

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych

Unconventional technologies of joining elements of aeronautical constructions

Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Częstochowska, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

Wyniki badań

Results

Urządzenie niezbędne do wykonywania złączy w technologii FCS

The device to perform the necessary connectors technology FCS (Fast Curing System)

Prace badawcze oraz testy doprowadziły do budowy prototypu urządzenia niezbędnego do wykonywania złączy w technologii FCS (Fast Curing System). Urządzenie zostało przetestowane w ramach prac badawczych oraz rzeczywistych warunkach gdzie zostały wykonane próbné złącza. Cele jakie zostały założone prototypowi zostały osiągnięte ale będą prowadzone dalsze prace w celu jeszcze lepszego przygotowania do komercjalizacji urządzenia oraz całego procesu technologicznego. Urządzenie zostało zaprezentowane podczas Targów KOMOZYT EXPO, stoczni Galeon, Rega Yacht, Sunreef oraz u innych, mniejszych producentów kompozytów.



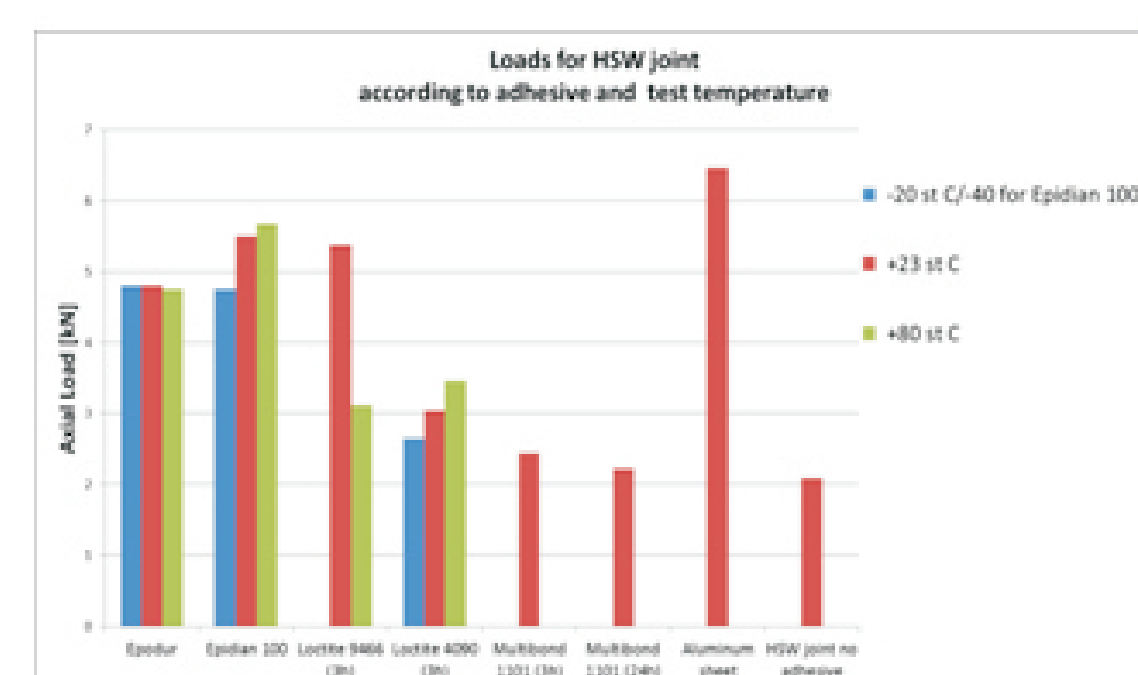
Rys.1. Prototyp urządzenia FCS v2
Fig.1. Prototype FCS v2

Research and trials led to the construction of a prototype device to perform the necessary connectors technology FCS (Fast Curing System). It has been tested in the context of research and real-world conditions where connections are made trial.

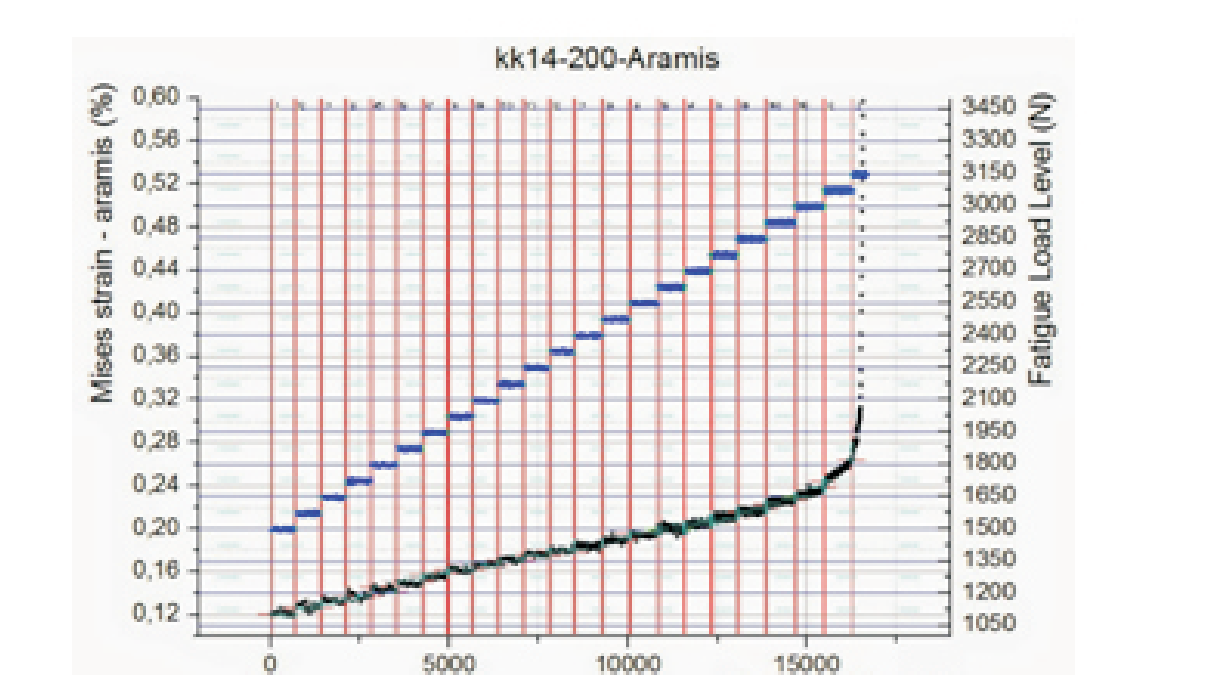
Goals that were established prototype have been achieved but further work will be carried out in order to have a better preparation for commercialization of the device and the whole process. The device was presented during the Fair KOMOZYT EXPO, shipyard Galeon, Rega Yacht, Sunreef and other composites producers.

rozróżnienie dwóch odmiennych postaci zniszczenia połączenia. W wypadku kleju Epodur, wskutek znacznej różnicy sztywności oraz naprężeń granicznych dla obydwu materiałów, dochodzi do niepożądanego koncentracji naprężeń w obrębie zgrzeźni. Z kolei węzły z udziałem Epidianu-100 charakteryzują się o wiele bardziej równomiernym rozkładem naprężeń, a co za tym idzie, pełniejszym wykorzystaniem wytrzymałości materiałów składowych.

Specimens containing Epidian-100 epoxy resin exhibit static load capacity at least at the level of previously used Epodur glue. Measurements using the Digital Image Correlation method under cyclic loading, allowed to distinguish between two different damage models. In case of Epodur, there is a significant difference in stiffness of both materials, as well as their ultimate strength, which leads to large stress concentrations around hot spot welds. On the other hand, joints with Epidian-100 have a lot smoother stress field, hence provide fuller utilization of the strength of constituent materials.



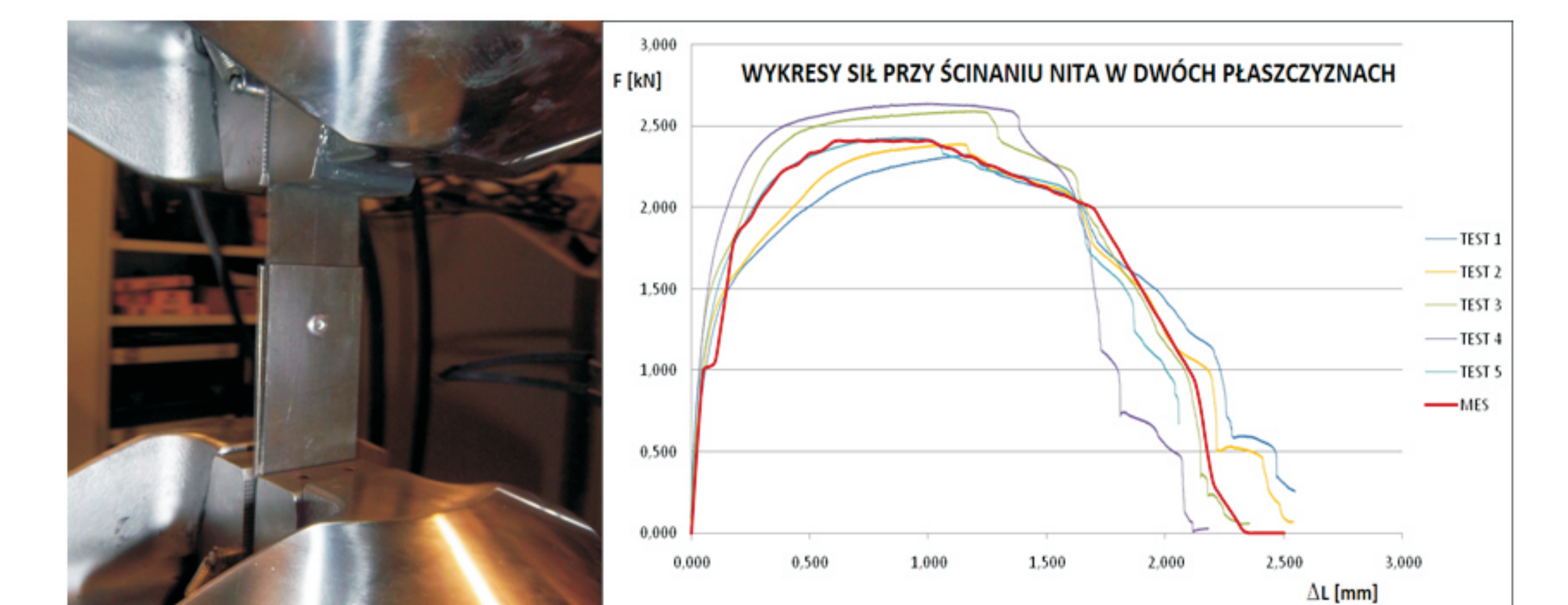
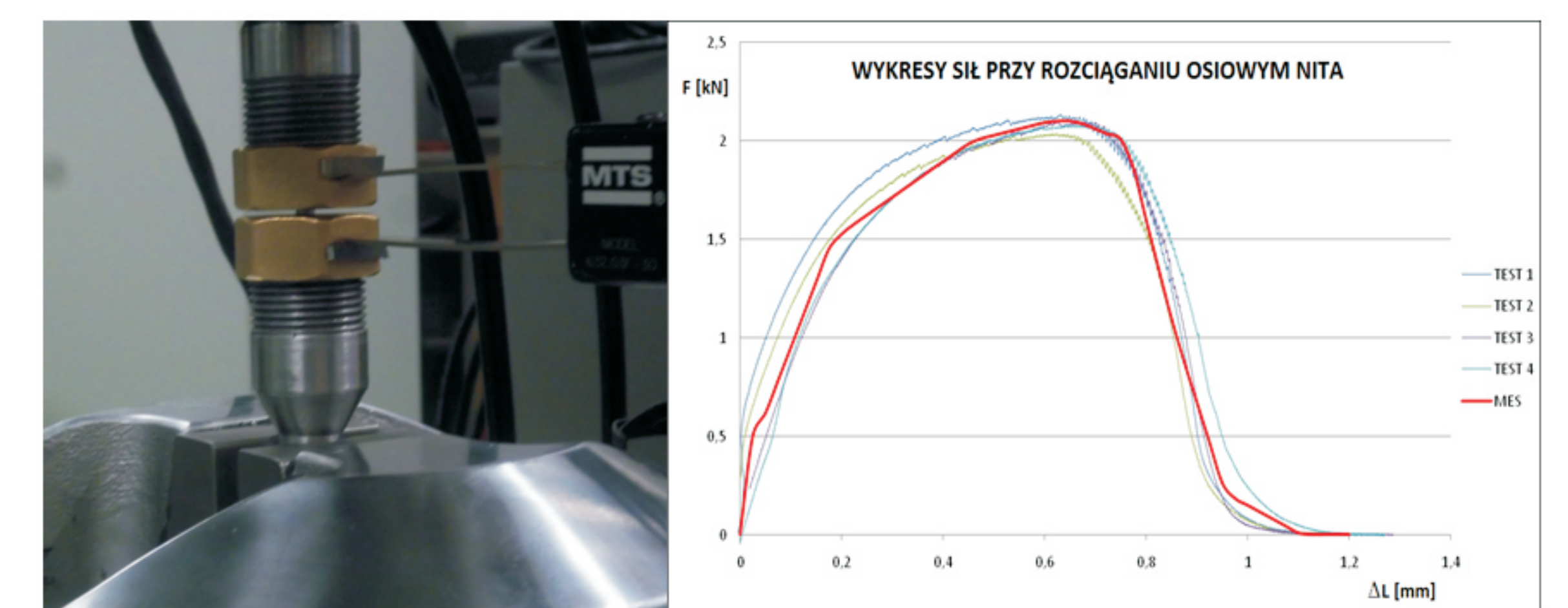
Nośność statyczna złączy z udziałem różnych klejów
Static load carrying capacity of joints with different adhesives



Przykładowa krzywa s-n dla złącza z Epidianem-100
Sample s-n curve for a joint with Epidian-100

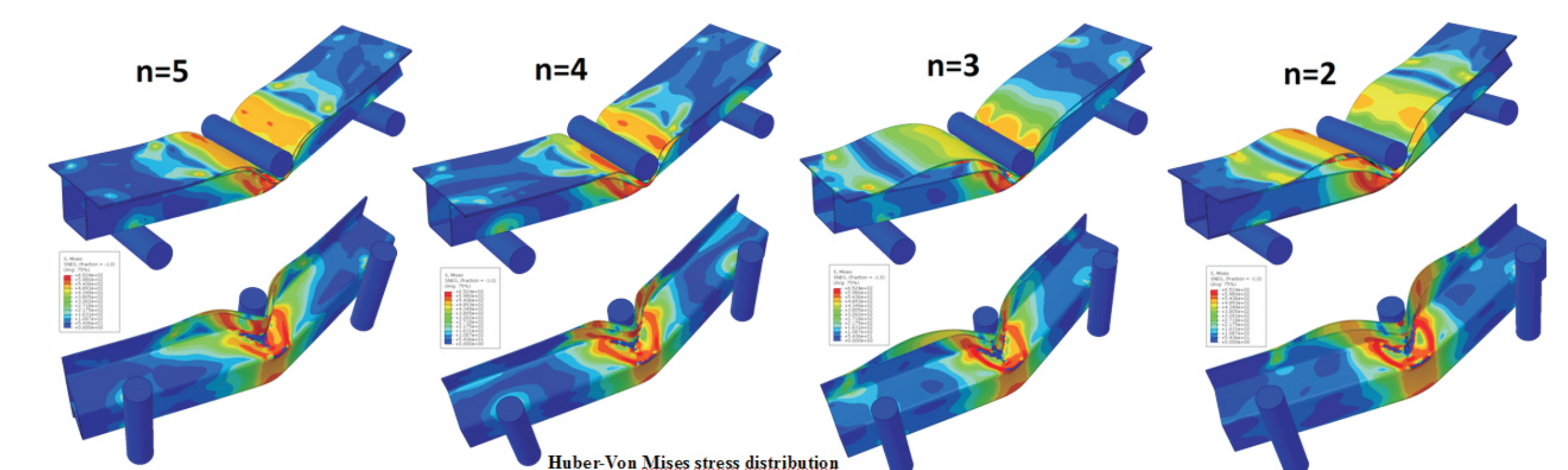
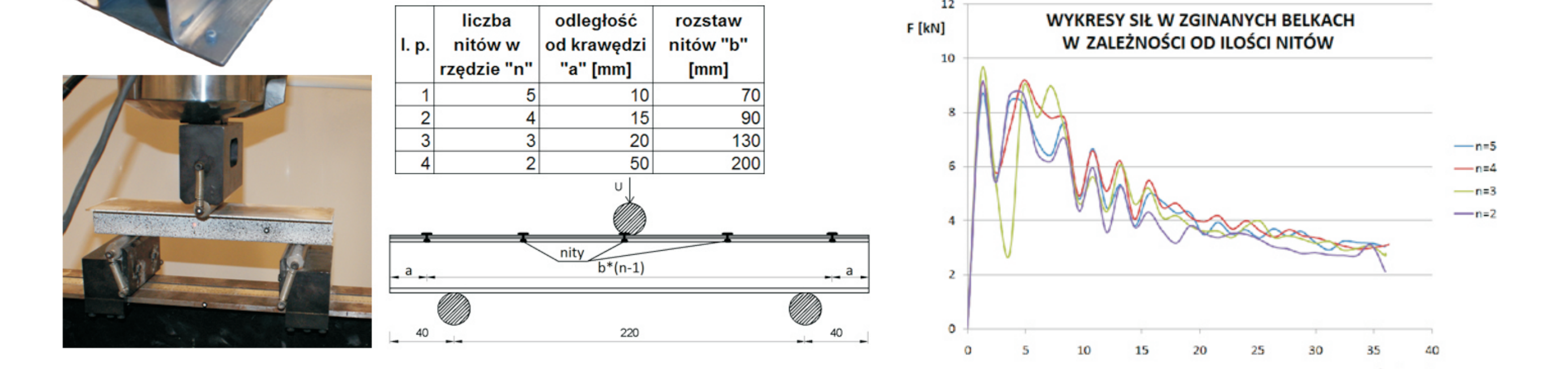
The aim of the analysis was to determine of deformation process of thin-walled aluminum box beams joined by techniques (adhesive and rivets) under the three-point bending. The analysis was performed on models 30cm length, consisting of aluminum parts connected by the adhesive and different amounts of rivets.

Poniżej przedstawiono wyniki testów laboratoryjnych przy rozciąganiu i ścinaniu nitów w połączeniach nitowanych. Na ich podstawie opracowany został model numeryczny połączenia nitowego. Kolorem czerwonym na wykresach przedstawiono wyniki analiz MES w konfrontacji w wynikami uzyskanymi z testów.



Poniżej przedstawione zostały rodzaje przeprowadzonych analiz oraz ich wyniki

Wszystkie modele posiadały takie same wymiary oraz materiał elementów składowych - aluminium 7075. Do połączenia aluminiowych profili użyto warstwy kohezyjnej oraz łączników metalowych w postaci nitów w różnych ilościach i rozstawach. Zamieszczona tabela podaje kombinację rozstawu nitów użyte w analizach



Wnioski

Conclusions

Urządzenie podczas testów na rzeczywistych obiektach wykazało możliwość szybszego wykonywania połączeń przy pomocy spoiw wymagających termicznej obróbki utwardzania oraz wygrzewania. The device during testing on real objects showed the ability to quickly making connections using adhesives that require thermal processing - curing and heating.

Urządzenie może być również stosowane do wykonywania napraw kompozytów zarówno w technologii vacuum jak i preepregów niskotemperaturowych. The device can also be used for repairing composites, both in vacuum technology and preepregów low temperature.

Konieczne jest zwiększenie powierzchni grzewczej do wymiarów co najmniej 200 x 200 mm, aktualnie wynosi 100 x 150mm. It is necessary to increase the heating surface to the dimensions of at least 200 x 200 mm, is currently set at 100 x 150 mm.

W celu zwiększenia mobilności konieczna jest miniaturyzacja urządzenia. In order to increase mobility, it is the miniaturization of the device.

Przykłady zastosowania w lotnictwie

Examples of application in aviation

Zrealizowane: Wklejanie tulei tylnego statecznika w gyrokoptersch
Naprawa skrzydła ultralekkiego samolotu, wygrzewanie kompozytu epoksydowego. Completed: Pasting sleeve rear ballast in gyrocopter
Repair wing ultralight aircraft, heated composite epoksydowego.

Możliwe: Wykonywanie obróbki termicznej kompozytów oraz połączeń klejonych.
Possible: Making a the heat treatment of composites and adhesive joints.

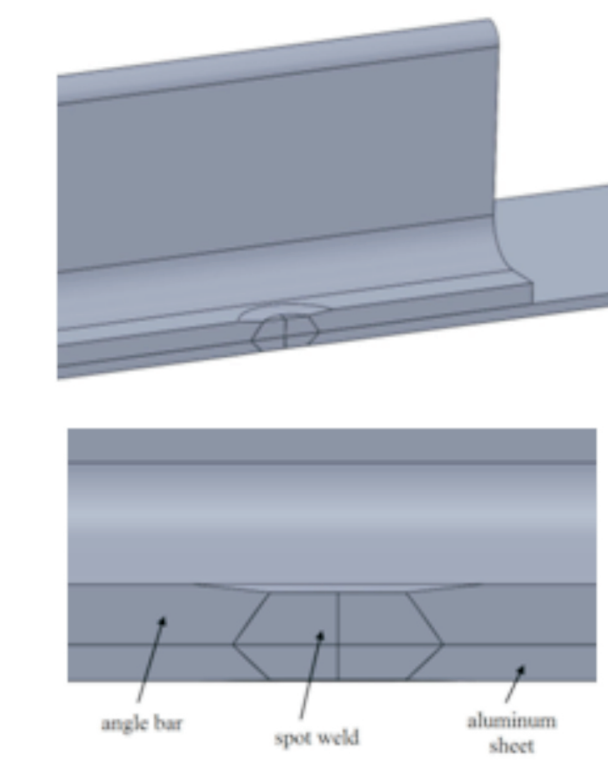
Wyniki badań

Results

Analiza numeryczna procesów niszczenia w połączeniach hybrydowych używanych w PZL Mielec S.A.

Numerical investigation of damage processes in hybrid (spot welding + adhesive) joints response used by PZL Mielec S.A

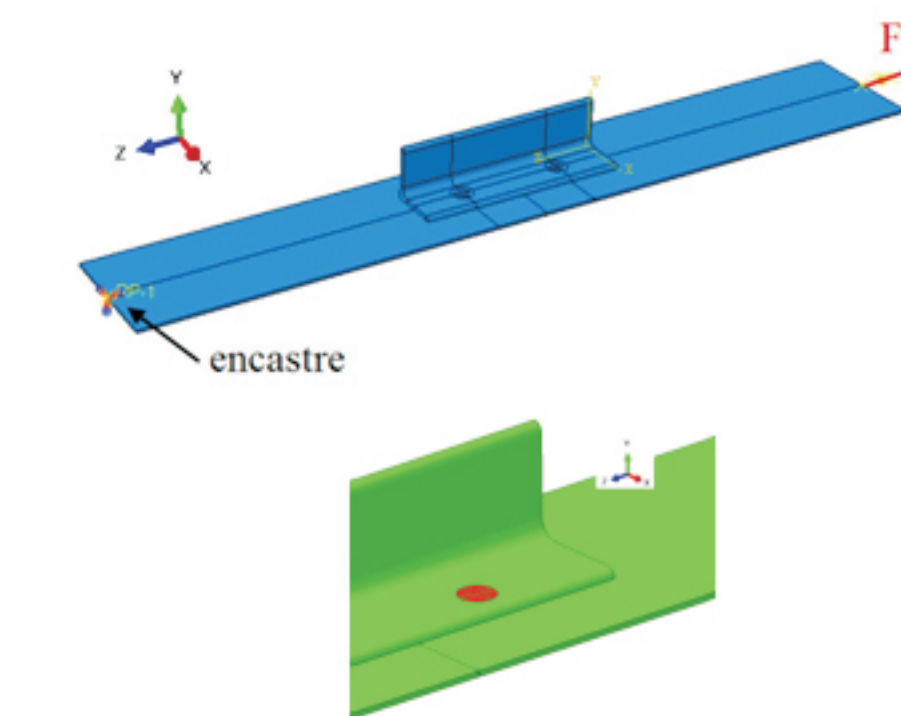
W celu dokładnego określenia jakiego rodzaju naprężenia biorą udział w uszkodzaniu zgrzeźni, wykonano model 3D w programie Solid Works. W tym przypadku posłużono się wcześniej przeprowadzonymi pomiarami na mikroskopie, tak aby wiernie odwzorować zgrzeźnię. W modelu uwzględniono strefę przetopu oraz odształcenia kątownika i blach w miejscu zgrzeźni.



In order to accurately determine what kind of stresses are involved in the damage process, a 3D model was made in SolidWorks program. In this case, earlier measurements carried out on the microscope were used in order to realistically weld reproduce. The model takes into account the melting zone as well as the deformation of angle bar and sheets in the place of spot weld.

Model został obciążony siłą 1750N i po jego przeliczeniu, analizie poddano przekrój zgrzeźni pokazanej na rysunku, który doznaje uszkodzenia jako I model.

The model was loaded by axial force with value of 1750N and after numerical calculations, the analysis of spot weld cross - section which sustain damage as I model, was made.



Rozkłady naprężeń normalnych S11, S22, S33 oraz stycznych S12, S13 i S23. The fields show for normal S11, S22, S33 and shear stresses S12, S13, S23.

Wyniki badań

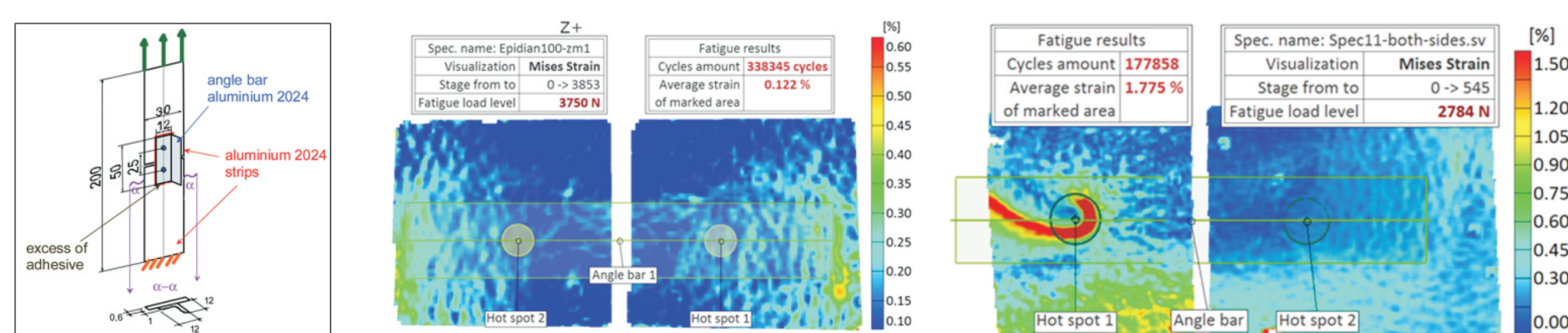
Results

Opracowanie technologii wykonania złączy zgrzewano-klejowych z zastosowaniem żywicy EPIDIAN 100

Elaboration of technology of spot welded-adhesive joints manufacturing with application of EPIDAIN 100

Tematem zrealizowanych prac było opracowanie technologii wykonania złączy zgrzewano-klejowych z użyciem żywicy epoksydowej Epidian-100, produkowanej przez Zakłady Chemiczne „Organika-Sarżyna”. Następnie dokonano pomiarów nośności statycznej i zmęczeniowej połączeń, zarówno w warunkach podwyższonej/obniżonej temperatury, jak również poddanych szokom termicznym. W każdym z badań wykorzystano technikę cyfrowej korelacji obrazów, co umożliwiło śledzenie pól odształceń i naprężeń, a w konsekwencji identyfikację modeli zniszczenia złączy. Dokonano porównania wyników z poprzednio uzyskanymi dla kleju „Epodur”.

The subject of the present work was developing a technology of hybrid joints, using epoxy resin Epidian- 100, manufactured by “Organika-Sarżyna” Chemical Plant. Measurements of both static and fatigue load capacity of these joints was performed in high/low temperatures, as well as after thermal shocks. The Digital Image Correlation method has been used for all of these tests, enabling to track the strain and stress fields and to identify damage models for the connections as a result. A comparison was carried out with the results previously obtained for Epodur adhesive.



Wymiary i kształt próbki
Size and shape of the specimen

Odształcenia zredukowane Hubera-Misesa dla próbki z Epodurem podczas próby zmęczeniowej
Von Mises strain in a specimen containing Epodur during a fatigue test

Odształcenia zredukowane Hubera-Misesa dla próbki z Epidianem-100 podczas próby zmęczeniowej
Von Mises strain in a specimen containing Epidian-100 adhesive during a fatigue test

Wnioski

Conclusions

Z analizy powyższych wyników płyną następujące wnioski. Pola naprężeń zredukowanych Misesa nie są symetryczne względem osi podłużnej z. Maksymalne wartości dominują od strony ramienia kątownika. Najniższe wartości osiągają naprężenia styczne S12 będące w zakresie -38,4MPa do 58,96MPa. Najwyższe wartości (211MPa) osiągają naprężenia styczne S23 i są one zlokalizowane w środku ciężkości zgrzeźni. Na obwodzie ich wartości są na poziomie 160MPa. Ekstremalne wartości naprężeń normalnych również występują na obwodzie, są niesymetryczne i można powiedzieć, że bardziej wyężony jest obszar od strony ramienia kątownika. Maksymalne wartości osiągają naprężenia S33 czyli wzdłuż kierunku działania obciążenia i są one w zakresie od -254,2MPa do 333,3MPa.

The following conclusions flow from the above results. The reduced Mises stresses fields are not symmetrical with respect to the longitudinal z axis. The maximum values dominated by side of the arm of the angle bar. The lowest values reaches the shear stresses S12 that are in the range from -38,4 MPa to 58,96 MPa. The highest values (211 MPa) reaches the shear stresses S23 which are located in the centre of gravity of the weld. On the circumference, this stresses reaches values at the level of 160 MPa. The extreme values of normal stresses are also present on the circumference, there are symmetrical and it can be said, that the most efforted place is in range of the arm of the angle bar. The maximum values reaches S33 stresses which are acting along the load direction and are in the range from -254.2 MPa to 333.3 MPa.

Wyniki badań

Results

Zginane cienkościennie belki skrzynkowe łączone hybrydowo przy użyciu kleju i nitów Thin-walled box beams with hybrid joints, composed of adhesive and rivets, subjected to three point bending

Celem analizy było wyznaczenie procesu odształcenia cienkościennych aluminiowych belek skrzynkowych łączonych hybrydowo klejem i nitami pod wpływem skoncentrowanych przemieszczeń przy trójpunktowym zginaniu. Analizę wykonano na modelach o długości 30cm, składających się z aluminiowych elementów połączonych za pomocą kleju i różnych ilości nitów.

Wnioski

Conclusions

- Rozkłady sił dla różnych ilości nitów mają podobne charaktery, a ich wartości są zbliżone. Oznacza to, że warstwa kleju ma decydujący wpływ na zachowanie się złącza.
- Przy liczbie nitów n=5 i n=4 deformacja próbki ma podobny charakter jak dla próbek jednolitych
- Wartości sił dla połączenia hybrydowego i połączenia wyłącznie klejowego są zbliżone.

- Force distributions for various amounts of the rivets have similar characters and their values are similar. It means that the adhesive layer have the most influence on the joint response.
- When the number of rivets is equal to n = 5 and n = 4 deformation of the specimens has a similar character to joined by the adhesive layer only.

Wskaźniki realizacji celów projektu

Indicators of the project

Referaty:

- B.Puchowski: Wyniki badań oraz demonstrator zostały zaprezentowane podczas **Tagrów Kompozytowych Krakowie**. Prezentacja praktyczna urządzenia w: Sunreef Yacht, Rega Yachts, G Composites, Galeon

Publikacje:

- T. Sadowski, M. Kneć, P. Golewski, **Spot welding-adhesive but joints: modeling and testing**. Journal of Adhesion, Volume 90, Issue 4, 2014,
- T. Sadowski, M. Kneć, P. Golewski, **Fatigue response of the hybrid joints obtained by hot spot welding and bonding techniques**, Key Engineering Materials, DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.601.25
- T. Sadowski, M. Kneć, P. Golewski, **Rapid determination of spot welding-adhesive joint fatigue life using full field strain evolution**. (The 3rd International Conference of competitive materials and technology processes, Miskolc, Hungary October 2014)
- T. Sadowski, M. Nowicki, D. Pietras, P. Golewski, **Description of deformation process of the thin-walled aluminum-adhesive joint with omega cross section subjected to bending**, w recenzji
- T. Sadowski, P. Golewski, **The influence of geometrical parameters in socket - pin connections on the value of opening force**, w recenzji
- T. Sadowski, P. Golewski, **Skew bending of aircraft fuselage panels with "L" and "C" stringers mounted by hybrid joint**, w recenzji
- T. Sadowski, T. Balawender, P. Golewski, **Technological Aspects of Manufacturing and Numerical Modelling of Clinch-Adhesive Joints**, (book, Springer Verlag, in print — 2015)

Prace mgr, dr, hab.

Praca doktorska

Tytuł: **Wydajniejsze wykonywanie połączeń przy pomocy spoiwa termoutwardzalnego i zastosowaniu technologii FCS**
Autor: mgr inż. Bartosz Puchowski
Promotor: prof. Piotr Doerffer
Status: Przewód w realizacji

Zgłoszenia patentowe
Zgłoszenie patentowe nr. P. 409065