

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

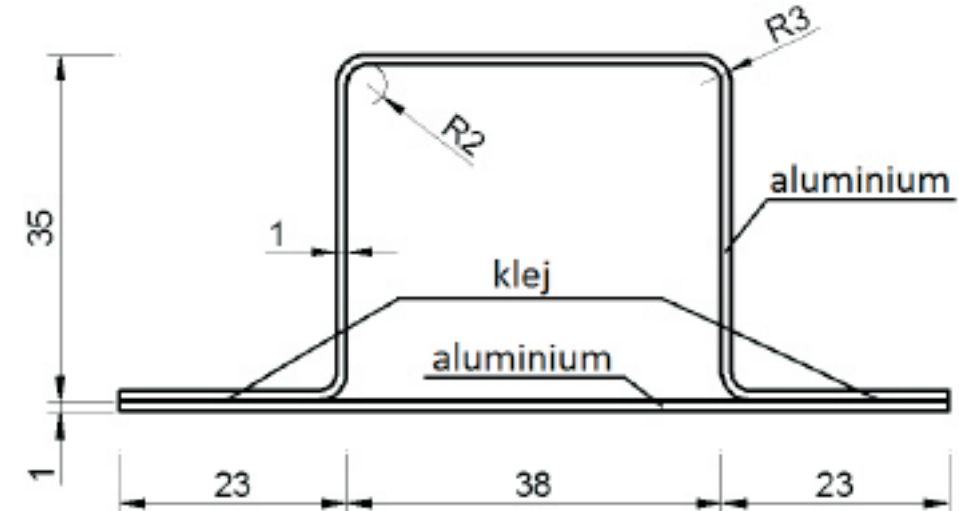
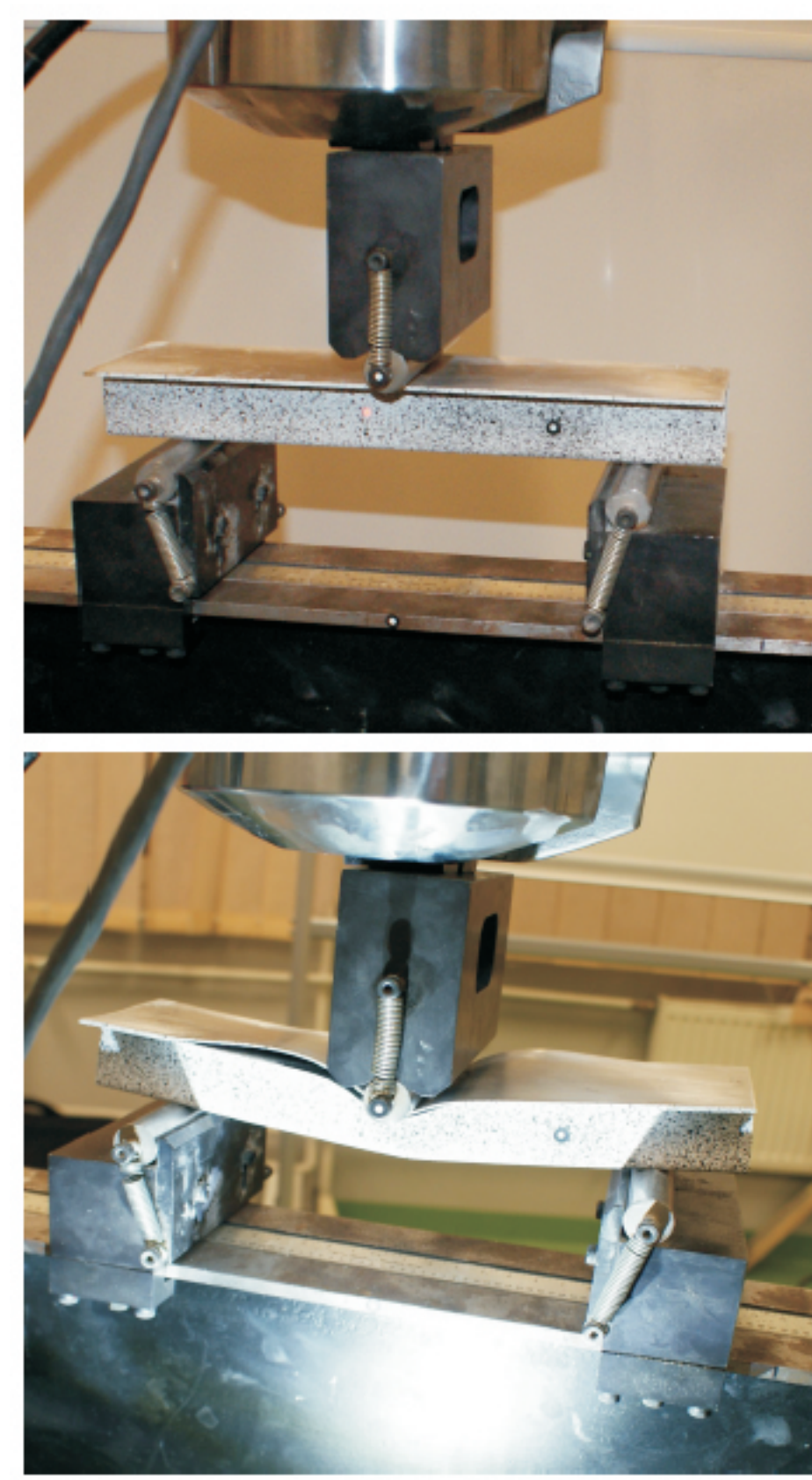
Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Częstochowska, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

Wyniki badań Results

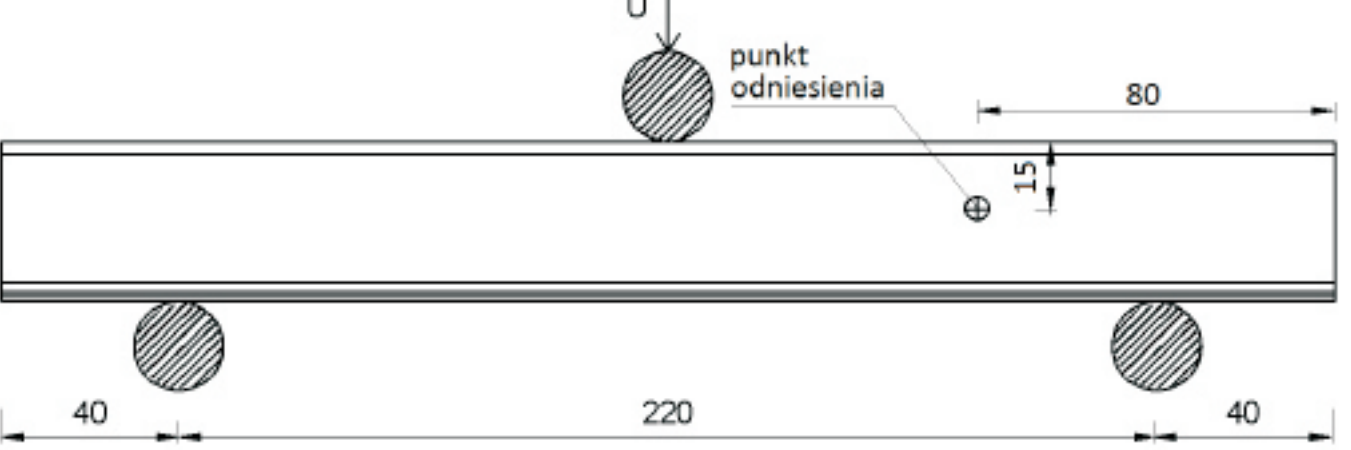
Cienkościene klejone profile aluminiowe trójpunktowo zginane Adhesively bonded, thin-walled aluminium profiles - 3-point bending loading

Tematem wykonanych analiz było wyznaczenie procesu odkształcenia cienkościennego klejonego profilu aluminiowego pod wpływem skoncentrowanych przemieszczeń przy trójpunktowym zginaniu. Analizę wykonano na przykładzie próbki o długości 30 cm, składającej się z aluminiowych elementów połączonych za pomocą czterech rodzajów klejów.

The aim of the analyzes was to determine the deformation process of adhesively bonded, thin-walled aluminium profile under the three-point bending. The analysis was made on the specimens with a length of 30 cm, consisting of aluminium parts connected by means of four types of adhesives.

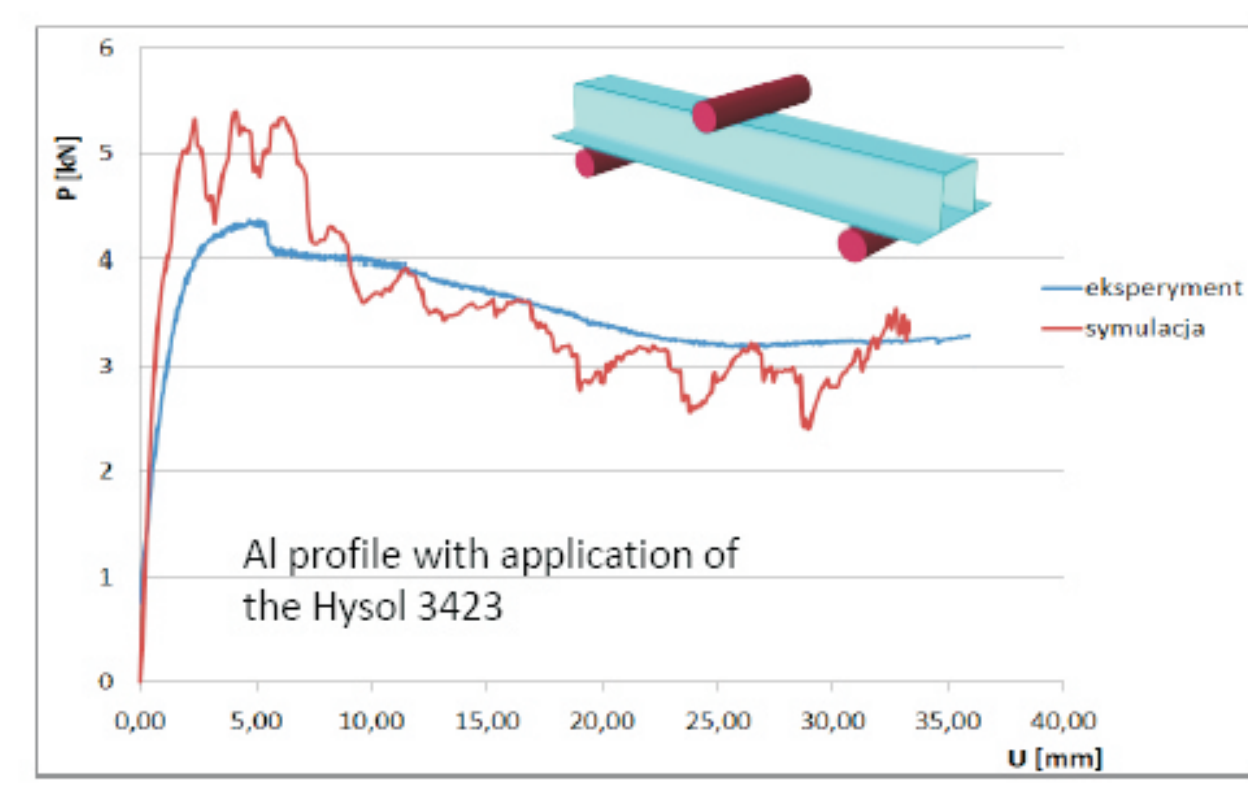
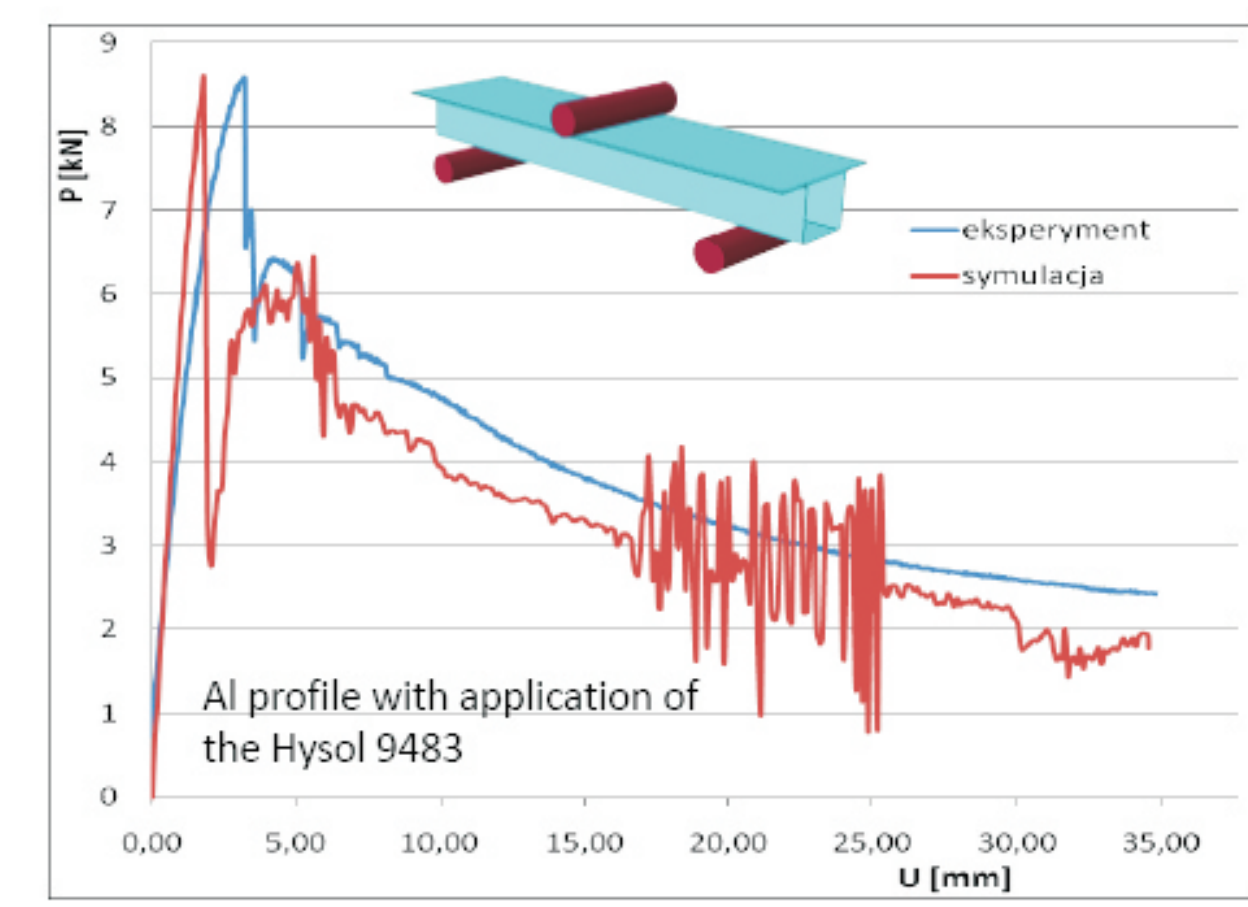
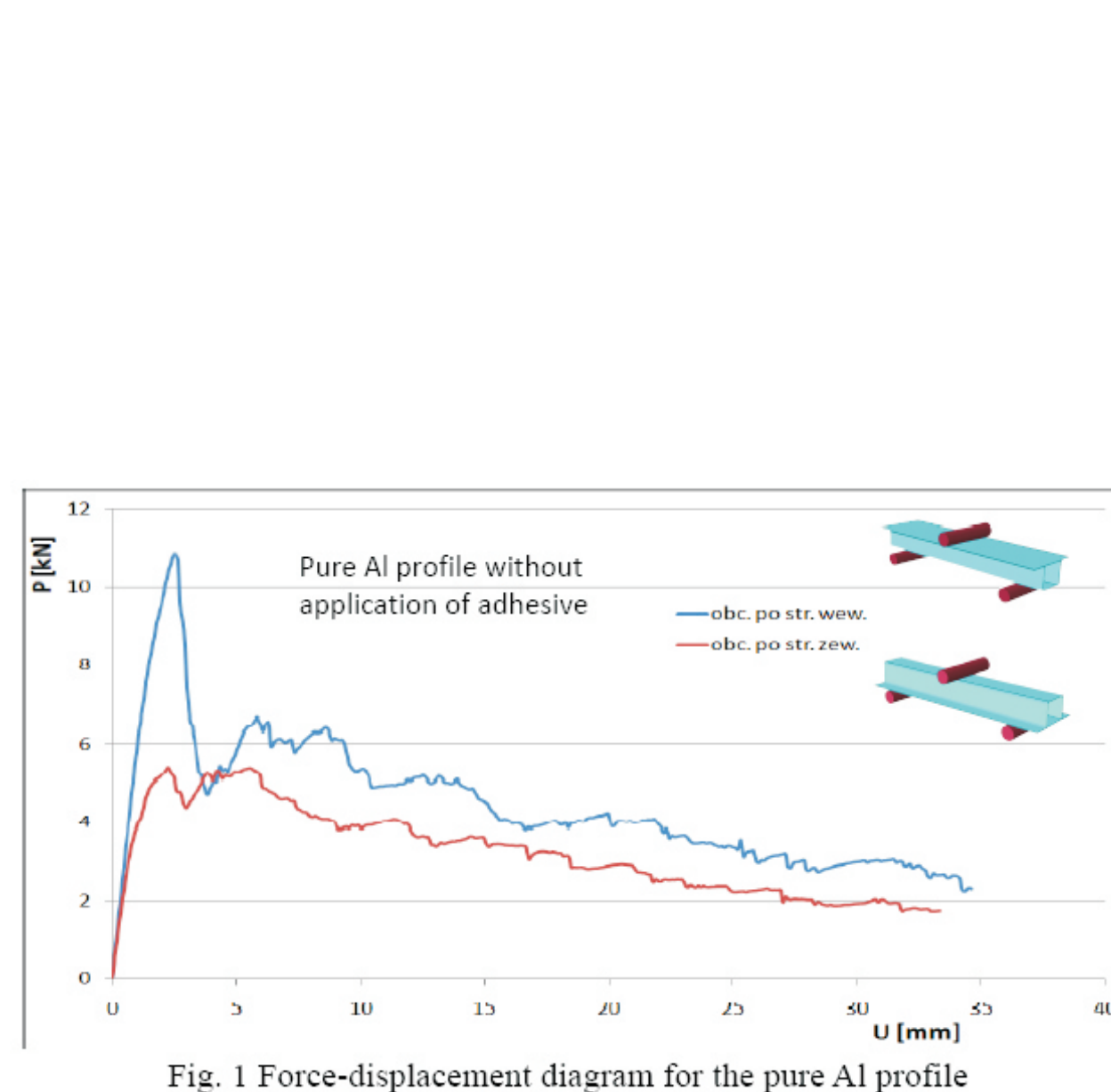
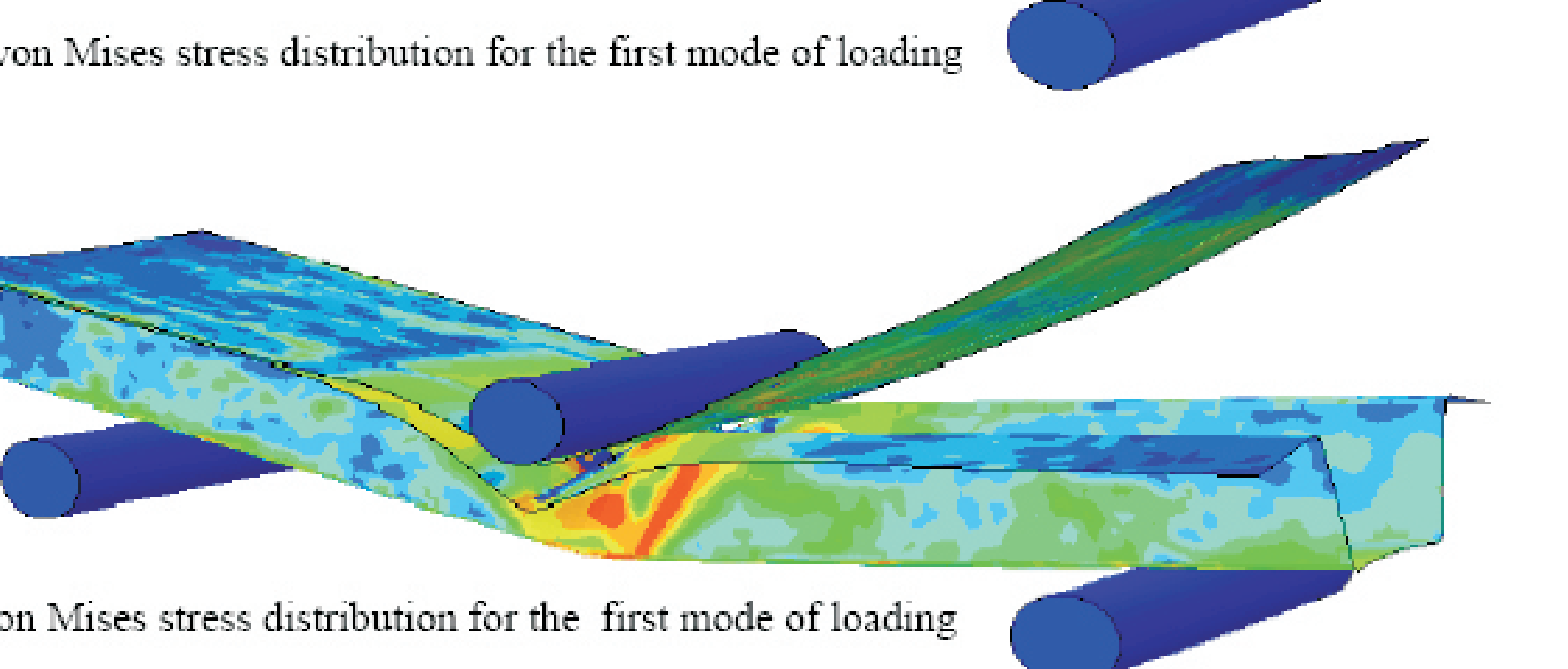
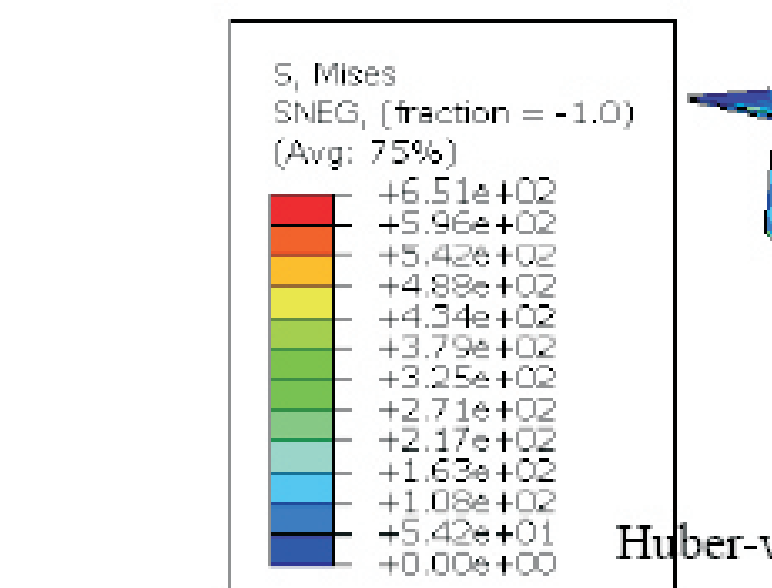
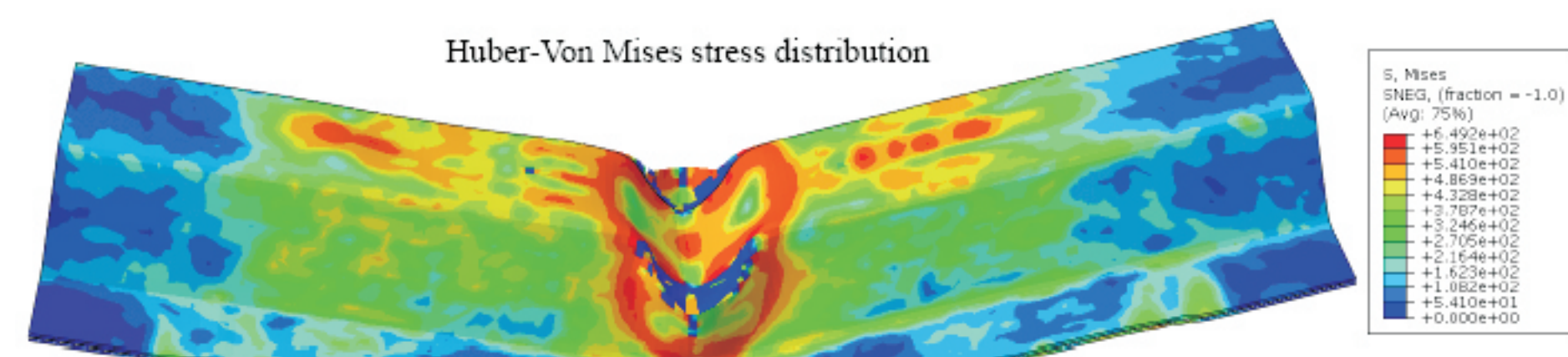


Cechy wspólne analizowanych próbek to ich wymiary oraz materiał elementów składowych - aluminium 7075. Do połączenia aluminiowych profili użyto czterech różnych warstw kohezyjnych, łączących te elementy na powierzchni ich styku równej 120 cm².



Łączenie zostało przeanalizowanych osiem rodzajów modeli, różniących się warstwą kohezijną oraz położeniem profilu przy trójpunktowym zginaniu (obciążenie po stronie wewnętrznej lub zewnętrznej)

parametry klejów	hysol 9514	hysol 9466	hysol 3423	hysol 9483
wytrż. na rozciąganie [MPa]	44.0	43.2	24.0	47.0
wytrż. na ścinanie [MPa]	45.0	26.0	10.5	10.0
energia zniszczenia [J/cm ²]	995	490	600	300
wsp. lepkości [Pa·s]	42	32	250	11



Wnioski Conclusions

- Po przeprowadzonej analizie stwierdzono, że:
 - Większe siły występują przy obciążeniu profilu omega po stronie wewnętrznej o około 60%.
 - Przy obciążeniu próbki od strony zewnętrznej siła zależy głównie od profilu. Wpływ kleju na siłę jest niewielki.
 - Warstwa kohezynna ulega degradacji szybciej przy układzie z obciążeniem po stronie wewnętrznej profilu. Przy układzie odwrotnym uszkodzenie warstwy kohezynnej zależy od wytrzymałości zastosowanego kleju.
 - Przy założeniu jednolitego profilu siły maksymalne są większe niż w przypadku profili klejonych o około 20% (obc. od str. wew.) i zbliżone (obc. od str. zew.) 0% różnicy.

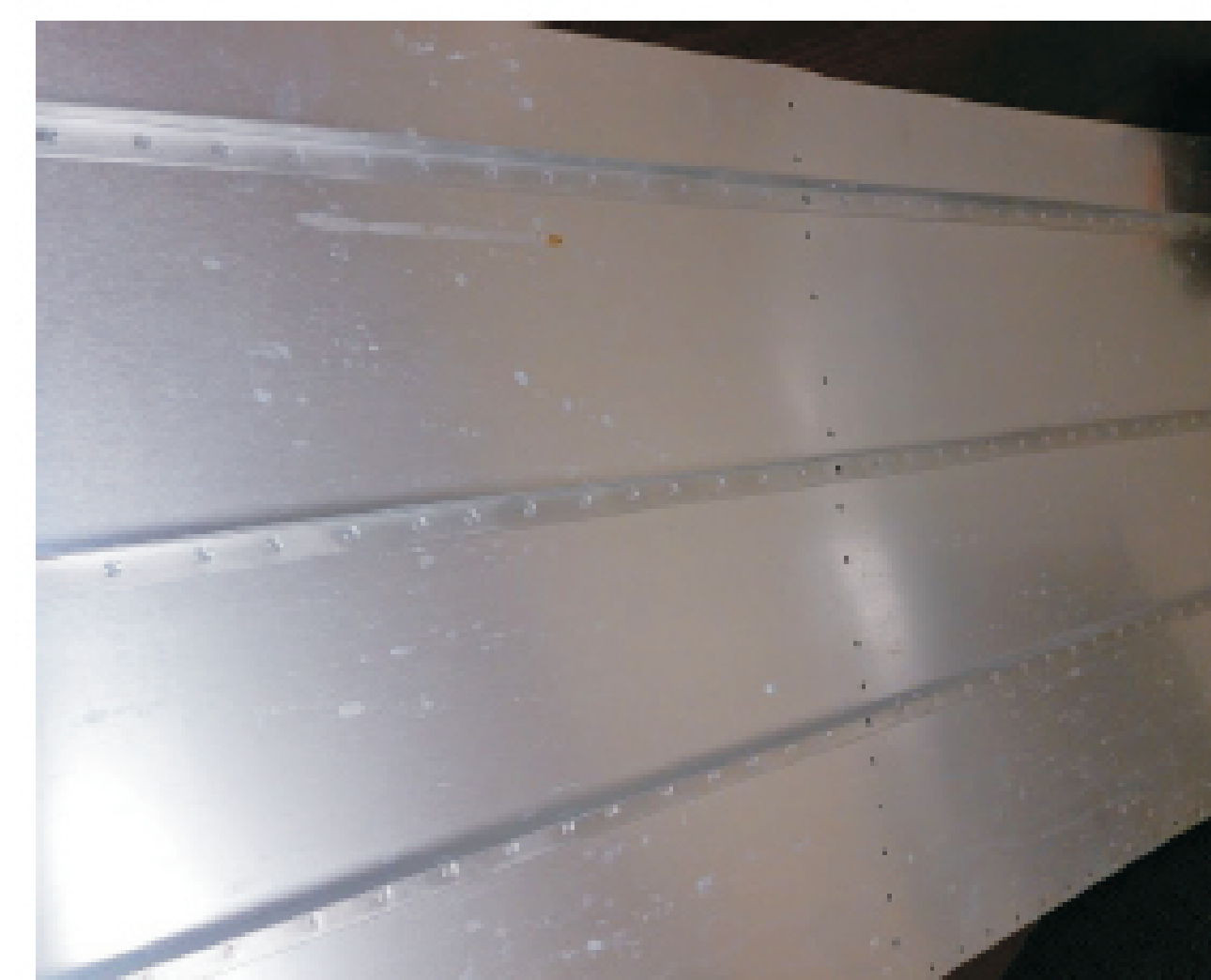
- The values of currying were reached for the first mode of loading—about 60%.
- The currying force for the first loading configuration depends on the profile shape. The adhesive influence is negligible.
- Degradation process the adhesive layer is for the first loading mode and depends on the type of adhesive.
- In case of pure Al profile the currying force are about 20% for the first mode of loading and equal to for the second mode of loading (0% difference).

Wyniki badań Results

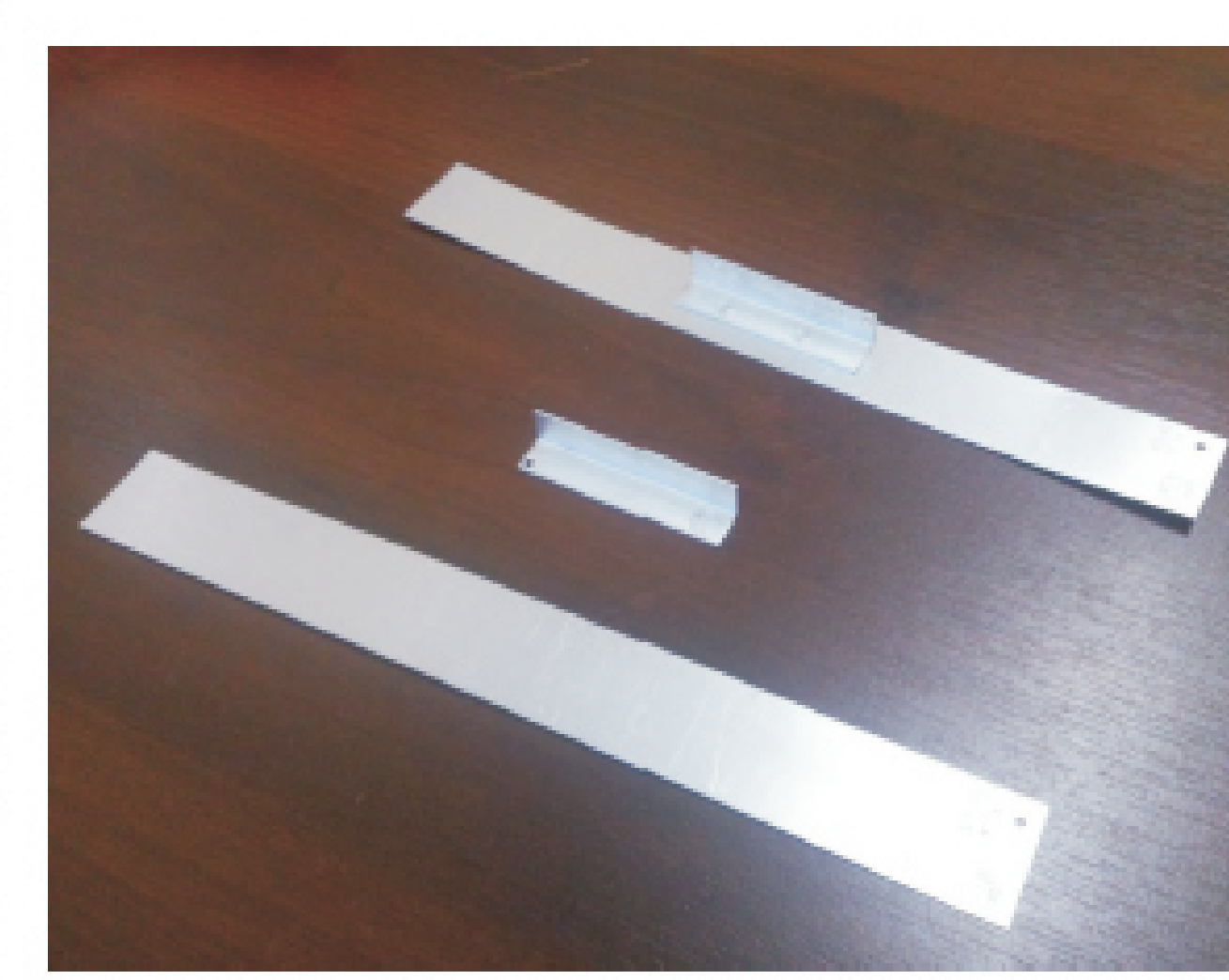
Przyspieszenie procesu wykonywania złączy zgrzewano-klejonych The solution to decrease time of manufacturing of Hot-Spot Welding + adhesive bonded joint

Głównym celem przeprowadzonych badań było znalezienie rozwiązania komercyjnego pozwalającego na przyspieszenie procesu wykonywania złączy zgrzewano-klejonych do zastosowań w PZL Mielec.

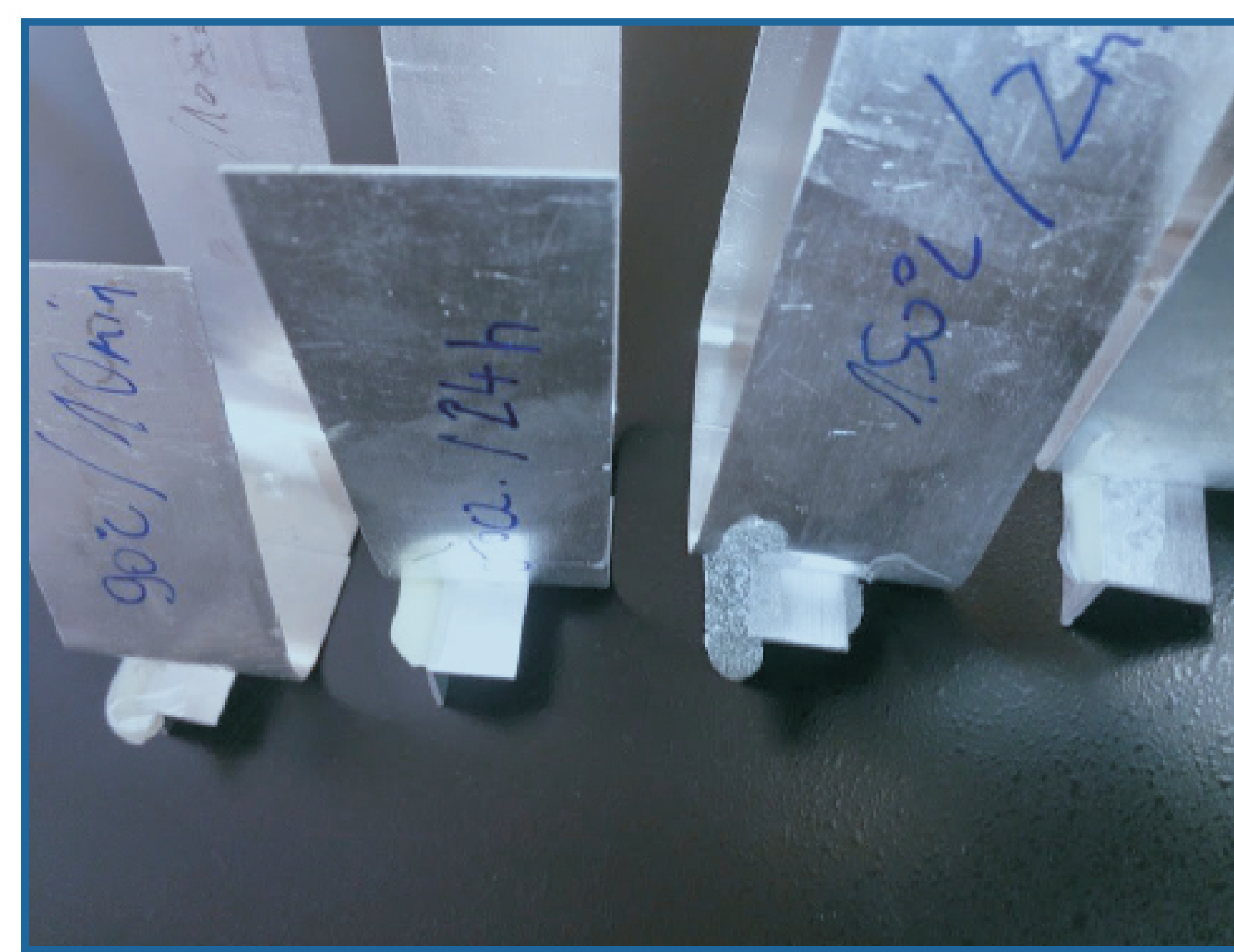
The main objective of performed experiment was finding the commercial solution to decrease time of manufacturing of Hot-Spot Welded + adhesively bonded joint used in PZL Mielec factory.



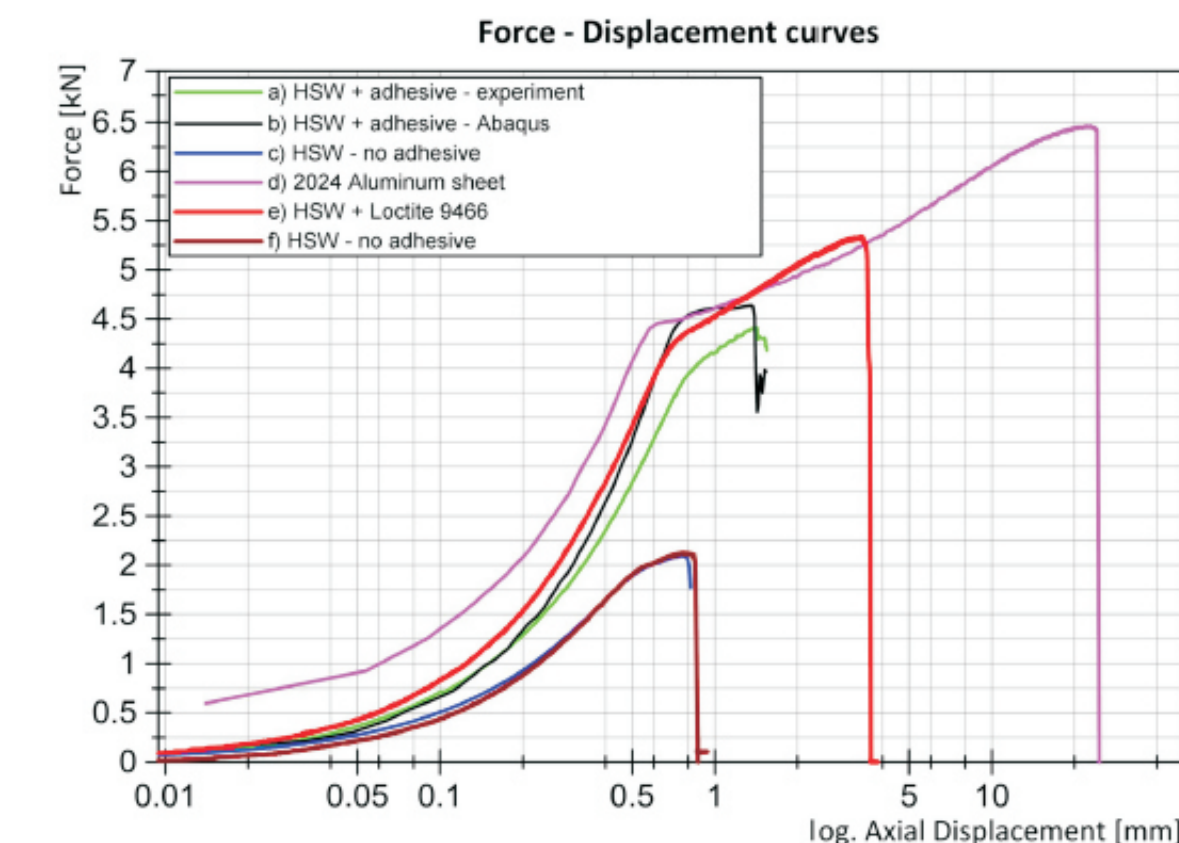
Element poszycia samolotu
Skin plating of the airplane



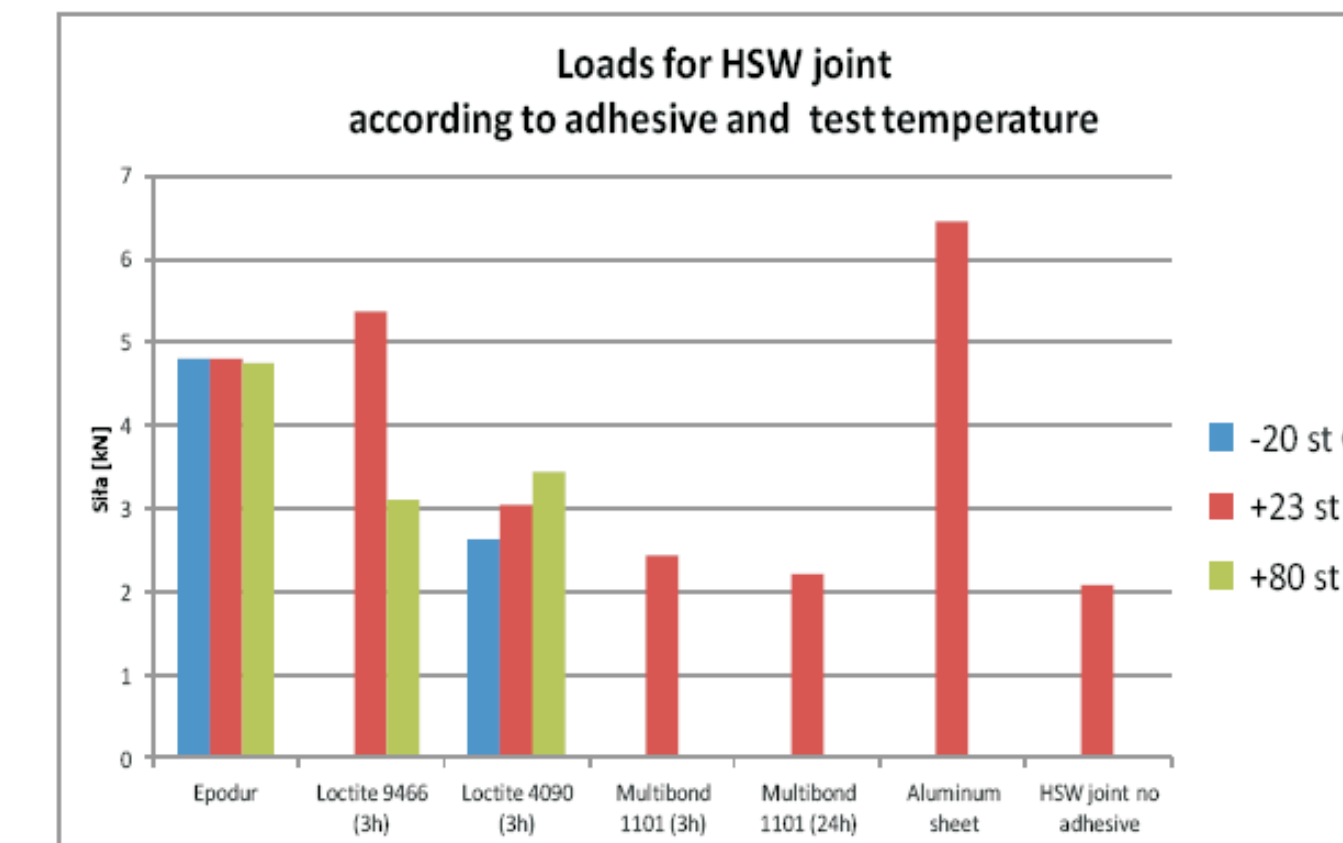
Części próbki
Specimen parts



Próby penetracji klejem dla różnych klejów i temperatur
Adhesives—temperatures penetration investigation



Wykresy siła przemieszczenia
Force-Displacement curves



Wart. sil dla różnych klejów
Loads for different adhesives

Powyższy wykres prezentuje wybrane kleje i wartości sił jakie zostały osiągnięte dla klejów różnego typu oraz różnych producentów. W nawiasach podano również czas po ilu godzinach od zalania klejem przeprowadzono testy. Above plot represents selected adhesives and force results achieved for an adhesives of different types and brands. Time after adhesive penetration are given in the brackets. These joints were tested in tensile tests.

Wnioski Conclusions

Obecna procedura stosowana w PZL Mielec z wykorzystaniem kleju Epodur jest rozwiązaniem sprawdzonym i działającym, ale długotrwałym. Element jest gotowy do montażu na samolocie dopiero po 28 godzinach. W ramach opisywanej tu pracy podjęto próbę znalezienia kleju który będzie nie gorszy pod kątem wytrzymałościowym w zakresie temperatur pracy: -40 do +70°C, ale który pozwoli na dużo szybsze osiągnięcie pełnej nośności złącza

Current procedure used in PZL Mielec in help with Epodur adhesive is solution already examined and working but requires long time for final manufacture. Manufactured part is ready for mounting after 28h. According to described procedure we tried to find an adhesive at least as good as Epodur in range of temperature (-40 up to +70°C) but with distinctly shorter time to achieve full load capacity of a joint.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty

- Tomasz Sadowski, Marcin Kneć, Przemysław Golewski, *Fatigue response of the hybrid joints obtained by hot spot welding and bonding techniques*, ARTENS 2013, 23 – 25 maj, Timisoara

Publikacje

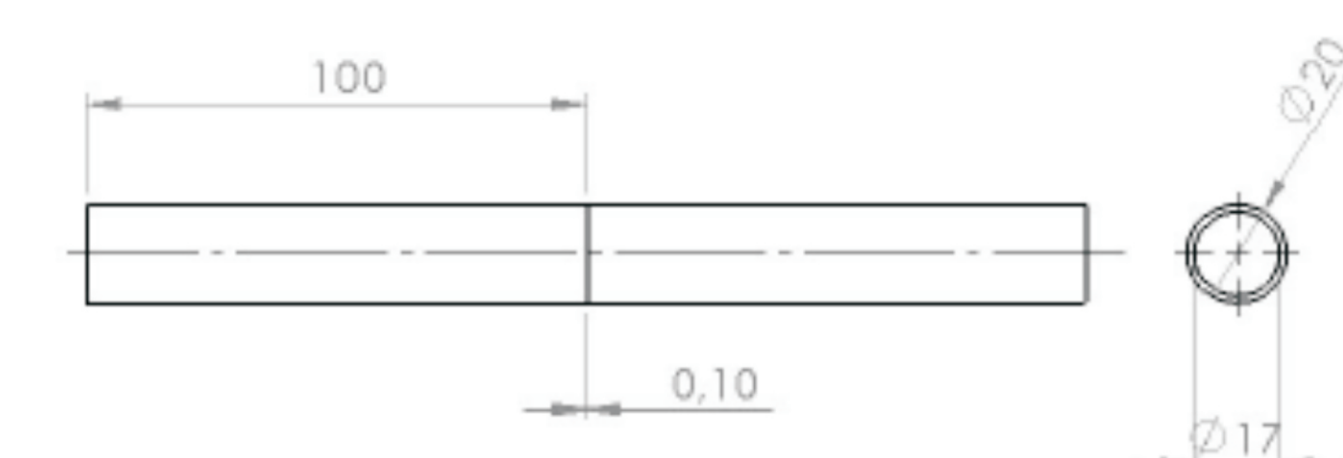
- T. Sadowski, T. Balawender R. Śliwa, P. Golewski, M. Kneć, *Modern hybrid joints in aerospace: modelling and testing*, Archives of Metallurgy and Materials, Volume 58, 163 – 169 (2013),
- T. Sadowski, P. Golewski, *Numerical study of the prestressed connectors and their distribution on the strength of a single lap, a double lap and hybrid joints subjected to uniaxial tensile test*, Archives of Metallurgy and Materials, Volume 58, 581 – 587 (2013),
- T. Sadowski, M. Kneć, P. Golewski, *Spot welding-adhesive but joints: modelling and testing*, Journal of Adhesion, Volume 90, Issue 4, 2014,
- T. Sadowski, P. Golewski, *Effect of Tolerance in the Fitting of Rivets in the Holes of Double Lap Joints Subjected to Uniaxial Tension*, Key Engineering Materials Vol. 607 (2014)
- T. Sadowski, M. Kneć, P. Golewski, *Fatigue response of the hybrid joints obtained by hot spot welding and bonding techniques*, Key Engineering Materials, 601, 25

Wyniki badań Results

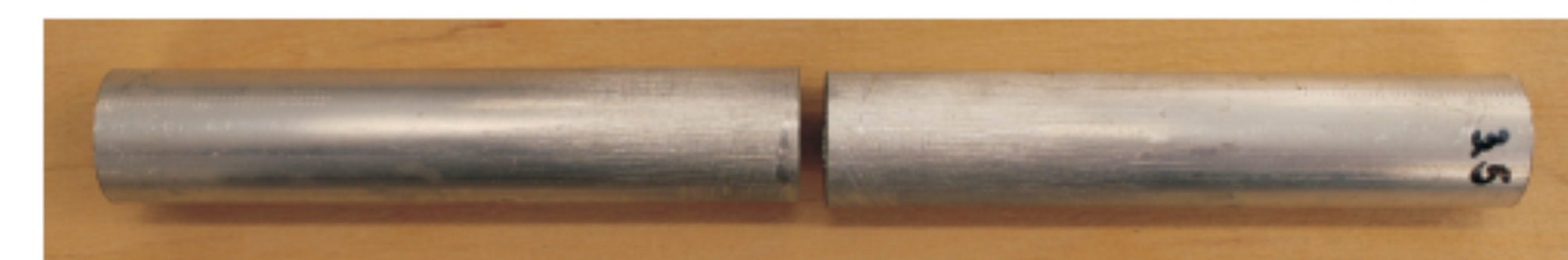
Wyznaczenie maksymalnych naprężeń stycznych powodujących zniszczenia podczas skręcania Determination of maximum shear stresses causing the destruction of the adhesive layer during torsion tests

Celem przeprowadzonych badań było doświadczalne wyznaczenie maksymalnych naprężeń stycznych powodujących zniszczenia warstwy klejowej podczas skręcania. Rozpatrywanych było pięć gatunków klejów: 3 epoksydowe (dwuskładnikowe), cyjanoakrylowy oraz hybrydowy.

The aim of his study was to determine in torsion tests, the maximum shear stresses causing the destruction of the adhesive layer. Five adhesive species were considered: 3 species of epoxy (two component), cyanoacrylate and hybrid.



Wymiary próbki pokazano na rysunku, materiał rurek – aluminium

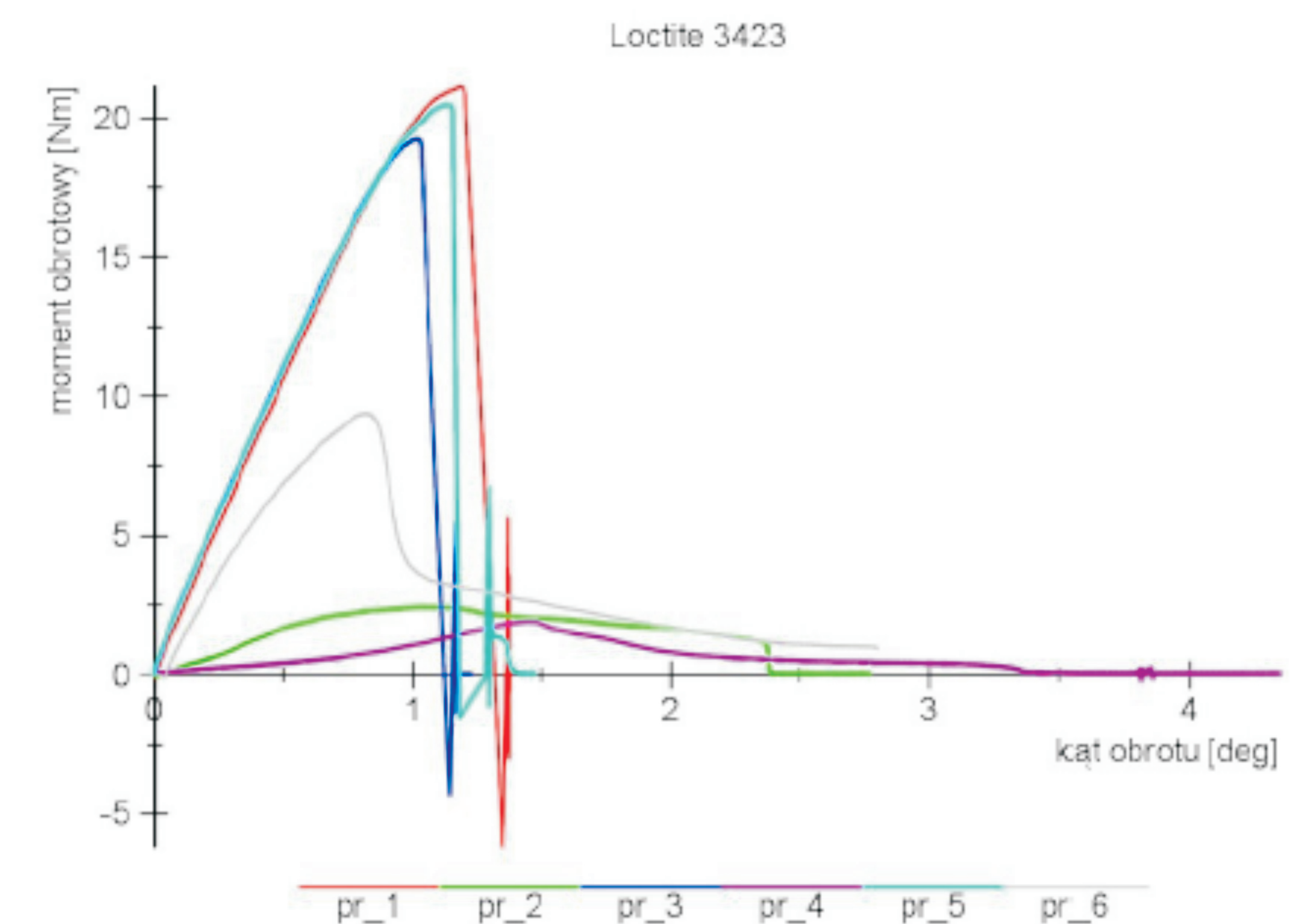


Poniżej zestawiono nazwy handlowe stosowanych klejów"
Klej Nr. 1—Poxipol,
Klej Nr. 2—Bondini Plus,
Klej Nr. 3—Loctite 3423 Hysol,
Klej Nr. 4—Soudal Fixall Ultra,
Klej Nr. 5—Dragon

Istotnym zagadnieniem podczas przeprowadzania testu skręcania było utrzymywanie zerowej wartości siły osiowej, która by mogła powodować powstawanie złożonego stanu naprężenia.

An important issue during the torsion test was to keep zero axial force, which would be able to cause the formation a complex stress state.

Nr.	średnica rurki zew. (1)	średnica rurki wew. (1)	średnica rurki zew. (2)	średnica rurki wew. (2)	średnica średnica D	średnica średnica d	Moment biegunowy J _x	Wskaźnik W ₀	Moment skręcający M _s	Max. naprężenia styczne	średnia odchylenie standardowe	odchylenie standardowe	Procent względne odchylenie standardowe (RDS%)
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm ⁴]	[mm ³]	[Nm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
1.1	19.98	16.85	19.19	16.88	19.59	16.87	6501.94	663.97	14.44	21.748			
1.2	19.98	16.85	19.19	16.88	19.59	16.87	6501.94	663.97	28.93	43.671			
1.3	19.98	16.79	19.97	16.82	19.08	16.81	7799.71	780.95	28.77	36.840			
1.4	19.97	16.9	19.97	16.82	19.97	16.98	7681.06	769.26	3.46	4.488	27.64	13.78	49.87
1.5	19.97	16.86	19.99	16.89	19.98	16.88	7684.09	769.19	25.91	33.685			
1.6	19.97	16.86	19.99	16.89	19.98	16.88	7684.09	769.19	19.61	25.495			
2.1	20	16.8	19.99	16.89	20.00	16.85	7787.59	778.95	18.73	24.045			
2.2	19.99	16.83	19.97	16.87	19.98	16.85	7731.16	773.89	19.02	24.577			
2.3	19.97	16.81	19.99	16.85	19.98	16.83	7768.67	777.64	12.35	15.881	20.85	5.71	27.41
2.4	20	16.8	19.99	16.89	20.00	16.85	7787.59	778.95	22.47	28.846			
2.5	19.97	16.88	19.96	16.88	19.97	16.88	7627.72	764.11	11.67	15.273			
2.6	19.97	16.88	19.96	16.88	19.97	16.88	7627.72	764.11	12.57	16.451			
3.1	19.94	16.81	19.96	16.84	19.95	16.83	7684.27	770.35	21.11	27.403			
3.2	20	17.89	20	17.75	20.00	17.52	5808.07	580.81	2.44	4.201			
3.3	19.97	16.92	19.98	16.89	19.98	16.91	7611.67	762.12	19.25	25.272	16.41	11.57	70.47
3.4	19.98	16.86	19.96	16.88	19.97	16.87	7692.22	767.37	1.93	2.515			
3.5	19.95	16.88	19.95	16.86	19.95	16.87	7696.77	761.88	20.48	28.881			
3.6	19.94	16.81	19.96	16.84	19.95	16.83	7684.27	770.35	9.4	12.202			
4.1	19.97	16.88	19.98	16.87	19.98	16.88	7668.44	767.80	2.36	3.074			
4.2	20.04	17.85	20.03	17.89	20.04	17.87	5806.73	579.66	0.34	0.587			
4.3	19.97	16.88	19.97	16.88	19.97	16.88	7643.35	765.48	1.9	2.452			
4.4	19.94	16.86	19.97	16.89	19.96	16.88	7605.93	762.31	19.2	25.187	5.92	9.47	159.96
4.5	19.98	16.78	20	16.87	19.99	16.83	7809.37	781.33	1.87	2.393			
4.6	20.06	17.89	20.03	17.89	20.05	17.89	5793.44	578.04	1.05	1.816			
5.1	19.98	16.86	19.98	16.89	19.98	16.88	7684.09	769.19	6.94	9.023			
5.2	20.03	17.84	20.05	17.94	20.04	17.89	5777.63	576.61	1.83	3.174			
5.3	19.91	16.83	19.98	16.69	19.95	16.76	7786.56	781.10	4.67	6.363	6.24	3.04	48.70
5.4	19.97	16.37	19.92	16.8	19.95	16.59	8108.06	813.04	6.9	8.487			
5.5	19.95	16.3	19.95	16.8	19.95	16.55	8186.15	820.67	1.56	1.901			
5.6	19.94	16.83	19.97	16.55	19.95	16.99	7949.34	796.73	6.79	8.522			



Wnioski Conclusions

Analizując przebieg siły normalnej podczas testów skręcania, można stwierdzić, że w znacznej większości przypadków była ona prawidłowo utrzymywana na zerowym poziomie. W niektórych przypadkach, jeszcze przed zniszczeniem połączenia klejowego, pojawiały się fluktuacje siły normalnej na poziomie ±10N co odpowiada naprężeniom rzędu 0,1MPa. W wyniku badań otrzymano wartości krytycznych naprężeń stycznych prowadzących do zniszczenia połączenia klejowego przy skręcaniu. Otrzymane wartości mogą posłużyć do modelowania uszkodzenia w programie Abaqus.

By analyzing the normal force during torsion test, we can conclude that in the vast majority of cases it was properly maintained at zero. In some cases, before the destruction of the adhesive layer, there were normal force fluctuations of ±10N which corresponds to range of 0,1 MPa. As a results of torsion tests, the values of critical shear stress leading to the destruction of the adhesive layer were obtained. This values can be used for damage modeling in Abaqus program.