

Jacek MUCHA
Waldemar WITKOWSKI
Politechnika Rzeszowska

NOŚNOŚĆ WYBRANYCH ROZWIĄZAŃ POŁĄCZEŃ NITOWYCH PODCZAS PRÓBY ŚCINANIA I ROZCIĄGANIA

W pracy zawarto wyniki badań nad możliwością zastąpienia tradycyjnych połączeń nitowych z nitem zakuwanym i zrywalnym nowymi połączeniami z użyciem nitu samowykrawającego. Dla czterech różnych systemów scalania wykonano połączenia z blach stalowych DC01 oraz stopu aluminium AW-5754 o grubości 2 mm. Przeanalizowano zachowanie się owych połączeń podczas przenoszenia obciążenia stycznego oraz normalnego. Eksperymentalnie zbadano wpływ układu materiału połączonych warstw na przebieg krzywej ścinania dla różnych systemów nitowania.

1. Wprowadzenie

Zastosowanie odpowiedniego rozwiązania do scalenia części, a często nowego, może przyczynić się do zwiększenia konkurencyjności danego wyrobu. Opracowane nowe rozwiązania mają służyć często do uproszczenia i skrócenia procesu montażu. W zasadzie w większości przypadków powstanie określonej funkcjonalnej struktury o pożądanych cechach, bez zastosowania różnych systemów łączenia byłoby niemożliwe [1]. Mimo że nitowanie jest bardzo starym sposobem łączenia, jest nadal popularne ze względu na mało skomplikowany przebieg jego wytwarzania. Klasycznym rozwiązaniem jest łączenie przez zakuwanie nitu, umożliwiające połączenie dwóch i więcej warstw materiału. Wymagany jest jednak dwustronny dostęp podczas formowania. Wady tej już nie wykazują wszelkiego rodzaju nity zrywalne. W każdym z tych rozwiązań wymagany jest wcześniej wykonany otwór, dzięki czemu w mniejszym lub większym stopniu pozostaje łeb lub odpowiednio ukształtowana wypływka materiału. Wad tych nie ma połączenie wykonane za pomocą nitu samowykrawającego [2]. Specjalnym, pełnym nitem można z powodzeniem łączyć materiały zarówno twarde, jak i miękkie oraz różnego rodzaju materiały z łączonymi warstwami [3].

Zasadniczym celem przedstawionych badań była analiza możliwości zastąpienia czasochłonnych sposobów montażu, dotychczas stosowanych do łączenia elementów szaf teleinformatycznych, nowym, z użyciem nitu samowykrawają-

cego. Wykorzystanie tego systemu łączenia umożliwia w łatwy sposób uzyskanie płaskiej powierzchni od strony wtlaczania łącznika, co ma wpływ na estetykę i bezpieczeństwo szafy (ukrycie z zewnątrz miejsc scalenia). Zastosowanie elementu wtlaczanego w postaci nitu samowykrawającego skutkuje oszczędnością czasu montażu w postaci skrócenia, a wręcz wyeliminowania dodatkowych zabiegów związanych z przygotowaniem powierzchni gotowego wyrobu do malowania. Umożliwia w bardzo krótkim czasie uzyskanie połączenia dwóch, trzech warstw materiału [4, 5]. Pozwala skutecznie łączyć materiały o zdecydowanie zróżnicowanych właściwościach mechanicznych, np. materiały miękkie z twardymi [6]. W pracy zawarto część obszernych badań nad łączeniem elementów z blach stalowych DC01 i ze stopu aluminium EN AW-5754. Przedstawiono wyniki prób ścinania oraz rozciągania L-kształtnych próbek złączy, wytworzonych czterema różnymi systemami łączenia, w tym za pomocą nitu samowykrawającego.

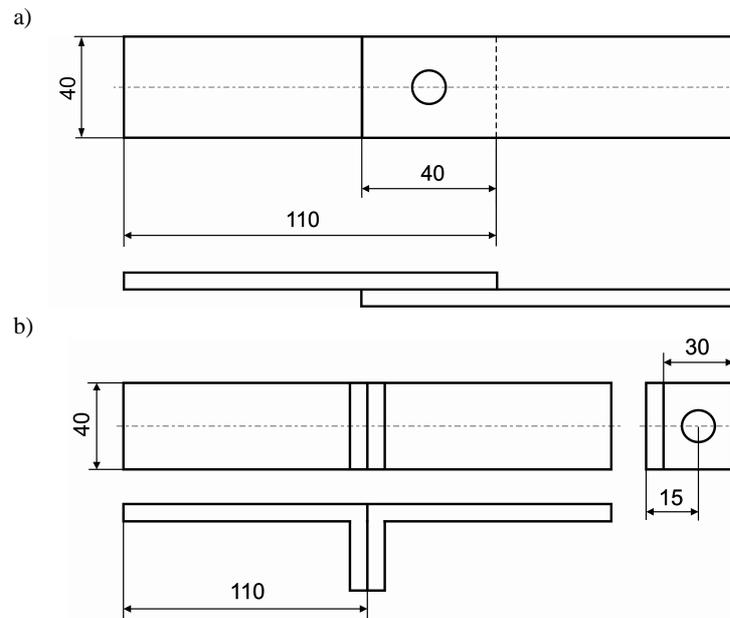
2. Materiały oraz metodyka badań

Do badań wykorzystano blachy o grubości 2 mm ze stali DC01 (numer 1.0330 wg PN-EN 10130:2009) oraz ze stopu aluminium AW-5754 w stanie O/H111 (PA11 wg PN EN 573-3). Podstawowe właściwości mechaniczne blach zawarto w tab. 1. Przygotowane pasma blach o wymiarach jak na rys. 1. zostały połączone czterema różnymi nitami. Określone kombinacje materiału scalanych warstw oraz nitów przedstawiono w tab. 2. Wszystkie połączenia wykonywano z zachowaniem staranności oraz jednakowych warunków ich formowania. Systemem łączenia, w którym może wystąpić trudność w zachowaniu parametrów jakościowych, jest łączenie nitem zakuwany, a człowiek ma tu największy wpływ na przebieg jego uformowania. Dla tak wytworzonych połączeń wykonano testy statycznego ścinania oraz rozrywania z rejestracją przebiegu siły na maszynie wytrzymałościowej Instron 3382. Prędkość przemieszczenia (trawersy maszyny) wymuszającego odkształcanie złączy wynosiła 10 mm/min.

Tabela 1. Właściwości mechaniczne blach

Table 1. Mechanical properties of the sheet metal

Materiał i oznaczenie	Parametry		
	E GPa	R_{p0.2} MPa	R_m MPa
Stal DC01	207	160	290
Stop aluminium PA11	70.5	85	220



Rys. 1. Geometria próbek do testów: a) ścinania, b) rozrywania połączenia
 Fig. 1. Geometry of test samples: a) shearing, b) failure of joint

Tabela 2. Kombinacje łączników oraz materiału blach dla połączeń nitowych

Table 2. Combinations of fasteners and sheet metal for riveted joints

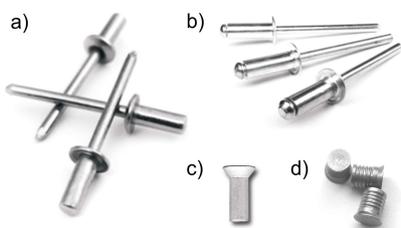
Kombinacja materiału blach	Rodzaj łącznika			
	nit zrywalny szczelny ¹	nit zrywalny zwykły ²	nit zakuwany ³	nit samowyrwający ⁴
Blachy stalowe DC01/DC01	I-1	I-2	I-3	I-4
Blachy stalowe i aluminiowe DC01/PA11	II-1	II-2	II-3	II-4
Blachy aluminiowe PA11/PA11	III-1	III-2	III-3	III-4

¹ PN-EN ISO 15974:2003, ² PN-EN ISO 15978:2003, ³ PN-88/M-82954,
⁴ nr kat. 492 000 007.900 [7]

Eksperymentalnie zbadano wpływ układu materiału połączonych warstw na przebieg krzywej ścinania oraz rozciągania dla różnych systemów nitowania. Do

wspomnianej analizie wybrano cztery systemy nitowania, w których łącznik stanowił:

- rurkowy nit zrywalny do połączeń szczelnych (rys. 2a),
- rurkowy nit zrywalny (rys. 2b),
- pełny nit do zakuwania (rys. 2c),
- samowykrawający nit (rys. 2d).



2. Wykorzystane łączniki w połączeniach nitowych: a) aluminiowo-stalowy rurkowy nit zrywalny, b) aluminiowo-stalowy rurkowy szczelny nit zrywalny, c) nit ze stopu aluminium do zakuwania, d) samowykrawający stalowy nit

Fig. 2. Fasteners used in rivet joints: a) the aluminum-steel blind rivet, b) aluminum-steel blind hermetic rivet, c) aluminum alloy rivet for closing up, d) solid self piercing steel rivet

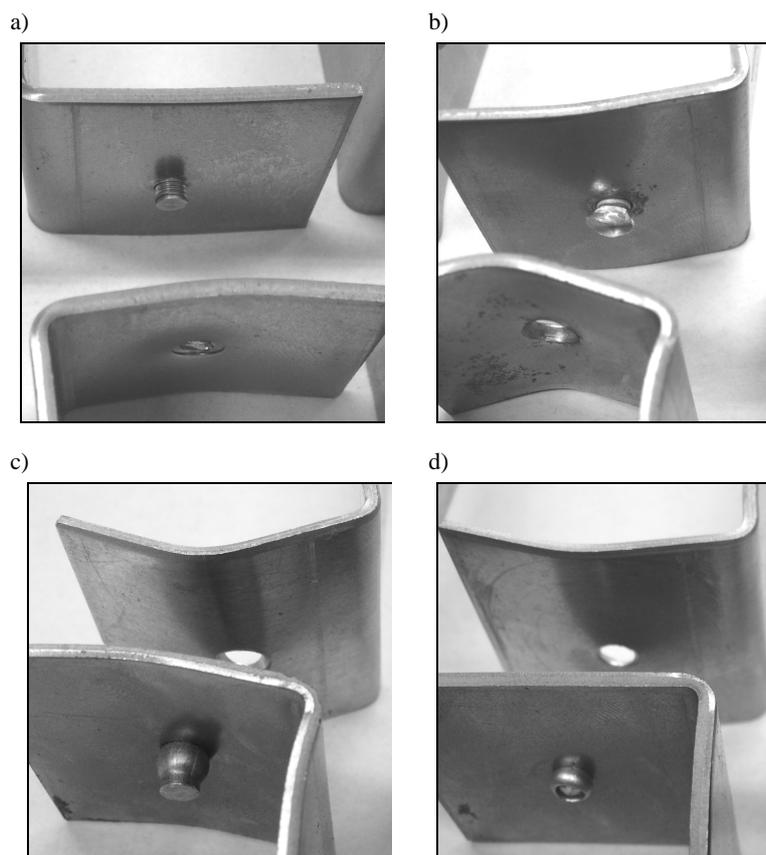
Wszystkie nity miały jednakową średnicę części walcowej $d = 4$ mm, pozostała zaś geometria została dobrana dla łącznej grubości scalanych warstw $t_c = 4$ mm. Dla zachowania z jednej strony płaskiej powierzchni blachy w procesie montażu, otwory są odpowiednio fazowane, tak by możliwe było maksymalne zmniejszenie wystawania łba nitu nad powierzchnię blachy. Próbki połączeń zostały przygotowane zgodnie z tym, jak przebiega przygotowanie w warunkach przemysłowego montażu.

3. Wyniki oraz ich analiza

Deformacje łączników oraz przebiegi wartości sił niszczących złącza pozwoliły na analizę możliwości przenoszenia obciążeń wybranych rozwiązań połączeń. Uzyskane dane z eksperymentu ścinania i rozrywania na maszynie wytrzymałościowej w postaci odpowiedzi siłowej na przemieszczenie wymuszające odkształcenie elementów złączy zawarto w postaci krzywych ścinania i rozciągania. W trzech przypadkach rozdzielenie złączy poddanych rozciąganiu skutkowało zniszczeniem nitu od strony stożkowego łba (rys. 3b, c, d). W jednym tylko typie połączenia, tj. z nitem samowykrawającym, łącznik pozostał niezniszczony (rys. 3a). W związku z tym, że podczas jego formowania musi on wykroić otwór, a następnie być w nim zablokowany, charakteryzuje się dużą twardością.

W obrębie jednego systemu łączenia dla różnych trzech kombinacji materiału łączonych blach uzyskano podobne wartości maksymalnej siły niszczącej (rys. 4a, b), a odmienne przebiegi krzywej odpowiedzi siłowej (rys. 4a, b, d). Dla złączy z nitem zakuwanym uzyskano bardzo podobne przebiegi krzywych ścinania (rys. 4c). Łącznik miał na tyle małą wytrzymałość w porównaniu z materiałem łączonych warstw, że podczas ścinania umocniony materiał decydował

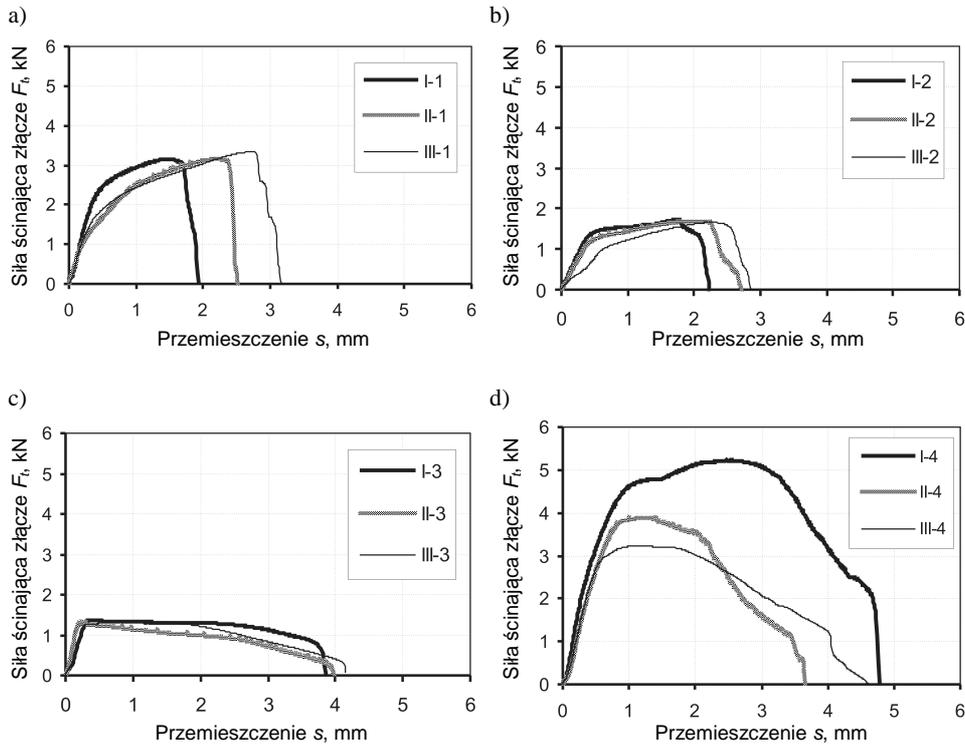
w jednakowej mierze o zniszczeniu i deformacji elementów złącza. Największą energię całkowitego zniszczenia połączenia uzyskano dla próbek z blach ze stopu EN AW-5754, najmniejszą zaś dla próbek stalowych DC01. Te ostatnie spośród wszystkich kombinacji miały najwyższe wartości podstawowych właściwości mechanicznych. Duża sztywność oraz twardość spowodowały, że przy najmniejszym przemieszczeniu wymuszającym odkształcenie uzyskano całkowitą separację elementów złącza. W przypadku warstw ze stopu EN AW-5754 w trakcie płynięcia materiału łącznika podczas jego ścinania powierzchnia walcowego otworu blach ulegała deformacji. Działo się tak aż do momentu osiągnięcia granicznej nośności przez nit w jego przekroju poprzecznym. Wówczas



Rys. 3. Elementy złączy po rozciągnięciu (rozerwaniu) połączenia: a) z nitem samowykrawającym, b) z pełnym nitem zakuwanym, c) z rurkowym zrywalnym nitem szczelnym, d) z rurkowym zrywalnym nitem

Fig. 3. Elements after tensing of joint: a) solid self-piercing rivet, b) close up a rivet, c) blind hermetic rivet, d) blind rivet

dochodziło do jego rozdzielania. Dla tego rodzaju warstw zaobserwowano największe zniekształcenie otworu. Opisana prawidłowość nie obejmuje jednak czwartego systemu, jaki został poddany analizie, tj. z nitem samowykrawającym. W tym przypadku dla blach aluminiowych uzyskano najniższe wartości maksymalnej siły ścinającej oraz energii całkowitego zniszczenia (rys. 4d). Na przykładzie próbek stalowych postanowiono zobrazować możliwości w przenoszeniu obciążenia ścinającego dla czterech wybranych systemów łączenia, co można odczytać z rys. 5.



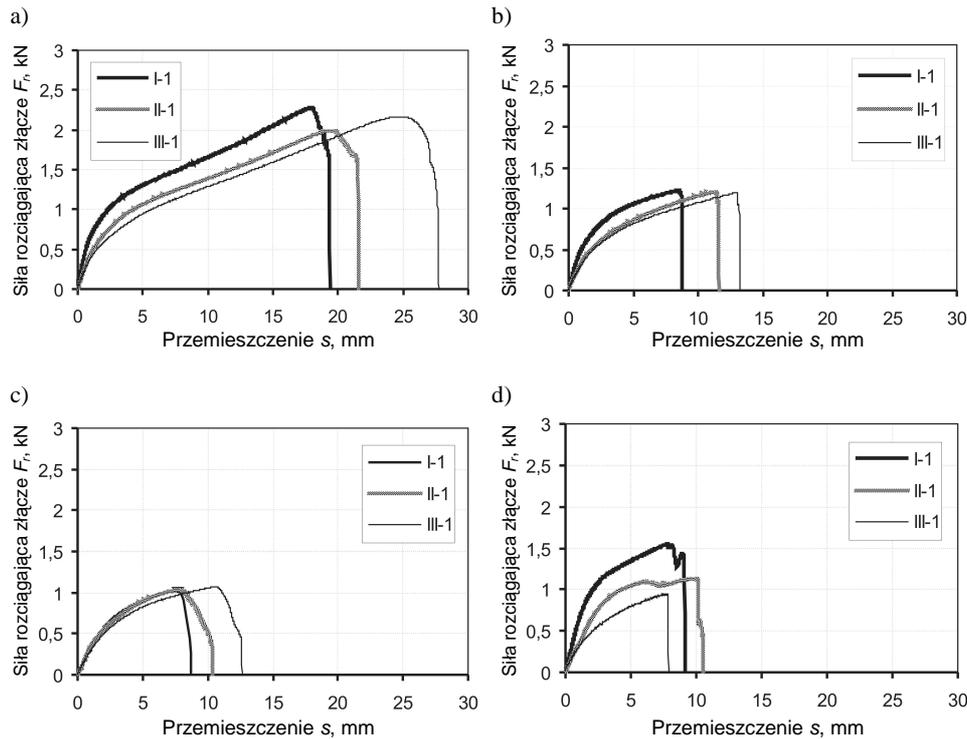
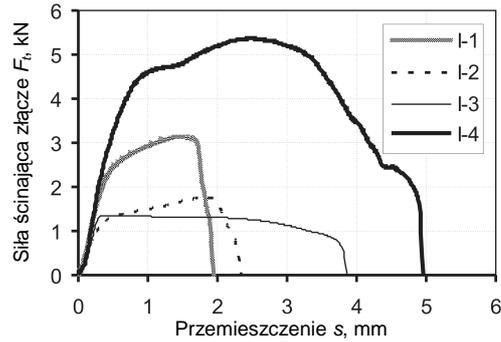
Rys. 4. Krzywe ścinania połączeń dla różnych układów materiału blach i systemów łączenia (I-stal/stal, II-aluminium/stal, III-aluminium/aluminium): a) rurkowy zrywalny nit szczelny, b) rurkowy zrywalny nit, c) pełny nit zakuwany, d) nit samowykrawający

Fig. 4. Connections shearing curves for different material systems and sheet materials joining systems (I-steel/steel, II-aluminium/steel, III-aluminium/aluminium): a) blind hermetic rivet, b) blind rivet, c) close up a rivet, d) solid self-piercing rivet

Wszystkie trzy typy złączy (z nitem zrywalnym zwykłym i szczelnym oraz zakuwanym) w testach rozrywania dla różnych aranżacji warstw materiału dały podobne przebiegi krzywych rozciągania (rys. 6a, b, c). Dla każdego z nich zanotowano maksymalną siłę rozdzielania na podobnym poziomie. W przypadku zaś zastosowania nitu samowykrawającego do połączenia blach stalowych, alu-

Rys. 5. Przebiegi krzywych ścinania złączy blach stalowych dla różnych połączeń nitowych: 1 – nit zrywalny szczelny, 2 – rurkowy zrywalny zwykły nit, 3 – pełny nit zakuwany, 4 – pełny nit samowykrawający

Fig. 5. Connections shearing curves of the steel sheets for the various riveted joints: 1 – blind hermetic rivet, 2 – blind rivet, 3 – close up a rivet, 4 – solid self-piercing rivet



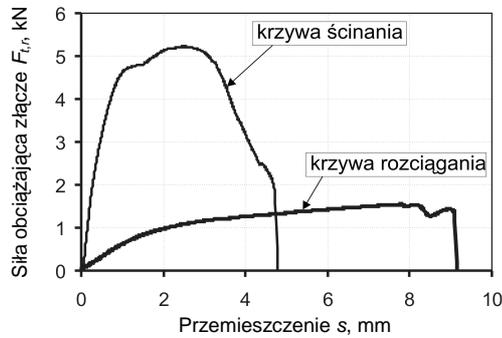
Rys. 6. Krzywe rozciągania połączeń dla różnych układów materiału blach i systemów łączenia (I-stal/stal, II-aluminium/stal, III-aluminium/aluminium): a) rurkowy zrywalny nit szczelny, b) rurkowy zrywalny nit, c) pełny nit zakuwany, d) nit samowykrawający

Fig. 6. Connections shearing curves for different material systems and sheet materials joining systems (I-steel/steel, II-aluminium/steel, III-aluminium/aluminium): a) blind hermetic rivet, b) blind rivet, c) close up a rivet, d) solid self-piercing rivet

miniowych i ich kombinacji uzyskano różnice zarówno w wartości maksymalnej siły niszczącej, jak też energii całkowitego rozdzielania (rys. 6d). Spowodowane jest to tym, że wypełniający rowki na obwodzie materiał blach przy różnym

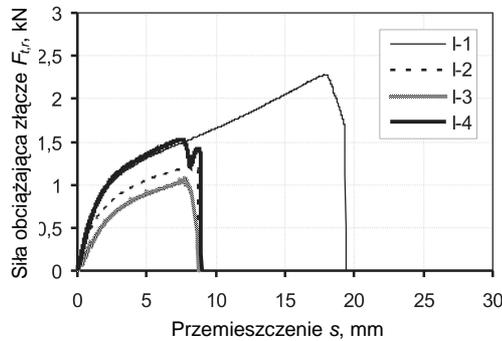
obciążeniu ulega ścięciu. Na nicie widoczne są pozostałości ściętego materiału blachy, z której został on wyrwany.

Możliwości przenoszenia obciążenia rozciągającego są mniejsze niż ścinającego (rys. 4. i 6.). W każdym typie połączeń zaobserwowano dość duże różnice w energii zniszczenia podczas ścinania i rozciągania. Największe zaś wystąpiły z nitem samowykrawającym, stąd też postanowiono je przedstawić na wspólnym wykresie (rys. 7.). Spośród czterech analizowanych systemów łączenia blach, np. stalowych, najwyższą wartość siły niszczącej połączenia podczas rozciągania zanotowano dla próbki z nitem zrywalnym szczelnym (rys. 8.). Dla tego typu złącza wymagana jest największa energia do całkowitego jego zniszczenia. Jednakże wytworzenie tego typu scalenia powoduje wystawianie części nitu z obu stron stosu blach. Zniszczenie nitu występowało w części rurkowej, tuż przy jego głowie. Natomiast złącze z nitem samowykrawającym wykazało większą odporność podczas testu niszczącego w porównaniu ze złączami wytworzonymi z nitem zrywalnym zwykłym i zakuwanym, dało również możliwość uzyskania od jednej strony równej i dość gładkiej powierzchni.



Rys. 7. Krzywe odpowiedzi siłowej złącza z nitem samowykrawającym dla blach stalowych

Fig. 7. Forceful response curves of a solid self-piercing rivet joint for steel sheet metal



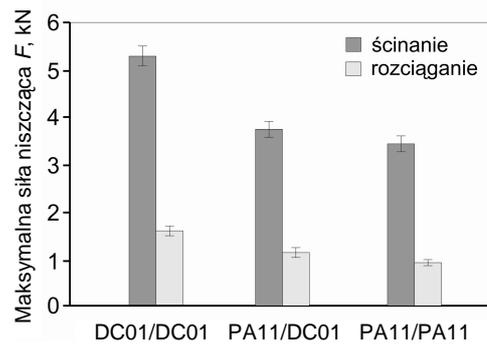
Rys. 8. Przebiegi krzywych rozciągania złączy blach stalowych dla różnych połączeń nitowych: 1 – nit zrywalny szczelny, 2 – rurkowy zrywalny zwykły nit, 3 – pełny nit zakuwany, 4 – pełny nit samowykrawający

Fig. 8. Connections shearing curves of steel sheets for the various riveted joints: 1 – blind hermetic rivet, 2 – blind rivet, 3 – close up a rivet, 4 – solid self-piercing rivet

W przypadku połączeń z nitem samowykrawającym przy zmianie rodzaju łączonego materiału blach uzyskano różnice w sile ścinania oraz rozrywania (rys. 9.). Średnia wartość siły ścinającej dla blach z DC01 osiągnęła wartość

Rys. 9. Średnie arytmetyczne wartości maksymalnej siły niszczącej złącze z nitom samowykrawającym

Fig. 9. Medium arithmetic values of the maximum destruction force of a solid self-piercing rivet



5.26 kN, przy zmianie zaś materiału na stop EN AW-5754 – 3.42 kN. Zmiana w tym przypadku wyniosła 35%. Przy układzie dwóch warstw o grubości 2 mm i jednakowej całkowitej sile łączenia na poziomie 30 kN największą różnicę między siłą ścinającą a rozrywającą złącze odnotowano dla stali DC01 (3.73 kN). Mniejszą różnicę otrzymano dla złączy blach z materiału EN AW-5754 i DC01, bo 2.64 kN, dla stopu EN AW-5754 zaś najmniejszą, bo 2.52 kN. Dla połączeń wykonanych pozostałymi systemami z nitom zrywalnym zwykłym oraz zakuwanym większych różnic nie zaobserwowano.

4. Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników w postaci krzywych ścinania i rozciągania złączy można stwierdzić, że:

- dla trzech systemów połączeń, tj. z rurkowym nitom zrywanym zwykłym i szczelnym oraz zakuwanym, występuje pewna przewidywalna zależność w postaci zbliżonej wytrzymałości, lecz różnej energii zniszczenia,
- w przypadku połączeń konwencjonalnych w decydującym stopniu za ich zdolność do przenoszenia obciążeń odpowiada wytrzymałość łącznika,
- wytrzymałość połączeń z nitom samowykrawającym jest uzależniona od właściwości mechanicznych scalanych warstw, i jest najwyższa w tym przypadku dla blach z materiału DC01, a najniższa dla stopu EN AW-5754.

Montaż elementów szaf teleinformatycznych z blach z materiału DC01 oraz AW-5754 za pomocą nowego sposobu łączenia jest w praktyce możliwy. Zastosowanie tej nowej technologii pozwala uniknąć dodatkowych operacji przygotowujących i wykończeniowych, tak jak to ma miejsce dotychczas.

Praca powstała dzięki współpracy pracowników Katedry Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej z pracownikami firmy AGMAR S.A z siedzibą w Mielcu. Autorzy składają podziękowania firmie AGMAR za udział w finansowaniu badań.

Literatura

1. Mucha J., O znaczeniu połączeń konstrukcyjnych słów kilka, *Stal Metale & Nowe Technologie*, 9-10 (2011), 100-101.
2. Mucha J., Klasyfikacja oraz charakterystyka połączeń nitowanych bezotworowo, *Technologia i Automatyzacja Montażu*, 58/4 (2007), 7-10.
3. Mucha J., Spišák E., Kaščák L., Niekonwencjonalna technologia łączenia elementów karoserii samochodów – łączenie nitami samowykrawającym, *The Archives of Automotive Engineering*, 3 (2011), w druku.
4. Mucha J., Łączenie przetłoczeniowe nitami samowykrawającym. Technologia połączeń nitowanych bezotworowo, *Stal Metale & Nowe Technologie*, 5-6 (2011), 104-107.
5. Neugebauer R., Todtermuschke M., Mauermann R., Riedel F., Overview on the state of development and the application potential of dieless mechanical joining processes, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 8 (2008), 51-60.
6. Neugebauer R., Jesche F., Israel M., Enlargement of the application range of solid punch riveting by two-piece dies, *International Journal of Material Forming*, Suppl 1, 3, (2010), 999-1002.
7. Katalog firmy Kerb-Konus-Vertriebs-GmbH, Amberg, Germany 2011.

LOAD OF THE SELECTED SOLUTIONS OF RIVETED JOINTS IN SHEAR AND TENSION TESTS

Summary

In this paper investigation results of the possibility to replace traditional riveted joints with a blind rivet and blind hermetic rivet with the new solution of using solid self-piercing rivet is presented. The connection for the four different joining systems was made from DC01 sheet steel and AW-5754 aluminum alloy sheet 2 mm thick. The behavior of these connections when moving the tangential and normal loads was analyzed. The effect of layers of connected material on the shear curve for different systems riveting was experimentally investigated.

Złożono w redakcji w październiku 2011 r.