

# 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

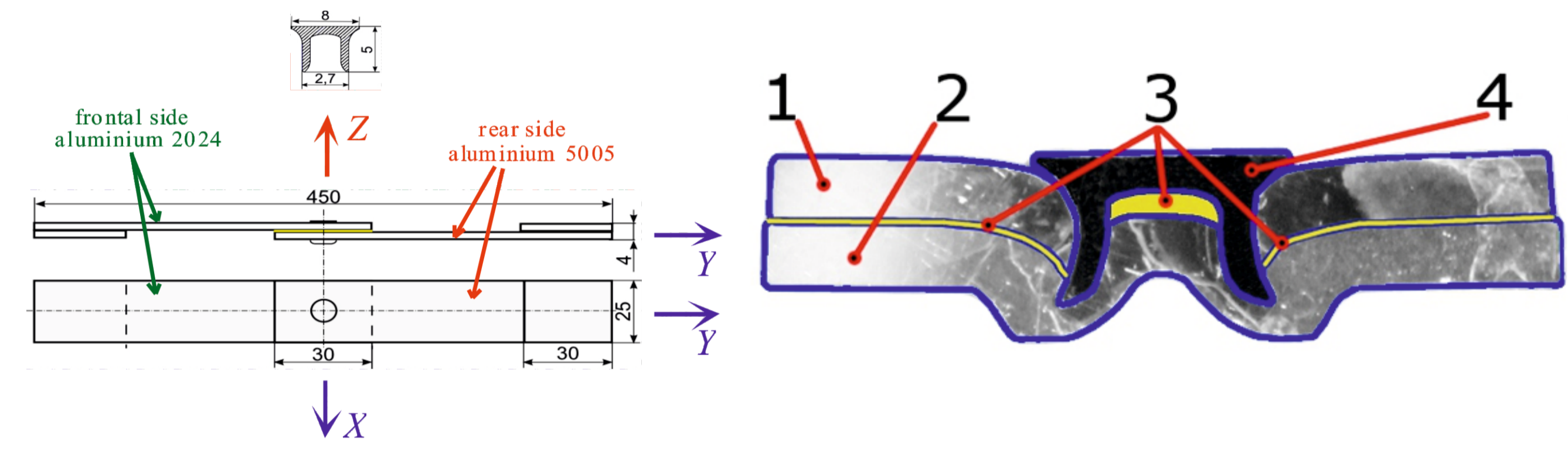
Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Częstochowska, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

#### Wyniki badań Results

Zastosowanie techniki DIC do obserwacji procesu deformacji hybrydowych połączeń typu SPR  
Application of DIC technique for monitoring of deformation process of SPR hybrid joints

Celem przeprowadzonych badań było określenie strefy odkształcenia materiału wokół łba nitu w trakcie i po procesie przebijania nitem dla połączeń SPR.

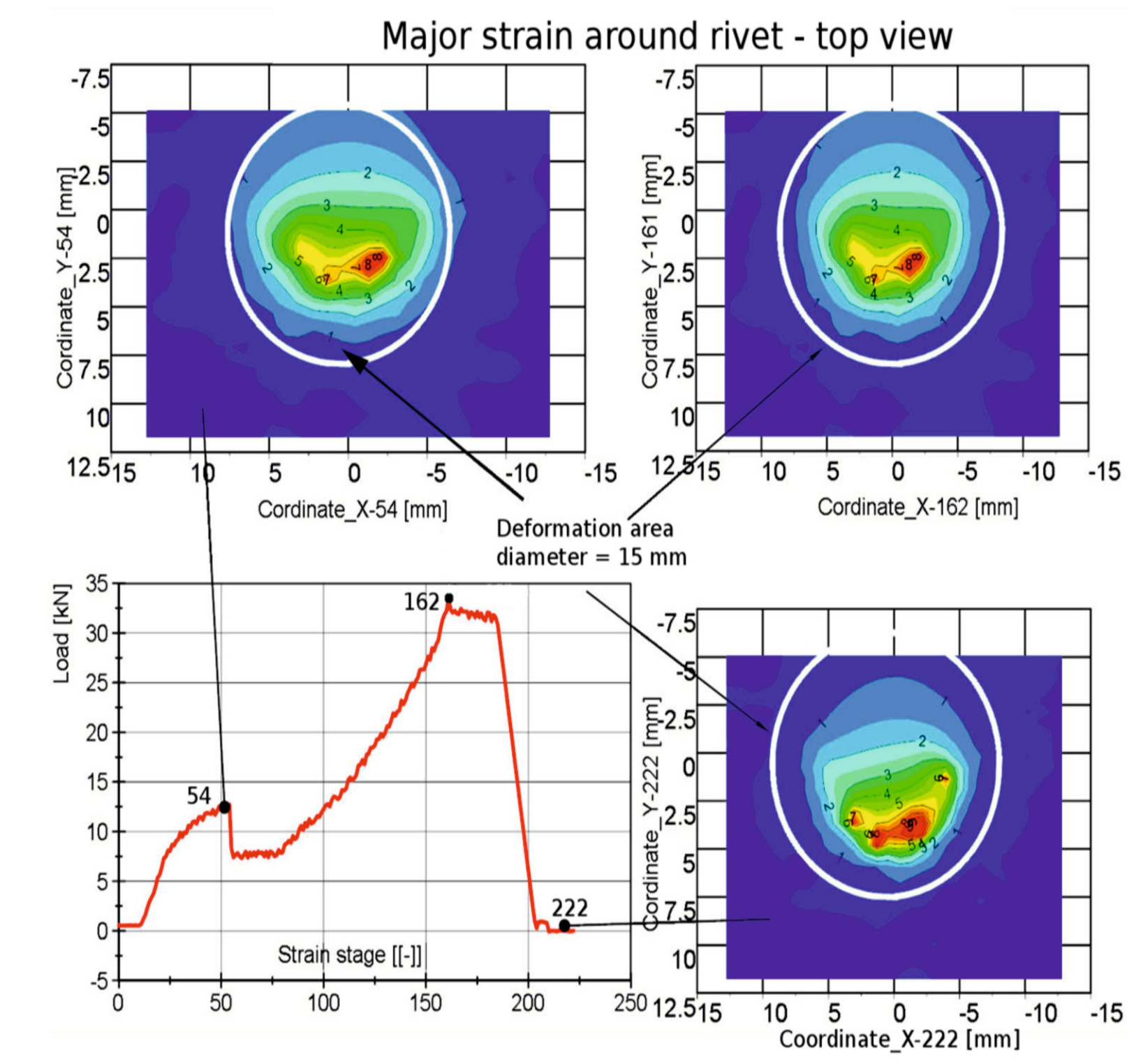
The aim of performed tests was determination of deformation zone around the rivet head during and after piercing procedure for SPR joints.



Rys. 1. Rysunek próbki typu SLJ hybrydowego połączenia SPR. Rys. 2. Przekrój złącza SPR. 1. Aluminium 2024, 2. Aluminium 5005, 3. Klej Loctite 3423, 4. Nit

NA potrzeby tego zadania został zaprojektowany i wykonany uchwyt wraz z matrycami pozwalający na obserwację procesu przebijania nitem. W celu obserwacji stref odkształceń materiału podczas procesu przebijania nitem jak i po przebiciu niezbędne jest użycie systemu dającego informacje o przemieszczeniach i odkształceniach całej strefy. Użyty został system ARAMIS dający informacje o przemieszczeniach w przestrzeni 3D.

Po wykonaniu analizy wnioski są następujące: Strefa odkształcenia kształtuje się w momencie przebicia pierwszej blachy i pozostaje bez wyraźnej zmiany również po odciążeniu złącza. Wielkość strefy odkształcenia jest kołem o  $\phi 15$  wokół nitu. Całość procedury została opracowana w związku z zadaniem ZB15.



Rys. 3. Widoki stref odkształcenia (biały okrąg). Fig. 3. Deformation zone views (white circle)

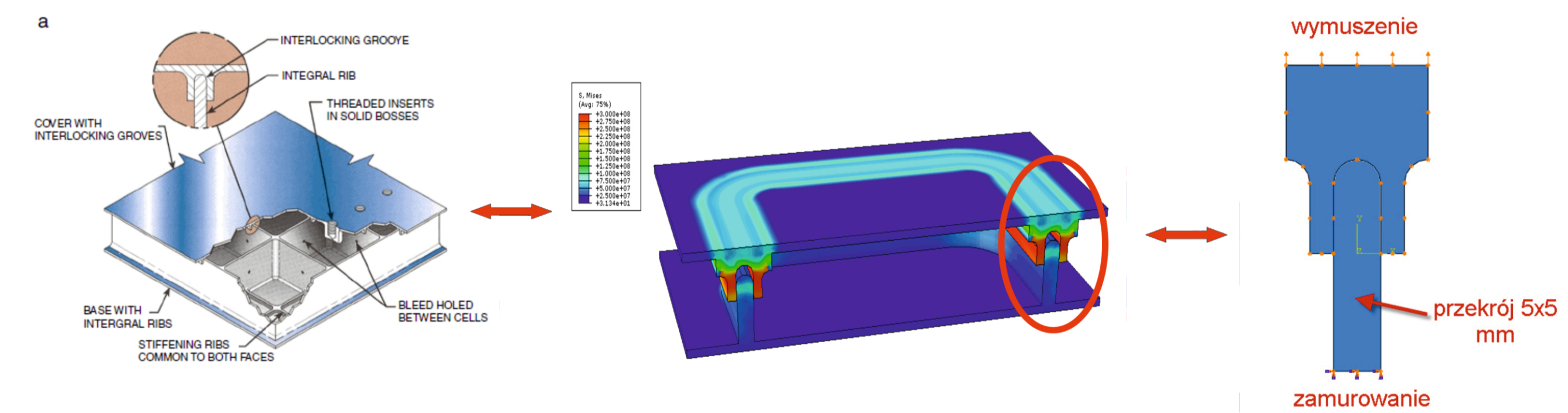
Special holder and dyes has been developed for creating SPR joints. DIC system has been chosen to record the deformation zone. Deformation zone is formed after piercing first aluminum sheet and remains residual after unloading the rivet. Deformation zone is circle with diameter  $\phi 15$  around the rivet head.

#### Wyniki badań Results

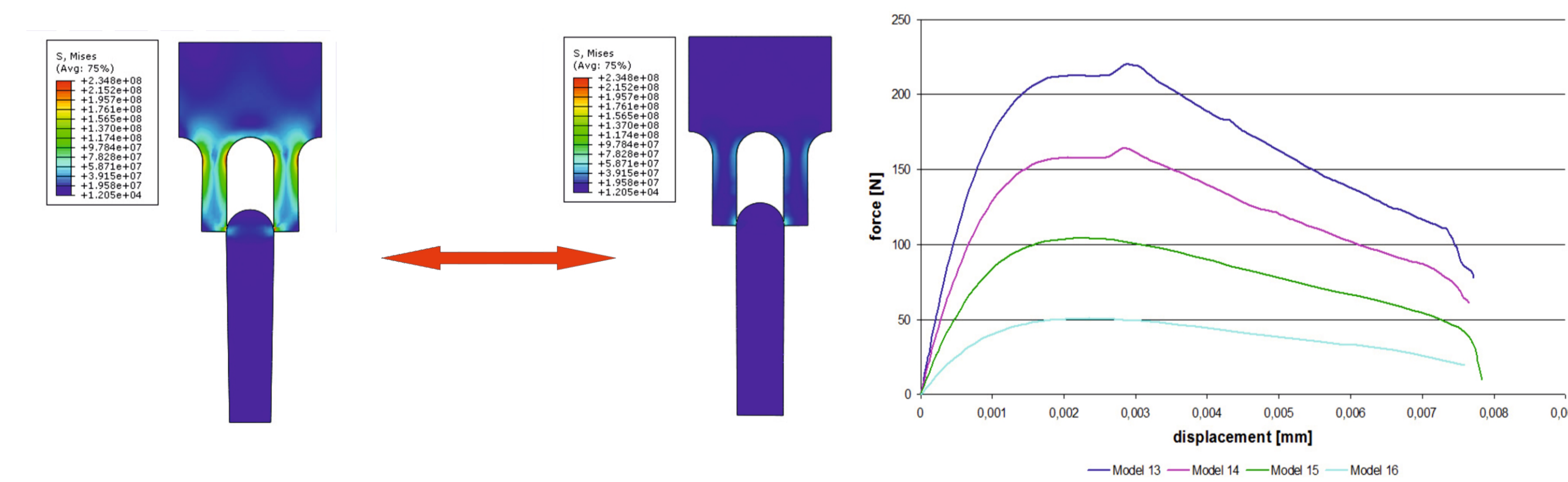
Analiza numeryczna połączeń Grid-Lock  
Numerical analysis of Grid-Lock connections

Celem badań była analiza wpływu zmian geometrii oraz właściwości kontaktu w połączeniu typu GRID-LOC na jego wytrzymałość. Symulacjom numerycznym, polegającym na jednoosiowym rozciąganiu poddano wycinek płyty (elementu konstrukcji).

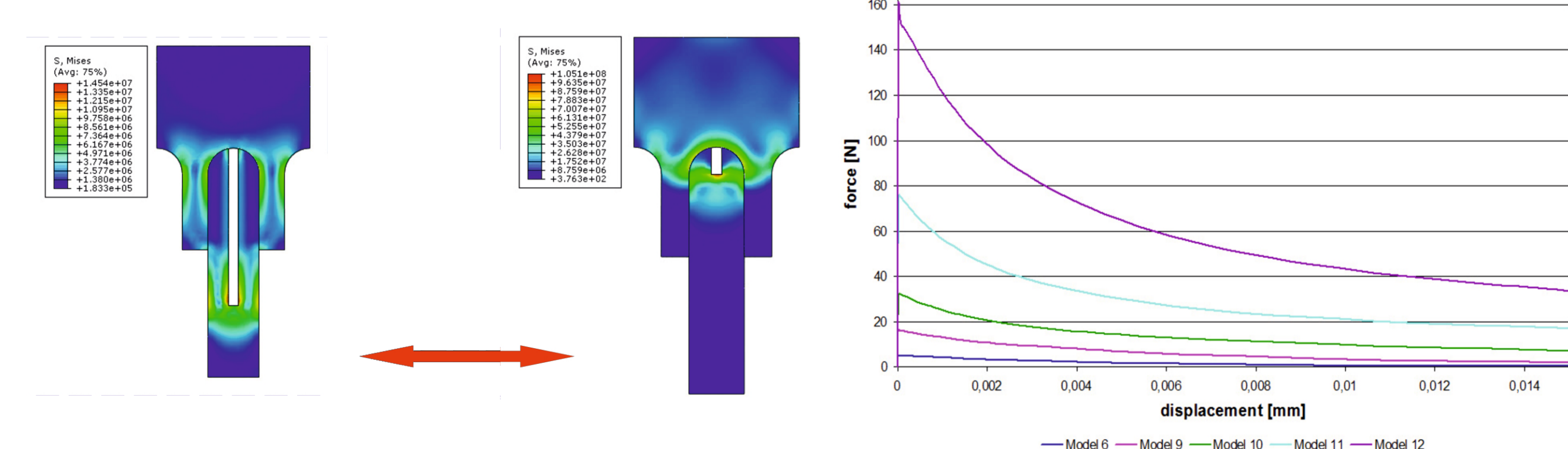
The aim of this study was to analyze the influence of changes in the geometry and the properties of contact in the GRID-LOCK connection on its strength. Section of plate (part design) was subjected to numerical simulation, which consisted of uniaxial tension.



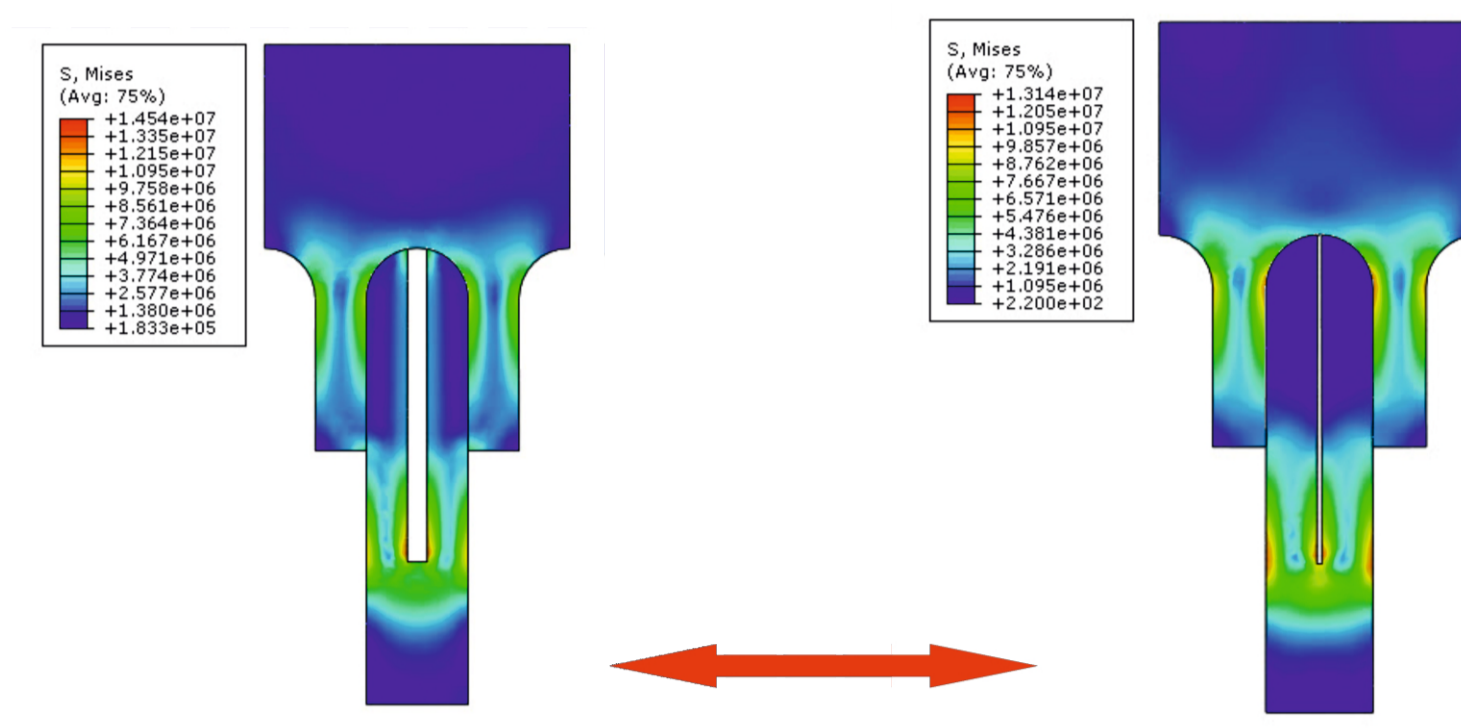
#### I. Wpływ kąta pochylenia I. Influence of inclination angle



#### II. Wpływ długości rozcięcia II. Influence of cut length



#### III. Wpływ szerokości rozcięcia III. Influence of cut width



#### Wnioski Conclusions

Znaczny wpływ ma kąt pochylenia bocznych ścianek. Dla 0,250 osiągnięto wartość siły 50N, zaś dla 10 220N.

W zależności od długości wycięcia siła potrzebna do rozłączenia może być regulowana od kilku do 160N.

Istnieje niewielki wpływ szerokości wycięcia na siłę rozłączającą połączenie, która zawiera się w przedziale 5,09N do 6,09N.

#### Wyniki badań Results

Badania złączy klinczowych blach ze stopu aluminium 2024  
Research of clinched joints of aluminum alloy 2024 sheets

Aluminium 2024 jest stopem aluminium z następującymi metalami: miedzią - zawartość 3,8 do 4,9%, magnezem - od 1,2 do 1,8%, manganem - od 0,3 do 0,9% oraz takimi pierwiastkami jak: krzem, cynk, nikiel, chrom, ołów oraz bizmut o zawartości nie przekraczającej 0,5% każdy. Gęstość stopu 2024 wynosi 2,78 g/cm<sup>3</sup>, moduł Younga 73 GPa. Stop ten, według różnych norm oznaczany jest różnie, np. wg: DIN - AlCu4Mg1, EN - 2024, PN - PA7.

Właściwości mechaniczne stopu zależne są od obróbki cieplnej i stopnia jego odkształcenia. Najczęściej występuje w trzech stanach: O - wyżarzony, T3 - przesycony, odkształcony na zimno i naturalnie starzony do uzyskania stabilnego stanu, T351 - obrabiony cieplnie w kąpiel, odprężony przez wyprężanie o kontrolowaną wielkość i starzony w naturalny sposób (po wyprężaniu produkty nie podlegają prostowaniu). Właściwości mechaniczne stopu aluminium 2024 przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Główną dziedziną, w której są wykorzystywane stopy aluminium typu 2000, w tym 2024, jest lotnictwo. W konstrukcji samolotów ten stop jest wykorzystywany głównie na elementy takie jak: poszycia skrzydeł i kadłuba, przegrody, żebra chłodzące bębna hamulca, nośniki, ciągi sterowania. Stosowany jest również na elementy wyposażenia samolotów, np. na: ramy siedzeń i pokrywy, bariery ochronne, podpory i rozpórki, kolumny sterów i mechanizm zwrrotny.

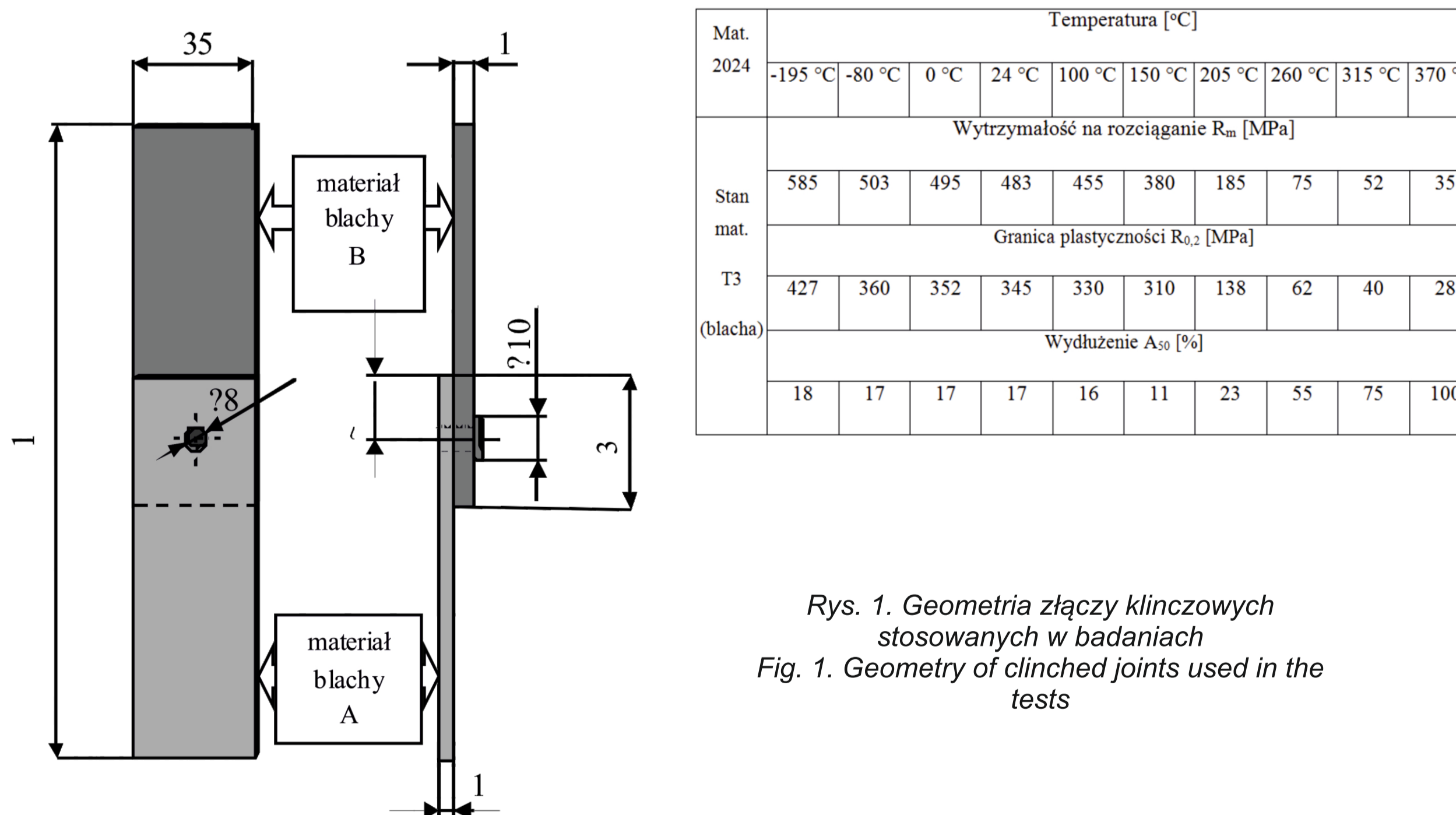
Tabela 1. Właściwości mechaniczne stopu aluminium 2024 (opracowano na podstawie ASM Handbook, Volume 2, Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials, ASM International)

Tabela 1. Mechanical properties of aluminum 2024 alloy (developed basing on ASM Handbook, Volume 2, Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials, ASM International)

| Stan mat. | Granica plastyczności R <sub>e</sub> [MPa] | Wytrzymałość na rozciąganie R <sub>m</sub> [MPa] | Wydłużenie A <sub>50</sub> [%] | Twardość HB | Wytrzymałość na ścinanie z [MPa] | Wytrzymałość z [MPa] |
|-----------|--|--|--------------------------------|-------------|----------------------------------|----------------------|
| 2024      |  |  |                                |             |                                  |                      |
| O         | 75   | 185  | 20                             | 47          | 125                              | 90                   |
| T3        | 345  | 485  | 18                             | 120         | 285                              | 140                  |
| T351      | 325  | 470  | 20                             | 120         | 285                              | 140                  |

Tabela 2. Właściwości mechaniczne stopu aluminium 2024 w obniżonych i podwyższonych temperaturach (opracowano na podstawie ASM Handbook, Volume 2, Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials, ASM International)

Tabela 1. Mechanical properties of aluminum 2024 alloy at low and high temperatures (developed basing on ASM Handbook, Volume 2, Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials, ASM International)

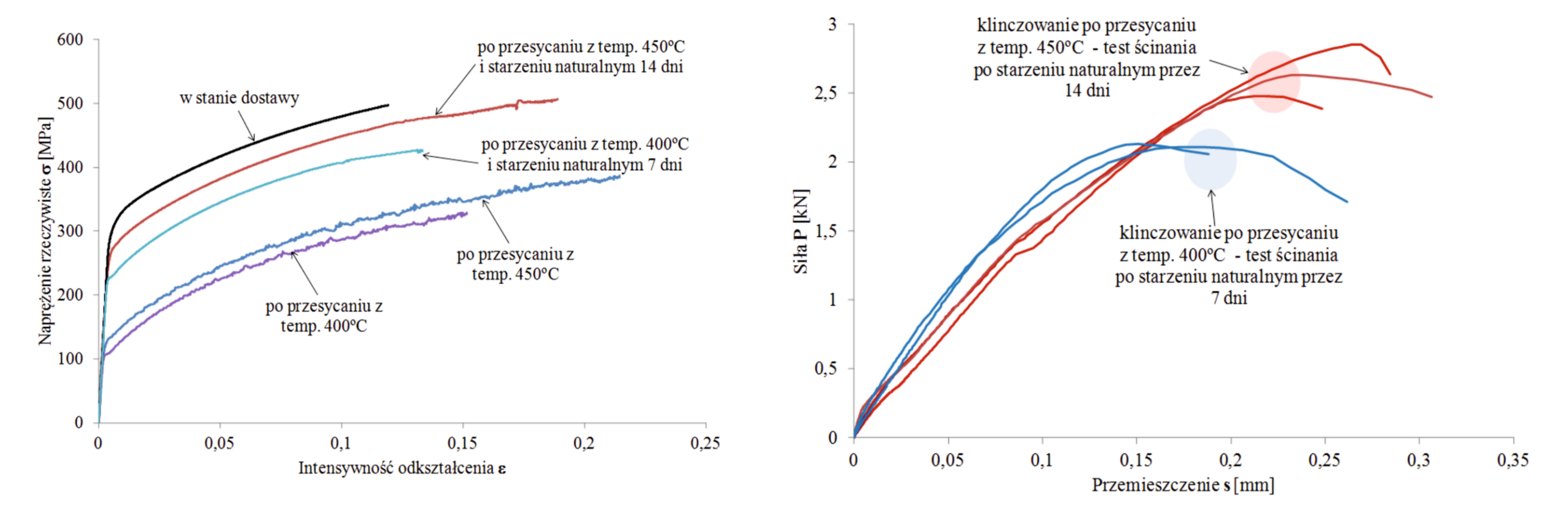


Zakładkowe złącza klinczowe blach ze stopu 2024 wykonywano za pomocą matrycy i stempla zamontowanych w tłoczniku na hydraulicznej prasie ramowej typu C. Zewnętrzna średnica przetłoczenia wynosiła  $\phi 10$  mm, wewnętrzna  $\phi 8$  mm, grubość łączonych blach 1 mm (łączna grubość blach w zakładce - 2 mm). Geometrię złączy klinczowych stosowanych w badaniach przedstawiono na rysunku 1. Wytrzymałość złączy testowano w próbach rozciągania wywołując naprężenia ścinające na powierzchni zakładki. Badania wytrzymałościowe przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej firmy Zwick/Roell o

Próby klinczowania na blachach ze stopu 2024 w stanie dostawy nie dały zadowalających rezultatów. Podczas klinczowania następowało wykrawanie denka złącza od strony stempla. W celu polepszenia odkształcalności materiału zastosowano obróbkę cieplną polegającą na przesycaaniu materiału bezpośrednio przed klinczowaniem, a następnie starzenie naturalne w temperaturach otoczenia i dopiero wówczas przeprowadzono testy wytrzymałościowe złączy klinczowych.

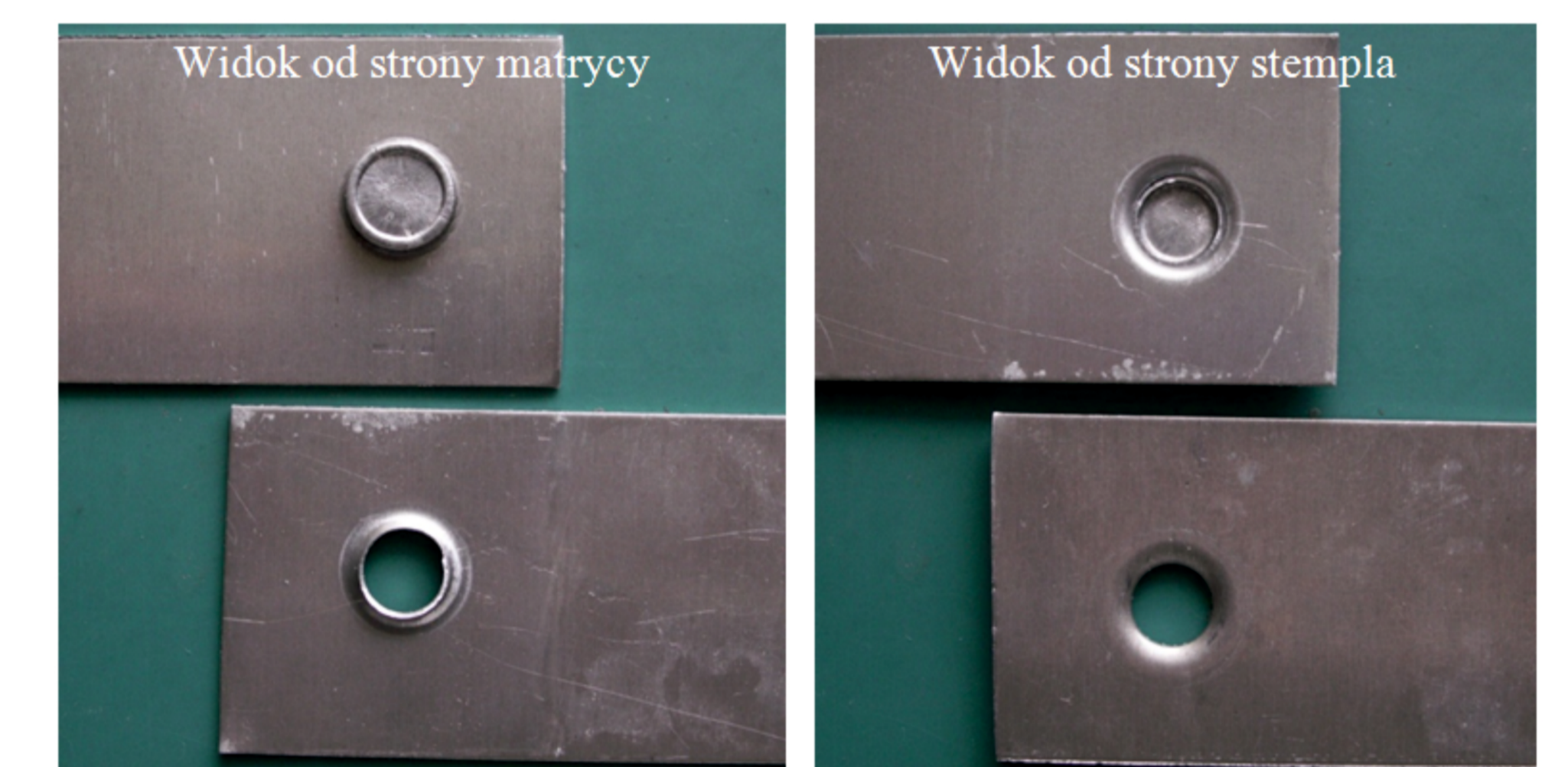
Badania wytrzymałościowe blach na rozciąganie po przesycaaniu i po starzeniu przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej firmy Zwick/Roell o nominalnej sile nacisku 100 kN. Podobnie jak w próbach wytrzymałościowych złączy klinczowych, pomiaru przemieszczenia dokonywano za pomocą ekstensometru o bazowej długości 50 mm. Rozciągano paski blachy z materiału 2024 o wymiarach: szerokość 35 mm, długość 165 mm i grubość 1 mm, tj. o szerokości i grubości odpowiednich dla blach łączonych w próbkach klinczowych. Przykładowe wyniki prób rozciągania przedstawiono na rysunku 2, w postaci wykresów zależności naprężenia rozciągającego od odkształcenia zastępczego.

Stosowano przesycaanie z temperatur: 450oC i 400oC oraz starzenie naturalne w temperaturach otoczenia przez (odpowiednio) 14 i 7 dni. Właściwości mechaniczne po przesycaaniu były zadowalające; następowało znaczne obniżenie naprężenia plastycznającego przy zadowalającej odkształcalności (rys. 2). Jednakże wytrzymałość złączy klinczowych, po procesie starzenia nie była duża w porównaniu z wytrzymałością łączonych blach (rys. 3).

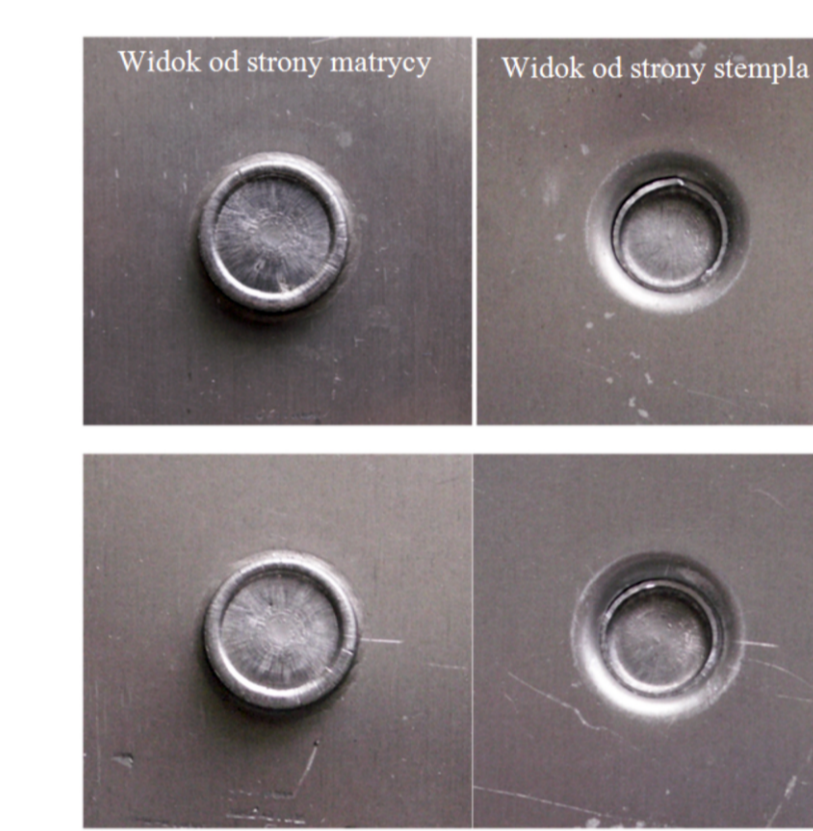


Rys. 2. Przykładowe charakterystyki rozciągania stopu aluminium 2024. Rys. 3. Charakterystyki siła - przemieszczenie złączy klinczowych blach ze stopu 2024 w próbie ścinania.

W wszystkich przypadkach testowanych próbek rozdzielanie następowało przez zerwanie ścianki bocznej blachy ukształtowanej przez stempla (rysunek 4 i 5).



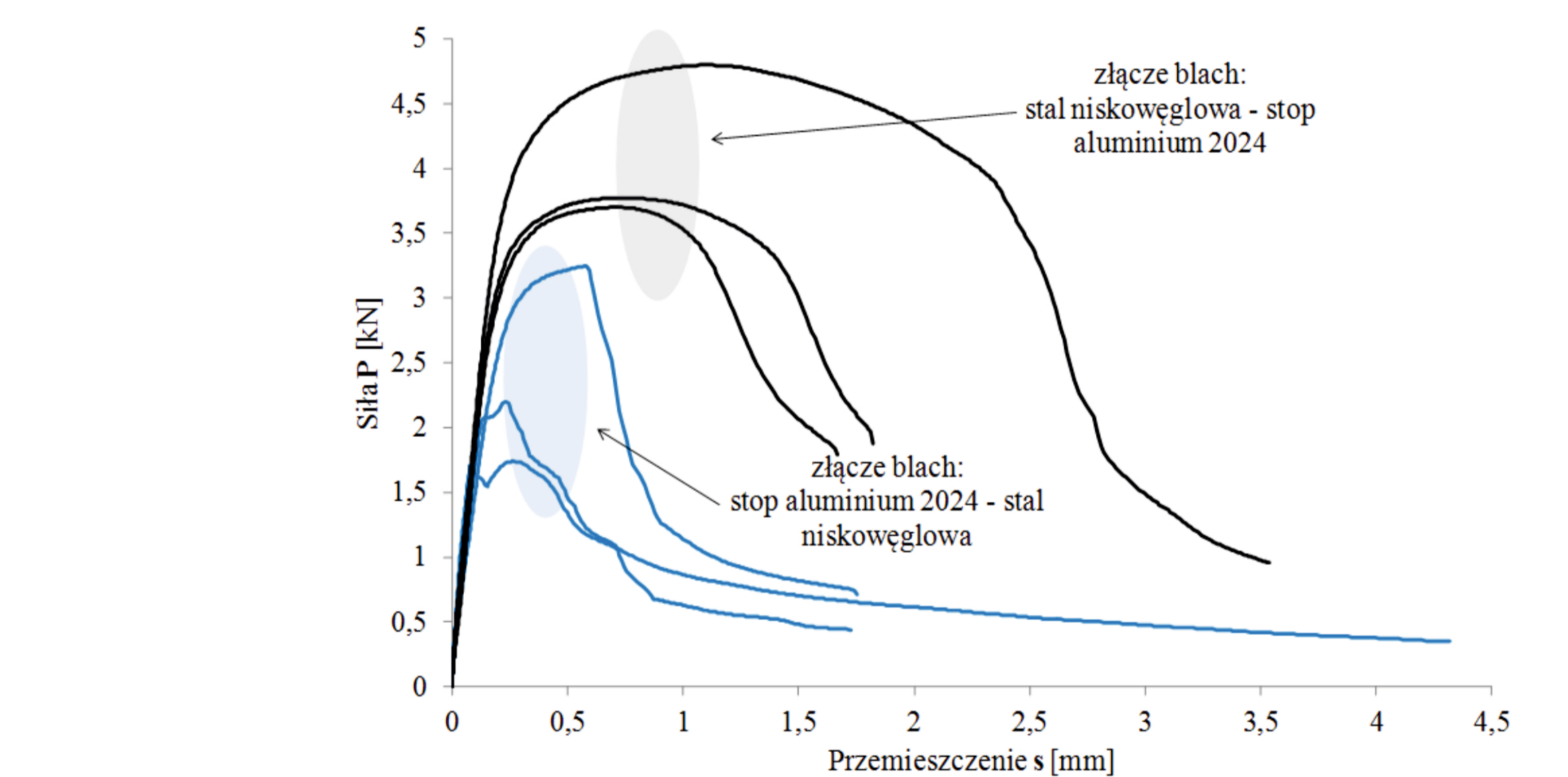
Rys. 4. Próba wytrzymałościowa na ścinanie (klinczowanie po przesycaaniu z temp. 450oC - test ścinania po starzeniu naturalnym przez 14 dni).



Rys. 5. Przetłoczenia w blachach dolnych (kształtowanych w matrycy) po próbie ścinania - widok od dołu i od góry (klinczowanie po przesycaaniu z temp. 450oC - test ścinania po starzeniu naturalnym przez 14 dni).

W blasze od strony matrycy w wielu przypadkach próbek obserwowano pęknięcia na przetłoczeniu uformowanym w rowku matrycy (rys. 5). Jednakże, biorąc pod uwagę sposób niszczenia złącza w próbie ścinania, można stwierdzić, że nie miały one wpływu na wytrzymałość połączenia.

Przeprowadzono również testy połączeń stopu 2024 ze stałą niskowęglową. Wykonano złącza stop 2024 - stal i stal - stop 2024 (pierwszy z wymienionych materiałów znajdował się od strony stempla, a drugi od strony matrycy podczas formowania złącza). W przypadku tych połączeń większą wytrzymałość otrzymano dla złączy stal niskowęglowa - stop aluminium 2024.



Rys. 6. Charakterystyki siła - przemieszczenie złączy klinczowych blach ze stopu 2024 i blach ze stali niskowęglowej w próbie ścinania.

#### Wnioski Conclusions

Łączenie klinczowania blach ze stopu aluminium 2024 w stanie dostawy (po przesycaaniu i starzeniu) nie daje dobrych wyników; podczas przetłaczania następuje wykrawanie denka złącza od strony stempla. Formowanie złącza klinczowego jest możliwe pomiędzy przesycaaniem a starzeniem (kolejność operacji: przesycaanie => klinczowanie => starzenie). Dobór warunków obróbki cieplnej, tj. przesycaania i starzenia wymaga dalszych badań; otrzymane dotychczas wyniki nie są zadowalające.

Mocne złącza klinczowe można otrzymywać w połączenia stopu 2024 ze stałą. W tym przypadku również stosowano procedurę przesycaania blachy ze stopu 2024, klinczowania i starzenia naturalnego.

Clinch joining of aluminum 2024 alloy sheets at the commercial state (solution heat treatment and ageing) do not give good results; during clinching the cutting of indentation bottom occurs. Clinching is possible between solution heat treatment and ageing (operations' sequence is: solution heat treatment => clinching => ageing). Choice of heat treatment conditions needs future research; present test results are not satisfactory.

Strong clinched joints can be made for joining of aluminum 2024 alloy with steel sheets. In this case the procedure of solution heat treatment of 2024 alloy, sheet clinching and natural ageing was realized.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

#### Referaty

- T. Sadowski, P.Golewski, **Badania numeryczne nad wpływem docisku wywołanego przez łącznik oraz ich rozmieszczenia na wytrzymałość połączeń zakładkowych, dwunakładowych i hybrydowych poddanych jednoosiowemu rozciąganiu**, Praca w recenzji do czasopisma Archives of Metallurgy and Materials, Konferencja PLASTMET, 20-23 listopada

#### Publikacje

- T. Balawender, Ł. Bieniasz, R.E. Śliwa: **Wyciskanie przeciwbieżne kształtowników ze stopu magnezu AZ31**. HUTNIK-WIADOMOŚCI HUTNICZE, 8 (2012), 526-534