



fol. IMBiGS

YEARS
25
LAT



Targi Kielce
exhibition & congress centre

Przemysłowa wiosna w Targach Kielce

Największe wydarzenie w branży

10-12.04.2018



Salon Technologii Obróbki Metali:

**stom-TOOL, stom-BLECH & CUTTING, stom-LASER, stom-ROBOTICS,
WirtoProcesy, SPAWALNICTWO oraz DNI DRUKU 3D**

Zarezerwuj swoje miejsce już dziś!

WWW.PRZEMYSLOWAWIOSNA.PL

ZESPÓŁ REDAKCYJNY:

Redaktor Naczelny – prof. dr hab. inż. Jerzy Łunarski
Z-ca Redaktora Naczelnego – dr inż. Martyna Jachimowicz
tel. 663 311 966

Redaktorzy tematyczni:

Dr inż. Rafał Kluz (technologia, automatyzacja)
Dr inż. Katarzyna Antosz (niezawodność, eksploatacja)
Dr inż. Mirosław Chłosta (inżynieria, produkcja)
Dr inż. Andrzej Kubit (struktury i systemy montażu)

RADA PROGRAMOWO-NAUKOWA:

Prof. Dario Antonelli (Politecnico di Torino, Włochy), prof. Bronius Baksys (Kaunas University of Technology, Litwa), prof. Marek Balaziński (Ecole Polytechnique Montreal, Kanada), prof. Adam BARYLSKI (Politechnika Gdańska), mgr inż. Magdalena Borek-Daruk (SIGMA-NOT), prof. Józef Gawlik (Politechnika Krakowska) – z-ca przewodniczącego, prof. Jan Godzimirski (WAT), prof. Stefan Góralczyk (IMBiGS), prof. Mikulas Hajduk (Technická Univerzita v Kosiciach, Słowacja), prof. Michael Kheifetz (Połocki Gosudarstwiennyj Uniwersytet, Białoruś), doc. dr inż. Radek Knoflicek (FME Brno, Czechy), prof. Mark Kristal (Volgograd State Technical University, Rosja), prof. Józef Kuczmaszewski (Politechnika Lubelska), prof. Piotr Łebkowski (AGH), prof. Antonio Maffei (KTH Royal Institute of Technology, Szwecja), prof. Ignace Martens (Katholieke Universiteit Leuven, Belgia), prof. Jacek Mucha (Politechnika Rzeszowska), prof. Vitaliy Pasichnyk (Nacjonalnyj Technicznyj Uniwersitet Ukrainy „Kijewskij Politechnicznyj Instytut”, Ukraina), prof. R. M. Chandima Ratnayake (University of Stavanger, Norwegia), prof. Emil Spisak (Technika Univerzita v Kosiciach, Słowacja), dr inż. Dorota Stadnicka (Politechnika Rzeszowska), prof. Jerzy Stamirowski (Politechnika Świętokrzyska), prof. Michaił W. Wartanow (Moskowskij Gosudarstwiennyj Maszynostroitelnyj Uniwersytet, Rosja), prof. Władimir P. Woronienko (Moskowskij Gosudarstwiennyj Technologiczeskij Uniwersytet, Rosja), prof. Jan Żurek (Politechnika Poznańska) – przewodniczący

ADRES REDAKCJI:

Kwartalnik „Technologia i Automatyzaacja Montażu”
ul. Ratuszowa 11, pok. 740
00-950 Warszawa, skr. poczt. 1004
Tel. 22 853 81 13
e-mail: tiam@sigma-not.pl
www.tiam.pl

PRENUMERATA:

Zakład Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT Sp. z o.o.
ul. Ku Wiśle 7
tel. 22 840 30 86
tel./fax: 22 827 43 65, 619 22 41 w. 215
e-mail: prenumerata@sigma-not.pl
portal: www.sigma-not.pl

REKLAMA:

Redakcja: tel. 22 853 81 13
e-mail: tiam@sigma-not.pl
Dział Reklamy i Marketingu
tel./fax: 22 827 43 65
e-mail: reklama@sigma-not.pl

SKŁAD I ŁAMANIE:

Drukarnia Wydawnictwa SIGMA-NOT
ul. Ks. Jerzego Popiełuszki 19/21, 01-590 Warszawa
e-mail: drukarnia@drukarnia.sigma-not.pl

WYDAWCA:



Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego
ul. Racjonalizacji 6/8, 02-673 Warszawa



Wydawnictwo SIGMA-NOT
ul. Ratuszowa 11 skr. poczt. 1004, 00-950 Warszawa

PATRONAT:

Stowarzyszenie Inżynierów Mechaników i Techników Polskich

Za treść ogłoszeń i artykułów promocyjnych redakcja nie odpowiada

Cena prenumeraty rocznej 80 zł
Wersja pierwotna: elektroniczna

W numerze

Rudawska A., Prus P., Miturska I., Warda T.: Określenie nośności wybranych połączeń montażowych blach ze stopu aluminium EN AW-5754.	6
Wartanow M.W., Pietroń W.K., Archipow M.W., Miszczenko R.S.: Eksperymentalne badania warunków montowalności w zrobotyzowanym montażu z zastosowaniem czujnika siły i mo- mentu	11
Kłonica M.: Badania skuteczności klejenia kompozytu węglowego.	17
Komorek A., Chojnacki K.: Analiza przełomów udarowych połączeń klejowych blokowych . . .	21
Kuczmaszewski J., Łogin W., Pieśko P., Sa- dowski T., Zawada-Michałowska M.: Wpływ dokładności wykonania elementów połączenia zatraskowego na przebieg montażu.	27
Bucior M., Zielecki W., Kubit A.: Konstrukcja głowicy do umacniania blach i doczołowych po- łączeń spawanych metodą pneumokulowania	32
Barylski A.: Analiza konstrukcji uchwytów ob- róbkowych w aspekcie montażu	37
Kasperek D., Rudawska A.: Zastosowanie kle- jenia w budowie autobusów.	42
Wiśniewski M., Pietrowiak A., Ciszak O., Peta K., Grochalski K.: Analiza ścieżki narzę- dzia w operacji montażu z zastosowaniem pro- gramu RobotStudio	47
Kubit A., Bucior M., Kluz R.: Wytrzymałość na oddzieranie połączenia adhezyjnego kompozy- tu polimerowo-włóknistego z blachą ze stopu aluminium 2024-T3.	54

Rudawska A., Prus P., Miturska I., Warda T.: Determination of the load capacity of selected assembly joints of EN AW-5754 aluminium alloy sheet	6	Рудавска А., Прус П., Митурска И., Варда Т.: Прочность избранных сборочных соединений алюминиевой жести EN AW-5754.	6
Wartanow M.W., Pietroń W.K., Archipow M.W., Miszczenko R.S.: Experimental research of assembly capability conditions with robotized assembly based on application of force-torque sensor.	11	Вартанов М.В., Петров В.К., Архипов М.В., Мищенко Р.С.: Экспериментальное исследование условий собираемости при роботизированной сборке на основе применения силомоментного датчика	11
Kłonica M.: Research on the effectiveness of carbon composite bonding	17	Клоница М.: Исследования успешного склеивания углепластиков	17
Komorek A., Chojnacki K.: Analysis of impact fracture in adhesive block joints	21	Коморек А., Хойнацки К.: Анализ ударных изломов блочных клеевых соединений	21
Kuczmaszewski J., Łogin W., Pieśko P., Sadowski T., Zawada-Michałowska M.: Influence of machining accuracy of snap fit joint elements on assembly process	27	Кучмашевски Ю., Логин В., Песько П., Садовски Т., Завада-Михаловска М.: Влияние точности изготовления элементов пружинного соединения на ход процесса сборки	27
Bucior M., Zielecki W., Kubit A.: Construction of heads for strengthening of plate and butt-welded joints with pneumatic shot peening methods	32	Буцер М., Зелецки В., Кубит А.: Конструкция технологической головки для упрочнения жестей и торцевых сваренных соединений методом шарикового наклепа	32
Barylski A.: Analysis of the structure of handles in the aspect of the assembly	37	Барыльски А.: Анализ сборочной пригодности конструкции станочных патронов	37
Kasperек D., Rudawska A.: The bonding technology application in busses construction	42	Касперек Д., Рудавска А.: Применение клеевых соединений в производстве автобусов.	42
Wiśniewski M., Pietrowiak A., Ciszak O., Peta K., Grochalski K.: Analysis of the tool path in assembly using RobotStudio program	47	Висьневски М., Петровяк К., Цишак О., Пета К., Грохальски К.: Анализ траектории инструмента в сборочной операции с применением программы RobotStudio	47
Kubit A., Bucior M., Kluz R.: Peel strength of adhesive joint of fibreglass composite with aluminium alloy 2024-T3 sheet	54	Кубит А., Буцер М., Клуз Р. Прочность на отрыв адгезионного соединения полимерно-волокнутого композита с жестью алюминевого сплава 2024-T3	54

Wskazówki dotyczące przygotowania artykułów

- Artykuły przeznaczone do opublikowania w kwartalniku „Technologia i Automatykacja Montażu” powinny mieć oryginalny i naukowo-techniczny charakter i być zgodne z problematyką czasopisma. Redakcja przyjmuje artykuły w jęz. polskim, jęz. angielskim i jęz. rosyjskim.
- Artykuł o maksymalnej objętości 5 stron A4 wraz z ilustracjami powinien być napisany czcionką Times Roman lub Arial 12 pkt, z interlinią 12 pkt. Formatowany tekst nie powinien mieć podziału na kolumny.
- Tytuł artykułu należy podać w jęz. polskim i jęz. angielskim. Tytuł nieprzekraczający 10 słów powinien odzwierciedlać istotne elementy treści artykułu.
- Struktura artykułów naukowo-technicznych prezentujących prace autora(ów) powinna być następująca: wstęp (wprowadzenie); metodyka (badań, analiz, pracy z podaniem ewentualnie materiałów, założeń itp.); wyniki (badań, analiz); omówienie wyników; wnioski; spis literatury.
- Podpisy pod ilustracjami oraz tytuły tablic należy podać w jęz. artykułu i jęz. angielskim.
- Ilustracje należy dołączyć również jako osobne pliki w formacie: .jpg, .tiff, z rozdzielczością co najmniej 300 dpi. Wszystkie zamieszczane ilustracje powinny być własnością autora(ów) lub należy podać źródło pochodzenia rysunków.
- Wzory matematyczne pisane w edytorze równań Microsoft Equation i powinny być oznaczane kolejnym numerem w nawiasie okrągłym. Wszystkie symbole powinny być objaśnione. Należy stosować jednostki układu SI.
- Spis literatury należy podać w kolejności cytowania w tekście, a odnośniki w tekście powinny być ponumerowane cyframi arabskimi i umieszczone w nawiasach kwadratowych. W przypadku korzystania z Internetu należy podać adres strony i datę odczytu. Liczbę autocytowań należy ograniczyć do niezbędnych.
- Do artykułu należy dołączyć streszczenie w jęz. artykułu i jęz. angielskim, zawierające minimum 200–250 słów.
- Pod streszczeniem należy podać 3–6 słów kluczowych w jęz. artykułu i jęz. angielskim, zwracając uwagę, by nie były one powtórzeniem tytułu pracy.
- Po spisie literatury zaleca się podanie źródła finansowania pracy.
- Na końcu artykułu należy podać: imiona i nazwiska autorów, tytuły naukowe lub zawodowe, telefon, faks, e-mail, miejsce zatrudnienia wraz z adresem do korespondencji.

Procedura recenzowania

Procedura recenzowania artykułów w czasopiśmie jest zgodna z zaleceniami Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego zawartymi w opracowaniu „Dobre praktyki w procedurach recenzyjnych w nauce”, Warszawa 2011.

Wszystkie artykuły naukowo-techniczne publikowane w kwartalniku „Technologia i Automatykacja Montażu” są recenzowane.

Nadesłane artykuły są poddawane redakcyjnej ocenie formalnej i otrzymują numer redakcyjny, identyfikujący je na dalszych etapach procesu wydawniczego, a redakcja wysyła do autorów informację o przyjęciu artykułu i wysłaniu go do recenzentów. Do oceny każdej publikacji powołuje się co najmniej dwóch niezależnych recenzentów. Redakcja dobiera recenzentów rzetelnych i kompetentnych w danej dziedzinie. Nadesłane artykuły nie są nigdy wysyłane do recenzentów z tej samej placówki, z której pochodzi autor. Prace recenzentów są poufne i anonimowe. Recenzja musi mieć formę pisemną i kończyć się jednoznacznym wnioskiem o dopuszczeniu artykułu do publikacji w czasopiśmie lub jego odrzuceniu. W przypadku pracy w języku obcym, co najmniej jeden z recenzentów jest afiliowany w instytucji zagranicznej innej niż narodowość autora pracy. Autorzy są informowani o wynikach recenzji oraz otrzymują je do wglądu. W sytuacjach spornych redakcja powołuje dodatkowych recenzentów.

Lista recenzentów publikowana jest w ostatnim zeszycie każdego rocznika.

Warunki prenumeraty kwartalnika „Technologia i Automatykacja Montażu” w 2018 r.

Kwartalnik „Technologia i Automatykacja Montażu” ukazuje się formie elektronicznej i jest dostępny on-line na Portalu Informacji Technicznej Wydawnictwa SIGMA-NOT Sp. z o.o. (www.sigma-not.pl).

Cena prenumeraty rocznej wynosi: 100 zł (w tym 23% VAT).

Rabaty:

30% – dla członków stowarzyszeń naukowo-technicznych NOT, nauczycieli, studentów i uczniów,

10% – dla prenumeratorów podpisujących z Wydawnictwem umowę prenumeraty ciągłej (odnawialnej automatycznie).

Prenumeratę można zamówić:

- **telefonicznie:** 22 840 30 86, 22 840 35 89
- **faksem:** 22 891 13 74
- **e-mailem:** prenumerata@sigma-not.pl
- **on-line:** www.sigma-not.pl
- **listownie:**
Zakład Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT ul. Ku Wiśle 7, 00-707 Warszawa
- **dokonując wpłaty na konto:**
Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o., ul. Ratuszowa 11, 00-950 Warszawa PKO BP 24 1020 1026 0000 1002 0250 0577 (w tytule przelewu należy podać nazwę czasopisma, liczbę zamawianych egzemplarzy i okres prenumeraty).

PROBLEMY OCEN JAKOŚCIOWYCH AUTOMATYCZNYCH URZĄDZEŃ MONTAŻOWYCH

Jerzy ŁUNARSKI

Systemy wytwarzania różnorodnych wyrobów, zwłaszcza w produkcji 4.0, stają się coraz bardziej zautomatyzowane, mają również wzrastający poziom elastyczności. Istotnym elementem tych systemów są podsystemy montażowe, w których następuje ostateczne ukonstytuowanie właściwości funkcjonalnych i użytkowych wytwarzanego wyrobu. Podsystemy te funkcjonując w procesach zautomatyzowanej produkcji, powinny charakteryzować się następującymi właściwościami:

1. Dużą i stabilną wydajnością zsynchronizowaną z wydajnością wcześniejszych podsystemów wytwórczych (wytwarzanie półfabrykatów, obróbka ubytkowa lub przyrostowa i in.).
2. Niezawodnością funkcjonowania, zapewniającą jakościowe wytwarzanie elementów składowych wyrobu oraz łatwością i szybkością ich napraw oraz remontów w przypadku nieoczekiwanych uszkodzeń lub awarii w warunkach funkcjonującej produkcji.
3. Zagwarantowaniem bezpieczeństwa personelu obsługującego, urządzeń współpracujących oraz środowiska zewnętrznego przez eliminowanie szkodliwych emisji i odpadów (hałas, promieniowanie, odory, odpady, związki toksyczne, zanieczyszczenia i in.).
4. Umożliwienie pełnego recyklingu wszystkich elementów składowych systemu wytwórczego po zakończeniu jego eksploatacji.

Należy podkreślić, że wszelkie zakłócenia poziomu niezawodności i bezpieczeństwa pośrednio wpływają na obniżenie planowanej wydajności, co ogranicza potencjał produkcyjny i może skutkować wydłużeniem planowanych cykli wytwarzania.

Uzyskiwanie planowanego poziomu wydajności jest również uzależnione od sprawności funkcjonowania systemów zaopatrzeniowych w elementy handlowe, kooperacyjne, surowcowe i inne (np. materiały pomocnicze, narzędzia itp.), konieczne dla realizacji finalnego produktu.

Na wydajność elastycznych urządzeń montażowych znaczący wpływ może wywierać również istniejący system planowania przebiegu produkcji i jego bieżące korygowanie, które powinno zapewniać równomierne obciążanie poszczególnych stanowisk montażowych bieżącymi zadaniami produkcyjnymi.

Poszczególne urządzenia zautomatyzowanego podsystemu montażowego to przeważnie urządzenia specjalistyczne, wytwarzane jednostkowo na zamówienia klientów i dostosowywane do grupowej realizacji operacji

montażowych, podobnych pod względem technologicznym. Aby spełniały one przewidziane zadania w sposób niezakłócający przebiegu produkcji powinny być spełnione następujące warunki:

1. Użytkownik systemu montażowego powinien przeanalizować swoje potrzeby i sprecyzować założenia zamawianego, specjalnego urządzenia montażowego. Powinny one zawierać następujące informacje:
 - a) dane konstrukcyjne elementów montowanego zespołu, względnie grupy podobnych technologicznie zespołów, które powinny być montowane na urządzeniu,
 - b) pożądane cykle realizacji poszczególnych operacji montażowych na urządzeniu,
 - c) wymagany poziom niezawodności funkcjonowania w trakcie 8- lub 16-godzinnej autonomicznej pracy,
 - d) wymagany poziom bezpieczeństwa personelu, urządzenia i urządzeń współpracujących,
 - e) dopuszczalne emisje lub zanieczyszczenia otoczenia w trakcie eksploatacji urządzenia,
 - f) w przypadku urządzenia elastycznego – pożądany system przestawiania i przezbrajania urządzenia w sytuacji konieczności zmiany obiektu produkcji (czas, oprzyrządowanie, kompetencje personelu i in.),
 - g) inne konieczne wymagania w przypadku specyficznych wyrobów (chemicznych, farmaceutycznych, spożywczych, sprzętu AGD lub RTV i in.)
2. Projektant lub organizacja projektująca i ewentualnie wytwarzająca według projektu zamawiane urządzenie montażowe, powinni:
 - a) Opracować najkorzystniejszy proces technologiczny montowania produktu i uzyskać akceptację zamawiającego. Można w tym celu wykorzystać znane schematy lub wykreować nowe (odmienne), które mogą wymagać eksperymentalnego sprawdzenia i dopracowania.
 - b) Opracować ogólną koncepcję budowy urządzenia montażowego, starając się wykorzystać w maksymalnym stopniu dostępne na rynku lub u specjalistycznych dostawców standardowe elementy składowe, moduły lub układy.
 - c) Opracować kosztorys i terminarz wykonania projektu i projektowanego urządzenia oraz uzyskać akceptację zamawiającego, dotyczącą rozwiązań koncepcyjnych oraz kosztów i terminów wykonania.

- d) Opracować zasady końcowej oceny i odbioru urządzenia uzgodnione ze zleceniodawcą oraz zasady obsługi gwarancyjnej i pogwarancyjnej i treści dokumentacji dostarczanej wraz z urządzeniem (opisy budowy, eksploatacji, napraw, remontów, instalowania i in.).
 - e) Poszczególne obowiązki zamawiającego, projektanta i wykonawcy wraz z założonymi cechami urządzenia i jego końcowymi badaniami odbiorczymi – dane te powinny być zamieszczone w zawartej umowie między zamawiającym a wykonawcą.
3. O spełnieniu przez wykonawcę uzgodnionych założeń świadczą końcowe badania funkcjonalności i użyteczności urządzenia w trakcie ocen końcowych. Ocena taka powinna dotyczyć:
- a) oceny zastosowanej technologii montażowej przez ocenę jakości montowanych zespołów,
 - b) ocenę jakości wykonania poszczególnych zespołów roboczych urządzenia dzięki porównaniu ich budowy z dokumentacją konstrukcyjną oraz pomiary czasów i dokładności przemieszczeń poszczególnych organów roboczych i łącznego cyklu realizacji operacji montażowej,
 - c) ocenę skuteczności funkcjonowania układów, mających za zadanie zapewnienie bezpieczeństwa personelu i mienia,
 - d) ocenę ekologiczności stanowiska dzięki pomiarom szkodliwych emisji lub generowania szkodliwych odpadów i ich porównanie z wartościami dopuszczalnymi (normami lub zarządzeniami względnie uzgodnieniami w zawartej umowie),
 - e) ocenę wydajności urządzenia dzięki pomiarom rzeczywistych czasów montażu planowanych zespołów, czasów przygotowawczo-zakończeniowych, czasów obsługi organizacyjnej i technicznej,
 - f) ocenę niezawodności funkcjonowania urządzenia przez statystyczną ocenę liczby blokad i przerw w pracy z przyczyn technicznych (wynikających z wadliwości funkcjonowania układów roboczych urządzenia) oraz pomiary czasów usuwania poszczególnych usterek (zmiany regulacji, wymiany części lub gotowych modułów, oprzyrządowania, narzędzi i in.).

Oprócz oceny zgodności z założeniami i wymaganiami zamawiającego, niekiedy wskazanym jest rozszerzenie oceny i porównanie ze średnim poziomem jakościowym konkurencyjnych rozwiązań i określenie w jakim stopniu urządzenie wpływa na poprawę konkurencyjności organizacji. Ocena taka jest bardziej złożona i wymaga metodycznego przygotowania. Oceny takie można przeprowadzać według następujących kryteriów:

1. Stopień standaryzacji urządzenia, będący stosunkiem liczby nowoprojektowanych elementów składowych urządzenia do ogólnej liczby elementów urządzenia (zaleca się, aby ten iloraz nie był mniejszy od 0,15–0,20).
2. Udział czasów głównych montażu w łącznym czasie trwania operacji montażowej (zaleca się, aby był on możliwie duży).
3. Łączny współczynnik sprawności energetycznej urządzenia będący stosunkiem energii zużytej na wykonanie połączeń montażowych wykonywanego zespołu do energii pobranej na wykonanie operacji montażowej (zaleca się aby był on większy od 0,6–0,7).
4. Udział czasów obsługi i przygotowawczo-zakończeniowych w łącznym czasie pracy urządzenia (praca 8- lub 16-godzinna), powinien być możliwie minimalny nieprzekraczający 10–20% łącznego czasu pracy).
5. Poziom jakościowy realizowanych zadań, będący stosunkiem liczby wadliwie zmontowanych zespołów do wykonanych poprawnych w przyjętym przedziale czasu. Powinien on być w możliwie minimalnym przedziale 0–0,2%.
6. Poziom bezpieczeństwa personelu, który można ocenić według skali 5-cio stopniowej według kryteriów podanych w normie PN-N 18002 (zaleca się, aby był on w przedziale 4,5–5,0).
7. Jednym z kryteriów oceny urządzenia może być jego materiałochłonność, będąca stosunkiem łącznego ciężaru urządzenia do zainstalowanej mocy silników elektrycznych. Im ten stosunek będzie mniejszy to świadczyć będzie o racjonalnym wykorzystaniu materiału na konstrukcje nośne i robocze.
8. Stopień elastyczności zautomatyzowanego urządzenia, wskazujący na liczbę i możliwość realizacji różnych operacji montażowych, będący stosunkiem łącznej ilości różnych części wszystkich montowanych zespołów do średniej liczby części pojedynczego zespołu. Im będzie on większy tym wyższy stopień elastyczności.
9. Stopień dopasowania opracowanego urządzenia do cech wcześniejszych podsystemów wytwórczych będący stosunkiem średniej wartości taktu montażu do średniego taktu wcześniejszego systemu obróbkowego. Zaleca się, aby wartość ta była w przedziale 1,0–0,9 lub 1,1.
10. Stopień recyklingu urządzenia po zakończeniu eksploatacji będący stosunkiem ciężaru elementów podlegających ponownemu przetworzeniu do ciężaru całego urządzenia. Zaleca się, aby stosunek ten był w przedziale 90–100%.

W skrajnych sytuacjach mogą być brane pod uwagę również inne wskaźniki. Często wystarczającym może okazać się ocena według kilku z wyżej przytoczonych. Dokonywane oceny szczegółowe i ogólne mają za zadanie gromadzenie danych, umożliwiających doskonalenie kolejnych opracowań oraz wdrażanie w nich kreatywnych nowych rozwiązań.

Procesy oceny powinny być wcześniej opracowane pod względem metodycznym, przy czym zalecane jest posługiwanie się wskaźnikami ilościowymi, a gdy to niemożliwe to również jakościowymi. Natomiast przeprowadzanie ocen powinno być procesem wcześniej zaplanowanym, starannie przeprowadzonym i zakończonym raportem spełniającym zadania decyzyjne i dydaktyczne (dla przyszłych opracowań). Dzięki systematycznie prowadzonym ocenom możliwe jest stałe doskonalenie produkcji montażowej, zwłaszcza w systemach częściowo lub całkowicie zautomatyzowanych.

OKREŚLENIE NOŚNOŚCI WYBRANYCH POŁĄCZEŃ MONTAŻOWYCH BLACH ZE STOPU ALUMINIUM EN AW-5754

Determination of the load capacity of selected assembly joints of EN AW-5754 aluminum alloy sheet

Anna RUDAWSKA, Paweł PRUS, Izabela MITURSKA, Tomasz WARDA

S t r e s z c z e n i e: W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości wytrzymałościowych przeprowadzonych w próbie rozciągania dla połączeń klejowych, nitowych i klejowo-nitowych blach ze stopu aluminium EN AW-5754. Zastosowano dwie najbardziej rozpowszechnione metody wykonywania połączeń nierozłącznych, jakimi są klejenie i nitowanie oraz dodatkowo badaniom poddano połączenia powstałe z zastosowania obu metod. W procesie nitowania zastosowano pojedynczy nit zrywalny, wykonany ze stopu aluminium. W procesie klejenia wykorzystano klej epoksydowy dwuskładnikowy Epidian 57/PAC/1:1. Powierzchnię do procesu klejenia przygotowano poprzez ręczną obróbkę mechaniczną papierem ściernym P320 oraz odtłuszczenie środkiem Loctite 7063. Proces utwardzania połączeń klejowych przebiegał w temperaturze otoczenia. Analizowane połączenia poddano badaniom niszczącym, zgodnie z normą ISO 4587, na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z150. Na podstawie wyników badań zauważono, że lepszą nośnością charakteryzowały się połączenia klejowe, jednak wynik ten nie odbiegał znacząco od wartości wytrzymałości połączenia klejowo-nitowego. Najmniej korzystnymi wynikami charakteryzowały się połączenia nitowe, co mogło być skutkiem zastosowania pojedynczego nitu.

S ł o w a k l u c z o w e: połączenia klejowe, połączenia nitowe, połączenia klejowo-nitowe, nośność, blachy ze stopu aluminium

A b s t r a c t: The paper presents results of a tensile test for adhesive, rivets and adhesive-riveted aluminum sheet EN AW-5754 joints. Values of strength and destructive force were presented. Due to its characteristics of used in research material finds application in almost all industries, precisely because the focus was on correctness of the technology made joints and the mechanical properties which characterized the resulting joints. Two of the most popular methods for performing permanent joints was used – bonding and riveting and hybrid of these two method. In riveting a single rivet made of an aluminum alloy was used. The holes for the rivets were previously drilled. In bonding process of the adhesive used was a two-component adhesive consisting of epoxy resin Epidian 57 and hardener PAC prepared in a stoichiometric ratio of 1:1. The sandpaper P320 machining process and degreasing with Loctite 7063 was used to surface treatment of surfaces adherends. The curing process was performed at ambient temperature. Analysed joints were destructive tested, in accordance with ISO 4587, on testing machine Zwick / Roell Z150. Based on the results observed that a better load capacity characterized by adhesive joints, but this result was similar with the load capacity of the joint adhesive-riveted. The least positive results were characterized by riveted joints, which could be due to the use of a single rivet.

K e y w o r d s: adhesive joints, riveted joints, adhesive-riveted joints, load capacity, aluminum sheets

Wprowadzenie

W procesach montażu występują połączenia różnego rodzaju, które najczęściej klasyfikowane są ze względu na ich konstrukcję wykonania na rozłączne i nierozłączne [3]. Wybór określonego rodzaju połączenia uwarunkowany jest wieloma czynnikami, m.in.: cechami geometrycznymi połączenia, rodzajem łączonych materiałów, wymaganiami dotyczącymi rodzaju połączenia, warunkami eksploatacyjnymi i innymi [1, 7, 11, 12]. Przedmiotem analiz były połączenia klejowe, nitowe oraz klejowo-nitowe blach wykonanych ze stopu aluminium EN AW-5754.

Klejenie jest jedną z wielu metod wykonywania połączeń nierozłącznych części maszyn. Postęp w dziedzinie doskonalenia jakości klejów pozwala na coraz szersze stosowanie tych połączeń w wielu odpowiedzialnych konstrukcjach lotniczych, morskich i budowy maszyn [8]. Połączenia klejowe mają wiele zalet [10] (tłumienie drgań, możliwość łączenia różnego rodzaju materiałów,

uszczelnianie połączenia, itp.), obarczone są również wadami (np. małą odpornością na naprężenia normalne). Najkorzystniejszymi i najczęściej stosowanymi konstrukcjami wykonywania połączeń klejowych są połączenia zakładkowe, które uzyskują najwyższą wytrzymałość, kiedy pracują w warunkach ścinania [8]. Problemem, jaki często można napotkać podczas wykonywania takich połączeń, jest nieosiowe przyłożenie sił zewnętrznych, ale pomimo tego w takich konstrukcjach oprócz naprężeń stycznych występują dodatkowe naprężenia rozciągające, skierowane prostopadle do warstwy kleju. Rozwiązaniem wspomnianego problemu może być m.in. zastosowanie nitów jako elementów dociskających klejone elementy, dzięki czemu możliwe jest zmniejszenie negatywnego działania naprężeń odrywających. Jest to połączenie dwóch powszechnie stosowanych procesów łączenia: nitowania i klejenia. Dzięki temu wykorzystuje się zalety nitowania i klejenia, jednocześnie eliminując liczne wady towarzyszące każdemu z tych procesów

oddzielnie. Przeprowadzono badania eksperymentalne w celu sprawdzenia i porównania możliwości zamiennego stosowania klejenia i nitowania oraz połączenia obu tych metod, jak również porównana ich nośności.

Badania eksperymentalne

Łączony materiał

Do badań wykorzystano prostopadłościennie próbki wykonane z blachy ze stopu aluminium EN AW-5754 o grubości $g = 2$ mm, które mają średnią wytrzymałość na rozciąganie – 209 MPa [4-6], wysoką odporność na korozję w warunkach morskich, wodzie morskiej i atmosferze przemysłowej. Materiał ten odznacza się wysoką wytrzymałością zmęczeniową. Skład chemiczny blach ze stopu aluminium EN AW-5754 przedstawiono w tab. I.

Tabela I. Skład chemiczny blach ze stopu EN AW-5754 [9]
Table I. EN AW-5754 aluminum sheet chemical composition [9]

Gatunek materiału	Zawartość [%]								
	Mg	Cu	Mn	Zn	Si	Fe	Cr	Ti	Al
EN AW-5754	3,50	0,02	0,14	-	0,27	0,25	0,10	0,10	reszta

Blachy ze stopu aluminium AW-5754 wykorzystano do wykonania połączeń klejowych, nitowych oraz klejowo-nitowych jednozakładkowych. Wykonano po 10 połączeń dla każdego rodzaju połączeń.

Charakterystyka połączeń klejowych

Do badań wykorzystano połączenia klejowe jednozakładkowe, wykonane z opisanego wyżej materiału, obciążone na ścinanie, których schemat i wymiary zamieszczono na rys. 1.

Wymiary łączonych elementów były następujące:

- długość: $l = 100$ mm,
- szerokość: $d = 25$ mm,

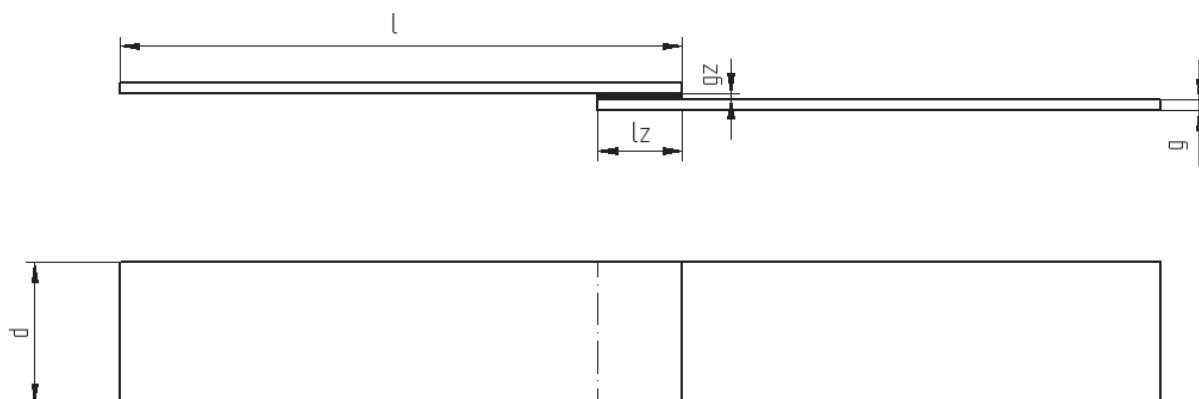
- grubość: $g = 2$ mm,
- długość zakładki: $l_z = 15$ mm,
- grubość spoiny klejowej $g_z \approx 0,05$ mm.

Połączenia klejowe wykonywano w warunkach laboratoryjnych, gdzie temperatura powietrza wynosiła 23°C przy wilgotności 23%. Proces przygotowania połączeń klejowych składał się z następujących operacji technologicznych:

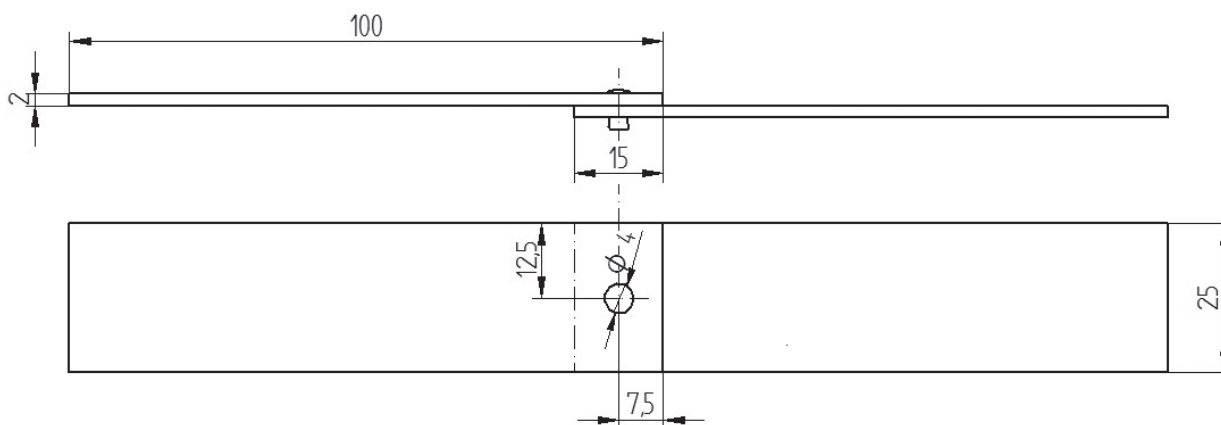
- 1) przygotowanie powierzchni przeznaczonej do klejenia:
 - chropowacenie powierzchni ściernym narzędziem nasypowym o gradacji P320,
 - oczyszczenie z pyłów i zanieczyszczeń środkiem Loctite 7063,
 - odłuszczenie preparatem Loctite 7063 i samoczynne osuszenie,
- 2) przygotowanie masy klejowej – w badaniach użyto dwuskładnikowego kleju epoksydowego, składającego się z żywicy epoksydowej Epidian 57 i utwardzacza PAC połączonych w stosunku stechiometrycznym 1:1 (Epidian 57/PAC/1:1). Po odmierzeniu odpowiednich proporcji składniki zostały wymieszane, dzięki czemu powstała jednorodna masa klejowa,
- 3) naniesienie kompozycji klejowej na jedną z łączonych powierzchni – klej był наносzony ręcznie z wykorzystaniem szpachelki z tworzywa polimerowego tak, że na całej powierzchni zakładki grubość nakładanego kleju była jednakowa,
- 4) łączenie klejonych blach – zgodnie z przyjętą długością zakładki oraz wywarcie nacisku ok. 0,2 MPa,
- 5) utwardzanie jednostopniowe w temperaturze 23°C i wilgotności 23% przez 240 godz.,
- 6) kontrola jakości wykonanych połączeń.

Charakterystyka połączeń nitowych

W ramach badań przygotowano również jednozakładkowe połączenia nitowe z jednym nitem, umieszczonym centralnie w powierzchni przekroju zakładki, której wymiar był jednakowy, tak jak w przypadku połączeń



Rys. 1. Kształt połączeń jednozakładkowych klejowych użytych w badaniach eksperymentalnych
Fig. 1. The single-lap adhesive joint geometry used in experimental research



Rys. 2. Kształt połączeń nitowych użytych w badaniach eksperymentalnych
Fig. 2. The riveted joint geometry used in experimental research

klejowych. Wymiary połączeń nitowych przedstawiono na rys. 2.

Proces nitowania składał się z następujących operacji technologicznych:

- 1) trasowanie otworów zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi oraz napunktowanie rozmieszczenia otworów pod nity,
- 2) wiercenie otworów na wiertarce stołowej wiertłem o średnicy $\varnothing 4,2$ mm,
- 3) ustalenie łączonych elementów z zachowaniem współosiowości z wykorzystaniem specjalnego uchwytu ustalającego,
- 4) nitowanie za pomocą nitownicy ręcznej z wykorzystaniem nitów zrywalnych o średnicy $\varnothing 4$ mm, wykonanych ze stopu aluminium,
- 5) kontrola jakości wykonanych połączeń.

- 4) przygotowanie masy klejowej – użyto tą samą kompozycję klejową, co w przypadku wykonywania połączeń klejowych (Epidian 57/PAC/1:1), warunki przygotowania kleju pozostały niezmiennie,
- 5) naniesienie kompozycji klejowej na jedną z łączonych powierzchni,
- 6) łączenie klejonych blach – zgodnie z przyjętą długością zakładki i zachowaniem osiowości otworów przygotowanych pod nity, wstępne utwardzenie kleju (ok. 6 godz.),
- 7) nitowanie za pomocą nitownicy ręcznej, z wykorzystaniem nitów identycznych jak w procesie nitowania,
- 8) utwardzanie połączeń klejowo-nitowych przez 240 godz.,
- 9) kontrola jakości.

Charakterystyka połączeń klejowo-nitowych

Do przeprowadzenia badań wykorzystano również zakładkowe połączenia klejowo-nitowe. Długość zakładki wynosiła, analogicznie jak w przypadku połączeń klejowych i nitowych, 15 mm. Wymiary połączeń klejowo-nitowych zostały zachowane, tak jak w przypadku połączeń nitowych, z uwzględnieniem grubości spoiny klejowej założonej w połączeniach klejowych. Proces wykonania połączeń klejowo-nitowych łączył obie metody i składał się z następujących czynności:

- 1) przygotowanie powierzchni przeznaczonej do łączenia:
 - chropowacenie powierzchni ściernym narzędziem nasypowym o gradacji P320,
 - oczyszczenie z pyłów i zanieczyszczeń oraz od tłuszczanie środkiem Loctite 7063,
- 2) trasowanie otworów zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi, napunktowanie rozmieszczenia otworów pod nity,
- 3) wiercenie otworów na wiertarce stołowej, wiertłem o średnicy $\varnothing 4,2$ mm,

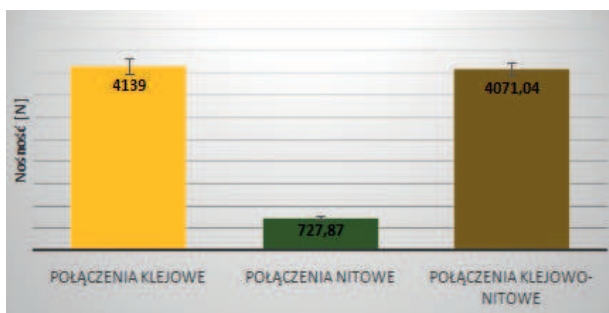
Wyniki badań eksperymentalnych

Po wykonaniu operacji kontroli jakości, wszystkie połączenia zostały poddane niszcącym badaniom wytrzymałościowym na maszynie Zwick/Roell Z150, zgodnie z normą ISO 4587 [2]. Przeprowadzono próbę rozciągania, dzięki czemu uzyskano wyniki na podstawie których możliwe było określenie siły nośnej analizowanych połączeń. Na podstawie uzyskanych rezultatów możliwa była ocena technologii wykonania i właściwości wytrzymałościowych rozpatrywanych połączeń przez określenie nośności połączenia.

Siła przenoszona przez połączenia

Wyniki wartości średniej arytmetycznej siły maksymalnej połączeń wykonanych z blach aluminiowych EN AW-5754 pokazano na rys. 3.

Na podstawie wyników badań otrzymano następujące wartości siły nośnej: dla połączeń klejowych 4139 N, dla połączeń nitowych 728 N, zaś dla połączeń klejowo-nitowych 4071 N.



Rys. 3. Siła przenoszona przez połączenia blach ze stopu aluminium EN AW-5754

Fig. 3. The force transferred by the joints of aluminum alloy sheets EN AW-5754

Omówienie wyników badań

Porównując wyniki badań wykonanych połączeń blach ze stopu aluminium EN AW-5754 zauważono, że istotny wpływ na nośność ma przede wszystkim rodzaj zastosowanego połączenia montażowego. Największą siłą nośną przenoszą połączenia klejowe i wynosi ona 4139 N. Wprowadzenie nitu do konstrukcji połączenia klejowego spowodowało nieznaczny spadek siły nośnej – do 4071,04 N, a choć nie jest to statystycznie istotna różnica to jednak proces ich wykonania był bardziej pracowity i czasochłonny. Spadek tej wartości może świadczyć o negatywnym wpływie operacji zamykania nitów na wstępnie utwardzoną spoinę klejową. Podczas wykonywania połączeń nitowych na wstępnie klejonych elementach można przypuszczać, że część siły potrzebnej do uformowania zamykającej główki nitu jest przenoszona na warstwę kleju. Może to powodować lokalne (wokół łba nitu) uszkodzenia utwardzonej warstwy kleju, co z kolei przekłada później się na obniżenie wytrzymałości spoiny. Najmniejszą nośność wykazały połączenia nitowe – 727,87 N, co stanowi 17,58% nośności połączeń klejowych.

W przypadku połączeń klejowych i klejowo-nitowych, wartość odchylenia standardowego otrzymanych wyników wytrzymałości na ścinanie mieściła się w podobnym zakresie, co stanowiło ok. 3–4%. Świadczy to zatem o wysokiej powtarzalności uzyskanych wyników i poprawności wykonania poszczególnych połączeń.

W połączeniach klejowych zniszczeniu uległa spoina klejowa, bez deformacji łączonych elementów. W przypadku połączeń nitowych deformacji uległy zarówno łączone materiały, jak i otwory pod nity. We wszystkich połączeniach nitowych nastąpiło ścięcie nitu, podobnie i w połączeniach klejowo-nitowych, gdzie dodatkowo zniszczeniu uległa również spoina klejowa, a zniszczenie miało charakter adhezyjno-kohezyjny.

Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników badań eksperymentalnych sformułowano następujące uwagi:

- największa wartość siły nośnej została uzyskana w przypadku połączeń klejowych, a najmniejsza w połączeniach nitowych,
- wzmocnienie połączenia nitowego zakładkowego przez wprowadzenie spoiny klejowej do konstrukcji połączenia wpłynęło korzystnie na zwiększenie nośności, która wzrosła 5,5 raza,
- nośność połączeń nitowych zakładkowych przy zastosowaniu jednego nitu jest bardzo mała, zniszczenie połączeń zachodziło poprzez ścięcie nitu. Na podstawie dostępnej literatury można przypuszczać, że zmiana średnicy oraz zastosowanie większej ilości nitów znacznie zwiększyłyby wytrzymałość połączeń,
- połączenia klejowo-nitowe wykazują mniejszą nośność od połączeń klejowych, jednak znacznie wyższą od połączeń nitowych, świadczyć to może o obniżeniu wytrzymałości spoiny klejowej przez uszkodzenie utwardzonej warstwy kleju, wskutek wprowadzenia nitów do konstrukcji połączenia,
- połączenie nitowe jest najszybszym sposobem wykonania połączenia montażowego, nie wymaga czasu oczekiwania potrzebnego do utwardzenia kleju, jednak wymaga użycia odpowiedniego oprzyrządowania.

Według danych literaturowych [8], wykorzystanych podczas opracowania artykułu, połączenia klejowo-nitowe powinny charakteryzować się największą wartością siły nośnej, można jednak zauważyć na podstawie otrzymanych wyników badań, że wyższą nośność mają połączenia klejowe. Wpływ na taki wynik może mieć kilka czynników, m.in. rodzaj kleju, co warunkuje sztywność kleju oraz ilość i rozmieszczenie nitów oraz technologia wykonania połączeń nitowych. Ze względu na specyfikę połączeń klejowych stosowanie różnych rodzajów klejów ma istotny wpływ na wytrzymałość tych połączeń. W połączeniu klejowo-nitowym klej może pełnić dodatkową funkcję uszczelniacza, co jest pożądane w wielu konstrukcjach. Wszystkie połączenia zostały przygotowane w warunkach laboratoryjnych, być może zastosowanie specjalnego oprzyrządowania zapewniającego stały i równomierny docisk poprawiłoby wynik wytrzymałości dla połączeń klejowo-nitowych. Kolejnym rozwiązaniem może być zmiana sposobu nitowania, np. na nitowanie radialne.

Ponadto podczas oceny charakteru zniszczenia analizowanych połączeń zauważono, że zniszczeniu uległ nit oraz zaobserwowano zniszczenie adhezyjno-kohezyjne w połączeniach klejowych i klejowo-nitowych.

Podsumowując badania nad technologią i właściwościami połączeń klejowych, nitowych i klejowo-nitowych blach ze stopu aluminium EN AW-5754, można zauważyć, że nośność tych połączeń uwarunkowana jest konstrukcją i technologią ich wykonania. W celu dokładniejszej i bardziej wnikliwej analizy właściwości wytrzymałościowych połączeń klejowych, nitowych i hybrydowych: klejowo-nitowych planowane jest prowadzenie dalszych badań z uwzględnieniem zmiany wykonywania konstrukcji nitowych i stosowanego kleju.

LITERATURA

- [1] Godzimirski J. 2009. „Problemy klejenia konstrukcyjnego”. *Technologia i Automatyizacja Montażu* (1): 25–31.
- [2] ISO 4587:2003 – Adhesives. Determination of tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies.
- [3] Kula W. 2005. „Projektowanie połączeń rozłącznych i nierozłącznych”. Radom: Instytut Technologii i Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy.
- [4] Lachowicz M.M. i in. 2012. „Procesy zużycia tribologicznego, kawitacyjnego i korozyjnego wybranych stopów aluminium do przeróbki plastycznej”. *Tribologia: tarcie, zużycie, smarowanie* (5): 85–95.
- [5] Leśniak D. i in. 2016. „Wpływ zawartości Mg na własności mechaniczne kształtowników ze stopów aluminium serii 5xxx, wytwarzanych na drodze wyciskania zgrzewającego”. *Rudy i Metale Nieżelazne Recykling* (61): 248–253.
- [6] Maciołka P. 2010. „Wykorzystanie nośności powierzchni do uzyskania charakterystyki styku pomiędzy przedmiotem i ustalaczem położenia”. *Inżynieria Maszyn* (15): 53–66.
- [7] Mucha J., W. Witkowski. 2011. „Nośność wybranych rozwiązań połączeń nitowych podczas próby ściskania i rozciągania”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej* (4): 33–42.
- [8] Perłowski R. 2007. „Technologia i właściwości połączeń klejowo-nitowych”. *Technologia i Automatyizacja Montażu* (2): 124–127.
- [9] Rudawska A., M. Błaziak. 2011. „Analiza porównawcza siły niszczącej połączenia klejowe, klejowo-nitowe oraz nitowe stopu tytanu”. *Technologia i Automatyizacja Montażu* (4): 40–44.
- [10] Rudawska A., T. Warda, P. Miłosz. 2015. „Wytrzymałość połączeń klejowych i nitowych”. *Technologia i Automatyizacja Montażu* (2): 56–59.
- [11] Rudawska A. 2009. „Wytrzymałość połączeń klejowych blach aluminiowych w aspekcie montażu połączeń nierozłącznych”. *Technologia i Automatyizacja Montażu* (2): 35–38.

dr hab. inż. Anna Rudawska, prof. PL – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: a.rudawska@pollub.pl

inż. Paweł Prus – absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: pawprus81@gmail.com

mgr inż. Izabela Miturska – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: i.miturska@pollub.pl

mgr inż. Tomasz Warda – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: t.warda@pollub.pl

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСЛОВИЙ СОБИРАЕМОСТИ ПРИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКЕ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛОМОМЕНТНОГО ДАТЧИКА

*Experimental research of assembly capability conditions with robotized assembly
based on application of force-torque sensor*

*Eksperymentalne badania warunków montowalności w zrobotyzowanym montażu
z zastosowaniem czujnika siły i momentu*

M.W. Wartanow, W.K. Pietroń, M.W. Archipow, M.S. Miszczenko

А н н о т а ц и я: В статье рассматривается модель двухточечного контакта при роботизированной сборке в квазистатической постановке. Приводится описание экспериментальной установки с роботом, дооснащенным силомоментным датчиком. Обсуждается согласованность аналитического решения и результатов физического эксперимента.

К л ю ч е в ы е с л о в а: Роботизированная сборка, силомоментный датчик, модель сопряжения, позиционно-силовое управление

A b s t r a c t: The article considers a two-point contact model with a robotic assembly in a quasi-static position. A description of the experimental setup with a robot, an upgraded with force-torque transducer. The consistency of the analytical solution and the results of the physical experiment is discussed.

K e y w o r d s: robotic assembly, force-torque transducer, assembly model, position-force control

S t r e s z c z e n i e: W artykule przedstawiono model dwupunktowego styku przy zrobotyzowanym montażu w postaci kwazystatycznej. Przytoczono opis eksperymentalnego urządzenia z robotem wyposażonym w czujniki pomiaru siły. Przeanalizowano zgodność rozwiązania analitycznego i wyników fizycznego eksperymentu.

S ł o w a k l u c z o w e: montaż zrobotyzowany, czujnik siły, model łączenia, sterowanie pozycyjno-silowe

Введение

Из теории автоматической сборки и промышленной практики известно, что обеспечение условий собираемости является весьма сложной задачей при жестком базировании деталей. Условия сборки усложняются в связи с постоянным ростом точности деталей машин и их соединений. Даже современные промышленные роботы, имеющие точность позиционирования 0,03...0,07 мм, не обеспечивают достаточную технологическую надежность процесса.

Целью работы является повышение технологической надежности роботизированной сборки прецизионных соединений на основе применения активной адаптации.

Для достижения данной цели и реализации способа сборки с активной адаптацией необходимо решить задачу создания обратной связи в системе управления промышленным роботом и разработать адаптивный алгоритм управления. Сенсорное устройство, которое реализует обратную связь в системе

управления – шестикомпонентный датчик сил и моментов.

Метод решения поставленной задачи основан на исследовании условий собираемости как основы для разработки алгоритма позиционно-силового управления сборочным роботом. В качестве теоретической базы выступают основные положения технологии машиностроения, теории автоматического управления, теоретической и аналитической механики, а также робототехники.

Получен ряд математических зависимостей, определяющих возникновение условий заклинивания деталей при роботизированной сборке [1].

Экспериментальная установка

Приведем описание структуры и алгоритм функционирования экспериментальной установки для исследования роботизированной сборки, дооснащенной адаптивным захватным устройством (приложение 1). Установка собрана на базе промышленного робота

ABB IRB 140 (1) с контроллером IRC5. Собираемые детали (3) цилиндрические вал и втулка жёстко базируются в адаптивном захватном устройстве (2) и трехкулачковом самоцентрирующемся патроне (4) соответственно. Информация о возникающих в зоне сборки силах и моментах поступает в систему управления промышленным роботом, а также регистрируется персональным компьютером (5).

На данном этапе проводится экспериментальное исследование сил и моментов, возникающих в зоне сборки. Управление установкой осуществляется в ручном режиме, при помощи стандартного модуля FlexPendant. Вал фиксируется в захватном устройстве, далее производится подвод детали в зону сборки, затем выполняется имитация операции сборки.

Зазор в соединении вал-втулка составляет порядка 0,01 мм. Так как точность позиционирования манипулятора, находится в пределах 0,03...0,07 мм возникает перекос осей, собираемых деталей. Вследствие перекоса осей вала и втулки, происходит контакт по сопрягаемым поверхностям. В точках контакта, возникают реакции, которые мешают дальнейшей сборке деталей. Таким образом происходит заклинивание деталей.

В зависимости от значения угла перекоса, возникают различные контактные ситуации. Каждой контактной ситуации соответствует определенный набор силовых реакций, которые напрямую влияют на вектор сил и моментов, регистрируемый силомоментным датчиком [3].

Адаптивное захватное устройство

Для решения поставленной задачи необходимо разработать захватное устройство, отвечающее требованиям жёсткой фиксации сопрягаемой детали, а также обеспечивающее возможность организации обратной связи в системе управления промышленным роботом. В связи с этим было разработано и изготовлено адаптивное захватное устройство, работающее по принципу активной адаптации (приложение 2).

Основные компоненты адаптивного захватного устройства: силомоментный датчик модели Gamma SI-65-5 фирмы ATI Industrial Automation (1) и пневматический схват Schunk GSM-P 64-E-180 (3), на котором установлены оригинальные призматические губки (4). Для объединения компонентов в единое устройство было спроектировано монтажное приспособление (2), при помощи которого устройство также устанавливается на выходном звене манипулятора.

При подаче сжатого воздуха в пневматический схват, происходит центрирование и закрепление детали в приспособлении. Призматическая форма захватных губок позволяет совместить ось детали и силомоментного датчика. Жёсткое сопряжение всех компонентов захватного устройства даёт возможность измерить, возникающие в зоне сборки силы и моменты, при помощи силомоментного датчика.

Расчет контактных усилий в сборочных операциях типа «вал-отверстие» при двухточечном контакте с пренебрежением весом вала

При использовании современных промышленных роботов, имеющих точность позиционирования 0,03...0,05 мм трехточечный контакт, не возникает, что подтверждается постановочными экспериментами. В данной работе сделан акцент на двухточечный контакт с точки зрения технологической надежности.

В статье [1] приведен аналогичный расчет в квазистатической постановке. Однако по этому расчету возникают вопросы в связи с целесообразностью использования таких параметров, как длина вала и центр масс вала. Поскольку масса вала не учитывается, эти параметры, являются лишними. Далее приведен расчет, в котором эти параметры не используются.

На рисунке в приложении 3 представлена схема действия сил при двухточечном контакте. Из схемы

$$K_1 H = \frac{2R - 2r}{\varphi} - 2R\varphi$$

$$K_1 E = \frac{2R - 2r}{\varphi}$$

$$q = \frac{2R - 2r}{\varphi}$$

Уравнения равновесия:

$$\begin{aligned} \sum M_{K_1}(F_k) &= (-P \cdot r) + F_{TP2} \cdot 2R - N_2 \cdot K_1 H = 0 \\ \sum M_{K_2}(F_k) &= P \cdot r + F_{TP1} \cdot 2r - N_1 \cdot K_1 E = 0 \\ \sum F_{ky} &= N_1 - N_2 \cdot \cos \varphi + F_{TP2} \cdot \sin \varphi = 0 \end{aligned}$$

Условие заклинивания можно записать как

$$\frac{R - r}{q} \geq \frac{q - f(R - r)}{2R + 2f^2r + fq}$$

Реакции N_1 и N_2 в состоянии предельного равновесия

$$N_1 = \frac{P \cdot r}{2fr + q}$$

$$N_2 = \frac{P \cdot r}{2fr - q + 4R \cdot \frac{q - f(R - r)}{2R + 2f^2r + fq}}$$

Поменяв знак в (1) и помножив левую и правую часть на q , получаем условие отсутствия заклинивания:

$$R - r \leq \frac{q(q - f(R - r))}{2R + 2f^2r + fq}$$

Решив данное неравенство относительно q получаем

$$\frac{q}{R - r} \geq f \left(1 + \sqrt{1 - 2 \cdot \frac{R + f^2r}{f^2(R - r)}} \right)$$

Экспериментальные исследования

Проведен эксперимент и получены графики. График на рис. 1 показывает, как изменялись силы, которые возникают в точках контакта в процессе

сопряжения цилиндрических деталей с зазором 0,01 мм. На горизонтальной оси откладываются 15 точек траектории движения вала относительно втулки. Манипулятор обеспечивал поступательное плоскопараллельное движение вала по собственной оси с шагом 5 мм. На вертикальной оси откладываются числовые значения компонент главного вектора силы.

Прохождение всех 15 точек соответствует смещению нижнего торца вала, относительно верхнего торца втулки на 70 мм, что превышает габаритный линейный размер втулки на 30 мм. Это означает, что операция сборки произведена успешно.

Из экспериментов установлено, что возрастание сил в зоне сборки в пределах 20 Н не оказывает влияния на протекание процесса сборки металлических деталей. Сопряжение производилось в толчковом режиме с применением ручной адаптации траектории.

На графике на рис. 2 изображено изменение компонент главного вектора сил в зоне сборки, при сопряжении цилиндрических деталей с зазором 0,01 мм

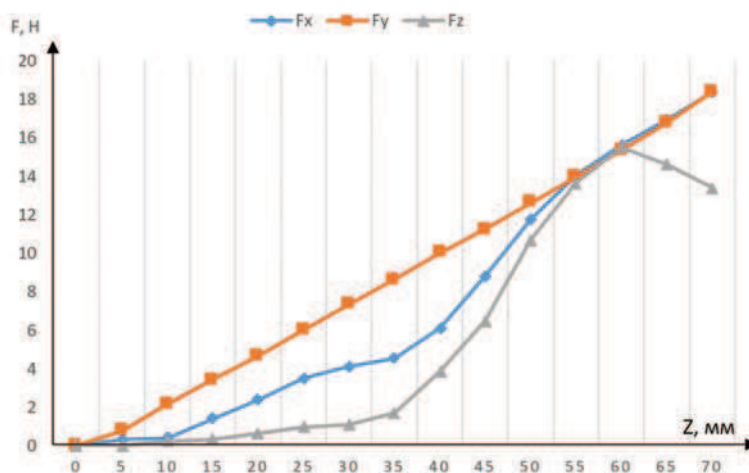


Рис. 1. Изменение компонент главного вектора сил в процессе сопряжения
Fig. 1. Variation of the components of the principal force vector in the process of conjugation

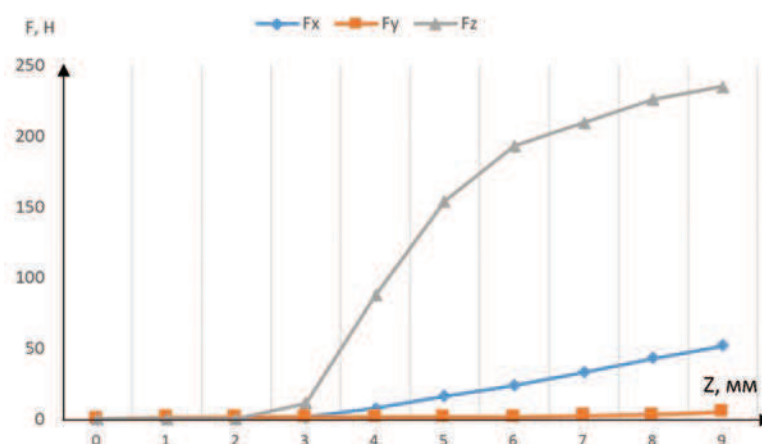


Рис. 2. Изменение компонент главного вектора сил при заклинивании
Fig. 2. Variation of the components of the main force vector when jammed

с заданным гарантированным перекосом осей. Экспериментально исследовалась ситуация заклинивания, при возникновении которой процесс сборки не может быть завершен.

На горизонтальной оси графика откладываются 10 точек траектории движения вала относительно втулки. Манипулятор сообщает поступательное плоскопараллельное движение вала по собственной оси с шагом 1 мм. В момент возникновения контакта, составляющая главного вектора сил, сила F_z резко возрастает и продолжает расти относительно других составляющих F_x и F_y .

Такое поведение компонент главного вектора сил, дает возможность регистрировать ситуации заклинивания деталей и может быть использовано для обучения алгоритмов коррекции шагов по координатам X, Y при управлении манипулятором для выхода из заклинивания. Разработка данных алгоритмов является предметом дальнейших исследований.

Заключение

Таким образом при помощи шестикомпонентного силомоментного датчика исследованы граничные ситуации процесса сборки цилиндрических соединений с зазором 0,01 мм. Экспериментально доказано, что на данной установке можно производить сборку деталей такими зазорами.

Однако для решения поставленной в работе задачи необходимо создать такую систему управления, которая будет способна генерировать адаптивную

траекторию движения детали в автоматическом режиме.

Также существует необходимость создания адекватной математической модели сопряжения деталей, решающая пространственную задачу. Полученные экспериментальные данные будут полезны, при составлении такой математической модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Божкова Л.В., Вартанов М.В., Шандров Б.В. Этапы создания алгоритмического обеспечения интеллектуальной роботизированной сборки // Известия Волгоградского государственного технического университета № 21(148) / том 12 / 2014 г.
- [2] Гориневский Д.М., Формальский А.М., Шнейдер А.Ю. Управление манипуляционными системами на основе информации об усилиях/Под. ред. В.С. Гурфинкеля и Е.А. Девянина. – М.: Физмат, 1994. – 368 с. – (Научные основы робототехники).
- [3] Черняховская Л.Б. Кинематический и динамический анализы автоматической сборки цилиндрических деталей: Монография / Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2011. – 75 с.: 55 ил.

УДК 621.865.8

М.В. Вартанов, д-р техн. наук, профессор; В.К. Петров, канд. техн. наук, доцент; М.В. Архипов, канд. техн. наук, доцент; Р.С. Мищенко, аспирант.
Московский Государственный Машиностроительный Университет (МАМИ)
г. Москва, Россия roman.mishchen@gmail.com

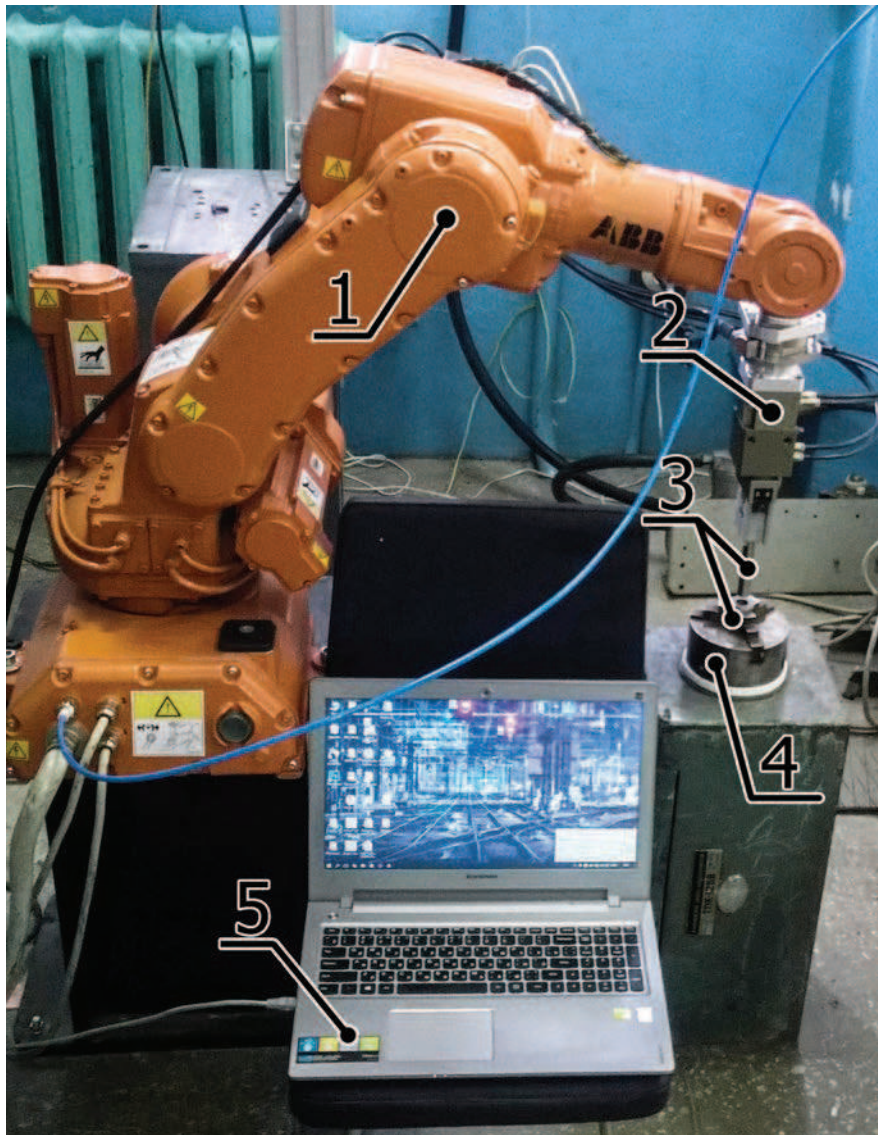


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования роботизированной сборки с адаптацией: 1 – промышленный робот ABB IRB 140, 2 – адаптивное захватное устройство, 3 – экспериментальные образцы, 4 – трехкулачковый самоцентрирующийся патрон, 5 – персональный компьютер.

Fig. 1. Experimental installation for the robotic assembly study with adaptation: 1 – industrial robot ABB IRB 140, 2 – adaptive gripping device, 3 – experimental samples, 4 – three-jaw self-centering chuck, 5 – personal computer.

Приложение 2

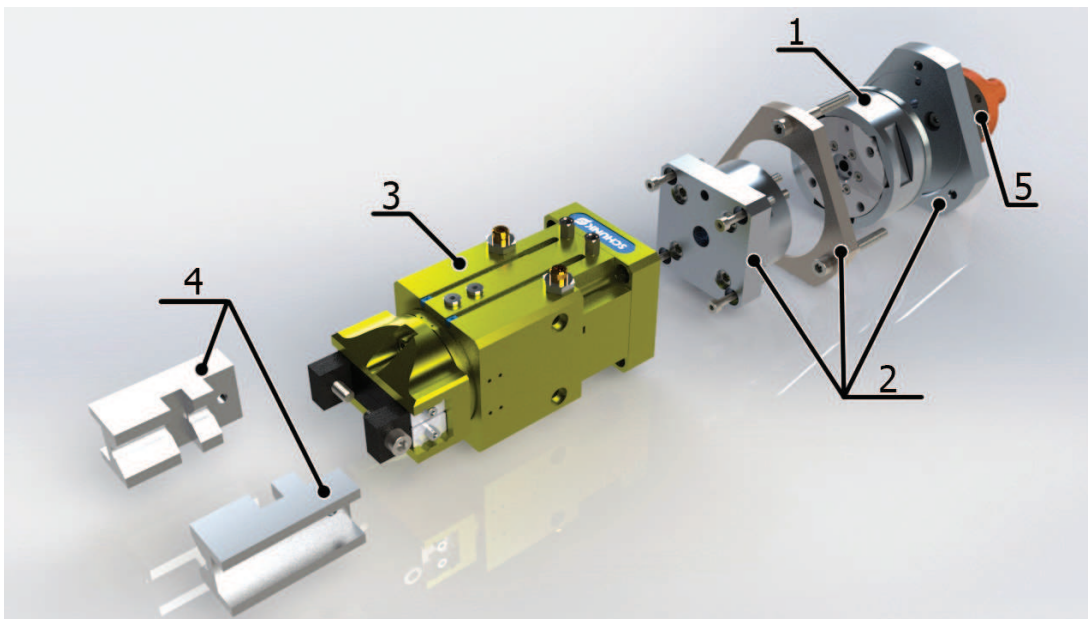


Рис. 2. Адаптивное захватное устройство: 1 – силомоментный датчик Gamma SI-65-5, 2 – монтажное приспособление, 3 – пневматический схват Schunk GSM-P 64-E-180, 4 – призматические губки, 5 – выходное звено манипулятора

Fig. 2. Adaptive gripping device: 1 – the Gamma SI-65-5 force transducer, 2 – mounting device, 3 – pneumatic gripper Schunk GSM-P 64-E-180, 4 – prismatic sponges, 5 – output link of the manipulator

Приложение 3

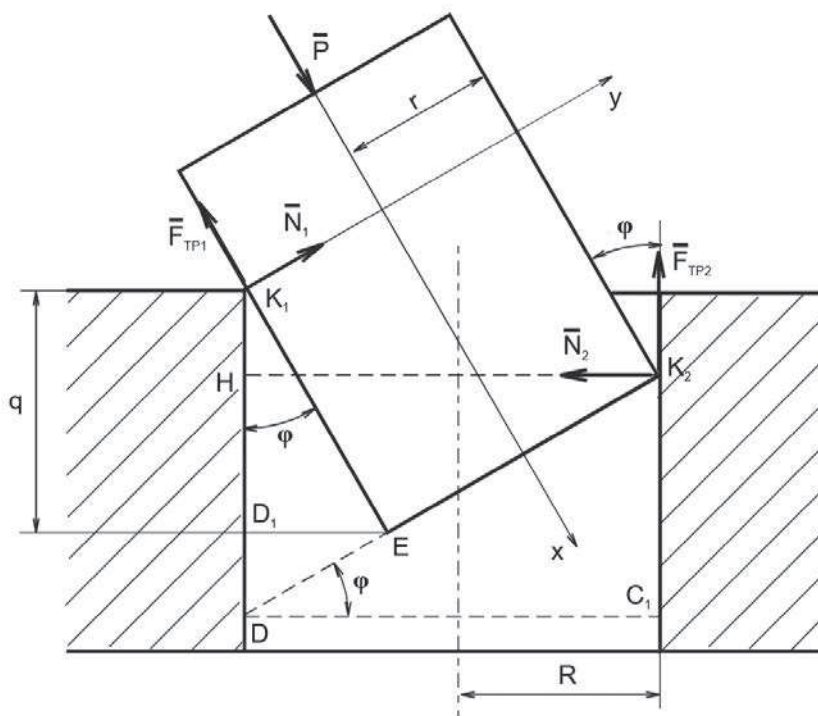


Рис. 3. Схема действия сил при двухточечном контакте
Fig. 3. The scheme of the action forces with two-point contact

BADANIA SKUTECZNOŚCI KLEJENIA KOMPOZYTU WĘGLOWEGO

Research on the effectiveness of carbon composite bonding

Mariusz KŁONICA

Streszczenie: W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań dotyczące skuteczności klejenia kompozytu węglowego. Skoncentrowano się na badaniach porównawczych wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych z udziałem kompozytu węglowego, z użyciem różnych klejów konstrukcyjnych. Ponadto w pracy przedstawiono wybrane parametry chropowatości powierzchni 2D oraz 3D.

Słowa kluczowe: połączenia klejowe, warstwa wierzchnia, kompozyt węglowy

Abstract: The paper presents the results of research on the effectiveness of carbon composite bonding. Concentrations on comparative shear strength studies of carbon composite joints using various structural adhesives. In addition, the work presents selected parameters of surface roughness 2D and 3D.

Keywords: adhesive joints, surface layer, carbon composite

Wstęp

Połączenia adhezyjne (zwłaszcza klejenie) są coraz częściej stosowane w przemyśle. Jest to związane z wieloma zaletami klejów i połączeń klejowych [9, 11, 12]. Technika wykonywania połączeń klejowych, dzięki postępowi w dziedzinie chemii materiałów adhezyjnych ciągle się rozwija, a jej znaczenie w przemyśle nieustannie wzrasta.

Połączenia klejowe w technologii montażu maszyn i urządzeń zyskują coraz większe zainteresowanie spośród różnych rodzajów wykonywanych w przemyśle połączeń materiałów konstrukcyjnych [10, 14]. Jest to spowodowane szybkim rozwojem materiałów adhezyjnych stosowanych w przemyśle. W nowoczesnych konstrukcjach często projektuje się elementy maszyn z kompozytów, m.in. z kompozytu węglowego. Skuteczność wykonywania połączeń klejowych w dużym stopniu zależy od doboru odpowiedniego kleju oraz od uzyskanych parametrów powierzchni łączonych elementów [1, 2, 5].

Celem pracy było określenie skuteczności łączenia kompozytu węglowego z wykorzystaniem klejów. W pracy analizie poddano konstrukcje klejone różnymi klejami, istotnie różniącymi się sztywnością.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono na próbkach wykonanych z kompozytu węglowego o wymiarach 3,4×25×100 mm. Złącze klejowe wykonano z użyciem trzech klejów: Loctite EA 9484, Loctite 4090 oraz Loctite EA 9466. Wszystkie próbki oczyszczono i odtłuszczono trzykrotnie środkiem odtłuszczającym Loctite 7063, a następnie sklejono. Proces sieciowania kleju przebiegał

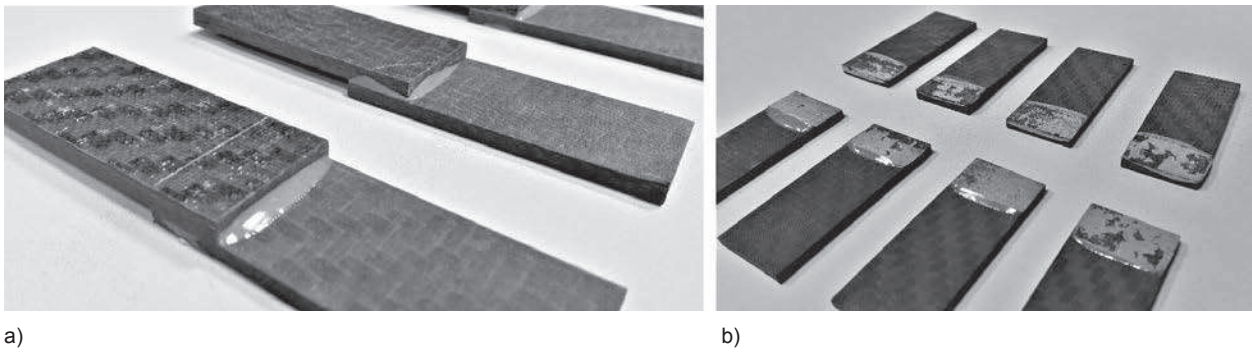
w temperaturze otoczenia wynoszącej 21–24°C, przy wilgotności względnej 45–55%. Wartość ciśnienia jednostkowego wywieranego na powierzchnię próbek w procesie klejenia wynosiła 0,2 MPa. Czas utwardzania ustalono na stałym poziomie 168 godz.

W tab. I przedstawiono wybrane właściwości użytych klejów w stanie utwardzonym.

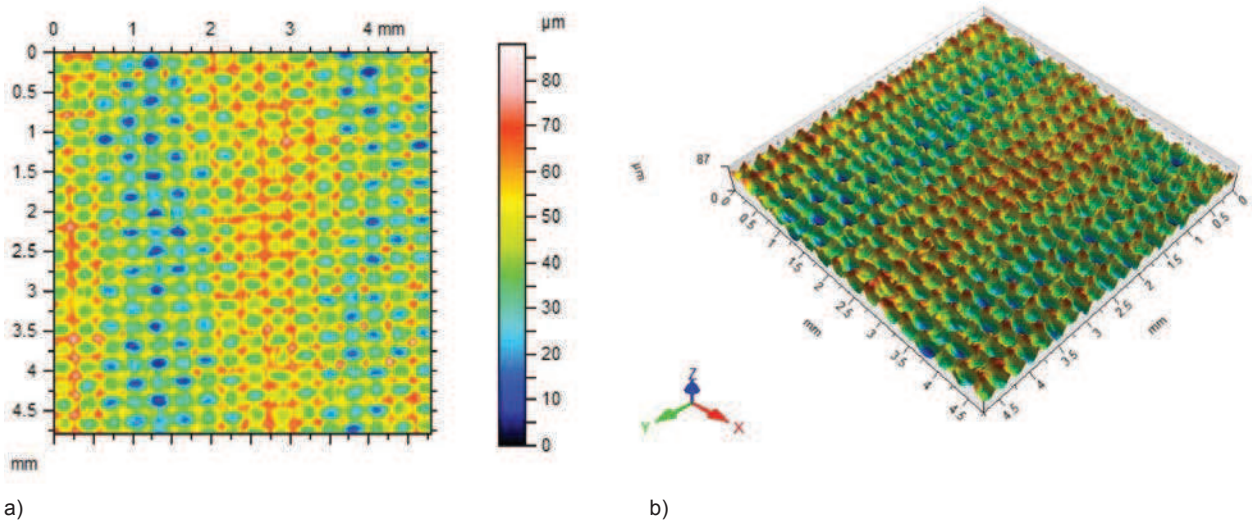
Tabela I. Wybrane właściwości kleju w stanie utwardzonym [6-8]
Table I. Selected properties of the adhesive in the hardened state [6-8]

Właściwości fizyczne	Loctite EA 9484	Loctite 4090	Loctite EA 9466
Wytrzymałość na rozciąganie (ASTM D882), N/mm ²	15	7,1	32
Wydłużenie (ASTM D882), %	50	3,6	3
Moduł sprężystości (ASTM D882), N/mm ²	161	565	1718
Twardość (ASTM D1706), Shore D	55	65	60

Pomiary wybranych parametrów chropowatości powierzchni przeprowadzono na urządzeniu do pomiaru konturu, chropowatości i topografii 3D T8000 RC-120-400 firmy Hommel-Etamic. Urządzenie to było wyposażone w końcówkę pomiarową o promieniu 2 μm. Wybrane parametry chropowatości powierzchni 3D analizowano z obszaru o wymiarach 4,8×4,8 mm. Analizie poddano następujące parametry chropowatości powierzchni [4]: R_a – średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości, R_p – maksymalna wysokość piku



Rys. 1. Próbkę wykonano z kompozytu węglowego z udziałem kleju Loctite EA 9484: a) przed zniszczeniem, b) po zniszczeniu
 Fig. 1. Samples made of carbon composite with Loctite EA 9484 adhesive: a) before destruction, b) after destruction



Rys. 2. Topografia powierzchni kompozytu węglowego: a) mapa 2D, b) widok izometryczny powierzchni
 Fig. 2. Topography of the carbon composite surface: a) 2D map, b) isometric view of the surface

profilu chropowatości, Rq – odchylenie średnie kwadratowe profilu chropowatości, Rt – całkowita wysokość profilu chropowatości, Rz – maksymalna wysokość profilu chropowatości, Rv – maksymalna głębokość wgłębienia profilu chropowatości, Rc – średnia wysokość elementów profilu chropowatości. Przedstawione w artykule parametry z badań są zgodne z normą PN-EN ISO 4287:1999/A1:2010P [13]. W badaniach analizie poddano również wybrane parametry chropowatości powierzchni 3D: Sa – średnia arytmetyczna rzędnych profilu, Sq – średnia kwadratowa rzędnych profilu, Sp – wysokość najwyższego wzniesienia profilu, Sv – wartość najniższego wgłębienia profilu oraz Sz – maksymalna wysokość profilu.

W celu zobrazowania powierzchni kompozytu węglowego w badaniach wykorzystano mikroskop Keyence VHX-5000.

Badania wytrzymałości na ścinanie jednozakładkowych połączeń klejowych zostały przeprowadzone zgodnie z normą DIN EN 1465 [3] na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z 150. Odległość uchwytów przy

pozycji startowej wynosiła 85 mm, natomiast prędkość trawersy podczas próby niszczącej wynosiła 2 mm/min. Liczebność próbek w każdej serii wynosiła 7.

Wyniki

Na rys. 1 przedstawiono widok próbek wykonanych z kompozytu węglowego. Do wykonania próbek zastosowano klej Loctite EA 9484. Rysunek 1a przedstawia próbki przed zniszczeniem, a rys. 1b próbki po zniszczeniu. Zaobserwowano adhezyjno-kohezyjny charakter zniszczenia próbek z wykorzystaniem kleju Loctite EA 9484.

Na rys. 2 przedstawiono topografię powierzchni kompozytu węglowego od strony wykonania połączenia klejowego. Rysunek 2a przedstawia mapę 2D, natomiast rys. 2b to widok izometryczny powierzchni kompozytu węglowego o wymiarach 4,8×4,8 mm.

Na przedstawionym rys. 2 zaobserwowano charakterystyczny dwukierunkowy układ struktury dla kompozytu węglowego.

W tab. II przedstawiono uśrednione wartości wybranych parametrów chropowatości powierzchni 2D próbek wykonanych z kompozytu węglowego.

Tabela II. Wybrane parametry chropowatości powierzchni 2D
Table II. Selected parameters of surface roughness 2D

	<i>Rp</i> [μm]	<i>Rv</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Rc</i> [μm]	<i>Rt</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rq</i> [μm]
Wartość średnia	18,1	14,9	33,2	24,8	37,2	7,34	8,55
Odczylenie standardowe	1,32	1,26	1,95	1,74	1,89	1,04	0,97

Na podstawie analizy uzyskanych wyników parametrów chropowatości powierzchni 2D stwierdzono odpowiedni stopień rozwinięcia analizowanej powierzchni pod technologię klejenia. Uzyskane wyniki charakteryzują się niewielkim rozrzutem wokół wartości średniej. Maksymalna wartość odchylenia standardowego wynosiła 1,95

dla parametru *Rz* chropowatości powierzchni, natomiast najmniejszą wartość odchylenia standardowego zaobserwowano dla parametru chropowatości powierzchni *Rq* i wynosiła ona 0,97.

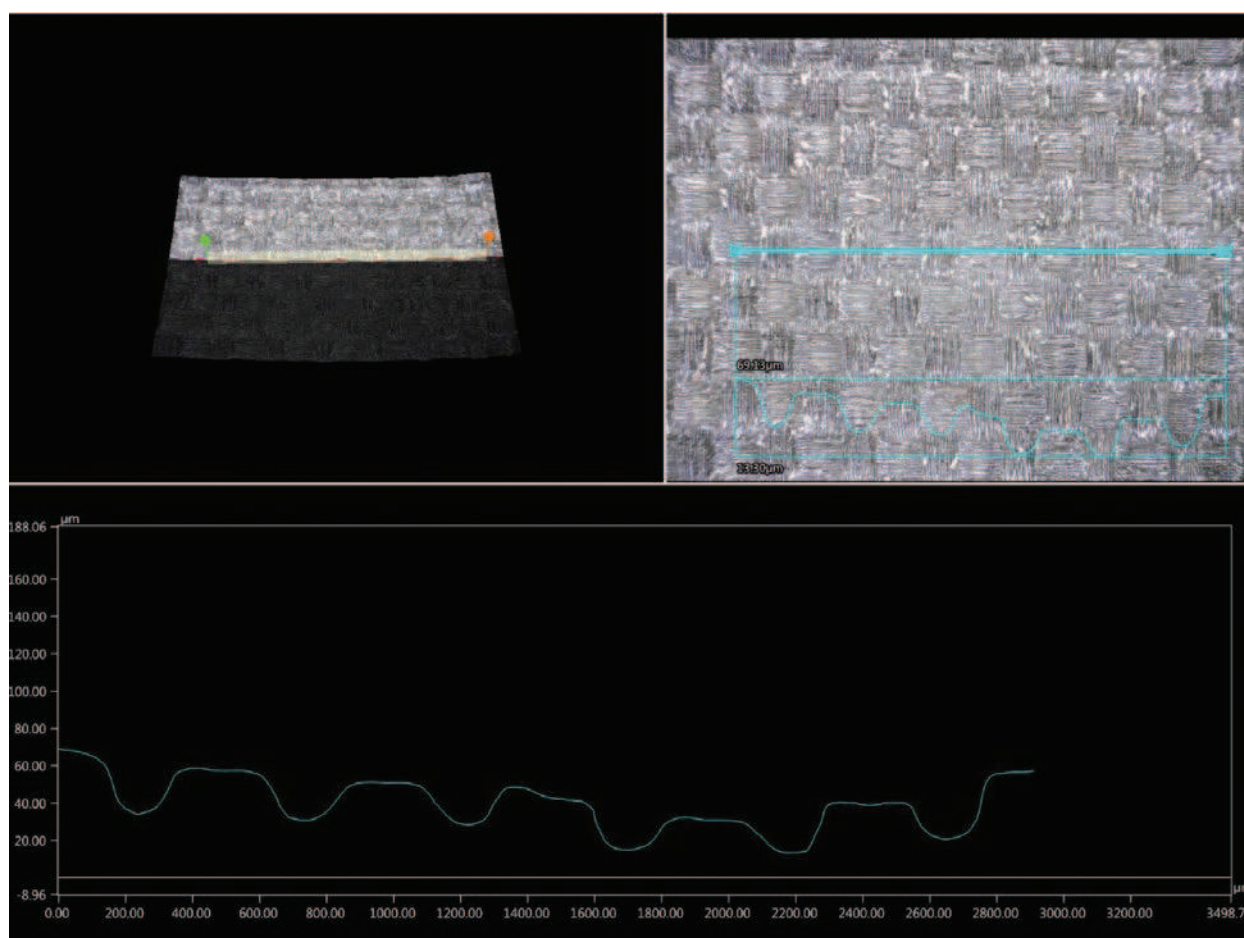
W tab. III zestawiono wartości wybranych parametrów chropowatości powierzchni 3D analizowanych próbek.

Tabela III. Wybrane parametry chropowatości powierzchni 3D
Table III. Selected parameters of surface roughness 3D

Parametry	<i>Sq</i> [μm]	<i>Sp</i> [μm]	<i>Sv</i> [μm]	<i>Sz</i> [μm]	<i>Sa</i> [μm]
Wartość	13,2	43,7	43,8	87,5	10,2

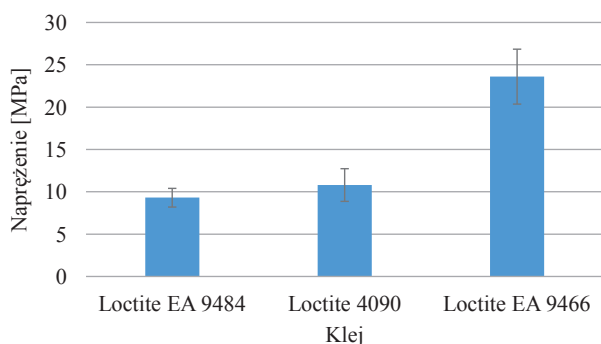
Przedstawione wartości parametrów chropowatości uzyskano z analizowanej powierzchni o wymiarach (4,8×4,8) mm. Analizie poddano ważniejsze parametry chropowatości powierzchni 3D ze względu na technologię klejenia. Wartość parametru *Sz* z analizowanego obszaru powierzchni próbki wynosiła 87,5 μm, natomiast parametr *Sa* charakteryzował się wartością ok. 10 μm.

Na rys. 3 przedstawiono topografię powierzchni kompozytu węglowego z zaznaczonym charakterystycznym profilem chropowatości. Zdjęcie wykonano przy powiększeniu ×100.



Rys. 3. Topografia powierzchni kompozytu węglowego z zaznaczonym profilem chropowatości powierzchni
Fig. 3. Topography of carbon composite with marked surface roughness profile

Analiza przedstawionego profilu (rys. 3) może stanowić istotny element oceny jakości powierzchni elementów przeznaczonych pod technologie adhezyjne.



Rys. 4. Napężenie ścinające uzyskane w badaniach eksperymentalnych dla próbek wykonanych z kompozytu węglowego
Fig. 4. Shear stress obtained in experimental studies for carbon composite samples

Na rys. 4 przedstawiono wartości napężenia ścinającego, uzyskanego w badaniach eksperymentalnych dla próbek klejonych różnymi klejami. Największe wartości naprężeń niszczących zaobserwowano dla próbek klejonych klejem Loctite EA 9466, które wynosiły ok. 24 MPa przy odchyleniu standardowym 3,24. Najmniejsze wartości napężenia ścinającego odnotowano dla kleju Loctite AE 9484.

Dla wszystkich użytych klejów uzyskano pole powierzchni klejonych próbek na tym samym poziomie. Powierzchnia pola sklejania ma istotne znaczenie podczas prób wytrzymałościowych, a ponadto wpływa na rozrzut uzyskanych wyników z badań niszczących.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski o charakterze ogólnym:

1. Powierzchnia kompozytu węglowego nie wymaga stosowania dodatkowej obróbki w celu rozwinięcia powierzchni w sensie geometrycznym.
2. Największe wartości wytrzymałości połączenia klejowego uzyskano dla próbek klejonych klejem Loctite EA 9466.
3. Najmniejszy rozrzut (odchylenie standardowe) wyników napężenia niszczącego uzyskano dla próbek klejonych klejem Loctite EA 9484 i wynosiły 1,1, natomiast największy uzyskano dla próbek wykonanych z użyciem kleju Loctite EA 9466 i wynosiły 3,24.

4. Pole powierzchni sklejania próbek dla wszystkich klejów uzyskano na tym samym poziomie ok. 330 mm².

LITERATURA

- [1] Blicharski M. 2009. „Inżynieria powierzchni”. Warszawa: WNT.
- [2] Ciecierska B., R. Perłowski. 2013. „Swobodna energia powierzchniowa wybranych materiałów lotniczych po obróbce laserowej”. *Technologia i Automatyka Montażu* (1): 56–62.
- [3] DIN EN 1465:2009-07: Adhesives - Determination of tensile lap-shear strength of bonded assemblies.
- [4] Humienny Z. (red.). 2001. „Specyfikacje Geometrii Wyrobów (GPS) – wykład dla uczelni technicznych”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej: 540.
- [5] Jańczuk B., T. Białopiotrowicz. 1987. „Swobodna energia powierzchniowa niektórych polimerów”. *Polimery* (32): 269–271.
- [6] Karta technologiczna produktu firmy Loctite 4090, dostęp 07.2014.
- [7] Karta technologiczna produktu firmy Loctite 9466, dostęp 2.01.2003.
- [8] Karta technologiczna produktu firmy Loctite 9484, dostęp 07.2003.
- [9] Kłonica M. et. al. 2016. “Polyamide 6 surface layer following ozone treatment”. *International Journal of Adhesion and Adhesives* (64): 179–187.
- [10] Kubit A., T. Mączka. 2012. „Zastosowanie techniki wizyjnej w pomiarze odkształcenia bezwzględnej warstwy kleju w spoinie”. *Pomiary Automatyka Robotyka* (5): 91–97.
- [11] Kuczmaszewski J. 2006. “Fundamentals of metal-metal adhesive joint design”. Politechnika Lubelska, Oddział PAN w Lublinie.
- [12] Kwiatkowski M. et. al. 2013. “Comparative analysis of energetic properties of Ti6Al4V titanium and EN-AW-2017A(PA6) aluminum alloy surface layers for an adhesive bonding application”. *Ozone-Science & Engineering* 35 (3): 220–228.
- [13] PN-EN ISO 4287:1999/A1:2010P: Specyfikacje geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
- [14] Zielecki W. et. al. 2013. “Surface topography effect on strength of lap adhesive joints after mechanical pretreatment”. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 13 (2): 175–185.

dr inż. Mariusz Kłonica – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-640 Lublin, e-mail: m.klonica@pollub.pl

ANALIZA PRZEŁOMÓW UDAROWYCH POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH BLOKOWYCH

Analysis of impact fracture in adhesive block joints

Andrzej KOMOREK, Krzysztof CHOJNACKI

Streszczenie: W artykule zaprezentowano wyniki analizy rodzaju zniszczenia oraz prawidłowości przełomów udarowych połączeń klejowych. W testach stosowano metodykę badania udarności z wykorzystaniem próbek blokowych, w których spoina klejowa jest niszczone przez udarowe obciążenia ścinające. Testy przeprowadzono za pomocą młota wahadłowego, dedykowanego do badań połączeń klejowych. Maksymalna energia wahadła stosowanego w badaniach wynosiła 15 J. Do określenia udarności badanych połączeń wykorzystano zależność wg której energia zużyta do oderwania górnego elementu próbki w takim teście, czyli energia wytracona przez wahadło jest miarą wytrzymałości udarowej połączenia klejowego. Elementy próbek zostały wykonane ze stali S235 lub stopu aluminium 2017A. Do klejenia próbek wykorzystano żywicę epoksydową Epidian 57 z utwardzaczem Z1 lub klej Loctite 3421.

Rezultaty badań wskazują, że spoiny klejowe wykonane obydwoma z badanych klejów cechują się zniszczeniem o charakterze kohezji-kohezyjnym. Wprowadzane elementy dystansowe w postaci nici nie wpływają na udarność badanych połączeń. Makroskopowa analiza spoin o małej grubości nie pozwala wnioskować jednoznacznie o charakterze zniszczenia spoin.

Słowa kluczowe: połączenie klejowe, udarność, młot wahadłowy, analiza wizualna

Abstract: The article presents the results of the analysis of the damage type and the regularity of adhesive joints impact fracture. The experimental testing was conducted with a pendulum hammer designed to examine adhesive joints. Tests of block samples were carried out according to the Standard ISO 9653. The maximum energy of the pendulum used in the investigation equalled 15 J. In order to determine the impact strength of the examined connections, we used a dependency according to which the energy used to detach the upper element of the sample in such a test, that is the energy lost by the pendulum, is the measure of impact strength of the adhesive joint. The adherends were made of steel S235 or an aluminum alloy 2017A. In order to bond the samples, we used Epidian 57 epoxide resin with Z1 hardener or Loctite 3421 adhesive. The results of the experimental investigation indicate that adhesive joints made of both of the tested adhesives are characterized by cohesive-adhesive damage. Placed in joints spacers of the sewing threads form do not affect the impact strength of the tested adhesive joints. Macroscopic analysis of low-thickness joints does not make it possible to conclude clearly about the nature of joint fracture.

Keywords: adhesive joint, impact loading, pendulum hammer, visual analysis

Wprowadzenie

Producenci samolotów od lat dążą do uzyskania jak najniższej masy statków powietrznych. Jednym ze sposobów redukcji masy jest łączenie elementów konstrukcyjnych za pomocą kleju, ponieważ w połączeniach mechanicznych masa elementów łączących jest kilka razy większa niż masa kleju tworzącego te same połączenia. Jednak, aby efektywnie wykorzystywać połączenia klejowe, należy znać ich właściwości. Jednym z istotnych parametrów wytrzymałościowych połączeń klejowych, stosowanych do łączenia elementów w konstrukcjach lotniczych jest udarność, której badaniom poświęcono prezentowany artykuł.

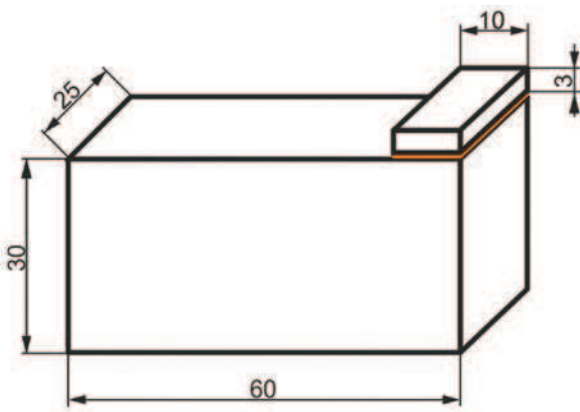
W artykule zaprezentowano wyniki analizy rodzaju zniszczenia oraz prawidłowości przełomów udarowych połączeń klejowych. W testach stosowano metodykę badania udarności z wykorzystaniem próbek blokowych, w których spoina klejowa jest niszczone przez udarowe obciążenia ścinające. Używając tej technologii, energię traconą podczas niszczenia próbki – czyli wytrzymałość udarową połączenia [6] można wyznaczyć na podstawie różnicy wysokości wahadła przed i po uderzeniu. Badania

tą metodą są trudne do powtórzenia ze względu na konieczność bardzo dokładnego zachowania parametrów próbek oraz warunków badań [1, 2, 3, 5]. W badaniach analizowano przełomy połączeń klejowych elementów stalowych oraz duraluminiowych łączonych klejami Epidian 57/Z1 lub Loctite 3421.

Metodyka badań

W celu przeprowadzenia badań udarowych wykonano 130 klejonych próbek blokowych (rys. 1) ze stopu aluminium 2017A lub stali zwykłej jakości S235.

Jako tworzywa adhezyjne zastosowano Epidian 57 z utwardzaczem Z1 oraz klej konstrukcyjny Loctite 3421, które wytypowano jako dwa kleje o istotnej różnicy modułu Younga (dla Epidian 57/Z1 – $E = 1800$ MPa, dla Loctite 3421 – $E = 965$ MPa). Do badań przygotowano 5 serii próbek duraluminiowych i 5 serii próbek stalowych o liczności 10, łączonych kompozycją Epidian 57/Z1 oraz 2 serie próbek duraluminiowych i 1 serię próbek stalowych, łączonych klejem Loctite 3421. Próbkę w seriach różniły się grubością spoin. Różne grubości spoin uzyskano przez zastosowanie elementów



Rys. 1. Próbką stosowana w badaniach udarności
Fig. 1. The sample used in impact strength tests

dystansowych w postaci nici krawieckich, które umieszczono pomiędzy elementami klejonymi.

Przed klejeniem elementy metalowe oczyszczono oraz nadano ich powierzchniom odpowiednią strukturę i chropowatość metodą obróbki strumieniowo-ściernej, stosując jako medium ściernie żużel pomiedziowy. Następnie powierzchnie próbek przemyto benzyną ekstrakcyjną, celem usunięcia pyłów pozostałych po obróbce strumieniowo-ściernej oraz tłuszczu znajdującego się na próbkach. W celu odparowania benzyny z powierzchni próbek, umyte próbki umieszczono w komorze suszarki laboratoryjnej w temperaturze 90°C. Tak przygotowane elementy jak najszybciej klejono, aby uniknąć przypadkowego zabrudzenia powierzchni klejonych bądź osadzenia się kurzu, tlenków lub wilgoci. Podczas składania elementów do klejenia zwracano uwagę na właściwe położenie elementów względem siebie, gdyż nawet niewielkie nieprawidłowości geometrii próbek skutkują istotnymi zmianami charakteru obciążenia i w efekcie uzyskiwanych wyników. Sklejone serie próbek o jednakowej grubości spoiny umieszczano na płycie podstawy i dociskano ciśnieniem 40 kPa na czas utwardzania, który wynosił 7 dób w temperaturze otoczenia (21°C).

Po utwardzeniu spoin, przeprowadzono ocenę jakości uzyskanych połączeń oraz usunięto wypływki kleju i nitki znajdujące się poza klejonymi powierzchniami. Usunięcie nasączonych klejem nitki jest szczególnie istotne, ponieważ mogą one zostać zahaczone podczas próby udarowej przez oderwany górny element i wyhamować wahadło, co przełoży się na zawyżoną wartość udarności połączenia. Wylewki natomiast mogą skutkować wzrostem wytrzymałości spoiny (w praktyce nie usuwa się ich, jeśli nie jest to konieczne).

W trakcie przygotowania próbek zauważono, że konsystencja kleju Loctite 3421, powoduje trudności w uzyskaniu spoiny o dużej grubości, a wypływki boczne są dużo większe niż w przypadku kleju Epidian 57/Z1.

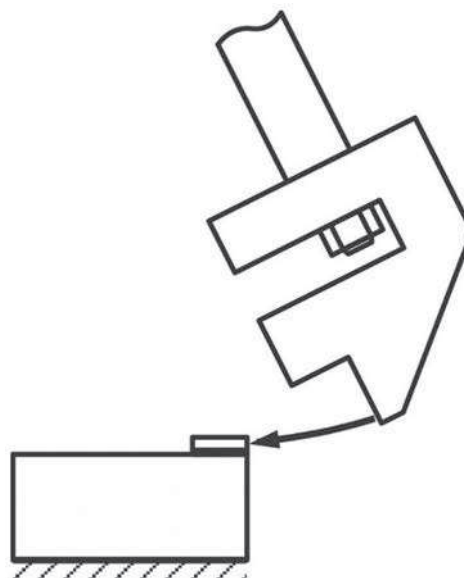
Pomiar grubości wykonano metodą pośrednią – grubość warstwy kleju została wyliczona na podstawie pomiarów innych wymiarów próbki. W połączeniach

elementów stalowych lub duraluminiowych wykonanych klejem Epidian 57/Z1 uzyskano średnie grubości spoin w seriach od 0,02 do 0,65 mm. Natomiast w połączeniach łączonych klejem Loctite 3421 uzyskano spoiny o średnich grubościach w seriach od 0,03 do 0,53 mm.

Grubości spoin próbek stalowych i próbek ze stopu aluminium 2017A z takimi samymi elementami dystansowymi, łączonych klejem Epidian 57/Z1 są niemal identyczne. Jedynie w seriach najcieńszych spoin otrzymano mniejsze grubości dla S235 niż dla 2017A.

Podobną zależność dostrzeżono w próbkach łączonych klejem Loctite 3421. Ponadto, w serii w której elementy duraluminiowe łączono klejem Loctite 3421 z użyciem nitki, uzyskano bardzo zróżnicowane grubości spoin.

Badania przeprowadzono na dedykowanej maszynie do badania udarności połączeń klejowych blokowych i zakładkowych. Maksymalna energia stosowanego w badaniach wahadła wynosiła 15 J, a prędkość w najniższym położeniu – 2,96 m/s. Badania prowadzono przykładając obciążenie udarowe wg schematu przedstawionego na rys. 2 [4]. W czasie badań zwracano szczególną uwagę na utrzymywanie stałej odległości impaktora od spoiny klejowej, ze względu na istotny wpływ tego parametru na uzyskiwane wyniki.

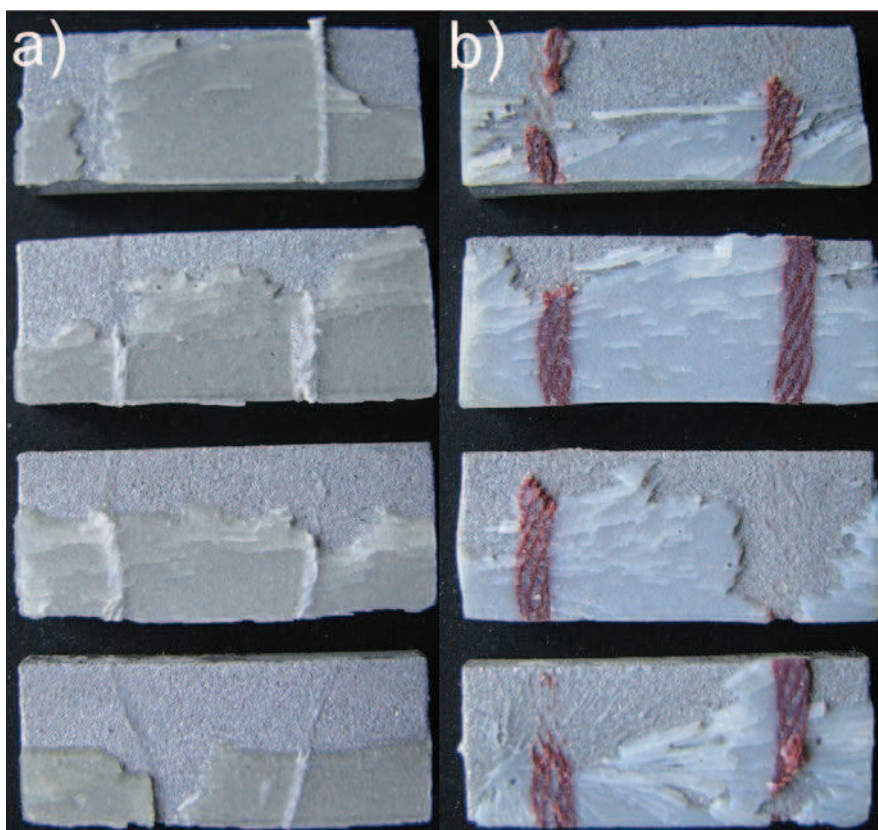


Rys. 2. Schemat przyłożenia obciążenia do próbki
Fig. 2. Scheme of the block impact test

Analiza zniszczeń

Analizy przelomów złączy klejowych dokonano w celu zbadania charakteru zniszczeń, prawidłowości i podobieństw między badanymi grubościami spoin klejowych. Analizę przeprowadzono dwiema metodami: makroskopową oraz mikroskopową.

Badanie metodą makroskopową jest trudne do zastosowania przy analizie zniszczeń spoin o najmniejszych grubościach, ponieważ skala zniszczonego kleju



Rys. 3. Przelomy spoin klejowych po badaniach udarowych: a) klej Loctite 3421, b) Epidian 57/Z1
 Fig. 3. Cracking of adhesive joints after impact loading tests a) Loctite 3421 adhesive, b) Epidian 57/Z1 adhesive

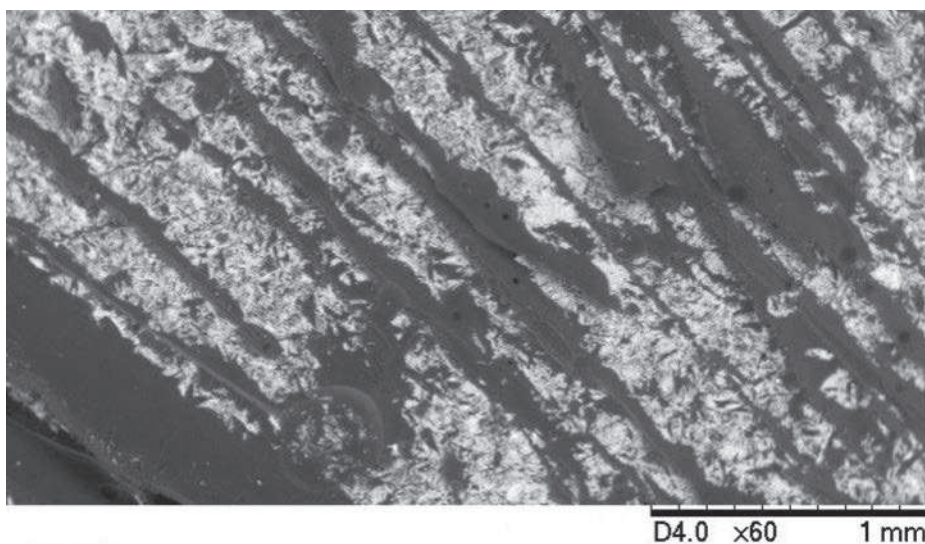
nie pozwala dostrzec szczegółów oraz wyciągnąć wniosków. Spoiny o grubości poniżej 0,1 mm badano głównie drugą z metod, korzystając z mikroskopu elektronowego. Najczęściej spotykany charakter pęknięć próbek o większych grubościach spoin przedstawiono na rys. 3.

Podczas badań makroskopowych zauważono, że większość próbek pęka, podobnie jak na rys. 3 w ten sposób, że na górnym elemencie pozostaje ok. 25–50% objętości kleju, podobnie na górnym elemencie próbki, natomiast pozostała część kleju zostaje rozrzucona wewnątrz komory maszyny udarnościowej. Kolejną dostrzeżoną regułą jest sposób rozdzielania się spoiny klejowej. Na górnym elemencie więcej kleju pozostaje przy krawędzi, w której pobliżu następuje uderzenie młota wahadłowego, natomiast na dolnych częściach próbek więcej pozostałości kleju znajduje się dalej od krawędzi uderzenia. Niemożliwe jest potwierdzenie tych obserwacji w przypadku próbek z najcieńszą spoiną. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji stwierdzono, iż zniszczenie połączeń jest również oprócz ścinania efektem wystąpienia momentu powstałego wskutek przyłożenia siły w odległości ok. 0,8 mm od górnej powierzchni spoiny. Moment ten jest tym większy im większa jest grubość spoiny.

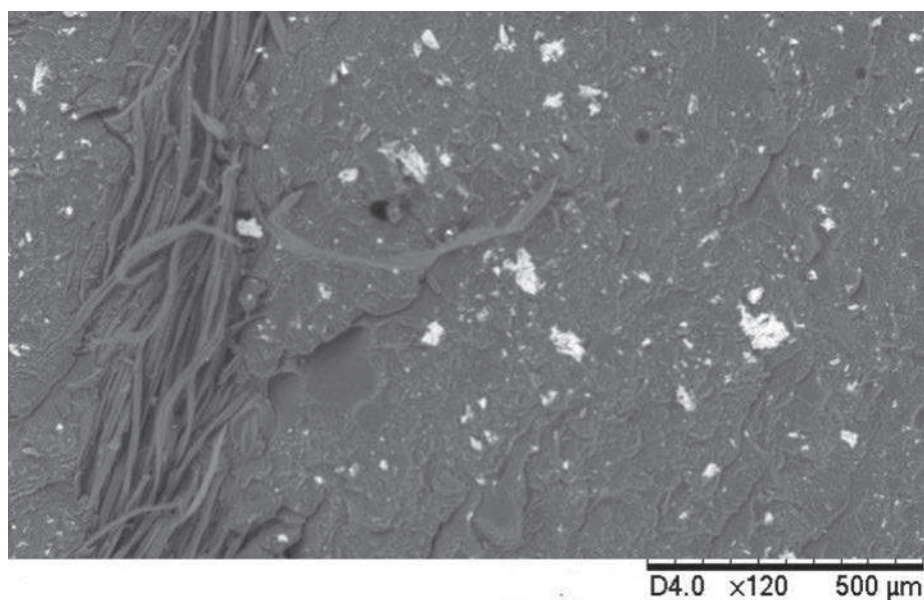
Następnym analizowanym aspektem jest wpływ nici wprowadzonej do spoiny na wytrzymałość połączenia. Na podstawie wyników badań nie stwierdzono

czy nić polepsza lub pogarsza wytrzymałość udarową połączenia klejowego. W wyniku obserwacji wzrokowej stwierdzono, iż nie występują żadne cechy, wskazujące na powtarzalność charakteru zniszczeń, wywołaną obecnością nici w spoinie. Oceniając przelomy, zauważono próbki, w których nastąpiło rozerwanie nici w poprzek, jak również próbki, w których nastąpiło wzdłużne rozerwanie nici. Nici w większości próbek pozostały w całości przy jednej z klejonych powierzchni i były to powierzchnie z większą pozostałością kleju. W pobliżu nici nie zaobserwowano pęknięć, które wynikałyby ze zmniejszonej wytrzymałości spoiny w jej sąsiedztwie. Nie zaobserwowano również pęcherzyków powietrza w obszarze nici, chociaż były one liczne w strukturze nakładanej masy klejowej. Wybrana metoda nanoszenia kleju oraz zastosowany docisk zagwarantowały równomierny rozkład masy klejowej, pozbawiając ją pęcherzyków, co przełożyło się na wysoką wytrzymałość kohezyjną kleju.

Ostatnim punktem analizy była ocena charakteru zniszczenia połączenia, a więc ocena czy rozerwanie nastąpiło przez oderwanie spoiny od jednej z powierzchni klejonych, czy też na obydwu powierzchniach klejonych znajduje się cienka warstwa kleju. Metodą wzrokową można zauważyć większe skupiska kleju, jednak w przypadkach cienkich spoin takie szacunki są bardzo trudne i niejednoznaczne.



Rys. 4. Obraz przełomu spoiny połączenia duraluminium klejem Epidian 57/Z1 (mikroskop elektronowy, powiększenie 60×)
 Fig. 4. Image of breaking the joint connecting the elements of the alloy 2017A, Epidian 57/Z1 (electron microscope, magnification 60×)



Rys. 5. Obszar w sąsiedztwie nici po zniszczeniu połączenia elementów duraluminiowych połączonych klejem Epidian 57/Z1 (mikroskop elektronowy, powiększenie 120×)
 Fig. 5. Image of area adjacent to the thread after joint fracture of Epidian 57/Z1 adhesive (electron microscope, magnification 120×)

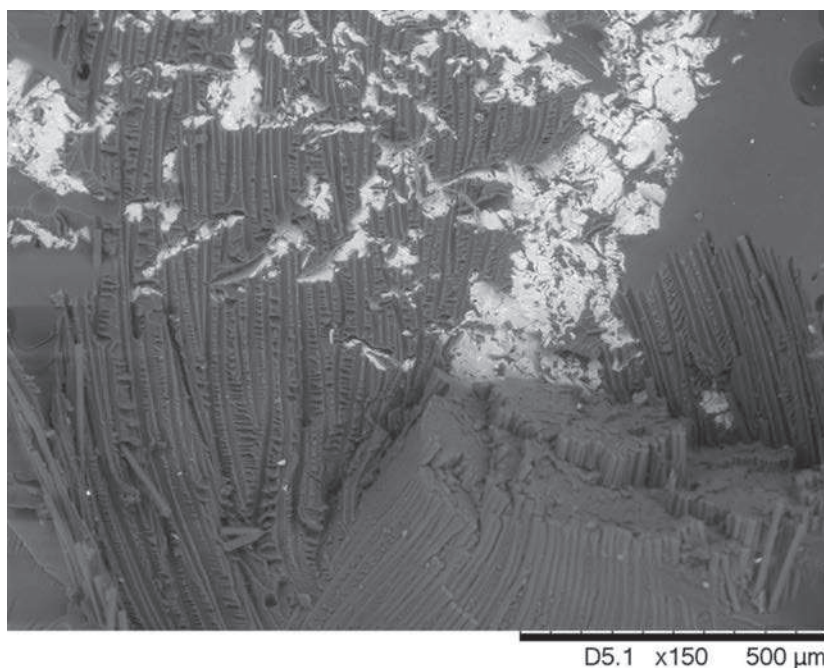
Charakter zniszczenia spoiny oceniono metodą mikroskopową korzystając z mikroskopu elektronowego HITACHI TM3030. Obserwacje powierzchni przełomów spoin próbek przedstawiono na rys. 4-7.

Na rys. 4 przedstawiono powierzchnię przełomu spoiny połączenia duraluminium z użyciem kleju Epidian 57/Z1. Jasne obszary pola to metalowej powierzchnia próbki, w tym przypadku duraluminium, natomiast ciemniejsze obszary to pozostałości kleju.

Bazując na tej obserwacji można dostrzec regularne pasy kleju o grubości ok. 0,1 mm oraz dużą liczbą małych skupisk kleju. Stwierdzono adhezyjno-kohezyjny

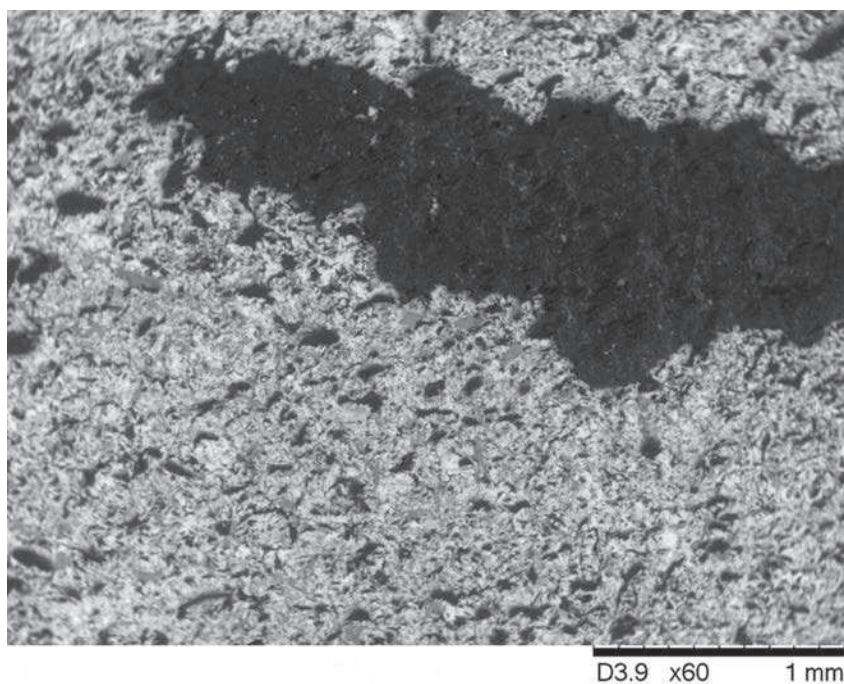
charakter zniszczenia połączenia klejowego, co oznacza bardzo dobrą zwilżalność powierzchni klejowej przez klej oraz wysoką wytrzymałość adhezyjną kleju Epidian 57/Z1 w próbce duraluminiowej.

Na rys. 5 przedstawiono obszar skupiska masy klejowej w obrębie nici, w próbce duraluminiowej łączonej klejem Epidian 57/Z1. Nie zaobserwowano pęknięć ani odstających płatów kleju w pobliżu nici, co wskazuje, że nić nie ma znaczącego wpływu na wytrzymałość udarową połączenia klejowego. Widoczne jasne pola to prawdopodobnie warstwa metalowa od której oderwał się klej spoiny połączenia.



Rys. 6. Obraz przełomu spoiny połączenia duraluminium klejem Epidian 57/Z1 w miejscu przerwania nici dystansowej (mikroskop elektronowy, powiększenie 150×)

Fig. 6. Image of the joint fracture of Epidian 57/Z1 adhesive joint at the place of a thread damage (electron microscope, magnification 150×)



Rys. 7. Obraz przełomu spoiny połączenia stali klejem Epidian 57/Z1 (mikroskop elektronowy powiększenie 60×)

Fig. 7. The image of breaking the joint connecting the steel elements (electron microscope, magnification 60×)

Na rys. 6 przedstawiono powierzchnię przełomu spoiny próbki, w której obrębie nastąpiło przerwanie nici. W prawej dolnej części zdjęcia znajdują się włókna nici, w pozostałej części zdjęcia można dostrzec obszar „pod nicią”, z charakterystycznymi śladami, którymi wcześniej przebiegała nić. Obraz zaprezentowany na

rys. 6 wskazuje iż między nicią a klejoną powierzchnią znajduje się przejściowa warstwa kleju, a nić nie przylega bezpośrednio do metalu. Ponadto zaobserwowano, iż „pod nicią” występuje zniszczenie adhezyjno-kohezyjne, a tak równe przerwanie nici wskazuje, że klej bardzo dobrze przesycił nić. Wytrzymałość nici nie ma

znaczącego wpływu na ogólną wytrzymałość złącza klejowego. Wpływ nici na wytrzymałość połączenia może objawić się wyłącznie w postaci obniżenia wytrzymałości kohezynnej spoiny klejowej, natomiast nie ma wpływu na przyczepność kleju do elementów próbki, czyli na wytrzymałość adhezyjną.

Przełom spoiny próbki stalowej klejonej klejem Epidian 57/Z1 bez użycia nici przedstawiono na rys. 7. Metodą wzrokową oceniono, że dla tej próbki nastąpiło w większej części rozerwanie adhezyjne z kilkoma skupiskami kleju, które przedstawia na rysunku kolor ciemnoszary. Metoda mikroskopowa ukazała, iż w obszarach, które metodą wzrokową oceniono na pozabawione pozostałości kleju, znajdują się jednak małe jego resztki.

Wnioski

1. Makroskopowa analiza zniszczeń wykazała regularny charakter zniszczeń badanych połączeń.
2. Metoda obserwacji mikroskopowej potwierdziła adhezyjno-kohezynny charakter rozerwania połączeń klejowych o różnych grubościach spoin.
3. Makroskopowa analiza przełomów połączeń klejowych nie jest odpowiednia dla spoin o grubościach poniżej 0,1 mm.
4. Na podstawie pomiarów grubości spoin stwierdzono, iż wybrana metoda dystansowania elementów próbek jest w pełni skuteczna dla obydwu klejów, natomiast dla większych grubości spoin,

konsystencja kleju Loctite 3421 stanowi utrudnienie ze względu na wypływanie kleju ze spoiny przed utwardzeniem.

LITERATURA

- [1] Adams R. D., J. A. Harris. 1996. "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.
- [2] Adams R. D., J. Comyn, W. C. Wake. 1997. "Structural Adhesive Joints in Engineering". Springer.
- [3] Da Silva, Da Dillard, B. Blackman. 2012. "Testing Adhesive Joints: Best Practices". Wiley & Sons.
- [4] Komorek A., J. Godzimirski. 2016. "The selected aspects of the research into impact loading of adhesive joints in block samples – comparison of different ways of applying the load". *Problemy Eksploatacji* (4): 77–91.
- [5] Komorek A., P. Przybyłek. 2015. "Initial research of impact strength in adhesive joints". *Solid State Phenomena* Vol. 237: 160–165.
- [6] Taylor A. 1996. "Impact Testing of Adhesive Joints". MTS Adhesive Project 2 AEA Technology, 5 (2).

dr inż. Andrzej Komorek – Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, ul. Dywizjonu 303 nr 35, 08-520 Dęblin, e-mail: komman@op.pl

inż. Krzysztof Chojnacki – Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, ul. Dywizjonu 303 nr 35, 08-520 Dęblin, e-mail: k.chojnacki845@wsosp.edu.pl

WPŁYW 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 różnice 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.

Key words: 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.

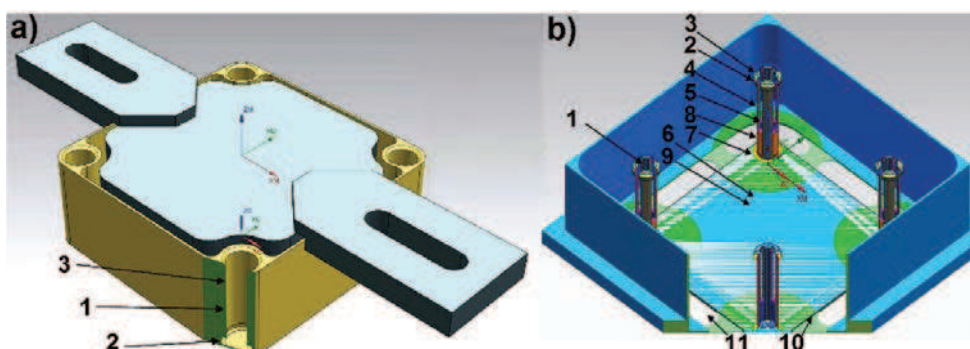
Pomiary wykonywano dla każdej z pięciu wytworzonych podstaw i pokryw. Podstawy oznaczono symbolami od Z1 do Z5, natomiast pokrywy symbolami od M1 do M5.

Wyniki badań

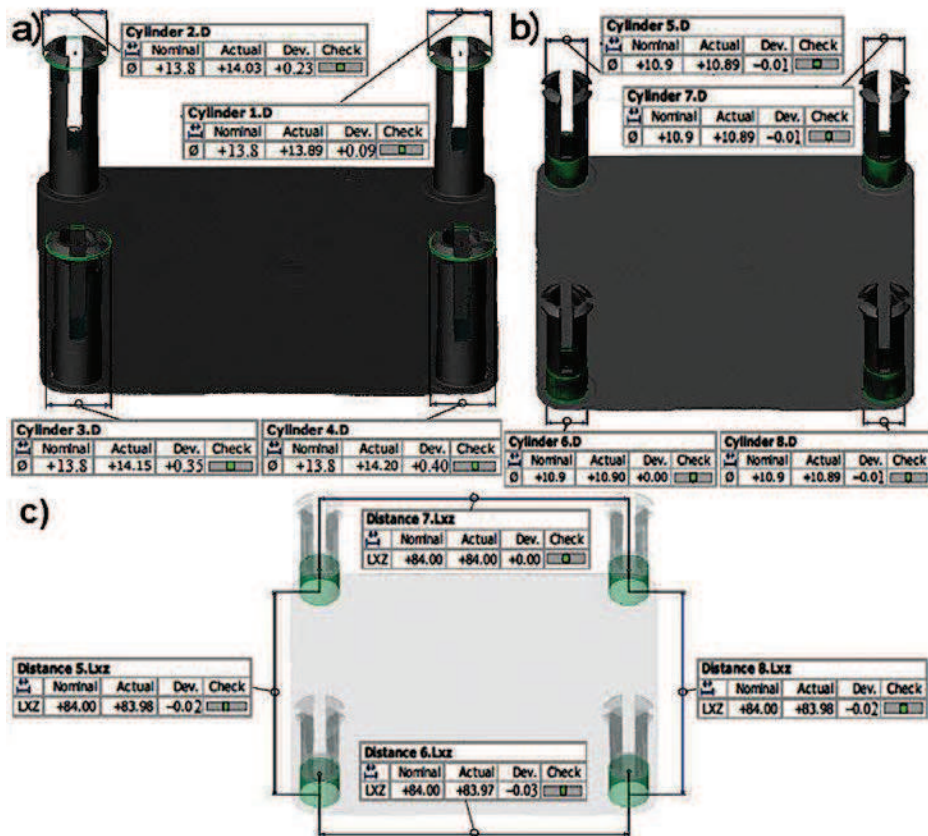
Na rys. 2 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów aluminiowej pokrywy, podczas których skupiono się na analizie średnic zatrzasków w części górnej (rys. 2a) i dolnej (rys. 2b), a także analizie ich rozstawienia (rys. 2c).

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).

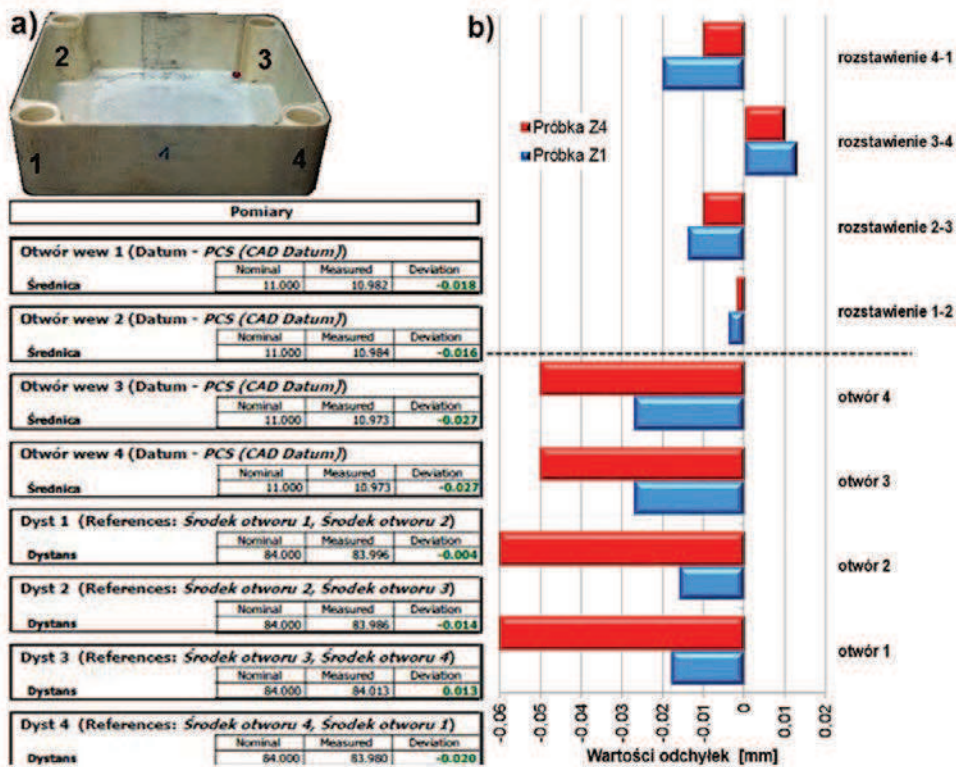
Również dla kompozytowej konstrukcji podstawy skoncentrowano się na pomiarach elementów mających największy wpływ na jakość i dokładność wytworzonego połączenia. Zmierzone średnice otworów zatrzasku oraz ich rozstawienie. Na rys. 3a przedstawiono przykładowy protokół z pomiarów współrzędnościową maszyną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



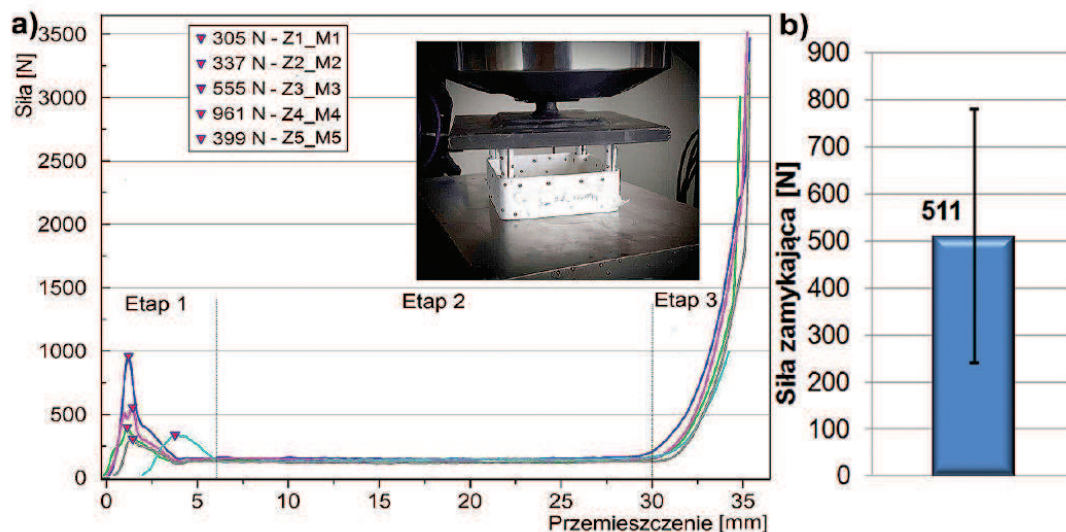
Rys. 1. Obróbka elementów połączenia zatrzaskowego: a) kompozytowa podstawa, b) aluminiowa pokrywa
Fig. 1. Machining of snap fit joint elements: a) composite base, b) aluminium cover



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 przesuwały 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

KONSTRUKCJA GŁOWICY DO UMACNIANIA BLACH I DOCZOŁOWYCH POŁĄCZEŃ SPAWANYCH METODĄ PNEUMOKULOWANIA

Construction of heads for strengthening of plate and butt-welded joints with pneumatic shot peening methods

Magdalena BUCIOR, Władysław ZIELECKI, Andrzej KUBIT

Streszczenie: Spawanie ze względu na wysoką wydajność jest jedną z najczęściej stosowanych technologii łączenia materiałów. Podczas spawania cienkich blach formowana jest spoina oraz strefa wpływu ciepła o zróżnicowanej strukturze metalograficznej, w której konstrytuowane są naprężenia spawalnicze wywołujące odkształcenia, powodujące problemy nie tylko w procesie montażu, ale również decydujące o jakości wyrobu. Pneumokulowanie jako jedna z metod powierzchniowej obróbki umacniającej zapewnia usuwanie koncentatorów naprężeń oraz powoduje zmiany rozkładu naprężeń własnych w warstwie wierzchniej złącza spawanego, co w rezultacie przyczynia się do wzrostu wytrzymałości zmęczeniowej. W artykule przedstawiono schemat oraz zasadę działania głowicy do pneumokulowania cienkich blach i doczołowych połączeń spawanych.

Słowa kluczowe: doczołowe połączenia spawane, pneumokulowanie, głowica

Abstract: Welding process it is one of the most commonly used technology for the joining materials. During the welding process often occurs in thin plate the welding distortion. The distortion causes problems not only in the assembling process but also in the final product quality. Pneumatic shot peening is one of the burnishing methods. It is widely used to improve the fatigue strength of the material. In this article, the scheme and working principle of head for the shot peening process of plate and butt-welded joints was presented.

Keywords: butt-welded joint, pneumatic shot peening, head

Wprowadzenie

Jakość złączy spawanych decyduje o właściwościach użytkowych łączonych części takich jak np.: właściwości mechaniczne, fizyczne i estetyczne. Obecnie do poprawy własności mechanicznych stopów metali wykorzystuje się obróbki chemiczne, termiczne i mechaniczne.

Jedną z metod mechanicznej obróbki wykańczającej, umożliwiającej uzyskanie warstwy wierzchniej o szczególnie korzystnych właściwościach jest obróbka nagniataniem. Biorąc pod uwagę sposób oddziaływania sił nagniatania na przedmiot obrabiany można wyróżnić: nagniatanie statyczne i dynamiczne [12]. Pneumokulowanie jako jedna z odmian dynamicznego umacniania powierzchni korzystnie wpływa na stan warstwy wierzchniej oraz wytrzymałość zmęczeniową części maszyn [5-8]. Proces pneumokulowania został szeroko przeanalizowany teoretycznie i praktycznie [5, 6, 13, 14, 9, 11, 2]. Do głównych zalet tej metody można zaliczyć obróbkę części w trudno dostępnych miejscach, brak elementów szybko zużywających się [3], a także możliwość zaprojektowania urządzeń o przeznaczeniu specjalnym. Przykładem mogą być np.: urządzenia do pneumokulowania wałków, łopatek turbin parowych, głowice pionowe oraz poziome do kulowania otworów czy ręczne urządzenia do miejscowego pneumokulowania [4]. Efektywność pneumokulowania zależy od parametrów

procesu, rodzaju obrabianego materiału oraz obróbki mechanicznej. Procesem pneumokulowania można również łatwo sterować przez zmianę ciśnienia powietrza doprowadzanego do dyszy, czasu trwania obróbki, wymianę kulek czy też konstrukcję dyszy [4]. Odpowiednie ukształtowanie dyszy umożliwia otrzymanie różnego kształtu strumienia kulek, dzięki zastosowaniu kilku dysz z oddzielnym sterowaniem ciśnieniem i czasem pracy można uzyskać różną intensywność nagniatania w różnych miejscach, co świadczy o elastyczności technologii pneumokulowania.

Proces ten powoduje również wzrost wytrzymałości zmęczeniowej złączy spawanych. Spawanie wprowadza do materiału naprężenia rozciągające, które w procesie kulowania są redukowane przez wprowadzenie do materiału naprężeń ściskających, co w efekcie zwiększa ich trwałość [10]. Wytrzymałość zmęczeniowa złącza niepoddanego żadnej obróbce po spawaniu mieści się w granicach 30–40% wytrzymałości zmęczeniowej materiału rodzimego. Głównym celem stosowania obróbki umacniającej złączy doczołowych jest usunięcie lub zmniejszenie oddziaływania koncentatorów naprężeń. Dzięki temu w przypadku złączy doczołowych można osiągnąć wytrzymałość zmęczeniową równą wytrzymałości materiału rodzimego [1].

Pneumokulowanie można również stosować do umacniania cienkich blach. Przykładowo w pracach

[13, 14] przedstawiono wpływ pneumokulowania na właściwości warstwy wierzchniej trzech gatunków stali: 51CrV4, X5CrNi18-10, 30HGSA o grubości 1 mm, stosowanych na sita przesiewaczy. Badania mikrotwardości wykazały, że materiałem o największym stopniu utwardzenia po obróbce (38,08%) była stal austenityczna X5CrNi18-10, natomiast najmniejszy stopień utwardzenia zaobserwowano w przypadku stali 30HGSA (14,2%). Przebiegi krzywych Wöhlera wskazały wzrost wytrzymałości zmęczeniowej dla stali 30HGSA (5%) po pneumokulowaniu. Jednak największą wytrzymałość zmęczeniową spośród badanych materiałów zaobserwowano w przypadku stali sprężynowej 51CrV4. Autorzy pracy [9] przeanalizowali wpływ kulowania pneumatycznego na strukturę, mikrotwardość oraz rozkład naprężeń własnych próbek wykonanych ze stali austenitycznej 904L. Próbkę kulowano śrutem stalowym o średnicy 0,8 mm, przy ciśnieniu powietrza 0,5 MPa przez 6 min. W wyniku kulowania topografia powierzchni uległa nieznacznym zmianom, chropowatość przed kulowaniem wyniosła $R_a = 3,9 \mu\text{m}$, a po kulowaniu $R_a = 3,98 \mu\text{m}$. Zmiana wielkości ziaren w warstwie wierzchniej występowała do głębokości ok. 150 μm przed obróbką dla próbek po walcowaniu, natomiast po kulowaniu w wyniku zgniotu nastąpił wzrost deformacji ziaren austenitu do głębokości 350 μm . Mikrotwardość stali 1.4539 wzrosła o ok. 50 HV po obróbce. Maksymalne wartości naprężeń ściskających wystąpiły na głębokości 0,08 mm pod powierzchnią próbki i wyniosły -600 MPa , co stanowi 3-krotny wzrost w porównaniu do próbek w stanie wyjściowym. Z kolei w pracy [2] przedstawiono wpływ parametrów technologicznych pneumokulowania na intensywność procesu dla stali 51CrV4. Badania przeprowadzono zgodnie z planem PS/DK 3². Czynnikiem wejściowym był czas nagniatania oraz ciśnienie. Największy wpływ na intensywność procesu wywarło ciśnienie oraz interakcja obydwu analizowanych parametrów.

Konstrukcja i opis głowicy

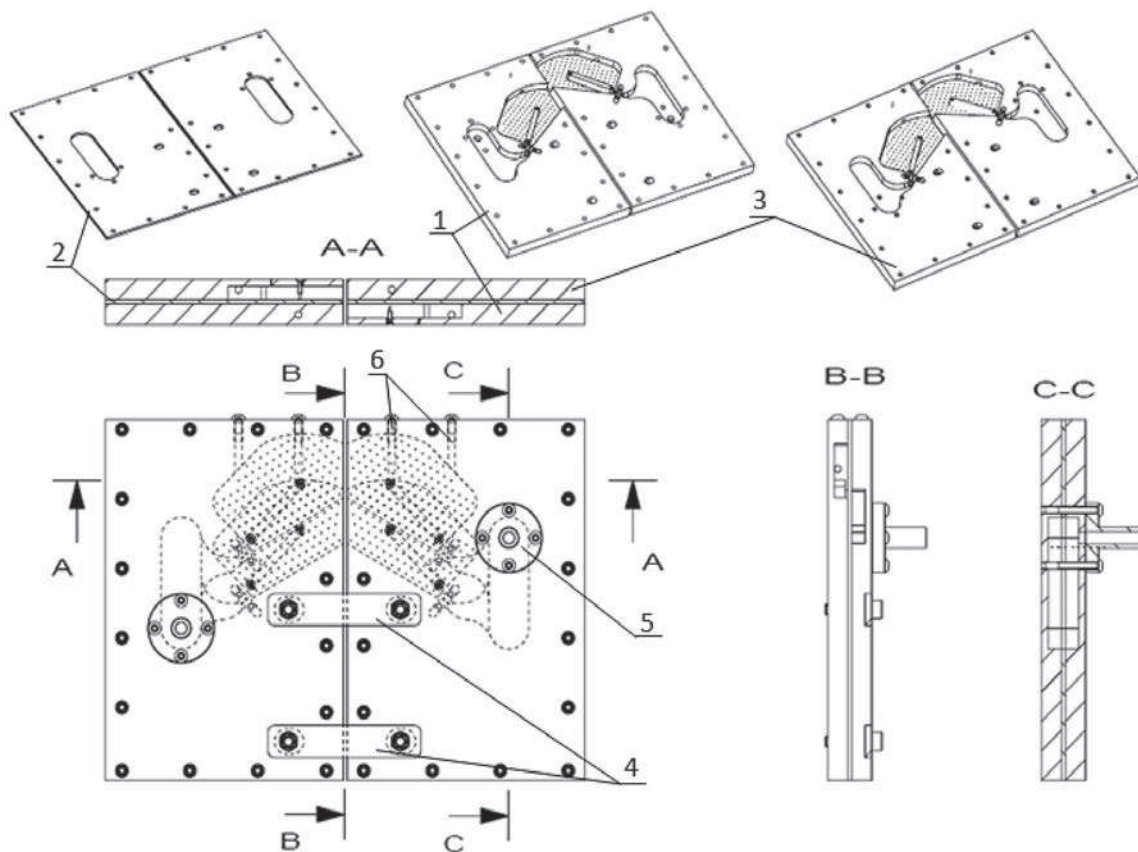
Głowica jest przeznaczona do umacniania blach i doczołowych połączeń spawanych metodą pneumokulowania. Ze względu na swoją konstrukcję głowica może być wykorzystana do umacniania części maszyn o dużych gabarytach. Przykładem może być sito przesiewacza o wymiarach 750×700×1 mm. Przeprowadzenie badań z użyciem takiej głowicy umocni najbardziej narażoną na pękanie część sita (rys. 1), co w efekcie wydłuży bezawaryjny czas pracy przesiewacza.

Głowica składa się z dwóch korpusów (rys. 2) – lewego i prawego, połączonych ze sobą dwoma uchwyta-
mi (4), które umożliwiają regulację i dostosowanie głowicy do grubości obrabianej części. Każdy korpus składa się z trzech części, a mianowicie: korpusu dolnego (1), podkładki uszczelniającej (2) oraz korpusu górnego (3). Podkładka uszczelniająca uniemożliwia przepływ kulek z komory roboczej dolnej (8) do komory górnej, zapewniając przy tym jednakowy rozkład ciśnienia w obydwu komorach. Za pomocą przyłączy (5) do komór (7), doprowadzane jest sprężone powietrze. Strumień sprężonego powietrza wypływający z dysz dolnych (9) porywa kulki łożyskowe, które następnie są kierowane przez dyszę górną (10) w kierunku obrabianej blachy. W korpusach dolnych oraz górnych znajdują się zarówno otwory wyspowe o średnicy 6 mm (6), umożliwiające umieszczenie kulek w komorach roboczych jak i mniejsze otwory odpowietrzające (11) o średnicy 1 mm. Korpusy wykonane są z tworzywa sztucznego, zaś pozostałe elementy takie jak przyłącze sprężonego powietrza, dysze dolne, górne oraz uchwyty są ze stali. Dzięki zastosowaniu 4 komór roboczych rozmieszczonych na dwóch poziomach możliwe jest umacnianie powierzchni z obydwu stron na maksymalnej długości wynoszącej 72 mm.

Pneumokulowanie realizowane jest w obiegu zamkniętym. Kulki po odbiciu od powierzchni obrabianej

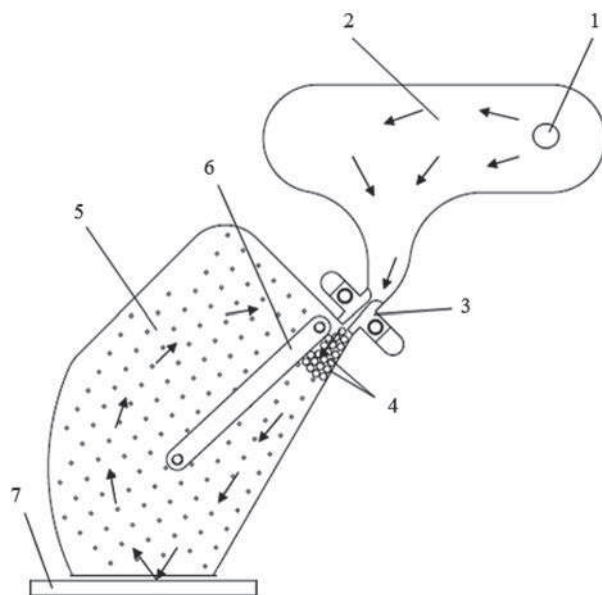


Rys. 1. Fotografia sita przesiewacza z uwzględnieniem miejsc najbardziej narażonych na pękanie
Fig. 1. Photograph of screen sieve taking into account places most prone to fracture



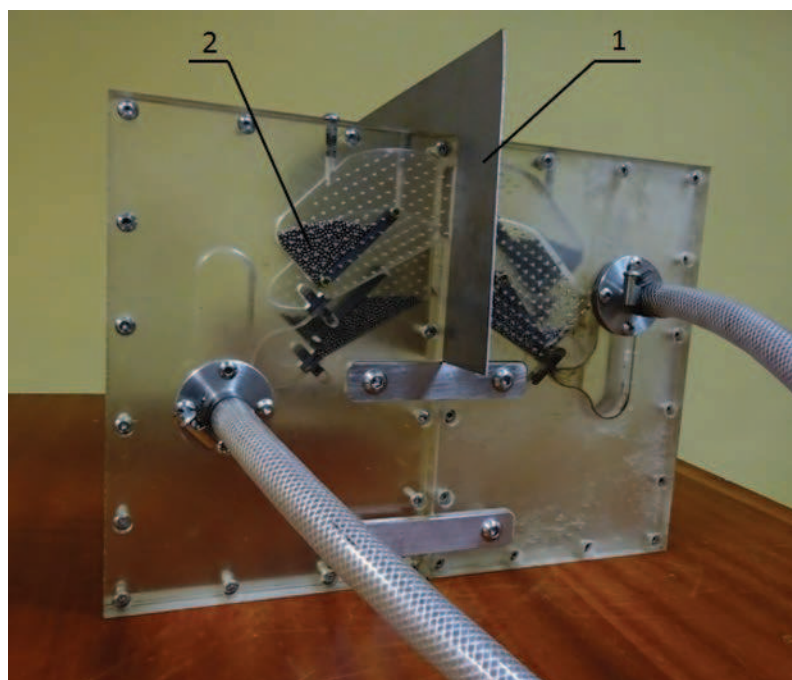
Rys. 2. Schemat głowicy do pneumokulowania blach i doczołowych połączeń spawanych: 1 – korpus dolny, 2 – podkładka uszczelniająca, 3 – korpus górny, 4 – uchwyty łączące korpusy, 5 – przyłącze sprężonego powietrza, 6 – otwory wsypowe, AA – widok w przekroju poprzecznym głowicy, BB – widok w przekroju wzdłużnym głowicy, CC – widok w przekroju wzdłużnym ukazujący komorę sprężonego powietrza

Fig. 2. Diagram of head for pneumatic shot peening of sheet and butt welded joints: 1 – bottom body, 2 – sealing washer, 3 – upper body, 4 – body connecting brackets, 5 – compressed air connection, 6 – feed holes, AA – transverse cross-sectional view of the head, BB – longitudinal cross-sectional view of the head, CC – longitudinal sectional view showing the compressed air chamber



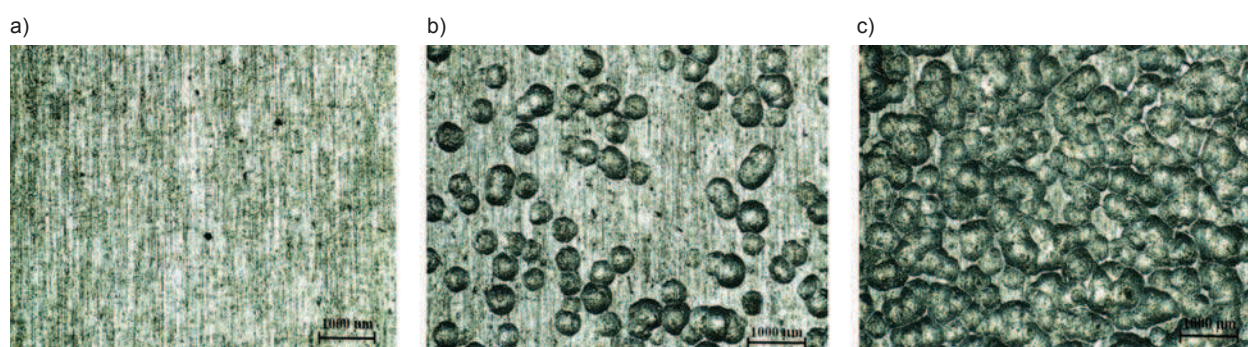
Rys. 3. Schemat procesu pneumokulowania: 1 – przyłącze sprężonego powietrza, 2 – komora sprężonego powietrza, 3 – dysza dolna, 4 – kulki, 5 – komora robocza, 6 – dysza górna, 7 – przedmiot obrabiany.

Fig. 3. Scheme of pneumatic shot peening process: 1 – compressed air inlet, 2 – compressed air chamber, 3 – lower nozzle, 4 – balls, 5 – working chamber, 6 – upper nozzle, 7 – workpiece



Rys. 4. Fotografia głowicy do pneumokulowania blach i doczołowych połączeń spawanych: 1 – przedmiot obrabiany, 2 – elementy nagniatające

Fig. 4. Photograph of the head for pneumatic shot peening of sheets and butt welded joints: 1 – workpiece, 2 – burners



Rys. 5. Fotografia stali sprężynowej 51CrV4, pow. 30×: a) w stanie wyjściowym, b) po pneumokulowaniu w zakresie ciśnienia 0,2–0,3 MPa, c) po pneumokulowaniu w zakresie ciśnienia 0,5–0,6 MPa

Fig. 5. Photograph of spring steel 51CrV4, pow. 30× a) in the starting state, b) after pneumatic shot peening in the pressure range of 0.2 to 0.3 MPa, c) after pneumatic shot peening in the pressure range of 0.5 to 0.6 MPa

powracają w strefę dyszy dolnej i ponownie są rozpędzane sprężonym powietrzem i kierowane przez dyszę górną w kierunku obrabianej blachy lub złącza spawanego (rys. 3).

Na rys. 4 przedstawiono prototyp głowicy do pneumokulowania blach i doczołowych połączeń spawanych. Przedmiotem obrabianym była blacha o grubości 1 mm ze stali sprężynowej 51CrV4 (rys. 5a). Pierwsze próby kulowania realizowano w zakresie ciśnienia 0,2–0,3 MPa (rys. 5b). W tym przypadku elementy nagniatające, którymi były kulki łożyskowe o średnicy 1,5 mm, ze względu na niskie ciśnienie, nie zapewniły pożądanych efektów. Pokrycie powierzchni wyniosło ok. 30 %. Natomiast w przypadku kulowania blachy w zakresie ciśnienia 0,5–0,6 MPa

uzyskano 100% pokrycie powierzchni (rys. 5c). W związku z tym, aby kulowanie przyniosło pożądane efekty należy zapewnić odpowiedni dopływ sprężonego powietrza. Średnica przyłącza powinna wynosić 2”.

Wnioski

Zaletą proponowanego rozwiązania jest możliwość nagniatania blach o różnej grubości oraz kilku wymiarach. Głowica ma niewielkie wymiary (356×260×33 mm), jest także łatwa w użyciu. Wsad roboczy w postaci kulek jest niewielki i wykazuje dużą trwałość. Urządzenie jest stosunkowo lekkie, a podczas obróbki może być podtrzymywane ręcznie.

LITERATURA

- [1] Banaś G. 1987. „Zwiększanie wytrzymałości zmęczeniowej złączy spawanych metodami nagniatania. Nowe technologie nagniatania i ich zastosowanie w przemyśle elektromaszynowym”. Rzeszów: Zakład Małej Poligrafii Politechniki Rzeszowskiej: 125–137.
- [2] Bucior M. et.al. 2015. “The effect of technological parameters on intensity of shot peening process of 51CrV4 steel”. Conference Proceedings, 8-th International Symposium on Mechanics of Materials and Structures and Fracture and Fragmentation Technologies in Science and Engineering Conference, Augustów: 34–35.
- [3] Fedoryszyn A. i in. 2010. „Efekty obróbki powierzchni strumieniem śrutu”. XII Konferencja Odlewnicza Technical: 19–31.
- [4] Grinspan A. S., R. Gnanamoorthy. 2007. “Surface modification and fatigue behavior of high-pressure oil jet peened medium carbon steel AISI 1040, Transaction of the ASME”. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol.129: 601–606.
- [5] Łunarski J. 1987. „Możliwości technologiczne procesu pneumokulowania”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej* (35): 41–51.
- [6] Łunarski J. 1987. „Przegląd metod nagniatania i ich wpływ na właściwości użytkowe elementów maszyn”. Zbiór referatów pod red. J. Łunarskiego „Nowe technologie nagniatania i ich zastosowanie w przemyśle elektromaszynowym”. Zakład Małej Poligrafii Politechniki Rzeszowskiej, 1987.
- [7] Nakonieczny A., G. Mońka. 2004. „Wpływ kulowania na wytrzymałość zmęczeniową stali sprężynowej po oddziaływaniu korozji”. *Inżynieria Powierzchni* (3): 14–19.
- [8] Nakonieczny A. 2002. „Dynamiczna powierzchniowa obróbka plastyczna, kulowanie”. Warszawa: Instytut Mechaniki Precyzyjnej.
- [9] Nasiłowska B. 2015. „Wpływ kulowania na strukturę, mikrotwardość i naprężenia własne stali austenitycznej 1.4539”. *Biuletyn WAT*, Vol. 64 (2): 103–110.
- [10] Nur Azida Che Lah. 2010. “The effect of controlled shot peening on fusion welded joints”. *Materials and Design* (31): 312–324.
- [11] Nyklewicz J. 1987. „Ocena intensywności pneumokulowania według parametrów nierówności powierzchni umocnionej”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej* (35): 117–123.
- [12] Przybylski W. 1987. „Technologia obróbki nagniataniem”. Warszawa: WNT.
- [13] Śledź M., F. Stachowicz, W. Zielecki. 2015. “The effect of shot peening on the fatigue strength of steel sheets”. *Kovove Materialy – Metallic Materials*. Vol. 53, (2): 91–95.
- [14] Śledź M., W. Zielecki, Ł. Bąk. 2014. „Wpływ pneumokulowania na wytrzymałość zmęczeniową wybranych blach stalowych”. Monografia – Wybrane zagadnienia i problemy z zakresu budowy maszyn. Cz. 1. Rzeszów: 69–83.

dr inż. Magdalena Bucior – Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji Politechniki Rzeszowskiej, ul. Aleja Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: magdabucior@prz.edu.pl

dr hab. inż. Władysław Zielecki prof. PRz – Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji Politechniki Rzeszowskiej, ul. Aleja Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: wzkmiop@prz.edu.pl

dr inż. Andrzej Kubit – Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji Politechniki Rzeszowskiej, ul. Aleja Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: akubit@prz.edu.pl

ANALIZA KONSTRUKCJI UCHWYTÓW OBRÓBKOWYCH W ASPEKTCIE MONTAŻU

Analysis of the structure of handles in the aspect of the assembly

Adam BARYLSKI

Streszczenie: Rozpatrywanym problemem w artykule jest porównanie zastosowania dwóch typów uchwytów w operacji wykonania dokładnych otworów w dźwigni. Porównano zaprojektowany uchwyt specjalny i modułowy. Założono wielkość produkcji oraz określono przybliżony czas wykonania oprzyrządowania. Porównano czasy zamocowania obrabianej dźwigni w uchwycie i koszty zastosowanych elementów.

Słowa kluczowe: dźwignia, uchwyt specjalny, uchwyt modułowy, porównanie

Abstract: The problem that was examined in this article was to compare the use of two types of handles in precise drilling operation in the lever. Study was taking into consideration both special handle and modular handle. A throughput was assumed as well as an approximate time of development was determined. Times of fastening the worked lever in the handle and costs of applied elements were compared.

Keywords: level, special handles, modular handles, comparison

Wstęp

Przedmiotowe uchwyty obróbkowe to podstawowe składniki pomocy warsztatowych, które muszą być stosowane w praktyce produkcyjnej. Ważne jest odpowiednie zamocowanie przedmiotu obrabianego oraz wymagana dokładność wymiarowo-kształtowa, którą warunkuje m.in. sposób ustalenia w przestrzeni roboczej obrabiarki. Wśród wielu rodzajów konstrukcji wyróżnić można trzy zasadnicze grupy oprzyrządowania przedmiotowego: uchwyty uniwersalne, specjalne oraz modułowe, czyli składane [4,5,11].

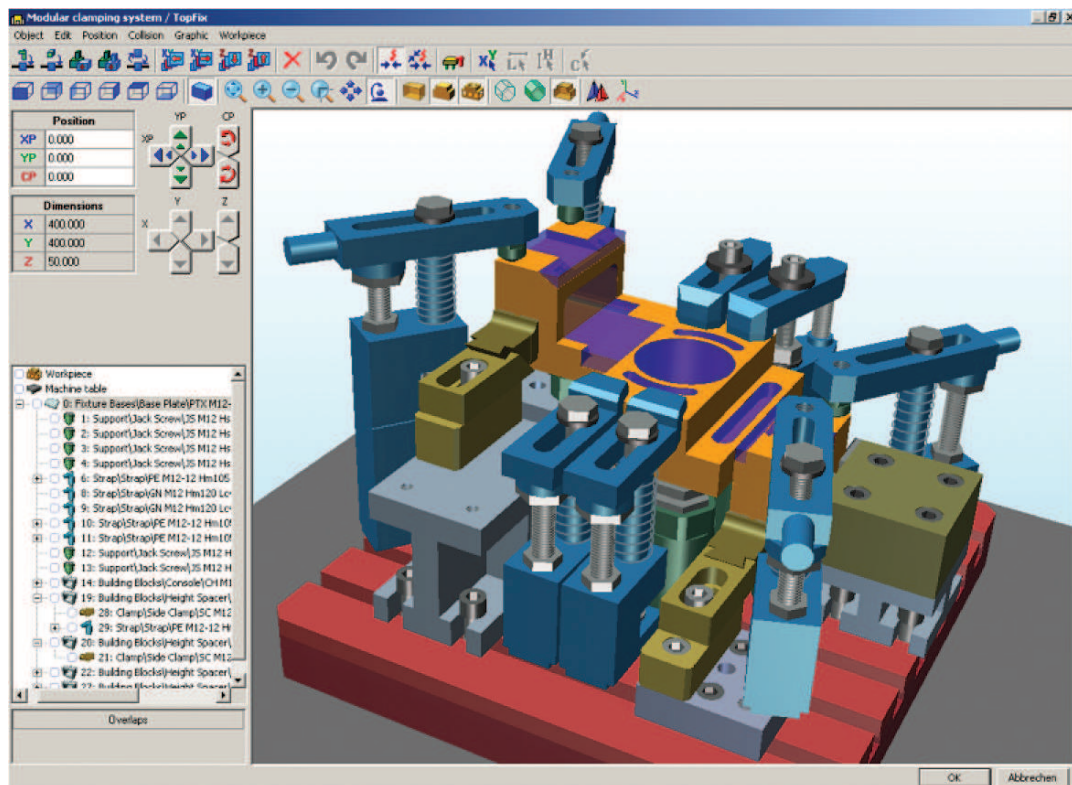
Uchwyty modułowe powstały w wyniku praktycznego zapotrzebowania na skrócenie czasu projektowania i wykonania oprzyrządowania. Historycznie, często działały wypożyczalnie tego typu uchwytów, zaś obecnie zakupić można niezależnie dowolne zestawy elementów, które proponuje na rynku stosunkowo duża liczba specjalistycznych firm, np. [7-10]. Przykład projektu uchwytu modułowego wykonanego w programie TopFix firmy MTS pokazano na rys. 1. Elementy, z których przeprowadzono konfigurację oprzyrządowania modułowego to głównie: podstawy – płyty i kolumny, elementy ustalające, mocujące i złączne.

W projektowaniu uchwytów specjalnych można posłużyć się odpowiednimi wytycznymi normatywnymi (elementy znormalizowane), elementami handlowymi (produkowanymi seryjnie lub masowo), ale czas projektowania jest dłuższy niż w przypadku uchwytu składanego. O kosztach oprzyrządowania przypadających na jednostkę produkowanego wyrobu decyduje już wielkość serii, czy możliwości obrabiarki. W przypadku obrabiarek CNC udział oprzyrządowania specjalnego gwałtownie uległ zmniejszeniu na korzyść uchwytów uniwersalnych

i składanych [1-3]. Poniżej zamieszczono studium przypadku, obejmującego porównanie oprzyrządowania specjalnego i modułowego dla operacji obróbki otworów w wybranej części klasy dźwignia.

Konstrukcja uchwytów

Instrukcję dla operacji wykonania trzech otworów w dźwigni z żeliwa sferoidalnego EN-GJS-400-15 przedstawiono na rys. 2 [6]. Operacja wykonywana jest na centrum obróbkowym Hartford LG 1000 (wymiary stołu roboczego 510×1150 mm). Poprzedza ją frezowanie powierzchni czołowych dźwigni, zaś następną operacją jest wykonanie wielowypustu w największym otworze. Koncepcja uchwytu specjalnego widoczna jest na rys. 3., a wykonano ją w programie Autodesk Inventor. Elementem mocującym jest pryzma, dociskająca przedmiot obrabiany do ustawionych bocznie kołków oporowych. Dźwignia oparta jest na trzech kołkach podporowych stałych, włożonych w podstawę uchwytu. Rozstawienie kołków ustalających umożliwia obróbkę przedmiotu w uchwycie w dwóch zamocowaniach. Wymiary gabarytowe oprzyrządowania to ok. 70×210×250 mm. Do wykonania uchwytu specjalnego niezbędne są półfabrykaty ze stali S235: blacha o grubości 25 mm (koszt netto 2,2 zł/kg), pręty walcowane o średnicy 12 (5 zł/kg) i 25 mm (4 zł/kg). Jako godzinowe koszty stanowiskowe przyjęto: 184 zł dla operacji cięcia wodą, 199 zł dla frezowania, wiercenia i gwintowania, 56 zł dla toczenia, 35 zł w przypadku szlifowania i 51 zł dla zabiegów montażowych. Biorąc pod uwagę masę oraz szacowane czasy wykonania poszczególnych elementów można wyznaczyć koszt sumaryczny uchwytu specjalnego (tab. 1).



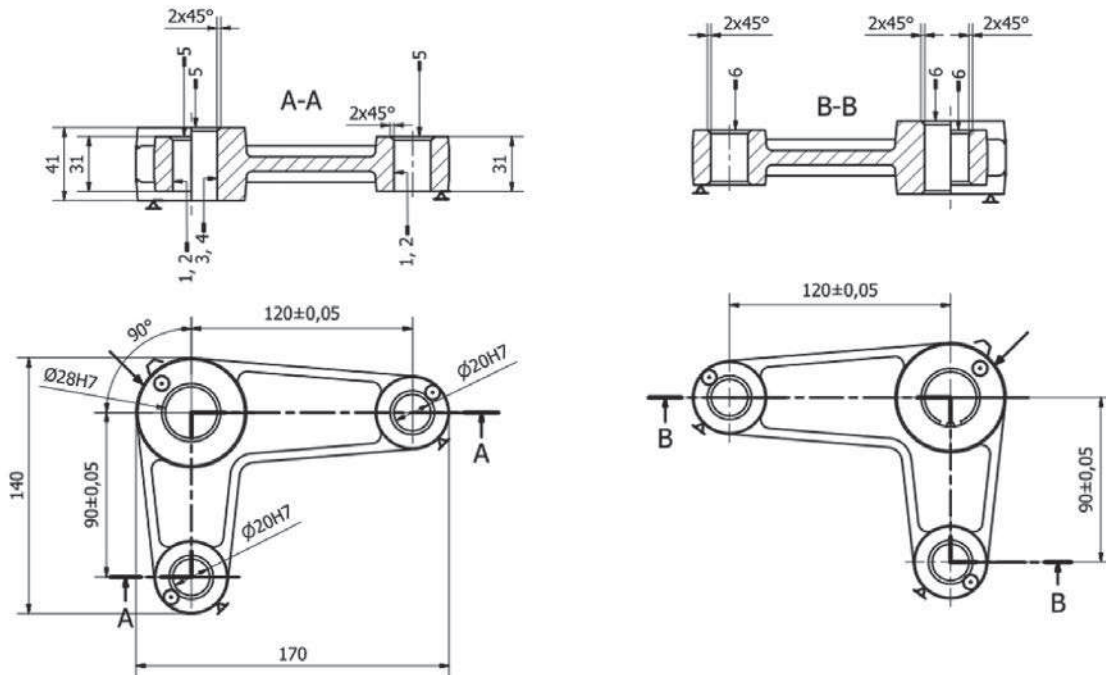
Rys. 1. Przykładowe okno programu TopFix firmy MTS [12]
 Fig. 1. Model window of the TopFix program of the MTS company [12]

Opis operacji (zamocowanie 1):

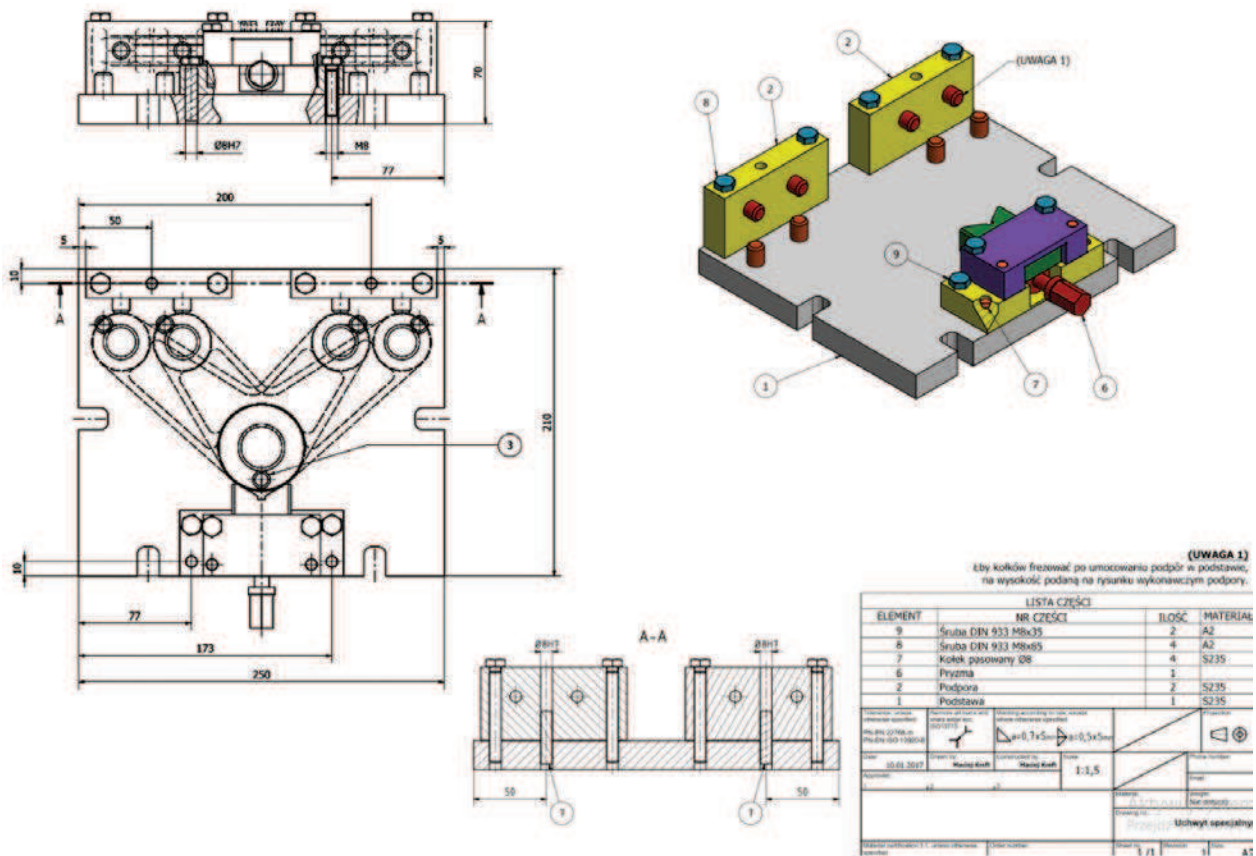
1. Wiercić 2 otwory $\varnothing 19,5$ przelotowo.
2. Rozwiercać wykańczając 2 otwory $\varnothing 20H7$.
3. Wiercić otwór $\varnothing 27$ przelotowo.
4. Rozwiercać wykańczając otwór $\varnothing 28H7$.
5. Pogłębiać 3 otwory stożkowo 90° na głębokość 2.

Opis operacji (zamocowanie 2):

6. Pogłębiać 3 otwory stożkowo 90° na głębokość 2.



Rys. 2. Instrukcja operacji wykonywania otworów w dwóch zamocowaniach
 Fig. 2. Instruction of the operation of carrying holes out in two fastenings



Rys. 3. Rysunek złożeniowy uchwytu specjalnego
 Fig. 3. Compound picture of the special handle

Tabela 1. Czasy wykonania i koszty elementów uchwytu specjalnego
 Table 1. Execution times and costs of elements of the special handle

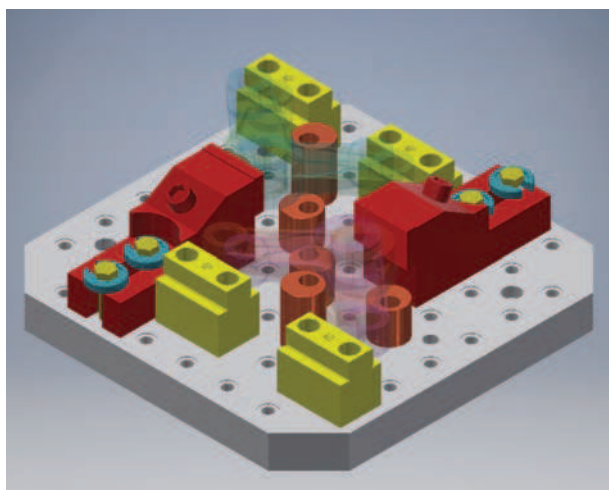
Element	Liczba elementów	Czas wykonania [min]	Koszt wykonania [zł]	Koszt całkowity materiału [zł]
Podstawa	1	82,96	158,84	22,66
Podpora	2	83,20	150,44	4,76
Kolek oporowy	9	81,00	75,60	1,35
Kolek oporowy	6	46,80	42,54	1,20
Pryzma	1	178,27	267,87	6,13
Złożenie uchwytu i obróbka w montażu	1	203,32	232,70	
Suma		675,55	964,09	36,10

W przypadku uchwytu modułowego wykorzystano elementy firmy Kipp i Halder [9,10]. Części składowe uchwytu (rys. 4) zamocowane są do podstawy o wymiarach 393×393 mm (przy 8 rzędach otworów mocujących). Zastosowano tu 4 listwy pozycjonujące, 4 elementy podporowe mimośrodowe H40 i 2 elementy podporowe H63, 2 dociski boczne, 4 podkładki specjalne, 6 śrub

pasowanych A (G=57) oraz 8 śrub typu A (G=77) i 4 śruby M12×80 A2 (DIN933). Ceny zakupu elementów podano w tab. 2. Analizując czas składania uchwytu, który wynosi 45 min, wyznaczono koszt netto jego montażu w wysokości 38,25 zł. Sumaryczny koszt zastosowania uchwytu modułowego w analizowanej operacji wynosi 11 628,29 zł.

Tabela 2. Koszt elementów uchwytu modułowego
Table 2. Cost of elements of the modular handle

Element	Koszt jednostkowy [zł]	Liczba elementów	Koszt kompletu [zł]
Podstawa	6783,80	1	6783,80
Listwa pozycjonująca	500	4	2000,00
Element podporowy mimośrodowy H40	99,16	4	396,64
Element podporowy mimośrodowy H63	108,53	2	217,06
Docisk boczny	879,01	2	1758,02
Podkładka specjalna	29,07	4	116,28
Śruba pasowana A (G=57)	21,71	6	130,26
Śruba pasowana A (G=77)	22,76	8	182,08
Śruba DIN 933 (M12x80 A2)	1,50	4	6,00
Suma [zł]		11 590,14	



Rys. 4. Rysunek koncepcyjny uchwytu modułowego
Fig. 4. Conceptual picture of the modular handle

Tabela 3. Składniki czasów mocowania obrabianej dźwigni
Table 3. Elements of times of fixing the worked lever

Czynność	Uchwyt specjalny [s]	Uchwyt modułowy [s]
Ułożenie na elementach podporowych	10	38
Zamocowanie	12	40
Wyjęcie z uchwytu	7	14
Łącznie	29	92

W tab. 3 wyróżniono wartości jednostkowych czasów mocowania obrabianej dźwigni w zaprojektowanym uchwycie specjalnym i modułowym. Dłuższy czas mocowania w uchwycie modułowym wynika nie tylko z zastosowania odmiennych zespołów mocujących, lecz przede wszystkim z faktu jednoczesnego umieszczenia w nim

dwóch obrabianych dźwigni (możliwość obróbki otworów z dwóch stron). Biorąc to pod uwagę, łączne czasy zamocowania, przykładowo przy 300 obrabianych elementach, wynoszą odpowiednio: dla uchwytu specjalnego 290 min, a dla uchwytu modułowego 460 min.

Podsumowanie

W praktyce przemysłowej koszty zaprojektowania i wykonania uchwytu specjalnego określane są zwykle w sposób bardzo przybliżony. Można oczywiście, jeśli w danej narzędziowni wytworzonych zostało dotychczas dostatecznie dużo egzemplarzy oprzyrządowania, bazować na danych z przeszłości, czyli zanotowanych kosztach materiałowych i łącznych czasach wykonania uchwytów. Wymaga to jednak wprowadzenia systematyki wewnętrznej w firmie, gdyż koszty te przede wszystkim zależą od ilości części z których zbudowany był uchwyt i od wymiarów gabarytowych. Wyznaczone w artykule wartości dotyczące czasów wykonania elementów i poszczególnych kosztów mogą stanowić pewną pomoc w przypadku braku własnego doświadczenia w wytwarzaniu uchwytów specjalnych.

Analizując koszty uchwytu składanego, należy mieć na uwadze, iż poszczególne jego elementy składowe będą mogły być wykorzystane wielokrotnie oraz to, że największy udział w koszcie ogólnym ma podstawa oprzyrządowania (płytowa lub kolumnowa). Dochodzą do tego koszty magazynowania w zakładzie. Ważnym jest, aby planując zakup elementów mieć na uwadze udział w danej firmie produkcji elastycznej części podobnych oraz o zbliżonych wymiarach gabarytowych. Permanentnie zwiększająca się oferta producentów wytwarzających zestawy modułowe oprzyrządowania znacznie ułatwia technologom podejmowanie decyzji o ich wykorzystaniu w praktyce warsztatowej, nie tylko w przypadku produkcji małoseryjnej.

LITERATURA

- [1] Barylski A. 2012. „Analiza jakości konstrukcji uchwytów”. *Zarządzanie i Finanse*, vol. 10, cz. 2, (3): 345–353.
- [2] Barylski A. 2006. „Analiza technologiczności konstrukcji uchwytów frezarskich”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, seria Mechanika* nr 227, z. 66, s. 3–13.
- [3] Barylski A. 2006. „Analiza technologiczności konstrukcji uchwytów obróbkowych”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (3): 39–42.
- [4] Dobrzański T. 1977. „Uchwyty obróbkowe. Poradnik konstruktora”. Warszawa: WNT.
- [5] Feld M. 2002. „Uchwyty obróbkowe”. Warszawa: WNT, Warszawa.
- [6] Kreft M. 2016. „Porównanie stosowalności uchwytów modułowych oraz specjalnych w operacjach obróbkowych”. Prowadzący pracę: A. Barylski, Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny.
- [7] Materiały informacyjno-techniczne firmy AMf.
- [8] Materiały informacyjno-techniczne firmy Carr Lane.
- [9] Materiały informacyjno-techniczne firmy Halder. Katalog N5, www.halder.com.pl.
- [10] Materiały informacyjno-techniczne firmy Kipp. Katalog systemów mocowania przedmiotów obrabianych, www.kipp.pl.
- [11] Sobolewski J., S. Karpiński. 2012. „Techniki wytwarzania. Projektowanie oprzyrządowania”. Politechnika Warszawska.
- [12] www.mts-cnc.com/TopFix_eng.htm, dostęp 30.12.2016.

prof. dr hab. inż. Adam Barylski, prof. zw. PG – Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, e-mail: abarylsk@pg.gda.pl

ZASTOSOWANIE KLEJENIA W BUDOWIE AUTOBUSÓW

The bonding technology application in busses construction

Dariusz KASPEREK, Anna RUDAWSKA

Streszczenie: Połączenia klejowe są jednym z rodzajów połączeń montażowych stosowanych podczas procesu montażu autobusów, oprócz połączeń spawanych, nitowanych oraz śrubowych. W niniejszym opracowaniu przedstawiono zagadnienia dotyczące zastosowania technologii klejenia w budowie autobusów. Wskazano na rodzaje materiałów łączonych za pomocą klejenia, nie tylko połączeń takich samych materiałów, ale także różnoimiennych. Zastosowanie klejenia dotyczy zarówno łączenia różnych elementów wyposażenia autobusów (elementów wewnętrznych), jak i wielu elementów konstrukcyjnych, będących podstawowymi elementami konstrukcji autobusu. Istotnym aspektem procesu klejenia jest rodzaj klejów i innych materiałów adhezyjnych wykorzystywanych w budowie autobusów, gdyż w zależności od wymagań, właściwości, rodzaju łączonych materiałów i innych czynników, stosowane są kleje o określonych właściwościach. W pracy przedstawiono przykładowe wykorzystanie klejenia w budowie autobusów, rodzaje łączonych materiałów oraz rodzaje i pożądane właściwości materiałów adhezyjnych.

Słowa kluczowe: technologia klejenia, połączenie klejowe, klej, autobus

Abstract: Adhesive joints are one of the types of joints used during the assembly process of assembling buses, in addition to welded, riveted and bolted joints. This paper presents issues concerning the application of adhesive technology in the construction of buses. The types of joining materials not only the same materials, but also dissimilar were indicated. The use of bonding applies not only to joining the different elements of equipment buses (internal components), but also a number of structural elements, which are essential elements of the construction of the bus. An important aspect of the bonding process is the type of adhesive and other adhesive materials. Depending on the requirements, performance, type of adherends, and other factors the various types of adhesives were used. The paper presents an example of the use of bonding in the buses construction, the types of adherends and the type and recommended properties of adhesive materials.

Keywords: bonding technology, adhesive joint, adhesive, bus

Wprowadzenie

Technologia klejenia znajduje zastosowanie w różnych branżach przemysłu, takich jak: lotnictwo, budownictwo, przemysł maszynowy oraz samochodowy [1, 4]. Głównymi zaletami procesu klejenia jest w wielu przypadkach wysoka wytrzymałość połączeń klejowych, mała masa klejonych konstrukcji, brak korozji elektrochemicznej, a także niewielki koszt jednostkowy wytworzenia połączenia [7]. Ten sposób łączenia pozwala również na wyeliminowanie z konstrukcji wielu drobnych części, takich jak: nity lub śruby, co z kolei pozwala na obniżenie kosztów produkcji. Wykorzystanie kleju niesie także ze sobą względy estetyczne, gdyż podczas wykonywania spoin klejowych nie tworzą się np. szwy obniżające estetykę wyrobu [2, 5].

Dzięki szerokiemu rozwojowi wiedzy w zakresie stosowania klejów do łączenia tworzyw polimerowych, rozwinął się także sam zakres ich stosowania [1, 3, 4]. Technika łączenia, jaką jest klejenie, pozwala na wytwarzanie obwodów drukowanych z folii metalowej i podłoża z tworzywa polimerowego, laminowanie papieru i drewna tworzywami polimerowymi, łączenie bardzo małych elementów, a także budowę odpornych na korozję wykładzin zbiorników z drewna, betonu lub metali. Istotnym aspektem stosowania klejenia jest łączenie elementów o dużych rozmiarach, zwłaszcza w konstrukcjach wielkogabarytowych, gdyż często pewne elementy

konstrukcji można przyłączyć jedynie tą metodą. Jest ona też niezawodna przy wykonywaniu elementów od których wymagana jest szczelność, takich jak zbiorniki na ciecze lub gazy [4]. Ważną zaletą klejenia jest też to, że podczas wykonywania połączeń klejowych, w wielu przypadkach nie następuje ingerencja w strukturę powierzchni łączonych materiałów.

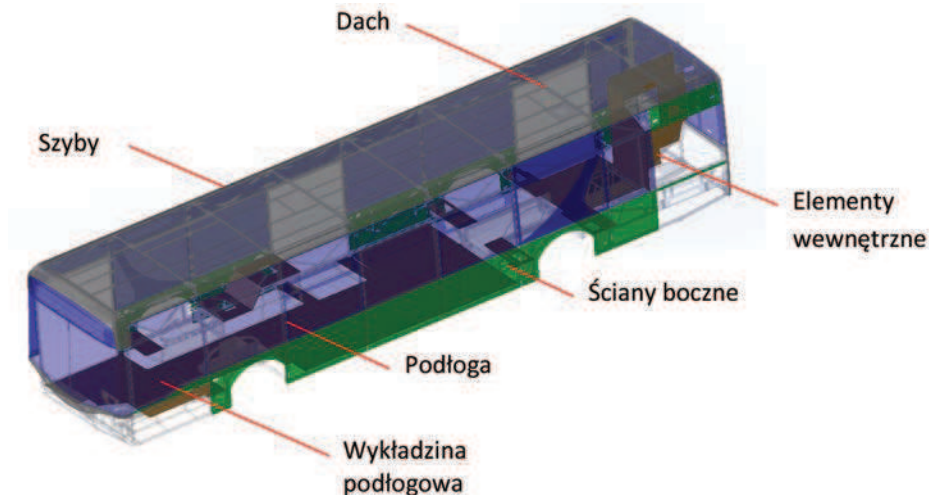
Interesującym zagadnieniem jest wykorzystanie technologii klejenia w motoryzacji [2, 6, 9], w tym podczas produkcji autobusów [2]. Połączenia klejowe są jednym z rodzajów połączeń montażowych stosowanych podczas produkcji autobusów, oprócz połączeń spawanych, nitowanych oraz śrubowych. Klejenie i uszczelnianie w samochodzie jest podstawową metodą, bez której niemożliwe byłoby wykonanie wielu elementów. Technologia ta stosowana jest do łączenia elementów poszycia nadwozia, do klejenia elementów z tworzyw polimerowych i materiałów metalowych, a także do wklejania szyb samochodowych [2, 9]. Klejenie jest także stosowane przy montażu i naprawach silników, skrzyń biegów i układów zawieszenia. Proces ten jest ściśle związany z uszczelnianiem, bowiem każdy klej może pełnić również rolę uszczelniacza [1, 4].

W niniejszej pracy przedstawiono wybrane zagadnienia, dotyczące zastosowania technologii klejenia w budowie autobusów, wskazując na zastosowanie klejów do łączenia różnych elementów konstrukcyjnych oraz ich właściwości, rodzaje połączeń, a także na rodzaje łączonych materiałów.

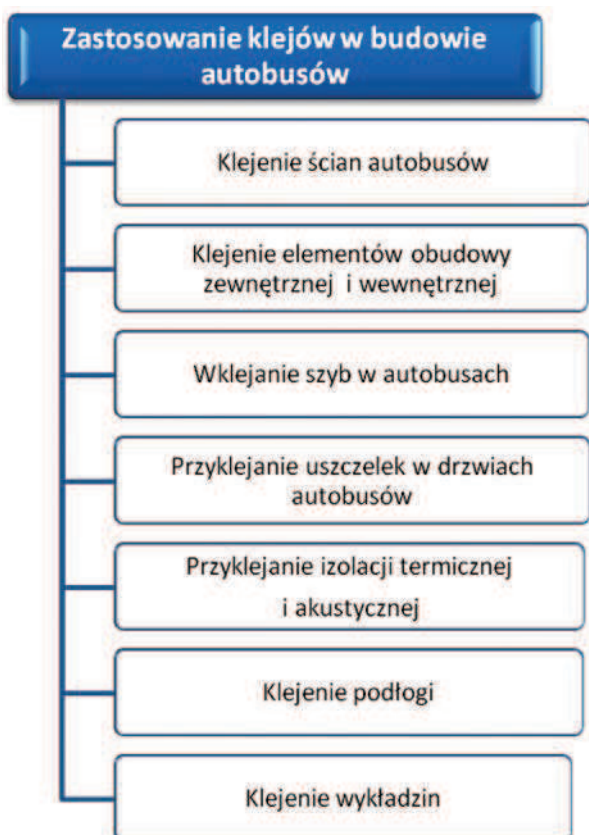
Połączenia klejowe wykorzystywane w produkcji autobusów

W produkcji autobusów stosowane są połączenia klejowe różnych zespołów montażowych oraz na wielu etapach ich wykonania (rys. 1-3).

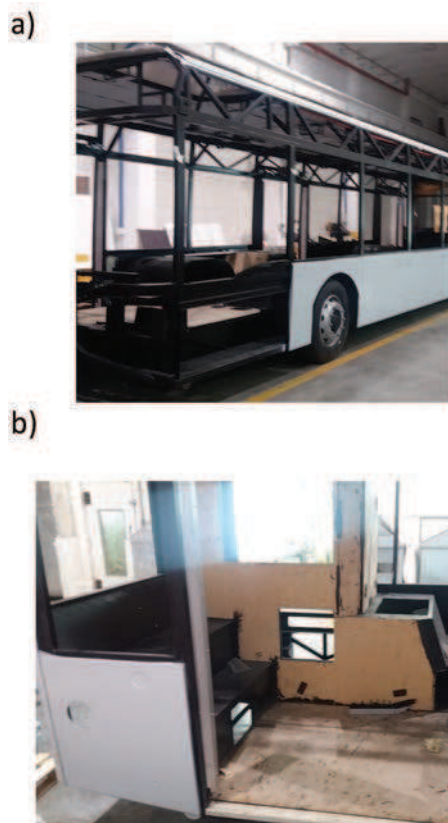
Zastosowanie klejenia dotyczy nie tylko łączenia różnych elementów wyposażenia autobusów (elementów zabudowy wewnętrznej oraz elementów wykończeniowych), ale także wielu elementów konstrukcyjnych, będących podstawowymi elementami budowy autobusu (elementy zabudowy zewnętrznej).



Rys. 1. Schemat klejonych elementów w autobusie
Fig. 1. Scheme bonding elements in the bus



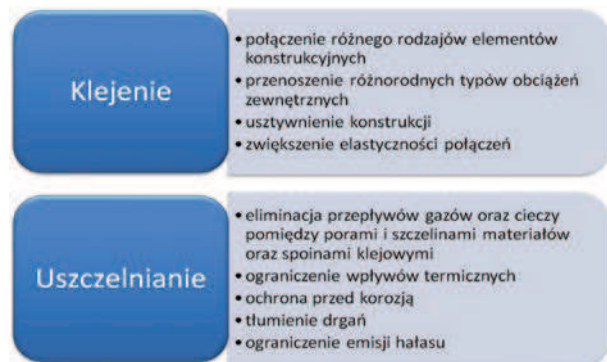
Rys. 2. Zastosowanie klejów w budowie autobusu
Fig. 2. Adhesives applications in bus construction



Rys. 3. Przykłady klejonych elementów w budowie autobusu:
a) ściany boczne, b) elementy zabudowy wewnętrznej
Fig. 3. Bonding elements examples in bus construction: a) side wall, b) interior fittings

Funkcje połączeń klejowych

W przypadku produkcji autobusów połączenia klejowe spełniają funkcję uszczelniającą, tłumiącą drgania oraz zwiększającą sztywność wykonywanego fragmentu lub całej konstrukcji (rys. 4).



Rys. 4. Podstawowe funkcje klejów w budowie autobusów
Fig. 4. Basic functions of adhesives in the buses construction

Klejenie zapewnia łączenie zarówno materiałów jednorodnych, jak i różnorodnych o odmiennych właściwościach. Jest to jedna z nielicznych metod, dzięki której możliwe jest połączenie różnych materiałów konstrukcyjnych bez ingerencji w strukturę materiału i wprowadzania naprężeń. Celem uszczelnienia jest minimalizacja przepływów gazów oraz cieczy pomiędzy porami i szczelinami materiałów, a także ograniczenie wpływów termicznych. Ponadto kleje posiadają właściwości tłumiące oraz redukujące drgania, przyczyniając się w ten sposób do zmniejszenia emisji hałasu.

Funkcja wzmacniająca klejów przejawia się w zwiększeniu obciążeń statycznych i dynamicznych przenoszonych przez połączenia. Zastosowanie klejów i uszczelniaczy zapewnia odpowiednią ochronę przed wpływem zróżnicowanych warunków atmosferycznych, działaniem środków chemicznych, różnego rodzaju zanieczyszczeń (w tym gazów i cieczy), a także ognia [3, 4].

Rodzaje materiałów łączonych

W budowie autobusów technologia klejenia wykorzystywana jest do łączenia różnego rodzaju materiałów konstrukcyjnych (rys. 5), z których wykonane są poszczególne elementy autobusu.

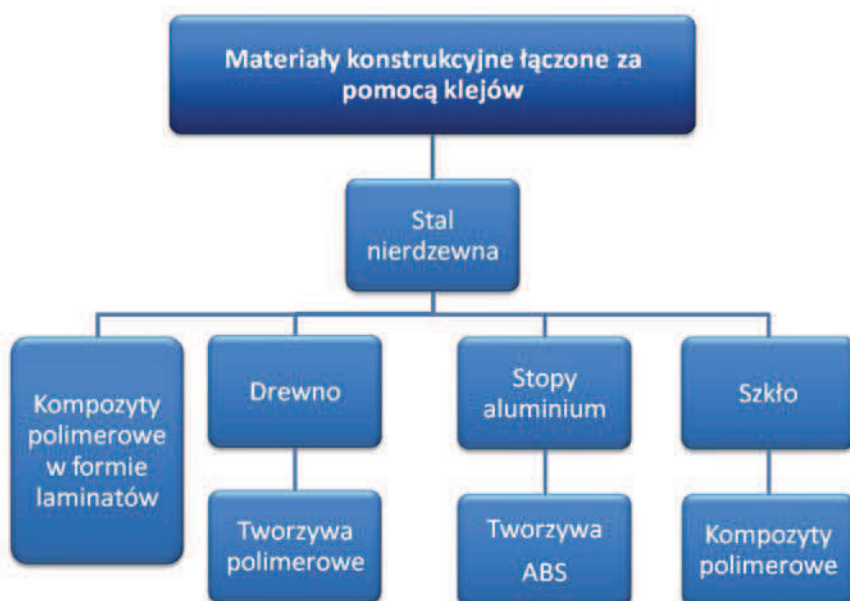
Podstawowym elementem budowy autobusu jest szkielet wykonany ze stali nierdzewnej, do którego przyłączane są inne elementy konstrukcyjne wykonane z:

- kompozytów polimerowych w postaci laminatu (dach autobusu, ściany boczne),
- drewna w postaci impregnowanej sklejki (podłoga),
- stopów aluminium w formie blach (ściany boczne),
- tworzyw polimerowych w różnej postaci (w tym wykładzin),
- szkła (szyby przednie, tylne, boczne, lusterka),
- inne.

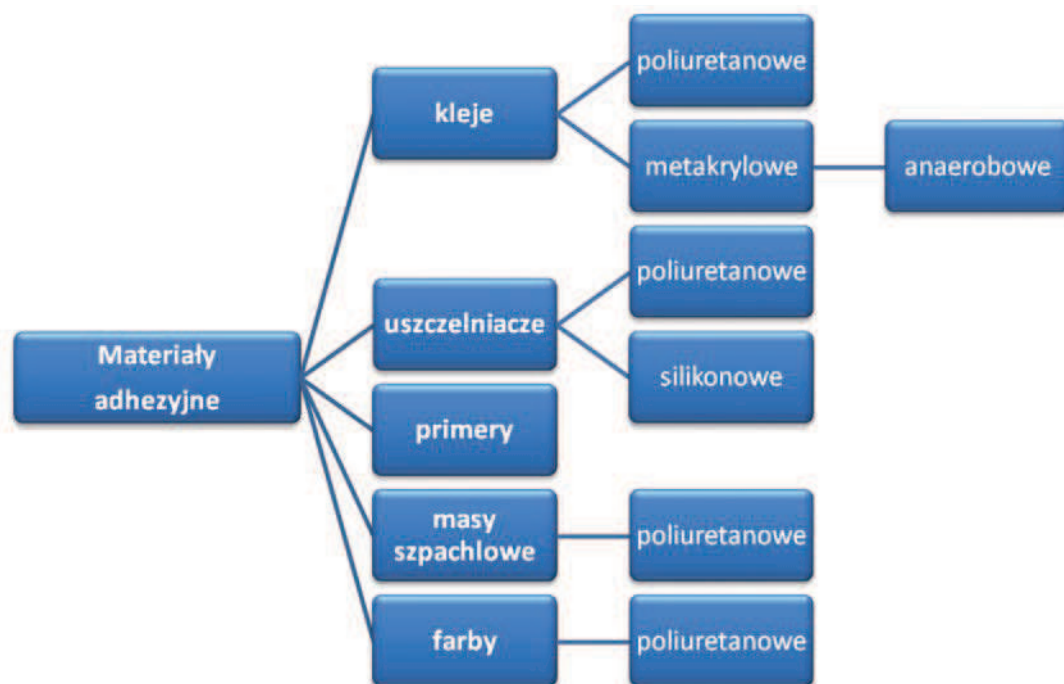
Wymienione elementy łączone są za pomocą odpowiednich klejów (najczęściej poliuretanowych), które spełniają także rolę uszczelniającą.

Rodzaje i właściwości stosowanych klejów oraz innych materiałów adhezyjnych

Wśród materiałów adhezyjnych stosowanych w budowie autobusu wymienia się m.in. (rys. 6):



Rys. 5. Materiały konstrukcyjne łączone za pomocą klejów
Fig. 5. Structural materials bonded by adhesives



Rys. 6. Materiały adhezyjne stosowane w budowie autobusu
Fig. 6. Adhesives materials used in the bus construction

- kleje poliuretanowe oraz metakrylowe (anaerobowe),
- uszczelniacze silikonowe i poliuretanowe,
- primery (aktywatory) oparte na bazie tytanianów, poliuretanów oraz żywic epoksydowych,
- masy szpachlowe,
- farby.

Każdy z wymienionych rodzajów materiałów charakteryzuje się pewnymi właściwościami, dostosowanymi do określonych wymagań.

Kleje poliuretanowe są to najczęściej jednoskładnikowe elastyczne kleje konstrukcyjne, a ich mechanizm utwardzania polega na wchłanianiu cząsteczek wody z powietrza [1, 4]. Czas utwardzania jest zależny od temperatury i wilgotności. W niskiej temperaturze zawartość wody w powietrzu jest niższa, wobec czego proces utwardzania przebiega wolniej. Kleje poliuretanowe są odporne na promieniowanie UV oraz pozostałe warunki atmosferyczne, na wodę słodką i morską, rozcieńczone kwasy i zasady, detergenty, środki myjące i czyszczące. Nie są odporne na kwasy organiczne i alkohole, stężone zasady i kwasy mineralne oraz rozpuszczalniki. Kleje poliuretanowe wykorzystuje się bardzo często do wklejania szyb w autobusach, a także do fugowania oraz wypełniania różnego rodzaju ubytków [2]. Stosuje się je do wykonywania połączeń konstrukcyjnych narażonych na wysokie obciążenia dynamiczne. Klejami poliuretanowymi można łączyć różnorodne materiały, takie jak: drewno, metale oraz metale pokryte różnymi powłokami (w tym lakierniczymi), materiały ceramiczne i tworzywa polimerowe [3, 4].

Jednym z wymagań stawianych uszczelniaczom, stosowanym w budowie autobusów, jest odporność na działanie promieniowania UV. Do takich rodzajów

materiałów zaliczane są uszczelniacze, w których bazą chemiczną są poliuretany. Podobnie, jak kleje poliuretanowe, utwardzają się pod wpływem wilgoci z otoczenia. Ważnymi parametrami technologicznymi są: postać, lepkość, a także tzw. czas przydatności, ponieważ to one w istotny sposób decydują o technologii nakładania uszczelniacza. Ponadto podczas aplikacji uszczelniacza zaleca się zwrócenie szczególnej uwagi na to, aby nie zostały uwięzione pod masą uszczelniacza pęcherzyki powietrza, które negatywnie wpływają na proces uszczelniania. W czasie nakładania uszczelniaczy poliuretanowych temperatura uszczelnianych elementów i masy uszczelniającej powinna znajdować się w granicach od +15 do +25°C, a także nie zaleca się nakładania masy w temperaturze otoczenia poniżej 10°C i powyżej 35°C. Wśród zalet uszczelniaczy poliuretanowych wymienia się, m.in.: dużą odporność na warunki atmosferyczne i promieniowanie UV, dobrą przyczepność do wielu różnych powierzchni, a ponadto zaletą jest to, że są one jednoskładnikowe (niewymagające mieszania), wysoce elastyczne oraz bezrozpuszczalnikowe.

Primery są materiałami aktywującymi powierzchnie oraz zwiększającymi adhezję kleju lub uszczelniacza do powierzchni łączonych elementów [4, 8]. Przed ich aplikacją zaleca się, aby podłoże (na które będzie nakładany klej lub uszczelniacz) były odpowiednio oczyszczone i przygotowane (np. za pomocą obróbki mechanicznej). W zależności zarówno od rodzaju materiału (podłoża), jak i jego struktury zaleca się stosowanie primerów o różnej bazie chemicznej. Ważnym parametrem technologicznym jest czas schnięcia, który uzależniony jest od temperatury otoczenia.

Podsumowanie

W budowie autobusów, ze względu na liczne zalety, w wielu obszarach wykorzystywana jest technologia klejenia. Połączenia klejowe spełniają funkcję łączącą, w efekcie czego powstaje element konstrukcyjny przenoszący obciążenia, funkcję uszczelniającą (zapewniającą ochronę przed działaniem czynników atmosferycznych, gazów oraz płynów), funkcję tłumiącą hałas i wibracje oraz wiele innych. W tym obszarze motoryzacji główną rolę spełniają materiały poliuretanowe (łączenie i uszczelnianie), metakrylanowe, w tym anaerobowe (łączenie oraz uszczelnianie np. gwintów) oraz silikonowe (uszczelnianie). Wymienione materiały adhezyjne umożliwiają łączenie i uszczelnianie różnorodnych materiałów konstrukcyjnych często w różnorodnych konfiguracjach (np. stal-szkło, stal-kompozyt). Jednym z podstawowych wymagań stawianym klejom i uszczelniaczom jest elastyczność oraz odporność na warunki atmosferyczne, a przede wszystkim odporność na działanie promieniowania UV. Z tego powodu kleje i uszczelniacze oparte na poliuretanach stanowią podstawowy rodzaj materiałów adhezyjnych wykorzystywanych w budowie autobusów.

LITERATURA

[1] Brockmann W. et. Al. 2009. "Adhesive bonding". Materials, Applications and Technology. Weinheim, Wiley-Vch Press, Germany.

- [2] Bugaj T. 2008. „Wybrane aspekty technologii klejenia w produkcji autobusów”. *Przegląd Spawalnictwa* (8): 44–45.
- [3] Czaplicki J. i in. 1987. „Klejenie tworzyw konstrukcyjnych”. Warszawa: WKiŁ.
- [4] Godzimirski J. i in. 1997. „Konstrukcyjne połączenia klejowe elementów metalowych w budowie maszyn”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- [5] Godzimirski J. 2002. „Wytrzymałość doraźna konstrukcyjnych połączeń klejowych”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- [6] Grant L.D.R. et. al. 2009. “Effect of the temperature on the strength of adhesively bonded single lap and T joints for the automotive industry”. *International Journal of Adhesion and Adhesives* (29): 535–524.
- [7] Kuczmaszewski J. 1995. „Podstawy konstrukcyjne i technologiczne oceny wytrzymałości adhezyjnych połączeń metal”. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej.
- [8] Rzymiski W. M., M. Włóka, T. Grzeźółkowska-Rosiak. 2005. „Łączenie elastomerów z metalami”. *Polimery* (50): 530–536.
- [9] Wielgołaski W. „Kleje w mechanice”, <http://motofocus.pl/technika/1852/kleje-w-mechanice>, dostęp 21.02.2017.

mgr inż. Dariusz Kasperek – URSUS BUS S.A, ul. Frezerów 7a, 20-209 Lublin, wykładowca na Politechnice Lubelskiej, e-mail: dariusz.kasperek@ursus.com

dr hab. inż. Anna Rudawska, prof. PL – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: a.rudawska@pollub.pl

ANALIZA ŚCIEŻKI NARZĘDZIA W OPERACJI MONTAŻU Z ZASTOSOWANIEM PROGRAMU ROBOT-STUDIO

Analysis of the tool path in assembly using RobotStudio program

Marcin WIŚNIEWSKI, Katarzyna PETA, Arkadiusz PIETROWIAK,

Olaf CISZAK, Kamil GROCHALSKI

Streszczenie: W artykule zaprezentowano możliwości środowiska RobotStudio firmy ABB oraz przedstawiono budowę dydaktycznego zrobotyzowanego stanowiska do montażu reduktora wraz z jego modelem wirtualnym, wspierającym programowanie. Przedstawiono trajektorię ruchu narzędzia i poddano ją analizie w module Signal Analyzer. Dzięki temu możliwa jest optymalizacja ścieżki narzędzia w procesie przemysłowym.

Słowa kluczowe: procesy przemysłowe, roboty przemysłowe, RobotStudio, Signal Analyzer

Abstract: The article presents the possibilities of the RobotStudio environment by ABB company and presents the construction of the didactic robotic workstation for the reducer assembly together with its virtual model that supports programming. The trajectory of the tool movement is presented and analyzed in the Signal Analyzer module. That makes it possible to optimize the tool path in the industrial process.

Key words: industrial processes, industrial robots, RobotStudio, Signal Analyzer

Wprowadzenie

Współcześnie od gotowego wyrobu oczekuje się najwyższej jakości, szczególnie w przypadku wyrobów oferowanych przez przemysł motoryzacyjny, elektroniczny i metalowy [8]. W celu sprostania wymaganiom rynku coraz powszechniej stosuje się roboty przemysłowe, które stają się w ten sposób jednym z ważniejszych ogniw procesu produkcyjnego, gwarantujących zarówno jego właściwy przebieg, jak i prawidłowe działanie gotowego wyrobu.

Zrobotyzowany proces montażu ma bezpośredni i znaczący wpływ na parametry jakościowe wyrobu, tj.: niezawodność (zdolność do pracy bezusterkowej), trwałość (okres zachowania cech użytkowych) i bezpieczeństwo użytkownika [4]. Cechami charakteryzującymi pracę robota przemysłowego (element zrobotyzowanego stanowiska montażowego) jest dokładność (AP) [9] i powtarzalność (RP) [5] pozycjonowania. Do dalszych rozważań przyjęto ich stałe, niezmiennie wartości – założenie to umożliwi analizę przebiegu danej operacji montażu pod względem stałych podczas ruchu parametrów pracy robota, np. prędkości, położenia punktów lub sygnałów I/O.

Budowa dydaktycznego zrobotyzowanego stanowiska montażowego

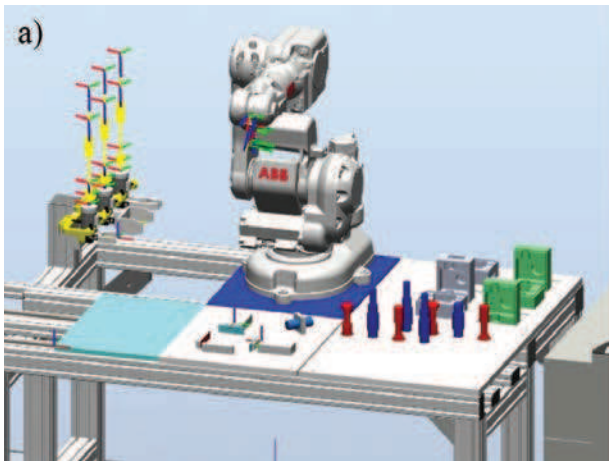
Głównym elementem dydaktycznego stanowiska zrobotyzowanego jest robot IRB140T firmy ABB programowany za pomocą kontrolera IRC5. Obecne stanowisko

zrobotyzowane (rys. 1b) zamodelowano w programie RobotStudio 6.03 (rys. 1a) – takie rozwiązanie pozwoliło na programowanie robota, testowanie i symulowanie jego pracy, a po pozytywnej weryfikacji uruchomienie programu na rzeczywistym obiekcie.

Praca w środowisku wirtualnym umożliwia zaprogramowanie poszczególnych pozycji robota, wynikających z przebiegu procesu technologicznego, a w przypadku nieprawidłowego jego działania, np. kolizji, szybką korektę w celu uniknięcia dodatkowych strat i kosztów na stanowisku produkcyjnym. Na przedstawionym stanowisku zrobotyzowanym możliwe jest przeprowadzenie symulacji procesu montażu reduktora składającego się korpusu dolnego, górnego i dwóch wałków. Na rys. 2a przedstawiono przykładową zaprojektowaną ścieżkę narzędzia (chwytaka) dla operacji montażu reduktora, z kolei rys. 2b stanowi zdjęcie z jej realizacji na istniejącym stanowisku laboratoryjnym.

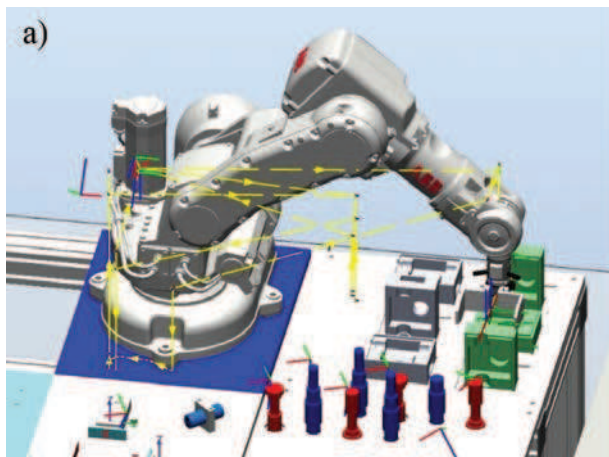
Zaprojektowana ścieżka narzędzia w środowisku wirtualnym może być następnie analizowana i optymalizowana. W omawianym przypadku optymalizacja [6] polegająca na skróceniu ścieżki narzędzia i zmniejszeniu czasu jej trwania, realizowana była za pomocą: zmiany położenia punktów tworzących trajektorię ruchu robota; zwiększenia prędkości ruchu; zmiany interpolacji ruchu oraz określenia parametru z [2] (*zonedata* – tzw. zaokrąglenia trajektorii, rys. 3).

Zmieniając prędkość ruchu i parametr z lub *fine* (określający sposób osiągnięcia punktu), uzyskano skrócenie czasu trwania operacji. Przykładowe zapisy programu wraz z graficznym przedstawieniem ścieżki



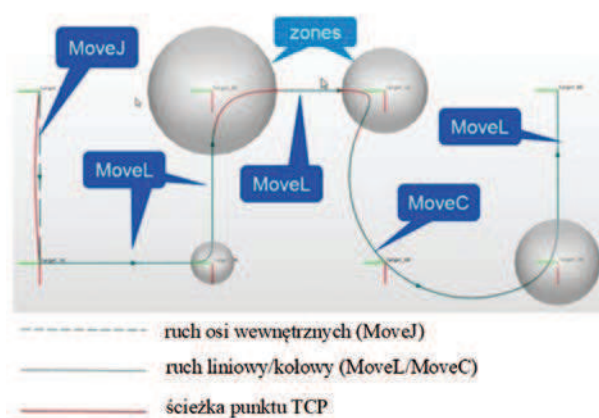
Rys. 1. Dydaktyczne stanowisko zrobotyzowane: a) zamodelowane w programie RobotStudio, b) istniejące stanowisko laboratoryjne [7]

Fig. 1. Didactic Robotized Position: a) Modified in RobotStudio, b) Existing laboratory post [7]



Rys. 2. Montaż reduktora: a) przykładowa zaprojektowana ścieżka narzędzia (chwytaka) operacji montażu reduktora, b) zdjęcie z realizacji zaprojektowanej ścieżki na stanowisku laboratoryjnym [7]

Fig. 2. Assembly of the reducer: a) Sample design of tool path (Gripper) of the reducer mounting operation, b) Photo of the projected path in the Laboratory station [7]



Rys. 3. Graficzne przedstawienie parametru z (zonedata – zaokrąglenie trajektorii) [2]

Fig. 3. Graphical representation of the parameter z (zonedata – rounding trajectory) [2]

narzędzia i wynikami symulacji ruchu przedstawiono w tab. I.

Porównując otrzymane wyniki, można zauważyć, że zmiana parametru $z80$ na $z200$ oraz ustawienie prędkości ruchu z $v1000$ na $vmax$ spowodowały skrócenie czasu montażu o 3 s. Według danych producenta prędkość, jaką może osiągnąć robot IRB140T, wynosi ok. 2,5 m/s. Można zatem przyjąć, że ustawienie prędkości $vmax$ znacząco skróci czas montażu. Wiadomo jednak, że na osiągnięcie zadanej prędkości ruchu duży wpływ ma orientacja narzędzia w punktach tworzących trajektorię ruchu. Układ sterowania ogranicza prędkość ruchu do takiej wartości, przy której jest w stanie osiągnąć zadane położenie, dlatego ważne jest prawidłowe ustawienie narzędzia w poszczególnych punktach trajektorii oraz dobór odpowiedniej prędkości ruchu. Może mieć to istotne znaczenie w przypadku operacji nakładania kleju, mas uszczelniających, lakierowania

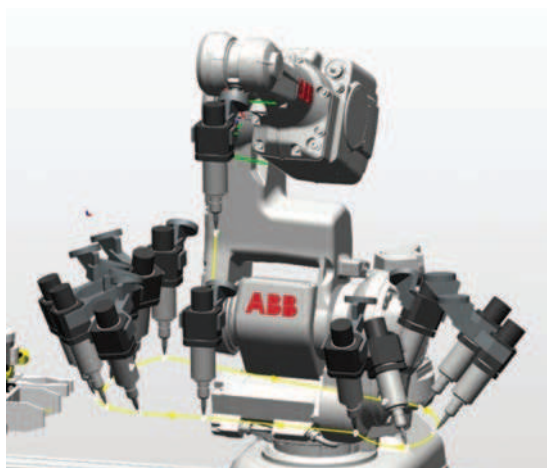
Tabela I. Zapis programu i wyniki symulacji
Tabela I. Program recording and simulation results

<i>v1000, fine</i>	<i>v1000, z80</i>	<i>vmax, z200</i>
<pre> PROC Path_20_f() zerowanie; CH2P; MoveJ home10,v1000,fine,tool0; MoveJ home30,v1000,fine,tool0; MoveL home40_2,v1000,fine,tool0; MoveL home40,v30,fine,tool0; Set DO10_15_przypnij_odepnij_CH2; CH_2_zamknij; MoveL home50,v30,fine,tool0; MoveJ home60,v1000,fine,tool0; MoveL home70,v500,fine,tool0; MoveL home80,v30,fine,tool0; CH_2_otworz; Reset DO10_15_przypnij_odepnij_CH2; MoveL home90,v1000,fine,tool0; Set DO14_1; Zamkniecie_imadla; MoveJ home10,v1000,z100,tool0; MoveJ home340,v1000,z50,tool0; MoveL home350,v1000,fine,tool0; MoveL home360,v30,fine,tool0; Set DO10_15_przypnij_odepnij_CH2; CH_2_zamknij; MoveL home370,v1000,fine,tool0; MoveJ home380,v1000,z20,tool0; MoveJ home390,v1000,z20,tool0; MoveJ home400,v1000,z10,tool0; MoveL home410,v1000,fine,tool0; MoveJ home420,v500,z10,tool0; MoveJ home440,v400,z10,tool0; MoveJ home450,v300,z10,tool0; MoveJ home460,v200,z10,tool0; MoveL home470,v100,fine,tool0; CH_2_otworz; Reset DO10_15_przypnij_odepnij_CH2; Set DO14_2; MoveL home480,v1000,fine,tool0; MoveJ home490,v1000,z20,tool0; MoveL home480,v1000,fine,tool0; Otwarcie_imadla; MoveL home510,v30,fine,tool0; CH_2_zamknij; Set DO14_3; MoveL home520,v500,fine,tool0; MoveL home530,v1000,z80,tool0; MoveJ home30,v1000,fine,tool0; MoveL home560,v1000,fine,tool0; MoveL home570,v30,fine,tool0; CH_2_otworz; Set DO14_4; MoveL home580,v1000,fine,tool0; MoveJ home10,v1000,fine,tool0; CH2O; MoveJ home10,v1000,fine,tool0; Set DO14_5; zerowanie; ENDPROC </pre>	<pre> PROC Path_20_z80() zerowanie; CH2P; MoveJ home10,v1000,z80,tool0; MoveJ home30,v1000,z80,tool0; MoveL home40_2,v1000,z80,tool0; MoveL home40,v30,fine,tool0; Set DO10_15_przypnij_odepnij_CH2; CH_2_zamknij; MoveL home50,v30,fine,tool0; MoveJ home60,v1000,z80,tool0; MoveL home70,v500,z80,tool0; MoveL home80,v30,fine,tool0; CH_2_otworz; Reset DO10_15_przypnij_odepnij_CH2; MoveL home90,v1000,z80,tool0; Set DO14_1; Zamkniecie_imadla; MoveJ home10,v1000,z100,tool0; MoveJ home340,v1000,z80,tool0; MoveL home350,v1000,z80,tool0; MoveL home360,v30,fine,tool0; Set DO10_15_przypnij_odepnij_CH2; CH_2_zamknij; MoveL home370,v1000,fine,tool0; MoveJ home380,v1000,z80,tool0; MoveJ home390,v1000,z80,tool0; MoveJ home400,v1000,z80,tool0; MoveL home410,v1000,z80,tool0; MoveJ home420,v500,z80,tool0; MoveJ home440,v400,z80,tool0; MoveJ home450,v300,z80,tool0; MoveJ home460,v200,z80,tool0; MoveL home470,v100,fine,tool0; CH_2_otworz; Reset DO10_15_przypnij_odepnij_CH2; Set DO14_2; MoveL home480,v1000,fine,tool0; MoveJ home490,v1000,z80,tool0; MoveL home480,v1000,fine,tool0; Otwarcie_imadla; MoveL home510,v30,fine,tool0; CH_2_zamknij; Set DO14_3; MoveL home520,v500,fine,tool0; MoveL home530,v1000,z80,tool0; MoveJ home30,v1000,z80,tool0; MoveL home560,v1000,z80,tool0; MoveL home570,v30,fine,tool0; CH_2_otworz; Set DO14_4; MoveL home580,v1000,fine,tool0; MoveJ home10,v1000,z80,tool0; CH2O; MoveJ home10,v1000,fine,tool0; Set DO14_5; zerowanie; ENDPROC </pre>	<pre> PROC Path_20_z200_vmax() zerowanie; CH2P; MoveJ home10,vmax,z200,tool0; MoveJ home30,vmax,z200,tool0; MoveJ home40_2,vmax,z200,tool0; MoveL home40,v30,fine,tool0; Set DO10_15_przypnij_odepnij_CH2; CH_2_zamknij; MoveL home50,v30,fine,tool0; MoveJ home60,vmax,z200,tool0; MoveL home70,vmax,z200,tool0; MoveL home80,v30,fine,tool0; CH_2_otworz; Reset DO10_15_przypnij_odepnij_CH2; MoveL home90,vmax,z200,tool0; Set DO14_1; Zamkniecie_imadla; MoveJ home10,vmax,z200,tool0; MoveJ home340,vmax,z200,tool0; MoveL home350,vmax,z200,tool0; MoveL home360,v30,fine,tool0; Set DO10_15_przypnij_odepnij_CH2; CH_2_zamknij; MoveL home370,vmax,fine,tool0; MoveJ home380,vmax,z200,tool0; MoveJ home390,vmax,z200,tool0; MoveJ home400,vmax,z200,tool0; MoveL home410,vmax,z200,tool0; MoveJ home420,vmax,z200,tool0; MoveJ home440,vmax,z200,tool0; MoveJ home450,vmax,z200,tool0; MoveJ home460,v200,z200,tool0; MoveL home470,v100,fine,tool0; CH_2_otworz; Reset DO10_15_przypnij_odepnij_CH2; Set DO14_2; MoveL home480,vmax,fine,tool0; MoveJ home490,vmax,z20,tool0; MoveL home480,vmax,fine,tool0; Otwarcie_imadla; MoveL home510,v30,fine,tool0; CH_2_zamknij; Set DO14_3; MoveL home520,v500,fine,tool0; MoveL home530,vmax,z200,tool0; MoveJ home30,vmax,z200,tool0; MoveL home560,vmax,z200,tool0; MoveL home570,v30,fine,tool0; CH_2_otworz; Set DO14_4; MoveL home580,vmax,fine,tool0; MoveJ home10,vmax,z200,tool0; CH2O; MoveJ home10,vmax,fine,tool0; Set DO14_5; zerowanie; ENDPROC </pre>
 <p>Czas symulacji: 52,4 s</p>	 <p>Czas symulacji: 47,5 s</p>	 <p>Czas symulacji: 44,5 s</p>

lub spawania, gdzie dokonywana przez robota zmiana prędkości (najczęściej redukcja) wykonywania tych operacji może spowodować nieprawidłowy przebieg procesu (np.: przegrzanie spoiny, zwiększenie grubości kleju, lakieru lub spłynięcie masy uszczelniającej itp.).

Analiza ścieżki narzędzia w programie RobotStudio

Narzędzie Signal Analyzer programu RobotStudio służy do wyświetlania i analizy sygnałów z kontrolera robota [3], co umożliwi dalszą optymalizację pracy stanowiska zrobotyzowanego. W zależności od jego



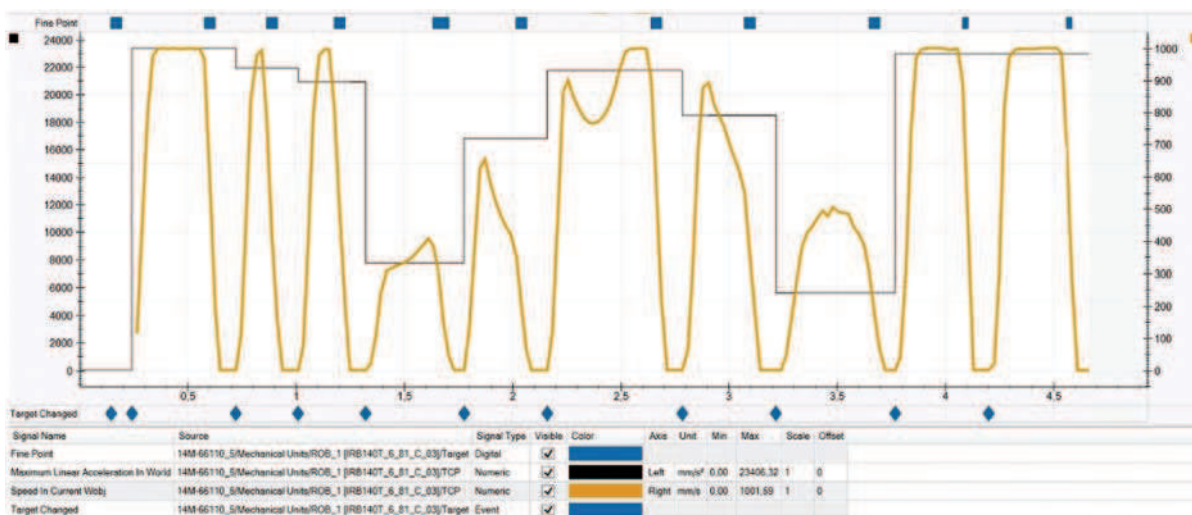
Rys. 4. Ścieżka narzędzia do nakładania masy uszczelniającej [7]

Fig. 4. Tool path for sealant applying [7]

budowy oraz potrzeb analizy możliwe jest śledzenie w czasie rzeczywistym przebiegu sygnałów wejść/ wyjść oraz zmian: położenia (narzędzia, osi robota), prędkości ruchu, wymiany narzędzia lub układów współrzędnych.

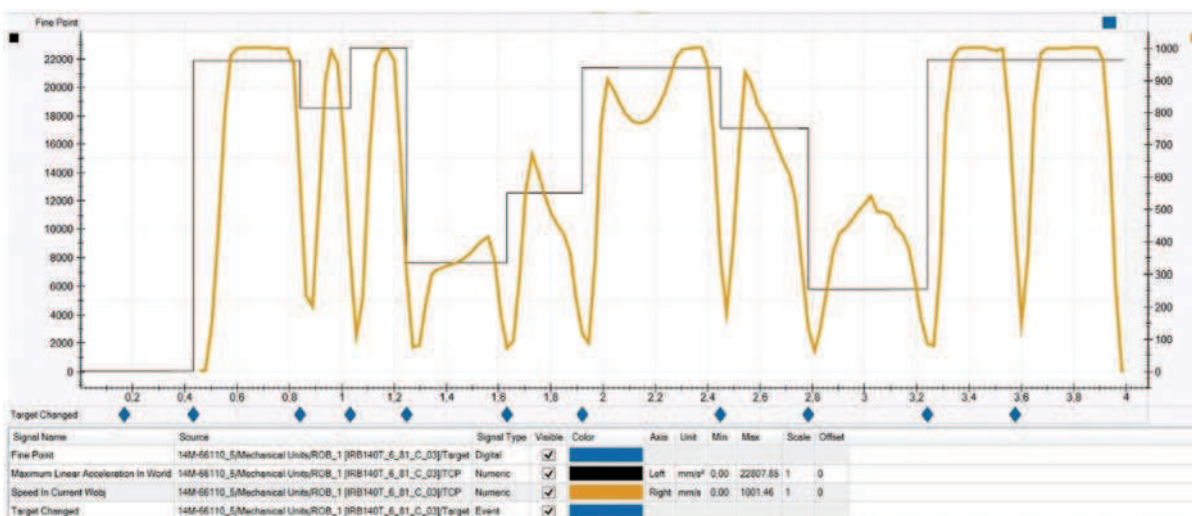
Na rys. 4 przedstawiono ścieżkę narzędzia (wraz z położeniem narzędzia w punktach tworzących trajektorię) do nakładania masy uszczelniającej, która następnie została poddana analizie za pomocą narzędzia Signal Analyzer. W narzędziu tym ustawiono wyświetlanie na wykresach: prędkości i przyspieszania punktu TCP, punktów z parametrem *fine* oraz zmianę punktu.

Wynik analizy ruchu dla położenia punktów z parametrem *fine* i *v1000* przedstawiono na wykresie (rys. 5) z czego wynika, że ustawiona stała prędkość ruchu (*v1000*) dla wszystkich punktów nie została osiągnięta. Przyczyną może być położenie narzędzia



Rys. 5. Wynik analizy ruchu dla położenia punktów z parametrem *fine* i *v1000* [7]

Fig. 5. The Result of traffic analysis for position of points with *fine* and *v1000* parameters [7]



Rys. 6. Wynik analizy ruchu dla położenia punktów z parametrem *z0* i *v1000* [7]

Fig. 6. The Result of traffic analysis for position of points with *z0* and *v1000* parameters [7]

w punktach trajektorii oraz odległości pomiędzy punktami. Istotne jest również zastosowanie parametru *fine*, który wymusza zatrzymanie robota w każdym punkcie trajektorii. W celu skrócenia czasu przejazdu i poprawienia płynności ruchu w kolejnym kroku zamieniono parametr *fine* na *z0*, a wynik analizy przedstawiono na rys. 6.

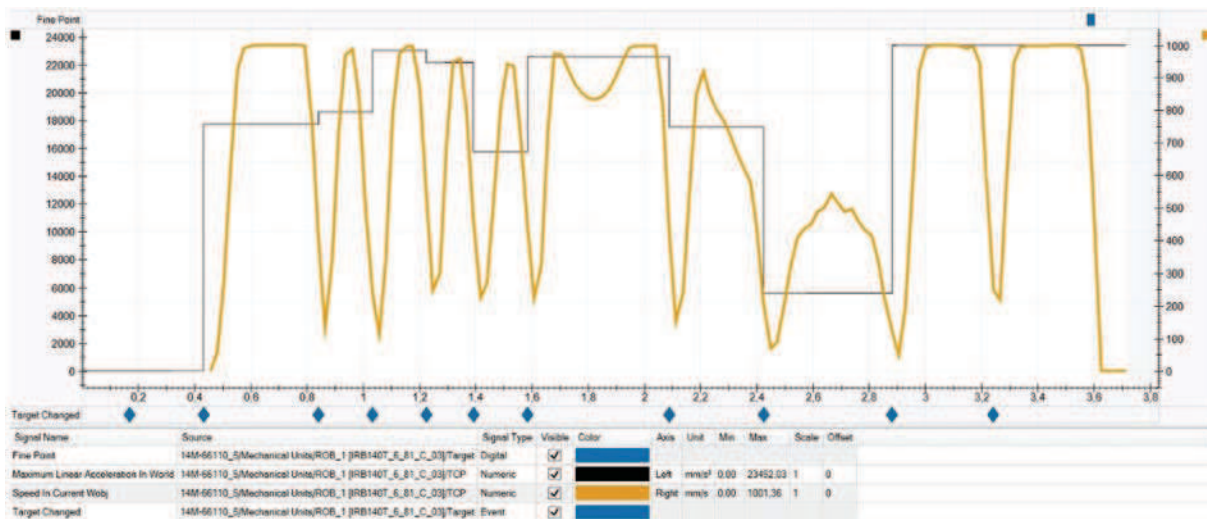
Z analizy rys. 6 wynika, że płynność ruchów uległa poprawie (nie dochodzi do zatrzymania w punktach trajektorii – prędkość przejścia pomiędzy punktami wynosi od 60 do 230 mm/s), jednak nadal nie uzyskano prędkości 1000 mm/s dla całej ścieżki narzędzia. Ponadto nie można zmienić parametru *z* (tj. zwiększyć, tak jak w przypadku montażu korpusów reduktora), gdyż nie uzyska się żądanego kształtu trajektorii (zwiększenie parametru *z* powoduje zaokrąglenie ścieżki). Można natomiast zmienić orientację narzędzia w punkcie, tj. tam, gdzie to możliwe, ustawić jego stałą orientację oraz

zastosować interpolację liniową lub absolutną, która modyfikuje orientację narzędzia podczas ruchu wzdłuż trajektorii.

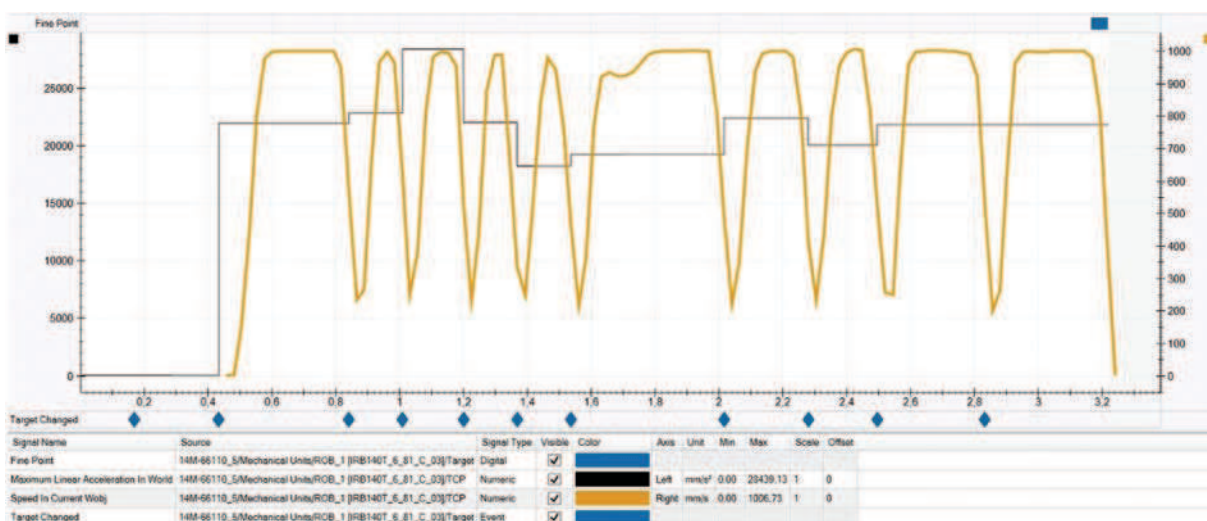
Interpolacja liniowa rozkłada różnicę orientacji równomiernie na podstawie pozycji docelowej wzdłuż długości ścieżki, natomiast interpolacja absolutna rozprowadza równomiernie różnicę orientacji na podstawie sekwencji celów w ścieżce [1].

Na rys. 7 i 8 przedstawiono wykresy analizy w przypadku zastosowania interpolacji liniowej dla wybranych punktów. Na rys. 7 pokazano zastosowanie interpolacji do punktów od 30 do 90, a na rys. 8 interpolacja dotyczyła całej ścieżki narzędzia.

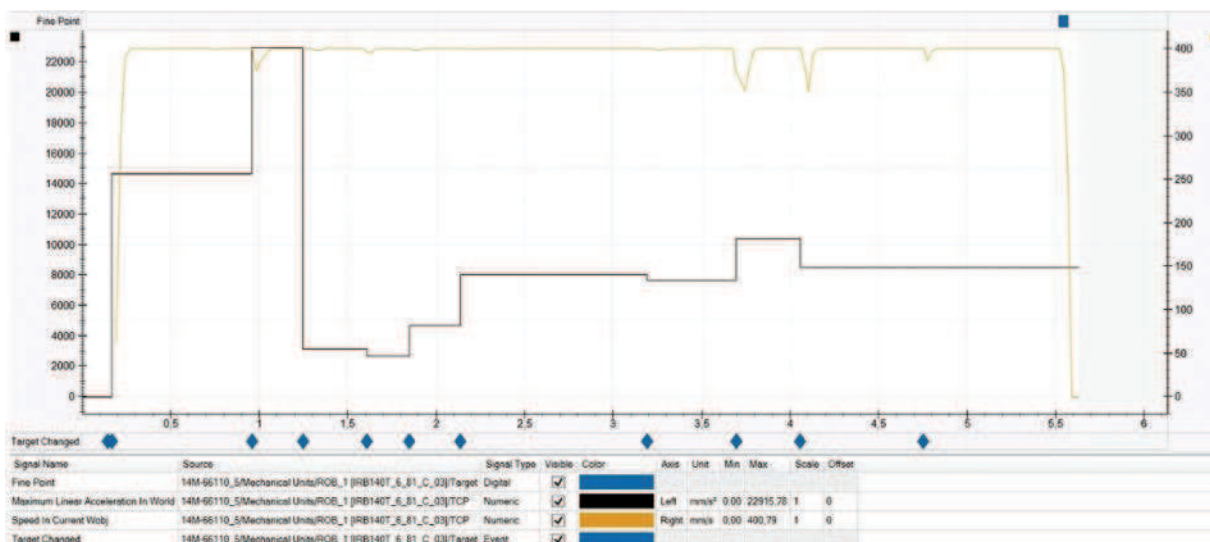
Z rys. 8 wynika, że udało się zwiększyć prędkość ruchu w punktach pośrednich do ok. 200 mm/s. Na rys. 9 przedstawiono wykres ruchu dla prędkości 200 mm/s. Redukcja prędkości spowodowała zmniejszenie charakterystycznych pików oraz poprawę stabilności



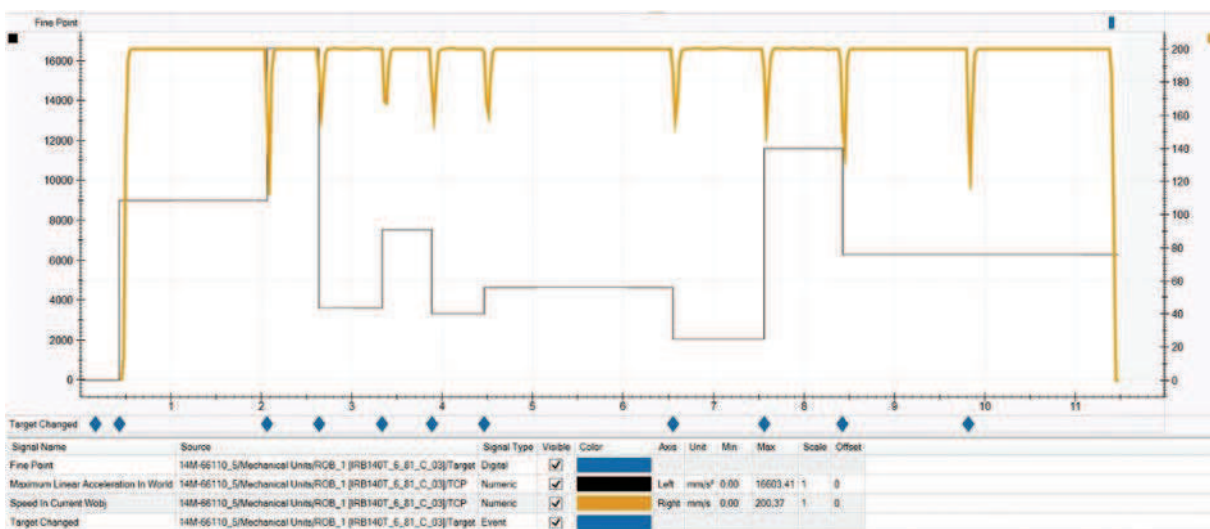
Rys. 7. Wynik analizy ruchu w przypadku zastosowania interpolacji liniowej – punkty od 30 do 100 [7]
Fig. 7. The result of traffic analysis for the use of linear interpolation – 30 to 100 points [7]



Rys. 8. Wynik analizy ruchu w przypadku zastosowania interpolacji liniowej – cała ścieżka v1000 [7]
Fig. 8. The result of traffic analysis for the use of linear interpolation – the entire path v1000 [7]



Rys. 9. Wynik analizy ruchu w przypadku zastosowania interpolacji liniowej – cała ścieżka v200 [7]
 Fig. 9. The result of traffic analysis for the use of linear interpolation – the entire path v200 [7]



Rys. 10. Wynik analizy ruchu (inna ścieżka) w przypadku zastosowania interpolacji liniowej – cała ścieżka v400 [7]
 Fig. 10. The result of traffic analysis (other path) for the use of linear interpolation – the entire path v400 [7]

procesu, natomiast znacząco wydłużyła czas operacji, natomiast rys. 10 stanowi przykład innej, już zoptymalizowanej ścieżki o stałej prędkości ruchu wynoszącej 400 mm/s.

Wnioski i podsumowanie

Ustalono, że zastosowanie programu RobotStudio (oprogramowanie do komputerowego wspomaganie programowania robotów przemysłowych) umożliwia pełne odwziedlenie elementów stanowiska produkcyjnego oraz zasymulowanie zadań przewidzianych do wykonania. Analiza parametrów prędkości zaprojektowanej ścieżki narzędzia do dozowania masy uszczelniającej umożliwiła skrócenie czasu wykonywania operacji oraz określenie maksymalnej stałej

prędkości, którą należy przypisać do trajektorii ruchu. Narzędzie Signal Analyzer umożliwia również zbieranie informacji z rzeczywistego stanowiska, które następnie mogą być porównane z uzyskanymi z programu RobotStudio.

LITERATURA

- [1] Dokumentacja programu RobotStudio firmy ABB.
- [2] <https://library.e.abb.com/public/e6c1a4a021094f4c9bf614c4b9d956db/ReleaseNotesRobotStudio6-03.pdf>, dostęp 9.04.2017.
- [3] <https://library.e.abb.com/public/980b0e01f1272562c1257b59004271ec/WhatsNewRobotStudio51501.pdf>, dostęp 9.04.2017.
- [4] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Jako%C5%9B%C4%87>, dostęp 25.03.2016

- [5] ISO 9283.
- [6] Kost G. G. Reclik D. 2008. „Dynamiczne planowanie trajektorii,” *Przegląd Mechaniczny* (1): 23–29.
- [7] Wiśniewski M., Opracowanie własne.
- [8] World Robotics 2015 Industrial Robots.
- [9] Żurek J. „Metodyka i warunki badań dokładności i powtarzalności pozycjonowania robota przemysłowego Fanuc M-16iB,” *Technologia i Automatyizacja Montażu*, nr 1, pp. 31–34, 2013.

dr inż. Marcin Wiśniewski – Zakład Projektowania Technologii Instytutu Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, e-mail: marcin.wisniewski@put.poznan.pl

mgr inż. Katarzyna Peta – Zakład Projektowania Technologii Instytutu Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, e-mail: katarzyna.peta@put.poznan.pl

mgr inż. Arkadiusz Pietrowiak – Zakład Projektowania Technologii Instytutu Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, e-mail: arkadiusz.pietrowiak@put.poznan.pl

dr hab. inż. Olaf Ciszak – Zakład Projektowania Technologii Instytutu Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, e-mail: olaf.ciszak@put.poznan.pl

mgr inż. Karol Grochalski – Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych Instytutu Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań, e-mail: karol.grochalski@wp.pl

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ODDZIERANIE POŁĄCZENIA ADHEZYJNEGO KOMPOZYTU POLIMEROWO-WŁÓKNISTEGO Z BLACHĄ ZE STOPU ALUMINIUM 2024-T3

Peel strength of adhesive joint of fibreglass composite with aluminium alloy 2024-T3 sheet

Andrzej KUBIT, Magdalena BUCIOR, Władysław ZIELECKI

S t r e s z c z e n i e: W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, określających wytrzymałość połączenia adhezyjnego pomiędzy kompozytem polimerowo-włóknistym (zastosowano włókna szklane) a blachą ze stopu aluminium 2024-T3. Połączenie wykonano z zastosowaniem technologii autoklawowej. Artykuł porusza istotne zagadnienie wytrzymałości statycznej połączenia międzywarstwowego obciążonego w kierunku normalnym, co w zastosowanym modelu wywołuje stan oddzierania. Jako spoiwo łączące adhezyjnie rozpatrywane materiały zastosowano klej błonkowy zbrojony siatką, zapewniającą równomierny rozkład grubości kleju. Po przeprowadzonych badaniach wytrzymałościowych analizie poddano powierzchnie klejone na podstawie obrazów wykonanych przy użyciu mikroskopii SEM. Przeprowadzono także trójwymiarową analizę struktury powierzchni. Badania wykazały wysoką jakość uzyskanego połączenia adhezyjnego i mogą stanowić odniesienie dla próbek wykonanych według innych technologii.

S ł o w a k l u c z o w e: kompozyty polimerowo-włókniste, wytrzymałość na oddzieranie, połączenia adhezyjne kompozyt-metal

A b s t r a c t: The paper presents the results of experimental studies determining the strength of adhesive joint between fibreglass composite and aluminium alloy 2024-T3 sheet. The specimens were made using autoclave technology. This article considers the important issue of the static strength of the inter-layer joint subjected to the normal direction, which causes a peel stress in the model used. The adhesive bond between the materials was made using an adhesive film with a mesh to ensure a uniform distribution of adhesive thickness. After the strength tests, the surfaces of adherends were analyzed on the basis of images made using SEM microscopy. A three-dimensional surface structure analysis was also performed. Studies have shown the high quality of the adhesive joint obtained and may be a reference to specimens made using other technologies.

K e y w o r d s: fibreglass composites, peel strength, composite-aluminium adhesive joints

Wprowadzenie

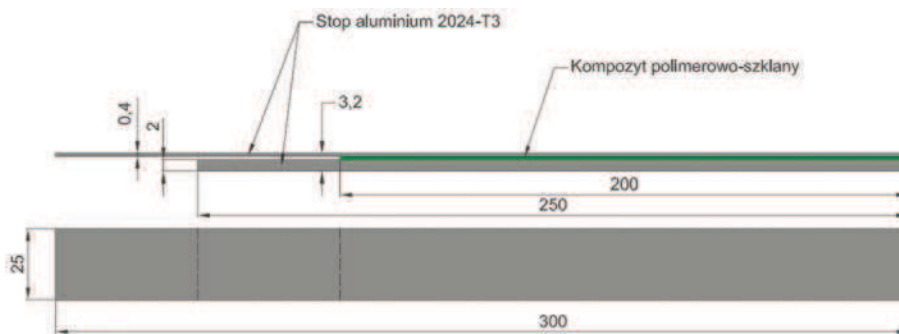
Materiały kompozytowe, mające coraz szersze zastosowanie szczególnie w konstrukcjach lotniczych, mimo wielu oczywistych zalet, mają pewne ograniczenia, które sprawiają, że nie mogą występować w całej konstrukcji statku powietrznego. Ograniczenie to dotyczy szczególnie miejsc w konstrukcji, gdzie występuje wysoka temperatura. W związku z powyższym istnieje częsta konieczność łączenia kompozytów polimerowo-włóknistych z innymi materiałami, głównie metalami takimi jak stopy aluminium i tytanu [13]. Połączenia adhezyjne mają tę przewagę nad techniką nitowania, popularnie występującą w budowie statków powietrznych, że nie wymagają wykonania otworów, będących często przyczyną koncentratorów naprężeń, a także nie wpływają w tak istotny sposób na wzrost masy konstrukcji jak nity [13].

Większość dostępnych opracowań naukowych, poruszających tematykę wytrzymałości połączenia adhezyjnego pomiędzy blachą ze stopu aluminium a kompozytem polimerowo-włóknistym, skupia się jedynie na wytrzymałości na ścinanie lub na mechanizmie pęknięcia. Do analizy pęknięcia najczęściej stosuje się próbki w formie podwójnej belki wspornikowej, tzw. Double

Cantilever Beam. Celem takich badań jest określenie zachowania propagacji pęknięć oraz uzyskanie danych energetycznych do numerycznej analizy mechanizmu pęknięcia [6, 8]. Z kolei do wyznaczania wytrzymałości na ścinanie rozpatrywanych połączeń, badaniom poddaje się zwykle jedno- lub dwuzakładkowe połączenia metal-kompozyt [4, 7, 11, 12]. Wielu autorów podejmuje także zagadnienie analitycznej oraz numerycznej analizy, związanej z wytrzymałością na ścinanie połączenia klejonego różnych materiałów [1, 5, 9].

Rozpatrując zagadnienie łączenia adhezyjnego materiałów o znacząco różnych współczynnikach rozszerzalności cieplnej, należy mieć na uwadze naprężenia w płaszczyźnie połączenia tych materiałów, będących przyczyną zmiennej temperatury pracy, co może przyczynić się do obniżenia wytrzymałości połączenia. Stąd wiele opracowań skupia uwagę na możliwości minimalizacji negatywnych efektów, wynikłych z różnych właściwości materiałów łączonych przez właściwy dobór warstwy spajającej [2, 3].

W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, określających wytrzymałość połączenia adhezyjnego pomiędzy kompozytem polimerowo-włóknistym a blachą ze stopu aluminium 2024-T3. Skupiono się na niepożądanym obciążeniu, którą jest oddzieranie,



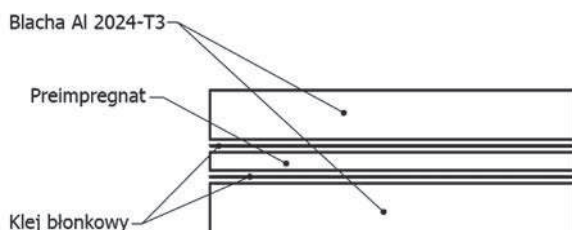
Rys. 1. Geometria oraz wymiary gotowej próbki do badań wytrzymałości statycznej połączenia adhezyjnego na oddzieranie
Fig. 1. Geometry and dimensions of the specimen for testing the static peel strength of the adhesive joint

cechujące się nierównomiernym rozkładem naprężeń w spoinie klejowej oraz charakterystycznym spiętrzeniem naprężeń przy czole działania obciążenia.

Metodyka badań

Jako metodykę wykonania badań statycznych wytrzymałości na oddzieranie przyjęto próbę wg normy DTD 5577. Badania wymagają przygotowania próbki złożonej z dwóch elementów – sztywnego (tu przyjęto blachę o grubości 2 mm) oraz elastycznego – przyjęto blachę o grubości 0,4 mm. W opisywanej metodyce, kompozyt polimerowo-włóknisty stanowił warstwę pośrednią pomiędzy wymienionymi elementami (rys. 1).

Połączenie adhezyjne pomiędzy elementami metalowymi a kompozytem wykonano na bazie kleju błonkowego AF-163-2K firmy 3M. Powierzchnie blach przed klejeniem anodowano w roztworze kwasu siarkowego, uzyskując średnią grubość warstwy tlenków równą 6 μm dla cieńszej z blach, natomiast 10 μm dla blachy grubszej. Warstwę kompozytową utworzono z termoutwardzalnego preimpregnatu szklanego firmy Hexcel o gramaturze 432 g/m². Próbkę w formie arkusza o wymiarach 300×360 mm i w konfiguracji przedstawionej na rys. 2 utwardzono w autoklawie. Zastosowano następujące parametry utwardzania: szybkość ogrzewania 2°C/min, temperatura sieciowania równa 135°C, ciśnienie w komorze autoklawu podczas utwardzania 3 bar, podciśnienie w worku próżniowym o wartości -0,7 bar utrzymywano do momentu uzyskania temperatury sieciowania, czas utwardzania równy 90 min, szybkość chłodzenia po utwardzaniu 3°C/min.

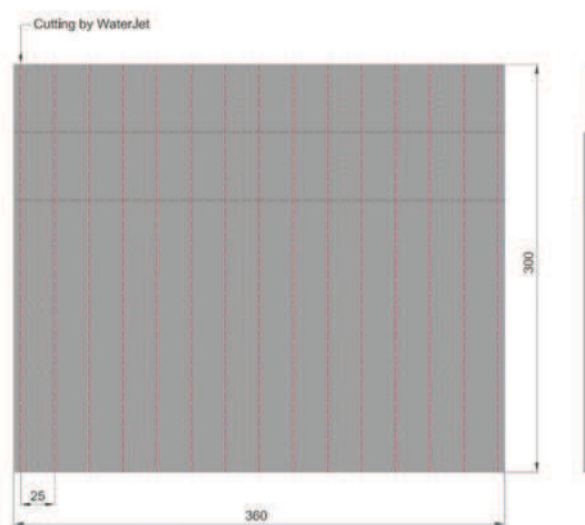


Rys. 2. Konfiguracja warstwowego układu próbek
Fig. 2. Layered configuration of the considered specimens

W rezultacie uzyskano arkusze (rys. 3), które rozcięto uzyskując właściwe próbki do badań wytrzymałościowych o szerokości 25 mm. Rozcinając arkusze odrzucono fragment przy krawędzi o szerokości 5 mm przewidując, że w tym obszarze połączenie może cechować się odmiennymi właściwościami. Próbkę wycinano z wykorzystaniem wysokociśnieniowego strumienia wodno-ściernego, wytwarzanego w sposób pośredni. Obróbkę prowadzono przy ciśnieniu $p=350$ MPa, wydatku dozowanego ścierniwa 300 g/min oraz prędkości głowicy tnącej $v_f=250$ mm/min.

Badania statycznej wytrzymałości na oddzieranie przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Tinius Olsen H25K-T. Prędkość posuwu szczęki wynosiła 100 mm/min. Badania przeprowadzono w temperaturze pokojowej. Do badań w założonym układzie obciążenia niezbędnym jest zastosowanie specjalnego przyrządu (rys. 4), wymuszającego stan oddzierania.

Bardzo istotnym zagadnieniem z punktu widzenia jakości połączenia adhezyjnego są właściwości powierzchni elementów klejonych, w tym chropowatość powierzchni. W związku z powyższym, dla obydwu stosowanych



Rys. 3. Arkusz klejonego pakietu z zaznaczonym kierunkiem rozcinania
Fig. 3. Sheet of the bonded package with marked cutting direction



Rys. 4. Widok badanej próbki oraz przyrządu wymuszającego stan oddzierania

Fig. 4. View of the specimen and the test stand for the peel test

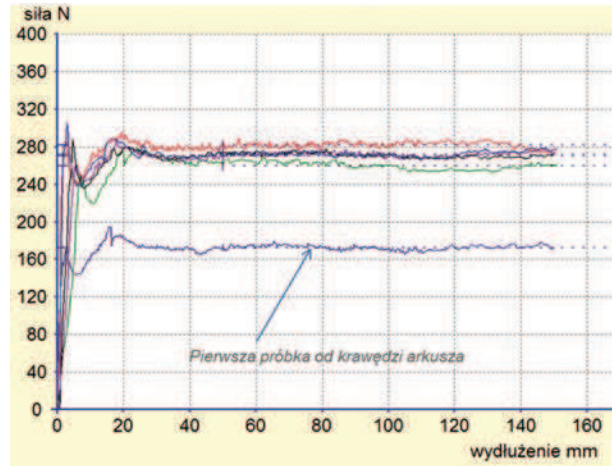
blach przeprowadzono pomiar struktury geometrycznej. Pomiary przeprowadzono przy użyciu trójwymiarowego profilometru optycznego Talysurf CCI Lite. Wyniki pomiarów opracowano zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN EN-ISO 25178-2:2012E [10].

Badania powierzchni klejonych po zniszczeniu dla wybranych próbek przeprowadzono przy użyciu elektronowego mikroskopu skaningowego S-3400N firmy Hitachi. Zdjęcia przełomów wykonano przy następujących parametrach:

- zdjęcia wykonano w niskiej próżni (tryb Low Vacuum),
- stosowano detektor elektronów wstecznie rozproszonych (BSE),
- napięcie przyspieszające 15 kV,
- rozmiar plamki (Spot Size) < 10 nm,
- powiększenie od 30× do 3000×.

Wyniki badań

Na rys. 5 przedstawiono zestawienie krzywych, będących wynikiem badania wytrzymałości na oddzieranie. Zgodnie z przyjętą metodyką badań, na podstawie przebiegu zarejestrowanej wartości siły w funkcji przemieszczenia. Po ustabilizowaniu przebiegu siły oddzierającej (jako odcinek stabilizacji przyjęto 50 mm), na odcinku 100 mm obliczono średnią wartość siły, którą podzielono przez szerokość stosowanej próbki czyli 25 mm. Analizując wyniki badań zauważono, że poza jednym wyjątkiem, wyniki cechują się akceptowalną powtarzalnością (zastosowano sześć powtórzeń). Wynik badania, który znacząco odbiega od pozostałych, uzyskano dla próbki pierwszej od krawędzi arkusza (rys. 3). Wprawdzie przyjęto pewien margines spodziewając się, iż przy krawędzi klejonego pakietu właściwości połączenia będą odbiegały od pozostałych, jednakże przyjęty margines 5 mm okazał się zbyt mały. Odrzucając wspomniany wynik, średnia wytrzymałość na oddzieranie próbek wyniosła 11,02 N/mm.



Rys. 5. Wyniki badań na oddzieranie w formie krzywej siła-wydłużenie

Fig. 5. Force-displacement curves as a results of the peel tests

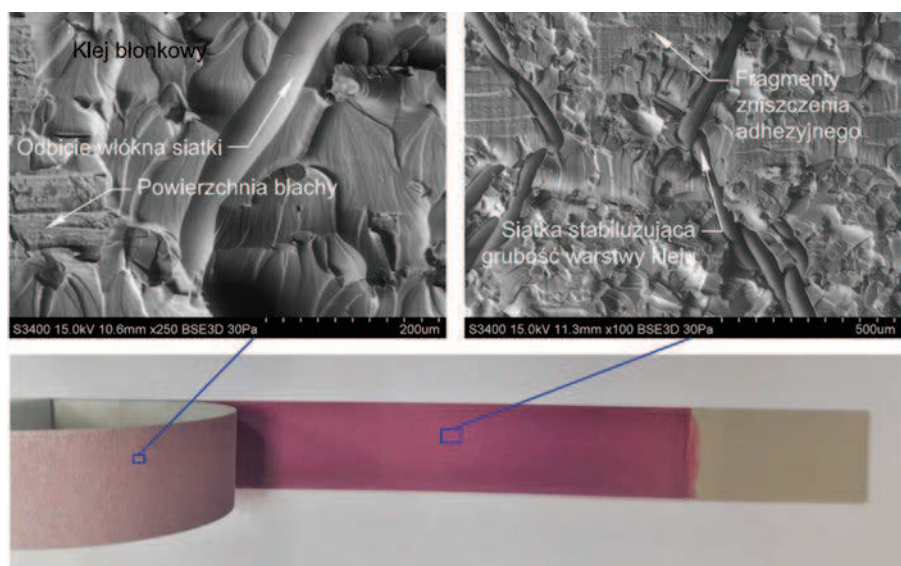
Analizując powierzchnie próbek po przeprowadzonych badaniach w skali makro można dostrzec, iż każda próbka cechowała się kohezyjnym typem zniszczenia (rys. 6), co jest pożądane i świadczy o wysokiej jakości adhezji zastosowanego kleju do obydwu powierzchni łączonych. Przechodząc do skali mikrometrycznej na podstawie zdjęć SEM zauważalne są fragmenty powierzchni o adhezyjnym typie zniszczenia. Powierzchnia przełomów ukazuje także odkryte fragmenty siatki stabilizującej grubość warstwy kleju.

Na rys. 7 przedstawiono trójwymiarową strukturę fragmentu powierzchni blach klejonych z kompozytem. Na rys. 7a przedstawiono strukturę dla blachy o grubości 2 mm, natomiast na rys. 7b zaprezentowano strukturę blachy o grubości 0,4 mm. Tabela I zawiera zestawienie parametrów chropowatości powierzchni blach dla analizy trójwymiarowej.

Powierzchnie obydwu stosowanych blach cechują się różną chropowatością, co wynika przede wszystkim z procesu anodowania. W procesie tym na powierzchni grubszej z blach wytworzono prawie dwukrotnie grubszą warstwę pokrycia tlenkowego. Powszechnie znanym jest fakt, że gładka powierzchnia nie sprzyja utworzeniu wysokowytrzymałego połączenia adhezyjnego. W zaprezentowanych analizach powtarzalnie uzyskane zniszczenie typu kohezyjnego świadczy jednoznacznie, iż rozpatrywane powierzchnie poprawnie przygotowano do procesu klejenia, zapewniając należyłą przyczepność kleju do obydwu z nich.

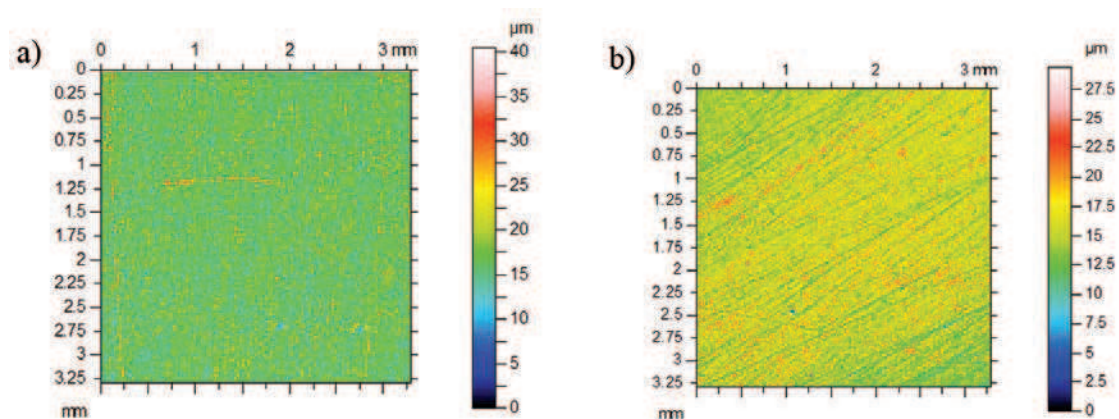
Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań stanowią jedną z propozycji metodyki określania wytrzymałości statycznej połączenia adhezyjnego coraz szerzej spotykanego w zaawansowanych konstrukcjach, wymagających pogodzenia cech jakimi są niska masa oraz wysoka wytrzymałość. W opracowaniu badaniom poddano jako przykład połączenie



Rys. 6. Obraz próbki po zniszczeniu z widocznym zniszczeniem kohezyjnym w skali makro oraz fragmenty obydwu powierzchni w skali mikro

Fig. 6. Image of the surface of specimen after peel test with visible cohesion damage on a macro scale and fragments of both surfaces on the micro scale



Rys. 7. Trójwymiarowa struktura powierzchni blach przed procesem klejenia: dla blachy o grubości 2 mm (a) oraz 0,4 mm (b)

Fig. 7. Three-dimensional structure of the sheet surface before the bonding process: for sheet thickness 2 mm (a) and 0.4 mm (b)

Tabela I. Parametry chropowatości powierzchni klejonych blach dla analizy trójwymiarowej

Table I. Surface roughness parameters for three-dimensional analysis

Parametr chropowatości	Blacha o grubości 0,4 mm	Blacha o grubości 2 mm
S_q [μm]	2,72	4,32
S_{sk}	1,18	1,39
S_{ku}	4,53	3,75
S_p [μm]	13,7	22,9
S_v [μm]	15,8	17,6
S_z [μm]	29,4	40,5
S_a [μm]	1,97	3,36
S_{al} [μm]	0,0089	0,00726
S_{tr}	0,315	0,756
S_{td} [$^\circ$]	34,8	84,5

wykonane według technologii stosowanej w przemyśle lotniczym, stosując klej błonkowy, powszechnie stosowany w kompozytach przekładkowych z wypełniaczem komórkowym typu „plaster miodu”. Teoretycznie zastosowana metodyka przygotowania próbek powinna zapewniać możliwie wysoką wytrzymałość połączenia, gdyż zastosowano tu proces autoklawowy. Naturalną kontynuacją badań będą próby porównawcze dla połączenia uzyskanego technologiami bez użycia autoklawu. Takie próby są pożądane, gdyż technologie autoklawowe są energo- i pracochłonne, co przekłada się na ich wysokie koszty. Zatem opracowanie alternatywnych technologii, które zapewniłyby porównywalną wytrzymałość połączenia stały się nieuchronne, a przedstawiona metodyka badań może z powodzeniem służyć jako jedna z prób weryfikujących jakość uzyskanego połączenia przy użyciu innych technologii. Z kolei zaprezentowane wyniki badań mogą stanowić punkt odniesienia w badaniach porównawczych.

LITERATURA

- [1] Adams R. D., V. Mallick. 1993. “The effect of temperature on the strength of adhesively-bonded composite-aluminium joints”. *International Journal of Adhesion and Adhesives* (43):
- [2] Da Silva L. F., R. D. Adams. 2006. “Stress-free temperature in a mixed-adhesive joint”. *Journal of Adhesion Science and Technology* (20): 1705–1726.
- [3] Da Silva L. F., R. D. Adams. 2007. “Techniques to reduce the peel stresses in adhesive joints with composites”. *International Journal of Adhesion and Adhesives* (27): 216–226.
- [4] Giannis S., K. Hansen. 2010. “Investigation on the Joining of CFRP-to-CFRP and CFRP-to-Aluminium for a Small Aircraft Structural Application”. Dayton: 25th Technical Conference of the American Society for Composites and 14th US-Japan Conference on Composite Materials.
- [5] Hua Y., L. G., M. Trogon M. 2012. “Three-dimensional modeling of carbon/epoxy to titanium single-lap joints with variable adhesive recess length”. *International Journal of Adhesion and Adhesives* (38): 25–30.
- [6] Ishii K., M. Imanaka, H. J. Nakayama. 2007. “Fatigue crack propagation behavior of adhesively-bonded CFRP/aluminum joints”. *Journal of Adhesion Science and Technology* (21): 153–167.
- [7] Kang S., M. Kim, C. Kim. 2007. “Evaluation of cryogenic performance of adhesives using composite-aluminum double-lap joints”. *Composite Structures* (78): 440–446.
- [8] Khoshravan M., F. A. Mehrabadi. 2012. “Fracture analysis in adhesive compositematerial/aluminum joints under mode-I loading, experimental and numerical approaches”. *International Journal of Adhesion and Adhesives* (39): 8–14.
- [9] Narasimhan S., R. A. Shenoi, H. K. Jeong. 2004. “Three-dimensional stresses in adhesively bonded lap joints with non-identical adherends”. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L* (218): 283–298.
- [10] Norma PN EN-ISO 25178-2:2012E Specyfikacja geometrii wyrobów: Przestrzenna – Część 2: Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
- [11] Owens J., P. Lee-Sullivan. 2000. “Stiffness behavior due to fracture in adhesively bonded composite-to-aluminum joints II”. In *International Journal of Adhesion and Adhesives* (20): 47–58.
- [12] Seong M. et. al. 2008. “A parametric study on the failure of bonded singlelap joints of carbon composite and aluminum”. *Composite Structures* (86): 135–145.
- [13] Teixeira de Freitas S., J. Sinke. 2014. “Adhesion Properties of Bonded Composite-to-Aluminium Joints Using Peel Tests”. *International Journal of Adhesion and Adhesives* (90): 511–525.

dr inż. Andrzej Kubit – Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: akubit@prz.edu.pl

mgr inż. Magdalena Bucior – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: magdabucior@prz.edu.pl

dr hab. inż. Władysław Zielecki, prof. PRZ – Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: wzktmiop@prz.edu.pl

Z PRASY ZAGRANICZNEJ

Tytuły artykułów zamieszczanych w miesięczniku naukowo-technicznym p.t. „Montaż w budowie maszyn i przyrządów” wydawanego przez Maszynostrojenije, Moskwa, Rosja (Sborka)

Sborka nr 10, 2016 (195)

1. Zwiększenie wydajności obróbki na wiertarko-frezarko-wytaczarkach ze sterowaniem numerycznym z pomocą przyrządu ze zdejmowaną podstawą
2. Jednowrzecionowy wkrętak z odśrodkowymi siłami bezwładności i kontrolą dokręcanego momentu.
3. Montaż generatorów kwarcowych
4. Tribologiczne właściwości cienkich błon kwasów tłuszczowych
5. O wybranych problemach materiałoznawczych w tribologii
6. Odporność na zużycie łożysk ślizgowych pracujących w warunkach zmiennych obciążeń
7. Ocena zużycia części mechanizmów maszyn na podstawie zawartości produktów zużycia w oleju
8. Energetyczna zasada oceny właściwości dokręcenia połączeń śrubowych z falistym profilem zwojów jednej z części
9. Matematyczne modelowanie okresowo zmieniającego się trójwymiarowego pola temperaturowego w wielowarstwowych cylindrach

Sborka nr 12, 2016 (197)

1. Badania wpływu właściwości konstrukcyjnych łożysk gazowych na charakterystyki eksploatacyjne zespołów wrzecionowych obrabiarek do metali (część 1)
2. Konieczne i wystarczające warunki niezawodnego mocowania półwyrobu w trójszczękowym uchwycie w trakcie tooczenia na OSN
3. Właściwości indukcyjnego lutowania
4. Cechy charakterystyczne wibroizolacji przyrządów łączności hydroakustycznej na pionowym fundamencie
5. Zastosowanie drgań ultradźwiękowych o różnej polaryzacji przy wykonywaniu operacji demontażowych
6. Konstrukcyjno-technologiczne zapewnienie montowalności i zamienności agregatów wyrobów z kołnierзовymi stykami
7. Badania składu resztek ropy jako perspektywicznego surowca do produkcji olejów
8. Tłumienie ciernych autowibracji z uwzględnieniem dwóch kierunków drgań narzędzia

Sborka nr 11, 2016 (196)

1. Ocena wpływu odchyień od płaskości tarczy stołu obrabiarki współrzędnościowo-wytaczającej na dokładność bazowania obrabianych części
2. Obrabiarka do docierania zaworów sprężarki hamującej lokomotywy
3. Techniczno-ekonomiczne podstawy montażu agregatów dokładnymi mechanizmami metodą grupowej zamienności
4. Wykorzystanie skoncentrowanych strumieni akustycznej energii w montażu połączeń gwintowych z promieniowym wciskiem
5. Badanie procesu polimeryzacji substancji „Gersil-312” w zależności od koncentracji katalizatora oraz wilgotności otoczenia
6. Szkielet zbrojeniowy przeciwiernych kompozytów
7. Opracowanie systemu regeneracji materiału ściernego dla urządzeń przecinających płytki krzemowe
8. O zagadnieniach teorii mechaniki procesu zewnętrznego tarcia ślizgowego ciał stałych po powierzchni poziomej (część 1)

ABSTRACTS:

1. **Guaranteed cost design for model-based cyber-physical assembly: a convex optimization approach**

Author: Bin Liu

The purpose of this paper is to propose a guaranteed cost control design procedure for model-based cyber-physical assembly (CPA) systems. To reflect the cyber-physical environment, the network-induced delays and disturbances are introduced in the mathematical model.

Based on the linear matrix inequality approach, the guaranteed cost controller is designed such that the guaranteed cost can be satisfied and the corresponding convex optimization algorithm is provided. Moreover, H-infinity theory is used to deal with the disturbance with the given H-infinity attenuation level. By constructing appropriate Lyapunov–Krasovskii functionals, delay-dependent sufficient conditions are established in terms of linear matrix inequalities and the controller design procedure is given. A simplified CPA model is given based on which the designed controller can allow us to control the closed-loop CPA systems with the guaranteed cost.

2. **Tolerance simulation of composite wingbox assembly considering preloading-modified distribution**

Authors: Hua Wang, Jun Liu

The main purpose of the paper is to present the tolerance simulation which will enhance the understanding of the composite parts assembling with spring-in deviations, improve the chance to choose assembling processes that allow specifications to be met and help with tolerance allocation in composites assembly. The paper presents a tolerance analysis process of the composite wingbox assembly considering the preloading-modified distribution and especially focuses on the spring-in deviation of the thin-walled C-section composite beam (TC2B). Tolerance simulation's reliability depends on the concordance between the input probability distribution and the real variation. The prescribed clamp force introduced changes in parts' variation, which should be reflected in the input probability distribution for the tolerance simulation.

The results have shown that the final assembly variations estimated with the modified probability distribution

is more reliable than the variation of the initial normal distribution.

3. **A new approach for estimating leagile decoupling point using data envelopment analysis**

Authors: Arash Shahin, Angappa Gunasekaran, Azam Khalili, Hadi Shirouyehzad

This paper aims to propose a new approach for determining a decoupling point in leagile chain, based on Lean and agile criteria regarding market and customer demands and internal capabilities of the chain with the ultimate goal of fulfilling customer needs and increasing chain profit.

In the new approach, Lean and agile criteria have been defined for assessing the effectiveness and efficiency of supply chain. The efficiency and effectiveness ratios have been calculated for Lean and agile processes using input- and output-oriented Banker, Charnes and Cooper (BCC) methods, respectively. Based on the results, inefficient and ineffective units have been addressed and the decoupling point has been determined.

Findings indicate that the decoupling point can be regarded as a borderline between two strategies of Lean and agile production, and fuzzy decoupling point and lean-agile distance can provide the basis for distinguishing the two strategies.

In this study, in addition to determining a decoupling point in a supply chain with the aim of increasing productivity, the subject of leagile strategy of supply chains has been developed.

4. **An integer-coded differential evolution algorithm for simple assembly line balancing problem of type 2**

Authors: Haijun Zhang, Qiong Yan, Yuanpeng Liu, Zhiqiang Jiang

This paper aims to develop a new differential evolution algorithm (DEA) for solving the simple assembly line balancing problem of type 2 (SALBP-2). In the paper a novel approaches of mutation operator and crossover operator are presented. A self-adaptive double mutation scheme is implemented and an elitist strategy is used in the selection operator.

The presented DEA is called the integer-coded differential evolution algorithm (IDEA), which can directly deal with integer variables of SALBP-2 on a discrete space without any posterior conversion. The proposed IDEA will be an alternative in evolutionary algorithms, especially for various integer/discrete-valued optimization problems.

Test and comparison results show that the proposed IDEA obtains better results for SALBP-2.

5. **Parallel autonomous guided vehicle assembly line for a semi-continuous manufacturing system**

Author: Hamed Fazlollahtabar

The purpose of this paper is to propose a parallel automated assembly line system to produce multiple products in a semi-continuous system.

The control system developed in this research consists of a manufacturing system for two-level hierarchical dynamic decisions of autonomous/automated/automatic-guided vehicles (AGVs) dispatching/next station selection and machining schedules and a station control scheme for operational control of machines and components. In this proposed problem, the assignment of multiple AGVs to different assembly lines and the semi-continuous stations is a critical objective. AGVs and station scheduling decisions are made at the assembly line level. On the other hand, component and machining resource scheduling are made at the station level.

Several assembly lines are configured to produce multiple products in which the technologies of machines are shared among the assembly lines when required. The sequence of stations is pre-specified in each assembly line and the components of a product are kept in machine magazine. The transportation between the stations in an assembly line (intra assembly line) and among stations in different assembly lines (inter assembly line) are performed using AGVs.

6. **A method for common design structure discovery in assembly models using information from multiple sources**

Authors: Jie Zhang, Mi Zuo, Pan Wang, Jian-feng Yu, Yuan Li

This paper aims to find a method for common design structure discovery in assembly models.

A new method was developed for discovering common design structures in assembly models, considering the similarity of information from multiple sources and allowing some differences in the details to keep both commonalities and individualities of common design structures.

Computer-aided design models have a great deal of valuable information defined by different designers in the design stages, especially the assembly models, which are actually carriers of information from multiple sources. In this paper, an approach for discovering a common design structure in assembly models is proposed by comparing

information from multiple sources. Assembly models are first represented as attribute connection graphs (ACGs), in which we mainly consider topological information and various attributes of parts and connections. Then, we apply a K-means clustering method based on a similarity analysis of different attributes to classify the parts and connections and transform ACGs of assemblies into type code graphs (TCGs). After this, a discovery algorithm that improves upon fast frequent subgraph mining is used to identify common design structures in assemblies.

Experiments show that the proposed method is efficient and can produce a reasonable result.

7. **Modeling and predicting of aeronautical thin-walled sheet metal parts riveting deformation**

Authors: Zhengping Chang, Zhongqi Wang, Bo Jiang, Jinming Zhang, Feiyan Guo, Yonggang Kang

The purpose of this paper is to present a successive calculation model to study the riveting deformation where local deformation is taken into consideration.

Riveting deformation is inevitable because of local relatively large material flows and typical compliant parts assembly, which affect the final product dimensional quality and fatigue durability. However, traditional approaches are concentrated on elastic assembly variation simulation and do not consider the impact of local plastic deformation.

Based on the material constitutive model and friction coefficient obtained by experiments, an accurate three-dimensional finite element model was built primarily using ABAQUS and was verified by experiments. A successive calculation model of predicting riveting deformation was implemented by the Python and Matlab and was solved by the ABAQUS. Finally, three configuration experiments were conducted to evaluate the effectiveness of the model.

A new predicting model of thin-walled sheet metal parts riveting deformation was presented to help the engineers to predict and control the assembly deformation more exactly.

8. **Dimensional variation propagation modeling and analysis for single-station assembly based on multiple constraints graph**

Authors: Jian-feng Yu, Wen-Bin Tang, Yuan Li, Jie Zhang

The purpose of this paper is to propose a variation propagation modeling and analysis (VPMA) method based on multiple constraints aiming at a single station.

Modeling and analysis of dimensional variation propagation is a crucial support technology for variation reduction, product/process design evaluation and recognition of variation source. However, owing to the multi-deviation (i.e. part deviations and fixture deviations) and multi-interaction (i.e. part-to-part interaction, part-to-fixture interaction and station-to-station interaction) in assembly

processes, it is difficult for designers to describe or understand the variation propagation (or accumulation) mechanism clearly.

Initially, part-to-part constraints (PPCs) and part-to-fixture constraints (PFCs) are applied for the multi-interaction of assembly, and multiple constraints graph (MCG) model is proposed for expressing PPCs, PFCs, parts, as well as the variation propagation relation among them. Then, locating points (LPs) are adopted for representing the deviations in constraints, and formulas for calculating the deviations of LPs are derived. On that basis, a linearized relation between LPs' deviations and part's locating deviations is derived. Finally, a wing box is presented to validate the proposed method, and the results indicate the methodology's feasibility.

9. **Collision avoidance for mobile robots based on artificial potential field and obstacle envelope modelling**

Authors: Zhenyu Wu, Guang Hu, Lin Feng, Jiping Wu, Shenglan Liu

This paper aims to investigate the collision avoidance problem for a mobile robot by constructing an artificial potential field (APF) based on geometrically modelling the obstacles with a new method named the obstacle envelope modelling (OEM).

The obstacles of arbitrary shapes are enveloped in OEM using the primitive, which is an ellipse in a two-dimensional plane or an ellipsoid in a three-dimensional space. As the surface details of obstacles are neglected elegantly in OEM, the workspace of a mobile robot is made simpler so as to increase the capability of APF in a clustered environment.

Further, a dipole is applied to the construction of APF produced by each obstacle, among which the positive pole pushes the robot away and the negative pole pulls the robot close.

As a whole, the dipole leads the robot to make a derivation around the obstacle smoothly, which greatly reduces the local minima and trajectory oscillations. Computer simulations are conducted to demonstrate the effectiveness of the proposed approach.

10. **Logic workflow structure modeling of product variant design and activity path generating**

Authors: Xinsheng Xu, Tiequn Huang, Cheng Wang, Jun Yuan, Fanfan Zhu

The paper identifies the variant design modes of different types of parts and defines their variant design activities. The procedure of constructing general logic workflow structure of product variant design is proposed. Simultaneously, the principles of inferring logic relations among activities are put forward based on their adjacency information and connectivity probability. A general logic workflow structure of product variant design is constructed. Based on this, activity path corresponding to a variant design business can be generated. The algorithm of generating activity path is designed as well. In addition, Boolean vectors of activity path, based on the functional contour matrix of polychromatic set theory, can be inferred, which denotes the functional character of activity path.

A general logic workflow structure for product variant design has been established, which comprises variant design activities and basic process logic nodes. The logic relations among activities can be inferred based on their in-degree/out-degree and connectivity probability. The function character of activity path can also be expressed based on the polychromatic set theory.

The combination of variant design activity and basic process logic node makes diverse variant design business descriptions possible in a general workflow structure. The proposed approach provides evidences for designer to plan and develop product variant design system effectively.

Zeszyt 1/2017

Pietrowiak A., Ciszak O., Wiśniewski M., Peta K.: Konstrukcja siłowników napędzanych skręconymi włóknami nylonowymi	6
Cieślak R., Wysocki I., Kąciak Ł.: Projekt wyciągarki bramowej do platformy montażowej w firmie Elektrobudowa SA	11
Kupriyanov O.: Komplectowanie połączeń dwuelementowych na podstawie rangowania	15
Mendebajew T.M., Timiriazew W.A., Gabdulina A.Z., Kerimżanowa M.F.: Analiza opracowywania programów sterujących dla grupy frezarek	21
Bełzo A., Skoczylas L.: Projekt przyrządu tokarskiego do szlifowania zwojów ślimaka	29
Ciecińska B., Kubit A.: Analiza wybranych właściwości kompozycji klejowej z nanonapełniaczami	34
Krawczuk A.: Dynamiczny kąt zwilżania jako miara stopnia przygotowania warstwy wierzchniej w procesie klejenia	39
Rudawska A., Nowicka D., Čuboňová N.: Wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych po obróbce mechanicznej	43
Peta K.: Badania wybranych właściwości połączeń lutowanych wykonanych ze stopów aluminium	48
Skoczylas K.: Koszty stanowiskowe w operacjach montażu	52
Zielecki W., Korzyńska K.: Analiza wpływu wybranych parametrów pneumatyzacji na nośność jednozakładowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V	55

Zeszyt 2/2017

Adameczek A., Godzimirski J.: Optymalizacja wytrzymałości połączeń klejowo-nitowych. . 7 Magiera M.: Monolityczna metoda harmonogramowania montażu wielowariantowych produktów w hybrydowych systemach przepływowych	13
Stamirowski J.: Standard STEP w procesach integracji i rozwoju komputerowych systemów inżynierskich. Część I: Charakterystyka standardu	19
Kuczmaszewski J., Zaleski K., Matuszak J., Pałka T., Mądry J.: Badania porównawcze dokładności przedmiotów ze stali 15-5PH oraz 4330 wykonanych frezowaniem	24
Gorielowa A., Kristal M.G.: Zwiększenie dokładności obróbki otworów tulei cylindrowych na podstawie modelowania procesów generowania błędów	28

Peta K., Grochalski K., Wiśniewski M., Żurek J.: Wpływ rozkładu temperatury i odkształceń lutowanych połączeń montażowych na trwałość chłodziw samochodowych	33
Kowalski T., Dubiel G.: Modernizacja tokarki TUG1200 i uwarunkowania montażowe jej nowych elementów konstrukcyjnych	37
Cieślak R., Wysocki I., Piguła A.: Projekt stołu montażowego do rozdzielni napięcia	42
Bakoń A., Barylski A.: Metody lutowania diamentów w narzędziach	47
Rudawska A., Kutek K., Miturska I., Semotiuk L.: Badania skuteczności klejenia i spawania stali konstrukcyjnej S235JR	52
Kluz R., Kubit A., Wydrzyński D.: Zgrzewanie punktowe blach ze stopu aluminium 7075-T6	56
Krawczuk A., Domińczuk J.: Analiza właściwości energetycznych kompozycji klejowych dedykowanych do połączeń klejowo-zgrzewanych	61

Zeszyt 3/2017

Stamirowski J.: Standard STEP w procesach integracji i rozwoju komputerowych systemów inżynierskich. Cz. II Wybrane zastosowania inżynierskie standardu STEP	7
Wiśniewska M., Matuszewski M.: Walidacja technologii spawania rurociągu w aspekcie jakości złączy montażowych	13
Chłosta M., Kobiółka J.: Stanowiska szkoleniowe jako element współczesnego przygotowania wykwalifikowanego personelu automatyków linii montażowych	17
Kozioł S., Samborski T., Zbrowski A.: Racjonalizacja konstrukcji i technologii wytwarzania przenośnika taśmowego	24
Kowalski T., Walkiewicz L.: Urządzenia wymiany i mocowania narzędzi w centrum frezarskim BAK	29
Łunarski J.: Zarządzanie aktywami organizacji według norm ISO serii 55000	33
Pasiecznik W.A., Stepanienko S.A.: Zapewnienie jakości wiercenia otworów w kompozytach węglowych z wykorzystaniem składanego wiertła	38
Grochalski K., Peta K., Wiśniewski M.: Diagnostyczne metody detekcji wad w połączeniach klejowych materiałów kompozytowych	42
Kuczmaszewski J., Anasiewicz K.: Wpływ grubości warstwy kleju na sztywność spoiny w połączeniu doczołowym metal-metal	46

Rośkowicz M., Tkaczuk S., Leszczyński P.: Badania klejów wykorzystywanych w próbach stoiskowych konstrukcji lotniczych	49
Rudawska A., Oleszek N.: Wybrane aspekty wytrzymałości połączeń klejowych blachy stalowej kwasoodpornej 1.4310	53
Przyczyny wypadków związanych z konserwacją dźwignów w latach 2010–2016 (UDT)	57

Zeszyt 4/2017

Rudawska A., Prus P., Miturska I., Warda T.: Wytrzymałość wybranych połączeń montażowych blach ze stopu aluminium EN AW-5754	6
Wartanow M.W., Piotroń W.K., Archipow M.W., Miszczenko R.S.: Eksperymentalne badania warunków montowalności w zrobotyzowanym montażu z zastosowaniem czujnika siły i momentu	11
Kłonica M.: Badania skuteczności klejenia kompozytu węglowego	17

Komorek A., Chojnacki K.: Analiza przełomów uderowych połączeń klejowych blokowych	21
Kuczmaszewski J., Łogin W., Pieśko P., Sadowski T., Zawada-Michałowska M.: Wpływ dokładności wykonania elementów połączenia zatraskowego na przebieg montażu	27
Bucior M., Zielecki W., Kubit A.: Konstrukcja głowicy do umacniania blach i doczołowych połączeń spawanych metodą pneumokulowania	32
Barylski A.: Analiza konstrukcji uchwytów obróbkowych w aspekcie montażu	37
Kasperek D., Rudawska A.: Zastosowanie klejenia w budowie autobusów	42
Wiśniewski M., Pietrowiak A., Ciszak O., Peta K., Grochalski K.: Analiza ścieżki narzędzia w operacji montażu z zastosowaniem programu RobotStudio	47
Kubit A., Bucior M., Kluz R.: Wytrzymałość na odzieranie połączenia adhezyjnego kompozytu polimerowo-włóknistego z blachą ze stopu aluminium 2024-T3	54

LISTA RECENZENTÓW ARTYKUŁÓW W CZASOPIŚMIE „TECHNOLOGIA I AUTOMATYZACJA MONTAŻU” W 2017 r.

dr inż. Magdalena Bucior
 dr inż. Sylwia Dziedzic
 dr inż. Andrzej Dzierwa
 prof. dr hab. inż. Victor Eremeev
 dr inż. Lidia Gałda
 prof. dr hab. inż. Krzysztof Gołoś
 prof. dr hab. inż. Witold Gutkowski
 dr hab. inż. Wojciech Homik, prof. PRz
 prof. dr hab. inż. Ihor Hurey
 prof. dr hab. inż. Tadeusz Kasperski
 dr inż. Andrzej Kubit
 prof. dr. hab. inż. Józef Kuczmaszewski

prof. dr hab. inż. Kazimierz Lejda
 dr hab. inż. Adam Marciniak, prof. PRz
 dr inż. Ryszard Perłowski
 dr hab. inż. Anna Rudawska, prof. PRz
 dr hab. inż. Leszek Skoczył, prof. PRz
 dr hab. inż. Mariusz Sobolak, prof. PRz
 prof. dr hab. inż. Feliks Stachowicz
 dr inż. Leszek Tomczewski
 dr inż. Tomasz Trzepieciński
 dr inż. Andrzej Zbrowski
 dr hab. inż. Władysław Zielecki, prof. PRz

XXXI Konferencja Naukowa Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych



XXXI
Konferencja
Naukowa PRMR

TEMAT PRZEWODNI

Maszyny robocze dla górnictwa, budownictwa i drogownictwa

Zakopane, 22-24 stycznia 2018

Dlaczego warto?

Udział w konferencji to doskonała okazja do poznania najnowszych trendów rozwojowych i naukowych w dziedzinie ściśle związanej z rozwojem gospodarczym, oraz integracji środowisk naukowych i przemysłowych związanych z budową i eksploatacją maszyn.

Obecność uznanych autorytetów ze świata nauki i biznesu sprzyja generowaniu wspólnych projektów wspierających innowacyjność, a także poprawiających efektywność nauki. Konferencja stwarza możliwość, także dla młodych naukowców, zaprezentowania swoich referatów, poznania oczekiwań i wymagań przemysłu, natomiast dla praktyków zainteresowanych rozwojem technologii to wspaniała sposobność konfrontacji własnych potrzeb z efektami badań realizowanych przez uczelnie i jednostki badawcze. Praktyka wskazuje, że wspólne działania nauki i przemysłu przynoszą wymierne korzyści, mobilizując do dalszego rozwoju oraz poszukiwań najnowocześniejszych rozwiązań.

Wszystkie nadesłane referaty będą recenzowane przez Komitet Naukowy Konferencji. Streszczenia wszystkich zakwalifikowanych referatów włączonych do programu odpowiednich sesji tematycznych opublikowane zostaną w materiałach konferencyjnych.

Po spełnieniu wymagań właściwych Redakcji przewiduje się w ramach pełnej opłaty konferencyjnej, możliwość publikacji zakwalifikowanych referatów w czasopiśmie:

Journal of KONES (14 pkt), Przegląd Mechaniczny (8 pkt), Przegląd Górniczy (7 pkt)

ORGANIZATORZY:



Instytut
Mechanizacji Budownictwa
i Górnictwa Skalnego



Wydział
Górnictwa i Geologii
Politechniki Śląskiej

JOURNAL OF
KONES
POWERTRAIN AND TRANSPORT



Kruszywa

**PRZEGLĄD
GÓRNICZY**

Więcej informacji oraz rejestracja uczestników na stronie www.prmr.pl

