
- [12] MUCHA, J.: *Klasyfikacja oraz charakterystyka połączeń nitowanych bezotworowo*. Technologia i Automatykacja Montażu, z. 4, pp. 7-10, 2007.
- [13] www.kerbkonus.de (01.10.2010).
- [14] MUCHA, J.: *Wstrzeliwanie łącznika - nowatorskie podejście do procesu montażu*. Stal Metale & Nowe Technologie, nr. 9, pp. 80-83, 2010.
- [15] MUCHA, J.: *Charakterystyka połączeń wykonanych technologią wstrzeliwania łącznika*. Mechanik, nr 12, pp. 968-971, 2010.
- [16] SOBOTOVÁ, L., SPIŠÁK, E.: *Evolution of Progressive Technologies in Joining Processes of Non-ferrous Materials*. Monografia pod red. Grzegorza Samołyka pt. „Progresywne Materiały i Technologie”, pp. 98-106, 2010, ISBN 978-83-7497-094-5.
- [17] PN-EN 10130:2008- *Wyroby płaskie walcowane na zimno ze stali niskowęglowych do obróbki plastycznej na zimno - Warunki techniczne dostawy*.
- [18] PN-EN 10268:2006 - *Wyroby płaskie ze stali o podwyższonej granicy plastyczności walcowane na zimno do obróbki plastycznej na zimno - Warunki techniczne dostawy*.

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].

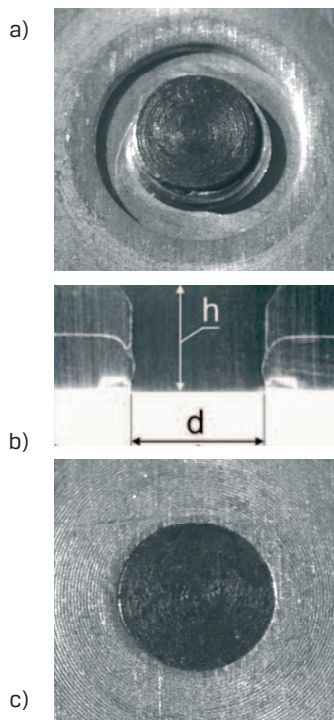
Postęp technologiczny w przemyśle, mający na celu obniżenie kosztów produkcji, zapewnienie jakości i niezawodności wytwarzanych wyrobów przy jednoczesnym skróceniu czasu wytwarzania, doprowadził do powstania nowej technologii łączenia mechanicznego pod naciskiem – nitowanie bezotworowe [10, 11].

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 nitom (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.

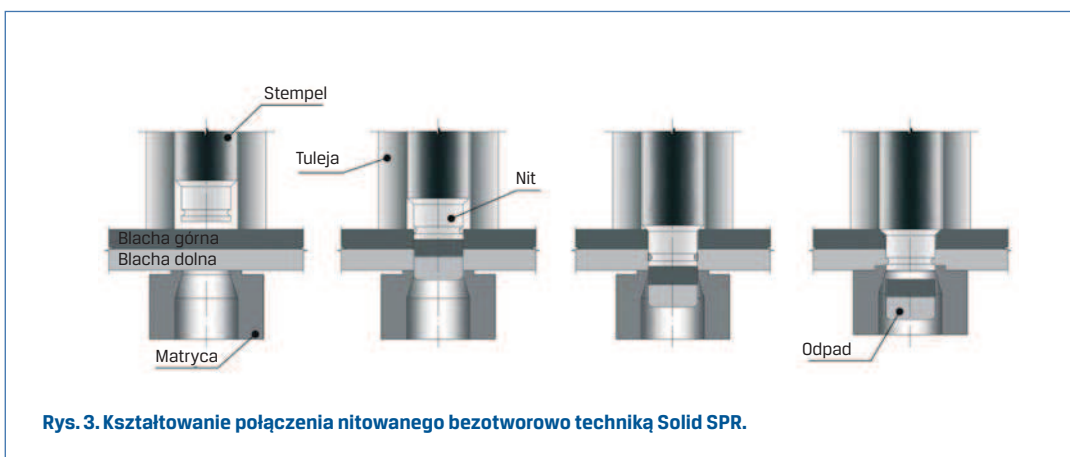


Rys. 2. Wygląd podstawowych nitów oraz narzędzi stosowanych do wykonywania połączeń typu Solid SPR:
a) nity (1 - nit specjalny, 2 - nit uniwersalny), b i c) narzędzia (matryca i stempel).

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).



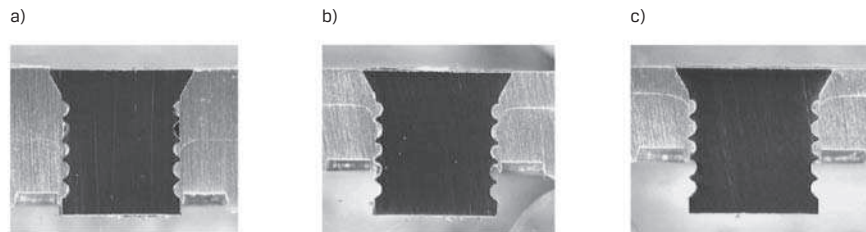
Rys. 3. Kształtowanie połączenia nitowanego bezotworowo techniką Solid SPR.

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 samowykrawającymi) 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 nitu 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 nitu 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

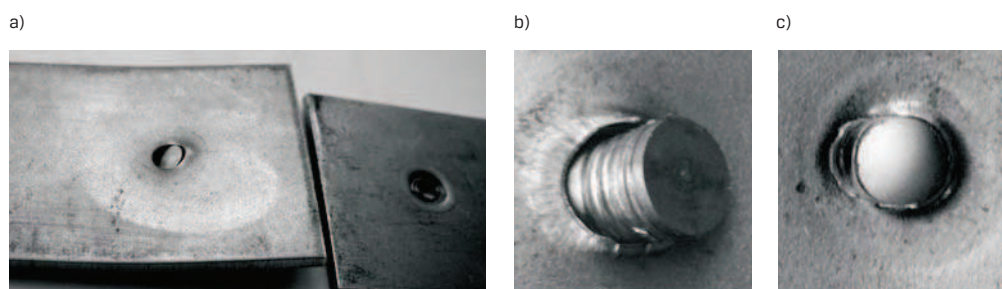
3.1. Złącze z nitami specjalnymi a uniwersalnymi

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 nitu 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 nitu 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.

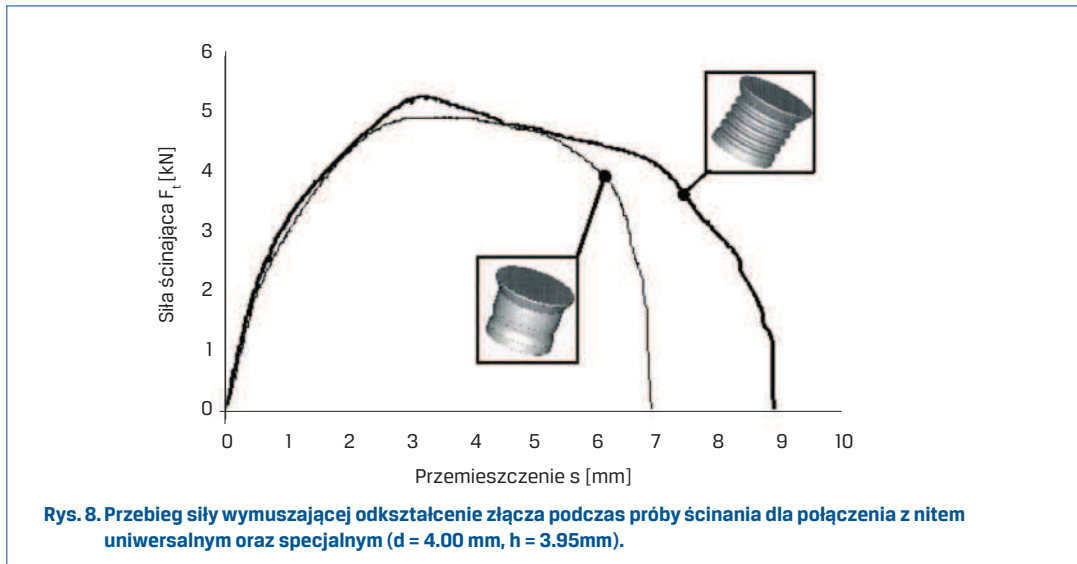


Rys. 7. Deformacja elementów złącza: a) rozdzielone blachy, b), c) miejsca scalenia po teście ścinania.

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 nitom 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 nitom 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.

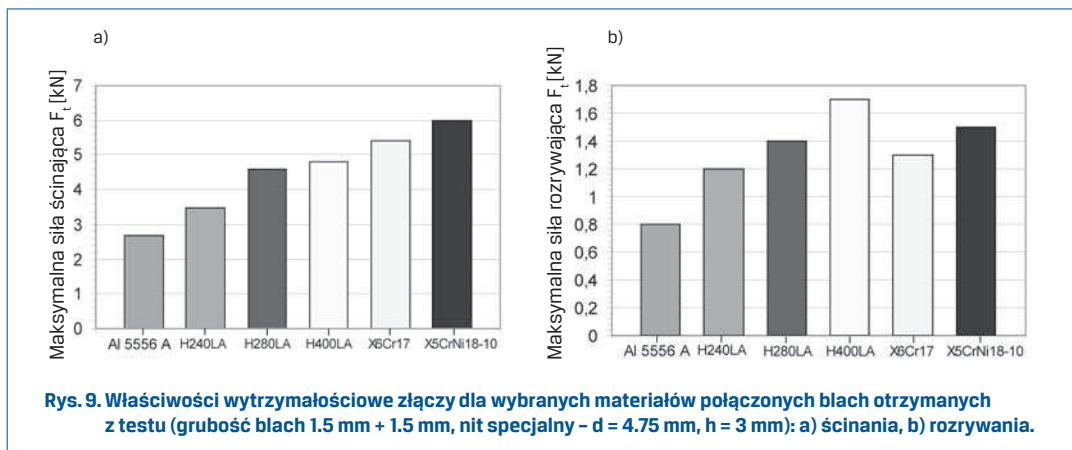


3.2. Wytrzymałość na ścinanie i rozrywanie

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.

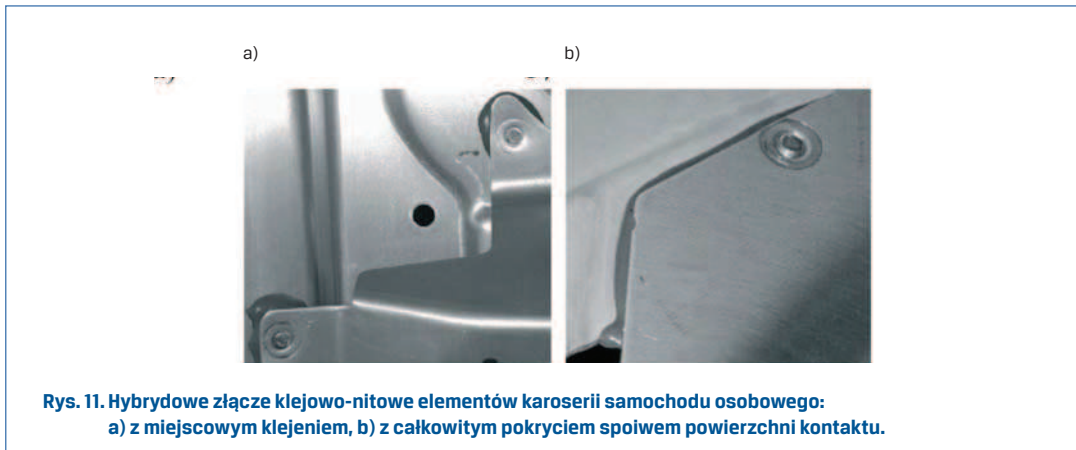
4. Przykłady zastosowań

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).

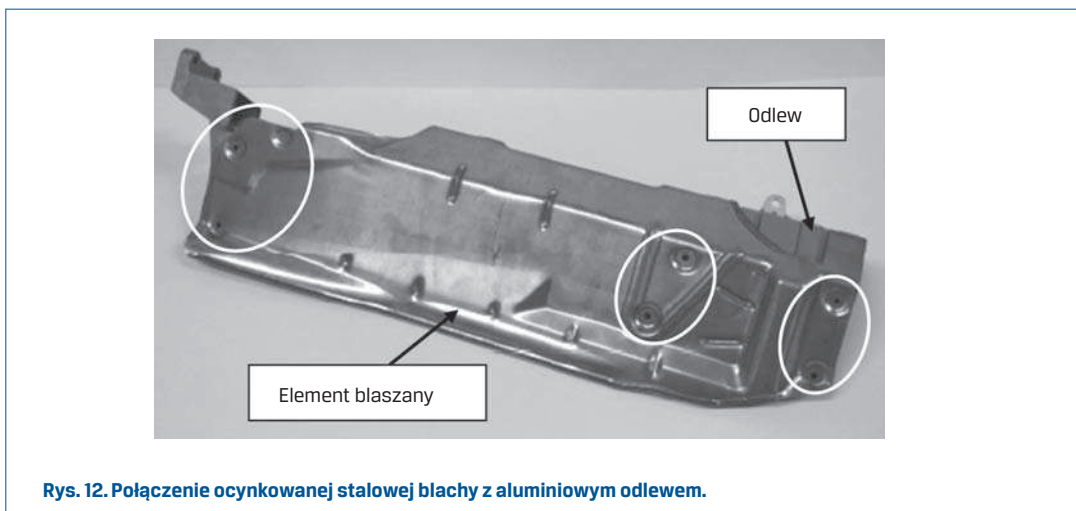
Niekiedy konstruktorzy elementów nadwozi wymagają wykonywania połączenia blach z pośrednią warstwą tłumiącą drgania lub uszczelniającą. Często wytrzymałość połączenia blach samym nitem nie jest wystarczająca. W takim przypadku łączenie elementów blaszanych wspomaga się klejeniem (połączenia hybrydowe). 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.



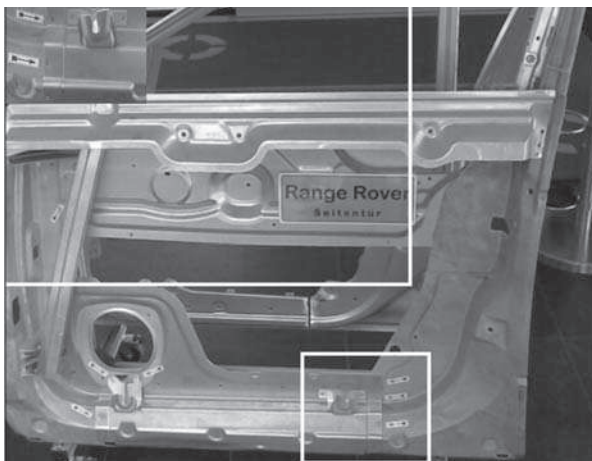
Rys. 10. Wzmacniająca poprzeczka przedziału silnika sportowego samochodu z nierdzewnej blachy stalowej (0H18N9).



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 grubość 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 nastęca 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.