

OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTĄPIENIA NITÓW TYPU SOLID W POŁĄCZENIACH KONSTRUKCJI LOTNICZYCH

Assessment of the possibility of replacing solid rivets in joints of aircraft structure

Jarosław GAŚIOR, Andrzej KOMOREK, Marek ROŚKOWICZ, Sławomir TKACZUK

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, których celem była ocena możliwości zastąpienia w połączeniach konstrukcji lotniczych nitów typu solid nitami jednostronnymi. Ponieważ nity jednostronne, w przeciwieństwie do nitów typu solid, składają się z wielu elementów, w ocenie jako kryterium porównawcze przyjęto nie tylko nośność połączeń, ale również odporność na zjawisko samoczynnego demontażu elementów nitów jednostronnych poddanych zmiennemu obciążeniu. W badaniach zmęczeniowych stwierdzono, że istnieje możliwość zastąpienia nitów typu solid nitami jednostronnymi, ale trwałość zmęczeniowa połączeń jednozakładowych połączeń zależy istotnie od miejsca zerwania trzpienia nita jednostronnego w procesie jego spęczania.

Słowa kluczowe: połączenia nitowe, połączenia nitowe dwustronne i jednostronne, trwałość zmęczeniowa połączeń nitowych

Abstract: The paper presents the results of experimental research, the aim of which was to assess the possibility of replacing rivets with solid one-sided rivets in connections of aircraft structures. Because one-sided rivets, in contrast to solid rivets, consist of many elements, the evaluation as a comparative criterion assumes not only the load capacity of connections, but also the resistance to the phenomenon of automatic dismantling of one-sided rivets subjected to a variable load. In fatigue tests, it was found that there is a possibility of replacing rivets with solid one-sided rivets, but the fatigue life of one-sided joint connections depends significantly on the place of rupture of the one-sided blind pin in its heading process.

Key words: riveted joints, double-sided rivets and one-sided rivets, fatigue durability of riveted joints

Wstęp

W procesie eksploatacji konstrukcji lotniczych o trwałości konstrukcji w dużej mierze decyduje trwałość połączeń nitowych [3, 5, 8]. Uszkodzenia połączeń nitowych mają wpływ na zdolności statku powietrznego (SP) do wykonania operacji lotniczych. W związku z tym w systemie obsługi okresowych i bieżących statków powietrznych występujące uszkodzenia połączeń nitowych podlegają naprawie [1, 2, 4]. Ponieważ w konstrukcjach lotniczych dominują nity typu solid, w procesie naprawy wykorzystuje się również tego rodzaju nity. Poważnym ograniczeniem stosowania nitów typu solid jest konieczność dostępu w procesie ich spęczania do dwóch stron naprawianej konstrukcji. Dodatkowo wykorzystanie w naprawie nitów typu solid bardzo często wiąże się z potrzebą roznitowania sąsiednich, nieuszkodzonych połączeń [6, 7].

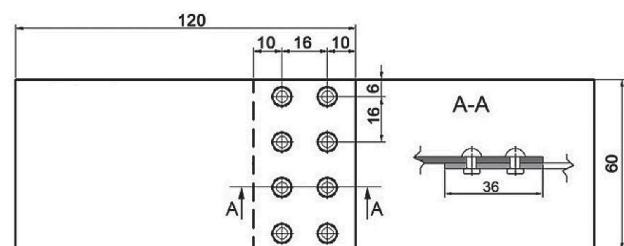
Oprócz nitów typu solid w lotnictwie wykorzystywane są nity jednostronne. Istotnymi zaletami systemów nitów jednostronnych jest z pewnością łatwiejszy, jednostronny dostęp do naprawianej konstrukcji oraz krótszy czas wykonania połączenia, co bezpośrednio wpływa na obniżenie kosztów eksploatacji SP. Ograniczeniem nitów jednostronnych mogą być niższe parametry wytrzymałościowe, co jest bezpośrednio pochodną materiałów stosowanych w budowie nita oraz ich niższa trwałość zmęczeniowa, spowodowana m.in. zjawiskiem samoczynnego demontażu poszczególnych elementów składowych tego rodzaju nita.

Celem niniejszej pracy była analiza porównawcza nośności, trwałości zmęczeniowej połączeń nitowych przygotowanych z użyciem nitów typu solid i systemów nitów jednostronnych. Dodatkowo w badaniach zmęczeniowych obserwowano czy nity jednostronne nie ulegają samoczynnemu demontażowi.

Metodyka badań

W badaniach eksperymentalnych zastosowano połączenia jednozakładowe o długości zakładki 36 mm. Łączono ze sobą elementy wykonane ze stopu aluminium 2024T3 (o wymiarach $120 \times 60 \times 2$ mm), powszechnie wykorzystywanego w budowie płatowców statków powietrznych. Geometrię przygotowanych do badań próbek przedstawiono na rys. 1.

Połączenia mechaniczne przygotowano za pomocą nitów o łbach kulistych, wykonanych ze stopu aluminium



Rys. 1. Geometria połączeń wykorzystywanych w badaniach
Fig. 1. Geometry of the joints used in the tests

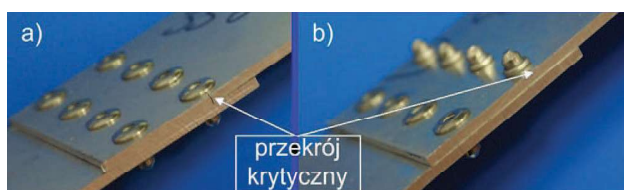
2117 o średnicy 4 mm oraz czterech systemów nitów jednostronnych (rys. 2), w tym nitów, których tuleje nitowe były wykonane ze stopu aluminium (typ B, D i E) oraz ze stali odpornej na korozję (typ C). Zrywalne trzpienie nitów jednostronnych typu B, C i D były elementami stalowymi. Ze stali wykonana była również śruba wkręcana po zakuciu nitu typu E. Wykorzystywane w badaniach nity miały średnicę 4 mm, za wyjątkiem nitów typu E, których średnica była równa 5 mm.



Rys. 2. Widok nitów wykorzystywanych w badaniach: A) nit pełny, B) nit zrywalny szczelny, C) nit zrywalny ze stali nierdzewnej typu Zenair, D) nit zrywalny typu Cherry MBC® NAS1720, E) nit typu Goodrich

Fig. 2. View of rivets used in the tests: A) solid rivet, B) blind rivet, C) blind rivet made of stainless steel type Zenair, D) blind rivet type Cherry MBC® NAS1720, E) type Goodrich rivet

Ponieważ trwałość zmęczeniowa połączeń zakładkowych (zaproponowanych w badaniach) mogła istotnie zależeć od działania wtórnych momentów gnących oddziałujących w przekrojach krytycznych na łączone blachy, przygotowano dla nitów typu B i C dwa rozwiązania montażu. Nity zamontowano zgodnie z wariantami zaprezentowanym na rys. 3. Założono, że wielkość ugięcia blachy w przekroju krytycznym jest również pochodną podatności na odkształcenia łbów nitów.



Rys. 3. Widok szwów nitowych w przekroju krytycznym zamontowanych w dwóch wariantach: wariant I (a), wariant II (b)

Fig. 3. The view of rivet seams in the critical section installed in two variants: variant I (a), variant II (b)

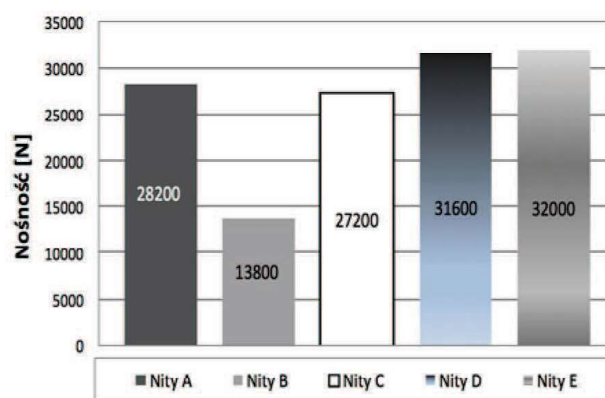
W wariantcie I (rys. 3a) w przekroju krytycznym występowały łby nitów, natomiast w wariantcie II (rys. 3b) w przekroju krytycznym znajdowały się tzw. zakuwki.

Przygotowane próbki połączeń poddano badaniom statycznym określając nośność połączeń oraz badaniom zmęczeniowym wyznaczając ich trwałość. W badaniach zmęczeniowych próbki były obciążane cyklem jednostronnym (tętniącym) w zakresie obciążenia 0,2–10,8

kN, przy częstotliwości 8 Hz i współczynnika asymetrii cyklu $R=0,02$. Ze względu na dużą powtarzalność otrzymywanych wyników zarówno nośność połączeń jak i ich trwałość określano jako średnią arytmetyczną z 3 próbek.

Wyniki badań

Nośność połączeń, w których zastosowano zarówno nity dwustronne (typu solid), jak i nity jednostronne, przedstawiono na rys. 4. Połączenia ulegały zniszczeniu w wyniku ścicia nitów (połączenia z nitami A, B i C), zerwania blachy w przekroju krytycznym (połączenia z nitami E, które miały średnicę 5 mm) oraz w wyniku rozkalibrowania otworów po przekroczeniu granicy plastyczności w obciążonej próbce od strony zakuwek – nity D.

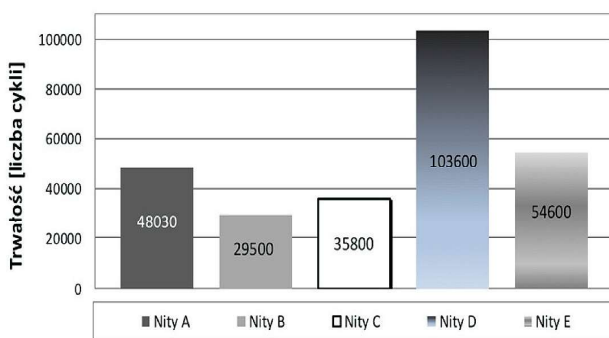


Rys. 4. Porównanie nośności połączeń nitowych
Fig. 4. Comparison of load capacity of rivet joints

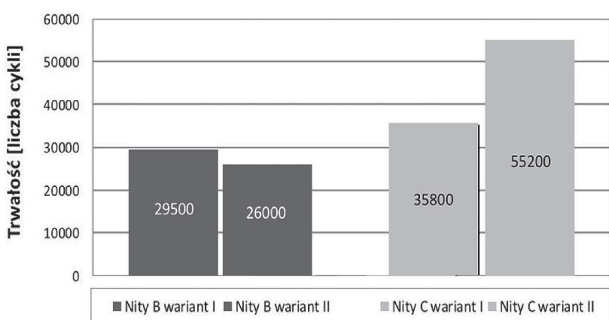
W przypadku badania połączeń z nitami B i C, które miały podobną budowę istotne różnice w nośności połączeń wynikały z rodzaju materiału zastosowanego do wytworzenia tulei nitowej. W nitach typu B tuleja była wykonana ze stopu aluminium, natomiast w nitach typu C tuleja była wykonana ze stali nierdzewnej. Ponieważ w trakcie spęczania nitów trzpienie nitów B i C ulegały zerwaniu na wysokości pierwszego łączonego elementu, przekrój który był efektywnie obciążony w nicie miał formę pierścienia tulei nitowej. W przeciwieństwie do nitów B i C w połączeniach z nitami typu D, trzpienie nitu ulegał zerwaniu na wysokości całego nitu i zarówno tuleja nitowa jak i stalowy rdzeń nitu podlegały ścinaniu. Stąd tak wysoka nośność połączeń z tego rodzaju nitami. Podobna prawidłowość występowała po zastosowaniu nitów typu E, gdzie obciążona tuleja była wykonana ze stopu aluminium, a wkręcona stalowa śruba pełniła w tym rozwiązaniu funkcję trzpienia.

Trwałość zmęczeniową połączeń, w których wykorzystano nity dwustronne i jednostronne zaprezentowano na rys. 5. We wszystkich badanych przypadkach zniszczeniu uległy łączone blachy od strony bardziej zginanego elementu – efekt oddziaływania wtórnych

momentów gnących i bardziej podatnej na odkształcenia części nita – łba lub zakuwki. W przypadku połączeń z nitami D były to blachy od strony zakuwek, natomiast w połączeniach z pozostałymi nitami od strony łbów nitów. Najbardziej korzystne właściwości połączeń w obszarze ich trwałości zmęczeniowej uzyskano po zastosowaniu nitów jednostronnych typu D. W badaniach zmęczeniowych nie obserwowano również zjawiska samoczynnego demontażu nitów jednostronnych. W przypadku połączeń z nitami E trwałość zmęczeniowa połączeń była również większa od trwałości połączeń z nitami typu A (dwustronnymi), mimo że przekrój krytyczny łączonych blach był aż o 8 mm² mniejszy. Tego rodzaju prawidłowość była konsekwencją istotnego wpływu elementów nitów na zjawisko zginania elementów połączenia. Im sztywniejszy element nita – łeb lub zakuwka – tym mniej intensywne zjawisko zginania łączonych blach i większa trwałość zmęczeniowa samego połączenia.



Rys. 5. Porównanie trwałości zmęczeniowej połączeń nitowych z różnymi rodzajami nitów
Fig. 5. Comparison of fatigue life of riveted connections with various types of rivets



Rys. 6. Porównanie trwałości zmęczeniowej połączeń nitowych z nitami typu B i C w dwóch wariantach montażu
Fig. 6. Comparison of fatigue life of riveted connections with rivets type B and C in two installation variants

W celu potwierdzenia tej prawidłowości przygotowano połączenia z nitami typu B i C w wariacie II. Wariant II oznaczał, że w przekrojach krytycznych łączonych elementów zamiast łbów nitów zostały

uformowane zakuwki nitów, które były mniej podatne na odkształcenia. Trwałość zmęczeniowa próbek poddanych testom eksperymentalnym została zaprezentowana na rys. 6.

W przypadku zastosowania nitów typu B trwałość próbek okazała się niższa, ale zniszczeniu zmęczeniowemu nie uległy łączone blachy, lecz same nity wykonane ze stopu aluminium. W połączeniach z nitami C, których tuleje były wykonane ze stali odpornej na korozję zmiana strony nitowania spowodowała zauważalny wzrost trwałości zmęczeniowej badanych próbek. Zniszczenie połączeń polegało na rozwoju pęknięć zmęczeniowych w łączonych blachach. Tym samym potwierdzono przypuszczenia o istotnym wpływie sztywności elementów nita – łeb nita lub jego zakuwki – na trwałość zmęczeniową połączeń jednozakładkowych.

Wnioski

Na podstawie wykonanych badań eksperymentalnych stwierdzono, że:

- na obecnym poziomie rozwoju systemów nitowania jednostronnego istnieje możliwość zastąpienia w konstrukcjach lotniczych nitów dwustronnych nitami jednostronnymi. Tego typu rozwiązania będą szczególnie przydatne podczas wykonywania napraw struktury statków powietrznych w miejscach trudnodostępnych,
- kryterium doboru systemu nitowania jednostronnego nie może być tylko ekwiwalentna nośność połączenia, ale także trwałość połączenia, w tym również jego trwałość zmęczeniowa,
- trwałość zmęczeniowa połączeń jednozakładkowych wykorzystywanych w badaniach istotnie zależała od działania na połączenie wtórnych momentów gnących – ich negatywne oddziaływanie skutecznie redukuje systemy nitów jednostronnych z trzpieniami występującymi na całej długości nita po jego zakuciu,
- w badaniach własnych najlepsze rezultaty osiągnięto wykorzystując nity jednostronne typu Cherry MBC® NAS1720.

LITERATURA

- [1] Baker Á., F. Rose, R. Jones. 2002. "Advances in the bonded composite repair of metallic aircraft structure". Elsevier Science Ltd, London.
- [2] Godzimirski J. 1987. "Technologia napraw samolotów i śmigłowców – naprawy polowe". Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna.
- [3] Godzimirski J. 2000. "Technologia produkcji płatowców". Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna.
- [4] Jones R. et. al. 2018. "Aircraft Sustainment and Repair". Elsevier Ltd.
- [5] Kaniowski J. (praca zbiorowa). 2010. "Poprawa trwałości zmęczeniowej połączeń nitowych stosowanych w konstrukcjach lotniczych". Projekt badawczy nr Eureka/59/2006, ILOT, Warszawa.

- [6] Rans C.D. 2007. "The Role of Rivet Installation on the Fatigue Performance of Riveted Lap Joints". Doctoral Dissertation. Department of Mechanical and Aerospace Engineering Carleton University, Ottawa.
- [7] Skorupa A., M. Skorupa. 2012. "Riveted Lap Joints in Aircraft Fuselage". Springer, Dordrecht.
- [8] Rośkowicz M. 2009. „Trwałość zmęczeniowa połączeń nitowych”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (3): 37–40.

dr hab. inż. Marek Rośkowicz – Instytut Techniki Lotniczej Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, ul. Gen. W. Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa, e-mail: marek.roskowicz@wat.edu.pl

dr inż. Sławomir Tkaczuk – Instytut Techniki Lotniczej Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, ul. Gen. W. Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa, e-mail: slawomir.tkaczuk@wat.edu.pl

dr inż. Andrzej Komorek – Katedra Awioniki i Systemów Sterowania Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie, ul. Dywizjonu 303 nr 35, 08-521 Dęblin, e-mail: a.komorek@wsosp.pl

mgr inż. Jarosław Gąsior – absolwent Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji, ul. Nowowiejska 28A, 00-909 Warszawa, e-mail: j.gasior@ron.mil.pl