

Analiza numeryczna udarności połączeń klejowych

Agata Pietras¹, Andrzej Komorek², Jan Godzimirski³

¹Zakład Inżynierii Bezpieczeństwa, Wojskowa Akademia Techniczna

²Katedra Awioniki i Systemów Sterowania, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych

³Zakład Budowy i Eksploatacji Statków Powietrznych, Wojskowa Akademia Techniczna

email: agata.pietras@wat.edu.pl, komman@op.pl, jan.godzimirski@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: Mała powtarzalność wyników badań udarności połączeń klejowych, zwłaszcza realizowanych na różnych urządzeniach badawczych, była inspiracją do przeprowadzenia badań eksperymentalnych i numerycznych. W badaniach wykorzystano metodę udarowego ścinania próbek blokowych. Porównano udarność identycznych próbek obciążanych w sposób normatywny i nienormatywny. Analizę numeryczną przeprowadzono w systemie Ansys z wykorzystaniem modułu Explicit Dynamics. Zaproponowano sposób modelowania bijaka młota wahadłowego. Stwierdzono, że zmiana kierunku przyłożenia obciążenia do próbki skutkuje istotną zmianą wartości uzyskiwanych wyników udarności. Z badań numerycznych wynika, iż niższe wartości maksymalnych naprężeń głównych występują w spoinach połączeń, które charakteryzuje większa, wyznaczona eksperymentalnie udarność.

SŁOWA KLUCZOWE: połączenia klejowe, udarność połączeń klejowych, analiza numeryczna

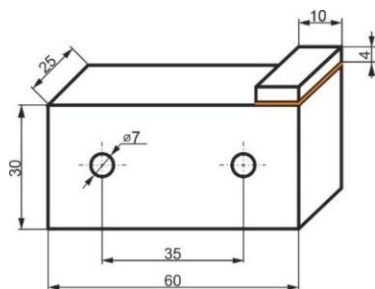
1. Wstęp

Połączenia adhezyjne stają się coraz szerzej stosowanymi połączeniami konstrukcyjnymi, w wielu przypadkach zastępując lub uzupełniając tradycyjne połączenia mechaniczne [1]. O ile problematyka wytrzymałości statycznej połączeń klejowych jest dosyć dobrze rozpoznana i opisana [2], to zagadnienia udarności połączeń klejowych są obiektem niewielu badań doświadczalnych i analiz teoretycznych. Spośród opisanych w literaturze metod badawczych można wyróżnić dwie najczęściej stosowane:

- metodę udarowego ścinania próbek blokowych (Block Shear Test – BST) [3, 4],
- metodę rozczepienia klinem (Impact Wedge Peel Test - IWPT) [5],

Problemy z badaniami udarności połączeń klejowych związane są z dużymi rozrzutami wyników badań oraz ich małą powtarzalnością w wypadku prowadzenia ich na urządzeniach różnych producentów [2, 6, 7]. W związku z tym występują trudności oceny takich wyników, jak również praktycznego wykorzystania ich do analizy wytrzymałości konstrukcji klejonych.

Podjęto próbę przeprowadzenia numerycznej analizy metody udarowego ścinania próbek blokowych (rys. 1).



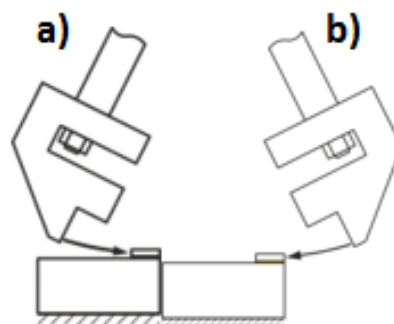
Rys. 1. Wymiary próbek blokowych

Przeprowadzono badania udarowego ścinania takich próbek stosując różny kierunek uderzenia bijaka wahadła udarowego, a następnie przeprowadzono analizę

numeryczną obu przypadków w celu szukania korelacji między udarnością badanych próbek i rozkładem oraz wartościami naprężeń w spoinach.

2. Badania eksperymentalne

Elementy próbek wykonano ze stali S235. Powierzchnie klejone poddano obróbce strumieniowo-ścierniej żużlem pomiedziowym uzyskując chropowatość powierzchni o średnim arytmetycznym odchyleniu profilu od linii średniej $R_a = 4,28 \mu\text{m}$. Po przemyciu benzyną i wysuszeniu elementy próbek sklejało klejem Epidian 57/Z1 i utwardzano przez 7 dni w temperaturze otoczenia pod naciskiem 40 kPa. Badania prowadzono na specjalnym młocie wahadłowym o maksymalnej energii 15 J. Bijak młota uderzał przyklejoną płytkę 0,8 mm nad powierzchnią spoiny klejowej. Badania przeprowadzono dla dwóch kierunków uderzeń (rys. 2). Dla każdej partii próbek wyznaczono średnią wartość udarności oraz określono przedział ufności metodą t Studenta dla poziomu ufności $1-\alpha = 0,95$. Stwierdzono istotną różnicę udarności w zależności od kierunku uderzenia wahadła. Udarność identycznie klejonych próbek przy badaniach normatywnych wynosiła $8,5 \pm 3,2 \text{ kJ/m}^2$ oraz $16,8 \text{ kJ/m}^2$ przy badaniach nienormatywnych.

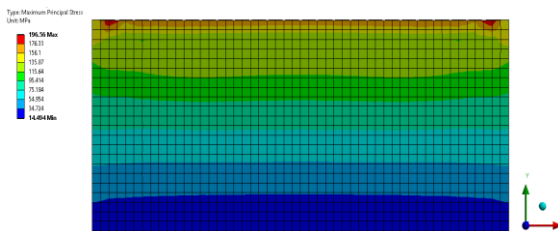


Rys. 2. Schemat badań udarnościowych a) normatywny [4], b) nienormatywny

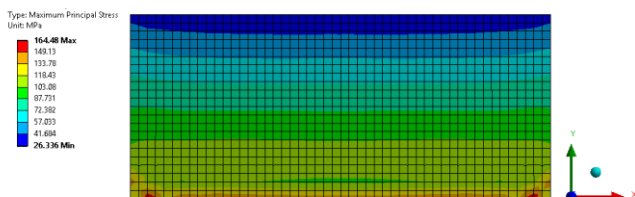
3. Analizy numeryczne

Obliczenia prowadzono w systemie Ansys z wykorzystaniem modułu Explicit Dynamics. Zbudowano prosty model numeryczny próbki, który został podzielony na elementy skończone typu 8- nodes hexahedral dedykowane dla obliczeń dynamicznych (udarnościowych). W modelowaniu wykorzystano połączenia kontaktowe typu bonded – Solid to Solid.

Znając masę wahadła oraz jego początkową energię obliczono prędkość z jaką bijak uderza w przyklejoną próbkę. W celu odwzorowania masy bijaka zwiększono w takim zakresie gęstość materiału, który zadeklarowano do jego wykonania, aby był równy masie rzeczywistego urządzenia. Przy zadeklarowaniu modułu Younga materiału bijaka odpowiadającemu stali ulegał on nadmiernym odkształceniom w związku z tym nadano mu właściwości ciała sztywnego. Ostatecznie modele badanych próbek obciążane były dynamicznie sztywnym (zastosowano element *Rigid*) modelem prostopadłościennego bijaka o wymiarach 5x25x3 mm, któremu została nadana prędkość 2960 mm/s oraz gęstość $9,2 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^3$ co odpowiadało rzeczywistej energii uderzenia młota udarnościowego stosowanego w eksperymencie - 15 J. Porównano rozkłady naprężeń maksymalnych głównych w spoinach dla jednakowych czasów obliczeniowych zakładając, że większym wartościom naprężeń powinna odpowiadać mniejsza udarność.



Rys. 3. Mapa naprężeń maksymalnych głównych w spoinie dla czasu obliczeniowego 0,0001s dla obciążenia normalnego (rys. 2a)



Rys. 4. Mapa naprężeń maksymalnych głównych w spoinie dla czasu obliczeniowego 0,0001s dla obciążenia nienormalnego (rys. 2b)

4. Podsumowanie

1. Zmiana kierunku przyłożenia obciążenia do próbki skutkuje istotną zmianą wartości uzyskiwanych wyników udarnośći.
2. Z badań numerycznych wynika, iż niższe wartości maksymalnych naprężeń głównych występują

w spoinach połączeń, które charakteryzuje większa, wyznaczona eksperymentalnie udarność.

3. Wyniki badań udarnościowych spoin klejowych zależą od właściwości urządzenia badawczego użytego w eksperymencie i w celu uzyskania miarodajnych wyników porównawczych, należy całość badań przeprowadzać z wykorzystaniem tej samej i tak samo oprzyrządowanej maszyny badawczej.
4. Wyniki badań udarnościowych prowadzonych na tym samym stanowisku cechują duże rozrzuty, co może być spowodowane tolerancją wymiarową poszczególnych próbek i wymaga dalszych badań.

Literatura

- [1] Robert D. Adams, J. Comyn, William Charles Wake.: *Structural Adhesive Joint in Engineering*. Springer Science & Business Media, London 1997
- [2] Godzimirski J., Tkaczuk S., Rośkiewicz M.: *Wytrzymałość połączeń klejowych*. WAT, Warszawa 2010
- [3] Adams R D, Harris J A. *A critical assessment of the block impact test for measuring the impact strength of adhesive bonds*. International Journal of Adhesion and Adhesives; 16: 61-71, 1996
- [4] PN-ISO 9653 – *Kleje. Metody badania wytrzymałości na ścinanie udarowe połączeń klejowych 2000*.
- [5] PN-EN ISO 11343 – *Kleje. Oznaczanie wytrzymałości dynamicznej wysokowytrzymałych połączeń*
- [6] Asgharifar M, Kong F, Carlson, B, Kovacevic R. *Dynamic analysis of adhesively bonded joint under solid projectile impact*. International Journal of Adhesion and Adhesives; 50: 17–31, 2014
- [7] Belingardi G, Goglio L, Rossetto M. *Impact behaviour of bonded built-up beams: experimental results*. International Journal of Adhesion and Adhesives; 25: 173–180, 2005.