

WPLYW DOKŁADNOŚCI WYKONANIA ELEMENTÓW POŁĄCZENIA ZATRZASKOWEGO NA PRZEBIEG MONTAŻU

Influence of machining accuracy of snap fit joint elements on assembly process

Józef KUCZMASZEWSKI, Waldemar ŁOGIN, Paweł PIEŚKO, Tomasz SADOWSKI,

Magdalena ZAWADA-MICHAŁOWSKA

Streszczenie: W pracy przedstawiono analizę wpływu dokładności wykonania elementów połączenia zatrzaskowego na przebieg montażu, a w szczególności na wartości sił zamykających. Jednym z najbardziej efektywnych i łatwych sposobów łączenia elementów jest połączenie zatrzaskowe, które jest stosowane do montażu struktur wielkogabarytowych. W ramach pracy opracowano i przebadano przebieg montażu w aspekcie dokładności wykonania elementów mechanicznego połączenia, które wykonano z dwóch materiałów tj.: stopu aluminium EN AW-2024 (pokrywa) oraz kompozytu polimerowego (podstawa) na osnowie żywicy epoksydowej wzmocnionej włóknem szklanym (TSE). Na podstawie przeprowadzonych badań zauważono, że w aluminiowej pokrywie występują plastyczne deformacje elementów zatrzasku, objawiające się zwiększeniem jego średnicy w górnej części. Może to wynikać z zalegania naprężeń własnych powstałych zarówno w procesie wytwarzania półfabrykatu (efekt historii technologicznej), jak i wygenerowanych podczas obróbki skrawaniem. Dodatkowo w trakcie zamykania połączenia zauważono charakterystyczny podział na trzy etapy: w pierwszym zaobserwowano wyraźny wzrost siły niezbędnej do uzyskania wymaganego odkształcenia sprężystego, następnie stabilizację siły wciskania oraz ostatecznie gwałtowny wzrost wynikający z całościowego odkształcania konstrukcji. Początkowe rozbieżności w wartościach siły zamykającej są prawdopodobnie rezultatem różnic w wartościach odchyłek wykonania otworów w podstawie. Wykonana analiza pozwala stwierdzić, iż mierzone wartości odchyłek wymiarów mieszczą się w założonych tolerancjach, co oznacza, że mechaniczne połączenie zatrzaskowe zostało zaprojektowane i wykonane poprawnie.

Słowa kluczowe: połączenie zatrzaskowe, dokładność wykonania, montaż, naprężenia własne

Abstract: The paper presents an analysis of influence of machining accuracy of snap fit joint elements on assembly process, in particular on values of closing forces. One of the most effective and easy ways to bind elements is a snap fit joint which is used for the assembly of large-size structures. As a part of experimental study assembly process was developed and studied in aspect of machining accuracy of elements of mechanical joint. They are made of two materials i.e.: aluminum alloy EN AW-2024 (cover) and polymer composite (base). It has an epoxy resin matrix and is reinforced with glass fibres (TSE). Based on the conducted study, it has been noted that in aluminum cover are plastic deformations of snap elements, showing by increasing its diameter at the upper part. It can be result of internal stresses created in both blank manufacturing process (effect of technological history), and generated during machining. Additionally, during binding characteristic division into three phases has been observed: at first, clear increase of force necessary to achieve the required elastic deformation, then force stabilization and finally a sharp increase due to deformation of overall structure. Initial differences in the values of closing force are probably the result of differences in deviation values of performed holes in the base. The conducted analysis leads to the conclusion that the measured deviation values of dimensions fit in the established tolerances, which means that the mechanical snap fit joint was designed and manufactured properly.

Keywords: snap fit joint, execution accuracy, assembly, internal stresses

Wstęp

Redukcja kosztów wytwarzania implikuje poszukiwania innowacyjnych rozwiązań i technologii łączenia elementów, które są uwarunkowane wieloma czynnikami, do których należą m.in. [4]:

- niezawodność, lekkość i szczelność konstrukcji przy zachowaniu wysokiej wytrzymałości oraz sztywności,
- redukcja ilości części składowych zespołów oraz ich połączeń.

Wszystkie maszyny, urządzenia bądź mechanizmy złożone są z części składowych. Za jeden z najbardziej efektywnych i łatwych sposobów łączenia elementów uważane jest połączenie zatrzaskowe, przy którym jedna część jest wciskana w drugą według ustalonej pozycji.

Prawidłowość wykonania tego połączenia zależy w dużym stopniu od zastosowanej siły wciskania, niezbędnej do połączenia jednostek montażowych. Ze względu na złożoną geometrię, połączenia zatrzaskowe są stosowane głównie podczas montażu elementów wielkogabarytowych [1-3, 5, 6].

Istotne znaczenie na pewność (bezpieczeństwo w eksploatacji) takiego połączenia ma dokładność wykonania poszczególnych elementów zatrzasku oraz odpowiednio dobrane pasowania między nimi. Wynika to z tego, że uzyskanie prawidłowego połączenia zatrzaskowego opiera się na sprężystości jego elementów, dlatego też ich geometria oraz wzajemne pasowanie powinny być tak dobrane, aby w trakcie montażu nie wystąpiło przekroczenie granicy plastyczności materiału, z którego są one wykonane [3,7].

Metodyka badań

Celem pracy była analiza wpływu dokładności wykonania elementów połączenia zatrzaskowego na przebieg montażu, a w szczególności na wartości sił zamykających.

Obróbkę elementów mechanicznego połączenia zatrzaskowego przeprowadzono na 3-osiowym centrum frezarskim Avia VMS 800HS. W ramach pracy opracowano i przebadano przebieg montażu w aspekcie dokładności wykonania elementów mechanicznego połączenia zatrzaskowego, które wykonano z dwóch materiałów tj.: stopu aluminium EN AW-2024 (pokrywa) oraz kompozytu polimerowego (podstawa) na osnowie żywicy epoksydowej wzmacnianej włóknem szklanym (TSE).

Sposób mocowania elementu kompozytowego w trakcie obróbki skrawaniem oraz jej przebieg przedstawiono na rys. 1a. Obróbka ta obejmowała: 1 – frezowanie otworów, w celu zwiększenia ich średnicy, 2 – wykonanie rowków będących elementami zatrzasku frezem do rowków teowych, 3 – wykonanie fazek prowadzących na górnej krawędzi otworów.

Element wykonany ze stopu aluminium EN AW-2024 wytworzono w całości przy zastosowaniu obróbki skrawaniem. Proces technologiczny obróbki tego elementu przedstawiono na rys. 1b, a przebiegał on następująco: 1 – obróbka otworów, 2 – obróbka walcowej powierzchni zatrzasku do pierwszego poziomu, 3 – wykonanie fazek prowadzących, 4 – wykonanie frezem do rowków teowych podcięć na walcowych powierzchniach zatrzasków, 5 – wykonanie pionowych rowków mikrofrezem, 6 – usunięcie materiału ze środkowego obszaru konstrukcji do pierwszego poziomu, 7 – obróbka walcowych powierzchni zatrzasków do poziomu dna, 8 – wykonanie podcięć na walcowych powierzchniach zatrzasków do poziomu dna, 9 – usunięcie materiału ze środkowego obszaru konstrukcji do poziomu dna, 10 i 11 – wycięcie konstrukcji z ramki – frezowanie z pozostawieniem mostków, które odcięto ręcznie (obróbka ślusarska).

Wytworzone elementy połączenia zatrzaskowego poddano ocenie dokładności wykonania, polegającej

na pomiarze najważniejszych parametrów geometrycznych, mających wpływ na przebieg montażu. W tym celu wykorzystano system skanujący ATOS firmy GOM oraz współrzędnościową maszynę pomiarową ZEISS Vista.

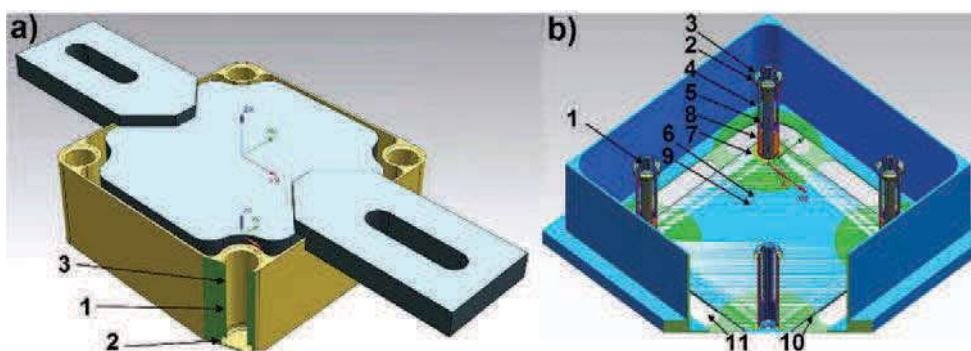
Pomiary wykonywano dla każdej z pięciu wytworzonych podstaw i pokryw. Podstawy oznaczono symbolami od Z1 do Z5, natomiast pokrywy symbolami od M1 do M5.

Wyniki badań

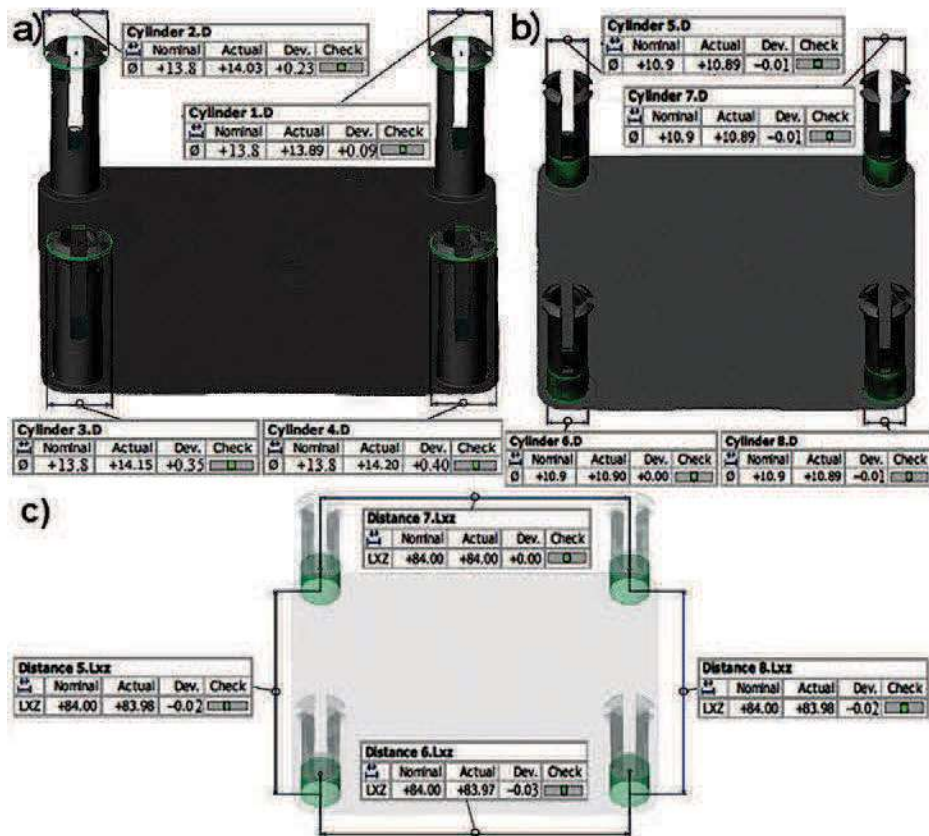
Na rys. 2 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów aluminiowej pokrywy, podczas których skupiono się na analizie średnic zatrzasków w części górnej (rys. 2a) i dolnej (rys. 2b), a także analizie ich rozstawienia (rys. 2c).

Analizując wyniki pomiarów aluminiowej pokrywy stwierdzono, że w trakcie obróbki, prawdopodobnie pod wpływem zalegających naprężeń własnych lub naprężeń powstałych w trakcie procesu skrawania, występuje plastyczna deformacja elementów zatrzasku, co objawia się znacznym zwiększeniem jego średnicy w górnej części. Może to wynikać zarówno z historii technologicznej zastosowanej przygotówki (proces obróbki plastycznej, cieplnej, itp.), jak i samego procesu skrawania. Jednocześnie pozostałe wymiary mają nieznaczne odchyłki, co sugeruje, że element został wykonany z dużą dokładnością. Powstające w górnej strefie zatrzasku odkształcenie może mieć pozytywny wpływ na wytrzymałość otrzymanego połączenia (zwiększa siłę niezbędną do rozłączenia połączenia), jednak utrudnia montaż elementów zatrzasku (zwiększa siłę niezbędną do wykonania połączenia).

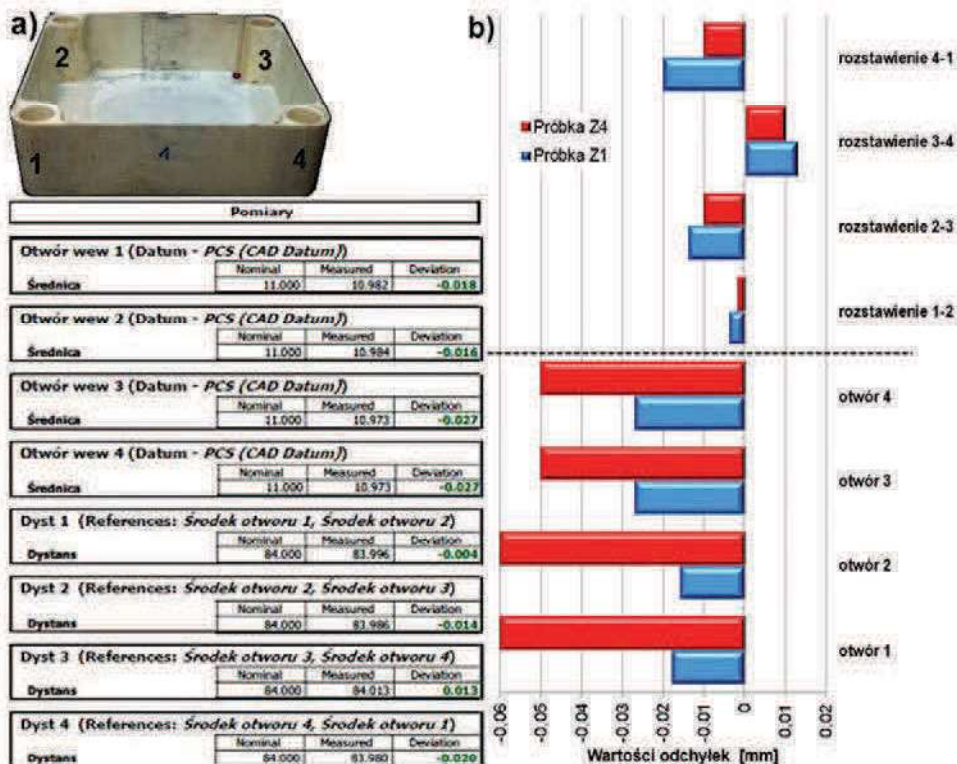
Również dla kompozytowej konstrukcji podstawy skoncentrowano się na pomiarach elementów mających największy wpływ na jakość i dokładność wytworzonego połączenia. Zmierzone średnice otworów zatrzasku oraz ich rozstawienie. Na rys. 3a przedstawiono przykładowy protokół z pomiarów współrzędnościową maszyną pomiarową Vista kompozytowej podstawy natomiast rys. 3b prezentuje wartości odchyłek pomiaru średnic



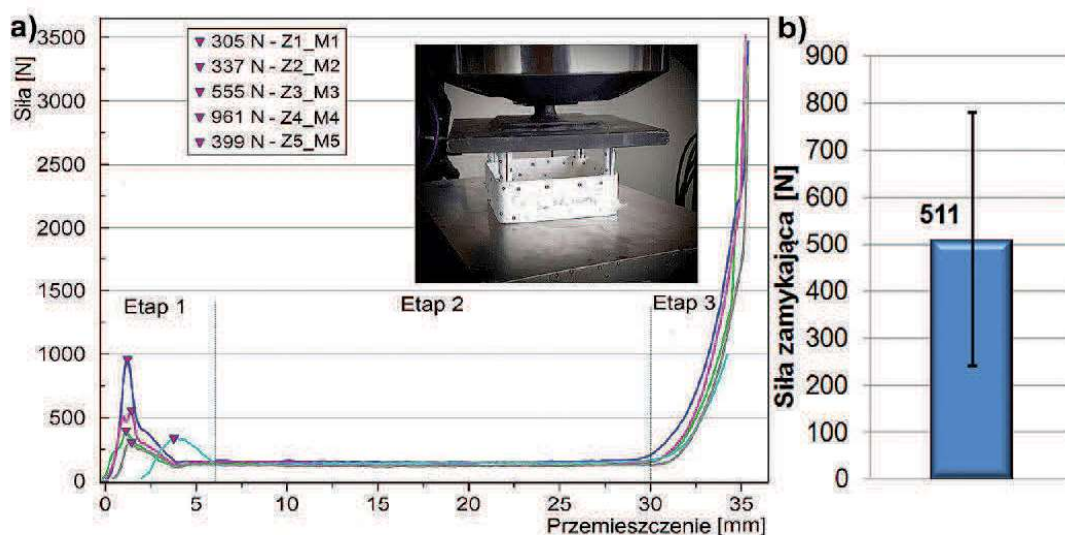
Rys. 1. Obróbka elementów połączenia zatrzaskowego: a) kompozytowa podstawa, b) aluminiowa pokrywa
Fig. 1. Machining of snap fit joint elements: a) composite base, b) aluminium cover



Rys. 2. Wyniki pomiaru aluminiowej pokrywy: a) pomiar średnicy górnej, b) pomiar dolnej średnicy, c) pomiar rozstawienia zatrzasków
 Fig. 2. Measurement result of aluminium cover a) measurement of upper diameter, b) measurement of lower diameter, c) measurement of snaps spacing



Rys. 3. Wyniki pomiaru kompozytowej podstawy: a) przykładowy protokół, b) wartości odchyłek pomiaru średnic i rozstawienia otworów
 Fig. 3. Measurement result of composite base: a) exemplary protocol, b) deviation values of diameter measurement and holes spacing



Rys. 4. Siła zamykająca połączenie: a) przebieg siły w funkcji przemieszczenia, b) wartość średnia
 Fig. 4. Closing force of joint: a) force pass in function of displacement b) average value

i rozstawienia otworów dla dwóch wybranych próbek tzn. Z1 i Z4, dla których w trakcie procesu montażu uzyskano dwie skrajne wartości siły zamykającej (rys. 4a).

Na rys. 4a przedstawiono przebieg osiowej siły zamykającej w funkcji przemieszczenia aluminiowej pokrywy względem kompozytowej podstawy dla pięciu prób montażu połączeń zatrzaskowych. Rys. 4b prezentuje wartość średnią uzyskanej siły.

W trakcie zamykania połączenia wyróżniono 3 charakterystyczne etapy:

- 1) Wprowadzenie trzpieniowych elementów pokrywy w otwory podstawy przy którym zauważono wyraźny wzrost siły potrzebnej do uzyskania wymaganego odkształcenia. Znaczna wartość odchylenia standardowego wynika z dużych rozbieżności w wartościach siły zamykającej, co z kolei jest efektem dużych różnic w wartościach odchyłek wykonania poszczególnych elementów połączenia zatrzaskowego. Decydujące znaczenie wydają się mieć wymiary średnic otworów podstawy, ich zmniejszenie dla próbki Z4 w stosunku do próbki Z1 przekłada się na 3-krotny wzrost siły zamykającej.
- 2) Wartość siły po początkowym wzroście spada i stabilizuje się. W tym etapie trzpieniowe elementy zatrzasku przesuwiają się w otworach podstawy do momentu zatrzasknięcia połączenia oraz styku dna pokrywy ze ściankami podstawy.
- 3) Gwałtowny wzrost siły, gdyż po uzyskaniu właściwego połączenia konstrukcja zaczyna odkształcać się sprężysto jako całość.

Wnioski

Analiza uzyskanych wyników pomiarów dokładności wykonania najważniejszych wymiarów elementów

składających się na zaprojektowane połączenie zatrzaskowe, pozwala sformułować następujące wnioski:

- A. Zmierzone wartości odchyłek wymiarów mieszczą się w założonych tolerancjach, co pozwala stwierdzić, że połączenie zatrzaskowe zostało zaprojektowane i wykonane poprawnie.
- B. W aluminiowej pokrywie zauważono występowanie plastycznej deformacji elementów zatrzasku, objawiającej się zwiększeniem średnicy w jego górnej części, co może wynikać z zalegania naprężeń własnych powstałych zarówno w procesie wytwarzania półfabrykatu, jak i wygenerowanych podczas obróbki skrawaniem.
- C. Odkształcenie górnej strefy zatrzasku może mieć pozytywny wpływ na wytrzymałość otrzymanego połączenia (zwiększa siłę niezbędną do rozłączenia połączenia), jednak może utrudnić montaż (zwiększa siłę niezbędną do wykonania połączenia).
- D. W pierwszym etapie montażu zaobserwowano znaczne rozbieżności w wartościach siły zamykającej, co jest prawdopodobnie rezultatem różnic w wartościach odchyłek wykonania otworów podstawy.

LITERATURA

- [1] Bonenberger P. R. 2000. "The first snap-fit handbook: creating attachments for plastic parts". Munich: Hanser.
- [2] Genc S., R. W. Messler, G. A. Gabriele. 1998. "A systematic approach to integral snap-fit attachment design". *Research in Engineering Design* (10): 84–93.
- [3] Klahn C., D. Singer, M. Meboldt. 2016. "Design Guidelines for Additive Manufactured Snap-Fit Joints". *Procedia CIRP* (50): 264–269.

- [4] Kuczmaszewski J. 2011. „Efektywność wytwarzania elementów lotniczych ze stopów aluminium i magnezu”. Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, pod red. Knosala R., tom II, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole: 7–18.
- [5] Messler R. W., S. Genc, G. A. Gabriele. 1997. “Integral attachment using snap-fit features: a key to assembly automation. part 1 – introduction to integral attachment using snap-fit features”. *Assembly Automation* (17): 143–155.
- [6] Osiński Z. (red.) 2010. „Podstawy konstrukcji maszyn”. Warszawa: PWN.
- [7] Zawora J. 2008. „ Podstawy technologii maszyn”. Warszawa: WSiP.

Praca realizowana w ramach projektu Nr INNO-LOT/II/5/NCBR/2013 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

prof. dr hab. inż. Józef Kuczmaszewski – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: j.kuczmaszewski@pollub.pl

dr inż. Paweł Pieśko – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: p.piesko@pollub.pl

mgr inż. Magdalena Zawada-Michałowska – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: m.michalowska@pollub.pl

prof. dr hab. inż. Tomasz Sadowski – Katedra Mechaniki Ciała Stałego, Wydział Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, e-mail: t.sadowski@pollub.pl

mgr inż. Waldemar Łogin – PZL Mielec a Sikorsky Company, al. Wojska Polskiego 3, 39-300 Mielec, e-mail: waldemar.login@lmco.com