

fol. IMBiGS

Urządzenia

do montażu elementów złącznych dla budownictwa

- montaż wkrętów farmerskich
- montaż kołków rozporowych
- montaż gwoździa z podkładką



IMBiGS – Oddział Anin

Pracownia Automatykacji i Technologii Montażu
ul. Mrówcza 243, 04-697 Warszawa
e-mail: bz@imbigs.pl, tel.: 22 815 83 15

Posiadamy
wieloletnie doświadczenie
w projektowaniu
i budowie urządzeń

Realizujemy zamówienia
zgodnie z wymaganiami
naszych klientów

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. Michail W. Wartanow (Moskowskij Gosudarstwiennyj Maszynostroieliynyj Uniwersytet, Rosja), prof. Władimir P. Woronienko (Moskowskij Gosudarstwiennyj Technologiczeskij Uniwersytet, Rosja), prof. Jan Żurek (Politechnika Poznańska) – przewodniczący

ADRES REDAKCJI:

Kwartalnik „Technologia i Automatyka 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., Chyliński D.: Wpływ kąta zu- kosowania próbek na wytrzymałość połą- czeń klejowych blach ze stopu aluminium EN AW-5754.	6
Nieoczym A.: Analiza zmiany technologii pro- dukcji części	11
Makarow A.M., Serdobintser J.P., Mushkin D.V., Lapikov M.A.: Strukturalno-parametryczna synteza zautomatyzowanych urządzeń dla napełniania elastycznych kontenerów materiałami sypkimi	14
Kasperek D., Rudawska A.: Wybrane aspekty procesu montażu autobusów z wykorzystaniem technologii klejenia	20
Zawiejski W.: Potencjał wykorzystania nowoczesnych technologii kompozytowych do wytwarzania elementów maszyn montażowych.	26
Zielecki W., Korzyńska K.: Analiza wpływu parametrów pneumokulowania na wytrzymałość zakładkowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V.	33
Barylski A.: Analiza czasochłonności docierania technologicznego powierzchni płaskich w operacjach montażowych.	38
Wartanow M.B., Gashin T.A.Ł.: Analiza rozwiązań technologicznych dla projektowania ładowarki roboczej automatycznej linii montażowej mikrotubów medycznych	44
Rychlik K., Araszkievicz S.: Analiza skuteczności w szkoleniu praktycznym z wykorzystaniem symulatorów maszyn budowlanych	48
Rośkiewicz M., Chudowolska J.: Wpływ łączników mechanicznych na nośność połączeń hybridowych	52
Pasichnyk V.A., Vorontsov B.S.: Reinzyniering przekładni zębatych na bazie modelu zunifikowanego opisu parametrów	55

Rudawska A., Chyliński D.: The influence of samples bevel angle on the strength of bonded joints of aluminum alloy EN AW-5754	6	Рудавска А., Хылински Д.: Влияние угла фазирования образцов на прочность клеевых соединений жестей из алюминиевого сплава EN AW-5754	6
Nieoczym A.: Analysis of changes in production technology detail	11	Неочим А.: Анализ изменения технологии производства детали	11
Makarow A.M., Serdobintser J.P., Mushkin D.V., Lapikov M.A.: Structural-parametric synthesis of automated devices for filling flexible containers with bulk material	14	Макаров А.М., Сердобинтсер И.П., Мушкин Д.В., Лапиков М.А.: Структурно-параметрический синтез автоматизированных устройств для накопления гибких контейнеров сыпучим материалом	14
Kasperek D., Rudawska A.: The selected aspects of bus assembly process with using bonding technology	20	Касперек Д., Рудавска А.: Избранные вопросы сборки автобусов с использованием технологии склеивания	20
Zawiejski W.: Capabilities of modern composites technologies in industrial assembling equipment parts manufacturing	26	Завейски В.: Возможность использования современных композитных технологии для изготовления элементов сборочных машин	26
Zielecki W., Korzyńska K.: Analysis of the impact of pneumatic shot peening parameters on the strength of single lap adhesives joints of titanium alloy Ti6Al4V	33	Зелецки В., Кожинска К.: Анализ влияния параметров пневмошарикового наклепа на прочность клеевых нахлестковых соединений титанового сплава Ti6Al4V	33
Barylski A.: Analysis of time consumption of plane surfaces lapping in assembly operations	38	Барыльски А.: Анализ трудоемкости технологической притирки плоских поверхностей в сборочных операциях	38
Wartanow M.B., Gashin T.A.Ł.: Analysis of efficiency in practical training with use of construction machiner simulators	44	Вартанов М.В., Гашин Т.А.Л.: Анализ и выбор технических решений при проектировании устройств загрузки автоматической линии сборки медицинской микропрбирки	44
Rychlik K., Araszkiwicz S.: Analysis of efficiency in practical training with use of construction machiner simulators	48	Рыхлик К., Арашкевич С.: Анализ успешности практического обучения с использованием моделей строительных машин	48
Rośkowicz M., Chudowolska J.: Impact of mechanical fasteners on the carrying capacity of hybrids	52	Роськович М., Худовольска Я.: Влияние механических соединителей на несущую способность гибридных соединений	52
Pasichnyk V.A., Vorontsov B.S.: Reengineering of gear tools on the basis of the unified description of parameters	55	Пасечник В.А., Воронцов Б.С.: Реинжиниринг зубчатых зацеплений на основе модели унифицированного описания параметров	55

Wskazówki dotyczące przygotowania artykułów

- Artykuły przeznaczone do opublikowania w kwartalniku „Technologia i Automatyizacja 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 Automatyizacja 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 Automatyizacja Montażu” w 2018 r.

Kwartalnik „Technologia i Automatyizacja 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 BEZPIECZEŃSTWA PODSYSTEMU MONTAŻOWEGO W SYSTEMIE PRODUKCYJNYM

Jerzy ŁUNARSKI

Systemy montażowe stanowią finalną część systemów produkcyjnych. W zależności od rodzaju wytwarzanych wyrobów mają one za zadanie zapewnić: bezpieczeństwo, funkcjonalność, niezawodność, trwałość, estetykę lub inne cechy użytkowe odpowiednich wyrobów. Cechy te w większym lub mniejszym stopniu są również kształtowane we wcześniejszych etapach produkcji (przygotowanie materiału, formowanie półfabrykatów, kształtowanie elementów składowych itp.), lecz ich ostateczne właściwości przeważnie uzyskiwane są na etapie montażu.

Istotne i wymagane wartości lub właściwości poszczególnych cech muszą być zdefiniowane przed rozpoczęciem procesu projektowania układów lub systemów montażowych w postaci założeń projektowych wyrobu i procesów jego realizacji. Założenia te są formułowane przez użytkowników, ekspertów i projektantów w oparciu o dostępną wiedzę o warunkach funkcjonowania wyrobu. Wiedza ta jest gromadzona w postaci podstaw teoretycznych funkcjonowania wyrobu, krytycznych uwag użytkowników, wyjawiających ewentualne mankamenty oraz długotrwałych obserwacji funkcjonowania podobnych lub analogicznych wyrobów.

Do priorytetowych cech wyrobu kształtujących jego krytyczne możliwości eksploatacyjne należy bezpieczeństwo. Wspomniane bezpieczeństwo obiektów i systemów należy do tzw. cech krytycznych, które muszą być bezwzględnie spełnione, aby system dopuszczono do użytkowania. Uważa się, że bezpieczeństwo obiektów montażowych to brak niedopuszczalnego ryzyka związanego z możliwością powstania szkody. Ponieważ ryzyko istnieje zawsze – przez bezpieczeństwo należy rozumieć całokształt działań podejmowanych celem przeciwdziałania niebezpieczeństwom (różnym zagrożeniom). Bezpieczeństwem można nazwać prawdopodobieństwo, że niebezpieczne zagrożenie nie wystąpi. Jeśli prawdopodobieństwo takiego niebezpiecznego zdarzenia oznaczyć przez $P\alpha$ to bezpieczeństwo rozpatrywanego obiektu technicznego wyniesie $(1 - P\alpha)$.

W celu uniknięcia zagrożeń obiektów montażu wysiłek projektantów i konstruktorów powinien być skierowany na taki wybór koncepcji funkcjonowania oraz rozwiązań inżynierskich poszczególnych układów, aby obiekt był w pełni bezpieczny. Pojęcie bezpieczeństwa winno być ukierunkowane na następujące aspekty:

- zapewnienie życia i zdrowia personelu obsługującego i mającego styczność z obiektem,
- zapewnienie eliminacji czynników mogących wpływać negatywnie na otaczający ekosystem,
- wyeliminowanie czynników mogących wpływać negatywnie na współpracujące lub sąsiadujące obiekty techniczne.

Istnieje wiele różnych zagrożeń bezpieczeństwa, np.: mechaniczne, elektryczne, chemiczne, elektromagnetyczne, biologiczne i in. z pośród których należy zidentyfikować tzw. zagrożenia znaczące i na nich skupić uwagę projektantów.

Problemy zagrożeń i bezpieczeństwa powinny podlegać ocenie i analizie w trakcie całego procesu projektowania obiektu montażowego i również w określonej mierze w trakcie jego realizacji tzn.:

- w trakcie definiowania założeń projektowych,
- w trakcie formułowania ogólnych koncepcji rozwiązań projektowych,
- w trakcie poszczególnych przeglądów po etapowych w procesie projektowania,
- w trakcie weryfikacji i walidacji projektu,
- z pomocą specjalnie przygotowanej i przeprowadzonej analizy FMEA projektu ze zwróceniem szczególnej uwagi na kwestie bezpieczeństwa.

Jeśli pełne zapewnienie bezpieczeństwa w procesie projektowania obiektu jest utrudnione (ze względów technicznych lub ekonomicznych) wówczas należy:

- zastosować odpowiednie zabezpieczenia źródeł zagrożeń zapewniając ochronę całego otoczenia wraz z personelem (osłony, ekrany, ogrodzenia itp.),
- jeśli powyższe przedsięwzięcia nie dają pełnej gwarancji bezpieczeństwa powinny być uzupełnione odpowiednimi przedsięwzięciami organizacyjnymi (szkolenia, instrukcje, organizacja pracy, procedury postępowania itp.),
- w przypadkach, gdy powyższe działania w oddzielnych sytuacjach i przy specyficznych stanowiskach nie zapewniają pełnego bezpieczeństwa należy przewidzieć konieczność zastosowania odpowiednich środków ochrony osobistej (kaski, nauszники, fartuchy, rękawice, okulary itp.).

W sytuacjach znaczących zagrożeń lub nadzwyczajnych wymagań bezpieczeństwa w sytuacji ograniczeń (czasowych, ekonomicznych i in.) wskazane jest

przeprowadzenie oceny bezpieczeństwa na podstawie specjalnie opracowanej procedury, uwzględniającej specyficzne cechy systemu lub wymagań. Zaleca się, aby procedura ta zawierała następujące elementy:

- a) Opracowanie programu przeprowadzenia oceny bezpieczeństwa ze wskazaniem parametrów oceny, kryteriów, koniecznych czynności i harmonogramu.
- b) Wyznaczenie właściwości projektowanego systemu koniecznych do przeprowadzenia oceny – sposobem analitycznym (dokumentacja, certyfikaty, prawdopodobieństwo) lub doświadczalnie, gdy techniki analityczne okażą się niewystarczające.
- c) Ustalenie priorytetów poszczególnych czynności wchodzących w skład oceny (poziomy zagrożeń, ciężkości następstw).
- d) Wskazanie koniecznych kwalifikacji i kompetencji osób mających przeprowadzić ocenę.
- e) Dobranie odpowiedniej metody i narzędzi koniecznych do przeprowadzenia oceny oraz ewentualne skorzystanie z usług zewnętrznej.
- f) Oszacowanie czasochłonności i kosztów poszczególnych czynności oceny, a jeśli to konieczne to wyznaczenie właściwości poszczególnych czynności.
- g) Opracowanie harmonogramu oceny z uwzględnieniem posiadanych zasobów (personel) i ograniczeń (czas, koszty).
- h) Wykonanie czynności oceny zgodnie z harmonogram lub oraz opracowanie raportu z oceny, który powinien zawierać: zestawienie wymagań, bezpieczeństwo, warunki środowiska pracy i obsługiwanie oraz wykaz czynności do dalszych ocen lub propozycje modyfikacji systemu.

W przypadku dużej różnorodności układów montażowych w systemie produkcyjnym błędy projektowe i eksploatacyjne mogą powodować wadliwość funkcjonowania pogarszające niezawodność całego systemu produkcyjnego. W celu niedopuszczenia do takich sytuacji kierownictwo i pracownicy przedsiębiorstwa powinni

ustanowić skuteczny nadzór nad posiadanymi urządzeniami montażowymi i związanymi z nimi instalacjami zapewniający:

- przestrzeganie ustalonych reżimów pracy,
- wykrywanie stanów przedawaryjnych,
- wycofywanie z eksploatacji maszyn i urządzeń zużytych lub niepełnosprawnych,
- opracowanie procedur postępowania na wypadek zaistnienia sytuacji awaryjnej, zagrażającej bezpieczeństwu.

Ze względu na ważność cech bezpieczeństwa w kreowanych projektach nowych maszyn i urządzeń, opracowano wiele aktów prawnych i normatywnych regulujących ogólne i szczegółowe zasady postępowania mające za zadanie zminimalizowanie prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożeń lub sytuacji awaryjnych. Do ważniejszych wytycznych takiego postępowania można zaliczyć następujące:

- Dyrektywy UE Nowego Podejścia wskazujące minimalne wymagania bezpieczeństwa w poszczególnych grupach wyrobów oraz sposoby ich spełniania.
- Dyrektywa UE dotycząca ogólnego bezpieczeństwa wyrobów nie ujętych w Dyrektywach Nowego Podejścia.
- Ustawy krajowe wprowadzające do praktyki miejscowej legislacji postanowienia Dyrektyw.
- Różnorodne normy bezpieczeństwa zharmonizowane z postanowieniami Dyrektyw Nowego Podejścia.
- Liczne normy krajowe i zagraniczne zawierające szczegółowe rozwiązania różnych wyrobów, zapewniające konieczne poziomy bezpieczeństwa.

Należy podkreślić, że doskonalenie wiedzy projektowania bezpiecznych rozwiązań następuje również dzięki szczegółowym analizom przypadków wystąpienia zagrożeń (lub awarii) w podobnych lub analogicznych wyrobach, zaś troska o bezpieczeństwo winna stać towarzyszyć projektantom, kierownictwu, personelowi obsługującemu i pozostałemu.

WPLYW KĄTA ZUKOSOWANIA PRÓBEK NA WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH BLACH ZE STOPU ALUMINIUM EN AW-5754

The influence of samples bevel angle on the strength of bonded joints of aluminum alloy EN AW-5754

Anna RUDAWSKA, Damian CHYLIŃSKI

S t r e s z c z e n i e: Celem przeprowadzonych badań doświadczalnych było określenie wytrzymałości połączeń klejowych sklejonych doczołowo w zależności od kąta ukosowania próbek. Próbkę ze stopu aluminium EN AW – 5754 zostały zukosowane za pomocą obróbki mechanicznej, stosując 5 wariantów kątów zukosowania oraz wykonano próbki referencyjne, w którym zastosowano kąt prosty (90°). Powierzchnie przeznaczone do łączenia zostały przygotowane z użyciem obróbki mechanicznej za pomocą ściernego narzędzia nasypowego P220 oraz odtłuszczenia. Do wykonania połączeń klejowych zastosowano klej epoksydowy dwuskładnikowy Epidian 57/PAC/1:1. Najtrudniejsze w technologii wykonania były połączenia o kącie zukosowania łączonych elementów α równym 15°, a związane było to m.in. z największą powierzchnią klejenia. Połączenia klejowe po procesie utwardzenia poddano próbie na odrywanie na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell 150, zgodnie z normą ISO 4587. W wyniku analizy porównawczej wyników badań wytrzymałościowej połączeń klejowych doczołowych zukosowanych elementów można zaobserwować, że zukosowanie próbek w niewielkim stopniu korzystnie wpływa na ich wytrzymałość na odrywanie w porównaniu do typowych połączeń klejowych doczołowych, przy czym największą wytrzymałość otrzymano w przypadku kąta zukosowania próbek 70° (i także 30°), a najmniejszą w przypadku łączenia elementów zukosowanych pod kątem 15°.

S ł o w a k l u c z o w e: połączenie klejowe, wytrzymałość, blacha ze stopu aluminium, kąt ukosowania

A b s t r a c t: The aim of this experimental research was to determine the strength of butt bonded joints depending on the bevel angle of the samples. Samples of the aluminum alloy EN AW – 5754 are chamfered by mechanical treatment, using 5 variants bevel angles. The reference samples were also made, which have the 90° angle. The mashing process using P220 abrasive tool and degreasing was used as surface treatment for bonding. Epidian 57/PAC/1:1 two-component epoxy adhesive was applied to prepare the bonded joints. The hardest part of the bonding technology was joining the samples with a bevel angle equal to 15°, this was related to the largest surface bonding. After curing process the bonded joints were destructive tested. Zwick/Roell 150 testing machine was used to strength test and the test was carried out according to ISO 4587 standard. Based on the comparison test results of the butt bonded joints strength of beveled elements it can be notice that the chamfering of samples allow to obtain the similar strength as conventional adhesive bonds butt. The highest bonded joints strength was obtained for bonded joints of 70° (and also 30°) bevel angel of samples, but it is the smallest for the case of 15° bevel angle of samples.

K e y w o r d s: adhesive joints, bevel angle sample, strength, aluminium alloy

Wprowadzenie

Wytrzymałość połączeń klejowych zależy od wielu czynników technologicznych, konstrukcyjnych, materiałowych oraz eksploatacyjnych [4-6, 9]. Wykonanie prawidłowego połączenia klejowego wiąże się z koniecznością poznania różnych zagadnień technologii klejenia oraz stosowania się do wytycznych obejmujących konkretny rodzaj przygotowywanego połączenia. Ważne jest, aby poznać właściwości oraz rodzaj łączonych elementów, ponieważ to od nich zależą dalsze czynności procesu klejenia. Czynniki konstrukcyjne, takie jak kształt oraz wymiary konstrukcji połączenia klejowego wpływają na dobór odpowiedniej metody nakładania masy klejowej, wartości nacisku oraz użycia odpowiedniego oprzyrządowania technologicznego [8]. Warunki eksploatacji połączenia klejowego, czyli obciążenia oraz środowisko decydują m.in. o przyjęciu rozwiązania konstrukcyjnego oraz wyborze odpowiedniego kleju. Czynniki konstrukcyjne w istotny sposób wpływają na wytrzymałość połączeń klejowych [1, 3, 4], dlatego ważna jest ich wcześniejsza analiza. W pracach [2, 6] przedstawiono wyniki badań połączeń

klejowych jednozakładkowych, wskazujących na to, że kąt ukosowania łączonych próbek korzystnie wpływa na zwiększenie wytrzymałości takich połączeń nawet o 30% (w przypadku połączeń klejowych zakładkowych zukosowanych). Zukosowanie łączonych elementów przyczynia się do zmiany sztywności połączenia w strefie przykrawędziowej, dzięki czemu następuje zmniejszenie spiętrzenia naprężeń w takich połączeniach, co pozytywnie wpływa na wzrost wytrzymałości połączeń zakładkowych. Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu kąta zukosowania próbek wykonanych ze stopu aluminium EN AW-5754 o grubości 2 mm na wytrzymałość połączeń klejowych sklejonych doczołowo. Zukosowanie dotyczy zmiany kształtu na szerokości (oraz długości) łączonych próbek.

Badania doświadczalne

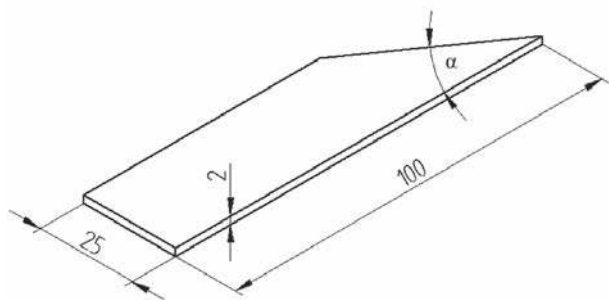
Materiał i kształt łączonych próbek

Do wykonania połączeń klejowych wykorzystano próbki wykonane z blachy ze stopu aluminium EN AW-5754 o grubości $g = 2$ mm, które mają średnią

wytrzymałość na rozciąganie – 209 MPa [10]. Skład chemiczny blach aluminiowych EN AW-5754 przedstawiono w tab. I.

Tabela I. Skład chemiczny blachy ze stopu aluminium [10]
Table I. Chemical composition of aluminium alloys sheet [10]

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



Rys. 1. Kształt i wymiary próbek wykorzystywanych do badań
Fig. 1. The shape and samples dimensions used in experiment

Wymiary geometryczne próbek (rys. 2), przeznaczonych do łączenia, były równe:

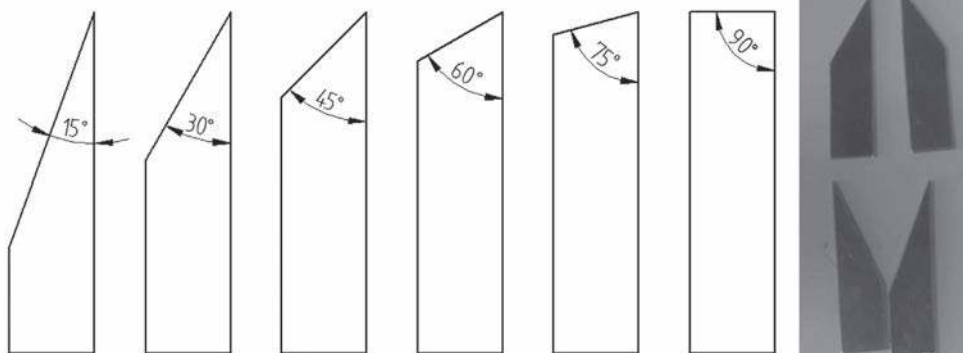
- długość łączonych elementów (długość dłuższego boku): $l = 100$ mm,
- szerokość łączonych elementów: $b = 25$ mm,
- grubość łączonych elementów: $\delta = 2$ mm,
- kąty zukosowania łączonych elementów: $\alpha: 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$.

Długość krótszego boku próbki była uzależniona od zastosowanego kąta zukosowania.

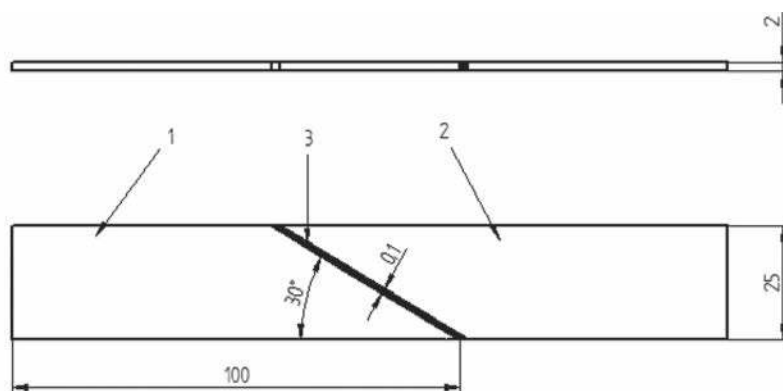
Próbki o przyjętych wymiarach zostały wycięte z arkusza blachy ze stopu aluminium EN AW-5754 przy pomocy gilotyny ręcznej do blach. Wykonane próbki zostały podzielone na 6 grup w zależności od kąta ukosowania próbek.

Połączenia klejowe

W badaniach wykonano 6 serii (w każdej od 7 do 10 sztuk) połączeń klejowych, w których elementy zukosowano pod różnymi kątami, przy czym jedna seria dotyczyła połączeń elementów o kącie prostym – klasycznych połączeń doczołowych. Wymiary geometryczne połączeń klejowych były uzależnione od serii badawczej.

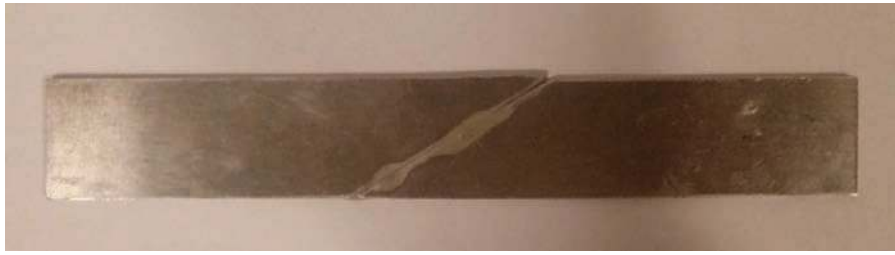


Rys. 2. Kąty zukosowania próbek
Fig. 2. The samples bevel angle



Rys. 3. Schemat połączenia klejowego o kącie zukosowania próbek, wynoszącym 30° : 1, 2 – próbki ze stopu aluminium EN AW-5754, 3 – spoina klejowa kleju epoksydowego Epidian 57/PAC/1:1

Fig. 3. Scheme of the bonded joint with bevel angle of 30° of the samples: 1, 2 – EN AW-5754 aluminum alloy sample, 3 – adhesive layer of Epidian 57/PAC/1:1 epoxy adhesive



Rys. 4. Przykładowe połączenie klejowe wykorzystywane w badaniach o kącie zukosowania próbki wynoszącym 30°
Fig. 4. Examples of the bonded joint used in the study with bevel angle of 30° of the sample

Na rys. 3 i 4 przedstawiono schemat oraz widok przykładowego połączenia klejowego o kącie zukosowania łączonych elementów wynoszącym 30°.

Warunki wykonania połączeń klejowych

Proces klejenia rozpoczęto od przygotowania powierzchni, które polegało na obróbce mechanicznej za pomocą ściernego narzędzia nasypowego P220, a następnie powierzchnie odtłuszczono za pomocą środka Loctite 7063. Powierzchnia została odtłuszczona trzykrotnie, a operacja ta miała na celu usunięcie różnego rodzaju zanieczyszczeń powstałych po obróbce mechanicznej.

Do wykonania połączeń wykorzystano klej epoksydowy dwuskładnikowy, zawierający żywicę epoksydową Epidian 57 oraz utwardzacz PAC (Epidian 57/PAC/1:1). Składniki kleju wymieszano mechanicznie za pomocą mieszadła, zgodnie z parametrami oraz procedurą przedstawioną w pracy [7]. Klej nakładano szpachelką wykonaną z tworzywa polimerowego tuż po przygotowaniu kleju. Zwrócono szczególną uwagę na grubość i równomierność grubości spoiny na całej powierzchni sklejenia, dostosowując ją do grubości zalecanych w literaturze (0,05 mm–0,15 mm [4]). Wszystkie połączenia zostały przygotowywane w temperaturze otoczenia $24 \pm 1^\circ\text{C}$ oraz wilgotności powietrza $24 \pm 1\%$.

Po nałożeniu kleju powierzchnie próbek złączono i ustalono w specjalnym przyrządzie ustalającym, po czym połączenia zostały poddane procesowi utwardzania. Proces utwardzania był przeprowadzony na zimno, w temperaturze otoczenia ($24 \pm 1^\circ\text{C}$) i wilgotności $24 \pm 1\%$, w czasie 14 dni. Próbkę po procesie utwardzania zostały poddane kontroli poprawności wykonania.

Najtrudniejsze w technologii wykonania były połączenia o kącie zukosowania α równym 15° , co było związane z największą powierzchnią klejenia. Najłatwiejsze do wykonania pod względem technologicznym były połączenia doczołowe o kącie ukosowania $\alpha = 90^\circ$, o najmniejszej powierzchni sklejenia.

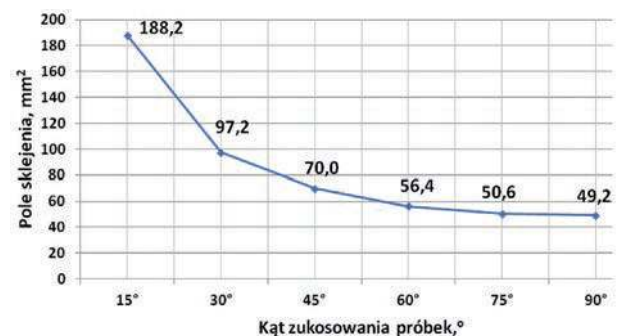
Wyniki badań i ich omówienie

Po procesie utwardzania i kontroli wymiarowo-kształtowej poprawności wykonania połączeń klejowych, zostały one poddane próbie wytrzymałościowej, zgodnie z normą ISO 4587, na maszynie wytrzymałościowej firmy

Zwick/Roell Z150. Wybrane rezultaty badań wytrzymałości połączeń klejowych poddano analizie statystycznej, wykorzystując analizę statystyczną ANOVA oraz program Statistica.

Pole sklejenia

Poniższy rysunek (rys. 6) prezentuje wpływ kąta zukosowania łączonych próbek na pole powierzchni sklejenia. Można dostrzec, że wraz ze wzrostem kąta zukosowania próbek maleje pole połączenia klejowego.



Rys. 6. Wpływ kąta zukosowania próbek na pole sklejenia
Fig. 6. The influence of bevel angle of samples on bonding field

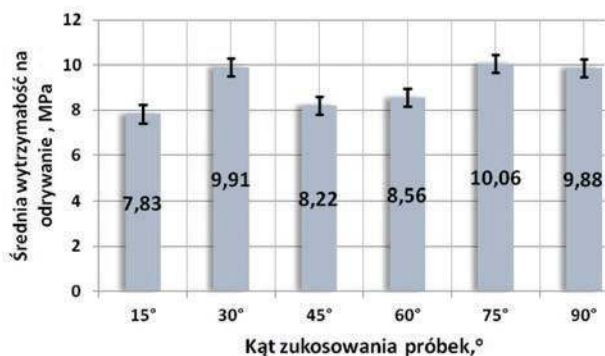
Największe pole sklejenia uzyskano stosując kąt zukosowania próbek wynoszący 15° – 188,16 mm², a najmniejsze dla kąta α równego 90° – 49,19 mm². Średnia grubość spoiny klejowej wyniosła ok. $0,10 \pm 0,02$ mm.

Wytrzymałość połączeń klejowych

Wyniki badań wytrzymałościowych, przedstawione na rys. 7, poddano analizie porównawczej wytrzymałości na odrywanie połączeń klejowych doczołowych o różnych kątach zukosowania łączonych próbek.

Na podstawie analizy wytrzymałościowej badanych połączeń klejowych można zaobserwować, że zukosowanie łączonych próbek korzystnie wpływa na ich wytrzymałość na odrywanie. W przeprowadzonych badaniach największą wytrzymałość na odrywanie uzyskano stosując kąty zukosowania 75° oraz 30° , która wyniosła odpowiednio 10,06 MPa oraz 9,91 MPa. Natomiast najmniejszą wartość wytrzymałości na odrywanie uzyskano stosując

kąt zukosowania próbki 15°, która wyniosła 7,83 MPa, co stanowi 78% największej wartości wytrzymałości połączeń klejowych, w których kąt zukosowania klejonych elementów wyniósł 75°. Równie małą wytrzymałość na odrywanie uzyskało połączenie o kącie ukosowania 45° – 8,22 MPa (rozzrut wyników wynosi 2,23 MPa, co stanowi 22%).



Rys. 7. Średnia wytrzymałość na odrywanie połączeń klejowych dla poszczególnych kątów zukosowania łączonych próbek
Fig. 7. The average tearing strength of the bonded joints for various bevel angles of the samples

W celu przeprowadzenia analizy statystycznej ANOVA ($n > 2$), sprawdzono normalność rozkładu, na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, wykorzystując test Shapiro-Wilka. W przypadku grupy próbek połączeń klejowych, z kątem zukosowania 60°, rozkład wyników nie jest zgodny z rozkładem normalnym. W związku z powyższym oraz z powodu różnej liczebności prób w danej grupie (N), przeprowadzono test statystyki nieparametrycznej – test Tukeya istotnych różnic dla grup połączeń o różnej liczebności oraz zbadano grupy jednorodne testem post-hoc – HSD Tukeya przy zadanym przedziale ufności. Na podstawie uzyskanych wyników (tab. II) można stwierdzić, że pomiędzy poszczególnymi grupami nie występują istotne różnice.

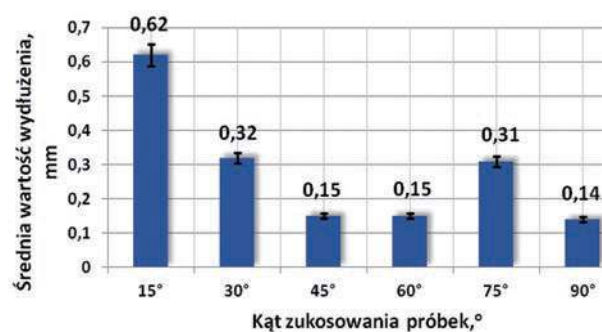
Tabela II. Wyniki analizy statycznej rezultatów przedstawionych na rys. 7
Table II. Statistical results of results presented in fig. 7

Nr podkl.	HSD (nierówne N); zmienna Wytrzymałość na ścinanie przy rozciąganiu [MPa] Grupy jednorodne, alfa = ,05000 Błąd: MS międzygrupowe = 3,3852, df = 14,000		
	Kąt zukosowania próbek	Wytrzymałość na ścinanie przy rozciąganiu [MPa] Średnie wartości	Oznaczenie grup jednorodnych
1	15°	7,83	****
3	45°	8,22	****
4	60°	8,56	****
6	90°	9,88	
2	30°	9,91	
5	75°	10,06	

Na podstawie otrzymanych rezultatów można stwierdzić, iż najmniej odpowiednie jest stosowanie kąta ukosowania 15° podczas kształtowania elementów łączących w połączeniach klejowych. Pod względem wytrzymałości połączeń klejowych w większości przypadków korzystne jest wykorzystywanie kątów większych od 45°. Zbyt mały kąt ukosowania połączenia klejowego doczołowego niekorzystnie wpływa na wytrzymałość takiego połączenia oraz na technologię wykonania tego rodzaju połączeń. Najkorzystniej jest stosować kąty ukosowania 75° (także 30°), choć zbliżoną wytrzymałość uzyskano w przypadku zastosowania połączenia doczołowego (o prostokątnych powierzchniach łączonych elementów), wykazano brak statystycznie istotnych różnic wartości wytrzymałości pomiędzy tymi trzema grupami połączeń, na przyjętym poziomie ufności – tab. II.

Wydłużenie

Analizie poddano także wydłużenie rozpatrywanych połączeń klejowych (rys. 8).



Rys. 8. Średnia wartość wydłużenia połączeń klejowych dla poszczególnych kątów zukosowania łączonych próbek
Fig. 8. The average value of the bonded joints elongation for various bevel angles of the samples

Największym średnim wydłużeniem charakteryzują się połączenia klejowe, w których sklejono elementy zukosowane pod kątem 15° . Może być to związane z największym polem powierzchni sklejenia, które wyniosło $188,16 \text{ mm}^2$ i połączenie było poddane największej sile niszczącej – $1464,84 \text{ N}$. Dla tego połączenia średnia wartość wydłużenia wyniosła $0,62 \text{ mm}$. Najmniejszym wydłużeniem średnim charakteryzują się połączenia klejowe o kącie zukosowania 90° (połączenia doczołowe) – $0,14 \text{ mm}$. Średnie pole powierzchni sklejenia takiego połączenia było najmniejsze – $49,19 \text{ mm}^2$. Równie małym wydłużeniem wyróżniają się połączenia klejowe o kątach ukosowania 45° oraz 60° – $0,15 \text{ mm}$. Wydłużenie rośnie dla kątów ukosowania zarówno mniejszych, jak i większych od 45° . Wydłużenie połączeń klejowych w przypadku próbek zukosowanych pod kątem 45° oraz 60° stanowi 24% wydłużenia połączeń klejowych, w których próbki zukosowano pod kątem 15° .

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań, dokonanej analizie porównawczej wytrzymałości na odrywanie oraz wydłużenia i analizy statycznej uzyskanych wyników można stwierdzić, że najbardziej korzystne jest stosowanie kąta ukosowania 75° . Wytrzymałość takich połączeń jest największa. Równie dobre właściwości wytrzymałościowe wykazuje połączenie o kącie ukosowania 30° , a także połączenie doczołowe (kąt 90°). W wyżej wymienionych rodzajach połączeń brak jest statystycznie istotnych różnic średnich wartości wytrzymałości na przyjętym poziomie ufności. Najmniej korzystne okazało się łączenie próbek mających zukosowanie wynoszące 15° . Takie połączenia charakteryzują się niższą wytrzymałością od pozostałych połączeń. Na podstawie przeprowadzonych badań można zaobserwować, że kąt zukosowania łączonych elementy nie wpływa znacząco na poprawę wytrzymałości połączeniach klejowych, przy czym wpływ ten zależy jest od wartości kąta ukosowania. Należy podkreślić, że ukosowanie próbek wzdłuż szerokości w pewnym zakresie kątów zukosowania pozwala uzyskać niewielki wzrost wytrzymałości, jednak nie należy stosować małych kątów zukosowania, gdyż wytrzymałość takich połączeń jest mniejsza, a ponadto występują trudności technologiczne w ich wykonaniu.

Przedstawione wyniki badań oraz wnioski dotyczą materiału wykorzystywanego do badań doświadczalnych, czyli blach ze stopu aluminium EN AW – 5754 oraz zaprezentowanych warunków technologicznych.

LITERATURA

- [1] Adams R.D., J.A. Harris. 1987. "The influence of local geometry on the strength of adhesive joints". *International Journal of Adhesion and Adhesives* (7): 69–80.
- [2] Adams R.D., J. Comyn, W.C. Wake. 1997. "Structural Adhesive Joints in Engineering Book" 2nd edition, United Kingdom, *Springer*.
- [3] Da Silva L.F.M. et. al. 2009. "Effect of material, geometry, surface treatment and environment on the shear strength of single lap joints". *International Journal of Adhesion and Adhesives* (29): 621–632.
- [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] Kuczmaszewski J. 1995. „Podstawy konstrukcyjne i technologiczne oceny wytrzymałości adhezyjnych połączeń metali”. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej.
- [7] Rudawska A., J. Kuczmaszewski. 2012. „Badania porównawcze efektów modyfikacji żywic epoksydowych napełniaczami o dużym stopniu rozdrobnienia dla wybranych utwardzaczy”. *Przetwórstwo Tworzyw* (5): 500–504.
- [8] Rudawska A. 2015. "Pressure during curing and the strength of 2024, 2017A and 1050 aluminium alloy sheet adhesive joints". *Advances in Science and Technology Research Journal* (9): 96–103.
- [9] Szabelski J. 2014. „Badania wpływu obróbki cieplnej doczołowych połączeń klejowych na ich wytrzymałość statyczną”. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej.
- [10] <http://www.sebros.eu/aluminium/aluminium-EN-AW-5754>, dostęp 01.2017.

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. Damian Chyliński – absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej

ANALIZA ZMIANY TECHNOLOGII PRODUKCJI CZĘŚCI

Analysis of changes in production technology detail

Aleksander NIEOCZYM

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę kosztów wykonania uchwytu mocowania motoreduktora uniwersalnego przenośnika odpadów. Zaproponowano dwie metody wykonania: spawanie elementów składowych oraz gięcie półfabrykatu. Wykorzystując własne wzory obliczono czasy wykonania i koszty produkcji. Wykazano, że rozwiązaniem ekonomicznym będzie element gięty na prasie krawędziowej.

Słowa kluczowe: operacja technologiczna, czas procesu technologicznego, koszt wykonania

Abstract: The article presents an analysis of the cost of the handle mounting geared universal waste conveyor. It proposed two methods: welded components and bending the blank. Using your own designs calculated execution times and production costs. It has been shown that the solution to be economically element bent on a press brake.

Keywords: technological operation, processing time, cost of production

Wprowadzenie

Maszyny i urządzenia technologiczne, szczególnie wielkogabarytowe, budowane są w technologii modułowej. Umożliwia to wykonywanie zunifikowanych typoszeregów w zależności od specyfikacji nabywcy. Kolejną zaletą jest montowanie urządzenia bezpośrednio u klienta. Wykonywanie modułów obniża koszty produkcji całego urządzenia, wpływa też na zmniejszenie kosztów montażu, napraw i ewentualnej rozbudowy. Obecnie presja na obniżenie kosztów produkcji finalnego produktu powoduje

dążenie do zmniejszenia czasu produkcji i obniżenia kosztów pojedynczych części i zespołów wchodzących w skład urządzenia. Jednym ze sposobów obniżenia kosztów pojedynczych części jest zmiana technologii ich wykonywania. Bazując na doświadczeniu związanym z modernizacją [3] oraz zmianami konstrukcyjno-technologicznymi maszyn i urządzeń [1, 2] autor przeprowadził analizy wiążące technologię wykonania części z kosztami ich produkcji. W artykule przedstawiono zarys prac prowadzonych w firmie Sigma S.A. [4]. Opisano przeprowadzoną analizę czasu i kosztów wykonania uchwytu motoreduktora (rys. 1) uniwersalnego przenośnika odpadów [5]. Uchwyt utrzymuje motoreduktor we właściwym położeniu względem podajnika oraz zapobiega obróceniu motoreduktora względem osi wału napędowego. Zaproponowano dwa rozwiązania konstrukcyjne – w pierwszym uchwyt wykonano jako element składający się z pięciu blach zespawanych ze sobą. Druga metoda polegała na kształtowaniu uchwytu podczas gięcia na prasie krawędziowej.

Podczas analizy kosztów operacji wykorzystano własne wzory empiryczne, umożliwiające obliczenie czasów operacji technologicznych wypalania, spawania i gięcia. Weryfikacja poprawności wzorów nastąpiła dzięki pomiarom czasów na stanowiskach roboczych, a także w wyniku konsultacji z technologami.

Czas wypalania t_w obliczany jest na podstawie wzoru:

$$t_w = A \frac{L_1}{v_{1i}} + B \frac{L_2}{v_{2i}} + C \frac{L_3}{v_{3i}} + D \frac{L_4}{v_{4i}} + X \cdot 1[s] + Y \cdot 1,5[s] \quad (1)$$

gdzie:

A – ilość wypalanych otworów, B – ilość wypalanych pierścieni, C – ilość wypalanych kwadratów, D – ilość wypalanych kształtów 1/4 koła,

L_1 – obwód wypalanego otworu, L_2 – obwód wypalanego pierścienia, L_3 – obwód wypalanego kwadratu, L_4 – długość linii wypalanej 1/4 koła, i – grubość blachy



Rys. 1. Mocowanie motoreduktora za pomocą uchwytu giętego [4]
Fig. 1. Fixing the gear motor with the handle bent [4]

v_1 – prędkość wypalania otworu, v_2 – prędkość wypalania pierścienia, v_3 – prędkość wypalania kwadratu, v_4 – prędkość wypalania 1/4 koła, X – ilość załamań linii wypalania w danym elemencie, Y – ilość przerw w linii wypalania danego elementu

Czas gięcia t_g na prasie krawędziowej

$$t_g = \frac{i \cdot n_i}{v_g \cdot u_e} \quad (2)$$

gdzie:

v_g – prędkość gięcia [ilość gięć / min]; przyjmowana jest na podstawie własnych obserwacji

i – ilość sztuk detalu

n_i – ilość gięć w detalu

u_e – ilość detali giętych w tym samym czasie

Czas spawania t_{sp} jednego detalu:

$$t_{sp} = \frac{L_c}{v} + P \cdot 10[s] \quad (3)$$

gdzie:

L_c – całkowita długość spoin [mm],

v – prędkość spawania [mm/s]

P – ilość pozycji spawania, 10 [s] – przelicznik wyrażony w sekundach

Obliczenie czasów operacji technologicznych

Czas wykonania uchwytu spawanego

Uchwyt motoreduktora wykonany w wyniku spawania wymaga wypalania pięciu elementów z blachy o grubości 8 mm. Czasy wypalania zostały obliczone z wykorzystaniem wzoru (1).

Całkowity czas wypalania części składowych obliczony ze wzoru (1) wynosi $t_w = 192$ [s].

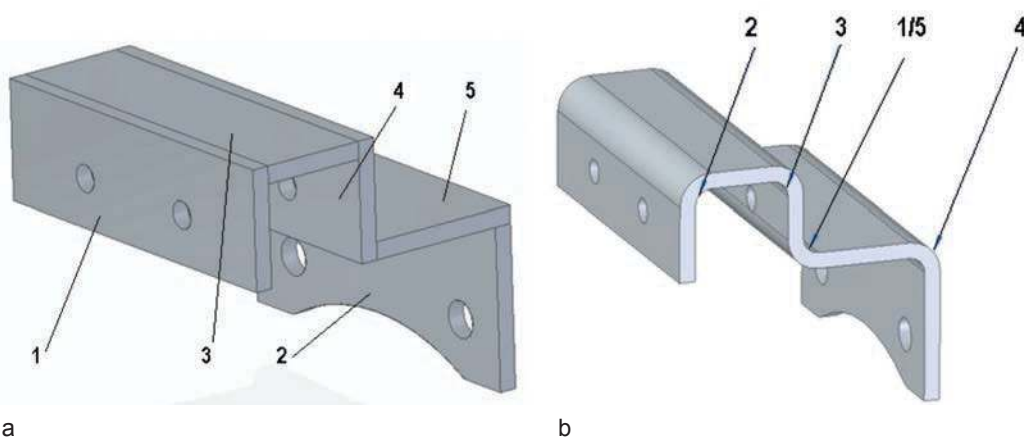
Uchwyt spawany jest w czterech miejscach, spoinami pachwinowymi o wysokości $h = 5$ mm, długość każdej ze spoin jest równa $l = 166$ mm. Prędkość spawania $v = 600$ mm/min.

Czas spawania obliczony wg wzoru (3) – $t_{sp} = 96,8$ [s]

Tabela I. Składowe wzoru do obliczenia czasów wypalania poszczególnych elementów uchwytu motoreduktora

Table I. The components of the formula to calculate the time of the firing of individual elements of the handle of the gear motor

Opis operacji	Symbol	Element			
		1, 4	2	3	5
Ilość wypalanych otworów	A	2	2	–	–
Ilość wypalanych kwadratów	C	1	1	1	1
Ilość wypalanych 1/4 koła	D	–	1	–	–
Ilość załamań linii wypalania	X	4	6	4	4
Ilość przerw w linii wypalania	Y	2	2	0	0
Obwód wypalanego otworu [mm]	L_1	39,25	53,4	–	–
Obwód wypalanego kwadratu [mm]	L_3	440	360,6	428	474
Długość linii wypalanej 1/4 koła [mm]	L_4	–	124,5	–	–
Prędkość wypalania otworu [mm/s]	V_1	17,94	17,94	–	–
Prędkość wypalania kwadratu [mm/s]	V_3	16	16	16	16
Prędkość wypalania 1/4 koła [mm/s]	V_4	–	14,95	–	–
Czas wypalania [s]	t	39,0	46,0	31,0	32,0



Rys. 2. Uchwyt motoreduktora: a – spawany (cyframi zaznaczono elementy składowe), b – gięty z zaznaczoną kolejnością wykonywania zagięć

Fig. 2. Handle the gear motor a – welded (numbers indicated components), b – handle bent, selected sequencing of folds

Tabela. II. Porównanie czasu i kosztów wykonania uchwytu
Table. II. Comparison of the time and cost of the handle

Koszt wykonania uchwytu poprzez wypalanie a następnie spawanie elementów składowych			Koszt wykonania uchwytu poprzez wypalanie a następnie gięcie		
Czas wypalania		Koszt [zł]	Czas wypalania		Koszty [zł]
1 sztuka	100 sztuk		1 sztuka	100 sztuk	
192 [s]	5,33 [h]	640	74,37s	2,06	247,2
czas przygotowawczo-zakończeniowy	0,5 [h]	60	czas przygotowawczo-zakończeniowy	0,25 [h]	30
Czas spawania			Czas gięcia		
	2,7 [h]	229,5		2,1 [h]	178,5
czas przygotowawczo-zakończeniowy	2,2	187	czas przygotowawczo-zakończeniowy	0,25 h	25
koszt arkusza blachy		1320	koszt arkusza blachy		1320
całkowity koszt		2436,5	całkowity koszt		1800,7

Czas wykonania uchwytu giętego

Drugi sposób wykonania uchwytu polegał na wypaleniu z blachy prostokąta a następnie otworów walcowych oraz wypaleniu na krótszej krawędzi zarysu łuku o obwodzie $\frac{1}{4}$ okręgu. Tak wykony półfabrykat poddano operacji gięcia. Do obliczeń przyjęto wartości identyczne jak w tab. I. Dodatkowe wartości: ilość załamań linii wypalania w danym elemencie $X = 12$, ilość przerw w linii wypalania danego elementu $Y = 6$. Po podstawieniu do wzoru (1), uzyskano czas wypalania $t_w = 74,37$ s. Po wypaleniu kształtu półproduktu dokonuje się kształtowania na giętarcie. Gięcie nr 3 zostało podzielone na dwa gięcia 1 i 5 ze względów technologicznych, gięcie (1) – 111° oraz gięcie (5) = 90° (rys. 2b). Do obliczenia czasu gięcia przyjęto następujące wartości: prędkość gięcia $v_g = 4$ [1/min], ilość sztuk detalu $i = 100$, ilość gięć w detalu $n_i = 5$, ilość detali giętych w tym samym czasie $u_e = 1$. Czas gięcia 100 sztuk obliczony na podstawie wzoru (2) wynosi $t_g = 125$ min.

Sumaryczne koszty wykonania uchwytu dwiema metodami zamieszczono w tab. II.

Podsumowanie

Analiza kosztów wykazała, że koszt wykonania 100 sztuk uchwytów podczas wypalania i gięcia jest niższy w porównaniu do produkcji opartej o wypalanie i spawanie i wynosi odpowiednio 1800,7 i 2436,5 zł. Dodatkowo,

w celu określenia czy zmiana technologii wykonania wpływa na wytrzymałość elementu przeprowadzono analizę wytrzymałościową MES. Analiza wykazała, że metoda wykonania nie ma wpływu na wartość naprężeń zredukowanych. Maksymalna wartość naprężeń wynosi 70 MPa. Rozkład przemieszczeń jest także zbliżony, a największe wartości występują na powierzchni czołowej uchwytu mają wartość 1,4 mm. Obniżki kosztów dodatkowo należałoby spodziewać się stosując blachę o mniejszej grubości.

LITERATURA

- [1] Kohár R. et. al. 2016. "Numerical analysis of roller bearing". Applied Computer Science, vol. 12, (1): 5–16.
- [2] Krzysiak Z. i in. 2016. „Modelowanie urządzenia czyszczącego w programie Inventor”. *Mechanik* (3).
- [3] Nieoczym A., Z. Krzysiak, W. Samociuk. 2016. „Modernizacja maszyn używanych w gospodarstwie rolnym”. Komputerowo wspomagane projektowanie maszyn. Cz. 1; (red.) Jonak J., Politechnika Lubelska: 54–72.
- [4] www.sigmasa.pl, dostęp 7.02.2017.
- [5] www.sigmasa.pl/oferta/ochrona-srodowiska/20/23/linie-technologiczne.html, dostęp 17.02.2017.

dr inż. Aleksander Nieoczym – Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: a.nieoczym@pollub.pl

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ НАПОЛНЕНИЯ ГИБКИХ КОНТЕЙНЕРОВ СЫПУЧИМ МАТЕРИАЛОМ

Strukturalno-parametryczna synteza zautomatyzowanych urządzeń do napełniania elastycznych kontenerów sypkim materiałem

Structural-parametric synthesis of automated devices for filling flexible containers with bulk material

Alexey M. MAKAROW, Yuri P. SERDOBINTSEV, Oleg V. MUSHKIN, Maksim A. LAPIKOV

А н н о т а ц и я: Разработана модульная схема расфасовочного комплекса и структурно-функциональные схемы наиболее сложных с точки зрения автоматизации модулей: устройства дозирования и устройства для манипулирования гибким контейнером при наполнении. Разработан ряд конструкций систем автоматической расфасовки. Проведено компьютерное моделирование процесса захвата гибкого контейнера вакуумными захватными устройствами. Обработанные результаты экспериментальных исследований показали хорошую сходимость с теоретическими расчетами и компьютерным моделированием.

К л ю ч е в ы е с л о в а: расфасовка, гибкий контейнер, сыпучий материал, вакуумный захват, компьютерное моделирование

S t r e s z c z e n i e: W pracy przedstawiono modułowy schemat rozdzielającego kompleksu oraz strukturalno-funkcjonalne schematy najbardziej złożonych z punktu widzenia automatyzacji modułów: urządzenia dozujące i urządzenia dla manipulowania elastycznymi pojemnikami w trakcie napełniania. Opracowano szereg systemów konstrukcyjnych dla automatycznego rozdzielania. Przeprowadzono komputerowe modelowanie procesu chwytania elastycznego pojemnika za pomocą próżniowego urządzenia chwytowego. Opracowane wyniki badań eksperymentalnych wykazały dobrą porównywalność z obliczeniami teoretycznymi i modelowaniem komputerowym.

S ł o w a k l u c z o w e: napełnianie, elastyczny pojemnik, sypki materiał, chwytak próżniowy, modelowanie komputerowe

A b s t r a c t: The modular diagram of packaging system and structural-functional diagrams of the most complex with relation to automation modules have been developed. These modules are batching devices and devices for manipulating of flexible container at filling. Set of constructions of automatic packaging systems has been developed. Computer modeling of the gripping processes a flexible container by vacuum gripping devices has been carried out. Processed results of experimental investigations showed good precision with theoretical calculations and computer modeling.

K e y w o r d s: packaging, flexible container, bulk material, vacuum gripping devices, computer modeling

Введение

В условиях постоянного роста требований к оптимизации технологических процессов и операций на современных производствах, в частности, в таком виде сборочных процессов, как расфасовка, всё острее встаёт вопрос комплексной автоматизации. Полная автоматизация процесса расфасовки сыпучих материалов в гибкие контейнеры является перспективным и актуальным направлением, так как позволяет значительно увеличить производительность, а также вывести оператора из вредной рабочей зоны при расфасовке взрывоопасных или сильнопылящих материалов.

Обзор существующих устройств показал, что задача комплексной автоматизации процесса расфасовки является достаточно сложной. Существует ряд устройств [1, 2], позволяющих осуществлять

автоматическую загрузку сыпучего материала, однако операции замены гибкой тары на рабочей позиции производятся вручную. Также существуют устройства [3, 4, 5] позволяющие захватывать гибкую тару и перемещать ее на позицию загрузки, однако наполненная тара в них перемещается на позицию хранения с открытой горловиной, что может привести к потере части материала. При этом часть устройств не способна осуществить надежный захват гибкой тары, что может привести к остановке всего производства.

На основании анализа недостатков существующих устройств в этой области, а также подходов к проектированию и изготовлению подобных устройств, целью исследования является повышение эффективности проектирования, изготовления и эксплуатации систем автоматизированной расфасовки сыпучих материалов за счет разработки методики структурно-параметрического синтеза таких систем.

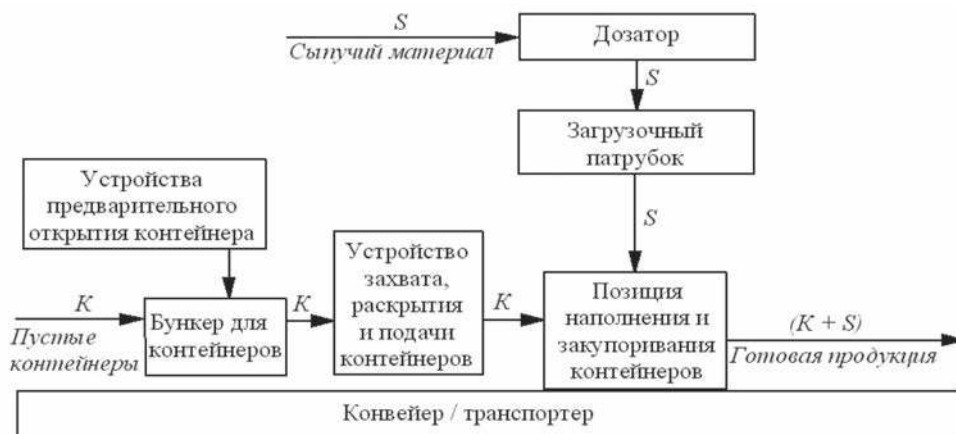


Рис. 1. Модульная схема построения расфасовочных комплексов
 Rys. 1. Modułowy schemat budowy opakowanie kompleksów
 Fig. 1. The modular diagram construction of filling complexes

Модульная структура построения расфасовочных комплексов

Процесс расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару – достаточно сложная техническая задача, включающая в себя использование различных видов технологического оборудования: дозаторов, транспортеров, устройств захвата и т.д. При проектировании упаковочного оборудования, а также при комплектовании автоматизированных расфасовочных линий может быть использован принцип структурно-функционального подхода [6, 7] с модульной схемой построения системы.

На рис. 1 представлена разработанная модульная схема построения расфасовочного комплекса. Она представляет собой набор модулей, которые являются элементами системы. При этом любой модуль подбирается с учетом свойств расфасовываемого материала, требований к точности расфасовки, а также типа и свойств упаковочной тары.

Каждый элемент данной схемы может быть представлен в расфасовочном комплексе большим спектром устройств. Большинство из них уже имеют достаточную степень автоматизации. Однако некоторые либо совсем не используются и заменяются человеком, либо не автоматизированы в полной мере.

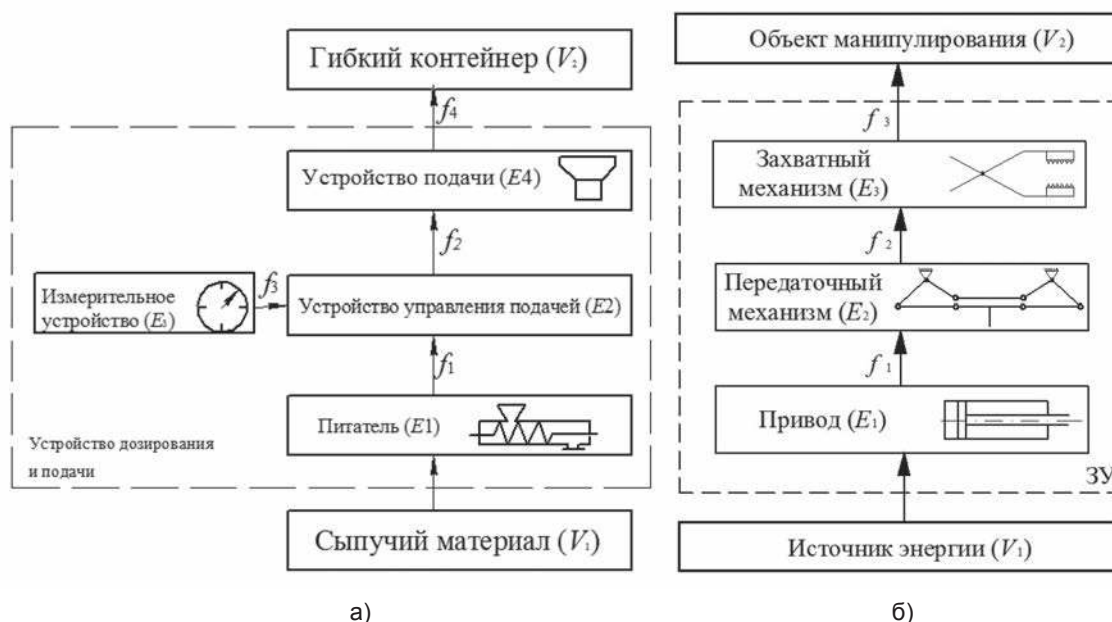


Рис. 2. Структурно функциональная схема: а) – устройство дозирования; б) – устройство захвата, раскрытия и подачи контейнера
 Rys. 2. Strukturalnie funkcjonalny schemat: a) urządzenie dozowania, b) urządzenie przechwytywania, ujawnienia i złożenia kontenera
 Fig. 2. Structurally functional diagram: a) - dosing device; b) – the device of capture, opening and the movement of the container

Например, система дозирования и устройство захвата, раскрытия и подачи гибких контейнеров. Именно эти этапы технологического цикла расфасовки сыпучих материалов являются наименее автоматизированными, и, в тоже время, очень трудоемкими для рабочего.

Структурно-функциональный анализ элементов системы

Структурно-функциональный анализ подразумевает разбиение технической системы на элементы (рис. 2) и выявление их основных свойств с целью улучшения функционирования как отдельных элементов, так и технической системы в целом.

На рис. 2 приведены структурно-функциональные схемы системы дозирования и устройства захвата, раскрытия и подачи контейнеров.

На данных схемах приняты следующие обозначения: *E* – главные элементы; *V* – объекты окружения; *f* – функции, которые выполняет элемент системы.

Разработка конструкции системы автоматической расфасовки

На основе структурно-функционального анализа был разработан ряд конструкций систем автоматической расфасовки [8, 9], одна из которых представлена на рис. 3.

Для автоматического захвата, открытия и удержания воздухопроницаемых (например, полипропиленовых) гибких контейнеров для наполнения их сыпучим материалом были использованы вакуумные захваты (ВЗУ) [10-13].

Устройство для автоматического раскрытия, удержания и закрытия мешков (рис. 3) содержит захватный механизм 1 [6, 14, 15] состоящий из четырех рычажных звеньев 2 и двух пневматических миницилиндров 3 двухстороннего действия, попарно соединенных шарнирами, заодно с которыми установлены захваты в виде пальцев 4. Пневмоцилиндр 5 шарнирно установлен на раме 6 и выполнен с возможностью поворота вокруг оси, проходящей через центр пневмоцилиндра параллельно его основанию. Для этого на корпусе пневмоцилиндра 5 жестко закреплен стержень 7, шарнирно связанный со штоком поворотного пневмоцилиндра 8 двухстороннего действия, который также шарнирно установлен на раме 6. Стопа пустых, непрошитых с одной стороны мешков 9 находится на подъемном столе 10 внутри рамы 6. Вакуумный захват 11 соединен трубками с системой подачи воздуха, и установлен на рычаге 12 с возможностью вертикального осевого перемещения относительно вала 13, закрепленного на раме 6. Рычаг 12 имеет П-образную форму, а его верхняя горизонтальная часть закреплена на штоке пневмоцилиндра привода продольного перемещения 14.

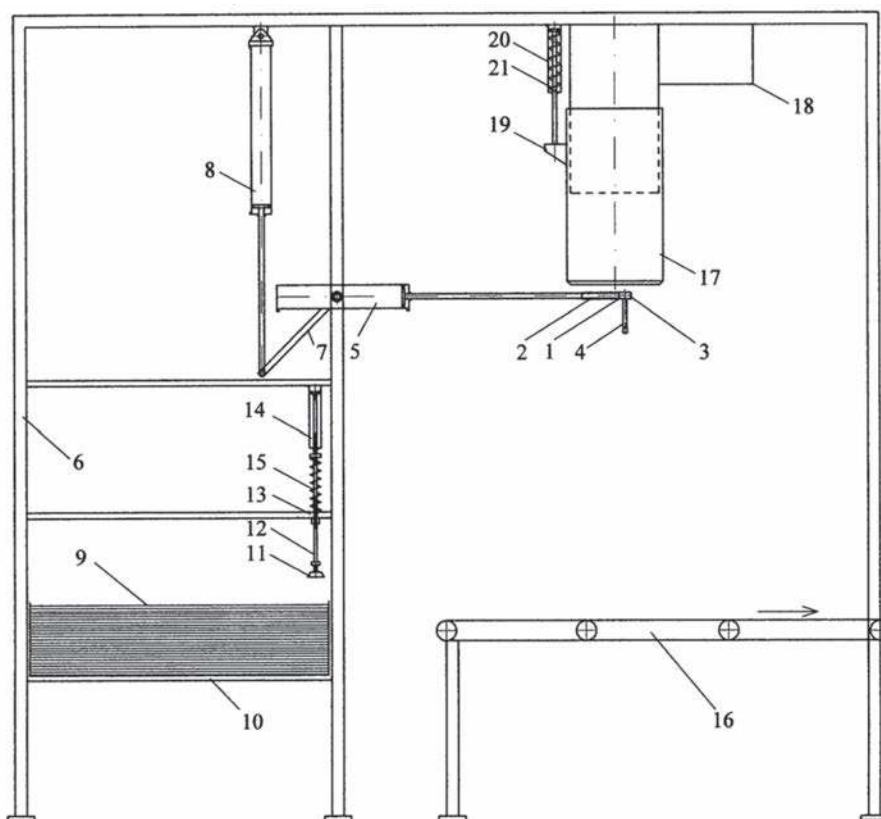


Рис. 3. Система автоматической расфасовки сыпучих материалов гибкие контейнеры
 Rys. 3. System automatycznego konfekcjonowania materiałów sypkich – kontenery elastyczne
 Fig. 3. Automatic packaging system for bulk materials in flexible containers

Между верхней частью рычага 12 и валом 13 установлены пружины 15.

Лента транспортера 16 смонтирована на раме 6 и расположена под загрузочным патрубком 17, который соединен с дозатором 18 (на рисунки показан условно) и выполнен с возможностью линейного вертикального перемещения, для этого на нем с внешней стороны установлена пластина 19, соединенная со штоком пневмоцилиндра одностороннего действия 20, в штоковой полости которого установлена пружина 21.

Компьютерное моделирование процесса захвата и удержания гибкого контейнера с помощью вакуума

В предложенной схеме (рис. 3) захват и предварительное открытие гибкого контейнера производится с помощью вакуумных захватных устройств. Однако эффективность захвата гибких контейнеров из различных материалов зависит от вида и параметров гибкого контейнера и требует дополнительного исследования.

Для исследования потоков воздуха и определения степени влияния конструктивных особенностей вакуумных захватных устройств и вида расфасовочной тары произведено компьютерное моделирование процесса захвата и удержания гибких контейнеров вакуумными захватами [16]. Моделирование производилось в специализированном прикладном пакете *Solid Works* (библиотека *Flow simulation*). В результате моделирования построены эпюры распределения давления воздуха по объему вакуумного захвата (рис. 4).

Результаты моделирования показывают, что внутри вакуумного захватного устройства создается достаточная степень вакуума, при этом разрежение по

всему объему ЗУ достаточно равномерное. Это свидетельствует о правильном выборе конструкции и расчете параметров ВЗУ.

Материалы и методы экспериментального исследования

Для проведения экспериментальных исследований по оценки вероятности и надежности захвата гибкого контейнера вакуумными захватными устройствами разработана экспериментальная установка, содержащая пневматический привод компании *Camozzi* с электропневматической системой управления на базе программируемого логического контроллера компании *Mitsubishi Electric*.

Для оценки вероятности захвата гибких контейнеров вакуумными захватами были проведены эксперименты. В ПЛК загружена программа, позволяющая выполнять серии экспериментов по 100 опытов для различной степени вакуума в автоматическом режиме. После запуска программы нажатием кнопки "Пуск" с контроллера подается сигнал на сервопривод, который связан с регулирующим органом, соединяющим вакуумную машину с вакуумным захватным устройством. Текущая степень вакуума отображается на стрелочном вакуумметре, а также измеряется датчиком давления и выводится на дисплей.

С определенной периодичностью контроллер подает сигнал, который управляет возвратно-поступательным движением штока пневмоцилиндра с закрепленным на нем вакуумным захватным устройством. Факт удачного захвата и отделения гибкого контейнера фиксируется ультразвуковым датчиком расстояния и выводится на дисплей. Затем вакуумная машина отключается и гибкий контейнер возвращается в исходное положение. После этого цикл повторяется.

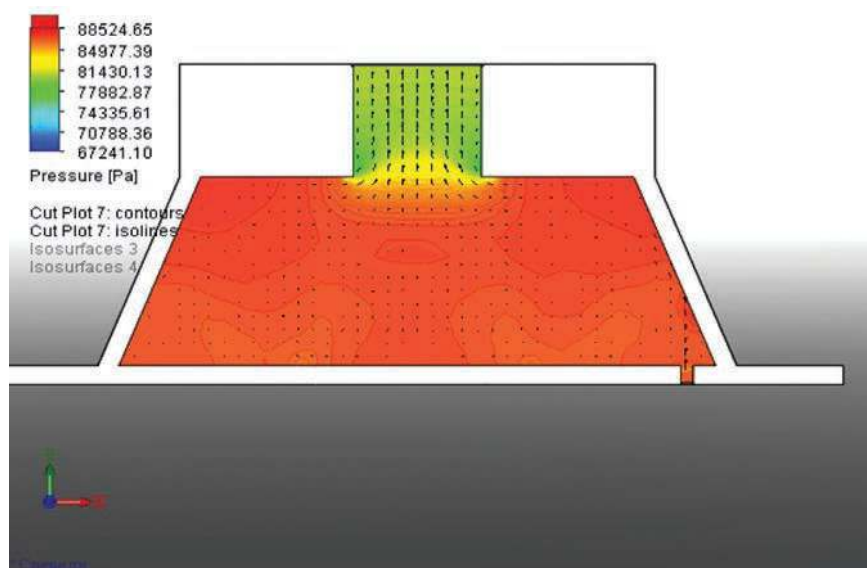


Рис. 4. Эпюра распределения давления по объему вакуумного захвата
Rys. 4. Wykres rozkładu ciśnienia objętościowo próżniowego przechwytywania
Fig. 4. Diagram the pressure distribution in the volume of the vacuum gripper

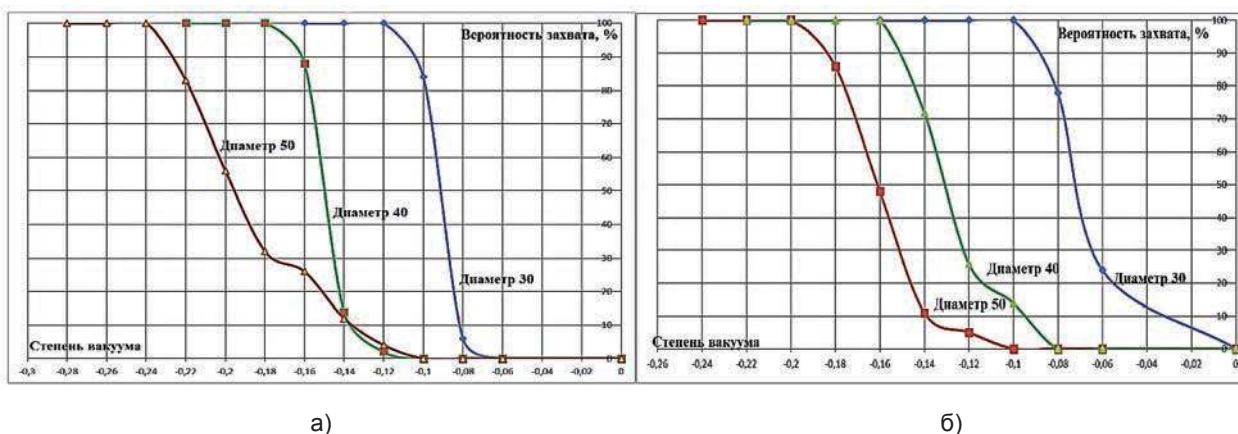


Рис. 5. Результаты эксперимента а) – с 3 вакуумными захватами, б) – с 5 вакуумными захватами
 Rys. 5. Wyniki eksperymentu: a) z 3 próżniowej schwytyanie, b) z 5 węży schwytyanie
 Fig. 5. The results of the experiment a) – with 3 vacuum grippers, b) – with 5 vacuum grippers

Результаты и их обсуждение

По обработанным данным построены графики зависимости вероятности захвата гибкого контейнера от степени вакуума, создаваемого в вакуумном захватном устройстве с учетом количества и диаметра вакуумных захватов. Результаты эксперимента для захватного устройства с тремя ЗУ диаметрами 30 мм, 40 мм и 50 мм представлены на рисунке 5, а. Для них надежный захват гибкого контейнера осуществляется при степени разрежения – 12 кПа (при диаметре вакуумных захватов 30 мм), – 18 кПа (40 мм) и – 24 кПа (50 мм).

На рис. 5, б представлены результаты экспериментов с 5 вакуумными захватами. Для них надежный захват гибкого контейнера осуществляется при степени разрежения – 10 кПа (при диаметре вакуумных захватов 30 мм), – 16 кПа (40 мм) и – 20 кПа (50 мм).

Полученные результаты могут быть объяснены тем, что в качестве захватываемого объекта использовались гибкие контейнеры из воздухопроницаемых материалов (полипропиленовая нить). Данный вид зависимостей характерен только для случая использования воздухопроницаемых гибких контейнеров.

Таким образом для воздухопроницаемых гибких контейнеров вероятность удачного захвата уменьшается при увеличении диаметров вакуумных захватов, что связано с увеличением скорости снижения грузоподъемности ВЗУ из-за истечения воздуха сквозь воздухопроницаемый материал гибкого контейнера и более быстрого разрежения. Увеличение же числа вакуумных присосок повышает надежность и вероятность захвата гибкого контейнера при меньшей степени вакуума.

Выводы

При проектировании фасовочного оборудования, а также при комплектовании автоматизированных расфасовочных линий может быть использован модульный подход построения системы, учитывающий

свойства фасуемого сыпучего материала, а также вид и параметры фасовочной тары. Разработаны структурно-функциональные схемы наиболее сложных с точки зрения автоматизации модулей расфасовочного комплекса: устройства дозирования и устройства для манипулирования гибким контейнером при наполнении.

Разработан ряд конструкций систем автоматической расфасовки. В качестве захватного устройства эти системы часто используют вакуумные захватные устройства. Для определения степени влияния конструктивных особенностей вакуумных захватных устройств и вида расфасовочной тары на надежность процесса захвата и удержания контейнера проведено математическое и компьютерное моделирование. Результаты показывают, что внутри вакуумного захватного устройства создается достаточная степень вакуума, при этом разрежение по всему объему достаточно равномерное.

Для проведения экспериментальных исследований по оценке вероятности и надежности захвата гибкого контейнера вакуумными захватными устройствами разработана экспериментальная установка, содержащая пневматический привод компании *Camozzi* с электропневматической системой управления на базе программируемого логического контроллера компании *Mitsubishi Electric*. Обработанные результаты экспериментальных исследований показали хорошую сходимость с теоретическими расчетами и компьютерным моделированием.

Список литературы

- [1] Установка для наполнения мягкой тары сыпучим материалом: пат. 2203840 Российская Федерация: МПК В 65 В 1/04 / В. А. Чернов, П. К. Дундуа; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «ЦНИИПодземмаш». – № 2001124923/13; заявл. 12.09.01; опубл. 10.05.03
- [2] Устройство для наполнения мешков сыпучим материалом: пат. 1548990 Российская Федерация:

- МПК В 65 В 1/00 / Л. Т. Ливоненко, О. Н. Леханов, А. М. Сергеев, М. С. Рогач, В. В. Дюдин, Ю. Ю. Юдицкий, С. М. Ватулин; заявитель и патентообладатель Приморское производственное объединение «Бор» им.50-летия СССР, Государственный научно-исследовательский институт горнохимического сырья. – № 4397098/13; заявл. 25.03.88; опубл. 20.07.95
- [3] Наземцев, А. С. Гидравлические и пневматические системы. Ч. 1. Пневматические приводы и средства автоматизации : учеб. пособие / А. С. Наземцев. – Москва: ФОРУМ, 2004. – 240 с.
- [4] Устройство для наполнения клапанных мешков сыпучим материалом: пат. 2372260 Российская Федерация : МПК В 65 В 1/04 / Ю. А. Бурлов, И. Ю. Бурлов, А. Ю. Бурлов; заявитель и патентообладатель Бурлов Юрий Александрович. – № 2007148624/11; заявл.27.12.07; опубл. 10.11.09
- [5] Устройство для наполнения клапанных мешков сыпучим материалом: пат. 2120893 Российская Федерация: МПК В 65 В 1/18 / Ю. В. Копылов; заявитель и патентообладатель Копылов Юрий Всеволодович. – № 97115154/13; заявл.20.08.97; опубл. 27.10.98
- [6] Makarov A.M., Rabinowich L.A.: Automatyizacja dozowania materialow sypkich do malo sztywnych opakowan / МЕХАНИКА // Technika i technologia montazu maszyn. Kwartalnik 83 (nr1/2011). Rzeszow, Polska.
- [7] Transfer Machine Line for Packaging Granular Materials in a Soft Open Container A. M. Makarov, Y. P. Serdobintsev, M. P. Kuhtik. Journal of Applied Packaging Research (JAPR) Vol. 6, №4, pp. 203–209, October 2012, DEStech Publication, Inc.
- [8] П. м. 155000 РФ, МПК В65В5/00, В65В7/02. Устройство для автоматического раскрытия, удержания и закрытия гибких контейнеров / А.М. Макаров, М.Г. Кристаль, А.А. Ковалев, Д.А. Сулейманов; ВолгГТУ. – 2015.
- [9] Макаров, А.М. Automated Filling of Flexible Containers with Free-Flowing Products / А.М. Макаров, Ю.П. Сердобинцев, Е.Г. Крылов // Russian Engineering Research. – 2014. – Vol. 34, No. 11. – С. 734-736.
- [10] Εἰς ἄλλο, Τ.Ἄ. Ἐἰς ἄλλο ὀρθογώνιαι ἂν ἐκτελέσθωσαν ἢ ἄλλοι: ὀρθογώνια / Τ.Ἄ. Εἰς ἄλλο. – Ἐ.: Εἰς ἄλλο, 2011. – 312 ἄ.
- [11] Νύμφα, Ν.Ι. Εἰς ἄλλο ἐκτελέσθωσαν ἢ ἄλλοι: ὀρθογώνια / Ν.Ι. Νύμφα, Ρ.Ἄ. Ἀφοῦνι, Σ.Ρ. Δεσφίλιος // ΝΝΣ, 2007. – ἄ12. – Ἄ.15-19.
- [12] Ἀερίαι, Ρ.Ρ. Ἀερίαι ἀερίαι εἰς ἄλλο ἢ ἄλλοι: ὀρθογώνια / Ρ.Ρ. Ἀερίαι, Ἄ.Τ. Εἰς ἄλλο // Νἰάδελφι
- ἔκτελέσθωσαν. Ἰσὸς ἂν ἐκτελέσθωσαν, 2012. – ἄ2. – Ἄ. 166-176.
- [13] Ἐἰς ἄλλο, Ρ. Ἐ. Ἐἰς ἄλλο εἰς ἄλλο ἢ ἄλλοι: ὀρθογώνια ἢ ἄλλοι: ὀρθογώνια / Ρ.Ἐ. Ἐἰς ἄλλο, Τ.Δ. Νἰάδελφι.– Ἰσὸς ἂν ἐκτελέσθωσαν: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013.– 128 ἄ.
- [14] Δῆμιος Δὸ ἰς ἄλλο ἢ ἄλλοι: ὀρθογώνια ἢ ἄλλοι: ὀρθογώνια / Ρ.Ἐ. Ἐἰς ἄλλο, Τ.Δ. Νἰάδελφι.– Ἰσὸς ἂν ἐκτελέσθωσαν: 31.05.2011. Ἄ.Ἐ.Ἄ.Ν. 12.20.2012. В 65 В 7/02, В 65 В 5/00.
- [15] Пат. 2421383 РФ, МПК В 65 В 67/12. Устройство для автоматического захвата, раскрытия и удержания мешков / Л.А. Рабинович, А.М. Макаров; ВолгГТУ. – 2011.
- [16] Компьютерное моделирование процесса расфасовки сыпучих материалов в открытую мягкую тару / А.М. Макаров, В.Ф. Кучинский, О.В. Мушкин, М.А. Лапиков // Известия ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. – Волгоград, 2016. – № 8 (187). – С. 79-81.

Источники финансирования работы

Исследования выполнены при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых – кандидатов наук МК-2619.2017.8.

Макаров Алексей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, профессор РАЕ, доцент кафедры АПП, +7 (909) 389-89-69, amm34@mail.ru, Makarov34rus@gmail.com, Волгоградский государственный технический университет, Россия, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28

Сердобинцев Юрий Павлович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой АПП, +7 (8442) 24-84-32, Serdobintsevuyup@mail.ru, Волгоградский государственный технический университет, Россия, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28

Мушкин Олег Викторович, аспирант кафедры АПП, +7 (960) 867-24-27, olezhka_93@inbox.ru, Волгоградский государственный технический университет, Россия, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28

Лапиков Максим Андреевич, магистрант кафедры АПП, +7 (937) 720-39-19, gemax777@yandex.ru, Волгоградский государственный технический университет, Россия, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28

WYBRANE ASPEKTY PROCESU MONTAŻU AUTOBUSÓW Z WYKORZYSTANIEM TECHNOLOGII KLEJENIA

The selected aspects of bus assembly process with using bonding technology

Dariusz KASPEREK, Anna RUDAWSKA

Streszczenie: W procesie montażu autobusów wykorzystywane są połączenia rozłączne i nierozłączne. Oprócz połączeń spawanych, gwintowych, kształtowych i nitowych, w wielu operacjach stosowana jest technologia klejenia. Połączenia klejowe znajdują zastosowanie w różnych etapach montażu autobusów, począwszy od klejenia dachu, przez wklejanie szyb do ramy stalowej oraz blach bocznych, aż do klejenia różnorodnych elementów wyposażenia autobusów, także elementów wykończeniowych. Często połączenia klejowe stosowane są łącznie z innymi rodzajami połączeń, np. nitowanymi, wykorzystując efekt synergii obu rodzajów połączeń. W konstrukcji autobusu kleje spełniają także rolę uszczelniającą, co jest niezwykle istotne podczas eksploatacji autobusów w różnych warunkach atmosferycznych. Wiele zalet połączeń klejowych przyczynia się do ich wykorzystywania w procesach montażu. Podczas budowy różnorodnych konstrukcji, za pomocą klejenia łączy się niekiedy materiały różniące się właściwościami mechanicznymi i fizyko-chemicznymi, co jest niemożliwe do wykonania za pomocą innych metod łączenia. Jednak podczas opracowywania procesu technologicznego montażu z wykorzystaniem połączeń klejowych należy uwzględnić także niekorzystne cechy, czy też ograniczenia tej metody montażu. Z tego względu konieczna jest szczegółowa analiza wszystkich czynników wpływających na proces klejenia, aby poprawnie opracować i wykonać proces montażu z użyciem połączeń klejowych.

Słowa kluczowe: montaż, połączenia klejowe, autobus

Abstract: During the assembly the bus temporary and permanent fastening joints are used. Besides of welded, screw and rivet joints, bonded technology was used in many operations. In various stages of assembly of buses adhesive joints are used for example during bonding the roof, bonding the glass to the steel frame, bonding of various pieces of equipment buses, as finishing elements. Often, adhesive joints are used with other types of joints, for example rivet joints, using the synergism of both types of joints. In the bus construction the adhesives also play sealing role, which is extremely important during the operation of buses in different weather conditions. Many of the advantages of adhesive joints contribute to their use in the assembly process. The bonding process was used to joining the materials of different mechanical and physico-chemical properties. Sometimes this joining is not feasible by other joining methods. However, during designing the assembly process with using the bonding technology, the disadvantages or limitations of this type of joining method should be considered. Due to these limitations a detailed analysis of all the factors affecting the bonding process is necessary in order to properly prepare and perform the assembly process using adhesive joints.

Keywords: assembly, adhesive joints, bus

Wprowadzenie

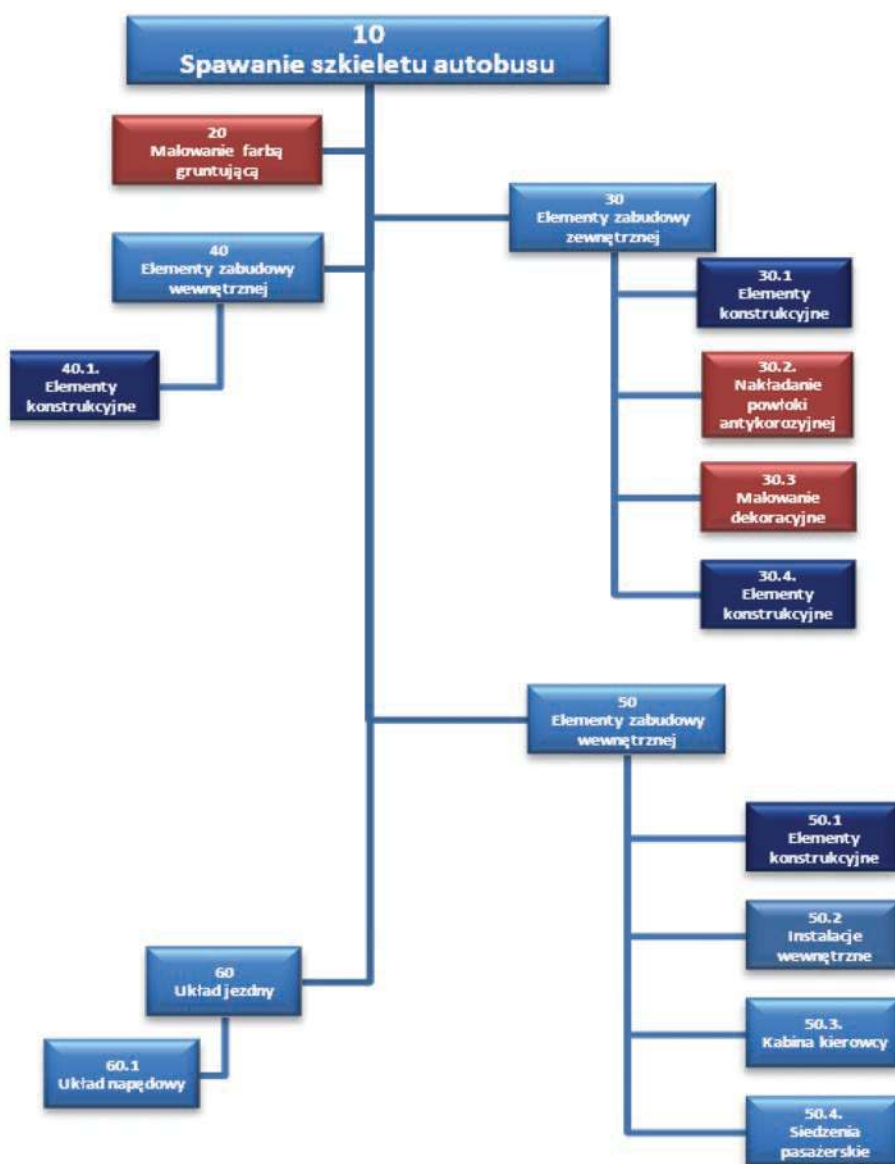
Proces montażu obejmuje wiele różnorodnych operacji, których celem jest połączenie elementów w określone jednostki lub zespoły montażowe, tworząc maszyny lub urządzenia, spełniające założone wymagania funkcjonalne oraz wymiarowo-kształtowe [4]. Montaż jednostek lub całych konstrukcji realizowany jest za pomocą różnego rodzaju połączeń (rozłącznych i nierozłącznych). Opracowanie procesu montażu wymaga analizy właściwości poszczególnych rodzajów połączeń oraz wielu czynników wpływających na możliwości ich zastosowania w danej konstrukcji i warunkach warsztatowych. Jednym z rodzajów połączeń wykorzystywanych w montażu autobusów są połączenia klejowe [1, 2]. Spełniają one nie tylko funkcję łączącą (możliwość rozpatrywania połączenia jako elementu konstrukcyjnego przenoszącego obciążenia zewnętrzne), ale również funkcję uszczelniającą i usztywniającą niektóre elementy konstrukcyjne pojazdu [2, 3]. Zalety połączeń klejowych (oraz technologii klejenia) przyczyniają się do ich znacznego wykorzystania

w budowie autobusów, choć należy mieć na uwadze także wady tych połączeń, bądź pewne ograniczenia w ich użyciu [4, 6, 7].

W pracy przedstawiono wybrane zagadnienia zastosowania procesu klejenia podczas montażu autobusów. Przedstawiono ogólny proces montażu autobusów oraz informacje na temat wykorzystania połączeń klejowych w wybranych operacjach montażowych, wskazując także na konieczność analizy różnych czynników (materiałowych, technologicznych, konstrukcyjnych oraz eksploatacyjnych), wpływających na proces wykonywania tego rodzaju połączeń montażowych.

Charakterystyka procesu montażu autobusów

Proces montażu autobusów obejmuje szereg operacji montażowych, w których wykonywane są różne rodzaje połączeń, z wykorzystaniem odpowiedniego oprzyrządowania oraz metod montażu. Na rys. 1 przedstawiono główne operacje procesu montażu autobusów, zaznaczając operacje montażowe (operacja 30.1, 30.4, 40.1 oraz



Rys. 1. Ogólny schemat procesu montażu autobusów
Fig. 1. The general scheme of the bus assembly process

50.1), w których stosowane są połączenia klejowe oraz inne połączenia adhezyjne (operacja 20, 30.2 oraz 30.3), wykorzystujące takie materiały adhezyjne jak: uszczelniacze, primery oraz farby.

Proces montażu autobusów rozpoczyna się od podstawowej operacji, jaką jest wykonanie szkieletu autobusu z zastosowaniem technologii spawania oraz specjalnego oprzyrządowania ustalającego, po której odbywa się malowanie szkieletu. Następnie wykonywany jest montaż elementów zabudowy zewnętrznej (rys. 2) i wewnętrznej, z podziałem na poszczególne operacje. W dalszej kolejności następuje montaż układu jezdnego, a w późniejszym etapie układu napędowego. Elementy zabudowy wewnętrznej obejmują zarówno montaż różnych elementów konstrukcyjnych (rys. 3), jak i operację montażu instalacji wewnętrznych (elektrycznych, hydraulicznych oraz pneumatycznych), elementów będących

wyposażeniem kabiny kierowcy oraz siedzeń pasażerskich.

W dalszej części pracy przedstawiono przykłady stosowania technologii klejenia w operacjach procesu montażu autobusów, a także wykorzystania innych materiałów adhezyjnych (np. podczas procesu malowania).

Opis wybranych operacji montażowych

Montaż elementów zabudowy zewnętrznej

W tej operacji następuje montaż części elementów zabudowy zewnętrznej z wykorzystaniem klejów poliuretanowych, wśród których najważniejszymi elementami są, ściany przednie i tylne oraz ściany boczne (operacja 30.1), a także szyby przednie i tylne oraz boczne (operacja 30.2), co zobrazowano na rys. 2.



Rys. 2. Operacja montażu elementów zabudowy zewnętrznej: a, b) elementy montowane w operacji montażowej nr 30, c) widok ściany bocznej, d) widok szyby przedniej
 Fig. 2. Assembly operation of external elements: a, b) elements assembled in no. 30 assembly operation, c) side wall view, d) view of the windscreen

Po wykonaniu elementów podstawowych, takich jak: dach, ściany przednie i tylne oraz ściany boczne, często przeprowadza się operację malowania dekoracyjnego, po której następuje dalszy montaż różnego typu elementów, np. szyb. Należy wspomnieć, że po procesie montażu elementów podstawowych, w późniejszym czasie występuje montaż końcowy niektórych elementów konstrukcyjnych, m.in.: drzwi i pokryw rewizyjnych, do wykonania których także znajdują zastosowanie kleje i uszczelniacze, wyprodukowane przede wszystkim na bazie poliuretanów.

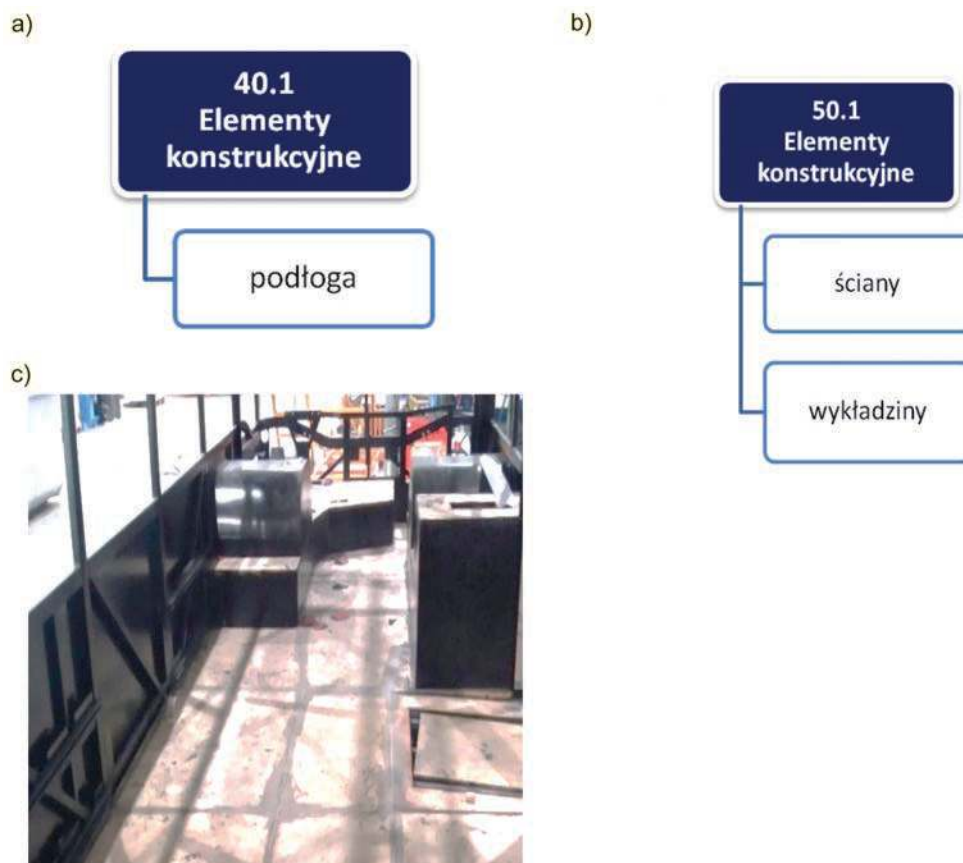
Montaż elementów zabudowy wewnętrznej

Operacja montażu elementów zabudowy wewnętrznej dotyczy przede wszystkim montażu podłogi, ścian bocznych oraz sufitu do konstrukcji szkieletowej autobusu wykonanej metodą spawania. Na rys. 3 przedstawiono rodzaje łączonych elementów metodą klejenia

oraz przykład jednego z elementów konstrukcyjnych autobusu.

Niektóre elementy zabudowy wewnętrznej (podłoga – operacja 40.1) często są wykonywane równoległe z elementami zabudowy zewnętrznej (operacja 30.1). Pozostałe elementy są montowane po wykonaniu wszystkich elementów zewnętrznych. Po przygotowaniu pełnej zabudowy konstrukcyjnej realizuje się montaż elementów funkcjonalnych autobusu, takich jak: poręcze, system informacji pasażerskiej, kasowniki itp.

Na tym etapie montażu wykorzystywane są także różnego rodzaju materiały adhezyjne w postaci klejów oraz uszczelniaczy, a w procesach przygotowania powierzchni do klejenia stosuje się środki proadhezyjne (primery), zwiększające przyczepność powierzchni łączonych materiałów do kleju [8]. Stosowane są primery, mające różną bazę chemiczną, zależnie od rodzaju podłoża (właściwości materiałów) oraz kleju. W tym przypadku są to primery



Rys. 3. Elementy zabudowy wewnętrznej: a), b) rodzaje elementów zabudowy wewnętrznej łączonych za pomocą klejenia, c) widok podłogi

Fig. 3. Internal elements: a), b) types of internal building elements joining by bonding, c) floor view

oparte głównie na tytanianach, żywicach epoksydowych, poliuretanach i innych związkach chemicznych [4, 5].

Malowanie zabudowy zewnętrznej

Malowanie zabudowy zewnętrznej jest kolejną operacją montażową wykonywaną po procesie montażu większości ścian oraz szyb. Wykonywane jest na specjalnym stanowisku, w kabinie lakierniczej, zgodnie z przyjętą technologią, którą może być malowanie kataforetyczne. Stanowisko oraz jego wyposażenie jest dostosowane do przeprowadzenia procesu malowania konstrukcji wielkogabarytowych.

Podczas malowania istotne jest zabezpieczenie tych elementów, które nie wymagają nakładania powłoki malarskiej (rys. 4). Po przeprowadzeniu tej operacji otrzymuje się połączenia adhezyjne, które tworzą: podłoże blachy ze stopu aluminium, podkład epoksydowy oraz farba poliuretanowa.

Czynniki wpływające na proces montażu z wykorzystaniem klejów i innych materiałów adhezyjnych

Podczas wykonywania połączeń klejowych należy uwzględnić wiele czynników wpływających zarówno na proces montażu, jak i technologię klejenia. Wynika to

m.in. z tego, że autobus jest konstrukcją wielkogabarytową, co skutkuje koniecznością opracowania poszczególnych operacji klejenia z uwzględnieniem tego aspektu. Ponadto niezwykle istotne są zagadnienia związane z uzyskaniem poprawności i powtarzalności wymiarowo-kształtowej, co także wymusza zastosowanie odpowiednich procedur montażowych, zwłaszcza w produkcji jednostkowej. Wśród czynników wpływających na montaż



Rys. 4. Widok autobusu przeznaczonego do malowania z zabezpieczonymi powierzchniami

Fig. 4. View of the bus intended for painting with protected surfaces

wybranych elementów konstrukcyjnych z zastosowaniem technologii klejenia należy wymienić [1, 3, 4, 7]:

- rodzaj łączonych materiałów – związany z różnorodnymi właściwościami materiału, który wpływa m.in. na dobór sposobu przygotowania powierzchni do klejenia, w tym konieczność zastosowania primeru (środku zwiększającego adhezję pomiędzy materiałem a klejem), a także dobór rodzaju kleju,
- rodzaj wykonywanych połączeń, z uwzględnieniem połączeń jednoimiennych oraz różnoimiennych,
- kształt i wymiary łączonych elementów,
- położenie łączonych elementów w konstrukcji – w przypadku montażu autobusów występuje wiele powierzchni usytuowanych pionowo, co powoduje konieczność stosowania klejów o odpowiedniej lepkości, systemów ich nakładania, a także specjalnego oprzyrządowania,
- sposób przygotowania powierzchni, który jest zależny nie tylko od rodzaju materiału, ale także od kształtu, wymiarów, położenia łączonych elementów w konstrukcji. Wymienione czynniki wpływają na dobór metod obróbki powierzchni łączonych elementów, ich parametrów technologicznych, czynników roboczych oraz stosowanie określonego oprzyrządowania,
- rodzaj, postać i właściwości kleju – ważny jest czas życia kleju, warunki (np. temperatura i wilgotność) i mechanizm utwardzania. Odpowiednia lepkość kleju pozwala na jego aplikację na powierzchni pionowe, ale także wymusza sposób nakładania kleju. Odpowiedni czas życia kleju pozwala na ustalenie i złożenie łączonych elementów bez naruszenia wiązań adhezyjnych (przed procesem zestalania kleju),
- oprzyrządowanie technologiczne – umożliwiające aplikację kleju na łączone powierzchnie o znacznych wymiarach gabarytowych i określonym kształcie, wywierające docisk konieczny do uzyskania określonej grubości spoiny klejowej na całej długości połączenia,
- rodzaj produkcji – warunkuje i wpływa na koszt zarówno poszczególnych operacji montażowych, jak i na koszt całego procesu montażu, a związany jest przede wszystkim z oprzyrządowaniem dostosowanym do konstrukcji wielkogabarytowej.

Ponadto istotnym elementem są warunki wykonywania poszczególnych operacji montażowych (w przypadku klejenia ważna jest temperatura i wilgotność, ze względu na mechanizm utwardzania klejów poliuretanowych), a także wyposażenie stanowisk montażowych.

Zalety i ograniczenia technologii klejenia

Wśród zalet technologii klejenia, stosowanej w procesie montażu autobusów, można wymienić m.in. [4, 6]:

- możliwość łączenia różnych rodzajów materiałów (np. drewno-kompozyt, szkło-stal),
- uzyskanie połączenia elastycznego, umożliwiającego dostosowanie się do zmiany wymiarów elementów

pod wpływem różnych warunków atmosferycznych (na skutek zmiennych współczynników rozszerzalności cieplnej),

- możliwość kompensowania błędów kształtu i nierówności powierzchni klejonych podczas łączenia,
- uzyskanie dużej szczelności połączeń, co jest niezwykle istotne podczas eksploatacji w różnych warunkach atmosferycznych, także w warunkach szoków termicznych,
- odporność na działanie promieniowania UV (sprzyjające procesowi starzenia się tworzyw polimerowych),
- właściwości tłumiące drgania, co jest szczególnie ważne w pojazdach samochodowych, ponieważ dzięki zastosowaniu połączeń klejowych, ogranicza się hałas i zmniejsza wibracje podczas poruszania się pojazdu,
- zwiększenie sztywności konstrukcji,
- duża dostępność klejów do różnego rodzaju zastosowań,
- duża różnorodność klejów, pozwalających na ich wybór nie tylko ze względu na właściwości łączonych materiałów, ale także ze względu na warunki montażowe.

Jednak proces klejenia ma pewne ograniczenia, do którego zalicza się przede wszystkim [1, 3, 5]:

- konieczność przeprowadzenia procesu klejenia w pozycji pionowej – dotyczy to wspomnianych wcześniej powierzchni pionowych (m.in. ścian i szyb bocznych), a także powierzchni krzywoliniowych. Ponieważ takie usytuowanie przestrzenne łączonych elementów powoduje pewne trudności w wykonaniu połączeń, wymaga stosowania klejów o odpowiedniej lepkości, określonego czasu i warunków utwardzania oraz stosowania właściwego oprzyrządowania,
- konieczność zastosowania odpowiednich przyrządów montażowych podczas łączenia szyb, ze względu na kruchość materiału.
- utrzymanie właściwej temperatury i wilgotności, ze względu na sposób utwardzania klejów poliuretanowych, które utwardzają się pod wpływem wilgoci znajdującej się w powietrzu.

Przedstawione zalety i wady technologii klejenia (a także połączeń klejowych) dotyczą przede wszystkim wybranych operacji montażowych, w których wykonywane są połączenia klejowe.

Podsumowanie

Połączenia klejowe ze względu na swoje liczne zalety często wykorzystywane są w procesie montażu autobusów, spełniając nie tylko funkcję łączącą, lecz także uszczelniającą, co jest niezwykle ważne w tego typu konstrukcjach, narażonych na działanie różnych czynników zewnętrznych (ciecze, gazy). Jednak podczas procesu montażu należy uwzględnić wiele czynników wpływających na proces wykonywania tego

typu połączeń. Istotnym elementem, który przyczynia się do wyboru określonych rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych połączeń klejowych są wymiary geometryczne łączonych elementów, które w przypadku autobusów są znaczne. Wiąże się to zarówno z zastosowaniem odpowiedniej technologii klejenia (uwzględniającej wszystkie jej etapy), jak i utrzymaniem reżimu technologicznego montażu. Istotnym elementem jest także uzyskanie poprawności wykonania poszczególnych zespołów montażowych, spełniających określone wymagania (np. wymiarowo-kształtowe) oraz zapewnienie szczelności. Związane jest to m.in. z utrzymaniem jednakowych warunków wykonywania połączeń, co powoduje konieczność stałego monitoringu wykonywania operacji montażowych oraz ewentualnie wskazanie newralgicznych miejsc konstrukcji oraz etapów procesów montażu. Ważne wydaje się także podejmowanie działań dotyczących doskonalenia technologii operacji montażowych, w tym także połączeń klejowych.

LITERATURA

- [1] Adams R.D., J. Comyn, W.C. Wake. 1997. "Structural Adhesive Joints in Engineering Book". 2nd edition, United Kingdom, Springer.
- [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: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności.
- [4] Godzimirski J. i in. 1997. „Konstrukcyjne połączenia klejowe elementów metalowych w budowie maszyn”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- [5] Karty techniczne produktów Sika http://pol.sika.com/pl/solutions_products/dokumentacja/Karty.html, dostęp 24.01.2017.
- [6] Piekarczyk M. 2012. „Zastosowanie połączeń klejonych w konstrukcjach metalowych”. *Czasopismo techniczne. Budownictwo. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 1-B*, 99–137.
- [7] Rudawska A. 2005. „Dobór rodzaju kleju w aspekcie wytrzymałości połączeń klejowych blach ocynkowanych”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (1): 28–31.
- [8] Rudawska A., E. Bociąga, E. Olewnik-Kruszkowska. 2017. “The effect of primers on adhesive properties and strength of adhesive joints made with polyurethane adhesives”. *Journal of Adhesion Science and Technology* (31): 327–344.

mgr inż. Dariusz Kasperek – URSUS BUS S.A, ul. Frezerów 7a, 20-209 Lublin, wykładowca Politechniki 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

POTENCJAŁ WYKORZYSTANIA NOWOCZESNYCH TECHNOLOGII KOMPOZYTOWYCH DO WYTWARZANIA ELEMENTÓW MASZYN MONTAŻOWYCH

Capabilities of modern composites technologies in industrial assembling equipment parts manufacturing

Wojciech ZAWIEJSKI

Streszczenie: Nowoczesne technologie kompozytowe pozwalają na coraz szersze wykorzystanie tego typu materiałów. Wykorzystanie kompozytów staje się coraz bardziej opłacalne. Decydujące są tu dwa aspekty. Po pierwsze właściwości wyrobów kompozytowych dają im przewagę pod wieloma względami w stosunku do elementów metalowych. Po drugie, rachunek ekonomiczny wygląda coraz lepiej, dzięki rozwojowi technologii oraz branży oferującej surowce do produkcji struktur kompozytowych. Wytwarzanie maszyn montażowych i automatyzujących produkcję przemysłową cechuje się jednostkową lub bardzo małoseryjną liczebnością. W takich przypadkach wykorzystanie materiałów kompozytowych może być szczególnie zasadne, gdyż dają one dużą swobodę kształtowania geometrii konstrukcji. Kluczowe jest dobranie odpowiedniej technologii i sprawne wykorzystanie możliwości oferowanych przez nowoczesne materiały. Zastąpienie elementów metalowych strukturami kompozytowymi może nieść między innymi takie korzyści jak: uzyskanie złożonych i nieregularnych kształtów w jednym procesie lub uniknięcie kosztownej obróbki skrawaniem wielkogabarytowych elementów. Zalety technologii kompozytowych sprawiają, że są one warte uwagi podczas projektowania maszyn montażowych.

W artykule dokonano krótkiej charakterystyki problemów konstrukcyjnych spotykanych przy opracowywaniu automatów montażowych. Uwaga została skupiona na aspektach technologicznych. Wykonano również przegląd technologii i materiałów wykorzystywanych w produkcji kompozytów, które mają potencjał zastosowania przy produkcji maszyn montażowych. Wytypowano kilka elementów z istniejących maszyn montażowych, które mogą zostać zastąpione kompozytami. Wykonano porównanie ekonomiczne wykonania jednego wybranego elementu w technologii metalowej oraz kompozytovej.

Słowa kluczowe: maszyny montażowe, automaty montażowe, zastosowania kompozytów, technologie kompozytowe, materiały kompozytowe

Abstract: Innovative composites technologies enable increasingly wider scope of applications of those materials. The utilisation of composites becomes more and more cost effective. Two aspects determine such situation. Firstly composites have a large number of advantages in comparison with metal elements. Secondly the economic account turns out better and better due to technologies development and growth of composites market, especially material suppliers. Manufacturing of industrial assembling equipment usually takes place in single piece or very small quantities. In such situation utilization of composite materials is especially justified, because they give wide possibilities of shaping construction elements geometry. The choice of appropriate technology seems to be essential and it is supported by the possibilities of innovative process materials. The substitution of metal elements with composite ones could benefit with: single process manufacturing of complex shapes or avoidance of expensive machining of large elements. The advantages of composite technologies make them worth attention during design process of industrial assembling equipment.

In the article a short characteristic of design and construction problems in assembling equipment has been performed. It has been focused on technological aspects. A short review of composites technologies and materials adequate for assembling equipment has been made. Few elements from existing machines which potentially can be made of composites have been selected. A comparison of metal and composite technology for a single element has been performed.

Key words: assembling equipment, assembling systems, assembling machines, composites applications, composites technologies, composites materials

Wprowadzenie

Dziedzina zajmująca się budową maszyn i urządzeń automatyzujących produkcję i montaż stanowi bardzo specyficzny obszar prac projektowo konstrukcyjnych oraz wykonawczych. Automaty montażowe są wykonywane najczęściej na specjalne zamówienie. Ich zadaniem jest spełnianie ściśle określonych wymogów produkcji w konkretnym zakładzie produkcyjnym. Dlatego też nawet pozornie zbliżone automaty, które przeznaczone są do wykonywania tych samych operacji, projektowane są dla konkretnego odbiorcy. Różnice i specyficzne rozwiązania mogą wynikać z wielu względów związanych z warunkami panującymi w docelowym zakładzie.

Wpływ na ostateczny kształt maszyny mają takie czynniki jak gabaryty miejsca użytkowania, przystosowanie do współpracy z innymi urządzeniami oraz warunki zasilania. Istnieją również ograniczenia i wymogi wynikające ze specyfiki półproduktów, które są przez maszynę obrabiane. Zdarza się, że niewielkie różnice wynikające np. z technologii wykonania półproduktów mają znaczący wpływ na automat realizujący procesy produkcyjne. Dlatego wymagane jest indywidualne podejście do każdego urządzenia automatyzującego procesy produkcyjne.

Automat produkcyjny powinien wykonywać szereg czynności w odpowiedniej sekwencji. Są to operacje takie jak: podawanie elementów, orientacja detali,

transport bliski, operacje montażu, łączenia lub operacje technologiczne, odbieranie przedmiotów po operacjach, przekazywanie przedmiotów do dalszych maszyn, przygotowanie do pakowania i pakowanie [2, 3]. Przebieg wymienionych procesów musi być nadzorowany. W tym celu na wielu etapach zautomatyzowanego procesu produkcyjnego rozmieszczone są czujniki i bramki przystosowane do rozpoznawania określonych cech przedmiotu. W ten sposób może być sprawdzana obecność danego detalu w przeznaczonym miejscu, poprawność złożenia określonych elementów, ale również możliwe jest rozpoznanie określonych cech. Segregacja według tych cech odbywa się przy pomocy specjalnie ukształtowanych bramek, zapadek, rowków. Za realizację ruchów roboczych odpowiadają siłowniki, silniki i różnego rodzaju manipulatory. Transport odbywa się przy pomocy taśm, przenośników, szyn, zjeżdżalni. Wszystkie te elementy składowe są połączone przewodowo lub bezprzewodowo w układzie sterowania.

Ważnym problemem konstrukcyjnym, z którym muszą się zmierzyć projektanci maszyn produkcyjnych jest rozmieszczenie przestrzenne wszystkich elementów składowych maszyny. Wymagane jest zachowanie odpowiedniej wysokości kąta nachylenia, pożądanych odległości. Należy uwzględnić dostęp do podzespołów maszyny, zarówno eksploatacyjny dla obsługi produkcji, jak i serwisowy. Dla każdego automatu konieczne jest zaprojektowanie odpowiedniej podstawy, ewentualnie stołu. Na niej należy rozmieścić komponenty, konstruując stosowne wysięgniki, rusztowania, wsporniki, ramy.

Szeroko wykorzystywanym rozwiązaniem są modułowe systemy konstrukcyjne, oparte na profilach aluminiowych. Mają one bardzo istotną zaletę, ponieważ eliminują procesy obróbki elementów konstrukcyjnych na potrzeby wykonania pojedynczego urządzenia. Konstrukcja jest składana z modułowych elementów wybieranych z katalogu i dostępnych natychmiastowo. Elementy składowe są uniwersalne, więc można je wykorzystać w kolejnych realizacjach. Niestety taki system pozwala osiągnąć tylko ograniczone kształty. Skomplikowane struktury wymagają stworzenia układu o wielu węzłach i dużej liczbie elementów składowych. Po pierwsze – ogranicza to swobodę projektowania, a po drugie – ilość elementów podwyższa koszty konstrukcji. Dlatego też nieuniknione jest projektowanie niektórych elementów automatów produkcyjnych do jednostkowego wykonania na zamówienie. Takie podzespoły wykonuje się najczęściej przy użyciu stali konstrukcyjnych lub stopów aluminium. Warto jest jednak rozważyć czy w niektórych przypadkach wykorzystanie innych materiałów konstrukcyjnych nie będzie bardziej opłacalne. Takimi materiałami są kompozyty.

Materiał kompozytowy na podstawie [1], można zdefiniować jako materiał składający się z co najmniej dwóch składników stanowiących odrębne fazy, które w wyniku połączenia pozwalają osiągnąć nowe dodatkowe cechy lub polepszone parametry niż wynika to z samych składników osobno. Kompozyt jest monolityczny, jednak jego fazy są wyraźnie rozgraniczone. W obszarze kompozytów

wykorzystywanych jako materiały konstrukcyjne określa się, że jedna z faz stanowi zbrojenie kompozytu, nadając mu właściwości wytrzymałościowe, natomiast druga faza jest zwana osnową, która spaja materiał zbrojący oraz stanowi jego osłonę od czynników zewnętrznych. Aby uzyskać kompozyt o dobrych właściwościach wytrzymałościowych najkorzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie włóknistych materiałów zbrojących, najlepiej o włóknach ciągłych. Jako osnowy wykorzystuje się materiały polimerowe, termoutwardzalne lub termoplastyczne. Kształtowanie właściwości mechanicznych kompozytu odbywa się przez dobór materiału zbrojącego i zestawienie go z odpowiednią osnową. Przede wszystkim jednak dzięki odpowiedniemu ukierunkowaniu włókien zbrojących i wybraniu właściwej ilości i sekwencji warstw zbrojenia.

Projektowanie wyrobów kompozytowych cechuje się dużą ilością zmiennych, które należy brać pod uwagę i dobierać w celu osiągnięcia zamierzonych właściwości. Taka sytuacja sprawia, że proces projektowania jest trudny, ale daje dużą swobodę kształtowania. Bardzo istotnym procesem technologicznym dla kompozytów polimerowych, a więc tych, które zdominowały struktury nośne, jest formowanie i utwardzanie. W wyniku tych operacji z niespójnych składników otrzymuje się spójny, sztywny i ukształtowany element, który może ewentualnie podlegać niewielkim operacjom obróbki skrawaniem. Mają one na celu głównie wyrównanie krawędzi lub nawiercenie niewielkich otworów montażowych. Etap utwardzania jest wspólny dla różnorodnych procesów technologicznych kompozytów warstwowych i to właśnie on daje istotną przewagę tych materiałów nad różnego rodzaju stopami metalicznymi. Produkt wykonywany z kompozytu może dzięki temu uzyskiwać bardzo złożone i nieregularne kształty, które mogą ułatwić budowę i późniejszą pracę maszyn montażowych oraz realizujących procesy produkcyjne. Otrzymanie takich specyficznych elementów, specjalnie dopasowanych do danej maszyny może znacząco ułatwić jej konstrukcję. Często jest to jedyny sposób na realizację pewnych ruchów roboczych lub właściwe rozmieszczenie pewnych elementów, tam gdzie możliwości systemów modułowych nie są wystarczające.

Obecne możliwości obróbki metalu sprawiają, że wiele nietypowych elementów jest możliwe do wykonania. Jednakże jednostkowe zapotrzebowanie na elementy maszyn automatyzujących produkcję ogranicza technologię wykonania elementów metalowych najczęściej do spawania i obróbki skrawaniem lub ich połączeń. Nawet, gdy wykonanie elementów poprzez obszerną obróbkę skrawaniem będzie możliwe, rachunek ekonomiczny może wskazać, że jest nieopłacalne i znacząco podniesie ostateczną cenę całej maszyny. Technologie kompozytowe mogą stanowić rozwiązanie dla nietypowych konstrukcji, wykonywanych na specjalne potrzeby danej maszyny.

Rynek materiałów kompozytowych odnotowuje duży postęp w dziedzinie efektywnych metod wytwarzania pod

względem kosztów. Coraz łatwiej dostępne są technologie typu RTM, polegające na przesycaniu mat zbrojących ciekłą żywicą w sposób maszynowy. Upowszechniają się również technologie wytwarzania z materiałów preimpregnowanych, które mogą być przetwarzane bez użycia autoklawu (tzw. technologie out of autoclave). Przyczyną rozwoju technologii kompozytowych jest głównie postęp w dziedzinie chemii, a konkretnie materiałów wykorzystywanych na osnowy.

Dzięki dostępności przystępnych cenowo technologii kompozytowych, wykonanie złożonego geometrycznie elementu automatu produkcyjnego warto rozpatrywać właśnie z użyciem materiałów kompozytowych bez konieczności stosowania wieloetapowych procesów obróbki skrawaniem lub złożonego spawania.

Warstwowy charakter kompozytu pozwala kształtować elementy o zmiennej grubości. W konsekwencji możliwe jest dopasowanie sztywności elementów kompozytowych. W konstrukcji pojazdów stosuje się elementy sprężyste wykonane z kompozytów. Możliwość kształtowania właściwości sprężystych jest cechą, która może znaleźć zastosowanie przy budowie elementów automatów montażowych.

Kompozyt polimerowy jest materiałem odpornym na korozję. Ta cecha również może stanowić o przewadze przy zastosowaniu w urządzeniach produkcyjnych, w których podzespoły będą wystawione na działanie środowiska powodującego korozję, jak np. praca w podwyższonej wilgotności lub w zanurzeniu, np. w solance, kwasach itp.

Dodatkowo materiały kompozytowe mają właściwości izolacyjne jeśli chodzi o prąd elektryczny, ale także o ciepło. Jedynym przewodnikiem w powszechnie spotykanych materiałach kompozytowych jest włókno węglowe. Szczególnie dobrym izolatorem będzie kompozyt bazujący na włóknach szklanych, jednak włókno węglowe połączone z osnową polimerową również nie będzie przewodnikiem, zwłaszcza jeśli rozpatrujemy napięcia spotykane w gniazdku sieciowym. Elementy kompozytowe mogą więc znaleźć zastosowanie w maszynach, w których konieczna jest izolacja elektryczna lub w takich, które pracują w warunkach gdzie nie może wystąpić iskrzenie. Z kolei jeśli maszyna będzie usytuowana w pobliżu silnego źródła ciepła, obudowy wykonane z kompozytów mogą stanowić rozwiązanie, które odseparuje np. sterowniki elektroniczne lub inne elementy wrażliwe na przegrzanie.

Podstawowym problemem technologicznym przy produkcji kompozytów jest stworzenie odpowiedniej formy. Do jej wykonania może być niezbędne zbudowanie modelu. Elementy maszyn produkcyjnych będą przeważająco wykonywane jako pojedyncza sztuka, a czasami może być konieczne wykonanie kilku sztuk. Aby zastosowanie kompozytu w takiej jednostkowej produkcji było opłacalne, koszty przygotowania modelu i formy muszą być niewielkie, a model musi być możliwy do wykonania prostymi środkami. Do wykonania profesjonalnych form do produkcji seryjnej stosuje się stopy żelaza i niklu, które są ciężkie w obróbce skrawaniem i szlifowaniu.

Wykonanie takiej formy dla pojedynczego elementu przerosłoby wartość nie tylko tego elementu, ale i być może całej maszyny, w której będzie on zastosowany. W celu umożliwienia produkcji o niskiej liczebności na rynku pojawiły się materiały formierskie, które pozwalają na wykonanie formy niskim nakładem kosztów i pracy.

Przy konstruowaniu maszyn produkcyjnych, najbardziej korzystnym sposobem przygotowania formy lub modelu będzie wykonanie jej poprzez obróbkę skrawaniem na maszynie CNC za pomocą specjalnych płyt formierskich. Spotykane są produkty poliuretanowe oraz epoksydowe. Najważniejszą cechą płyt formierskich jest duża podatność na obróbkę skrawaniem, również przy wysokich prędkościach skrawania. Płyty zapewniają długą żywotność narzędzia i szybkość obróbki, a więc w rezultacie niskie koszty obróbki. Drugą bardzo istotną zaletą to możliwość szlifowania i polerowania, aż do uzyskania bardzo gładkich powierzchni. Dzięki temu uzyskuje się dobrą jakość powierzchni wyrobu i łatwość rozformowania. Tam gdzie potrzebne są formy o dużej powierzchni można zastosować materiał kompozytowy. Formy wykonane w ten sposób będą miały konstrukcję cienkościenną. Powierzchnię roboczą wykonuje się ze specjalnie dedykowanych żelkotów formierskich, które pozwalają na dokładne wyszlifowanie i polerowanie.

Inną metodą tworzenia form jest odlewanie z wykorzystaniem specjalnych silikonów formierskich. Ten materiał jest szczególnie przydatny do kopiowania istniejących elementów. Jego zastosowanie ogranicza się najczęściej do niewielkich detali, ale daje bardzo szybkie rezultaty.

Po rozwiązaniu problemów technicznych związanych z formowaniem pozostaje dobranie technologii i materiałów do wykonania samego wyrobu. Najbardziej powszechny sposób wytwarzania kompozytów opiera się na wykorzystaniu suchych materiałów zbrojących. Mogą one mieć postać mat jednokierunkowych, taśm rovingu lub tkanin o różnorodnych splotach i gramaturach. Wybór żywicy, którą będzie przesycany kompozyt jest zależny od czynników związanych zarówno z warunkami eksploatacji produktu, jak i z technologią przesycania i utwardzania. Najprostsza i zarazem najmniej doskonała oraz czasochłonna jest ręczna metoda przesycania, z wykorzystaniem pędzli i wałków. Grupą metod wytwarzania, wykorzystującą żywice w formie ciekłej i pozwalającą na układanie zbrojenia w postaci suchych materiałów, są technologie z grupy RTM (Resin Transfer Moulding). Dla potrzeb wykonania jednostkowych elementów automatów produkcyjnych adekwatnym procesem może być infuzja podciśnieniowa należąca do grupy RTM. Proces ten polega na przesycaniu ciekłą żywicą, której przepływ jest powodowany działającym podciśnieniem. Metoda jest bardziej czasochłonna i daje gorsze efekty niż wysokociśnieniowe procesy RTM, jednakże jest ekonomicznie opłacalna. Tempo procesu i jakość produktu uzyskana przez infuzję jest wystarczająca do zastosowań w maszynach produkcyjnych, a przygotowanie oprzyrządowania technologicznego wiąże się z kosztami akceptowalnymi nawet przy jednostkowym użyciu. Podobnie

sytuacja wygląda w technologii z grupy bezautoklawowych (out of autoclave), która wykorzystuje materiały preimpregnowane (tzw. pre-pregi). Koszty przygotowania oprzyrządowania technologicznego są niskie. Problemem mogą być koszty samych prepregów, ich trwałość oraz rygorystyczne wymogi ich przechowywania w warunkach chłodniczych. Zaletą prepregów jest szybki i zachowujący czystość proces układania laminatu oraz bardzo dobre efekty jakościowe. Takie rozwiązanie wytwarzania kompozytów może się sprawdzić w zakładach, które realizują dużą produkcję.

Każdy z automatów produkcyjnych jest projektowany z uwzględnieniem specyficznych wymagań, które ma spełniać. Potrzeby wykonania elementów specjalnych do danej maszyny wynikają na etapie jej projektowania. Materiały kompozytowe dają zarówno możliwości technologiczne wykonania pewnych elementów trudnych do osiągnięcia przy pomocy stali czy też stopów lekkich.

Dzięki kompozytom można również osiągnąć pewne dodatkowe lub poprawione cechy funkcjonalne poszczególnych elementów. Ważne jest, aby konstruktor projektując maszynę był świadomy możliwości, które oferują technologie kompozytowe i był gotowy z nich skorzystać w sytuacjach, kiedy będą one stosowne. Na podstawie realizacji maszyn wykonanych w Instytucie Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego można przedstawić przykłady elementów, wykonanych za pomocą materiałów kompozytowych.

W artykule [4] została przedstawiona konstrukcja maszyny służącej do montażu aplikatorów mocowanych na pojemnikach z masami klejącymi i uszczelniającymi. Automat ten składa się z dwóch podajników wibracyjnych i zespołu tarcz kojarzących ze sobą elementy aplikatury i nasadki. Wykonanie takich elementów, jak podstawy podzespołów, rynny podające detale, rynna zsykowa, a także same zasobniki podajników mogą zostać wykonane,



Rys. 1. Urządzenie do montażu aplikatorów. Na rysunku zaznaczono elementy, w których możliwe jest wykorzystanie materiałów kompozytowych: 1 – podstawy, 2 – rynny zsykowe podające, 3 – rynny zsykowe odprowadzające, 4 – zasobniki podajników, 5 – blat stołu maszyny, 6 – obudowa pulpitu sterowania

Fig. 1. Applicators assembling machine. Following parts can be manufactured using composites: 1 – supporting elements, 2 – supplying downspouts, 3 – outgoing downspouts, 4 – containers, 5 – countertop, 6 – steering caser

Tabela I. Przykładowy kosztorys wykonania stalowego zasobnika podajnika wibracyjnego

Table I. Manufacturing cost estimation of steel container for a vibratory feeder

Kosztorys wykonania stalowego zasobnika o średnicy ok. 70 cm.				
L.p.	Operacja	Robocizna	Koszty materiałowe	
1	Wycięcie blach laserem	900,00 zł	450,00 zł	
2	Doginanie i spawanie blach	3 800,00 zł		
3	Przygotowanie i montaż detali	450,00 zł	250,00 zł	
				RAZEM
	SUMA	5 150,00 zł	700,00 zł	5 850,00 zł

jako laminarna struktura kompozytowa. Ich formy przy nowej technologii wykonania mogą odbiegać od formy osiągniętej dla elementu metalowego. Korzyści wykonania takich elementów z kompozytu będą związane z ograniczeniem procesów obróbkowych. Zmniejszeniu ulegnie ostateczna masa stanowiska montażowego. Zagadnieniem, które jest warte zbadania jest wpływ zastosowania zasobników, podstaw i wsporników kompozytowych na hałas i drgania emitowane przez maszynę podczas pracy.

Zasobnik podajnika wibracyjnego jest naczyniem, którego wnętrze ukształtowane jest tak, aby detale znajdujące się wewnątrz przesuwaly się pod wpływem drgań po specjalnej ścieżce od dołu ku górze. Ścieżka ta ma kształt linii śrubowej. Dno podajnika jest wykonane w formie stożka ułatwiającego zsuwanie detali na zewnątrz, czyli w kierunku śrubowej ścieżki podawania. Na końcu tej ścieżki, na górze podajnika znajduje się oprzyrządowanie zapewniające właściwą orientację. Stalowe podajniki wibracyjne wykonywane są z blachy. Odpowiednie kształty ścieżek, ścianek pionowych, wzmocnień zewnętrznych oraz dna są wykrawane przy pomocy wycinarki laserowej. Następnie następuje czasochłonny proces doginania wykrojów i ich spawania. Wymaga to dużej precyzji spawacza oraz jest czasochłonne, ponieważ nie ma możliwości wykonania tych operacji w jednym kroku. Konieczne jest stopniowe łączenie kolejnych fragmentów.

Kosztorys wykonania stalowego zasobnika o średnicy ok. 70 cm przedstawiono w tab. I.

Rozważany zasobnik podajnika wibracyjnego może zostać wykonany przy użyciu materiałów kompozytowych. Naczynie tego typu może zostać wykonane w różnorodnych technologiach. Najprostszy, aczkolwiek czasochłonny sposób wykonania to technologia ręcznego sycenia. Usprawnieniem tego procesu może być wykorzystanie metod infuzyjnych do przesywania tkanin. Pozwolą one na redukcję czasu przesywania tkanin. Ręczne nasączenie tkanin zostaje zastąpione wymuszonym podciśnieniowo przepływem żywicy. Wykonanie jednostkowego elementu będzie tańsze, jednak technologia infuzyjna ma zastosowanie, jeśli produkcja elementów kompozytowych odbywa się w sposób ciągły, a przynajmniej częsty. Roboczym obszarem zasobnika jest jego powierzchnia wewnętrzna. Dlatego też wykonanie takiego elementu w technologii kompozytowej wymaga przygotowania formy. W tym przypadku wystarczająca jest forma otwarta, która będzie miała postać rdzenia odzwierciedlającego kształt wnętrza naczynia. Przygotowanie takiej formy jest istotnym kosztem w procesie produkcji elementu kompozytowego. W tab. II wykonano oszacowanie kosztów produkcji zasobnika kompozytowego z podziałem na kilka wariantów. Rozgraniczono koszty wykonania pierwszego egzemplarza, a więc uwzględniające przygotowanie formy oraz

Tabela II. Oszacowanie kosztów wykonania kompozytowego zasobnika podajnika wibracyjnego
Table II. Manufacturing cost estimation of composite container for a vibratory feeder

Kosztorys szacunkowy kompozytowej wersji zasobnika o średnicy około 70 cm.					
L.p.	Operacja	Robocizna	Koszty materiałowe		
1	Przygotowanie modelu CAD formy	800,00 zł			
2	Przygotowanie programu CNC	200,00 zł			
3	Frezowanie formy	1 600,00 zł	2 500,00 zł		
4	Polerowanie formy	300,00 zł	100,00 zł		
5	Układanie laminatu				
		szklany	400,00 zł	130,00 zł	
		węglowy	400,00 zł	690,00 zł	
6	Przesycanie			50,00 zł	
		szklany	400,00 zł	160,00 zł	
		węglowy	400,00 zł	110,00 zł	
7	Utwardzanie	200,00 zł		50,00 zł	
8	Rozformowanie	100,00 zł			
9	Obróbka wykańczająca	400,00 zł		20,00 zł	
10	Klejenie detali	400,00 zł		300,00 zł	
	SUMA dla pojedynczej sztuki			RAZEM	
		szklany	4 800,00 zł	3 260,00 zł	8 060,00 zł
		węglowy	4 800,00 zł	3 770,00 zł	8 570,00 zł
	SUMA dla kolejnej sztuki				
		szklany	1 900,00 zł	660,00 zł	2 560,00 zł
		węglowy	1 900,00 zł	1 170,00 zł	3 070,00 zł



Rys. 2. Urządzenie do napełniania zniczy. Wsporniki, blaty lub stół obrotowy maszyny są elementami o potencjale zastosowania kompozytów

Fig. 2. Candle filling machine. Supporting elements and countertops have the potential to be manufactured using composites

koszty wytworzenia kolejnych egzemplarzy. Ponadto ograniczono koszty wykonania wersji zbrojonej włóknami szklanymi oraz włóknami węglowymi. Powierzchnia rozkrojów zasobnika została określona na podstawie danych zasobnika stalowego i wynosi $0,88 \text{ m}^2$. Dla wykonania z włókien węglowych przewidziano 12 warstw, natomiast dla wersji z włókien szklanych 20 warstw zbrojenia.

Szacunkowy kosztorys wykonania zasobnika kompozytowego pokazuje, że koszty wykonania pierwszego egzemplarza wynoszą w granicach 8000–8500 zł, natomiast zasobnik stalowy kosztuje ok. 5850 zł. Tak więc wykonanie pojedynczego zasobnika kompozytowego nie jest opłacalne pod względem ekonomicznym. Natomiast wykonanie kolejnych egzemplarzy nie wymaga już wytwarzania modelu i w konsekwencji daje koszty na poziomie 2500–3000 zł/szt. Biorąc pod uwagę, że koszty każdego egzemplarza wykonanego ze stali są takie same, wykonywanie kilku sztuk w technologii kompozytowej może być ekonomicznie uzasadnione.

Poza kwestiami ekonomicznymi istotnym zagadnieniem jest zbadanie właściwości użytkowych kompozytowej wersji zasobnika. Można podejrzewać, że naczynie wykonane z takiego materiału będzie wykazywało dobre właściwości, jeśli chodzi o tłumienie drgań i związaną z tym redukcję hałasu pracy. Ponadto zmniejszenie masy wprawianej w vibrację może wiązać się ze zmniejszeniem energochłonności całej maszyny. Istotne dla eksploatacji takich elementów jest ich podatność na abrazyjną wynikającą z przesuwu detali po bieżniach. Wyjaśnienie tych kwestii powinno zostać wykonane poprzez przeprowadzenie

cyklu badań eksploatacyjnych demonstracyjnego egzemplarza zasobnika kompozytowego. Przeprowadzenie takiej pracy badawczej jest szczególnie uzasadnione ze względu na możliwość określenia pełnego bilansu zalet i wad zastosowania kompozytu, jako materiału konstrukcyjnego. Wyniki takich badań dadzą szerszy obraz niż tylko ekonomiczny i mogą uzasadnić poniesienie pewnych dodatkowych kosztów technologii kompozytowej.

Z kolei w publikacji [6] przedstawiona została obrabiarka do głębokiego wiercenia. Maszyna jest wyposażona w szereg osłon i elementów obudowy, które mogą zostać z powodzeniem wykonane z laminatów szklano-epoksydowych lub szklano-poliestrowych. Tu również istotny będzie aspekt wycieszenia pracy maszyny oraz odporności elementów na wodorozcieńczalne chłodziwa. Dodatkową korzyścią może być łatwość utrzymania czystości kompozytowej obudowy i osłon. Przy zachowaniu należytej dbałości o jakość powierzchni oraz zastosowaniu warstwy żelkotu odpornego na czynniki chemiczne, powierzchnie kompozytowe będą łatwiejsze do utrzymania w czystości niż blaszane elementy lakierowane proszkowo.

Maszyną o rozległej konstrukcji jest opisany w artykule [5] automat do napełniania i zamykania wkładów do zniczy. Połączenie kilku operacji spowodowało konieczność przestrzennego zestawienia zespołów: napełniania, podawania pokrywek, nakładania pokrywek oraz odprowadzania gotowych produktów. Rozmieszczenie wszystkich elementów tych zespołów wymaga wielu wsporników, podpór i ramion podtrzymujących, które



Rys. 3. Urządzenie do montażu pojemników „dozowników medycznych kroplówek” w przyrządach do infuzji. Blaty, ściany grodziwe, kolumnę lub ramie podające ciecze można wykonać wykorzystując kompozyty

Fig. 3. Medical dozers for drip infusion assembling machine. Countertops, side wall, column or fluid supplying arm are the parts which can be manufactured using composites

są wykonane specjalnie na potrzeby urządzenia. Tego typu struktury nośne można wykonać jako odpowiednio ukształtowane elementy wykonane z kompozytu. Również duży stół obrotowy maszyny oraz zasobnik na lekkie nakrywki zniczy mogą zostać wykonane jako elementy kompozytowe.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można wnioskować, że materiały kompozytowe mogą znaleźć zastosowanie w maszynach pracujących w liniach produkcyjnych

i montażowych. Poszczególne cechy kompozytów, takie jak odporność korozyjna, izolacyjność elektryczna lub niska masa, w wybranych zastosowaniach mogą być istotnym atutem. Takie zalety mogą przesądzić nawet o poniesieniu pewnych dodatkowych kosztów związanych z technologią elementów kompozytowych, a zwłaszcza jej uruchomieniem. Dotychczas w branży zajmującej się automatyzacją produkcji nie widać załączków współpracy z firmami z branży kompozytowej. Te drugie funkcjonują w zupełnie innych sektorach gospodarki. Zainicjowanie prac badawczo-rozwojowych w obszarze wykorzystania kompozytów w wytwarzanych na zamówienie maszynach produkcyjnych i montażowych, może stanowić początek nowego obszaru wykorzystania tych innowacyjnych materiałów. Tego typu prace są dobrym wyzwaniem dla jednostek naukowo-badawczych.

LITERATURA

- [1] Boczkowska A. i in. 2003. „Kompozyty”. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [2] Łunarski J. 2012. „Projektowanie procesów technicznych, produkcyjnych i gospodarczych”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- [3] Łunarski J., W. Szabajkiewicz. 1993. „Automatyzacja procesów technologicznych montażu maszyn”, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- [4] Kobiałka J., G. Oroń, Z. Urbaś. 2014. „Jakościowe i wydajnościowe doskonalenie zautomatyzowanego procesu montażu aplikatorów”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (2): 32–36.
- [5] Pergałowski S., J. Kobiałka, J. Łunarski. 2009. „Automatyczne urządzenie do wydajnego zamykania wkładów zniczy nagrobkowych”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (2): 24–27.
- [6] Rychlik K., M. Jastrzębski. 2012. „Jednowrzecionowa obrabiarka zadaniowa do głębokiego wiercenia otworów wiertłami lufowymi”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (3): 24–27.

mgr inż. Wojciech Zawiejski – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Zakład Mechanizacji Budownictwa, Automatyzacji i Technologii Montażu, ul. Racjonalizacji 6/8, 02-673 Warszawa, e-mail: w.zawiejski@imbigs.pl

ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW PNEUMOKULOWANIA NA WYTRZYMAŁOŚĆ ZAKŁADKOWYCH POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH STOPU TYTANU Ti6Al4V

Analysis of the impact of pneumatic shot peening parameters on the strength of single lap adhesives joints of titanium alloy Ti6Al4V

Władysław ZIELECKI, Katarzyna KORZYŃSKA

S t r e s z c z e n i e: W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych wpływu parametrów pneumatycznego kulowania na wytrzymałość zakładkowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V. Badania przeprowadzono wg planu statycznego, zdeterminowanego, trójpoziomowego Hartley'a PS/DS-P:Ha₃. Parametry pneumatycznego kulowania zmieniały się w zakresie: czas obróbki $t = 1-3$ min, ciśnienie sprężonego powietrza $p = 0,2-0,4$ MPa i średnica kulek $d = 1,5-2,5$ mm. Przyjęty plan badań pozwolił przedstawić wyniki badań w postaci wielomianu drugiego stopnia, umożliwiając wyznaczenie optymalnych parametrów procesu umacniania badanych złączy klejowych.

S ł o w a k l u c z o w e: połączenia klejowe, pneumatyczne kulowanie, plan Hartley'a

A b s t r a c t: The paper presents the results of experimental research on the influence of pneumatic shot peening parameters on the strength of single lap adhesives joint of titanium alloy Ti6Al4V. The experiments were conducted according to statistical Hartley's plan PS/DS-P:Ha₃. Technological parameters were changed in the range; 1–3 min shot peening time t , 0,2–0,4 MPa pressure p and 1,5–2,5 mm diameter of the balls d . The accepted research plan allowed to present the results of the study in the form of a second degree polynomial, allowing to determine the optimal parameters of the process of strengthening the examined joints.

K e y w o r d s: butt-welded joint, pneumatic shot peening, head

Wprowadzenie

Ze względu na swoje doskonałe właściwości, takie jak: wysoki współczynnik wytrzymałości w stosunku do ciężaru właściwego, odporność na korozję i wysoką temperaturę topnienia, stopy tytanu (głównie z aluminium i wanadem – ok. 75% stopów) wykorzystywane są do produkcji elementów głowic wirników śmigłowcowych, części silników lotniczych i na pokrycia samolotów. Stop Ti6Al4V stanowi blisko połowę wszystkich zastosowań związanych z przemysłem lotniczym. Przemysł ten poszukuje nowych technologii, zapewniających zwiększenie wytrzymałości części oraz ich połączeń.

Często stosowaną metodą łączenia blach stanowi klejenie na zakładkę. Zmiana wymiarów (karb geometryczny) w strefie brzegowej połączenia oraz różne właściwości kleju i materiału łączonego powodują koncentrację naprężeń w strefie przy krawędzi zakładki i tym samym jej osłabienie [1, 2].

Dla poprawy wytrzymałości zakładkowych połączeń klejowych stosowane są różne sposoby ukosowania i nawiercania albo nacinania brzegów sklejin, zmniejszające naprężenia i częściowo niwelujące oddziaływanie karbu. Pozwalają na poprawę wytrzymałości sklejin od kilku do ok. 23% [1, 10]. Jednak metody te wymagają dokonywania zmian konstrukcji lub technologii wykonywania połączeń, co w warunkach rzeczywistych (w praktyce) dość często jest utrudnione lub wręcz niemożliwe.

Bardzo prostą metodą poprawy wytrzymałości złączy klejowych jest pneumatyczne kulowanie. Jest to rodzaj obróbki strumieniowo-ściernej, wykonywanej za pomocą małych, twardych stalowych kulek. Taka obróbka (w odróżnieniu od śrutowania) nie powoduje uszkodzeń powierzchni obrabianej. Pneumatyczne kulowanie to łatwy, cechujący się dobrą sterowalnością i niskimi kosztami proces obróbkowy, który może być wykonywany na prawie każdym wyrobie (każdej konstrukcji), za pomocą prostych urządzeń. Szczegóły technologii pneumatycznego kulowania zostały opisane w [4, 5, 6]. W pracach [7, 8] wykazano korzystny wpływ pneumatycznego kulowania na wytrzymałość zakładkowych połączeń klejowych wykonywanych ze stali niskowęglowej. Ponieważ głównym efektem pneumatycznego kulowania jest wprowadzenie do warstwy wierzchniej obrabianych części ściskających naprężeń własnych, to właśnie one wpływają na poprawę wytrzymałości zakładkowych połączeń klejowych [11].

Wstępne badania wykazały możliwość zwiększania nośności jednozakładkowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V o 23,97 do 51,93% dzięki zastosowaniu obróbki umacniającej strefy złącza strumieniem kulek stalowych, rozprężonych sprężonym powietrzem [9]. Wykazały one również, że efektywność umacniania uzależniona jest od parametrów technologicznych procesu pneumatycznego kulowania.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu parametrów pneumatycznego kulowania na wytrzymałość

zakładkowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V. Badania przeprowadzono wg planu statycznego, zdeteminowanego, sekwencyjnego, poliselekcyjnego (Hartleya *PS/DS – P:Ha3*), a matematycznego opracowania wyników tych badań dokonano zgodnie z metodyką podaną w [3].

Metodyka przeprowadzania doświadczeń

Przedmiotem badań były złącza z płytek o wymiarach: 100 mm długości, 25 mm szerokości i grubości 2 mm wykonane ze stopu tytanu Ti6Al4V o składzie chemicznym i właściwościach przedstawionych w tab. I i II. Płytki sklejało na zakładkę o długości 12,5 mm klejem Araldite 2014-1. Powierzchnie łączonych elementów obrobiono strumieniowo-ściernie elektrokorundem (w ośrodku sprężonego powietrza) w następujących warunkach: rozmiar ziarna $wz = 0,27$ mm, ciśnienie powietrza $p = 0,7$ MPa, czas $t = 30$ s oraz odfuszczone myjąc w acetonie przez 2 min.

Po naniesieniu warstwy kleju, próbki mocowano w przyrządzie mechanicznym z dociskiem 0,05 MPa i poddane sieciowaniu w temperaturze $24 \pm 2^\circ\text{C}$ przez 7 dni. Następnie, w warunkach podanych w tab. III, dwustronnie kulkowano zakładki strefie skleiny, a potem umocnione próbki poddano badaniom naprężeń własnych i badaniom wytrzymałościowym.

Testy rozciągania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej INSTRON ElectroPlus™ E10000, obciążając próbki siłą osiową z prędkością 5 mm/min.

Prowadzenie badań eksperymentalnych wg planu statycznego, determinowanego, sekwencyjnego, poliselekcyjnego (Hartleya *PS/DS – P:Ha3*) wymaga zakodowania parametrów zmiennych pneumokulkowania. Przedziały ich zmienności i sposób kodowania podano w tab. III. Wartości tych parametrów przyjęto na podstawie doświadczeń nabytych przy realizacji wcześniejszych własnych prac oraz zaleceń literaturowych [3, 4]. Zakodowana wartość (wartość średnią z trzech pomiarów) dla każdego i -tego czynnika wynikowego oznaczono jako \bar{y}_i , natomiast jako x_i zakodowano podstawowe parametry zmienne procesu pneumokulkowania. Opracowania wyników dokonano zgodnie z metodyką opisaną w [3] przy założonym poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki badań wytrzymałości na rozerwanie

Wyniki pomiarów wytrzymałości na ścinanie wraz z wynikami niektórych obliczeń pomocniczych zamieszczono w tab. IV.

Wyniki uzyskane w oparciu o powyższy plan poddano ocenie powtarzalności stosując kryterium Cochran. Obliczona wartość współczynnika G wynosiła 0,2641 i była mniejsza od wartości krytycznej ($G_{(0,05;11;2)} = 0,4187$),

Tabela I. Skład chemiczny stopu Ti6AL4V
Table I. Chemical composition of Ti6AL4V alloy

V	Fe	O	N	C	H	Al	Ti
3,5-4	≤0,3	≤0,2	≤0,05	≤0,08	≤0,01	5,5–6,75	reszta

Tabela II. Właściwości wytrzymałościowe stopu Ti6AL4V
Table II. Strength properties of Ti6AL4V alloy

Moduł sprężystości E [Gpa]	Wytrzymałość na rozciąganie Rm [Mpa]	Granica plastyczności Rp0,2 [Mpa]	Wytrzymałość zmęczeniowa Rz [MPa] dla 10 ⁷ cykli
110–114	960–970	850–900	620–725

Tabela III. Poziomy zmienności, wartości centralne, przedziały zmienności i sposób kodowania czynników do badań modelowych
Table III. Variance levels, central values, volatility ranges, and coding for model tests

Nazwa czynnika	Wartość na poziomie górnym/dolnym		Wartości centralne czynników wejściowych	Przedział zmienności	Sposób kodowania czynnika
	+	-			
Ciśnienie zasilania p [MPa]	+	0,4	$x_{10} = \frac{0,4 + 0,2}{2} = 0,3$	$\Delta x_1 = \frac{0,4 - 0,2}{2} = 0,1$	$x_1 = \frac{x_p - 0,3}{0,1}$
	-	0,2			
Średnica kulek d [mm]	+	2,5	$x_{20} = \frac{2,5 + 1,5}{2} = 2,0$	$\Delta x_2 = \frac{2,5 - 1,5}{2} = 0,5$	$x_2 = \frac{x_d - 2}{0,5}$
	-	1,5			
Czas obróbki t [s]	+	180	$x_{30} = \frac{180 + 60}{2} = 120$	$\Delta x_3 = \frac{180 - 60}{2} = 60$	$x_3 = \frac{x_t - 120}{60}$
	-	60			

Tabela IV. Wyniki badań i obliczeń pomocniczych wytrzymałości na ścinanie złączy klejowych jednozakładowych stopu tytanu Ti6Al4V
Table IV. Test results and auxiliary shear strength calculations of single lap joint of Ti6Al4V titanium alloy

Lp.	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	\bar{y}_i	$S^2(y)_i$	\hat{y}_i	$(\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2$
1	+	+	+	7638	8241	8120	8000	101762	8712	507318
2	+	-	-	6423	5297	7402	6374	1109557	5816	310823
3	-	+	-	5954	7144	6915	6671	398677	5816	730196
4	-	-	+	8001	7813	7940	7918	9199	8712	630324
5	+	0	0	5901	5696	6836	6144	369308	6599	206632
6	-	0	0	6112	6389	5417	5973	250756	6599	392170
7	0	+	0	7882	7526	7032	7480	182212	7264	46567
8	0	-	0	6184	6859	7062	6702	211286	7264	316452
9	0	0	+	7751	7873	6723	7449	399028	7328	14531
10	0	0	-	5958	6288	5587	5944	122990	5869	5623
11	0	0	0	6075	7886	7805	7255	1046530	6599	430902
Σ	-	-	-	-	-	-	75910	4201307	-	3591538

zatem powtarzalność warunków realizacji doświadczeń uznano za wystarczającą.

Obliczeń wartości współczynników regresji dokonano wstępnie obliczając wartości wielkości pomocniczych:

$$\sum_{i=1}^N \bar{y}_i = 75910 \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^N \bar{y}_i x_{ji}^2 = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{11} x_{ji}^2 \bar{y}_i = \sum_{i=1}^{11} [x_{1i}^2 \bar{y}_i + x_{2i}^2 \bar{y}_i + x_{3i}^2 \bar{y}_i] = 126580 \quad (2)$$

Następnie zgodnie z metodyką podaną w [3], przyjmując wartości odpowiednich współczynników pomocniczych, obliczono wartości poszczególnych współczynników regresji. Ich wartości zamieszczono w trzeciej kolumnie tab. V. Oceny istotności tych współczynników dokonano stosując test t-Studenta, przez porównanie

wartości obliczonych z wartościami krytycznymi zamieszczonymi w tab. V. Po odrzuceniu wyrazów nieistotnych otrzymano (zakodowane) równanie regresji

$$y = 6599 + 665,3x_2^2 + 729,6x_3 + 718,2x_1x_2 \quad (3)$$

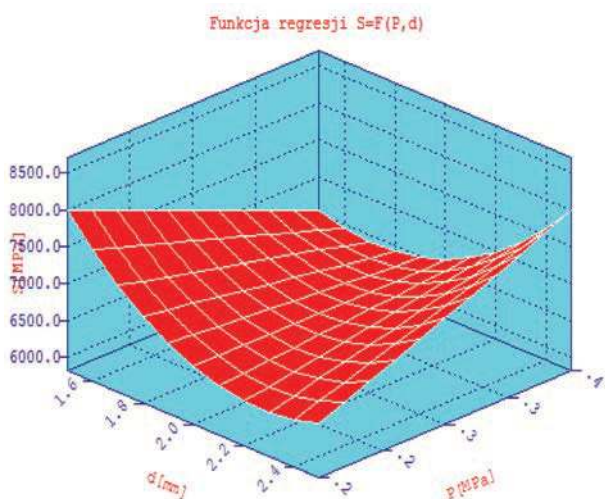
przedstawiające zależność siły zrywającej połączenie klejowe od parametrów pneumatyzacji.

Odkodowania równania regresji (3) dokonano przez podstawienie odpowiednich zależności z tab. 1 do równania (3) otrzymując równanie o postaci:

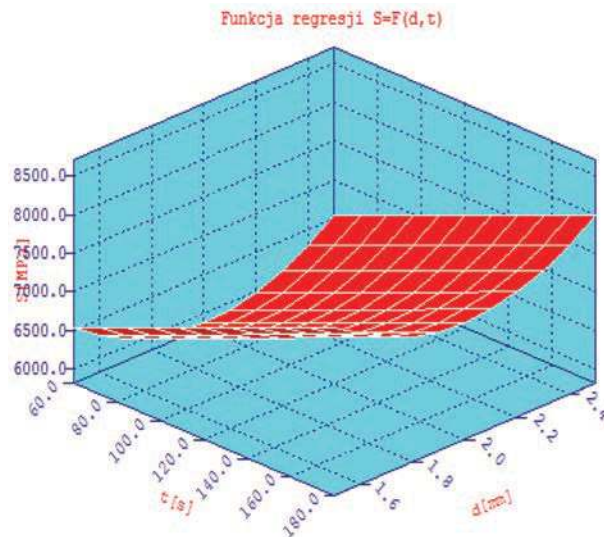
$$Y_{Rt} = 6599 + 665,3 \left(\frac{x_d - 2}{0,5} \right)^2 + 729,6 \left(\frac{x_t - 120}{60} \right) + 718,2 \left(\frac{x_p - 0,3}{0,1} \right) \left(\frac{x_d - 2}{0,5} \right) \quad (4)$$

Tabela V. Wartości obliczone, wartości krytyczne i istotność współczynników regresji modelu (3)
Table V. Calculated values, critical values and significance of model regression coefficients (3)

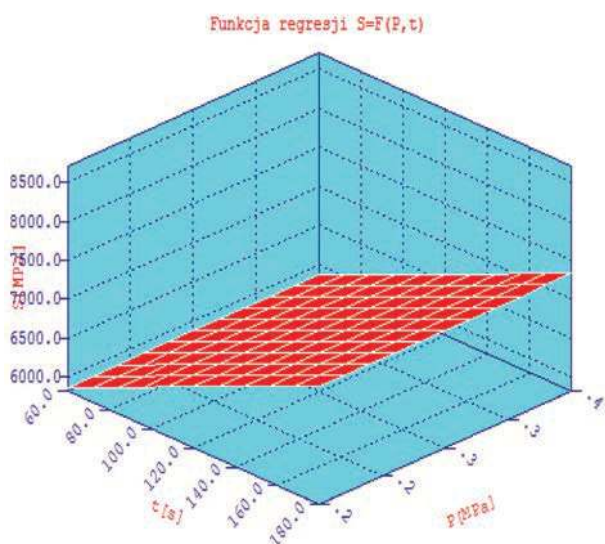
Współczynnik	Wartość krytyczna	Wartość obliczona	Stwierdzenie istotności współczynnika	
b0	408,3	6599	$ b_0 > b_{0kr}$	istotny
b1	302,1	-7,3	$ b_1 < b_{kr}$	nieistotny
b2		192,8	$ b_2 < b_{kr}$	nieistotny
b3		729,6	$ b_3 > b_{kr}$	istotny
b11	475,6	-367,1	$ b_{11} > b_{kkr}$	nieistotny
b22		665,3	$ b_{22} > b_{kkr}$	istotny
b33		271,1	$ b_{33} < b_{kkr}$	nieistotny
b12	370,0	718,2	$ b_{12} > b_{kjk}$	istotny
b13		94,7	$ b_{13} < b_{kkr}$	nieistotny
b23		-53,8	$ b_{23} < b_{kjk}$	nieistotny



Rys. 1. Wpływ średnicy kulek i ciśnienia zasilania na wytrzymałość klejowych złączy zakładkowych ze stopu Ti6Al4V przy czasie pneumokulkowania 120 s
 Fig. 1. Influence of ball diameter and feed pressure on strength of adhesive joints from Ti6Al4V alloy at 120 s pneumococcal time



Rys. 3. Wpływ czasu pneumokulkowania i średnicy kulek na wytrzymałość klejowych złączy zakładkowych ze stopu Ti6Al4V przy ciśnieniu 0,3 MPa
 Fig. 3. Influence of pneumo-pellet time and ball diameter on the strength of adhesive joints of Ti6Al4V alloys at a pressure of 0.3 MPa



Rys. 2. Wpływ czasu pneumokulkowania i ciśnienia zasilania na wytrzymałość klejowych złączy zakładkowych ze stopu Ti6Al4V przy kulkach o średnicy 2 mm
 Fig. 2. Effect of pneumococcal time and feed pressure on the strength of adhesive joints of Ti6Al4V alloy at 2 mm diameter balls

Po wykonaniu działań i uporządkowaniu równania (4) otrzymuje się zależność

$$Y_{Rt} = 24403 + 2661x_d^2 - 28728x_p - 14954x_d + 12t + 14360x_px_d \quad (5)$$

która wyraża wpływ dwóch podstawowych parametrów pneumokulkowania (średnicy kulek d oraz ciśnienia p) na wytrzymałość klejowych złączy zakładkowych. Dla

zobrazowania wpływu tych parametrów na wytrzymałość badanych złączy opracowano wykresy przedstawione na rys. 1–3. Natomiast w przedostatniej kolumnie tab. IV zamieszczono obliczone z otrzymanego modelu (5) wartości wytrzymałości złączy. Te wyniki wykazują dość dobrą korelację z wynikami doświadczalnymi – współczynnik korelacji liniowej wynosi 0,82.

Otrzymany w wyniku doświadczenia model jest nieliniowy. Z przedstawionych zależności graficznych i rezultatów badań zamieszczonych w tab. IV wynika, że najwyższe wartości wytrzymałości złączy zakładkowych uzyskuje się odpowiednio przy najwyższym ciśnieniu i największej średnicy kulek albo przy najniższym ciśnieniu i kulkach o najmniejszej średnicy, w obydwu przypadkach przy najdłuższym czasie obróbki.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że w badanym obszarze zmienności parametrów technologicznych procesu pneumokulkowania największy wpływ na wytrzymałość zakładkowych połączeń klejowych stopu Ti6Al4V wywierają średnica kulek d oraz w ciśnieniu powietrza p .

W badanym obszarze zmienności parametrów technologicznych procesu pneumokulkowania największą wytrzymałość na ścinanie uzyskały połączenia umacniane kulkami o średnicy 1,5 mm rozpędzonymi strumieniem powietrza o ciśnieniu 0,2 MPa oraz połączenia obrobione kulkami o średnicy 2,5 mm rozpędzonymi strumieniem powietrza o ciśnieniu 0,4 MPa.

Otrzymany model matematyczny, opisujący wpływ parametrów pneumokulkowania na wytrzymałość na

ściananie zakładkowych połączeń klejowych stopu Ti6Al4V jest adekwatny, a współczynnik korelacji liniowej pomiędzy wytrzymałością uzyskaną w eksperymencie a wytrzymałością obliczoną z modelu wynosi 0,82.

LITERATURA

- [1] Godzimirski J. 2002. „Wytrzymałość doraźna konstrukcyjnych połączeń klejowych”. Warszawa: WNT.
- [2] Habenicht G. 2009. „Kleben. Grundlagen, Technologien, Anwendungen”. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- [3] Korzyński M. 2017. „Metodyka eksperymentu. Planowanie, realizacja i statystyczne opracowanie wyników eksperymentów technologicznych”. Warszawa: WNT.
- [4] Korzyński M., T. Żarski, K. Korzyńska. 2011. „Surface layer condition and the fatigue strength of an AZ91 alloy after ball peening”. *Journal of Materials Processing Technology* (211): 1982–1988.
- [5] Łunarski J., W. Zielecki. 1990. “Possibilities of improving fatigue properties of machine elements by pneumatic shot peening”. *Proceedings of the ICSP-4*: 263.
- [6] Śledź M., F. Stachowicz, W. Zielecki. 2015. “The effect of shot peening on the fatigue strength of steel sheets”. *Kovove Materialy-Metallic materials* t. 53, 91–95.
- [7] Zielecki W. 2009. “Determinanty určujúce pevnostné vlastnosti lepených spojov”. *Vedecké Spisy Strojníckej Fakulty, Zväzok 02*, Edica: Habilitačné a inauguračné spisy. Košice.
- [8] Zielecki W. 1998. „Wytrzymałość połączeń klejowych po nagniataniu dynamicznym”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (4): 25–28.
- [9] Zielecki W., K. Korzyńska. 2016. „Umacnianie zakładkowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V metodą pneumokulowania”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (1): 44–47.
- [10] Zielecki K., L. Witek. 2015. „Analysis of stress and ultimate strength of modified single adhesive lap joints”. *Logistyka* (4): 7015–7021.
- [11] Zielecki W., R. Perłowski, T. Trzepieciński. 2007. „Analiza stanu naprężeń w spoinie zakładkowego połączenia klejowego umocnionego metodą pneumokulowania”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (1): 31–33.

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

mgr Katarzyna Korzyńska – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: kk@prz.edu.pl

ANALIZA CZASOCHŁONNOŚCI DOCIERANIA TECHNOLOGICZNEGO POWIERZCHNI PŁASKICH W OPERACJACH MONTAŻOWYCH

Analysis of time consumption of plane surfaces lapping in assembly operations

Adam BARYLSKI

Streszczenie: Przedstawiono wyniki analiz docierania i mikroszlifowania elementów płaskich na docieralce jednotarczowej mikroziarnami węgla krzemu. Obrabiano elementy ze stali 100Cr6 oraz z tlenkowej ceramiki technicznej Al_2O_3 . Analizowano czas obróbki i koszty operacji.

Słowa kluczowe: docieranie, mikroszlifowanie, technologia, koszty, analiza

Abstract: Analysis of lapping and microgrinding with carborundum micrograins on single-disc lapping machine are presented in the paper. Machining components are built from steel 100Cr6 and oxide technical ceramics Al_2O_3 . Machining time and costs operation are subjected to analysis.

Key words: lapping, microgrinding, production engineering, costs, analysis

Wprowadzenie

Jednym ze sposobów obróbki ścierniej wykorzystywanym w montażu zespołów maszyn jest docieranie. Obróbka ta stosunkowo często (oprócz szlifowania) stosowana jest podczas montażu z kompensacją technologiczną lub przy wykorzystaniu indywidualnego dopasowania elementów. W praktyce nie ma ograniczeń w zakresie możliwości docierania materiałów metalowych i niemetalowych. W przypadku docierania maszynowego przeważa obróbka powierzchni płaskich i płasko-równoległych na docierarkach jedno – i dwutarczowych. W ostatnim okresie wdrażane są także technologie mikroszlifowania na docierarkach, nazywane również szlifowaniem (lub gładzeniem) z kinematyką docierania [1, 3, 6].

Na przebieg i wynik obróbki mają wpływ czynniki związane z przedmiotem docieranym (rodzaj i stan materiału, właściwości warstwy wierzchniej, konstrukcja przedmiotu, odchyłki kształtu przed docieraniem, wartość naddatku), środkiem docierającym (rodzaj, właściwości i wielkość mikroziaren ściernych, rodzaj i właściwości składników płynnych, dawkowanie), docierakiem (konstrukcja, rodzaj i właściwości materiału, kształt powierzchni roboczej) oraz warunki procesu (kinematyka i prędkość docierania, nacisk jednostkowy). W przypadku mikroszlifowania narzędziem jest ściernica, najczęściej segmentowa, zaś podczas operacji podawany jest zalewowo jedynie płyn obróbkowy [2, 5].

Poniżej przedstawiono porównanie docierania i mikroszlifowania elementu metalowego (stal 100Cr6) i ceramicznego (Al_2O_3 -98%). Podstawą porównania była analiza czasochłonności operacji oraz kosztów.

Technologia docierania i mikroszlifowania

Docieranie i mikroszlifowanie kołowych elementów płaskich (o średnicy 30 mm i wysokości 10 mm) realizowane będzie na docieralce jednotarczowej Abiralap 380 (rys. 1), wyposażonej w trzy pierścienie prowadzące (3), poruszające się na promieniowo rowkowanej żeliwnej tarczy docierającej (2) pokazanej na rys. 2a. Zawiesina ścierna (lub płyn obróbkowy podczas mikroszlifowania) podawana jest w sposób ciągły dozownikiem (4), ze zbiornika (1). W przypadku mikroszlifowania stosowana jest tarcza ścierno-metalowa (rys. 2b).

Czynnik roboczy stosowany do docierania stanowi mieszanina zielonego węgla krzemu F400 (koszt 40 zł/kg) i oleju maszynowego (koszt 11,8 zł/l), przygotowana w stosunku: 0,25 kg ścierniwa i 0,75 l oleju (koszt 1 kg zawiesiny 18,85 zł). Średnia prędkość docierania elementów ze stali 100Cr6 wynosi 0,5 m/s, a dla ceramiki Al_2O_3 – 0,6 m/s. Ilość dawki podawanej zawiesiny ścierniej lub płynu obróbkowego to 48 ml/min. Przy nadadku wynoszącym 0,06 mm czas docierania to odpowiednio: 7,43 (dla stali 100Cr6) i 3,75 min (dla ceramiki Al_2O_3), zaś w przypadku mikroszlifowania czas obróbki jednego wypełnienia trzech separatorów (łącznie 12 elementów) to 3,02 (100Cr6) i 1,61 min (Al_2O_3) [7].

Czasochłonność i koszty obróbki

Znając warunki docierania i mikroszlifowania oraz koszty jednostkowe narzędzi, ścierniwa i płynu obróbkowego wyznaczyć można koszty roboczogodziny stanowiska (tab. 1) oraz porównać koszty operacji obróbki



Rys. 1. Docieraka jednotarczowa – Abralap 380
 Fig. 1. Single-disk lapping machine – Abralap 380



a)



b)

Rys. 2. Narzędzia: a) docierak – średnica 380 mm, b) ściernica segmentowa (ścierno-metalowa)
 Fig. 2. Tools: a) lapping tool – diameter 380 mm, b) segmental grinding wheel (abrasive-metallic)

stali (tab. 2) i ceramiki (tab. 3). Z analizy kosztów wynika, że stosując docieranie jednym narzędziem wykonać można ok. 10400 elementów stalowych, 20800 ceramicznych (docierak żeliwny, możliwe zużycie 26

mm), a stosując mikroszlifowanie (zużycie narzędzia 6 mm) ok. 11900 stalowych i 22300 elementów ceramicznych. W tab. 1, 2 i 3 przedstawiono niezbędne dane.

Tabela 1. Koszty roboczogodziny dla docierania i mikroszlifowania
 Table 1. Costs of man-hour for lapping and microgrinding

KALKULACJA KOSZTOW OGOLNYCH K I CENY C WYBRANEJ OPERACJI (dla jednej sztuki), zł			
W oparciu o koszty roboczogodziny stanowiska technologicznego.			WERSJA I
			STANOWISKOWA
Tabela 1. Koszt roboczogodziny: DOCIERARKI JEDNOTARCZOWEJ			
Lp	Wyszczególnienie		Wartość
1.0	GODZINOWA PŁACA PERSONELU BEZPOŚREDNIEJ		
	OBSŁUGI STANOWISKA, k_{ob} (poz. 1.1 * poz. 1.2),	zł/h	36,90
1.1	Stawka godzinowa (dane źródłowe), S_1	zł/h	30,00
1.2	Współczynnik (dane źródłowe - UMOWA O PRACĘ), (dodatki do płac, podatki, ZUS, fundusze socjalne i in.), W_1	zł/h	1,23
2.0	GODZINOWA PŁACA PERSONELU POMOCNICZEGO POŚREDNIO		
	PRZYPADAJĄCA NA STANOWISKO, $k_{p.}$ (poz. 2.5 * poz. 2.4/poz.2.6), zł/h		33,69
2.1	Stawka godzinowa (dane źródłowe),	zł/h	35,00
2.2	Współczynnik (dane źródłowe), (dodatki do płac, podatki, ZUS i in.),	zł/h	1,23
2.3	Liczba osób, (dane źródłowe),		10,00
2.4	Godzinowa płaca personelu pomoc. (poz. 2.1 * poz. 2.2 * poz. 2.3),	zł/h	430,50
2.5	Powierzchnia zajmowana przez stanowisko, (poz. 3.4.1),	m ²	9,00
2.6	Powierzchnia całkowita hali wydziału, (dane źródłowe),	m ²	115,00
3.0	GODZINOWE KOSZTY MASZYNOWE, k_{mh}		
	(poz. 3.2 + poz. 3.3 + poz. 3.4 + poz. 3.5 + poz. 3.6)	zł/h	5,19
3.1	Efektywny fundusz czasu pracy, (dane źródłowe),	h/r	3168,00
3.2	Godzinowe koszty odpisów amortyzacyjnych, k_A		
	(poz. 3.2.1/ (poz. 3.2.2 * poz. 3.1))	zł/h	3,16
3.2.1	koszt nabycia nowego urządzenia, (dane źródłowe),	zł	80000,00
3.2.2	okres użytkowania, (dane źródłowe),	liczba lat	8,00
3.2.3	rodzaj odpisu amortyzacyjnego, (dane źródłowe),		liniowy
3.3	Godzinowe koszty odsetek kalkulacyjnych, (0,5poz. 3.2.1*10%/poz.3.1),	zł/h	1,26
3.4	Godzinowe koszty lokalowe, k_2 , (poz. 3.4.5/(poz. 3.1/12))	zł/h	0,48
3.4.1	całkowita powierzchnia produkcyjna zajmowana przez maszynę (poz. 3.4.2 + poz. 3.4.3)	m ²	9
3.4.2	podstawowa, (dane źródłowe),	m ²	4
3.4.3	pomocnicza, (dane źródłowe),	m ²	5
3.4.4	miesięczny koszt utrzymania (dzierżawy) powierzchni, (dane źródłowe),	zł/m ₂ *m-c	14
3.4.5	miesięczny koszt utrzymania (dzierżawy) powierzchni całkowitej stanowiska, (poz. 3.4.1 * poz. 3.4.4),	zł/m-c	126
3.5	Godzinowe koszty utrzymania maszyny w ruchu, k_p		
	(poz. 3.2 * poz. 3.5.2),	zł/h	0,20
3.5.1	roczny koszt utrzymania urządzenia w ruchu i jej konserwacja, (dane źródłowe),	zł/rok	5000
3.5.2	współczynnik, (poz. 3.5.1/3.2.1),	-	0,06
3.6	Godzinowe koszty energii, k_E , (poz. 3.6.3 * poz. 3.6.4),	zł/h	1,36
3.6.1	moc silnika, (dane źródłowe),	kW	7,5
3.6.2	współczynnik wykorzystania mocy, (dane źródłowe),	-	0,55
3.6.3	moc silnika efektywna, (poz. 3.6.1 * poz. 3.6.2),	kW	4,13
3.6.4	cena energii elektrycznej, (dane źródłowe),	zł/kWh	0,33
4.0	KOSZT ROBOCZOGODZINY STANOWISKA, k_s,		
	(poz. 1.0 + poz. 2.0 + poz. 3.0),	zł/h	75,78

Tabela 2. Koszty operacji docierania i mikroszlifowania stali 100Cr6
 Table 2. Costs of lapping and microgrinding operation of 100Cr6 steel

PORÓWNANIE KALKULACJI KOSZTÓW DLA JEDNEJ PARTII (n=12)			
W oparciu o koszty roboczogodziny stanowiska technologicznego:			
DOCIERARKI JEDNOTARCZOWEJ			
Tablica nr 1. Dane porządkowe			
Material próbki:	stal 100Cr6		
Numer operacji:	Nazwa operacji: DOCIERANIE I MIKROSZLIFOWANIE		
Tablica nr 2. Dane wejściowe			
Lp.	Wyszczególnienie	Wartość	
		DOCIE	MIKRO
1	Czas jednostkowy t_1 , min	7,43	3,02
2	Czas przyg.- zakoń. T_{pz} , min	20	20
3	Liczba sztuk w partii: n	12	12
4	Koszty materiałów, zł	6,73	3,73
5	Usługi obce (kooperacja), zł	0	0
6	Stopa zysku, zł	0	0
Tablica nr 3. Obliczenia kosztów			
Lp.	Wyszczególnienie	Wartość	
		DOCIE	MIKRO
1.1	Koszt robocizny bezpośredniej R_b	5,59	2,88
1.2	Koszt robocizny pośredniej K_{ip}	5,11	2,63
1.3	Koszt maszynowy K_{mh}	0,79	0,41
1.0	Koszt stanowiskowy K_s	11,49	5,92
2.0	Koszt materiałów M	6,73	3,73
3.0	Koszt kooperacji	0,00	0,00
4.0	KOSZTY OGÓLEM	18,22	9,65
5.0	Zysk Z	0,00	0,00
6.0	CENA	18,22	9,65

Komponent	DOCIE (zł)	MIKRO (zł)
Koszt robocizny bezpośredniej R_b	5,59	2,88
Koszt robocizny pośredniej K_{ip}	5,11	2,63
Koszt maszynowy K_{mh}	0,79	0,41
Koszt stanowiskowy K_s	11,49	5,92
Koszt materiałów M	6,73	3,73
Koszt kooperacji	0,00	0,00
KOSZTY OGÓLEM	18,22	9,65
Zysk Z	0,00	0,00
CENA	18,22	9,65

Tabela 3. Koszty operacji docierania i mikroszlifowania ceramiki Al_2O_3
 Table 3. Costs of lapping and microgrinding operation of Al_2O_3 ceramics

PORÓWNANIE KALKULACJI KOSZTÓW DLA JEDNEJ PARTII (n=12)			
W oparciu o koszty roboczogodziny stanowiska technologicznego:			
DOCIERARKI JEDNTARCZOWEJ			
Tablica nr 1. Dane porządkowe			
Material próbki:	Ceramika Al_2O_3		
Numer operacji:	Nazwa operacji: DOCIERANIE I MIKROSZLIFOWANIE		
Tablica nr 2. Dane wejściowe			
Lp.	Wyszczególnienie	Wartość	
		DOCIE	MIKRO
1	Czas jednostkowy t_j , min	3,75	1,61
2	Czas przyg.- zakoń. T_{pz} , min	20	20
3	Liczba sztuk w partii: n	12	12
4	Koszty materiałów, zł	3,39	1,46
5	Usługi obce (kooperacja), zł	0	0
6	Stopa zysku, zł	0	0
Tablica nr 3. Obliczenia kosztów			
Lp.	Wyszczególnienie	Wartość	
		DOCIE	MIKRO
1.1	Koszt robocizny bezpośredniej R_b	3,33	2,02
1.2	Koszt robocizny pośredniej K_{rp}	3,04	1,84
1.3	Koszt maszynowy K_{mh}	0,47	0,28
1.0	Koszt stanowiskowy K_s	6,84	4,14
2.0	Koszt materiałów M	3,39	1,46
3.0	Koszt kooperacji	0,00	0,00
4.0	KOSZTY OGÓLEM	10,23	5,60
5.0	Zysk Z	0,00	0,00
6.0	CENA	10,23	5,60

Składniki kosztów i ceny operacji DOCIERARKI JEDNTARCZOWEJ

Komponent	DOCIE (zł)	MIKRO (zł)
Koszt robocizny bezpośredniej R_b	3,33	2,02
Koszt robocizny pośredniej K_{rp}	3,04	1,84
Koszt maszynowy K_{mh}	0,47	0,28
Koszt stanowiskowy K_s	6,84	4,14
Koszt materiałów M	3,39	1,46
Koszt kooperacji	0,00	0,00
KOSZTY OGÓLEM	10,23	5,60
Zysk Z	0,00	0,00
CENA	10,23	5,60

Podsumowanie

Z przeprowadzonych analiz wynika, iż wprowadzenie mikroszlifowania jest szczególnie zasadne w przypadku względnie dużej liczby obrabianych elementów, co w operacjach montażowych z kompensacją technologiczną lub indywidualnym dopasowaniem nie ma większego zastosowania w praktyce, tym bardziej, że koszty takich narzędzi, szczególnie ściernic diamentowych lub z CBN [8, 10] są nadal wysokie. W przypadku wkładek (segmentów) z materiałów ściernych konwencjonalnych (węgiel krzemu, elektrokorund) koszt tarczowych narzędzi ścierno-metalowych jest porównywalny z docierakami żeliwnymi, o odpowiedniej jakości ich struktury i twardości. Docieranie jest obróbką konkurencyjną, szczególnie wtedy, gdy nie ma potrzeby wymiany zawiesziny ścierniej (rodzaju i wielkości mikroziaren), gdy nie dysponujemy odpowiednią liczbą obrabiarek, na których można wykonać operacje obróbkowe dla różnych pod względem materiałowym i wymiarowym elementów oraz o odmiennych wymaganiach dokładności i jakości powierzchni, narzuconych przez konstruktora. Jedynie w przypadku, gdy szkodliwym zjawiskiem jest, w późniejszej eksploatacji zespołu, skażenie powierzchni obrobionej ścierniwem – mikroszlifowanie może być obróbką zalecaną w technologiach montażowych [4].

Przytoczone wyniki analiz mogą być pomocne m.in. podczas przygotowywania kosztorysów operacji docierania i mikroszlifowania powierzchni płaskich elementów metalowych i ceramicznych.

LITERATURA

- [1] Barylski A. 2006. „Modułowe narzędzia tarczowe do mikroszlifowania powierzchni płaskich”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (3): 27–28.
- [2] Barylski A. 2002. „Narzędzia dla docierarek jednotarczowych. Modułowe konstrukcje i ich analiza”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (4): 33–37.
- [3] Barylski A. 2000. „Narzędzia składane do docierarek tarczowych”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (4): 32–35.
- [4] Barylski A. 2013. „Obróbka powierzchni płaskich na docierarkach”. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- [5] Feng J. et. al. 2007. “Investigation of Tool Wear in Microgrinding of Ceramic Materials with Sintered Metal bonded Wheel”. 2nd International Conference in Micromanufacturing. Greenville.
- [6] Feng J. 2010. “Microgrinding of ceramic materials”. Michigan.
- [7] Jabłońska K. 2013. „Analiza kosztów obróbki elementów na docierarce jednotarczowej”. Prowadz. pracę Barylski A., Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej.
- [8] Stähli A.W., B. Stähli. 2005. “Microfinishing – yesterday – today and tomorrow from Micron to Nano and Angstrom”.
- [9] Wook Park H. 2008. “Development of micro-grinding mechanics and machine tools”. Georgia.
- [10] www.kemet.co.uk, dostęp 15.03.2017.

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.edu.pl

АНАЛИЗ И ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УСТРОЙСТВ ЗАГРУЗКИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СБОРКИ МЕДИЦИНСКОЙ МИКРОПРОБИРКИ

Analiza rozwiązań technologicznych dla projektowania ładowarki roboczej automatycznej linii montażowej mikrotubów medycznych

Analysis of technological solutions for designing work loader of the automated assembly line of medical microtubes

M.W. WARTANOW, T. A. GASHIN

Введение: В статье рассматривается задача укладки изделия на транспортер для последующей упаковки. Проведен анализ нескольких способов и выбран оптимальный. Была проведена сравнительная оценка качества проекта автоматической линии.

Ключевые слова: Автоматическая линия; автоматическая сборка; упорядоченная укладка; транспортёр

Streszczenie: W artykule rozpatrywane jest zadanie układania wyrobów na przenośnik w celu późniejszego pakowania. Przeprowadzono analizę kilku sposobów i wybrano optymalne. Przeprowadzono analizę porównawczą i ocenę jakości projektu automatycznej linii.

Słowa kluczowe: linia automatyczna, automatyczny montaż, uporządkowane układanie, przenośnik

Abstract: The article deals with the task of putting microtubes on the transporter line for the following packing. Several methods of solving this problem are analyzed with the best one performed. The performance of the automated transfer line is tested.

Keywords: Automated transfer line, automated assembly, ordered packaging, transporter

В связи с увеличением производства на предприятии ООО «Эйлитон» возникла необходимость автоматизировать сборку изделий (Фото 1). Был разработан сборочный комплекс, а также автомат для упаковки готового изделия.

Предприятие создано на базе отдела проблем развития аналитической и лазерной медицинской техники Всероссийского Научно – Исследовательского института и Испытательного Института Медицинской техники. На протяжении многих лет сотрудники отдела проводили технические испытания оборудования для клиничко-диагностических лабораторий и лазерной медицинской техники.

Одним из видов расходного материала является микропробирка для взятия капиллярной крови.

Для сборки пробирок были разработаны сборочные автоматы, которые, обеспечивают необходимый уровень производительности. Общий вид автоматизированной сборочной линии показан на фото 2.

Три сборочных автомата объединены в линию с помощью транспортёра. На транспортёре размещён принтер, который наносит на микропробирке необходимую информацию. С транспортера изделия подаются в автомат для упаковки.



Фото 1. Микропробирка для взятия капиллярной крови
Photo 1. Microtube for taking capillary blood



Фото 2. Общий вид автоматической линии сборки микропробирок
Photo 2. General view of automated assembly line of microtubes

Постановка задачи была следующей: необходимо создать узел снимающий собранные микропробирки со сборочного автомата и укладывающий их на ленту конвейера. Микропробирку необходимо уложить ровно между роликми транспортёра в строго ориентированном положении. Не допускается наличие двух изделий в одном пазе. Осевое положение микропробирки должно точно совпадать с её местом на конвейере (осевое смещение микропробирки мм). Поверхности, контактирующие с изделием должны быть легкодоступными (для промывки). Также необходимо учитывать, что автоматы стоят по разные стороны конвейера.



Рисунок 1. Желоб с изгибом в вертикальной плоскости
Fig.1. Curved guide channel in vertical plane

Изначально планировалось доставлять пробирки по желобу с изгибом в вертикальной плоскости и трафаретным вырезом непосредственно на ленту (Рисунок 1) [1]. При таком варианте планировалось синхронизировать движение конвейера и все три сборочных автомата между собой для раскладки изделий в определённые места на конвейере. От такого способа пришлось отказаться ввиду дороговизны и сложности синхронизации, а также сложности расчета векторов действий сил в момент контакта изделия с роликми транспортёра [2].

Было принято решение разбить узел на два функциональных элемента. Первый элемент отвечает за съём микропробирки со сборочного автомата и вторичную ориентацию. Второй за укладку изделия на ленту. В качестве первого элемента рассматривались следующие варианты:

- Желоб с изгибом в вертикальной плоскости (Рисунок 1).
- Желоб с трафаретным вырезом (Рисунок 2).
- Желоб с изгибом в горизонтальной плоскости (Рисунок 3).
- Камера переворота пробирок.

В качестве элемента, отвечающего за укладку микропробирок на ленту, рассматривали следующие варианты:

- Бункер с выпадением пробирок по шторке;
- Бункер с отслеживанием свободных пазов по датчику;
- Площадка отбора пробирки барабаном (Рисунок 4).

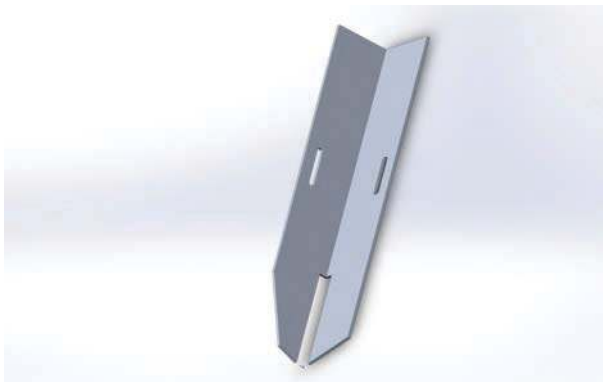


Рисунок 2. Желоб с трафаретным вырезом
Fig. 2. Guide channel with stenciled notch



Рисунок 3. Желоб с изгибом в горизонтальной плоскости
Fig. 3. Curved guide channel in horizontal plane

В качестве первого элемента был выбран вариант желоба с трафаретным вырезом, как самый простой в реализации. В качестве второго был испытан вариант выкладки микропробирок по шторке, но от него пришлось отказаться по причине низкой надёжности. Следующим решением рассматривался узел, где пробирку подхватывает барабан, который приводится в движение цепью конвейера. При таком варианте выкладка ведётся точно в «зарезервированный» паз. Также при использовании такого варианта возможно сохранение ограничения подвижности изделия максимально долго. При данном решении пробирка находится под контролем непосредственно до точки выкладки и не может лечь в паз неровно. Морфологический анализ, проведённый по методике ТРИЗ [3] подтвердил правильность выбора.

Задача была решена следующим образом. Микропробирка со сборочного автомата попадает на желоб с трафаретным вырезом под капилляр (Рисунок 5 позиция 1). Выпадая на площадку (позиция 2), изделие тормозит об упор (позиция 3) и скатывается к барабану. Попадая в паз на барабане (позиция 4), изделие скользит по направляющим к «точке сброса», ограниченная в осевом смещении щёчками (позиция 5).

В настоящее время данный узел находится в экспериментальной эксплуатации в составе

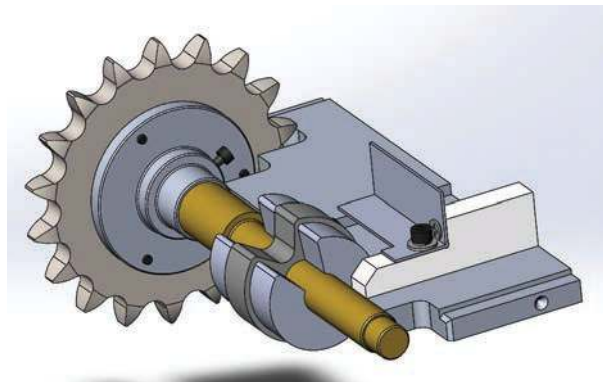


Рисунок 4. Барабан отбора микропробирки
Fig. 4. Reel of microtube's picking

автоматической линии. Линия функционирует в режиме опытной эксплуатации. Проводятся уточняющие расчёты производительности и надёжности.

В соответствии с рекомендациями, изложенными в [4] была проведена сравнительная оценка качества проекта автоматической линии. Для выбранных 6 характерных данной линии критериев были подобраны характерные параметры (или коэффициенты). Каждый параметр показывает степень исполнения рассматриваемого критерия численно по пятибалльной шкале. Так балл 1 отвечает нежелательным ситуациям; балл 3 отвечает ситуациям, которые в условиях организации являются приемлемыми; балл 5 отвечает ситуациям идеальным. Были выбраны следующие критерии оценки линии:

1. *Степень автоматизации установки и необходимость рабочего для обслуживания.* Линия находится в опытной эксплуатации и поэтому требует постоянного контроля со стороны оператора. В ходе наблюдений за работой системы (линии с операторами) было выявлено, что доля времени, приходящаяся на обслуживание данной установки, у оператора составляет примерно половину. Исходя из вышеперечисленных данных, оценка составляет 3 балла.
2. *Время автономной работы.* Линия, находясь в экспериментальном обслуживании, находится под постоянным контролем наладчика. Наладчик подстраивает неудовлетворительные элементы и обеспечивает удовлетворительное качество сборки в реальном времени. Доля времени простоя линии для подналадки примерно равна половине часа на две смены. Таким образом, время автономной работы оценивается 4-мя баллами.
3. *Качество проведения сборочных работ* оценивали по количеству некачественных сборок на одну смену работы линии. За время экспериментальной эксплуатации линии не было выявлено дефектов сборки. Все пробирки собраны в соответствии с требованиями, которые к ним предъявляются. Оценка по этому параметру составляет 5 баллов.

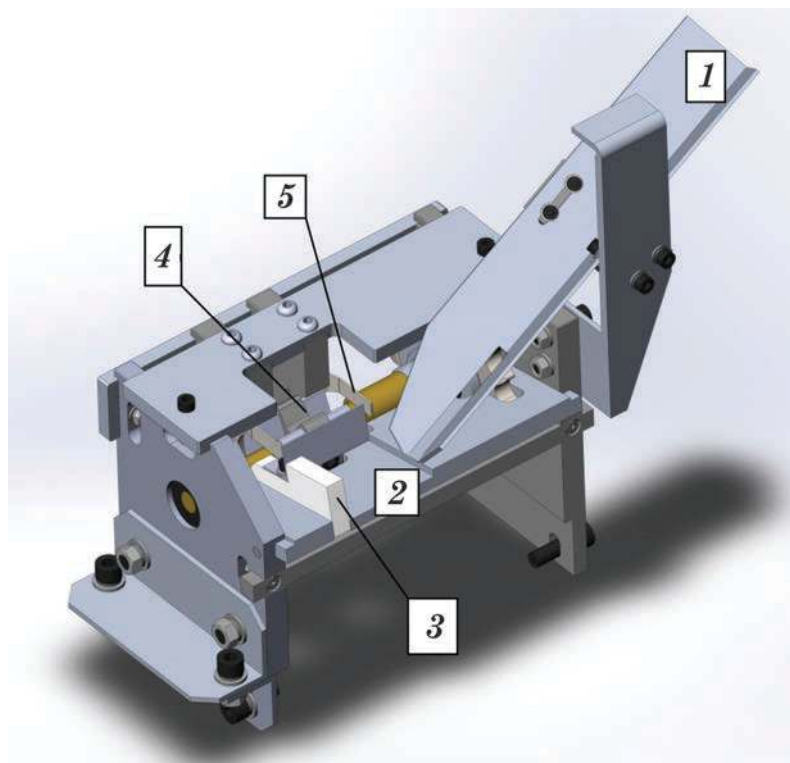


Рисунок 5. Узел укладки микропробирки на ленту конвейера
Fig. 5. Part element of microtube packaging on transporter line

4. *Общее время обслуживания установки.* Длительность плановых простоев линии на две смены составляет 1 час 20 минут. За это время происходит подготовка линии к работе, загрузка электронных устройств в начале смены и промывка (чистка) линии после смены, а также пересмена. Числовая характеристика составляет 4 балла.
5. *Степень стандартизации линии высока.* 90% элементов установки – стандартные или покупные элементы. Оценка – 5 баллов.
6. *Экологические свойства установки.* Линия изначально проектировалась как полностью экологичная установка. Нежелательные выбросы в атмосферу исключены. Вибрации не превышают стандартных норм. Такое проектирование было вызвано задачей минимизировать расходы на обслуживающий персонал. Оценка экологичности составляет 5 баллов.
7. Оценка возможности адаптивной оптимизации параметров собираемого узла проводилась с учетом возможных изменений параметров собираемого изделия. При первоначальном проектировании было необходимо учитывать, что внешний вид изделия до конца не утверждён. Изделие возможно видоизменять без дополнительных затрат на сборочные автоматы. Оценка выставлялась исходя из того, что не все параметры изделия можно изменить и составила 5 балла.

По выбранным критериям было выполнено сравнение действительной линии с условной идеальной

линией. Проведенная оценка указывает, по каким критериям настоящая линия отстает от идеальной и фиксирует моменты, которые требуют доработки в будущем. Общая оценка линии составляет – 4 балла. Ведутся доработки, влияющие на автономность и надёжность работы линии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Вартанов М.В., Гашин Т.А. Выбор метода упорядоченной укладки микропробирки для взятия капиллярной крови на ленту транспортёра. // Материалы IV международного научно-технического семинара «Современные технологии сборки»: сборник (Москва, 22-23 октября 2015г.) / Университет машиностроения. – М., МГИУ, 2015, с.36–38.
- [2] Технология автоматической сборки. Под ред. А.Г. Холодковой. Машиностроение, М., 2010.–567с.
- [3] Альтшуллер Г.С. Найти идею – Новосибирск, 1991.
- [4] Ежи Лунарски. Сравнительная оценка качества автоматических сборочных установок. // Материалы IV международного научно-технического семинара «Современные технологии сборки»: сборник (Москва, 22-23 октября 2015г.) / Университет машиностроения. – М., МГИУ, 2015, с.90–94.

prof.dr hab.inż. M.W. Wartanow i T.A. Gasiñin są pracownikami Moskiewskiego Państwowego Uniwersytetu Technicznego Budowy Maszyn (MAMI) w Moskwie, e-mail: m.v.vartanov@mospolytech.ru

ANALIZA SKUTECZNOŚCI W SZKOLENIU PRAKTYCZNYM Z WYKORZYSTANIEM SYMULATORÓW MASZYN BUDOWLANYCH

Analyses of efficiency in practical training with use of construction machiner simulators

Kazimierz RYCHLIK, Stanisław ARASZKIEWICZ

S t r e s z c z e n i e: W artykule przedstawiono analizę skuteczności w szkoleniu praktycznym oraz postęp w nabywaniu umiejętności praktycznych przy wykorzystaniu technik symulacji z użyciem symulatora koparki jednoznaczyniowej Volvo ECX210.

S ł o w a k l u c z o w e: szkolenie zawodowe, symulator, koparka

A b s t r a c t: The paper presents an analysis of effectiveness in practical training and progress in acquiring practical skills using simulation techniques using the simulator of the Volvo ECX210 one-bucket excavator.

K e y w o r d s: vocational training, simulator, excavator

Wprowadzenie

W Ośrodku Szkolenia Operatorów Maszyn Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie prowadzone są szkolenia operatorów maszyn roboczych przy wykorzystaniu nowoczesnych narzędzi i technik dydaktycznych, opartych o symulatory maszyn roboczych (rys. 1) [4].

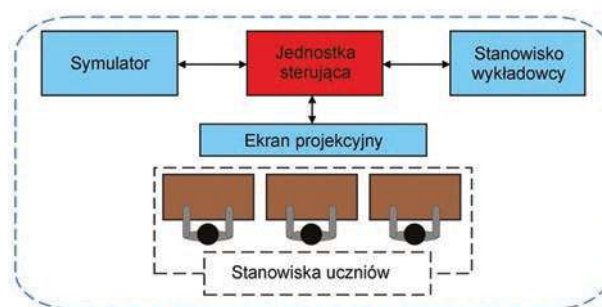
Równoległe ze szkoleniami prowadzone są prace badawczo-rozwojowe, których celem jest określenie



Rys. 1. Symulator koparki jednoznaczyniowej EC210C
Fig. 1. Single-van excavator simulator EC210C

skuteczności dydaktycznej technik symulacji w procesie szkolenia i doskonalenia zawodowego operatorów maszyn budowlanych. Badania prowadzone są z uwzględnieniem specyfiki i różnorodności technologicznej placu budowy. Szczególny nacisk kładziony jest na badanie skuteczności dydaktycznej technik symulacji w szkoleniu praktycznym operatorów maszyn. Celem nadrzędnym jest zwiększenie bezpieczeństwa oraz jakości końcowej szkolenia praktycznego.

Badania skuteczności technik symulacji w szkoleniu praktycznym operatorów maszyn budowlanych prowadzone są w specjalnie przystosowanej do tego procesu, sali treningowo-szkoleniowej funkcjonującej w Instytucie Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie [2].



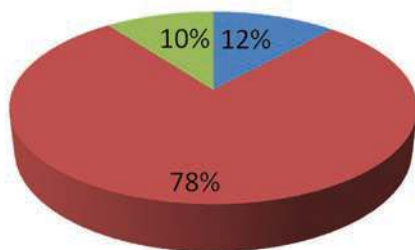
Rys. 2. Struktura sali treningowo-szkoleniowej wyposażonej w symulator koparki jednoznaczyniowej EC210C

Fig. 2. Structure of the training and training room equipped with EC210C single stage turret simulator

Grupę badawczą stanowili kursanci uczestniczący w typowych szkoleniach operatorów maszyn w specjalności koparki jednoznaczyniowe, klasa III. Cała grupa badawcza liczyła 68 osób i była zróżnicowana pod względem wykształcenia i doświadczenia zawodowego (rys. 3).

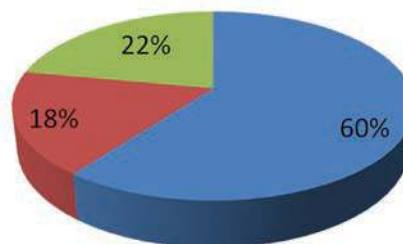
Udział w badaniu w podziale na wykształcenie

■ Podstawowe ■ Średnie ■ Wyższe



Udział w badaniu w podziale na doświadczenie

■ Małe ■ Średnie ■ Duże



Rys. 3. Udział osób w badaniu w podziale na wykształcenie i doświadczenie zawodowe
Fig. 3. Participation of persons in the study divided into education and professional experience

Badania zostały przeprowadzone w 7 grupach, liczących 9–10 osób. Każda grupa przystępująca do badań przeszła wcześniej w OSOM IMBiGS cykl szkoleń teoretycznych, obejmujących moduły [2], [3]:

- **M.BHP** – Bezpieczeństwo i higiena pracy.
- **M.U-O** – Użytkowanie i obsługa maszyn roboczych.
- **M.SI-1/III** – Ogólna budowa i obsługa koparek jednoznaczyniowych.



Rys. 4. Scenariusz – zadanie załadunku kamieni na wozidło
Fig. 4. Scenario – task of loading stones on the dump

- **M.SI-1/III** – Technologia robót realizowanych koparkami jednoznaczyniowymi.

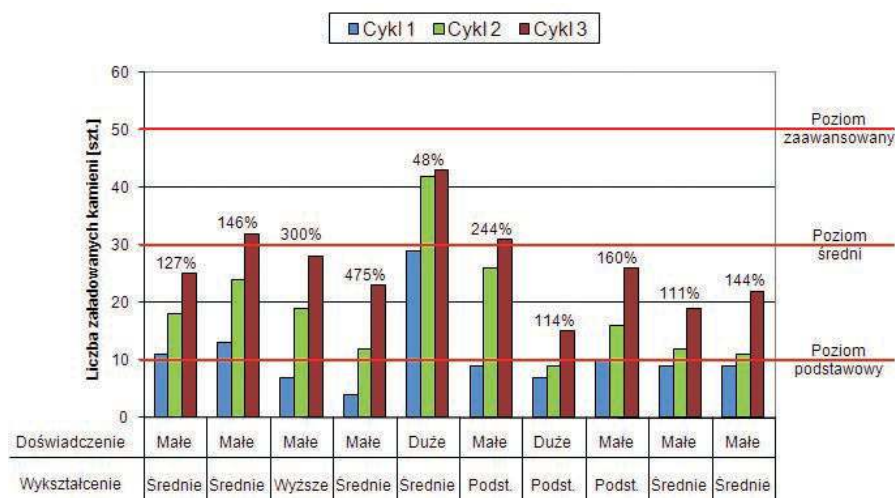
W trakcie badań grupa badawcza realizowała zadania technologiczne w trzech cyklach powtórzeniowych. Zadania zostały wybrane z dostępnego oprogramowania symulatora koparki jednoznaczyniowej EC210C firmy VOLVO, w którym użyto oprogramowania firmy ORYX SIMULATIONS [6].

Ze względu na duży zakres badań w artykule przedstawiony został jedynie fragment badań dotyczących dwóch zadań technologicznych [5].

Zadanie nr 1 – Załadunek kamieni na wozidło

- Cel: załadunek jak największej liczby kamieni.
- Czas realizacji zadania: 3 min od momentu uruchomienia silnika maszyny.
- Warunki: za każde uderzenie w burtę wozidła punkty karne (-1 kamień za uderzenie).

Na rys. 5 przedstawiono wyniki zadania nr 1 dla 10 osób z grupy badawczej nr 6. Podane na rysunku wartości procentowe określają zmianę wyniku cyklu 3-go w stosunku do 1-go. Na potrzeby analizy wyniki cyklu 1-go przyjęto na poziomie 100%.



Rys. 5. Wyniki zadania nr 1 z uwzględnieniem doświadczenia i wykształcenia dla 10 osób z grupy badawczej nr 6
Fig. 5. Results of task no. 1 taking into account experience and education for 10 persons from research group no. 6

Uzyskane wyniki w zadaniu nr 1 wskazują w każdym przypadku na poprawę wyników cyklu 3-go względem 1-go. Na podstawie uzyskanych wyników zostały określone poziomy zdobytych kwalifikacji w zakresie praktycznych umiejętności pracy maszyną. W tym przypadku większość kursantów uzyskało już na początku szkolenia poziom podstawowy. Niestety kolejne cykle powtórzeniowe zadania pozwoliły tylko trzem kursantom na uzyskanie poziomu średniego, co wskazuje że pozostałe osoby wymagały nadal szkolenia umiejętności praktycznych na poziomie podstawowym.

Zadanie nr 2 – Załadunek ziemi na samochód

- Cel: załadunek jak największej ilości ziemi.
- Czas realizacji zadania: 3 min od momentu uruchomienia silnika maszyny.
- Warunki: za każde uderzenie w burtę samochodu punkty karne (-0,8 m³ ziemi za uderzenie).

Na rys. 7 przedstawiono wyniki zadania nr 2 dla 10 osób z tej samej grupy badawczej nr 6 jak dla zadania nr 1. Podane na rysunku wartości procentowe określają



Rys. 6. Scenariusz – zadanie załadunku ziemi na wozidło
Fig. 6. The scenario – the task of loading the land on a dump

zmianę wyniku cyklu 3-go w stosunku do 1-go. Na potrzeby analizy wyniki cyklu 1-go przyjęto na poziomie 100%.

Uzyskane wyniki w zadaniu nr 2, podobnie jak w zadaniu nr 1, wskazują również w każdym przypadku na poprawę wyników cyklu 3-go względem 1-go. W zadaniu nr 2, gdzie nastąpiła zmiana rodzaju załadowywanego materiału z kamieni na ziemię, dokonano również podziału wyników na poziomy uzyskanych umiejętności. Spośród całej grupy badawczej tylko dwie osoby uzyskały poziom średni i nikt nie osiągnął poziomu zaawansowanego.

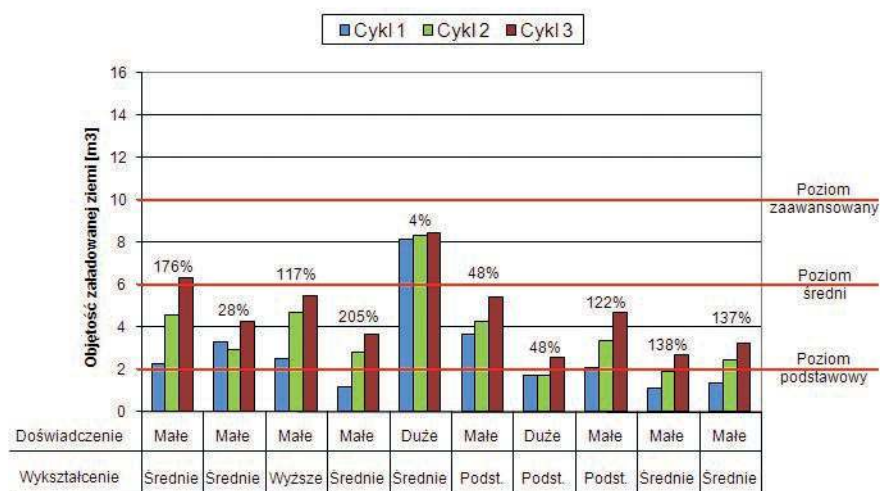
Przedstawione wyniki w jednoznacznie przedstawiają aktualny poziom zdobytych umiejętności praktycznych i są wskazaniem dla dalszej konfiguracji zadań treningowych realizowanych na symulatorze.

Analizie poddano również wyniki w poszczególnych grupach uczestników szkolenia w zależności od ich doświadczenia początkowego łącznie dla 68 osób. Doświadczenie pogrupowano w zależności od liczby posiadanych przez uczestnika Szkolenia uprawnień operatora maszyny roboczej:

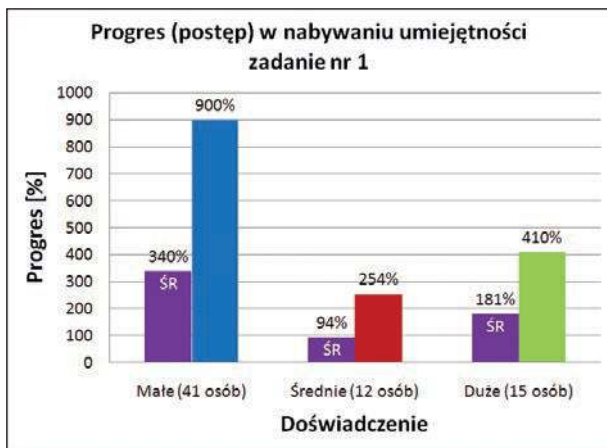
- **doświadczenie małe** – uczestnik szkolenia bez uprawnień operatora maszyny roboczej,
- **doświadczenie średnie** – uczestnik szkolenia posiada 1 uprawnienie operatora maszyny roboczej,
- **doświadczenie duże** – uczestnik szkolenia posiada min. 2 uprawnienia operatora maszyny roboczej.

Na rys. 8 i 9 przedstawiono wyniki zadania nr 1 (rys. 8) i zadania nr 2 (rys. 9) dla poszczególnych grup o doświadczeniu małym (41 osób), średnim (12 osób) i dużym (15 osób) czyli dla całej grupy badawczej liczącej 68 osób. Przedstawione na rysunkach wartości procentowe dla danej grupy określają:

- wartość największą – najlepszy wynik cyklu 3-go w stosunku do 1-go każdej osoby w danej grupie,
- wartość średnią – średnia arytmetyczna najlepszych wyników cyklu 3-go w stosunku do 1-go każdej osoby w danej grupie.



Rys. 7. Wyniki zadania nr 2 z uwzględnieniem doświadczenia i wykształcenia dla 10 osób z grupy badawczej nr 6
Fig. 7. Results of task no. 2 taking into account experience and education for 10 persons from research group no. 6



Rys. 8. Wyniki maksymalnego i średniego postępu w nabywaniu umiejętności dla pełnej grupy badawczej (68 osób) w zadaniu nr 1

Fig. 8. Results of maximum and average progress in acquiring skills for a full research group (68 persons) in task no. 1

Na podstawie przeprowadzonej analizy zaobserwowano, że osoby o małym doświadczeniu uzyskują największe postępy w zdobywaniu umiejętności praktycznych. Warto również zwrócić uwagę, iż 60% w całej grupie badawczej stanowiły osoby o małym doświadczeniu zawodowym, a więc bez żadnych uprawnień do pracy z maszynami roboczymi.

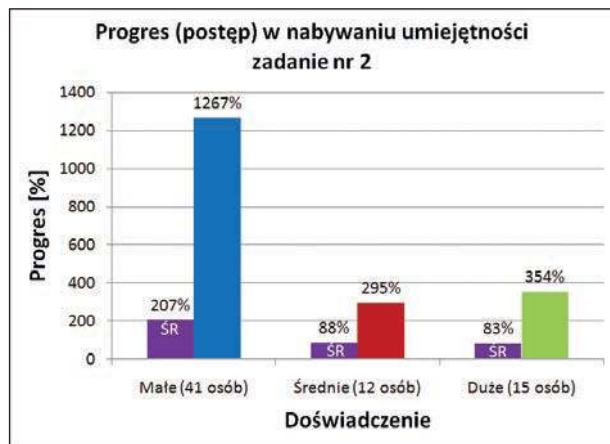
Podsumowanie

Analiza wskazała, iż u osób o dużym doświadczeniu odnotowywane są bardzo wysokie wyniki początkowe, które w kolejnych cyklach ulegają silnej stagnacji. Osoby te osiągają 4-krotny przyrost umiejętności praktycznych. Natomiast osoby o małym doświadczeniu początkowym uzyskują niskie wyniki początkowe, ale za to wykazują większy progres w nabywaniu umiejętności, nawet 9-krotny.

Zestawienie średnich wyników na rys. 8 i 9 potwierdza, że w grupie osób z małym doświadczeniem przyrost umiejętności jest 2-3-krotnie większy niż w grupach z średnim i dużym doświadczeniem.

Zróżnicowane tempo nabywania umiejętności praktycznych kursantów potwierdza konieczność wprowadzenia poziomów zdobytych umiejętności (podstawowy, średni, zaawansowany). Na podstawie poziomów i osiągniętych wyników możliwe jest budowanie indywidualnych scenariuszy (zadań) szkoleniowych.

Wykorzystane w badaniach elementy szkolenia praktycznego operatorów maszyn nie kończą procesu szkoleniowego, lecz są kontynuowane wg dalszych programów.



Rys. 9. Wyniki maksymalnego i średniego postępu w nabywaniu umiejętności dla pełnej grupy badawczej (68 osób) w zadaniu nr 2

Fig. 9. Results of maximum and average progress in acquiring skills for a full research group (68 persons) in task no. 2

LITERATURA

- [1] Jodłowski M., T. Koperski, D. Szwiertnia. 2014. „Program nauczania operatorów koparek jednonaczyniowych w zakresie III klasy uprawnień. Zajęcia praktyczne na stanowisku symulatora koparki jednonaczyniowej Volvo ECX210 wyposażonym w tablicę interaktywną”. Warszawa.
- [2] Koperski T. i in. 2017. „Program szkolenia operatorów klasy III koparek jednonaczyniowych w zakresie modułu M.SI-1/III – przedmioty specjalistyczne”. Warszawa.
- [3] Koperski T. i in. 2017. „Program szkolenia operatorów maszyn roboczych w zakresie modułów M.BHP oraz M.U-O”. Warszawa.
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 20.09.2001 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas eksploatacji maszyn i innych urządzeń technicznych do robót ziemnych, budowlanych i drogowych (Dz.U.2001.118.1263) z późn. zm.
- [5] Rychlik K., S. Araszkiwicz. 2017. „Bezpieczeństwo pracy priorytetem w szkoleniach OSOM IMBiGS”. *Forum Budowlane* (4).
- [6] VOLVO EXC SIMULATOR – Instrukcja obsługi profesjonalnego symulatora koparki VOLVO EC210C.

mgr inż. Kazimierz Rychlik – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, ul. Racjonalizacji 6/8, 02-673 Warszawa, e-mail: k.rychlik@imbigs.pl

mgr inż. Stanisław Araszkiwicz – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, ul. Racjonalizacji 6/8, 02-673 Warszawa, e-mail: s.araszkiwicz@imbigs.pl

WPLYW ŁĄCZNIKÓW MECHANICZNYCH NA NOŚNOŚĆ POŁĄCZEŃ HYBRYDOWYCH

Impact of mechanical fasteners on the carrying capacity of hybrids

Marek ROŚKOWICZ, Justyna CHUDOWOLSKA

Streszczenie: W pracy zaprezentowano rezultaty własnych badań, których celem było porównanie nośności połączeń dwuzakładowych, w których łączono element wykonany z polimerowych materiałów kompozytowych z dwoma elementami stalowymi. Elementy były łączone metodą klejenia (połączenia adhezyjne), metodą mechaniczną i hybrydową (adhezyjno – mechaniczną). W badaniach wykorzystano klej Epidian 57/Z1 oraz elementy przygotowane na bazie prepegów węglowych techniką autoklawową. Stwierdzono, że nośność połączeń hybrydowych w istotny sposób zależy od materiału, z którego wykonane są łączniki mechaniczne oraz od parametrów geometrycznych samych łączników. Stwierdzono również, że zastosowanie łączników mechanicznych w połączeniu hybrydowym zabezpiecza węzeł przed gwałtownym zniszczeniem w przypadku dekohezji połączenia adhezyjnego.

Słowa kluczowe: połączenia hybrydowe, połączenia śrubowe, nośność połączeń

Abstract: The paper presents the results of own research, the aim of which was to compare the load capacity of two-lap joints, in which the element made of polymer composite materials was connected with two steel elements. The elements were joined by adhesive bonding (adhesive joints), mechanical and hybrid (adhesive – mechanical). In the research involved using elements based on CFRP prepreg using the autoclave technique and Epidian 57/Z1 adhesive. It was found that the load capacity of hybrid joints depends significantly on the material from which the mechanical fasteners are made and on the geometrical parameters of fasteners. It has also been found that the use of mechanical fasteners in a hybrid connection protects the construction node against rapid destruction in the case of adhesive joint decohesion.

Keywords: hybrid connections, screw connections, load carrying capacity

Wstęp

Połączenia hybrydowe są kombinacją połączeń adhezyjnych i mechanicznych, które wspólnie tworzą węzeł konstrukcyjny. Bardzo często kombinację tego typu połączeń wykorzystywano w celu poprawy cech użytkowych węzła połączeniowego, w tym m.in. zapewnienia szczelności połączenia lub zabezpieczenia konstrukcji przed negatywnym wpływem warunków atmosferycznych – problematyka korozji elektrochemicznej. Coraz szersze zastosowanie polimerowych materiałów kompozytowych w konstrukcjach lotniczych czy samochodowych spowodowało, że oprócz właściwości użytkowych tego rodzaju połączeń istotne znaczenia mają również ich właściwości mechaniczne, w tym ich nośność [2, 3, 4].

Nośność połączeń hybrydowych zależy od wielu parametrów konstrukcyjnych, technologicznych i materiałowych, w tym m.in. rodzaju połączenia, rodzaju łączonych materiałów, rodzaju wykorzystywanych klejów i mechanicznych łączników [1, 5, 6].

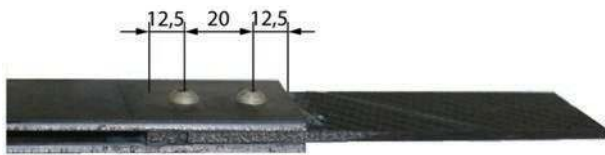
Celem przeprowadzonych testów eksperymentalnych było porównanie nośności połączeń adhezyjnych, mechanicznych i hybrydowych w kontekście możliwości łączenia kompozytowych elementów pierwszorzędowej struktury płatowca statku powietrznego połączeniami hybrydowymi. Nośność połączeń oceniano na podstawie niszczącej próby osiowego rozciągania próbek. W badaniach oceniono również możliwość

ograniczenia negatywnego wpływu łączników mechanicznych na materiał kompozytowy poddany naciskom powierzchniowym.

Metodyka badań

W badaniach eksperymentalnych wykorzystano połączenia dwuzakładowe, w których kompozytowy element łączono z dwiema stalowymi nakładkami. Elementy kompozytowe zostały powycinane techniką WaterJet z 10 warstwowego laminatu węglowego w układzie quasi-izotropowym o grubości 3 mm. Do przygotowania próbek połączeń zostały wykorzystane elementy kompozytowe i stalowe o długości 140 mm, szerokości 40 mm oraz grubości 3 mm. Próbką została wykonana w układzie symetrycznym, gdzie rdzeń stanowił element kompozytowy, a zakładki zewnętrzne były wykonane z płyty stalowej 40H. Do przygotowania połączeń adhezyjnych i hybrydowych został wykorzystany klej Epidian 57/Z1. Do przygotowania połączeń mechanicznych i hybrydowych wykorzystano łączniki w postaci nitów lotniczych aluminiowych BN-70 1121-03 o średnicy \varnothing 5 mm oraz śrub stalowych o średnicy \varnothing 5 mm oraz \varnothing 3 mm BN-73/1112-03.

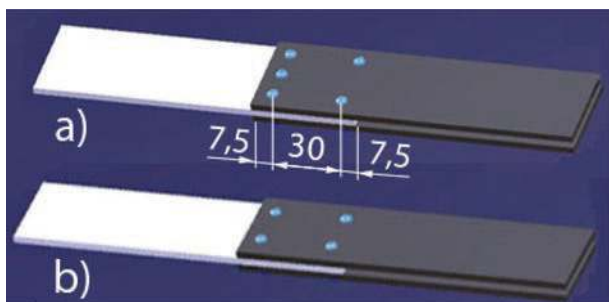
W pierwszym etapie badań porównano nośność połączeń: adhezyjnych, mechanicznych i hybrydowych. Jako połączenia hybrydowe zastosowano połączenia śrubowo-klejowe oraz nitowo-klejone, stosując w nich



Rys. 1. Widok próbki nitowo-klejowej przygotowanej do badań
Fig. 1. View of hybrid specimen prepared for testing

nity i śruby o średnicy $\varnothing 5$ mm. Łączniki zostały zamontowane w otworach wykonanych zgodnie ze schematem: pierwszy otwór w odległości $2,5 \times$ średnicy od krawędzi zakładki, drugi otwór $4 \times$ średnicy od pierwszego. Uwzględniając średnice zastosowanych łączników otwory wykonano w odległości 12,5 mm i 32,5 mm od krawędzi zakładki. Dodatkowo otwory wykonano w osi próbki, tzn. 20 mm od krawędzi bocznej próbki. Długość zakładek w połączeniu była równa 45 mm. Widok jednej z próbek przygotowanej do badań zaprezentowano na rys. 1.

W drugim etapie badań porównywano nośność połączeń mechanicznych i hybrydowych, w których wykorzystano jako łączniki mechaniczne tylko śruby. Przyjmując kryterium jednakowego pola przekroju otworów wykonywanych pod łączniki, oprócz śrub o średnicy 5 mm, zastosowano śruby o mniejszej średnicy równej 3 mm, zwiększając jednocześnie liczbę łączników do 4 i 5 (przy liczbie 5-ciu łączników suma pól przekrojów otworów pod śruby o średnicy 3 mm była równa sumie pól otworów pod 2 śruby o średnicy 5 mm). Do badań przygotowano również próbki dwuzakładkowe, wykonane z tych samych elementów (jeden element kompozytowy, dwa elementy stalowe). Otwory pod śruby o średnicy 3 mm wykonano kierując się zasadą wykonywania otworów w odległości $2,5 \times$ średnicy od wszystkich krawędzi (zarówno krawędzi zakładki i krawędzi bocznych połączenia). W przypadku zastosowania pięciu śrub w połączeniu łączniki mechaniczne miały układ dwurzędowy niesymetryczny – w jednym rzędzie zostały zamontowane 2 śruby, w drugim rzędzie 3 śruby. W rzędzie z trzema łącznikami – śruba środkowa została zamontowana w osi podłużnej próbki (tzn. 20 mm od krawędzi bocznej próbki). Schemat



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia łączników mechanicznych w połączeniu hybrydowym: a) liczba śrub – 5, b) liczba śrub – 4 (II etap testów eksperymentalnych)

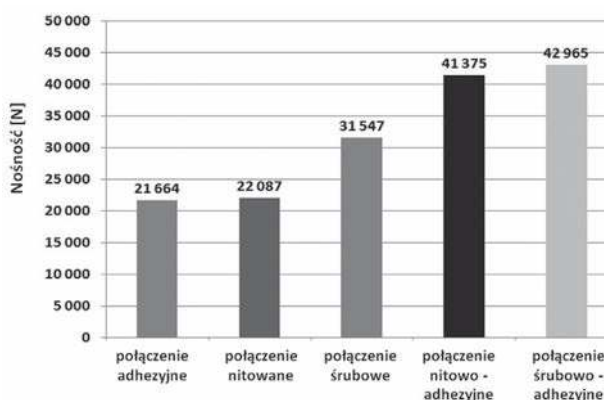
Fig. 2. Pattern of arrangement of mechanical fasteners in hybrid joint: a) number of screws – 5, b) number of screws – 4 (II stage of experimental tests)

rozmieszczenia śrub o średnicy 3 mm zaprezentowano na rys. 2.

Przygotowane do testów próbki połączeń poddano badaniom nośności w temperaturze pokojowej za pomocą uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej firmy Hung-ta, o numerze katalogowym HT-2402. Dla jednego punktu pomiarowego wykonano badania na trzech próbkach połączeń do analizy, przyjmując średnią arytmetyczną z trzech pomiarów.

Wyniki badań

Wyniki uzyskane w badaniach eksperymentalnych dla pierwszego etapu zaprezentowano na rys. 3.



Rys. 3. Porównanie nośności połączeń adhezyjnych i hybrydowych (dla dwóch wariantów łączników mechanicznych śrub i nitów)

Fig. 3. Comparison of load capacity in adhesive and hybrid joints (for two variants of mechanical fasteners screws and rivets)

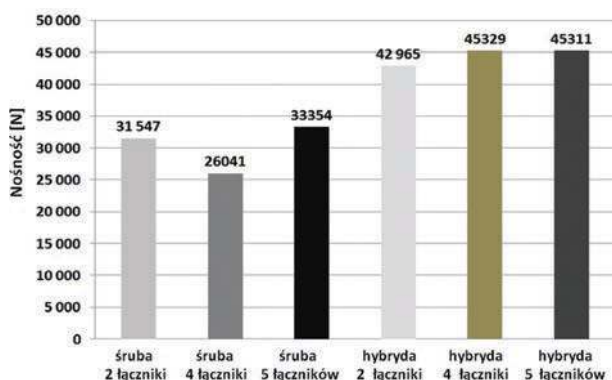
Otrzymane rezultaty wskazują, że zmodyfikowanie połączeń adhezyjnych za pomocą łączników mechanicznych (śrub lub nitów) powoduje istotny wzrost nośności połączenia (w przypadku zastosowania nitów nawet ponad dwukrotny). Z dwóch przebadanych wariantów połączeń hybrydowych: śrubowo-klejowego i nitowo-klejowego, nieznacznie większa nośność cechowała połączenia z łącznikami śrubowymi. Należy przypuszczać, że wynikało to z mniejszej podatności na odkształcenia łączników śrubowych wykonanych ze stali, w porównaniu do nitów wykonanych ze stopu aluminium. Zastosowanie mniej podatnych na odkształcenia łączników w połączeniu hybrydowym powodowało, że występujące na końcach zakładki niekorzystne zjawisko oddzierania spoiny klejowej miało mniejszy wpływ na nośność połączenia. Obserwacja odkształceń występujących w połączeniu nitowym w wyniku działania wtórnych momentów gnących potwierdza to przypuszczenie (rys. 4). Rodzaj materiału, z którego zostały wykonane łączniki mechaniczne miał wpływ nie tylko na nośność połączeń (większa po zastosowaniu śrub), ale również na formę niszczenia połączenia. W przypadku połączenia nitowego łączniki zostały ścięte, natomiast połączeniu śrubowemu zniszczony został element kompozytowy w przekroju krytycznym.



Rys. 4. Widok próbki w połączeniu mechanicznym nitowanym podczas badań w takcie próby rozciągania – zauważalne zjawisko rozwarstwiania połączenia

Fig. 4. View of sample in mechanical coupling riveted during testing in the tensile test – noticeable delamination of the joint

Wyniki uzyskane dla drugiego etapu testów eksperymentalnych zaprezentowano na rys. 5. Podobnie jak w etapie pierwszym nośność połączeń hybrydowych była znacznie większa od połączeń mechanicznych. Dodatkowo wykorzystanie śrub o mniejszej średnicy, ale w większej liczbie (zachowując kryterium równości pól przekrojów poprzecznych łączników) okazało się efektywniejszym rozwiązaniem. Nośność, zarówno połączeń mechanicznych jak i hybrydowych, z takim rodzajem łączników, była o kilkanaście procent większa. Nie bez znaczenia jest również postać niszczenia połączenia. W przypadku zastosowania łączników o większej średnicy, przekroje krytyczne stosowanych elementów w połączeniu były mniejsze i zniszczeniu ulegał element kompozytowy. Wykonując otwory pod śruby o mniejszej średnicy łączone elementy były uszkodzane w mniejszym zakresie – pola przekrojów krytycznych były mniejsze i zniszczeniu ulegały śruby. Ponadto, w połączeniach hybrydowych zmniejszenie liczby łączników z pięciu do czterech nie spowodowało spadku nośności połączenia hybrydowego, a stopień



Rys. 5. Porównanie nośności połączeń mechanicznych (śrubowy) i hybrydowych (śrubowo-klejonych) (dla trzech wariantów ilości łączników)

Fig. 5. Comparison of load capacity in the adhesive, mechanical (screws) and hybrid joints (for three variants of the number of fasteners)

wstępnego uszkodzenia materiału przez otwory w łączonych elementach był mniejszy (co jest szczególnie istotne w przypadku wykorzystania materiałów kompozytowych).

Wnioski

Na podstawie wykonanych badań eksperymentalnych stwierdzono, że:

- połączenia hybrydowe charakteryzuje wyższa nośność w porównaniu do połączeń adhezyjnych i mechanicznych,
- nośność połączeń hybrydowych jest istotnie zależna od rodzaju materiału z którego wykonane są łączniki mechaniczne – materiały mniej podatne na odkształcenia są efektywniejsze ponieważ jak należy sądzić spoiny klejowe w połączeniu hybrydowym są mniej wyczerpane na krawędziach zakładki,
- wykorzystując w połączeniu hybrydowym materiały kompozytowe korzystniej jest stosować łączniki o mniejszych średnicach – mogą one być montowane bliżej krawędzi zakładek połączenia co pozytywnie wpływa na rozkład naprężeń w spoinie klejowej oraz bardziej efektywnie wykorzystuje się materiał łączonych elementów w strefie połączenia (np. większe pola przekrojów krytycznych).

LITERATURA

- [1] Ahn J., N. Duffala. 2010. "Metal-to-Metal and Metal-to-Composite Bonded and Bolted Structural Joints". Encyclopedia of Aerospace Engineering.
- [2] Baldan A. 2004. "Adhesively-bonded joints and repairs in metallic alloys, polymers and composite materials: Adhesives, adhesion theories and surface pretreatment". *Journal of Materials Science* Vol. 39.
- [3] Camanho PP. et. al. 2005. "Increasing the efficiency of composites single – shear lap joint using bonded inserts". *Composites: Part B* 36.
- [4] Chowdhury N. et. al. 2015. "Static and fatigue testing thin riveted, bonded and hybrid carbon fiber double lap joints used in aircraft structures". *Composite Structures* 121.
- [5] Rośkowicz M., P. Leszczyński, J. Chudowolska. 2016. "Analysis of load capacity of hybrid joints used in the construction on aircraft. IV". Polish Conference POŁĄCZENIA MONTAŻOWE – konstrukcje i technologia. Rzeszów – Polańczyk.
- [6] Rośkowicz M. 2011. "Possibility of repair damaged riveted joint in the aircraft structures". *Biuletyn WAT*, Vol. LX (1).

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

mgr inż. Justyna Chudowolska – PZL Mielec, doktorantka ITL WAT, ul. Witolda Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa, e-mail: chudowolska.justyna@gmail.com

РЕИНЖИНИРИНГ ЗУБЧАТЫХ ЗАЦЕПЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ УНИФИЦИРОВАННОГО ОПИСАНИЯ ПАРАМЕТРОВ

Reinżyniering przekładni zębatych na bazie modelu zunifikowanego opisu parametrów

Reengineering of gear tools on the basis of the unified description of parameters

V.A. PASICHNYK, B.S. VORONTSOV

Аннотация: Представлен оригинальный подход к технологии реинжиниринга зубчатых зацеплений для условий изношенных зубчатых колес. Рассмотрены современные аппаратно-программные комплексы создания электронного эталона зубчатого зацепления. Представлены модели унифицированного описания зубчатых зацеплений, инвариантные к исходному профилю зубчатого зацепления и оригинальное программное обеспечение, их реализующее.

Ключевые слова: Реинжиниринг, моделирование, зубчатое зацепление

Streszczenie: W pracy przedstawiono oryginalne podejście do technologii reinżynieringu połączeń zębatych w warunkach zużytych kół zębatych. Przeanalizowano współczesne aparaturowo-programowe kompleksy tworzenia elektronicznego wzorca połączenia zębatego. Przedstawiono modele zunifikowanego opisu połączeń zębatych inwariantowe względem początkowego profilu zębatego zazębienia i oryginalny program ich realizacji.

Słowa kluczowe: reinżyniering, modelowanie, zębate zazębienie

Abstract: An original approach to the technology of gear reengineering for the conditions of worn gears is presented. The modern hardware and software complexes for creating an electronic standard for gearing are considered. Models of the unified description of gearing invariant to the initial profile of the gearing and original software that implements them are presented.

Keywords: reengineering, modeling, gearing

Введение

Реинжиниринг (обратный инжиниринг) – интенсивно развивающаяся технология, которая имеет широкие практические перспективы, требует научного подхода к его изучению для решения целого ряда проблем: рационального обоснованного выбора метода обратного инжиниринга, оборудования и программного обеспечения с учетом особенностей промышленных изделий. [1].

В зависимости от задачи реинжиниринга и исходного состояния зубчатых колес к измерительному оборудованию предъявляются различные требования. Если необходимо получить информацию по измерениям нового зубчатого колеса и потом его воспроизвести с максимальной точностью, необходимы координатно-измерительные машины высокой точности. Если мы получаем геометрическую информацию по изношенной детали, то точность измерения может быть на порядок меньше, но не превышать величину износа поверхности зубьев.

Целью данной работы является демонстрация возможностей реинжиниринга зубчатых зацеплений на базе современных аппаратно-программных комплексов и оригинального программного обеспечения.

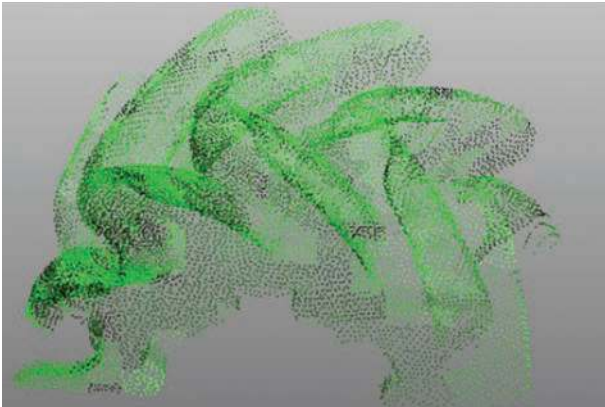
Получение первичной информации. Для получения первичной информации использовалась КИМ FARO Edge ScanArm HD (рис. 1) [2].



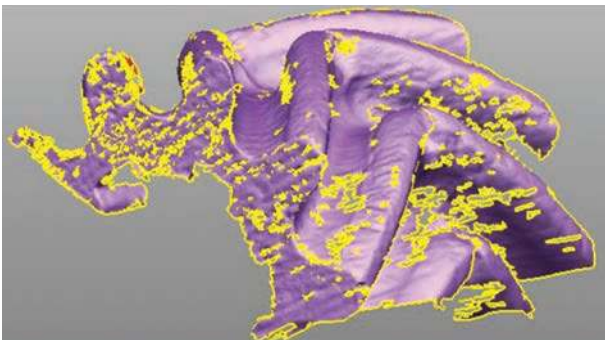
Рисунок 1. КИМ FARO Edge ScanArm HD
Fig. 1. CIM FARO Edge ScanArm HD



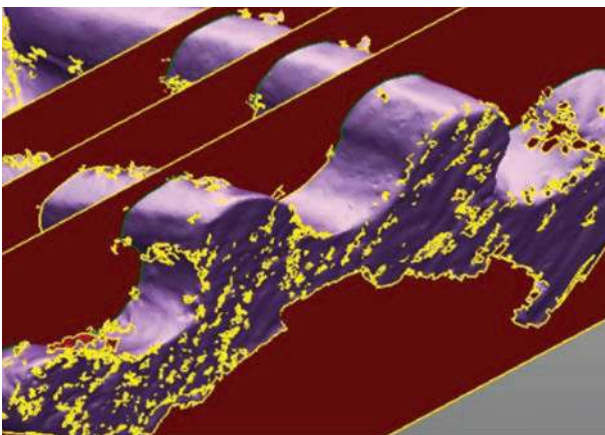
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2. Процесс получения исходной информации
Fig. 2. The process of obtaining the initial information

Процесс получения исходной информации предусматривает этапы, в общем виде представленные на рис. 2).

После подготовки поверхности зубчатого колеса выполняется процесс его оптического сканирования (рис. 2,а). Бесконтактный лазерный сканер за один проход сканирует зону определенной фиксированной ширины. Чтобы оцифровать всю деталь, делается несколько сканирующих проходов с разных ракурсов, чтобы луч лазера мог добраться до затененных зон.

На следующем этапе (рис. 2,б) мы получаем облако точек. Необходимо отметить, что любая координатно-измерительная машина или 3D-сканер в результате сканирования выдает дискретный набор 3D-точек. Поскольку для работы с триангулированными данными применяются особые методы математического описания, отличающиеся от используемых для поверхностных или твердотельных САД-моделей, появился особый класс САПР, ориентированный на обработку и редактирование именно сканированных облаков точек.

Далее (рис. 2,в) формируется обволакивающая [3] поверхность, которая в случае изношенных зубчатых колес должна быть подвержена процедуре восстановления («лечения»).

На следующем этапе (рис. 2,г) для определения профиля зубьев шевронного колеса разбиваем построенную триангуляционную модель сечениями, параллельными торцу модели с шагом 5 мм. Для этого на торце выбираем три точки и через них проводим торцевую плоскость. В каждой из секущих плоскостей строим линии пересечения плоскостей и модели. Удаляя триангуляционную модель, получаем профили зубьев колеса в секущих плоскостях. После удаления секущих плоскостей получаем кривые, описывающие профили зубьев в различных сечениях. Удаляем случайно отклоненные кривые, соединяем разрывы и сглаживаем кривые в точках контакта. Для того, чтобы получить более достоверную информацию о профиле нескольких зубьев, мы поворачиваем все сечения вокруг оси колеса и сводим их к проекции на один зуб (рис. 3).

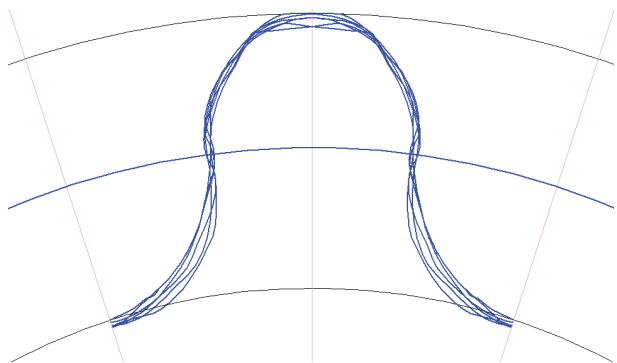


Рисунок 3. Совмещение профилей в один зуб
Fig. 3. Combining the profiles into one tooth

Формирование профиля зуба. Подставляя значения координат полученных точек исходного контура в программу аппроксимации точек кривыми Безье получаем значения координат управляющих точек кривых. Для кривой, описывающей головку зуба имеем следующие значения:

$$x_0 = 0, y_0 = 0; x_1 = 0,028, y_1 = 0,735;$$

$$x_2 = 0,455, y_2 = 0,919; x_3 = 0,637, y_3 = 1.$$

Аналогичным образом получаем значения координат управляющих точек кривой Безье, описывающей профиль ножки зуба:

$$x_0 = 0, y_0 = 0; x_1 = -0,022, y_1 = -0,372;$$

$$x_2 = -0,162, y_2 = -0,670; x_3 = -0,735, y_3 = -1.$$

Найдем профиль производящей поверхности для сопряженного зубчатого колеса, используя тот же алгоритм. В нашем случае в зацеплении с передаточным отношением $u=1$ участвуют одинаковые зубчатые колеса. Поэтому кривая, описывающая профиль, при повороте на 180° вокруг полюса зацепления должна взаимно накладываться. Кроме того, для колеса и для шестерни должен быть один исходный контур. В противном случае не будет выполняться основной закон зацепления, мгновенное передаточное отношение будет колебаться, что вызовет динамические нагрузки в точках контакта. Также не удастся обеспечить

линейный контакт в зацеплении, что снизит контактную прочность зубьев. Как видно из рис. 3, профили не совпадают, но известна область, ограничивающая профиль, который максимально соответствует заданному зацеплению.

Поэтому необходимо проанализировать граничные и внутренние профили по показателям, отражающим функциональные возможности зубчатого зацепления и выбрать наиболее подходящий.

Поворачиваем профиль до совпадения полюса с началом системы координат. По внешнему контуру строим точки и снимаем значения их координат. Заносим полученные значения в программу аппроксимации точек кривыми Безье и получаем значения координат управляющих точек кривых. Для кривой, описывающей головку зуба имеем следующие значения:

$$x_0 = 0, y_0 = 0; x_1 = 0,01, y_1 = 0,25;$$

$$x_2 = 0,05, y_2 = 0,72; x_3 = 0,71, y_3 = 1.$$

Аналогичным образом получаем значения координат управляющих точек кривой Безье, описывающей профиль ножки зуба:

$$x_0 = 0, y_0 = 0; x_1 = -0,01, y_1 = 0,08;$$

$$x_2 = -0,01, y_2 = -0,81; x_3 = -0,87, y_3 = -1,12.$$

На рис. 4 показаны результаты расчета и отрисовки профиля зуба.

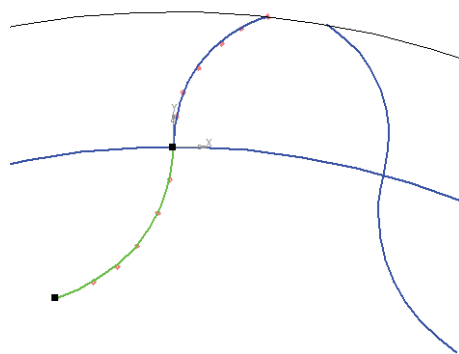
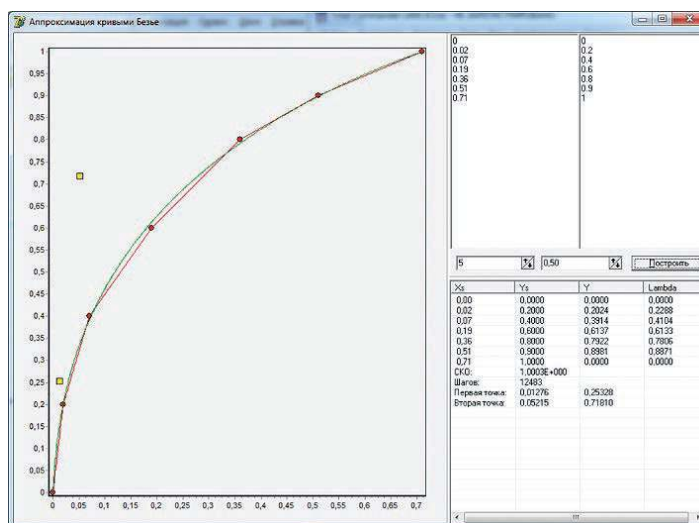


Рисунок 4. Результаты расчета
Fig. 4. Calculation results

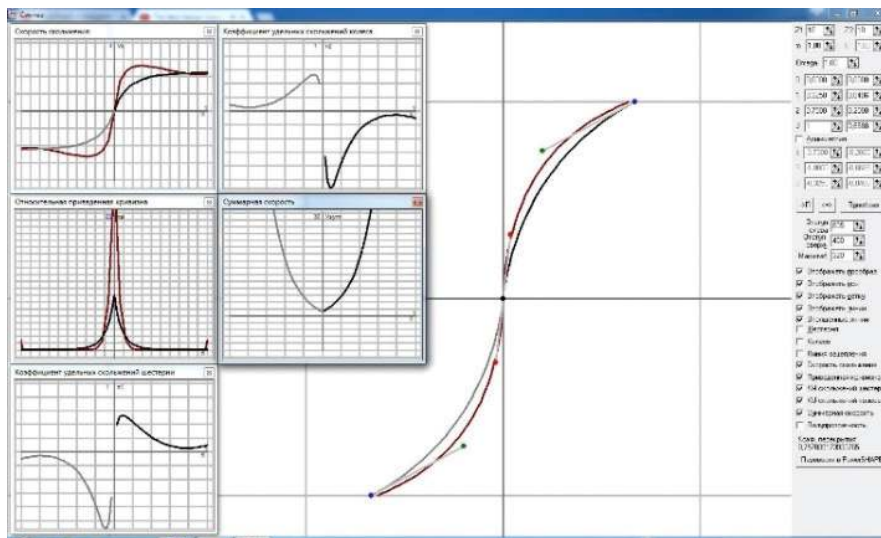


Рисунок 5. Сравнительный анализ исходных контуров
 Fig. 5. Comparative analysis of source loops protocol

Синтез электронного эталона зубчатого зацепления. Синтез электронного эталона зубчатого зацепления выполнялся с помощью программного обеспечения «SAIAT» [4], предназначенного для многокритериального оптимизационного синтеза зубчатых зацеплений. Оно основана на унифицированном математическом описании профиля производящей поверхности для формообразования зубчатых колес. Это описание выполнено на основе теории сплайнов. В программе также используются математические зависимости для определения геометро-кинематических показателей синтезируемых зубчатых зацеплений. Сплайновая кривая Безье 3-го порядка позволяет интерактивно управлять

синтезом зацепления для получения требуемого результата.

Возможны два варианта управления формой кривой, описывающей производящую поверхность. Первый вариант, когда в качестве прообраза выбрана произвольная кривая для данных параметров зубчатых передач. Перемещая с помощью курсора управляющие точки, подбираются такие геометро-кинематические показатели, которые наиболее полно соответствуют техническим требованиям, предъявляемым к передачам.

Второй вариант синтеза используется, когда необходимо улучшить показатели уже существующего профиля производящей поверхности. В этом случае

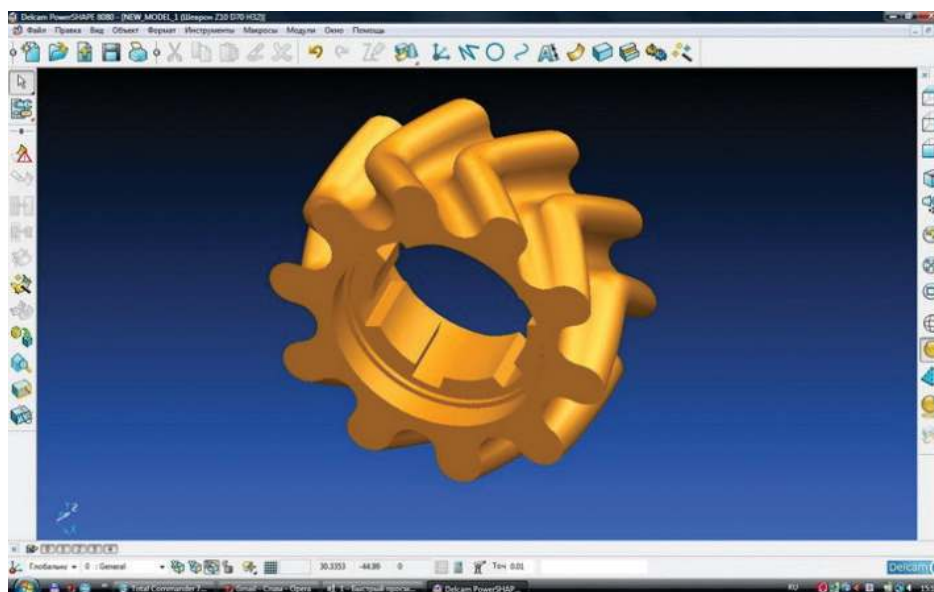


Рисунок 6. 3D-модель в PowerSHAPE
 Fig. 6. 3D model in PowerSHAPE

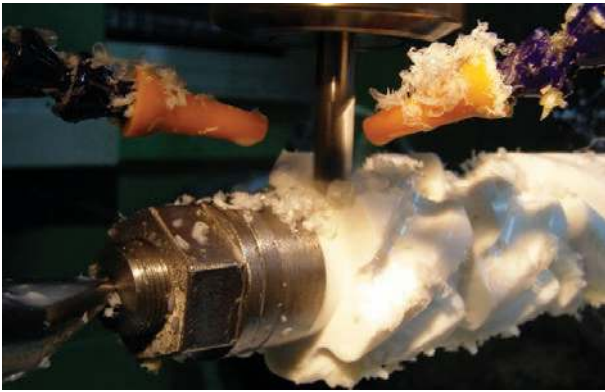


Рисунок 7. Обработка на станке с ЧПУ
Fig. 7. Machining on the CNC machine

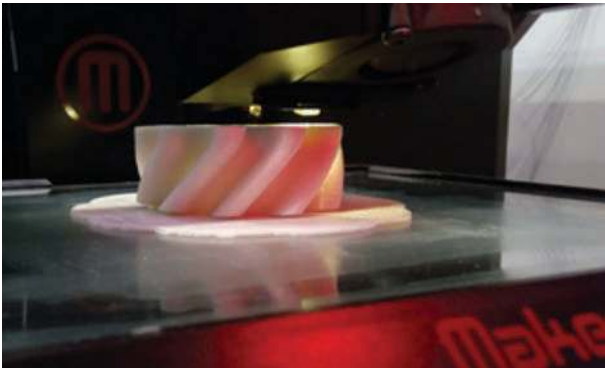


Рисунок 8. Изготовление колеса на 3D-принтере
Fig. 8. Making a wheel on a 3D printer



Рисунок 9. Изношенное и изготовленное зубчатые колеса
Fig. 9. Worn and manufactured gears

в качестве прообраза выбирается кривая, аппроксимирующая известный профиль производящей поверхности. Далее, с помощью управляющих точек, осуществляется сравнительный анализ геометро-кинематических показателей синтезируемой и известной передач.

С помощью этого программного обеспечения были проанализированы полученные результаты и внесены коррективы в геометрию компьютерных моделей зубчатых колес [5].

На рис. 5 приведены результаты сравнительного анализа граничных симметричных профилей зубьев производящей поверхности, полученных выше.

В результате интерактивного управления профилем, с помощью управляющих точек кривой Безье, удалось значительно улучшить геометро-кинематические показатели синтезируемого зацепления.

Как видно из рисунков, в результате синтеза удалось снизить относительную скорость скольжения зубьев в 1,5–2 раза, что благоприятно повлияет на износостойкость зацепления и более чем в 2 раза снизить приведенную кривизну зубьев в околополюсной зоне, что повысит контактную прочность зубьев в точках контакта.

Далее, для создания эталонной модели зубчатого колеса, кривые автоматически переносятся в систему твердотельного моделирования.

На основе синтезированного контура зубьев в системе PowerSHAPE [6] создана твердотельная компьютерная модель (рис. 6). По модели на станке с ЧПУ (рис. 7) и на 3D-принтере (рис. 8) были изготовлены зубчатые колеса (рис. 9).

Далее на рис. 10 показан процесс проведения окончательного контроля геометрии полученного шевронного колеса.



Рисунок 10. Контроль геометрии зубчатого колеса
Fig. 10. Checking the geometry of the gear

Отсканированное облако точек поверхностей зубьев автоматически накладывается на поверхность эталонной модели зубчатого колеса. Причем базирование осуществляется по облаку точек в компьютерной программе PowerINSPECT. Результаты контрольной операции оформляются в виде протокола, в котором отражаются координаты точек и величины отклонений от номинального размера с указанием точек на поверхности колеса в графическом отчете (рис. 11).

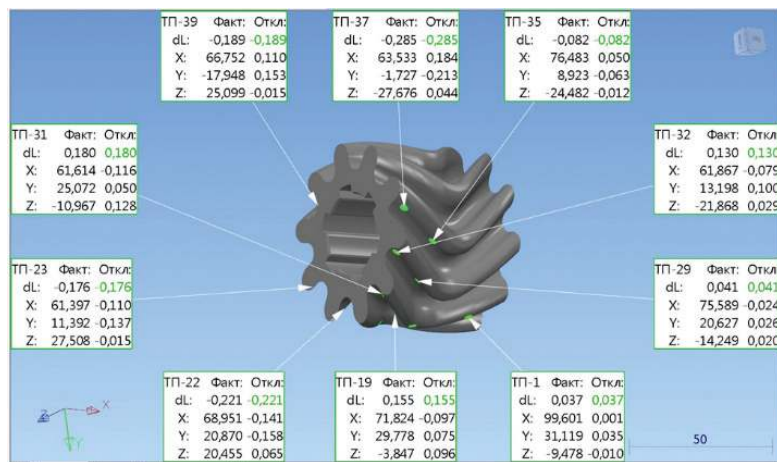


Рисунок 11. Пример протокола измерений
Fig. 11. Example of a measurement protocol

Выводы

Показана возможность реализации оригинального подхода к технологии реинжиниринга зубчатых зацеплений для условиях изношенных зубчатых колес с использованием современных аппаратно-программных комплексов создания электронного эталона зубчатого зацепления и оригинального программного обеспечения в основе которого лежит модель унифицированного описания зубчатых зацеплений инвариантные к исходному профилю зубчатого зацепления.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Доброскок В.Л. Обратный инжиниринг промышленных изделий с использованием оптико-цифровой установки объемного сканирования Imetric Iscan / В.Л. Доброскок, С.И. Чернышов, Я.Н. Гаращенко, Д.П. Сидорчук // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010 – Вип. 4. – С. 123–135.
- [2] Обзор продуктов FARO. – Режим доступа <http://www.faro.com/products>
- [3] Шевелева Г.И. Теория формообразования и контакта движущихся тел: монография / Г.И. Шевелева. – М.: МГТУ, 1999. – 494 с.

- [4] Свідчення про реєстрацію авторського права на твір №70765. Комп'ютерна програма «SAIAT»/ Б.С. Воронцов, І.А. Бочарова, Д.О. Чаплинський. – №71355; заявл. 10.01.2017; опубл. 01.03.2017.
- [5] Воронцов Б.С. Использование унифицированных параметров при автоматизации проектирования зубчатых передач // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів: вид-во Львівська політехніка, 2012. – вип. №746. – С.180–185.
- [6] Белькович А. PowerSHAPE Pro: новые возможности реверсивного инжиниринга / А. Белькович, В. Власов, К. Евченко // САПР и графика. – 2009. – №1 – С. 16–22.

Д.т.н., профессор Виталий Анатольевич Пасечник – заведующий кафедрой интегрированных технологий машиностроения НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского». e-mail: vitaliy.pasichnyk@gmail.com.

К.т.н., доцент Борис Сергеевич Воронцов – старший научный сотрудник кафедры интегрированных технологий машиностроения НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского», e-mail: voronts@gmail.com

Украина, 03056, Киев-56, пр-т Победы, 37. Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»

Z PRASY ZAGRANICZNEJ

Tytuły artykułów zamieszczonych w miesięczniku naukowo-technicznym „**Sborka w maszynostrojeniu, przybrosrojeniu**” wydawanego przez wydawnictwo Maszynostrojienije, Moskwa, Rosja

Sborka nr 1/2017 (198)

1. Wodno-wodne podgrzewacze z wykorzystaniem spiralnie profilowanych rur do indywidualnych punktów cieplnych
2. Napęd sterujący przesłoną napędu wodnego maszyny pływającej
3. Polepszenie charakterystyk eksploatacyjnych precyzyjnych agregatów i przyrządów z wykorzystaniem technologii montażu części według zasady równej sztywności
4. Właściwości zadań kompletowania w montażu selekcyjnym wyrobów typu „wał-tuleja”
5. Technologiczny mikroklimat wydziałów montażowych
6. Wyznaczanie zużycia grzebienia koła wagonu towarowego
7. Opracowanie nowych konstrukcji kombinowanych magnetociekłych uszczelnień
8. Aktywne tłumienie drgań samowzbudnych ciernych z uwzględnieniem opóźnienia urządzenia tłumiącego
9. Wybór technologicznego schematu montażu reduktora planetarnego z uzębieniem daszkowym

Sborka nr 3/2017 (200)

1. Modernizacja adaptacyjnego sprzęgła ciernego z bifunkcyjnym urządzeniem sterującym
2. Badania wpływu właściwości konstrukcyjnych łożysk gazowych na eksploatacyjne charakterystyki zespołów wrzecionowych obrabiarek do metali
3. Metodyka projektowania induktora w warunkach indukcyjnego lutowania rur
4. Derytograficzne badania kompleksu „Gersip-312” i metodyka wyznaczenia wymaganej koncentracji jego katalizatora
5. Cierne charakterystyki kontaktu i karty reżymów tarcia
6. Odporność olejów na zużywanie
7. Strumienie kwantowe jako wichrowe superstruktury

Sborka nr 2/2017 (199)

1. Badania wpływu cech konstrukcyjnych gazowych łożysk na eksploatacyjne charakterystyki zespołów wrzecionowych obrabiarek do metali
2. Właściwości oceny wpływu cieplnego cyklu spawania stopów tytanu na naprężenia własne i wichrowanie spawanych części
3. Matematyczne modelowanie procesu ultradźwiękowej stabilizacji deformacji sprężystych elementów czujnikowych typu „okrągłe płytki” stosowanych w czujnikach ciśnień
4. Tribologia stali i stopów przy mieszanym smarowaniu w zespołach ciernych technicznych systemów
5. Procesy zachodzące na powierzchniach tarcia precyzyjnego kontaktu ślizgowego
6. Deformacyjno-adhezyjne zużycie nanonierówności powierzchni tarciovych stali martenzytycznych
7. Statyczne i dynamiczne charakterystyki osiowej hydrostatycznej opory z membranowym kompensatorem przemieszczeń
8. Wpływ współczynników wzmocnienia na masę adaptacyjnych sprzęgieł ciernych

ABSTRACTS:

1. Fastener identification and assembly verification via machine vision

Author: Leonard Rusli, Anthony Luscher

The study aims to evaluate the capability of a machine vision camera and software to recognize fasteners for the purpose of assembly verification. This will enable the current assembly verification system to associate torque verification with a specific fastener.

The machine vision technology is found to be adequately reliable in identifying fasteners after tuning key threshold parameters and requiring multiple positively recognized frames. The time to verify can be kept around a fraction of a second to prevent impacting assembly speed.

This experiment was run under simulated assembly line lighting conditions. It also does not explore industrial remote head industrial camera hardware.

By using a remote-mounted camera in combination with electric tools, a reliable assembly verification system can be used to eliminate torque check processes of critical fasteners, thereby reducing the cost of assembly.

Currently, assembly verification is done only using the torque values. In automated assembly line, each process might involve fastening multiple fasteners. Using this system, a new level of assembly verification is achieved by recording the assembled fastener and its associated torque.

2. A variational model for 3D tolerance analysis with manufacturing signature and operating conditions

Authors: Andrea Corrado, Wilma Polini, Giovanni Moroni, Stefano Petrò

The purpose of this work is to present a variational model able to deal with form tolerances and assembly conditions. The variational model is one of the methods proposed in literature for tolerance analysis, but it cannot deal with form tolerances and assembly conditions that may influence the functional requirements of mechanical assemblies.

This work shows how to manage the actual surfaces generated by the manufacturing process and the operating conditions inside the variational model that has been modified to integrate the manufacturing signature left on the surfaces of the parts and the operating conditions that arise during an actual assembly, such as gravity and friction. Moreover, a geometrical model was developed to numerically simulate what happens in a real assembly process and to give a reference value.

The new variational model was applied to a three-dimensional case study. The obtained results were compared to those of the geometrical model and to those of the variational model to validate the new model and to show the improvements.

The proposed approach may be extended to other models of literature. However, its limitation is that it is able to deal with a sphere–plane contact.

3. Analysis of chaotic dynamics for aircraft assembly lines

Authors: Bo Xin, Yuan Li, Jian-feng Yu, Jie Zhang

The purpose of this paper is to investigate the nonlinear dynamics of the aircraft assembly lines. An approach for modeling and analyzing the production rate of an aircraft assembly line is introduced using the chaos theory.

First, two key system variables including reliability and learning ability are considered to control the dynamics model. The discrete-time dynamics equation of the production rate is established as a function of the reliability and the learning rate. Then an improved Gauss-learning curve is proposed and applied to aircraft assembling condition. Finally, the bifurcation diagrams and the maximal Lyapunov exponents are used and applied to the experimental study to analyze the dynamic behavior under different combinations of parameters.

This paper applied nonlinear dynamics and chaotic theory to the production analyses of the aircraft assembly lines for the first time. The proposed model has been successfully applied to a practical case, and the result justifies its advantage as well as feasibility to both theory and engineering application.

On the basis of the experimental study, it is shown that chaotic behavior really exists in the aircraft assembly lines. The reliability and the Gauss-learning curve can nonlinearly affect the production rate.

4. Physical deformation configuration of a spatial clamped cable based on Kirchhoff rods

Authors: Hongwang Du, Wei Xiong, Haitao Wang, Zuwen Wang

In this study, a modeling method for a clamped deformable cable simulation based on Kirchhoff theory is proposed. This methodology can be used to describe the physical deformation configuration of any constrained flexible cable in

a computer-aided design/manufacturing system. The modeling method, solution algorithm, simulation and experimental results are presented to prove the feasibility of the proposed methodology. The paper aims to discuss these issues.

The method presented in this paper can be adapted to any boundary condition for constrained cables as long as the external force and torque are known. The experimental results indicate that both the model and algorithm are efficient and accurate.

A more comprehensive study must be executed for the physical simulation of more complicated constrained cables, such as the helical spring and asymmetric constraint. The influence of the material properties of the cable on the calculation efficiency must be considered in future analysis.

The semi-analytical algorithm of the cable simulation in cylindrical coordinates is a novel topic and is more accurate and efficient than the common numerical solution.

5. A multi-vision-based system for tube inspection

Authors: Peng Jin, Jian Hua Liu, Shaoli Liu, Xiao Wang

The purpose of this paper is to propose a multi-vision-based system designed to inspect the tube and the relative position of the joints.

Geometric errors are common in metallic bent tubular parts. Thus, tubes should be inspected and fixed before welding with the joints first. After welding, the relative position of the joints is also necessary to be inspected to judge whether the tube can be assembled reliably. Therefore, the inspection plays an important role in the tube's assembly.

The reconstruction idea can recognise the line and arc segments of a tube automatically and resolve the textureless deficiency of the tube's surface. The joints' inspection method is simple in operation, and any kinds of joints can be inspected by designing the structure of the adapters accordingly.

By experimental verification, the inspection precision of the proposed system was 0.17 mm; the inspection time was within 2 min. Thus, the system developed can inspect a tube effectively and automatically. Moreover, authors can determine how the springback of the arcs behaves, allowing in-process springback prediction and compensation, which can reduce geometric errors in the tubes given the present bending machine accuracy.

6. Workload smoothing in two-sided assembly lines

Authors: Xiaofeng Hu, Chunaxun Wu

The purpose of this paper is to define new criteria for measuring workload smoothness of two-sided assembly lines and propose an algorithm to solve a two-sided assembly line balancing problem focusing on distributing the idle time and the workload as evenly as possible among the workstations.

This paper points out that the mean absolute deviation (MAD) and the smoothness index (SI) used to measure the

workload smoothing in one-sided assembly lines are both inappropriate to evaluate the workload balance among workstations in two-sided assembly lines, as the idle time occur at the beginning and in the middle of a cycle within workstations. Then, the finish-time-based SI and MAD (FSI and FMAD) are defined, and a heuristic procedure based on the core mechanism of Moodie and Young method is proposed to smooth the assembly workload in two-sided assembly lines.

The computational results indicate that the proposed heuristic algorithm combined with the FMAD is effective in distributing the idle time and the workload among workstations as evenly as possible in two-sided assembly lines. The FMAD is proposed to effectively improve the workload smoothing in two-sided assembly lines.

7. Task planning for mobile painting manipulators based on manipulating space

Authors: Guolei Wang, Qiankun Yu, Tianyu Ren, Xiaotong Hua, Ken Chen

This paper aims to provide a visualization method for finding appropriate base positions (BPs) and maximum painting areas for manipulators.

To paint large workpieces automatically, painting manipulators with hollow wrists must be transported by mobile platforms to different positions because of their limited workspaces.

This paper begins by analyzing the motion characteristics of manipulators possessing a spherical wrist and summarizing them into three constraints – positioning, orientation and singularity avoidance. The hollow wrist is simplified and considered as spherical by introducing the concepts of an inner wrist center and an outer wrist center. Taking the three constraints into consideration, the boundaries of the manipulating space are formulated analytically. Finally, to verify the method, the space obtained is applied to determine the maximum painting areas for flat, cylindrical and conical surfaces. Experiments of robotic painting were used to confirm the results.

Compared with previous studies, the maximum areas obtained using the proposed method increased by 17-131 per cent with an algorithm of lower complexity, and the process remained visually intuitive, thereby demonstrating that the method of manipulating space is more effective.

8. Propagation analysis of variation for fuselage structures in multi-station aircraft assembly

Authors: Liang Cheng, Qing Wang, Jiangxiang Li, Yinglin Ke

This paper aims to present a modeling and analysis approach for multi-station aircraft assembly to predict assembly variation. The variation accumulated in the assembly process will influence the dimensional accuracy and fatigue life of airframes. However, in digital large aircraft assembly, variation propagation analysis and modeling are still unresolved issues.

Based on an elastic structure model and variation model of multistage assembly in one station, the propagation of key characteristics, assembly reference and measurement errors are introduced. Moreover, the reposition and posture coordination are considered as major aspects. The reposition of assembly objects in a different assembly station is described using transformation and blocking of coefficient matrix in finite element equation. The posture coordination of the objects is described using homogeneous matrix multiplication. Then, the variation propagation model and analysis of large aircraft assembly are established using a discrete system diagram.

This modeling and analysis approach for multi-station aircraft assembly reveals the basic rule of variation propagation between adjacent assembly stations and can be used to predict assembly variation or potential dimension problems at a preliminary assembly phase.

9. Mechanical assembly assistance using marker-less augmented reality system

Authors: Yue Wang, Shusheng Zhang, Sen Yang, Weiping He, Xiaoliang Bai

This paper aims to propose a real-time augmented reality (AR)-based assembly assistance system using a coarse-to-fine marker-less tracking strategy. The system automatically adapts to tracking requirement when the topological structure of the assembly changes after each assembly step.

The tracking accuracy and time of the proposed marker-less tracking approach were evaluated, and the results showed that the tracking method could run at 30 fps and the position and pose tracking accuracy was slightly superior to ARToolKit.

The main contributions of this work are as follows: First, the authors present a coarse-to-fine marker-less tracking method that uses modified state-of-the-art template matching algorithm, LINE-MOD, to find the coarse camera pose. Then, a feature point tracker ORB is activated to calculate the accurate camera pose. The whole tracking pipeline needs, on average, 24.35 ms for each frame, which can satisfy the real-time requirement for AR assembly. On basis of this algorithm, the authors present a generic tracking strategy according to the characteristics of the assembly and develop a generic AR-based assembly assistance platform. Second, the authors present a feature point mismatch-eliminating rule based on the orientation vector. By obtaining stable matching feature points, the proposed system can achieve accurate tracking results. The evaluation of the camera position and pose tracking accuracy result show that the study's method is slightly superior to ARToolKit markers.

10. A novel spring-back model by considering assembly contact

Authors: Qing Ji, Yanfeng Xing, Xuexing Li, Sha Xu

The purpose of this paper is to present a novel assembly spring-back model which takes surface contact

conditions between sheet metal parts into consideration so that the assembly dimensions and variations can be more precisely predicted than existing assembly simulation models.

Because an assembly process is composed of four essential steps, i.e. locating, clamping, joining and tool releasing, the mechanistic models associated with these steps are developed in the paper. In particular, the surface contact between the weld flanges (in folding joint configuration) and the overlapping surfaces (in lap joint configurations) is included in the models. Sensitivity models are developed.

Two cases studies are presented, i.e. the cantilever beams assembly and the Z-plates assembly. More precise prediction results are shown.

The model developed in this paper is based upon analytical elastic beam theories. Therefore, the results and case studies are limited only to workpieces that can be approximately represented by beam geometries.

The novelty of this research lies in its inclusion of surface contact conditions in an assembly simulation model by using analytical beam mechanistic models to achieve more accurate assembly variation predictions.

11. Object-oriented design of product assembly feature data requirements in advanced assembly planning

Authors: Mahmood Reza Khabbazi, Jan Wikander, Mauro Onori, Antonio Maffei

This paper introduces a schema for the product assembly feature data in an object-oriented and module-based format using Unified Modeling Language (UML). To link production with product design, it is essential to determine at an early stage which entities of product design and development are involved and used at the automated assembly planning and operations. To this end, it is absolutely reasonable to assign meaningful attributes to the parts' design entities (assembly features) in a systematic and structured way. As such, this approach empowers processes such as motion planning and sequence planning in assembly design.

This paper sets out to provide an explanatory approach using object-oriented techniques to model the schema of assembly features association and artifacts at the product design level, all of which are essential in several subsequent and parallel steps of the assembly planning process, as well as assembly feature entity assignments in design improvement cycle.

The practical implication based on the identified advantages can be classified in three main features: module-based design, comprehensive classification, integration. These features help the automation and solution development processes based on the proposed models much easier and systematic.

The proposed schema's comprehensiveness and reliability are verified through comparisons with other works and the advantages are discussed in detail.

100 000

artykułów fachowych on-line

na Portalu Informacji Technicznej

www.sigma-not.pl

pomocne
ciekawe
rzetelne



Znajdź nas
na Facebooku



INTARG®

Międzynarodowe Targi Wynalazków i Innowacji INTARG® 20-21 czerwca 2018

Katowice, Międzynarodowe Centrum Kongresowe

GŁÓWNY PATRONAT HONOROWY:



PATRONAT HONOROWY:



Honorowy patronat
Marszałka Województwa Śląskiego
Wojciecha Saługi



PATRONAT MIĘDZYNARODOWY:



WSPÓŁGOSPODARZ:



PATRONAT MEDIALNY:



SILESIA Strefa Biznesu



ORGANIZATORZY:



e-mail: intarg@haller.pl
tel. +48 32 355 38 00

www.intarg.haller.pl

CEL

- prezentacja i promocja wynalazków i innowacji z różnych dziedzin
- transfer technologii
- komercjalizacja innowacyjnych produktów, technologii i usług
- uzyskanie referencji (nagród i wyróżnień w ramach konkursu INTARG)

WYSTAWCY z ponad 20 krajów świata:

- jednostki sfery nauki oraz duże, średnie, małe i mikro przedsiębiorstwa
- klastry technologiczne, startupy, osoby fizyczne
- podmioty wspierające lub współpracujące z nauką, samorządy itp.

ZWIEDZAJĄCY

przedstawiciele przemysłu, biznesu, administracji i nauki.
Wszyscy zainteresowani światem wynalazków i innowacji

W PROGRAMIE między innymi:

- Konkurs INTARG- ocena rozwiązań przez międzynarodowe jury
- Gala finałowa INTARG- wręczenie Grand Prix, medali i wyróżnień
- Gala finałowa konkursu LIDER INNOWACJI® 2018
- Networking cocktail

STREFY TEMATYCZNE

- ECO INTARG: eco-industry; eco-city, eco-transport; eco-life style i inne
- Start-up International
- Strefa networkingowa
- Strefa konferencyjna - możliwość organizacji własnej konferencji czy panelu

BRANŻE WYSTAWIENNICZE

IT, Ekologia, Medycyna, Metalurgia, Energia, Elektronika, Energetyka, Mechanika, Automatyka, Produkcja, Inżynieria, Chemia, Rolnictwo, Budownictwo, Bezpieczeństwo, Transport, Telekomunikacja, Usługi, Design, Przedmioty codziennego użytku, inne

PATRONATY, PARTNERZY

wydarzenie wspierają liczne instytucje, organizacje oraz media



WYNALAZKI I INNOWACJE:

- dla ZDROWIA I ŚRODOWISKA
- dla PRZEMYSŁU
- POPRAWIAJĄCE BEZPIECZEŃSTWO, JAKOŚĆ I HIGIENĘ ŻYCIA, PRACY, WYPOCZYNKU