



foto: IMBiGS

Urządzenia

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



do montażu elementów złącznych dla budownictwa



 **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
Sekretarz Redakcji – mgr Izabella Gosiewska
 tel. 663 311 933
Redaktorzy tematyczni:
 Dr inż. Rafał Kluz (technologia, automatyzacja)
 Dr inż. Katarzyna Antosz (niezawodność, eksploatacja)
 Dr inż. Mirosław Chosta (inżynieria, produkcja)

RADA PROGRAMOWO-NAUKOWA:

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

| | |
|--|----|
| Pietrowiak A., Ciszak O., Wiśniewski M., Peta K.: Konstrukcja siłowników napędzanych skręconymi włóknami nylonowymi | 6 |
| Cieślak R., Wysocki I., Kąciak Ł.: Projekt wyciągarki bramowej do platformy montażowej w firmie Elektrobudowa SA | 11 |
| Kupriyanov O.: Kompletowanie połączeń dwuelementowych na podstawie rangowania | 15 |
| Mendebajew T.M., Timiriazew W.A., Gabdulina A.Z., Kerimżanova M.F.: Analiza opracowywania programów sterujących dla grupy frezarek | 21 |
| Bełzo A., Skoczylas L.: Projekt przyrządu tokarskiego do szlifowania zwojów ślimaka | 29 |
| Ciecińska B., Kubit A.: Analiza wybranych właściwości kompozycji klejowej z nanonapełnierzami | 34 |
| Krawczuk A.: Dynamiczny kąt zwilżania jako miara stopnia przygotowania warstwy wierzchniej w procesie klejenia | 39 |
| Rudawska A., Nowicka D., Čuboňová N.: Wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych po obróbce mechanicznej | 43 |
| Peta K.: Badania wybranych właściwości połączeń lutowanych wykonanych ze stopów aluminium | 48 |
| Skoczylas K.: Koszty stanowiskowe w operacjach montażu | 52 |
| Zielecki W., Korzyńska K.: Analiza wpływu wybranych parametrów pneumokulowania na nośność jednozakładowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V | 55 |
| Z prasy zagranicznej | 60 |
| Nowości, informacje | 61 |

| | | | |
|---|----|---|----|
| Pietrowiak A., Ciszak O., Wiśniewski M., Peta K.: Construction of the acurators powered by twist- en nylon fibre | 6 | Петровяк А., Цишак О., Висневски М., Пета К.: Конструкция силовых цилиндров приводи- мых скрученными нейлоновыми волокнами | 6 |
| Cieślak R., Wysocki I., Kaćiak Ł.: Project gan- try cranes platform assembly company ELEK- TROBUDOWA SA | 11 | Цесьлак Р., Высоцки И.: Проект порталъ- ного вытягивателя для сборочной системы в предприятии ELEKTROBUDOWA SA | 11 |
| Kupriyanov O.: Kitting-up of two-element as- semblage on the base of ranking | 15 | Купрянов А.В.: Комплектирование двухэле- ментных соединений на основе ранжирова- ния | 15 |
| Mendebajew T.M., Timiriazew W.A., Gabdulina A.Z., Kerimżanowa M.F.: Analysis of the devel- opment of control program groups for milling machine | 21 | Мендебаев Т.М., Тимирязев В.А, Габдулина А.З., Керимжанова М.Ф.: Анализ разработки управляющих программ для станков фре- зерной группы | 21 |
| Belzo A., Skoczylas L.: The design of the lathe instrument's for grinding worm teeth | 29 | Белзо А., Скочиляс Л.: Проект токарного приспособления для шлифовки витков чер- вяка | 29 |
| Ciecińska B., Kubit A.: The analysis of selected properties of adesives with nanofillers | 34 | Цецинска Б., Кубит А.: Анализ избранных свойств клеевых составов с наноаполните- лями | 34 |
| Krawczuk A.: Dynamic contact angle as a measure of the degree of prepartion of the surface layer in the adhesion process | 39 | Кравчук А.: Динамический угол капли как мера степени подготовки верхнего слоя для процесса склеивания | 39 |
| Rudawska A., Nowicka D., Čuboňová N.: The bonded joints strength of steel sheets after me- chanical treatment | 43 | Рудавска А., Новицка Д., Цубанова Н: Проч- ность клеевых соединений стальных жести после механической обработки | 43 |
| Peta K.: Research of selected properties of alu- minum brazed joints | 48 | Пета К.: Исследлвание избранных свойств паянных соединений изготовленных из алю- миневых сплавов | 48 |
| Skoczylas K.: Costs of work-stands in the as- sembly operations | 52 | Скочиляс К.: Стоимость стендовых расходов в сборочных операциях | 52 |
| Zielecki W., Korzyńska K.: Analysis of the im- pact of shot peening parameters on the capac- ity of single lap adhesive joints of titanium alloy Ti6Al4V | 55 | В. Зелецки, К. Кожинска: Анализ влияния избранных параметров пневмошарикового на- клепа на несущую способность нахлестко- вых клеевых соединений | 55 |

Wskazówki dotyczące przygotowania artykułów

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

Procedura recenzowania

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

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

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

Lista recenzentów publikowana jest w ostatnim zeszycie każdego rocznika.

Warunki prenumeraty kwartalnika „Technologia i Automatykacja Montażu” w 2017 r.

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

Cena prenumeraty rocznej wynosi: 80 zł (w tym 23% VAT).

Rabaty:

50% – 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 MONTOWALNOŚCI MASZYN W MONTAŻU AUTOMATYCZNYM

Jerzy ŁUNARSKI

Pod pojęciem montowalności w montażu automatycznym należy rozumieć prawdopodobieństwo 100% poprawnego zmontowania części dostarczonych do strefy łączenia przy jednoczesnym spełnieniu wymagań jakościowych i wydajnościowych. Jest ona uzależniona od technologiczności części (ze względu na montaż automatyczny), tolerancji wykonania części oraz zdatności urządzenia montażowego do zapewnienia właściwego wzajemnego zorientowania części w przestrzeni montażowej przed wykonaniem zabiegu łączenia. Zależy ona nie tylko od projektu łączonych części i wykonania automatycznego urządzenia montażowego, lecz również od organizacyjnego przygotowania montażu automatycznego.

Montowalność może być zapewniona, gdy osie łączonych części są przesunięte liniowo mniej niż dopuszczalna graniczna tolerancja takiego przemieszczenia (np. Δl), a ich tolerancja wzajemnego przekoszenia kąтового w przestrzeni jest mniejsza od dopuszczalnej wartości (np. $\Delta \alpha$).

Graniczne wartości tych tolerancji zależą od następujących czynników:

1. Projektu wykonania części łączonych, zapewniających ich technologiczność w automatycznym montażu, a zwłaszcza:
 - geometrycznego ukształtowania stref wejściowych powierzchni łączonych (fazki, promienie),
 - tolerancji wymiarów, kształtu i położenia w strefie łączenia,
 - stanu powierzchni łączonych, zwłaszcza w strefie wejściowej.
2. Projektu i dokładności wykonania urządzenia montażowego, a zwłaszcza:
 - konstrukcji zespołów wykonawczych urządzenia,
 - przyjętej metody zautomatyzowanego montażu,
 - dokładności wykonania poszczególnych elementów urządzenia i wzajemnej koordynacji poszczególnych działań.
3. Przyjętych i ustalonych warunków realizacji operacji montażowej, tzn.:
 - ustalonych prędkości i sił w trakcie łączenia,
 - sposobów przestrzennego i wzajemnego zorientowania części,
 - równomierności zaopatrywania urządzenia montażowego w konieczne elementy, energię i informacje.

Montowalność należy analizować w odniesieniu do typowych części łączonych, tzn. z powierzchniami

walcowymi, płaskimi, gwintowanymi lub innymi. Zadania te są rozwiązywane w trakcie projektowania zespołu montowanego, operacji montażowej oraz automatycznego urządzenia montażowego z pomocą teorii łańcuchów wymiarowych i wybranych zagadnień teorii niezawodności, z uwzględnieniem charakterystycznych etapów montażu (montaż wstępny, pośredni, końcowy).

Łączny dopuszczalny błąd (suma Δl i $\Delta \alpha$) jest zależny od budowy i technologicznych możliwości urządzenia montażowego i jego charakterystyk: geometrycznych, siłowych, dynamicznych, sztywnościowych, wydajnościowych i innych, które powinny zagwarantować niezawodność i trwałość urządzenia. Wymagania te łatwiej spełnić w procesach projektowania jeśli montowany zespół (połączenie) będzie spełniał wymagania technologiczności ze względu na montaż automatyczny.

Istnieje wiele zaleceń dotyczących technologiczności (DFA, DFMA i in.), z których do ważniejszych można zaliczyć:

- kształty łączonych elementów powinny umożliwiać łatwe transportowanie, bazowanie i orientowanie na pozycji montażowej,
 - sposoby łączenia i mocowania powinny być możliwie proste i krótkotrwałe,
 - część bazowa, unieruchamiana przed montażem powinna mieć wygodne do ustalenia powierzchnie, dokładnie powiązane z powierzchnią podlegającą łączeniu,
 - konstrukcje łączonych elementów winny uniemożliwiać samoczynne szczepianie się w procesach przemieszczania do montażu,
 - konstrukcja elementów i połączenia winna umożliwiać łatwy dostęp narzędzi roboczych i kontrolnych do strefy połączenia,
 - w miarę możliwości dążyć do stosowania znormalizowanych pasowań, kształtów, ciągów wymiarowych, znormalizowanych przyrządów i uchwytów itp.
- Pomocnym zagadnieniem sprzyjającym zapewnieniu montowalności jest również wyznaczenie wygodnego sposobu ustalenia części bazowej, które powinno być zrealizowane w następującej kolejności:
- sprawdzenie i korekta wymiarów, tolerancji i wymagań technicznych na rysunkach wykonawczych łączonych części,
 - analiza technologiczności konstrukcji tych części ze względu na potrzeby automatycznego montażu,
 - wybór prostego i niezawodnego schematu ustalenia części bazowej.

Jeśli dopuszczalny łączny błąd osi łącznych elementów ($\Delta l + \Delta \alpha$) z przyczyn funkcjonalnych jest mały, wówczas konieczne jest zapewnienie dokładnego wykonania poszczególnych elementów urządzenia montażowego. W takich przypadkach zalecane jest rozwiązywanie odpowiednich łańcuchów wymiarowych z uwzględnieniem prawdopodobieństwa rozrzutu wymiarów.

Analiza znanych rozwiązań urządzeń montażowych ze sztywnym mocowaniem łączanych elementów nie zapewnia wymaganego poziomu montowalności. Znacznie korzystniejsze są rozwiązania, gdy tylko jeden element bazowy jest sztywno mocowany i orientowany, zaś element przyłączany ma możliwość ograniczonych przemieszczeń w strefie łączenia. Dzięki takim przemieszczeniom możliwe jest szybkie znalezienie położenia, przy którym łączny błąd będzie mniejszy od dopuszczalnego i może nastąpić realizacja połączenia dzięki samoczynnemu zorientowaniu przyłączanego elementu.

Montaż z samoczynną orientacją można nazwać metodą pasywnej adaptacji i może być zrealizowany następującymi sposobami:

1. Metodą samoczynnego poszukiwania położenia, umożliwiającą montaż połączenia, gdzie jedna z łączonych części jest dokładnie i sztywno bazowana i unieruchomiona, natomiast część przyłączana wykonuje wibracyjne, ograniczone przemieszczenia w przestrzeni prostopadle do swojej osi, przyłączanej części z dociskiem do części bazowej, umożliwiającym przemieszczanie i rozpoczęcie złączania z chwilą znalezienia położenia współosiowego. Istnieje szereg rozwiązań takich układów dynamicznego korygowania.
2. Metoda programowo ukierunkowanego ruchu korekcyjnego przyłączanej części wg zadanej trajektorii, umożliwiającej szybkie znalezienie położenia współosiowego i zrealizowanie połączenia w tym położeniu.
3. Metoda adaptacyjnej aktywnej samokorekcji. Urządzenia wykorzystujące tę metodę mogą być taktylne lub wizyjne. Są one wyposażone w odpowiednie czujniki oraz systemy analizujące, nadzorujące i wykonawcze. Zapewniają one dużą niezawodność

i wydajność procesu montażu, ale wymagają rozbudowanego systemu programowo-decyzyjnego. W układach tych ruchy korekcyjne mogą być wykonywane również przez część bazową.

Przy wyznaczaniu łącznego błędu niewspółosiowości i przekoszenia należy posłużyć się obliczeniami łańcuchów wymiarowych, w których należy uwzględnić następujące ogniwa składowe:

- wymiary łączonych elementów, przyrządów montażowych oraz mechanizmów wykonawczych urządzenia montażowego,
- luzy między powierzchniami łączanymi i powierzchniami orientującymi w przyrządach montażowych i układach wykonawczych urządzenia montażowego,
- luzy w ruchomych połączeniach przyrządów montażowych i układach wykonawczych urządzenia montażowego.

W rozwiązaniach tych łańcuchów wymiarowych można w przybliżeniu przyjąć, że rozrzut łącznego błędu podlega rozrzutowi normalnemu.

W zależności od cech i właściwości łączanych elementów oraz oczekiwanego błędu maksymalnego, w urządzeniu montażowym mogą być zastosowane różne układy wykonawcze, np.: bez kompensatorów, ze sprężystymi kompensatorami, z elementami przewodnikowymi, z wibracyjnymi mechanizmami, z głowicami pneumatyczno-wirowymi, wibracyjno-obrotowymi, z kasetami montażowymi, z kontrolą i korygowaniem położenia, z zastosowaniem robotów montażowych i in.

Poziom montowalności można wyznaczyć z pomocą tzw. wskaźnika technologicznej niezawodności, którego eksperymentalna wartość jest stosunkiem liczby poprawnie zmontowanych zespołów do liczby podanych do zmontowania w przyjętym okresie czasu. Jeśli to prawdopodobieństwo jest na poziomie 100% to montowalność jest zadowalająca.

Zakres koniecznych prac obliczeniowych jest często znaczny i opłacalny w dużych programach produkcyjnych, natomiast w przypadku ograniczonych programów zadania podobnego typu mogą być rozwiązywane dzięki eksperymentalnemu dopasowaniu łączonych elementów w trakcie końcowego montażu i regulacji.

KONSTRUKCJA SIŁOWNIKÓW NAPĘDZANYCH SKRĘCONYMI WŁÓKNAMI NYLONOWYMI

Construction of the actuators powered by twisted nylon fibre

Arkadiusz PIETROWIAK, Olaf CISZAK, Marcin WIŚNIEWSKI, Katarzyna PETA

Streszczenie: W pracy przybliżono zasadę działania siłowników napędzanych skręconymi włóknami nylonowymi. Opisano właściwości włókien nylonowych zastosowanych do budowy siłowników i przytoczono fizyczne podstawy zachodzących w nich procesów skurczu. Przedstawiono autorskie rozwiązania koncepcyjne dotyczące konstrukcji siłowników. Opisano również rodzaje połączeń montażowych stosowanych w budowie siłowników napędzanych Skręconymi Włóknami Nylonowymi (SWN) oraz potencjalne zastosowania dla tego źródła napędu.

Słowa kluczowe: Skręcone Włókna Nylonowe, siłownik, połączenia montażowe, konstrukcja

Abstract: In this paper was presented the principle of actuators powered by twisted nylon fibers. It describes in detail the properties of the nylon fibers used to build actuators and quoted the physical basis occurring in these processes contraction. Presented proprietary solutions conceptual design of the actuators. Also describes the types of connections used in the assembly in the construction of actuators powered by Twisted Nylon Fibres (SWN) and potential applications for this power source.

Key words: Twisted Nylon Fibres, actuator, assembly connection, construction

Wprowadzenie

Intensywny rozwój techniki i coraz większe wymagania stawiane materiałom inżynierskim spowodowały powstanie nowej grupy materiałów zwanej materiałami inteligentnymi (intelligent materials). Innymi powszechnie stosowanymi nazwami tej grupy są m.in. materiały adaptacyjne (adaptive materials), multi-funkcjonalne (multi-functional materials) lub materiały typu smart (smart materials) [9]. Grupa ta zyskała swoją nazwę w latach 80. XX w. Na ten okres przypadł najbardziej intensywny rozwój badań nad nowym zastosowaniem materiałów z tych grup m.in. w szybko rozwijającym się przemyśle lotniczym, samochodowym czy medycynie. Choć wymienione określenia często stosuje się zamiennie to coraz częściej wprowadza się rozróżnienie pomiędzy materiałami typu smart i inteligentnymi [4]. Według definicji materiał typu smart zapewnia przewidywalną zmianę właściwości pod wpływem oddziaływania bodźca, zaś materiał inteligentny ponadto powinien w tym samym czasie wykazywać zmianę właściwości o cechach sprzężenia zwrotnego. Można zatem stwierdzić, że materiały typu smart są podgrupą materiałów inteligentnych.

W rzeczywistości jednak „inteligencja” wspomnianych materiałów opiera się na szerszym zakresie właściwości niż w przypadku standardowych materiałów. Są to np.: zmienne w funkcji pola elektromagnetycznego, właściwości reologiczne (ciecze magnetoreologiczne), zmiana kształtu w funkcji temperatury otoczenia (materiały z pamięcią kształtu) lub przepływającego prądu (piezoelementy). Najczęstszym zastosowaniem tych materiałów

są człony wykonawcze maszyn i urządzeń [12]. Pod tym względem do najpopularniejszych materiałów tego typu zalicza się [3]:

- materiały piezoelektryczne – zmiana kształtu spowodowana odwrotnym efektem piezoelektrycznym. Odkształcenie jest niewielkie (poniżej 0,01%) przy stosunkowo dużej sile (do kilku kN). Dodatkową zaletą tych materiałów jest możliwość pracy z dużą częstotliwością odkształceń [12]. Przykładowym zastosowaniem są np. elementy wykonawcze zaworów hydraulicznych [6],
- materiały magnetostrykcyjne – zasada działania opiera się na zjawisku magnetostrykcji. Parametry pracy są porównywalne z piezoelektrykami. Materiały te znajdują zastosowanie m.in. w budowie czujników [6],
- elastomery o właściwościach dielektrycznych – polimery elektrostrykcyjne. Są to tworzywa sztuczne, zdolne do zmiany wymiaru pod wpływem przyłożonego pola elektrycznego. Jeden z pierwszych materiałów użytych do budowy sztucznych mięśni (artificial muscles) [7],
- nanorurki węglowe – rurki o długości nanometrów wytworzone z atomów węgla. Elementy wytworzone przy użyciu tego materiału są porównywalnie mocniejsze od stali, lżejsze od aluminium i twardsze od diamentu [10]. Z tego względu nanorurki znajdują coraz szersze zastosowanie m.in. w takich gałęziach przemysłu jak lotnictwo, militaria oraz medycyna. Z powodzeniem są stosowane również do budowie sztucznych mięśni [2],

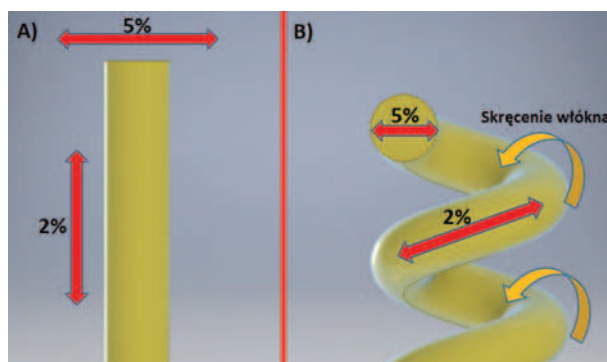
- materiały z pamięcią kształtu – najpopularniejszym materiałem tego typu są stopy niklowo-tytanowe (Ni-Ti). Kształt materiału bezpośrednio zależy od temperatury dzięki efektowi pseudoelastyczności. Materiały z pamięcią kształtu, w ostatnich latach są coraz powszechniej stosowane w budowie maszyn i pojazdów, a także coraz częściej w medycynie [11].

Grupa materiałów inteligentnych jest licznym i wciąż uaktualnianym zbiorem. Na świecie prowadzone są liczne badania nad ich nowymi zastosowaniami, np. w obrębie medycyny i biotechnologii. Jednym z niedawno opisanych materiałów jest nylon, który dzięki swoim właściwościom dielektrycznym jest stosowany np. jako baza do elastycznych tkanin przewodzących lub w budowie lekkich elementów wykonawczych [5]. Zespół pod przewodnictwem Baughmana w 2014 r. opublikował pracę, w której wykazał wykorzystanie odkształceń temperaturowych odpowiednio przygotowanego nylonu do generowania dużej siły i przemieszczeń [1].

Sztuczne mięśnie z żyłki wędkarskiej

Nylon jest handlową nazwą poliamidu, wyprodukowaną i opatentowaną w latach 30. XX w. przez firmę DuPont. Występuje pod wieloma postaciami handlowymi (wałki, profile itp.) i jest szeroko stosowany w budowie maszyn i urządzeń. Ze względu na dobry stosunek masy do wytrzymałości znalazł zastosowanie przy produkcji odzieży oraz sprzętu sportowego. To właśnie nylon w formie żyłki wędkarskiej stanowił przedmiot badań zespołu z Uniwersytetu w Dallas [1]. Najbardziej istotnym efektem przeprowadzonych badań było stwierdzenie, że poddane skręceniu włókna nylonowe potrafią, w odpowiednich warunkach, generować siłę ok. 100-krotnie większą niż ludzkie mięśnie.

Porównując skręcone włókna nylonowe (SWN) do ludzkich mięśni o tej samej długości i objętości, te pierwsze generują siłę 5,3 kW/kg. Na podstawie wyników badań stwierdzono, że pod względem stosunku masy do mocy nylon jedynie nieznacznie ustępuje pod tym względem silnikom odrzutowym. Badaniom poddano kilka rodzajów włókien nylonowych, m.in. nylon 6, nylon 6,6 oraz posrebrzany nylon 6,6. Dla porównania wyniki zestawiono z żyłką wędkarską wyprodukowaną z Polietylenu (PE). Wszystkie materiały wykazały podobne tendencje do skurczu temperaturowego i zdolności do generowania przy tym siły. PE, będący próbką porównawczą, uzyskał ponad dwukrotnie słabsze wyniki w zakresie wydłużenia w stosunku do nylonu 6,6. Wykazano, że skurcz pojedynczego włókna, zależnie od jego uformowania, potrafi wynieść nawet do 49%. Dla porównania, skurcz ludzkich mięśni to jedynie 20% [8]. Najważniejszą zaletą przy tak dużym odkształceniu jest niewystępowanie efektu histerezy. Do pozostałych zalet SWN należy m.in. niski koszt wytworzenia, szybki czas reakcji oraz długi okres użytkowania bez zjawiska histerezy – nawet do miliona cykli.



Rys. 1. Wartość skurczu temperaturowego we włóknie prostym (A) oraz Skręconym Włóknie Nylonowym SWN (B)
Fig. 1. The temperature shrinkage in linear fiber (A) and Twisted Nylon Fibre (B)

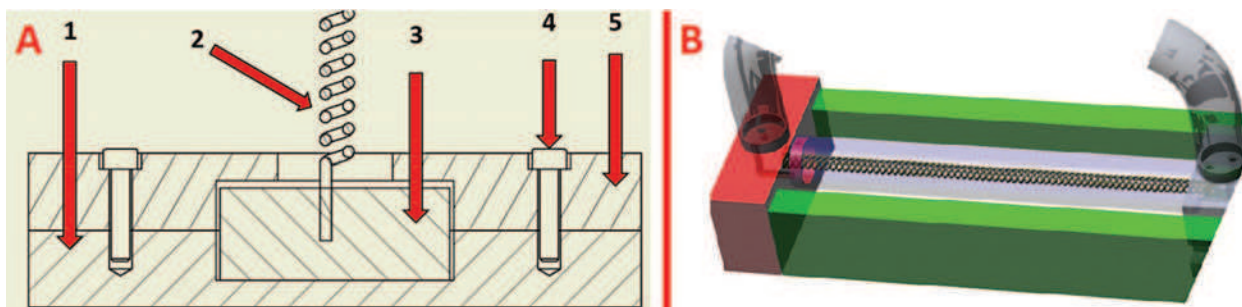
SWN – opis działania

W skręconych włóknach nylonowych aktywatorem skurczu jest temperatura. Jej wzrost powoduje skurcz, zaś spadek jego zanik. Włókno nylonowe w tradycyjnej postaci, przy podgrzaniu do temperatury bliskiej temp. zeszklenia generuje względny skurcz temperaturowy wzdłużny na poziomie 2%. W tym samym czasie skurcz w kierunku promieniowym wynosi 5%. W SWN występuje złożenie obu tych przemieszczeń, powstałe na skutek wykonania spirali na całym odcinku oraz wewnętrznego skręcenia pojedynczego włókna (rys. 1). Ostateczna wartość możliwego do uzyskania skurczu zależy od gęstości skrętu włókien – czyli ile razy pojedyncze włókno zostało skręcone wokół własnej osi.

Uformowanie SWN odbywa się dzięki częściowemu odebraniu pięciu stopni swobody jednemu z końców włókna. Unieruchomiony koniec powinien mieć możliwość przemieszczania się w kierunku wzdłużnym do włókna. Drugi koniec przymocowywany jest do wrzeciona obrotowego, tj. np. zamocowany nieruchomo silnik krokowy. Siła wymagana do skręcenia włókna jest niewielka i wynika z naprężenia wewnętrznego i oporu przemieszczania się dolnego zamocowania.

Jedno z zamocowań musi być suwliwe ze względu na zmniejszanie się długości skręcanej włókna. Jednocześnie masa dolnego zamocowania i wynikający z niej opór przesuwu musi być dobrany w taki sposób, by nie przemieszczał się zbyt łatwo. Samoistne przesunięcie się jednego z zamocowań w trakcie skręcania spowoduje splątanie się włókna. Z kolei zbyt duży opór może być przyczyną rozerwania wiązki. W obu tych przypadkach włókno nie nadaje się do dalszej eksploatacji.

Uzyskany przez skręcanie kształt włókna nie jest w pełni trwały. Jego częściowe utrwalenie następuje dzięki jednorazowej aktywacji temperaturowej włókna. Po ochłodzeniu włókno jest gotowe do użycia. W przypadku konieczności jego przemieszczenia należy każdorazowo zwracać uwagę na utrzymanie naciągu, gdyż można je stosunkowo łatwo zaplątać. Aktywacja temperaturowa (skrócenie długości na skutek wzrostu temperatury)



Rys. 2. Montaż włókna w wózku jezdnym (A) i obrazek siłownika zasilanego wodą (B): 1 – podstawa wózka, 2 – skręcone włókno, 3 – rdzeń zalewany, 4 – śruby montażowe, 5 – pokrywa wózka
 Fig. 2. Installation of fiber in trolley (A) and the picture of the actuator supplied with water (B): 1 – base of trolley, 2 – twisted fiber, 3 – flooded core, 4 – mounting screws, 5 – cover of trolley

odbywa się przez ogrzanie SWN za pomocą obcego medium, którym może być powietrze lub woda. Oprócz swobodnych przepływów powietrza np. z nagrzewnicy lub otoczenia znane są aplikacje, które generują ciepło z użyciem drutu oporowego, oplecionego bezpośrednio na włóknie [14]. Rozwiązanie takie uzależnia jednak działanie napędu od dostępności zasilania.

SWN ze względu na temperaturowy charakter pracy obarczone są określoną bezwładnością, która przekłada się bezpośrednio na możliwą do osiągnięcia szybkość działania. Im grubsze włókno, tym większa jego pojemność cieplna i dłuższy okres oddawania ciepła. Czas ten zmienia się zależnie od medium i wartości jego przepływu wzdłuż włókna. Niezmiennym parametrem jest jednak górna granica stosowania, która dla nylonu wyznaczona została przez temperaturę zeszklenia i dla tego materiału wynosi ok. 180°C. W przypadku niebarwionego, transparentnego nylonu przekroczenie tej temperatury jest widoczne gołym okiem – materiał staje się mleczny. Zmiany są nieodwracalne, a utrzymanie tej temperatury pod obciążeniem skutkuje całkowitym zerwaniem włókna.

Konstrukcja siłowników

Istotną wadą SWN jest konieczność utrzymywania naciągu włókna, przez co znajduje się ono pod ciągłym obciążeniem. Częściowo wiąże się to z kolejnym negatywnym aspektem włókien nylonowych, jakim jest zdolność jedynie do pracy jednostronnej. Generowana podczas skurczu siła działa jedynie w kierunku wzdłużnym, skracać wymiar. Rozwijanie włókna po zaniku aktywatora odbywa się już ze znikomą wartością siły. Całkowity brak naciągu przy rozwijaniu może skutkować splątaniem włókna. Bardzo istotne jest, aby wymienione ograniczenia uwzględnić przy projektowaniu siłowników i elementów wykonawczych napędzanych SWN, tak by układ zawsze znajdował się w równowadze zapewniającej odpowiedni naciąg. Poniżej przedstawiono kilka koncepcji konstrukcji siłownika i występujących w nich połączeń montażowych, przy różnych metodach aktywacji cieplnej.

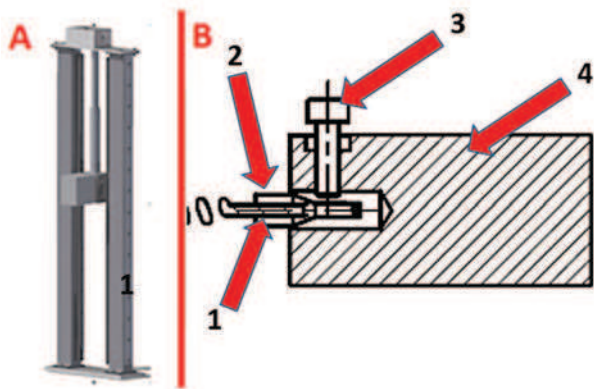
Siłownik przepływowy – wodny

Woda jest środowiskiem obojętnym dla nylonu, dzięki czemu możliwa jest ciągła praca w sytuacji, gdy wymiana ciepła zachodzi z otaczającą SWN cieczą. Pokazany na rys. 2b siłownik został zaprojektowany tak, by woda znajdująca się w nim mogła pozostać w stanie spoczynku oraz ciągłego przepływu. Druga opcja umożliwiła umieszczenie siłownika np. w ciągu wodnym. Ze względu na zastosowanie ogrzewania wodnego, ograniczony zostaje w tym przypadku zakres temperatur. Bezpośrednio przekłada się to na zakres ruchu siłownika. Przy temperaturze wody dochodzącej do 100°C można spodziewać się skurczu na poziomie maks. 10%. Użyteczny skok tak powstałego siłownika ogranicza się więc jedynie do max. 10% jego całkowitej długości.

Ruch prostoliniowy zapewniony jest w tym przypadku przez toczne prowadnice liniowe. Przymocowany do nich wózek jest punktem zaczepu dla włókna. Ze względu na zmniejszony zakres temperaturowy, ograniczona temperatura wrzenia wody nie zniszczy włókien znajdujących się wewnątrz giętkiego przewodu z wodą. Umożliwia to stosowanie połączenia zalewanego w obu punktach zaczepu włókna. Zostało ono zaprojektowane w oparciu o zalewanie przygotowanych końców włókna żywicą epoksydową w formie. Formowanie włókna następuje dopiero z uprzednio przygotowanymi końcami. Następnie w siłowniku występuje kształtowo-siłowe umocowanie końcówek montażowych (rys. 2a), uniemożliwiające jego wypadnięcie. Umożliwia to także wymianę uszkodzonych włókien. Żywica epoksydowana, tak jak nylon, dopuszczona jest do kontaktu z wodą i nie ma obaw o uszkodzenie złącza. W przypadku niewielkiego zapotrzebowania na siłę cała konstrukcja takiego siłownika może zostać wykonana z tworzyw sztucznych, co jest niewątpliwą zaletą. Potencjalnym źródłem energii tego typu napędu może być energia cieplna z układów chłodniczych i wymienników ciepła.

Siłownik przepływowy – powietrzny

Na potrzeby badań zaprojektowano również siłownik, w którym medium grzewczym jest przepływające



Rys. 3. Rysunek siłownika napędzanego przepływem powietrza (A) i występujące w nim połączenie montażowe (B): 1 – skręcone włókno, 2 – tulejka zaciskowa, 3 – śruba dociskowa, 4 – wózek jezdny

Fig. 3. Picture of an engine driven by air flow (A) and adopted assembly connection (B): 1 – twisted fiber, 2 – clamping sleeve, 3 – clamping screw, 4 – trolley

powietrze (rys. 3A). Konstrukcja siłownika zbliżona jest do wersji ogrzewanej przepływem wody. Ruch prostoliniowy zapewniony jest przez prowadnice liniowe. Ramę konstrukcji wykonano z profili stalowych, natomiast wózek toczny z aluminium. W ten sposób zredukowano masę wózka, a także zapewniono lepszą przewodność cieplną. Górną płytę siłownika wykonano w dwóch wersjach. Oprócz standardowego zaczepu do włókna jest także przyłącze umożliwiające zamocowanie silnika krokowego w celu wykonania splotu bezpośrednio w siłowniku.

Wykonane w ten sposób SWN pracuje w teleskopowej tulei. Jedna jej część wkręcana jest w gwintowany otwór wózka, druga natomiast w płytę górną. Różnica wymiarów obu rur wynosi 2 mm. Jest to potencjalne miejsce strat ciepła, które można dodatkowo uszczelniać przez gumowe kołnierze. Wejście medium zaplanowano na płycie głównej, gdzie zostawiono otwór gwintowany. Wyjście może odbywać się w sposób swobodny lub przez podłączenie węża do wózka jezdne. Montaż włókien na obu końcach siłownika odbywa się za pomocą połączeń śrubowo-zaciskowych. Jest to rodzaj połączenia rozpowszechniony w złączach elektroinstalacyjnych. Na końcu włókna umieszczana jest tulejka stalowa, zaciskana na włóknie. Po umieszczeniu w otworze montażowym włókno z tulejką jest od góry dociskane wkręcaną śrubą. Docisk generowany jest więc przez siłę na śrubie. Tuleja zaciskowa służy do ochrony włókna przed zniszczeniem przy zaciskaniu. Połączenie przedstawiono na rys. 3B.

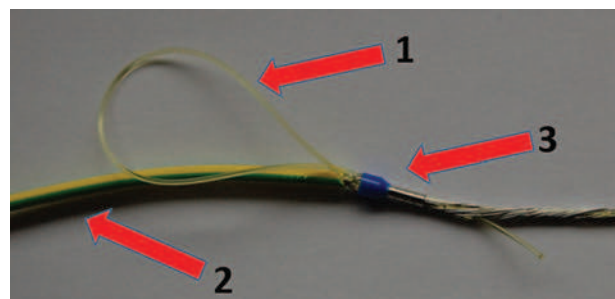
Zaletą tego siłownika jest możliwość stosowania napędów złożonych z kilku skręconych żył i generowanie dużych sił oraz przemieszczeń. Wadą jest z kolei konieczność ścisłej kontroli temperatury przepływającego powietrza. Przekroczenie temperatury zeszklenia, jak już wspomniano wcześniej, spowoduje zniszczenie napędu. Siłownik taki należy wyposażyć w odpowiednie układy

– pomiarowy i sterujący zaworem odcinającym. Układ tego typu można stosować np. w wyciągach spalin i układach odpylających. Szczególnie w instalacjach odpylających, gdzie filtry wykonywane są częściowo z nylonu, a temperatura pracy rzadko przekracza 140°C, warunki pracy napędu z SWN mogłyby podlegać kontroli istniejącej już aparatury.

Siłownik nagrzewany oporowo – połączenie montażowe

Zasada działania tego siłownika opiera się na nagrzewaniu nylonu owiniętym wokół niego drutem oporowym. Odpowiednio sterowany przepływ prądu pozwala na względnie dokładne sterowanie temperaturą. Układ przewodzenia ruchu można rozwiązać analogicznie jak w przypadku układu ogrzewanego powietrzem. Oplecione drutem oporowym włókno ma kompletny układ grzewczy, dzięki czemu może pracować swobodniej, bez izolacji od otoczenia. Brak izolacji poprawia także zdolność do oddawania ciepła. Układ musi być jednak odpowiednio zabezpieczony przed dostępem człowieka, ponieważ drut oporowy jest odsłoniętym przewodnikiem z prądem.

Temperatura dochodząca do 180°C uniemożliwia stosowanie połączenia zalewanego na bazie żywic. Połączenie śrubowo-zaciskowe, tak jak ma to miejsce w złączkach elektrycznych, powodowałoby przenoszenie zasilania na obudowę przez śrubę. Z tego też względu do tego rodzaju napędu zaleca się stosowanie połączenia zaciskanego z jednoczesną izolacją. Drut oporowy musi być w tym przypadku zaplatany wraz z włóknem. Po skręceniu włókna na obu końcach umieszcza się izolowane tuleje zaciskowe. Nadmiar włókna przeplata się przez tuleje, dzięki czemu uzyskuje się uchwyt oczkowy, znany z połączeń linowych stosowanych w stalowych linach mostowych. Siła zacisku uniemożliwia rozwarstwienie się włókna i drutu, a sposób wykonania zapewnia izolację od obudowy. Połączenie pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Połączenie zaciskowe dla włókna ogrzewanego drutem oporowym: 1 – zaczep pętlowy, 2 – izolowany drut oporowy, 3 – zaciskowa tuleja izolowana

Fig. 4. Terminal connection for fiber heated by resistance wire: 1 – hook loop, 2 – insulated resistance wire, 3 – insulated clamping sleeve

Podsumowanie

Układy wykonawcze zbudowane w oparciu o Skręcone Włókna Nylonowe wciąż należą do rzadkości. W literaturze można znaleźć pojedyncze publikacje poruszające ten zupełnie nowy temat. Opisane właściwości tego typu siłowników pozwalają sądzić, że zainteresowanie tym rodzajem napędu będzie rosnąć. Zaprezentowane w tekście przykłady rozwiązań konstrukcyjnych i dedykowanych im połączeń montażowych, będące efektem własnych badań i prac konstrukcyjnych, nie wyczerpują tematu. Przybliżają jednak mnogość możliwych rozwiązań i zastosowań dla tego typu urządzeń. Temperaturowy charakter pracy SWN jest źródłem sporych strat energii. Z tego powodu należałoby szukać zastosowania napędu w miejscach gdzie ciepło jest efektem ubocznym prowadzonych procesów jak np. procesy spalania, ogrzewania i chłodzenia.

LITERATURA

- [1] Baughman R.H. et. al. 2014. "Artificial Muscles from Fishing Line and Sewing Thread". *Science* (343): 868–872.
- [2] Baughman R.H. et. al. 2015. "Hierarchically buckled sheath-core fibers for superelastic electronics, sensors and muscles". *Science* (349): 400–404.
- [3] Cherubini A. et. al. 2015. "Experimental characterization of thermally-activated artificial muscles based on coiled nylon fishing lines". *AIP Advances* (5).
- [4] Ćwikła A. 2008. „Medyczne zastosowania materiałów inteligentnych”. *Scientific Bulletin of Chełm* (1): 15–28.
- [5] Hamamoto I. et. al. 2006. "Development of a flexible displacement sensor using nylon string coated with carbon and its application for McKibben actuator". *SICE-ICASE International Joint Conference – Conference Materials: 1943–1946*.
- [6] Kaleta J. 2013. „Materiały magnetyczne Smart. Budowa, wytwarzanie, badanie właściwości, zastosowanie”. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*.
- [7] Lai W. 2011. "Characteristics of dielectric elastomers and fabrication of dielectric elastomer actuators for artificial muscle applications", rozprawa doktorska. Iowa State University.
- [8] Madden J.D.W., S. Kianzad. 2015. "Twisted Lines : Artificial muscle and advanced instruments can be formed from nylon threads and fabric". *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society: 32–35*.
- [9] Materiały inteligentne, <http://www.matint.pl/index.php>, dostęp 28.04.2016 r.
- [10] Mielcarek J., M. Kruszyńska, P. Sokołowski. 2009. „Zastosowanie nanorurek węglowych w medycynie”. *Farm Pol* (4): 251–254.
- [11] Sanusi KO, OL Ayodele, MTE Khan. 2014. "A concise review of the applications of NiTi shape-memory alloys in composite materials". *South African Journal of Science*. Vol. 110 (7/8).
- [12] Sapińska-Wcisło A. 2006. „Mechatroniczne człony wykonawcze z zastosowaniem materiałów inteligentnych”, rozprawa doktorska. Kraków: AGH.
- [13] Sędziak D. 2006. "Basic investigations of electrohydraulic servovalve with piezo-bender element". *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji* (2): 185–190.
- [14] Yip M.C., G. Niemeyer. 2015. "High-performance robotic muscles from conductive nylon sewing thread". 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) – Conference Materials: 2313–2318.

mgr inż. Arkadiusz Piotrowiak – Zakład Projektowania Technologii Instytutu Technologii Mechanicznej, Politechnika Poznańska ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, e-mail: arkadiusz.piotrowiak@put.poznan.pl

dr hab. inż. Olaf Cizak – Zakład Projektowania Technologii Instytutu Technologii Mechanicznej, Politechnika Poznańska ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, e-mail: olaf.cizak@put.poznan.pl

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

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

PROJEKT WYCIĄGARKI BRAMOWEJ DO PLATFORMY MONTAŻOWEJ W FIRMIE ELEKTROBUDOWA SA

Project gantry cranes platform assembly company ELEKTROBUDOWA SA

Robert CIEŚLAK, Ireneusz WYSOCKI, Łukasz KAĆIAK

Streszczenie: W pracy przedstawiono projekt wyciągarki bramowej firmy Elektrobudowa SA. Jest to jeden z kolejnych etapów wdrażania platformy montażowej w tym przedsiębiorstwie. Praca koncentruje się na wskazaniu dostosowania platformy montażowej dla produktu końcowego, jakim są rozdzielnie niskich, średnicy i wysokich napięć w firmie ELEKTROBUDOWA SA. Jest to ważny punkt procesu opracowania platformy montażowej oraz podejścia do wzorca rodziny produktów.

Słowa kluczowe: obszary montażowe

Abstract: The paper was presented project winch gantry the company ELEKTROBUDOWA SA. The project constitutes one of the stages of implementing an assembly platform in this firm. The publication shows the ways of adjusting the platform to the final product, which is low, medium and high voltage switchboards produced in the ELEKTROBUDOWA SA. The adjustment in turn is a vital point in the process of designing an assembly platform and approaching the pattern for a family of products.

Keywords: assembly areas

Wprowadzenie

Gwałtowny rozwój przemysłu w ostatnich latach jest jednym z rezultatów szybkiego rozwoju techniki, a co za tym idzie zwiększeniem produkcji danych artykułów. Postęp tego sektora gospodarki doprowadził do polepszenia jakości oraz precyzji wytwórstwa produktów oraz zmniejszenia nakładu pracy personelu. Ekspansja technologii pozwala na masową produkcję artykułów bez udziału licznej grupy pracowników. Ułatwienie wykonywania określonych czynności przez zespół prowadzi do zwiększonego wytwarzania produktów.

W celu skrócenia tworzenia produktu i zmniejszenia kosztów jednostkowych oprócz stosowania elastycznych

systemów montażowych można zastosować tzw. platformy montażowe, które mają duże znaczenie dla samego produktu końcowego, jako że produkt odpowiada potrzebom rynku, będąc jednocześnie wyprodukowanym przy jak najmniejszych kosztach produkcji [3].

Celem artykułu jest opracowanie kolejnego etapu utworzenia platformy montażowej w firmie ELEKTROBUDOWA SA, jakim jest opracowanie struktury jej elementów. Projekt wyciągarki bramowej znajduje wszechstronne zastosowanie w platformach montażowych, pracach instalacyjnych i serwisowych. Ogromną zaletą tego typu urządzenia jest jego prosta budowa i niewielka masa. Te dwa główne walory przyczyniają się do szybkiego i stosunkowo łatwego przenoszenia maszyny w inne miejsce pracy.



Rys. 1. Rozdzielnie a) niskiego, b) średniego i b) wysokiego napięcia produkowane w firmie ELEKTROBUDOWA SA (opracowanie na podstawie katalogów firmy)

Fig. 1. Low, medium and high voltage switchboards produced in the ELEKTROBUDOWA SA company (pictures from the company's catalogue)

Definicja platformy montażowej

Opracowanie platformy montażowej ma duże znaczenie dla produktu końcowego. Odpowiada on potrzebom rynku i jednocześnie może być wyprodukowany przy jak najmniejszych kosztach wytwarzania [3]. Według definicji platforma montażowa to stosunkowo duży zbiór komponentu produktu, którego składniki są ze sobą połączone jako stabilny podzespół i są wspólne dla różnych modeli produktu końcowego [3].

Istota powstania platformy montażowej tkwi w uzyskaniu jak największej liczbie produktów końcowych, wykorzystując standaryzowane składniki i różne procesy produkcyjne. Dlatego też dostosowanie platformy montażowej to proces polegający na odkryciu wspólnych elementów w danej rodzinie produktów (wspólne funkcje czy działanie, parametry, cechy, składniki podsystemy, odpowiednia ilość informacji związanej z produkcją danej rodziny produktów) oraz późniejsze dopasowanie i standaryzacja ww. wspólnych elementów bądź parametrów [4].

Zastosowanie platformy montażowej polega na:

1. Odkryciu użyteczności platformy montażowej w produkcji danego zestawu produktów końcowych.
 - a) opracowaniu rodziny produktów i odpowiedniej struktury platformy montażowej w taki sposób, aby uzyskać finalną platformę wyróżniającą się na tle innych pod względem konstrukcji czy budowy.
 - b) odkryciu ograniczeń, jakim podlegają części wyprodukowane przez najczęściej stosowane platformy montażowe łącznie z:
 - identyfikacją wspólnych modułów/podzespołów w danej platformie montażowej oraz zależności między ich interfejsami,
 - identyfikacją wspólnych składników danego produktu końcowego, opracowanego na platformie montażowej i zależności między nimi [4].

Badanie platformy montażowej

ELEKTROBUDOWA SA prowadzi swoją działalność ponad 60 lat, realizując zadania inwestycyjne w branży elektrycznej głównie dla elektroenergetyki na terenie Polski i za granicą, specjalizując się w wykonawstwie wyrobów i robót elektrycznych. Firma zmierza do osiągnięcia silnej pozycji na rynku monitorowania, nadzoru oraz sterowania procesami technologicznymi, co oznacza zorientowanie w kierunku budowy systemów bardziej zaawansowanych technologicznie.

Głównymi produktami firmy są rozdzielnice niskiego, średniego i wysokiego napięcia (rys. 1) oraz stacje kontenerowe przenośne, konstrukcje stalowe wyposażenia rozdzielnic napowietrznych [2].

W firmie tej wykonano badanie nad platformą montażową, a jej znaczenie jest coraz istotniejsze w różnych dziedzinach przemysłu i wiele firm musi podejmować szereg decyzji w tej sprawie. Prace zmierzają w kierunku zdefiniowania podstawowej struktury platformy montażowej.

Poprzedni etap tzn. utworzenia platformy montażowej został przedstawiony w publikacji [1]. Pierwszy etap polegał na utworzeniu platformy montażowej jako fizycznej struktury wyrobu. W tym momencie należy odpowiedzieć na dwa pytania. Po pierwsze – jak należy zdefiniować platformę montażową z technicznego punktu widzenia, biorąc pod uwagę złożoność wyrobu, po drugie – w jaki sposób platforma montażowa wiąże się z innymi pojęciami związanymi z procesem planowania wyrobu końcowego, takimi jak konstrukcja wyrobu czy modularyzacja. Drugi etap polegał na grupowaniu operacji, aby określić podobieństwo technologiczne wykonywanych produktów. Trzeci etap to dokonanie analizy kosztowej platformy montażowej. Warto odpowiedzieć na pytania: jakie czynniki należy wziąć pod uwagę ustalając koszt platformy montażowej i jaka będzie wielkość współczynnika do analizy kosztowej.

Czwarty etap to opracowanie struktury elementów platformy montażowej. Jednym z kolejnych elementów struktury platformy montażowej jest wyciągarka bramowa, która przeznaczona jest na potrzeby montażu rozdzielni. Projekt został wykonany na potrzeby firmy ELEKTROBUDOWA SA. Zadaniem tego typu urządzenia jest przenoszenie rozdzielni ze stanowiska montażowego na pola odkładcze.

W firmie ELEKTROBUDOWA SA dokonano analizy wydajności kilku rodzajów wyciągarek bramowych (obecnych na halach). Z przeprowadzonej analizy wynika, że brakuje uniwersalnej wyciągarki bramowej (w przyszłości do tworzonej platformy montażowej). Zamiarem autorów jest opracowanie uniwersalnej wyciągarki bramowej, która ułatwi pracę pracownikom montujących poszczególne elementy oraz zmniejszy niebezpieczeństwo uszkodzenia ścian rozdzielni. Wyciągarka bramowa zaopatrzona jest w koła jezdne, dzięki którym może być ustawiana w odpowiednich miejscach w zależności od potrzeb. Proces projektowania nowej wyciągarki bramowej podzielono na trzy etapy tj.: przygotowanie, wykonanie modelu w programie SolidWorks oraz opracowanie wyników wytrzymałościowych.

Postępowanie projektowe obejmowało:

1. zapoznanie się z pracownikami wykonującymi montaż rozdzielni, a także organizacją i obsługą stanowiska roboczego na którym będzie ona wykonywana,

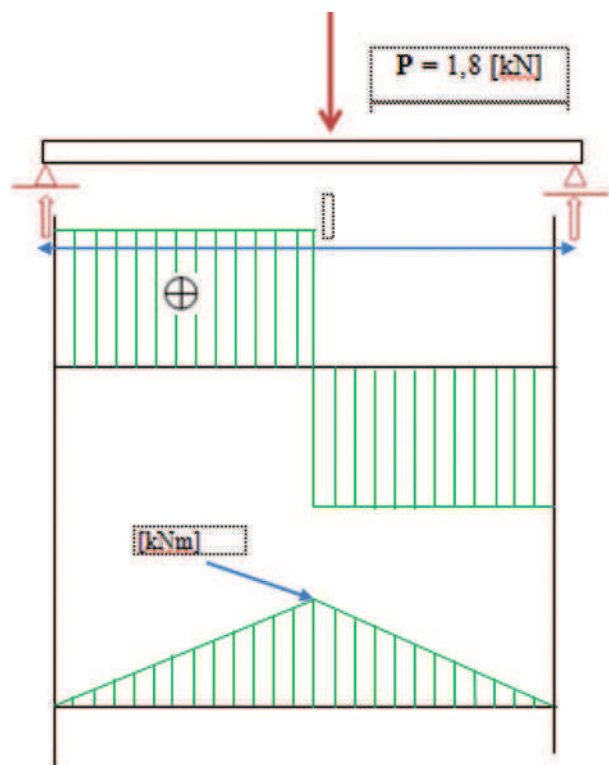
| Pracownik firmy odpowiedzialny za prowadzenie badań do platformy montażowej | Czas przeprowadzenia analizy stanowisk montażowych | Badane stanowisko pracy |
|---|--|---|
| technolog | 6 ⁰⁰ – 14 ⁰⁰ | brygada mechaników i elektryków, którzy wykonywali montaż wyrobu w zamkniętej hali produkcyjnej |



Rys. 2. Projekt wyciągarki bramowej w firmie ELEKTROBUDOWA SA (opracowanie własne)
 Fig. 2. The project winch gantry company ELEKTROBUDOWA SA company (self study)

2. poznanie budowy obecnych na hali wyciągarek bramowych,
3. analiza oceny efektywności wyciągarek bramowych przez pracowników,
4. ustalenie z technologiem wymogów jakie powinny spełniać nowe wyciągarki bramowe na podstawie katalogów firm Blickle, PROMAG oraz Konsorcjum Stali SA,
5. opracowanie modelu wyciągarki bramowej w programie SolidWorks (rys. 2),
6. przeprowadzenie obliczeń wytrzymałościowych niezbędnych do zamodelowania ramy nośnej, dokonanie symulacji w programie SolidWorks. Symulacja w programie pozwoliła na wizualizację zjawisk zachodzących podczas obciążenia (rys. 3),
7. opracowanie całego procesu wytworzenie na kartach technologicznych i instrukcyjnych.

Wyciągarka bramowa do montażu rozdzielni ma podstawę oraz podpory boczne zbudowane z profili zimnogiętych prostokątnych. Tor jezdny w kształcie dwuteownika wraz z zamocowanymi blokadami wózka posuwu o wyglądzie ceownika. Projektowana wyciągarka ma dźwigar ręczny, który cechuje się dużymi parametrami technicznymi. Jego największą zaletą jest maksymalny ciężar podnoszenia wynoszący 2 t. Na potrzeby projektu zamocowane zostały kółka żeliwne do dużych obciążeń, które pozwolą na swobodne przemieszczanie suwnicy na terenie zakładu. Suwnica tego typu ma dwa stopnie swobody – pion oraz poziom. Stopień pionu odbywa się przez dźwigar, który jest zamocowany do wózka posuwu,



Rys. 3. Uproszczony rozkład sił na tor jezdny (opracowanie własne)
 Fig. 3. Simplified distribution of forces on the guideway company (self study)

natomiast poziom jest możliwy dzięki rolkom wbudowanym w wózek, zarówno dźwigar jak i wózek posuwu wyprodukowała firma PROMAG. Wyciągarka bramowa ma również blokady na kółkach, dzięki czemu podczas użytkowania będzie miała dużą stabilność.

Głównymi celami projektowanej wyciągarki bramowej w strukturze platformy montażowej jest przede wszystkim:

- zwiększenie wydajności przy jednoczesnym obniżeniu kosztów produkcji,
- efektywniejsze wykorzystanie dysponowanego czasu pracy,
- stabilizacja i rytmiczność procesu produkcji pozwalająca na dokładne planowanie wydajności,
- poprawa organizacji i warunków pracy na wydziale montażowym,
- zaopatrzenie wyciągarki w koła jezdne, które umożliwiają jej szybkie przemieszczenie na hali montażowej,
- zmniejszenie liczby wyrobów wadliwych.

Po analizie danych projektowych firma ELEKTROBUDOWA SA chciałaby wyprodukować jedną z tych wyciągarek bramowych w celu dokonania analiz na rzeczywistym modelu. Po analizie testów na rzeczywistym modelu firma nie wyklucza wyprodukowania następujących wyciągarek bramowych.

Podsumowanie

Inżynierowie krajowych i zagranicznych przedsiębiorstw produkcyjnych opracowują warianty wyciągarek bramowych do elastycznych linii montażowych i platform montażowych. Głównym celem artykułu było opracowanie uniwersalnej wyciągarki bramowej do przenoszenia ścian rozdzielni niskich, średnicy napięć w firmie ELEKTROBUDOWA SA. Jest to kluczowy punkt opracowania struktury platformy montażowej oraz podejścia do wzorca rodziny produktów. Jak wynika z przedstawionych wyników analiz projektowych, należy spodziewać się poprawy wskaźników niezawodności i efektywności produkcji, co

powinno przynieść oczekiwane efekty ekonomiczne i jakościowe oraz przyczynić się do podniesienia konkurencyjności przedsiębiorstwa.

Autorzy w kolejnych artykułach zamierzają dokonać analizy projektowej kolejnych elementów struktury danej platformy montażowej w firmie ELEKTROBUDOWA SA takich jak np. stół montażowy.

LITERATURA

- [1] Cieślak R., I. Wysocki. 2013. „Badania i zastosowanie platform montażowych”, *Inżynieria Maszyn* (4): 117–123.
- [2] ELEKTROBUDOWA SA – katalogi firmy.
- [3] Muffatto M. 1999. “Introducing a platform strategy in product development”. *International Journal of Production Economics* (60-61): 145–146.
- [4] Qin H. et. al. 2005. “Product platform commonization: platform construction and platform elements capture”. Springer-Verlag London Limited 2004, *International Journal Advanced Manufacturing Technology* (25): 1071–1077.
- [5] REFA, „Metody badania prac cz. 1 i cz. 2”. Cieszyńska Drukarnia Wydawnicza, 1984.
- [6] Simpson T.W., J. R.A. Maier, F. Mistree. 2001. „Product platform design: method and application”. *Research in Engineering Design* (13): 2–22.

dr inż. Robert Cieślak – Katedra Mechaniki i Budowy Maszyn, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Inżynierii Środowiska Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Koninie, ul. Przyjaźni 1, 62-510 Konin, e-mail: robertcieslak@wp.pl

inż. Ireneusz Wysocki – ELEKTROBUDOWA SA w Katowicach, Oddział Spółki Rynek Dystrybucji Energii, 62-505 Konin, Przemysłowa 156, e-mail: ireneusz.wysocki@elbudowa.com.pl

Łukasz Kąciak – student Mechaniki i Budowy Maszyn, Katedra Mechaniki i Budowy Maszyn, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Inżynierii Środowiska Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Koninie, ul. Przyjaźni 1, 62-510 Konin

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ДВУХЭЛЕМЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ РАНЖИРОВАНИЯ

Kitting-up of two-element assemblage on the base of ranking

Kompletowanie połączeń dwuelementowych na podstawie rangowania

Куприянов А.В., к.т.н., доц.

Аннотация: Предлагается запоминать и эффективно использовать действительные размеры деталей для организации комплектования. Разработаны методы комплектования на основе индивидуального подбора, которые, при сравнимой с селективной сборкой точностью, менее подвержены ее недостаткам: необходимости в большой серийности и низкой вероятности комплектования. Определена эффективность предлагаемых методов. Предложена номограмма для определения страховых запасов деталей для осуществления комплектования.

Ключевые слова: сборка, селекция, комплектование, ранжирование

Abstract: It is proposed to store and effectively use the actual dimensions of the details for the organization of kitting-up. The methods of kitting-up on the basis of individual match are comparable to the precision of selective assembly, but less susceptible to its shortcomings: the need for a large batch and low probability of kitting-up. The efficiency of the proposed methods is estimated. A nomogram for determining the safety stock of parts for kitting-up is proposed.

Keywords: assembly, selection, complete, ranking

Streszczenie: W pracy zaproponowano sposób zapamiętywania i efektywnego wykorzystywania rzeczywistych wymiarów części celem zorganizowania kompletowania części koniecznych do montażu. Opracowano metody kompletowania na podstawie indywidualnego doboru, które w porównaniu z selektywnym montażem, pod względem dokładności mają mniej mankamentów, tzn. konieczności dużej seryjności i małego prawdopodobieństwa kompletowania. Wyznaczono efektywność zaproponowanych metod. Zamieszczono nomogram dla wyznaczenia zapasów bezpieczeństwa części koniecznych do kompletowania.

Słowa kluczowe: montaż, selekcja, kompletowanie, rangowanie

Введение

Традиционная технология изготовления деталей и сборки соединений не использует полную информацию о действительных параметрах деталей. Для сборки с полной взаимозаменяемостью детали измеряются преимущественно калибрами, что не дает информации о действительных размерах. Даже если, для высокоточных соединений, или при получении контрольных карт, детали измеряются универсальными мерительными средствами, дальше эти размеры для каждой детали не запоминаются. При сборке с полной взаимозаменяемостью детали в сборочный комплект подбираются случайным образом.

С одной стороны, это значительно упрощает технологию сборки. С другой, если нужна повышенная точность соединений, приходится повышать точность изготовления деталей. Это удорожает изделие.

Предлагается информационный подход к организации процесса изготовления и сборки изделий. Его сущность состоит в том, что каждая деталь в процессе производства маркируется, и все получаемые в процессе ее контроля действительные параметры

запоминаются в базе данных. Дальше, на этапе сборки, партия деталей комплектуются в сборочные комплекты не случайным образом, а по определенному алгоритму, с целью добиться оптимальных параметров изделия.

Таким образом, при сохранении технологии изготовления деталей, путем некоторого усложнения технологии сборки, становится возможным повысить точность соединений.

Анализ литературных данных и постановка проблемы

Для повышения точности замыкающего звена размерной цепи используются следующие методы комплектования и сборки: с пригонкой деталей; с введением компенсатора; с групповой взаимозаменяемостью, называемой также селективной сборкой. Названные методы комплектования, за исключением селективной сборки, нетехнологичны.

Селективная сборка эффективно уменьшает допуск замыкающего звена [1, 2], однако она подвержена существенным недостаткам, которые ограничивают ее применение массовым производством. При

селективной сборке для обеспечения процесса на позиции комплектования должно находиться деталей намного больше, чем будет скомплектовано, и количество годных комплектов нестабильно. Для значительного числа деталей не находится комплектных, они образуют незавершенное производство.

Расчет собираемости при селективной сборке – вероятностная задача, которая решается графическим методом, аналитически или статистическим моделированием [1, 3]. На производстве, когда законы распределения сопрягаемых деталей не совпадают, собираемость при селективной сборке довольно низка. С целью ее повышения используют организацию производства, при которой первыми изготавливаются детали, для которых точность обеспечить сложнее, а затем под их действительные размеры обрабатываются ответные детали [4]. Это удлинит и удорожает технологию, но позволяет повысить собираемость при заданной точности.

При информационном подходе к организации процесса сборки, когда размеры каждой детали из партии известны, возникает задача воспользоваться данными о размерах с целью организации эффективного комплектования [4, 5]. Алгоритм такого комплектования и анализ его эффективности исследованы недостаточно. Особенно востребован алгоритм, который подойдет для серийного производства.

Цель и задачи исследования

Цель исследования состоит в разработке методов комплектования по действительным размерам деталей на основе информационного подхода и анализе их эффективности для двухэлементных соединений.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- предложить методы комплектования по действительным размерам деталей, эффективные в различных типах производств,
- определить страховые запасы деталей, которые должны находиться на участке сборки для организации эффективного комплектования,
- сравнить эффективность предлагаемых методов комплектования с селективной сборкой.

Синтез эффективных методов комплектования и анализ их эффективности

Методы комплектования на основе ранжирования

Сущность предлагаемых методов комплектования состоит в ранжировании деталей перед сборкой и выборе в комплект детали каждого типа с одинаковым рангом. На позиции комплектования должно находиться одинаковое число n деталей каждого типа, входящих в сборочную единицу. Детали каждого типа ранжируются отдельно. Рангом детали в партии будем называть номер i , который она получает при

упорядочении сборочных размеров x_i всей партии в порядке возрастания:

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_i \leq \dots \leq x_n$$

Поскольку распределения размеров деталей непрерывны, то совпадения размеров теоретически имеют нулевую вероятность. На практике, однако, измерения проводятся с определенной точностью, и совпадения возможны. В этом случае для нескольких деталей с совпадающими размерами ранги назначаются произвольным образом.

После ранжирования производится комплектование и сборка деталей. Здесь возможны два метода организации комплектования, которые назовем дискретным и непрерывным процессами.

При дискретном процессе все детали из ранжированных партий комплектуются и затем отправляются на сборку. Таким образом, все детали, поступившие на позицию комплектования, будут собраны, и качество подбора, определяемое отклонением размера замыкающего звена размерной цепи от наилучшего значения, определяется самым худшим из получившихся комплектов.

При непрерывном процессе на сборку уходит только наилучший в смысле размера замыкающего звена размерной цепи комплект. Затем партии деталей на позиции комплектования дополняются до начального числа деталей, и опять производится ранжирование. Снова выбирается лучший из получившихся комплектов, и такой цикл повторяется. В этом случае качество подбора будет определяться самым лучшим после ранжирования комплектом и существенно выше дискретного комплектования.

Дискретное комплектование с ранжированием найдет применение для производства с невысокой серийностью, можно применять даже для двух комплектов. Информации о размерах деталей используется для подбора их в комплекты, уменьшая допуск замыкающего звена. В отличие от селективной сборки, при дискретном комплектовании отсутствует незавершенное производство.

При непрерывном процессе на позиции комплектования всегда должно находиться постоянное количество деталей, которые являются аналогом незавершенного производства при селективной сборке. Однако, в отличие от селективной сборки, при которой незавершенное производство формируется случайным образом и есть переменной величиной, при непрерывном комплектовании количество деталей постоянно. Это положительно сказывается на производстве, поскольку участок комплектования не загромождается тарой с некомплектными деталями. Особенно это существенно для крупногабаритных деталей. Вместе с тем, остаток деталей на позиции комплектования не может быть собран с узким допуском на замыкающее звено размерной цепи. Этот метод комплектования найдет применение в массовом производстве.

Участок комплектования должен содержать измерительные позиции, где производится измерение посадочных размеров деталей каждого типа, адресный накопитель для хранения измеренных деталей и устройство управления. При автоматизации комплектования адресный накопитель используется в общей автоматизированной системе комплектования и сборки. В функции устройства управления входит хранение информации о посадочном размере детали в каждой ячейке накопителя и автоматическое комплектование, включающее ранжирование и выдачу на дисплей информации о номерах ячеек накопителя, детали из которых попали в один комплект. Сборка производится обычным для данного изделия способом.

Метод комплектования с ранжированием применим также для единичного производства, когда манипуляции с деталями осуществляются рабочим вручную. В единичном производстве, а крупногабаритных деталей и в серийном, их можно маркировать, например используя штрих-кодирование. Для мелкосерийного и ремонтного производства роль устройства управления может играть обычный персональный компьютер, в компьютерную программу которого вручную вносятся данные о размерах, она осуществляет ранжирование и выдачу на монитор информации о скомплектованных деталях. Подобная программа разработана авторами и может быть передана заинтересованным сторонам. Предложенный способ комплектования детальнее описан в [6] и защищен патентом Украины [7].

Определение количества ячеек для накопителя участка комплектования

Эффективность методов комплектования на основе ранжирования зависит от количества деталей, среди которых производится поиск лучших сочетаний. Чем больше деталей, тем эффективность метода выше. Статистическое моделирование показало [5], что при близости параметров законов распределения для собираемых деталей разных типов комплектование на основе ранжирования эффективно, начиная с 10 комплектов. При значительном расхождении параметров законов для результатов, сравнимых с селективной сборкой, величины партий должна выбираться ближе к 50 деталям.

Практическое применение предлагаемых методов требует обоснования выбора количества ячеек адресного накопителя для достижения заданного допуска замыкающего звена. Представляет значительный интерес обоснование достигаемой при ранжировании точности комплектования, по сравнению, например, с селективной сборкой. Для обоснования был использован аппарат порядковых статистик.

В системе Maple был выполнен расчет математических ожиданий и дисперсий всех порядковых статистик для партий деталей разных объемов n ,

с размерами, подчиняющимися нормальному закону распределения.

$$\text{Данный закон имеет вид } f(x) = \Phi\left(\frac{x - M(x)}{\sqrt{D(x)}}\right),$$

поэтому достаточно вычислить математические ожидания и дисперсии порядковых статистик для $M(x) = 0$ и $\sqrt{D(x)} = 1$ [8]. Таким образом, были определены дисперсии порядковых статистик нормированного нормального распределения с центром в середине поля допуска и размахом $6\sqrt{D(x)}$, равным полю допуска T .

Дисперсии были наибольшими для порядковых статистик с рангами, равными 1 и n и наименьшими для порядковых статистик с рангами $n/2$. Для непрерывного комплектования в сборочную единицу будут выбираться порядковые статистики размеров в середине поля допуска, и они характеризуются наименьшей дисперсией. Для дискретного комплектования все комплекты будут собираться, и качество комплектования будет определяться порядковыми статистиками размеров ближе к границам поля допуска, с наибольшей дисперсией. На рис. 1 изображены графики, отображающие зависимость дисперсии от количества деталей в партиях для непрерывного и дискретного ранжирования. Дисперсия для партии в один комплект, то есть для сборки с полной взаимозаменяемостью, была принята за единицу.

Для селективного комплектования были проведены аналогичные расчеты. Поле рассеивания, принятое равным полю допуска, разделялось на равные части по количеству групп селекции. Для нормального распределения определялась дисперсия размеров для каждой группы. Наибольшая дисперсия была для размеров первой и последней групп селекции, ее значения также приведены на рис. 1.

Номограмма на рис. 1 позволяет устанавливать количество ячеек адресного накопителя при

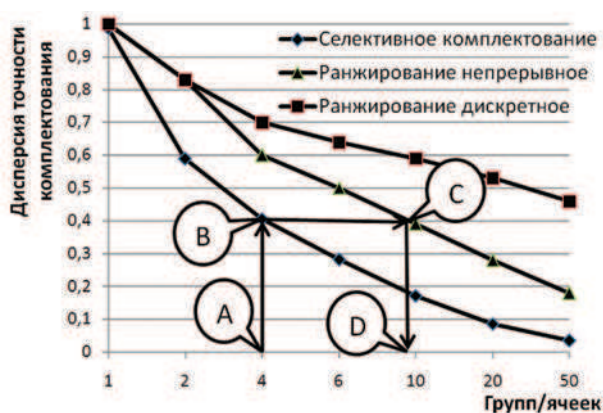
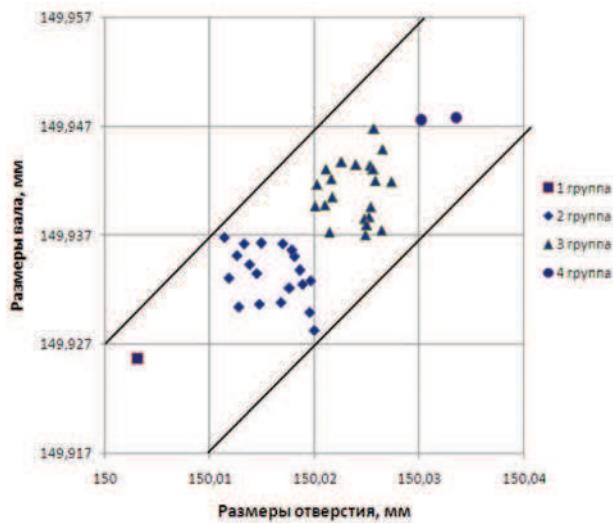


Рис. 1. Номограмма для выбора количества ячеек для комплектования на основе ранжирования

Fig. 1. The graph for select the number of parts for the kitting-up on the base of ranking

а)



б)

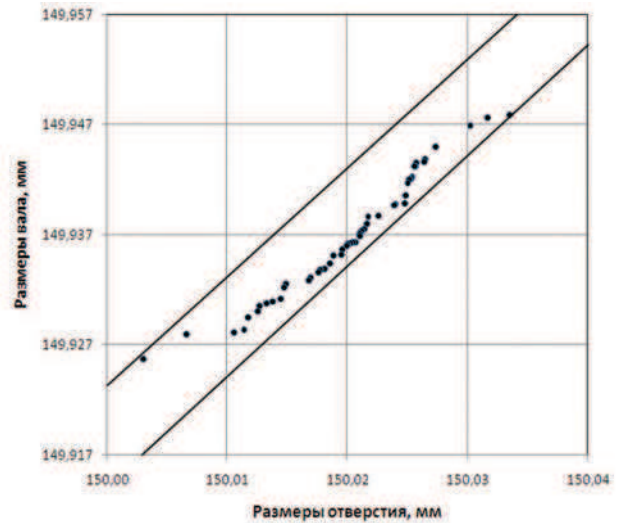
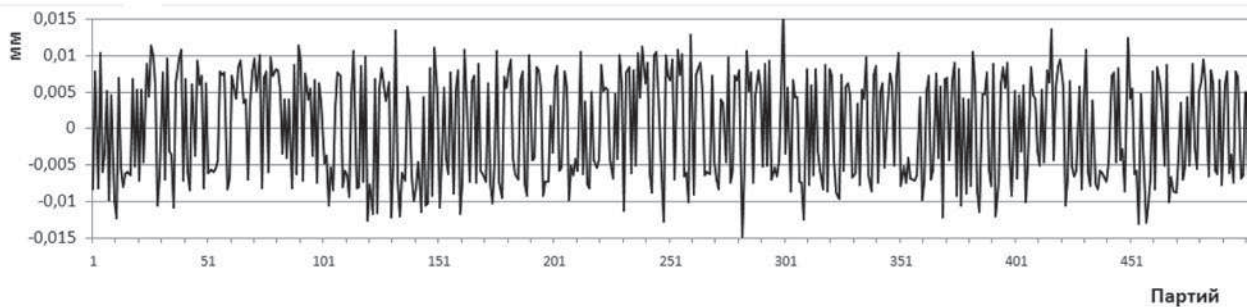


Рис. 2. Разброс размеров замыкающего звена при селективной сборке а) и дискретном комплектовании с ранжированием деталей б)
 Fig. 2. Size variation of dimensional chain closing unit in the selective assembly а) and assembly on the base of ranking of the sizes of details б)

а)



б)

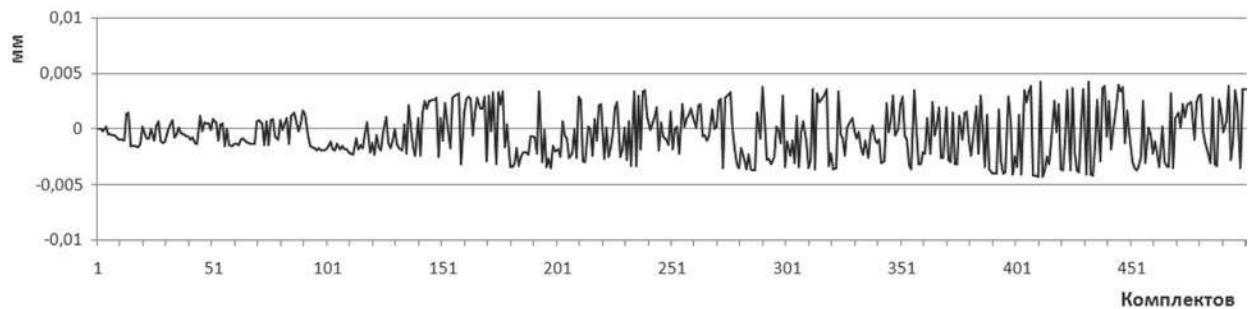


Рис. 3. Разброс размеров замыкающего звена при дискретном а) и непрерывном б) комплектовании с ранжированием
 Fig. 3. Size variation of dimensional chain closing unit in the selective assembly а) and assembly on the base of ranking б)

комплектовании на основе ранжирования, в качестве точки отсчета выбирается дисперсия, а значит и точность селективного комплектования с определенным количеством групп селекции. При использовании номограммы для определенного количества групп селекции рис. 1, поз. А находится соответствующая

дисперсия размеров по графику для селективного комплектования поз. В, потом для такой дисперсии размеров с ранжированием поз. С находится количество ячеек адресного накопителя поз. D. Такое количество ячеек должно быть для всех деталей каждого типа, входящих в сборочный комплект.

Эффективность предлагаемых методов комплектования

Для примера на рис. 2 изображены значения зазоров для случая двухэлементного соединения вал-отверстие, посадка $\varnothing 150H7/f7$, величина партии $n = 50$ шт., при распределении размеров по нормальному закону. На рисунке 2а показан случай селективной сборки, число групп селекции равно 4, на рисунке 2б показано дискретное комплектование с ранжированием. Наклонными линиями изображен результирующий разброс размеров замыкающего звена. Размеры замыкающего звена группируются возле значения, определяемого как разность среднеарифметических размеров партий деталей отверстия и вала.

Для тех же исходных данных на рис. 3 показаны результаты моделирования эффективности дискретного и непрерывного комплектования. Моделирование было проведено для 500 последовательных комплектований. По оси ординат показываются отклонения от среднего зазора посадки. Для дискретного комплектования это наибольшее отклонения от среднего зазора в партии, по оси абсцисс отложены номера партий. Разброс отклонения был получен равным $\begin{pmatrix} +0,018 \\ -0,017 \end{pmatrix}$ мм, в то время как для селективной сборки он установлен в пределах $\begin{pmatrix} +0,01 \\ -0,01 \end{pmatrix}$ мм. Следует иметь в виду, что на графике приведены значения наихудших отклонений от среднего зазора в партиях, в действительности большинство комплектов имеют намного меньшие значения.

Для непрерывного комплектования по оси абсцисс отложены номера комплектов. Разброс отклонения был получен равным $\begin{pmatrix} +0,005 \\ -0,005 \end{pmatrix}$ мм, что меньше, чем для селективного комплектования при тех же условиях. Также на графике непрерывного комплектования видно, что первоначально размах был еще меньше, постепенно увеличивался, и стабилизировался после 200 комплектов.

Преимущества и недостатки предлагаемых методов комплектования

Предлагаемый информационный подход кардинально меняет технологию изготовления изделий. Вместо полной взаимозаменяемости, при которой детали комплектуются случайным образом, используется специальный алгоритм комплектования, данные о размерах деталей накапливаются в базе данных.

Особенности предлагаемого подхода, усложняющих технологию изготовления:

- необходимость использовать измерительные средства с числовым отсчетом;

- необходимость хранить информацию о полученных размерах в компьютере для применения по алгоритму комплектования;
- необходимость хранить детали в ячейках накопителя или маркировать их определенным образом;
- усложняется ремонт изделия, поскольку детали становятся не взаимозаменяемыми, возможна только узловая замена.

Среди преимуществ предлагаемого подхода можно назвать следующие:

- повышается точность сборки без существенного повышения затрат на этапе изготовления деталей;
- при сравнимой с селективной сборкой точности, предлагаемые методы комплектования применимы для производств с невысокой серийностью, ниже величина незавершенного производства.

Благодаря использованию данных о действительных размерах деталей, полученных на этапе контроля, становится возможно повысить точность комплектования и сборки соединений на 1–3 квалитета без существенного роста себестоимости.

Выводы

1. Информационный подход позволяет повысить точность сборки без существенного роста себестоимости изготовления изделий.
2. Метод дискретного комплектования применим для серийного производства, позволяет скомплектовать все детали, и дает сравнимую с селективной сборкой точность.
3. Метод непрерывного комплектования применим для массового производства, и позволяет значительно уменьшить размах зазора замыкающего звена размерной цепи.
4. Предложена номограмма для определения количества ячеек накопителя участка комплектования, необходимых для выполнения комплектования с заданной точностью.
5. Предлагаемые методы комплектования могут эффективно заменить селективную сборку, а также расширить область применения подбора на мелкосерийное производство высокоточных соединений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Катковник В.Я., Савченко А.И. Основы теории селективной сборки.- Л.: Политехника, 1991. – 303 с., ил.
- [2] Babu J. Rajesh. Minimising assembly loss for a complex assembly using Taguchi's concept in selective assembly / J. Rajesh Babu; A. Asha // International Journal of Productivity and Quality Management (IJPQM), Vol. 15, No. 3, 2015.
- [3] Абрамов К.Н. К вопросу использования методов вероятностного моделирования при расчете

- размерных цепей / К.Н. Абрамов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2008. – №7. – С. 6–8.
- [4] Непомилуев В.В. Исследование возможностей повышения качества изделий при сборке / В.В. Непомилуев // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2007. – №10. – С. 9–13.
- [5] Куприянов А.В. Комплектование при сборке с подбором деталей / А.В.Куприянов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2001. – №11. – С. 8–10.
- [6] Куприянов А.В. Методы комплектования деталей на основе ранжирования для уменьшения допуска замыкающего звена размерной цепи / А.В.Куприянов, Н.Ю.Ламнауэр // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: Харк. університет Повітряних Сил – 2010. – №8(89). – С. 58–61.
- [7] Патент на корисну модель №57011 Україна, МПК(2011.01) F 16 C 43/00. Спосіб комплектування деталей для складання підшипників ковзання / Купріянов О. В., Ламнауер Н. Ю., Резніченко М. К. ; власник Українська інженерно-педагогічна академія. — № заявки u 2010 06971 ; заявл. 07.06.2010 ; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3.
- [8] Сархан А., Гринберг Б. Введение в теорию порядковых статистик. – М.: Статистика: Пер. с англ. / Под ред. А.Я. Боярского, 1970. – 414с.

Куприянов Александр Владимирович – Кандидат технических наук, доцент, Кафедра интегрированных технологий в машиностроении и сварочного производства, Украинская инженерно-педагогическая академия, ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003, e-mail: a_kupriyanov@uipa.edu.ua

АНАЛИЗ РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ

Analysis of the development of control program groups for milling machine tools

Analiza opracowywania programów sterujących dla grupy frezarek

Т.М. Мендебаев, В.А. Тимирязев, А.З. Габдуллина, М.Ф. Керимжанова

Аннотация: В статье рассматриваются системы программного управления для фрезерных станков. Излагается методика разработки управляющих программ для изготовления деталей машин, их редактирование и запись при проектировании технологических операций на станках с ЧПУ.

Ключевые слова: управляющая программа, подпрограмма, постоянный цикл, операция, технологический переход.

Abstract: This article discusses a software management system for milling machines. The technique of development of control programs for the production of machine parts, editing and writing when designing technological operations on CNC machines.

Keywords: control program, a subroutine, a constant cycle of operation, the technological transition

Streszczenie: W artykule rozpatrywane są systemy sterowania programowego dla frezarek. Przedstawiono metodykę opracowania programów sterujących dla wykonywania części maszyn i ich redagowanie oraz zapis w trakcie projektowania operacji technologicznych na obrabiarkach sterowanych numerycznie.

Słowa kluczowe: program sterujący, podprogram, operacja, zabieg technologiczny, powtarzalny cykl

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) фрезерной и сверлильно-расточной групп предназначены для выполнения различных технологических переходов по изготовлению, в первую очередь, корпусных и различных других деталей машин. На основе поставленных задач обработки и при наличии применяемой заготовки, проектирование технологических операций на фрезерных и сверлильно-расточных станках начинают с выбора технологических баз и выявления последовательности обработки поверхностей детали. Базирование заготовок на этих станках в большинстве случаев осуществляется по трем плоскостям, в координатный угол или по плоскости и двум базовым отверстиям. Однако возможно также базирование с использованием двойной направляющей базы, когда корпусная деталь устанавливается по двум главным отверстиям с опорой на два базовых конуса.

Постоянные циклы фрезерования широко применяют на современных фрезерных станках с ЧПУ класса CNC (Computer Numerical Control). Рассмотрим их применение на конкретных системах.

Устройство ЧПУ типа NCT 2000 CNC, применяемое на фрезерно-расточных станках, позволяет с помощью разработанных макрокоманд и подпрограмм реализовать различные циклы фрезерования и сверления. На рис.1 представлен цикл фрезерования впадины концевой фрезой с периодическим

заглублением инструмента по выполнению обработки очередной плоскости.

Задание цикла осуществляется кадром следующего формата:

```
G65 P999 X...Y... Z...I...J...K...R...F...D...E...Q...M...  
S...T...
```

Для выполнения рассматриваемого цикла необходимо вызвать и загрузить для отработки макрокоманду за номером 0999.

По адресам X...Y...Z... задают размеры впадины (размеры контура). Принадлежность соответствующей координаты к длине, ширине или глубине впадины характеризует применяемая функция G17, G18, G19, определяющая плоскость расположения впадины. При функции G17, когда обработка выполняется в плоскости X0Y, глубину впадины определяет координата Z. Длину впадины определяет наибольшая из координат X или Y, а ширину наименьшая из оставшихся двух координат.

По адресу R кодируют радиус скругления углов впадины. Если слово с этим адресом не заполняется, то скругление углов определяется радиусом применяемой фрезы.

Параметры I...J...K... определяют задаваемое расстояние от точки врезания 1 до торца обрабатываемой поверхности соответственно для случая G19(I), G18(J), G17(K).

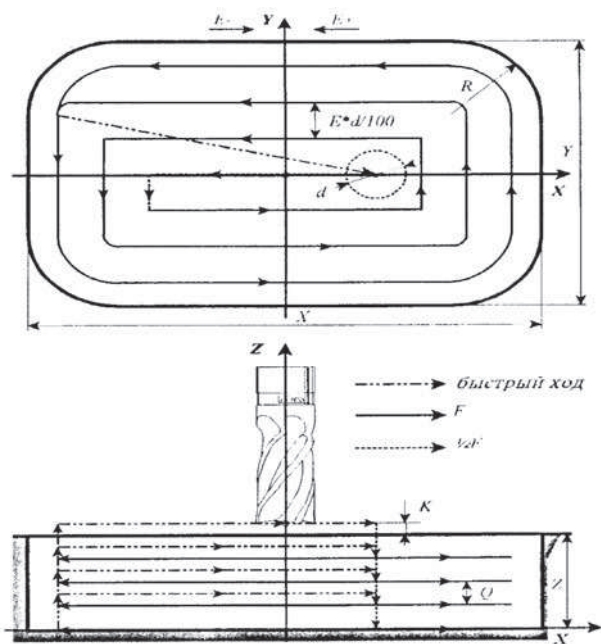


Рисунок 1. Схема постоянного цикла контурного фрезерования пальцевой фрезой с периодическим заглаблением при обработке очередной плоскости
 Fig. 1. Schematic of a constant cycle finger contour milling cutter with periodic recessed in the processing of regular plane

Параметр D определяет адрес ячейки, содержащий данные коррекции радиуса применяемой фрезы. По этому адресу необходимо задавать номер регистра коррекции радиуса инструмента, используемого в программе.

По адресу E задают два вида информации. Численное значение параметра E определяет задаваемую глубину резания в % от диаметра фрезы. Знак «+» или «-», задаваемый при этом параметре, определяет соответственно:

- “E+” фрезерование с обходом контура против часовой стрелки;
- “E-” фрезерование с обходом контура по часовой стрелке.

Если численное значение E не определено, то система по умолчанию принимает его + 0,83%. С целью обеспечения равномерного распределения припуска на проходы система управления может самостоятельно изменить численное значение параметра E с учетом ширины создаваемой впадины и диаметра применяемой фрезы. Однако эти изменения могут быть только в сторону уменьшения параметра E. Величину построчного смещения фрезы обычно задают равной $E = 0,01d$, от диаметра применяемой фрезы.

Параметр Q определяет глубину врезания (ширину фрезерования), которая задается в мм. Количество уровней n послойного фрезерования на общую глубину Z система определяет автоматически как ближайшее большее целое от $n = Z/Q$. При этом глубина резания t на последнем проходе $t \leq Q$.

Поэтому с целью равномерного распределения глубину врезания на выполняемых проходах, система управление, учитывая глубину впадины, может предложить изменить заданное значение параметра Q. При этом такие изменения по величине могут быть направлены только в сторону уменьшения параметра Q.

По адресу F задают значение подачи, применяемой в процессе выполнения цикла. Однако система автоматически уменьшает заданную подачу на 50% в следующих случаях:

- в начальный этап фрезерования, когда фреза заглабляется на размер Q;
- при продольном фрезеровании паза, когда глубина резания равна диаметру фрезы $E = \emptyset$.

По адресам M, S, T кодируют соответственно вспомогательные команды – частоту вращения шпинделя и применяемый режущий инструмент. В предложении по вызову подпрограммы фрезерования впадины по адресам M, S, T можно задать одну функцию, которые выполняются до начала фрезерования паза. Включается вращение шпинделя и на рабочей подаче происходит заглабление фрезы на заданную величину Q.

При реализации цикла концевая фреза выводится в начальную точку врезания 1 по центру создаваемой впадины на безопасном расстоянии K от торца обрабатываемой поверхности. Включается вращение шпинделя и на рабочей подаче происходит заглабление фрезы на глубину врезания Q. После этого происходит фрезерование паза вдоль оси X при глубине резания равной диаметру фрезы. Продольная подача при выполнении этих двух первых переходов не превышает 50% от заданного значения. Затем происходит перемещение фрезы по спиральной траектории, в результате чего происходит расширение размеров впадины на данном уровне заглабления до заданных размеров X, Y. Фрезерование при этом осуществляется с заданной подачей с глубиной резания не превышающей E мм. По окончании фрезерования первого уровня фреза возвращается на вертикаль врезания, повторно заглабляется на глубину Q, а затем по аналогичной схеме осуществляет фрезерования впадины на втором уровне. Такой послойный съем материала заготовки продолжается до момента достижения требуемой глубины впадины Z. По завершению цикла фреза возвращается в ту же начальную точку врезания 1.

Если в приведенном выше формате цикла не задавать координату, определяющую ширину впадины, то ширина впадины будет получена как удвоенное значение радиуса скругления углов впадины 2R, а цикл фрезерования будет иметь вид, представленный на рис.2а.

В свою очередь, если в формате цикла не задавать ни ширину впадины, ни радиус скругления R, то в результате фрезерования будет получено заглабление в виде паза, ширина которого равна диаметру фрезы (рис. 2б).

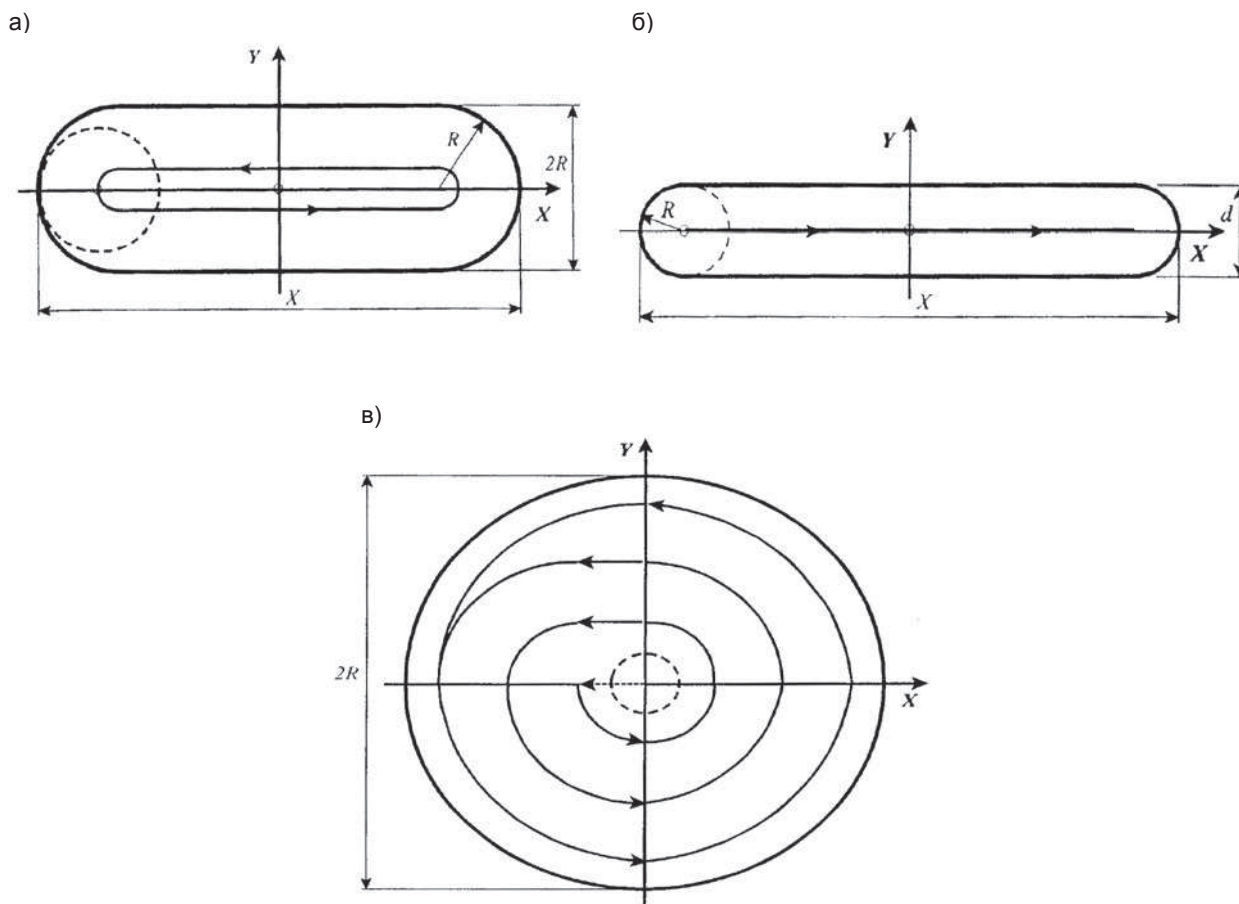


Рисунок 2. Схемы фрезерования впадин различной конфигурации: а) продольной с шириной равной $2R$; б) продольной с шириной равной диаметру фрезы; в) круглой
 Fig. 2. Scheme of milling cavities of different configurations: a) to the longitudinal the width of equal to $2R$, б) with the longitudinal width equal to the diameter of the cutter, c) a round

В тех случаях, когда в формате цикла не заданы ни длина, ни ширина впадины, а задан радиус скругления R , то в результате фрезерования будет получена круглая впадина согласно схемы, приведенной на рис. 2в.

Если в формате рассматриваемого цикла не задавать ни длину, ни ширину паза, ни радиус скругления R , то приведенный цикл фрезерования впадин будет трансформирован в цикл сверления отверстий.

На рис. 3 представлена схема программирования цикла фрезерования пальцевой фрезой группы концентрично расположенных пазов. Цикл реализуется на фрезерных станках с системой ЧПУ класса CNC «Sinumerik 8MC» как станочная подпрограмма. Цикл задается кадром следующего формата: N...L950 R10 R11 R12 R13, где L950 – код цикла; R10... R13 – параметры цикла.

Параметр R10 определяет ширину паза, который соответствует диаметру применяемой пальцевой фрезы, а параметр R11 определяет задаваемую длину паза.

Параметром R12 задают радиус окружности, проходящей через середину концентрично расположенных пазов, а параметром R13 задают число

равномерно расположенных по периметру одинаковых пазов. фрезерования задают отдельным кадром.

Необходимые технологические и геометрические данные вводятся по запросу. На основе введенных параметров система CNC сама рассчитывает дополнительные данные, необходимые для выполнения рассматриваемой подпрограммы (цикла). В состав таких данных входят координаты положения пазов, траектория перемещения фрезы в процессе фрезерования и при перемещении на быстром ходу от одного паза к другому. В результате станок осуществляет поочередное фрезерование заданных в программе пазов.

Рассмотренные выше циклы фрезерования определяются соответствующими макрокомандами. Нажатие кнопки стоп в процессе выполнения цикла влечет за собой останов станка после завершения цикла.

Предварительное (черновое) фрезерование при наличии на поверхности больших припусков следует выполнять с помощью торцевых фрез, последовательными проходами по схеме зигзага. Ширину поверхности, обрабатываемой за проход и диаметр фрезы выбирают, так, чтобы возникающие упругие перемещения инструмента не оказывали существенное влияние на точность чистовых проходов. Поэтому при

Задание:
 параметров
 R10,R11,R12.R15
 Вызов L950

CNC

Машинная подпрограмма:

Расчет:

- радиуса паза
- длины паза
- траектории перемещения и коррекции инструмента

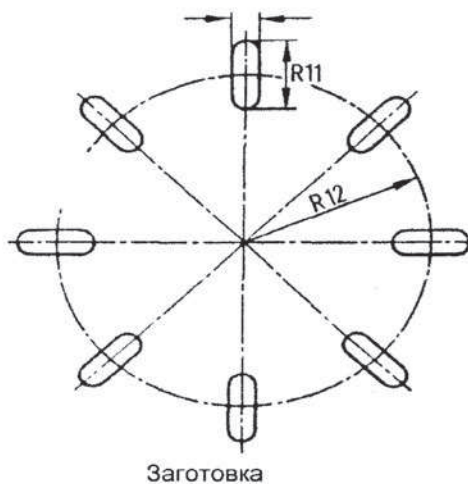
Обработка:

- всех пазов
- тангенциальный вход и выход при обработке пазов

Число пазов 8R13

Чертеж

R10



Станок

Рисунок 3. Схема программирования цикла фрезерования группы пазов концентрично расположенных относительно центра
 Fig. 3. Scheme of programming milling cycle group of slots located concentrically relative to the center

сравнительно большом и неравномерном припуске диаметр торцевых фрез рекомендуется уменьшать. В свою очередь, для выполнения чистовых проходов следует применять торцевую фрезу большего диаметра, что позволяет перекрыть ширину обрабатываемой поверхности. Для достижения высоких требований по параметрам геометрической точности и шероховатости поверхности на чистовые проходы оставляют малые припуски, а обработку выполняют торцевыми фрезами с пластинами из минералокерамики и сверхтвердых материалов, создаваемых на основе нитрида бора.

Для обработки наружных и внутренних контуров применяют концевые фрезы, работающие наружной цилиндрической поверхностью. Однако эти фрезы применяют также для обработки плоских поверхностей в углублениях, в пазах, в различных по геометрии выемках. При фрезеровании наружной цилиндрической поверхностью стенок и ребер диаметр D концевые фрезы выбирают из условия:

$$D = (5 \dots 10) b + 2r, \quad (1)$$

где b – толщина получаемой стенки или ребра;
 r – радиуса закругления режущих кромок по торцу фрезы.

В случае обработки контурной поверхности на диаметр фрезы накладываемое дополнительное ограничение, определяемое геометрией контура, согласно

которому радиус фрезы $0,5D$ не должен превышать наименьшего радиуса сопряжения R_{min} в создаваемом контуре:

$$0,5D \leq R_{min}. \quad (2)$$

Для прорезания обычных пазов, ширина которых равны удвоенному радиусу закругления $2R$ на концах паза, диаметр концевой фрезы следует выбирать равным ширине паза $D = 2R$. Это позволяет выполнить обработку паза с меньшим числом проходов. Однако для получения более точной ширины подобных пазов, диаметр концевой фрезы следует выбирать меньше ширины паза $D < 2R$, что позволяет выполнить дополнительный чистовой проход по контуру паза.

При глубине паза значительно большем диаметра фрезы, припуск по глубине делят на несколько частей и осуществляют послойный съем материала заготовки. Поэтому при выполнении углублений, канавок, пазов концевую фрезу сначала заглабливают по оси шпинделя на величину, равную глубине резания. Для этого на зубьях расположенных по торцу фрезы выполняют заточку по специальной геометрии. Возможно выполнение заглабления по предварительно полученному отверстию. С этой целью предусматривают дополнительный переход – сверление отверстия, диаметр которого превышает диаметр фрезы.

Для уменьшения деформаций заготовки обработку заглаблений рекомендуется выполнять с середины

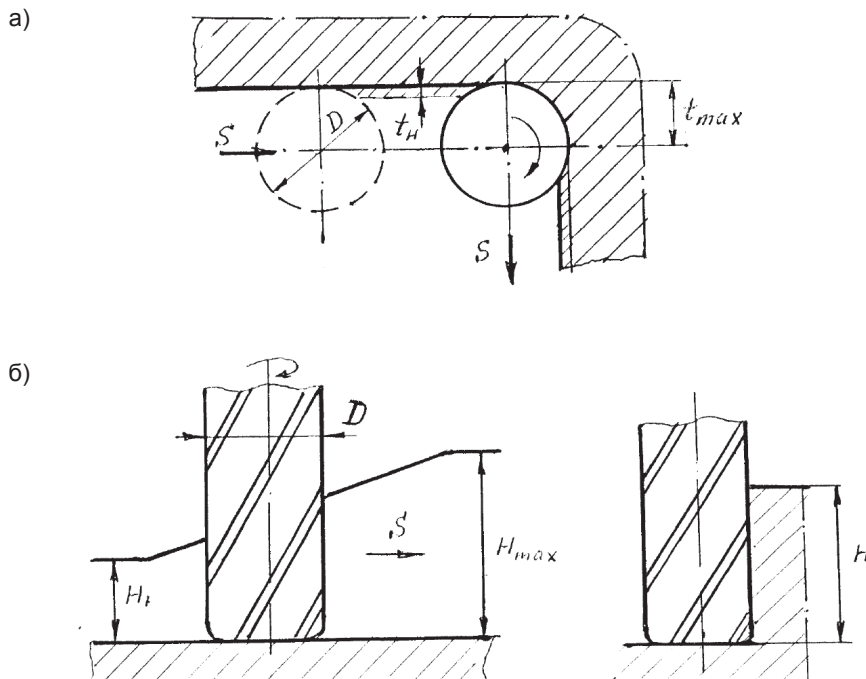


Рисунок 4. Изменение параметров обработки при контурном фрезеровании концевой фрезой: а) изменение глубины резания при перемене направления движения, б) изменение ширины фрезерования при изменении высоты стенки
 Fig. 4. Changing the processing parameters for contour milling end mill: a) the change in the depth of cut when changing direction of movement, b) change the width of the milling when changing the height of the wall

контура, а обработку уступа и выемок следует начинать с удаления крайних слоев металла.

В процессе чистового прохода по контуру концевая фреза на участке внутреннего радиусного сопряжения подвергается действию скачкообразной, многократно возрастающей нагрузки. Фреза практически останавливается и меняет направление подачи (рис. 4а). В результате происходит резкое изменение глубины резания от заданного номинального значения $t_H \approx 0.2 \dots 1$ мм до максимального, предельного значения, равного радиусу фрезы $t_{max} = 0.5D$. Резкое, многократное увеличение силы резания вызывает отжим фрезы и образование на обработанной поверхности погрешности формы в виде уступов, выемок, подрезов. Возможна также и поломка инструмента, что означает возникновение аварийной ситуации и получение бракованной детали.

Колебание нагрузки при контурном фрезеровании концевой фрезой происходит также в результате изменения ширины фрезерования B , которая меняется в соответствии с изменением высоты обрабатываемой стенки или ребра $B = H$ (рис. 4б).

Для уменьшения возрастающей силы резания при обходе закруглений и других криволинейных участков рекомендуется применять концевую фрезу с радиусом меньшим, чем минимальный радиус закругления на создаваемом контуре. При этом припуск под чистовой проход на радиусах внутренних сопряжений, рекомендуется оставлять не выше $1 \dots 2$ мм, а на остальных участках стационарного резания не выше $(0,15 \dots 0,25) D$ диаметра фрезы. Кроме того

рекомендуется на длине $10 \dots 15$ мм перед точкой резкого изменения направления движения вводить командой G 09 торможение для уменьшения контурной подачи в $2 \dots 3$ раза. На современных станках с ЧПУ подобное торможение предусмотрено программным обеспечением УЧПУ.

В соответствии с составом выявленных технологических переходов по обработке поверхностей заготовки фрезерованием выбирают требуемые по конструкции фрезы – торцевые, концевые, дисковые и другие. При этом определяют не только номенклатуру фрез, но и их количество с учетом стойкости инструмента, рассчитываемой для выбранных режимов резания, и необходимости проведения своевременной планово-предупредительной замены.

Последовательность выполнения фрезерных технологических переходов с использованием соответствующих фрез, в общем случае, определяется геометрией изготавливаемой детали и ее заготовки. Траектория перемещения фрезы формируется как перемещение ее центра по выявленным опорным точкам, начиная от точки врезания до выхода инструмента. При контурном фрезеровании концевой фрезой, ее траектория формируется как перемещение ее центра по эквидистанте, расположенной на расстоянии радиуса фрезы от создаваемого контура детали. Подвод и отвод инструмента необходимо осуществлять на быстром ходу по коротким безопасным траекториям, обеспечивающим ввод фрезы по касательной к обрабатываемой поверхности. При этом на безопасном расстоянии, равном $3 \dots 5$ мм от

поверхности заготовки, необходимо осуществить переключение с подачи быстрого подвода на рабочую подачу.

При разработке траектории нельзя допускать остановку фрезы или резкого изменение подачи в процессе фрезерования, когда инструмент соприкасается с обрабатываемой поверхностью. Не соблюдение этого приводит к образованию «зарезов» на обработанной поверхности.

Для фрезерования контура праворежущей фрезой с попутной подачей, обход наружного контура следует выполнять по часовой стрелке, а обход внешнего контура против часовой стрелки. Обработку заготовки по черной поверхности, имеющей повышенную твердость, рекомендуется выполнять встречным фрезерованием, что повышает стойкость инструмента.

Выбор последовательности обработки, выполняемой в соответствии с задачами изготовления детали и возможностями оборудования, преследует цель такого построения технологической операции, при котором суммарные затраты времени на выполнение основных и вспомогательных технологических переходов будут минимальными. Для этого на детали выявляется совокупность обрабатываемых поверхностей и их геометрических элементов. В соответствии с этим определяют состав режущего инструмента, необходимого для выполнения предварительной и чистовой обработки. Рассматриваются зоны расположения обрабатываемых геометрических элементов, определяют состав и повторяющуюся потребность применения соответствующего инструмента для выполнения обработки в каждой из зон. Выявляют позиции, занимаемые заготовкой и режущим инструментом при выполнении обработки в каждой из зон.

Таким образом определяют совокупность элементов детали, находящихся в данной зоне и объединенных общим инструментом, что позволяет запрограммировать фрагмент операции, выполняемый по отдельной подпрограмме одним инструментом. На основе этого представляется возможным объединение нескольких подобных подпрограмм в комплексную программу по обработке заготовки с одной установки с использованием различных режущих инструментов.

В результате, учитывая требуемую технологическую последовательность выполнения переходов предварительной и чистовой обработки, затраты времени на замену режущего инструмента и перемещения его на холостом ходу от одной поверхности к другой, а также затраты времени на поворот рабочего стола и переустановку заготовки, выявляют оптимальную последовательность, при которой время на выполнение операции будет минимальным. На основе такого анализа может оказаться целесообразным установить инструмент в шпиндель один раз и выполнить все переходы, связанные с его использованием, перемещая заготовку на нужные позиции. Возможен также вариант, когда предпочтительным оказывается выполнение полной обработки всех геометрических

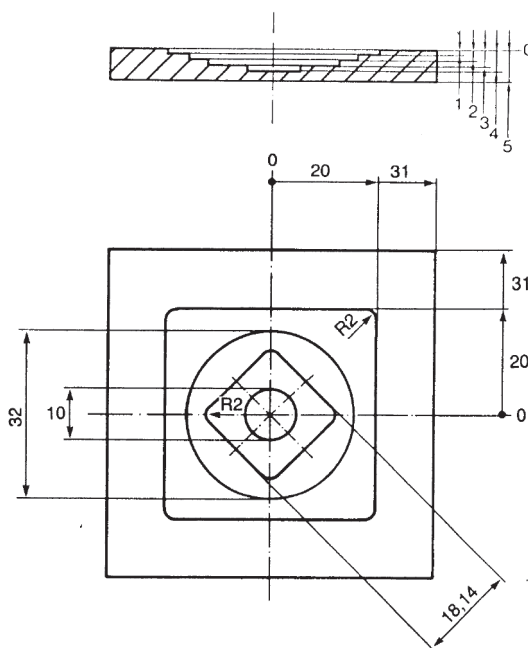


Рисунок 5. Эскиз изготавливаемой детали
Fig. 5. Sketch of manufactured parts

элементов, расположенных на одной стороне детали, без смены ее позиции с использованием необходимого состава режущего инструмента. Возможны и другие компромиссные варианты, которые могут быть выявлены путем расчета.

Разработка управляющей программы (УП) с применением подпрограмм показано на примере обработки детали типа плитка (рис. 5). В качестве заготовки используется плитка размерами 102x102x5 мм. Обработка выполняется на контурно-фрезерном станке вертикальной компоновки с использованием пальцевой фрезы $\varnothing 4$ мм.

Согласно чертежу необходимо составить УП для получения четырех углубленных контуров:

- 1) Первый контур в виде квадрата 20'20 глубиной 1 мм;
- 2) Второй контур в виде окружности $\varnothing 32$ мм с заглублением 2 мм;
- 3) Третий контур также имеет форму квадрата 18,4'18,4 глубиной 3 мм;
- 4) Четвертый контур представляет окружность $\varnothing 10$ мм на глубине 4мм.

Заготовка базируется в координатный угол. Создаваемые контурные поверхности расположены симметрично по центру детали. Поэтому для удобства разработки УП в качестве нуля детали был выбран ее центр, расположенный на верхней плоскости плитки (рис. 5).

Обработка 4-х контуров запрограммирована в соответствии с последовательностью расположения их плоскостей по вертикали. Вначале выполняется обработка плоскости первого контура. План обработки представлен на рис. 6.

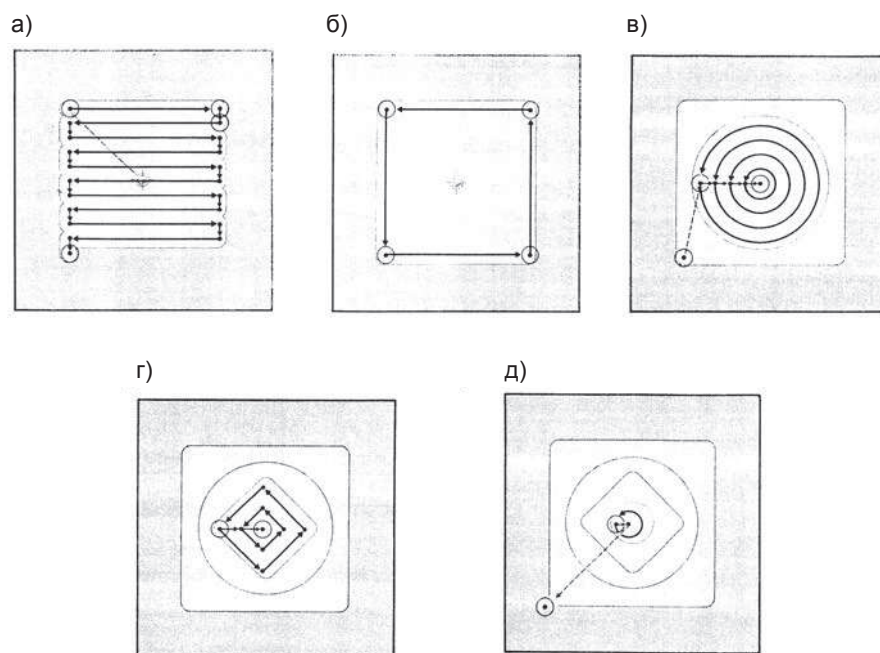


Рисунок 6. Схемы фрезерования внутреннего контура детали пальцевой фрезой: а) построчное фрезерование; б) фрезерование контура квадрата, в) построчное, круговое фрезерование плоскости круга, г) фрезерование плоскости квадрата, д) фрезерование плоскости и контура диаметром 10 мм

Fig. 6. Scheme inner contour milling cutter detail finger: a) line-milling; b) milling a square contour, c) line by line, circular milling plane of the circle, d) milling square plane, e) milling plane and loop diameter of 10 mm

1. Программа обработки плоскости 1, ограниченной квадратом 20'20 (рис. 6а).

| | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| N100 GO X+0,00 Y+0,00 Z+1,00 | Быстрый подвод к нулевой точке |
| N110 GO X-18,00 Y+17,00 Z+1,00 | Быстрое перемещение в точку врезания. |
| N120 M3 | Включение шпинделя. |
| N130 G1 X-18,00 Y+17,00 Z-1,00 F3 | Заглубление на уровень плоскости 1. |
| N140 G91 | Отсчет размеров в приращениях. |
| N150 G24 L5000 P5 | Вызов подпрограммы. |
| | Подпрограмма |
| N5000 G1 X+36,00 Y+0,00 Z+0,00 F3 | Фрезерование по X |
| 'N5010 G1 X+0,00 Y-3,50 Z+0,00 F3 | Смещение по (-Y) |
| N5020 G1 X-36,00 Y+0,00 Z+0,00 F3 | Фрезерование по (-X) |
| N5030 G1 X+0,00 Y-3,50 Z+0,00 F3 | Смещение по (-Y). |
| N5040 G26 | Возврат в основную программу. |

2. Чистовое фрезерование по контуру в плоскости 1 (рис. 6б).

| | |
|----------------------------------|--|
| N160 G90 | Отсчет в абсолютных размерах |
| N170 G1 X+18Y-18,00 Z-1,00 F2 | Чистовое фрезерование в направлении (-X) |
| N180 G1 X+18,Y+18,00 Z-1,00 F2 | Чистовое фрезерование в направлении (+Y) |
| N190 G1 X-18,00Y+18,00 Z-1,00 F2 | Чистовое фрезерование в направлении (-X) |
| N200 G1 X-18,00Y-18,00 Z-1,00 F2 | Чистовое фрезерование в направлении (-Y) |

3. Обработка плоскости 2, ограниченной окружностью Ø 32мм (рис. 6в).

| | |
|--|-------------------------------|
| N210 GO X-14,00 Y+0,00Z+2,00 | Перемещение в точку врезания. |
| N220 G1 X-14,00 Y+0,00Z-2,00 F2 | Заглубление на плоскость 2 |
| N230 G3 X-14,00 Y+0,00I+0,00 J+0,00 F | Фрезерование по кругу 1. |
| N240 G1 X-10,50 Y+0,00Z-2,00 F2 | Смещение по радиусу |
| N250 G3 X-10,50 Y+0,00I+0,00 J+0,00 F2 | Фрезерование по кругу 2. |
| N260 G1 X-7,00 Y+0,00Z-2,00 F2 | Смещение по радиусу |
| N270 G3 X-7,00 Y+0,00I+0,00 J+0,00 F2 | Фрезерование по кругу 3. |
| N280 G1 X-3,50 Y+0,00Z-2,00 F2 | Смещение по радиусу |

| | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| N290 G3 X-3,50 Y+0,001+0,00 J+0,00 F2 | Фрезерование по кругу 4. |
| N300 G1 X+0,00 Y+0,00Z-2,00 F2 | Смещение |

4. Обработка плоскости 3, ограниченной квадратом 18,4´18,4 (рис. 6г).

| | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| N310 GOX-10,00 Y+0,00 Z+0,00 | Перемещение в точку врезания. |
| N320 G1X-10,00 Y+0,00 Z-3,00 F2 | Заглубление на плоскость 3 |
| N330 G1X+0,00 Y-10,00 Z-3,00 F2 | Фрезерование по (+X, -Y) |
| N340 G1X+10,00 Y+0,00 Z-3,00 F2 | Фрезерование по (+X, +Y) |
| N350 G1X+0,00 Y+10,00 Z-3,00 F2 | Фрезерование по (-X +Y) |
| N360 G1X-10,00 Y+0,00 Z-3,00 F2 | Фрезерование по (-X, -Y) |
| N370 G1X-5,00 Y+0,00 Z-3,00 F2 | Смещение |
| N380 G1X+0,00 Y-5,00 Z-3,00 F2 | Фрезерование по (+X, -Y) |
| N390 G1X+5,00 Y+0,00 Z-3,00 F2 | Фрезерование по (+X, +Y) |
| N400 G1X+0,00 Y+5,00 Z-3,00 F2 | Фрезерование по (-X, +Y) |
| N410 G1X-5,00 Y+0,00 Z-3,00 F2 | Фрезерование по (-X,-Y) |
| N420 G1X+0,00 Y+0,00 Z-3,00 F2 | Смещение |

5. Обработка плоскости 4, ограниченной окружностью Ø 10мм (рис. 6д).

| | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| N430 GO X-3,00Y+0,00Z+2,00 | Перемещение в точку врезания. |
| N440 G1 X-3,00Y+0,00Z-4,00 F2 | Заглубление на плоскость 4 |
| N450 G3 X-3,00Y+0,001+0,00 J+0,00 F2 | Фрезерование по кругу |
| N460 G1 X+0,00Y+0,00Z-4,00 F2 | Смещение |
| N470 GO X+0,00Y+0,00Z+0,0 | Вывод фрезы |
| N480 M5 | Выключение шпинделя |
| N490 GO X-20,00Y-20,00Z+20,00 | Отвод фрезы |
| N500 M2 | Конец программы |

Анализ разработки УП для обработки заготовок на фрезерных станках с ЧПУ позволяет сделать выводы:

1. Для разработки управляющих программ для программирования станков с ЧПУ и обрабатываемых центров, обслуживаемых промышленными роботами и манипуляторами широко используются системы CNC.
2. Изложена методика разработки УП для изготовления деталей машин, их редактирование и запись при проектировании технологических операций на станках с ЧПУ.
3. Разработку УП для различных видов операций можно осуществлять программированием с использованием постоянных циклов и подпрограмм с упрощенным описанием контура обрабатываемой детали. При этом имеются свои особенности при разработке УП для станков фрезерной, токарной или сверлильной групп.

Литература

- [1] Хватов Б.Н., Овсеев А.Н., Тимирязев В.А. Технологическая подготовка роботизированных комплексов. – Тамбов: Издательство ТГТУ, 2004. 128 с.
- [2] Схиртладзе А.Г., Новиков В.Ю. Станочник широкого профиля -М.: Высшая школа, 2004. 464 с.
- [3] Проектирование технологии автоматизированного машиностроения / Под ред. Соломенцева Ю.М. – М.: Высшая школа, 1999. 416с.

Мендебаев Т.М. – профессор, доктор технических наук Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И.Сатпаева, г. Алматы, Казахстан.

Тимирязев В.А. – профессор, доктор технических наук Московского государственного технологического университета «Станкин», г. Москва, Россия.

Габдуллина А.З. – Ph.D., ассоциированный профессор, кандидат технических наук Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И.Сатпаева, г. Алматы, Казахстан.

Керимжанова М.Ф. – Ph.D., кандидат технических наук Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И.Сатпаева, г. Алматы, Казахстан.

e-mail: aiman.22.66@mail.ru

PROJEKT PRZYRZĄDU TOKARSKIEGO DO SZLIFOWANIA ZWOJÓW ŚLIMAKA

The design of the lathe instrument's for grinding worm teeth

Artur BEŁZO, Leszek SKOCZYLAS

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję przyrządu tokarskiego do szlifowania zwojów ślimaka na tokarce uniwersalnej. Omówiono jego budowę oraz sposób funkcjonowania. Poruszono kwestię zasadności tworzenia tego typu konstrukcji w obliczu dostępnych obrabiarek specjalistycznych, odnosząc się przy tym do współczesnych trendów technologii obróbki ścierniej.

Słowa kluczowe: szlifowanie, ślimak, ściernica krążkowa, szlifowanie powierzchni śrubowej

Abstract: The article presents the additional lathes instrument concept for grinding helical surfaces of the worm. It's built, way of function and control were discussed. The legitimacy of creation of such devices were discussed in reference to available specialized machines and present tendencies of grinding.

Key words: grinding, worm, grinding wheel, helical surface grinding

Wstęp

Współczesny rozwój oprzyrządowania technologicznego w wybranych przypadkach umożliwia wykorzystanie obrabiarek uniwersalnych do obróbki elementów specjalnych, np. kół zębatach. Przykładem mogą tu być rozwiązania firmy DEPO [7]. Trend ten dotyczy nowoczesnych obrabiarek numerycznych oraz sterowanych ręcznie [6]. Przekładnie mechaniczne są bardzo często stosowane w wielu konstrukcjach i zazwyczaj stanowią ważny element, stąd też obróbka uzębienia kół zębatach to jeden z istotniejszych obszarów technologii maszyn. Choć jest dobrze znana i doskonalona od wielu lat, wciąż wymaga stosowania specjalnych obrabiarek [2, 3]. Podejmowane próby obróbki uzębienia kół z wykorzystaniem uniwersalnych maszyn mają na celu ułatwienie oraz znaczne obniżenie kosztów tego procesu. Omawiane w niniejszym opracowaniu rozwiązanie konstrukcyjne przyrządu tokarskiego jest dedykowane niewielkim firmom, których nie stać na wyposażenie swoich warsztatów w bardzo drogie maszyny.

Przekładnie ślimakowe stanowią specyficzną grupę przekładni zębatach. Mają jedno koło zębate (ślimacznicą) i jeden wał z „nawiniętym” uzwojeniem (ślimak). Zazwyczaj pracują jako reduktory, bądź tzw. przekładnie mocy – znacząco zmniejszają liczbę obrotów, zwiększając tym samym moment obrotowy [5]. W ich przypadku standardowa obróbka wykończeniowa zwojów ślimaka z perspektywy kinematyki jest podobna do obróbki tokarskiej. Zazwyczaj wykonywana jest na szlifierce do gwintów z odpowiednio przygotowaną ściernicą [4]. Prezentowany projekt obejmuje doposażenie tokarki uniwersalnej w specjalny przyrząd. Zgodnie z założeniem, jego konstrukcja zapewni napęd oraz odpowiednie ustawienie ściernicy. Takie podejście powinno umożliwić podjęcie prób szlifowania zwojów ślimaka przy użyciu znacznie

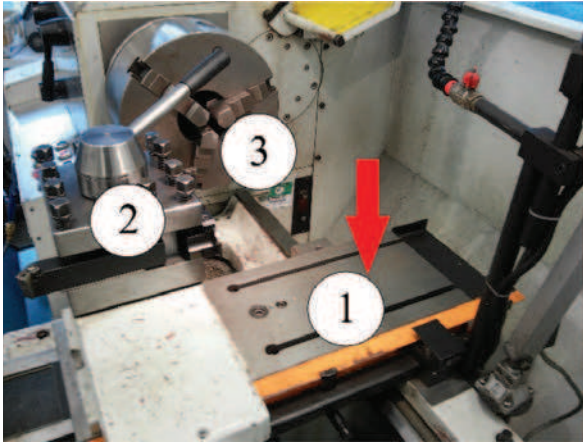
prostszych i tańszych środków w stosunku do standardowego procesu produkcji, wykorzystującego specjalistyczną szlifierkę do gwintów [9].

Metodyka pracy

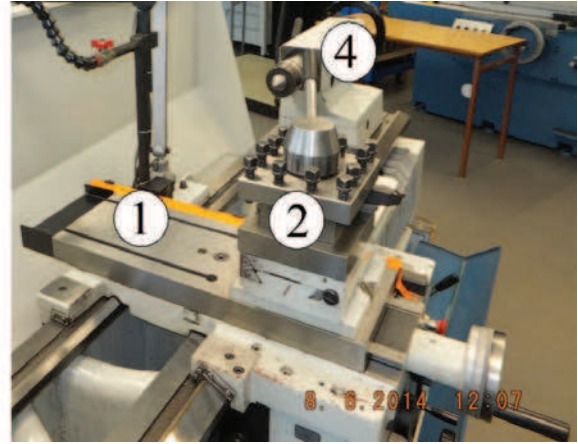
Przyrząd do szlifowania powierzchni śrubowych zamontowano na suporcie tokarki (1), jak pokazano na rys. 1a i 1b. Przygotowany do obróbki wykończeniowej ślimak zamocowano we wrzecionie (3), co przedstawia rys 1a, a jego drugi koniec podparto konikiem (4) – rys 1b. Obrabiany wałek znajduje się między uchwytem narzędziowym (2) a ściernicą przyrządu. Kinematyka tokarki zapewni dosuw ściernicy i jej przemieszczanie ruchem roboczym po szlifowanej powierzchni zwoju, natomiast wrzeciono nadaje ruch obrotowy ślimaka. Z punktu widzenia operatora tokarki obróbka jest podobna do nacinania gwintu, stąd też obroty wrzeciona oraz posuw wzdłużny suportu będą dobrane stosownie do skoku zwojów ślimaka.

Model projektowanego przyrządu przedstawiono na rys. 2. Jego konstrukcja oraz zasada działania zostaną dokładniej omówione w dalszej części. Tokarki uniwersalne, sterowane ręcznie lub numerycznie, nie zapewniają wszystkich wymaganych ruchów narzędzia względem obrabianego przedmiotu. Niezbędny jest jeszcze napęd ściernicy, jej pochYLENIE o kąt wzniosu linii śrubowej zwoju oraz ustawienie na właściwej wysokości względem osi ślimaka. Funkcjonalność konstrukcji musi spełniać podane wymagania. Te same rozwiązania zostaną również przeniesione na drugi mechanizm, przeznaczony do montażu w głowicy rewolwerowej tokarki CNC. Do chłodzenia ściernicy zostanie wykorzystany płyn obróbkowy maszyny. Istotnym problemem prezentowanego rozwiązania jest profilowanie ściernicy. Ze względu na ograniczoną przestrzeń roboczą zdecydowano się na wykorzystanie osobnego urządzenia, wyposażonego w obciążacze

a)



b)



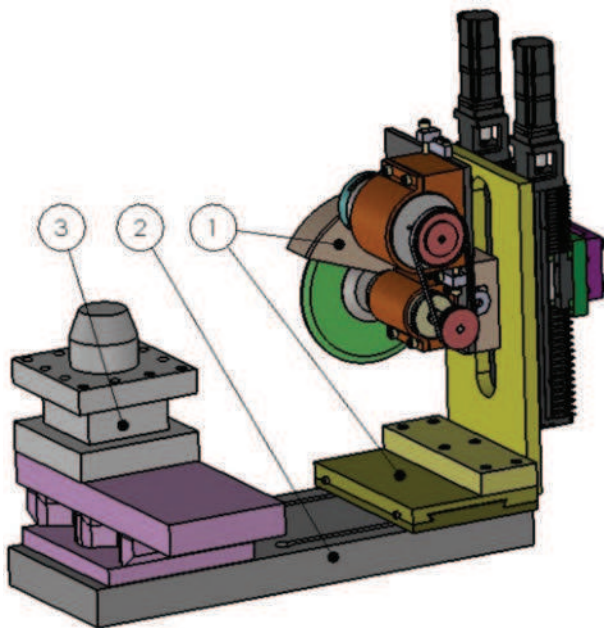
Rys. 1a, 1b. Miejsce montażu przyrządu tokarskiego: 1 – suport tokarki, 2 – uchwyt narzędziowy, 3 – wrzeciono, 4 – konik
 Fig. 1a, 1b. The place of the lathe instrument's assembly: 1 – lathe carriage, 2 – toolholder, 3 – spindle, 4 – poppet

diamentowe. Jego konstrukcja została przedstawiona w publikacji [1]. Łatwe i szybkie przenoszenie zespołu napędowego wraz z tarczą szlifierską umożliwia odpowiednio opracowane złącze, takie samo na obu przyrządach, co pozwala na zachowanie tej samej bazy.

Do montażu przyrządu posłuży dwuczęściowa podstawa 2 i 3 (rys. 3), która została wykonana w formie złącza „jaskółczy ogon”. Złącze to zapewnia możliwość ruchu wzdłuż osi ślimaka przy ustawianiu pozycji narzędzia. Pierwszą część (2) należy przykręcić za pomocą śrub (10) i specjalnych nakrętek młoteczkowych (11), wsuniętych w fabryczne rowki suportu (1). Na nią

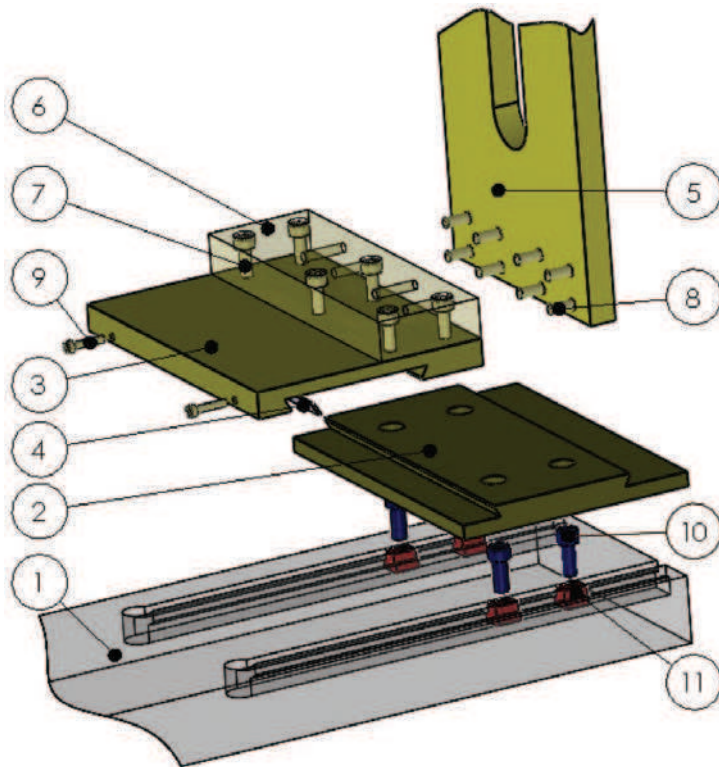
nasuwa się drugą część (3) i blokuje w ustalonej pozycji za pomocą klina (4) oraz śrub dociskowych (9). Zastrzał (6) ma usztywnić połączenie płyty pionowej (5) z podstawą.

Pozycja ściernicy jest regulowana w pionie oraz uchylnie. Służą do tego dwa mechanizmy przedstawione na rys. 4. Kierunki ich przemieszczania wskazują strzałki 10 i 11. Mechanizm regulacji pionowej składa się z dwóch modułów liniowych firmy Hiwin (2) przykręconych do płyty (1). Moduły te zbudowano na podstawie szyny profilowej oraz wózka. Przez wózek przechodzi śruba kulowa, napędzana silnikiem krokowym. Jej obrót powoduje przesuwanie się wózka po szynie. Producent dostarcza kompletny zestaw, gotowy do montażu [8]. Silnik będzie sterowany za pomocą oprogramowania Mach 3, zainstalowanego na komputerze zewnętrznym. Sterowanie numeryczne pozwala na dokładne ustawienie oraz zweryfikowanie pozycji ściernicy. Do wózków przykręcona jest płyta (3), która integruje ze sobą oba mechanizmy regulacji. Przez wykonany w niej otwór przechodzi wałek (4), osadzony na łożysku (7). Łożysko to po obu stronach płyty zabezpieczone jest pierścieniami uszczelniającymi (6) oraz pokrywami (5). Obrót wałka powoduje skrócenie gniazda (1) na rys. 5, podtrzymującego zespół napędowy ściernicy, co skutkuje pochyleniem narzędzia. Całość blokuje się w wybranej pozycji przez dokręcenie śruby (9), która przechodzi przez szczelinę łukową w płycie (8) i wkręcana jest w kołnierz wałka (4).



Rys. 2. Przyrząd zamontowany na suportie tokarki:
 1 – przyrząd do szlifowania, 2 – suport tokarki, 3 – uchwyt narzędziowy
 Fig. 2. The lathe instrument's assembled on lathe carriage:
 1 – instrument for grinding, 2 – lathe carriage, 3 – toolholder

Podczas szlifowania powierzchnia czynna ściernicy ulega zużyciu i traci swoje właściwości ściernicze. W związku z tym wymagane jest jej okresowe ostrzenie (obciąganie). W zaproponowanej konstrukcji konieczne jest przeniesienie zespołu napędowego (rys. 6) na osobne urządzenie do profilowania ściernicy. Wymusza to opracowanie sposobu szybkiego montażu oraz demontażu ww. komponentu na obu przyrządach. Na rys. 5 przedstawiono rozwiązanie w postaci złącza typu „jaskółczy ogon”, które charakteryzuje się dużą sztywnością połączenia,

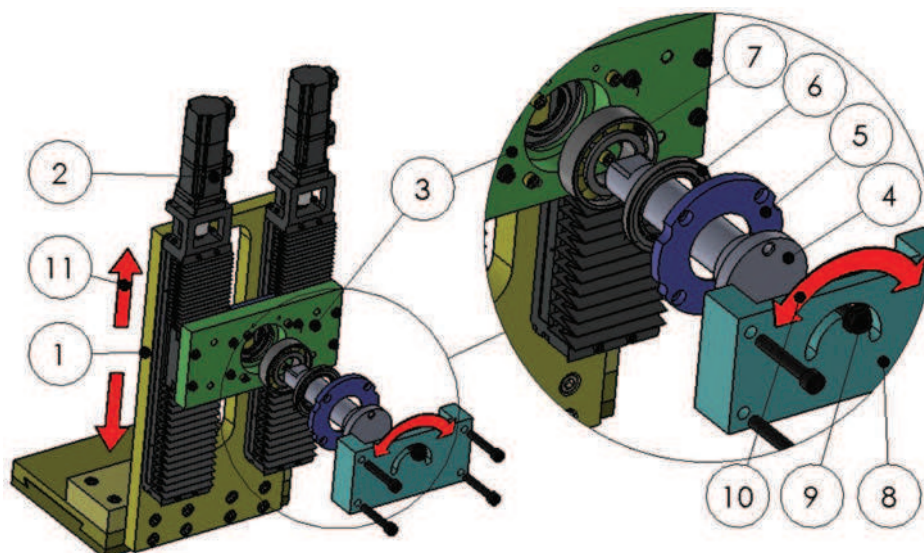


Rys. 3. Zespół mocowania przyrządu:

1 – fragment suportu tokarki, 2 – podstawa – część pierwsza, 3 – podstawa – część druga, 4 – klin, 5 – fragment płyty pionowej, 6 – zastrzał, 7 – śruby mocujące zastrzał, 8 – śruby mocujące płytę pionową, 9 – śruby dociskające klin, 10 – śruby mocujące podstawę do suportu tokarki, 11 – nakrętki młoteczkowe

Fig. 3. The component for fastening device

1 – fragment of lathe carriage, 2 – mounting plate – part one, 3 – mounting plate – part two, 4 – key, 5 – fragment of vertical plate, 6 – angle tie, 7 – screws clamping angle tie, 8 – screws clamping vertical plate, 9 – screws clamping key, 10 – screws clamping plate 2 on lathe carriage, 11 – square nuts

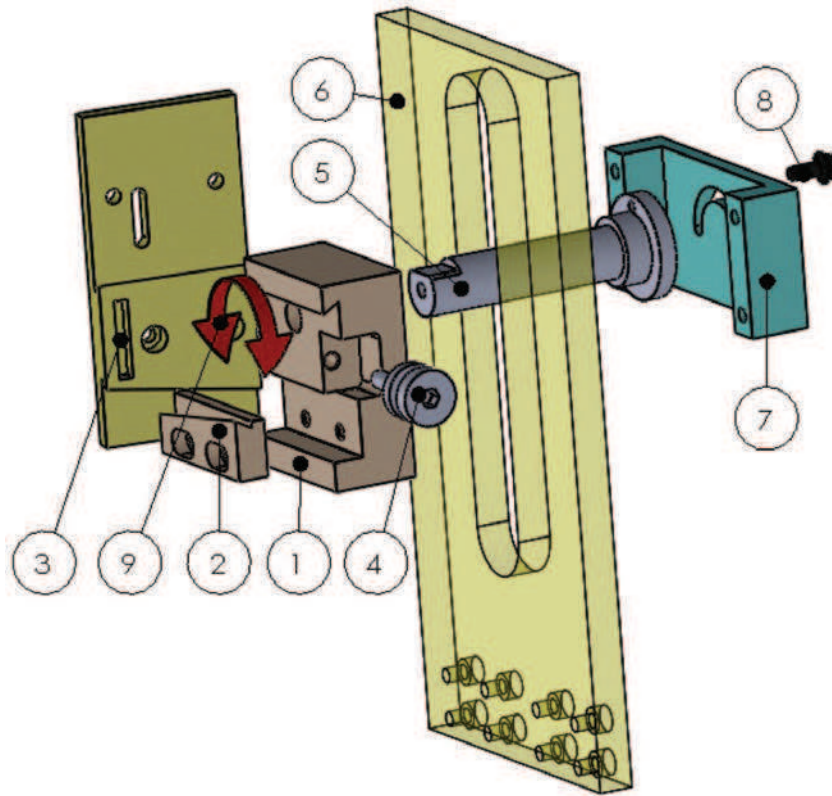


Rys. 4. Mechanizm regulacji położenia ściernicy:

1 – płyta pionowa, 2 – moduł liniowy, 3 – płyta nośna, 4 – wał, 5 – pokrywa łożyska, 6 – uszczelnienie wału, 7 – łożysko, 8 – płyta blokująca, 9 – śruba blokująca wał, 10 – kierunki pochylania ściernicy, 11 – kierunki przesuwania ściernicy

Fig. 4. The mechanism for adjusting position of grinding wheel:

1 – vertical plate, 2 – linear axes, 3 – support plate, 4 – shaft, 5 – bearing cap, 6 – shaft packing, 7 – bearing, 8 – locking plate, 9 – screw clamping shaft, 10 – directions slanted grinding wheel, 11 – directions movement grinding wheel

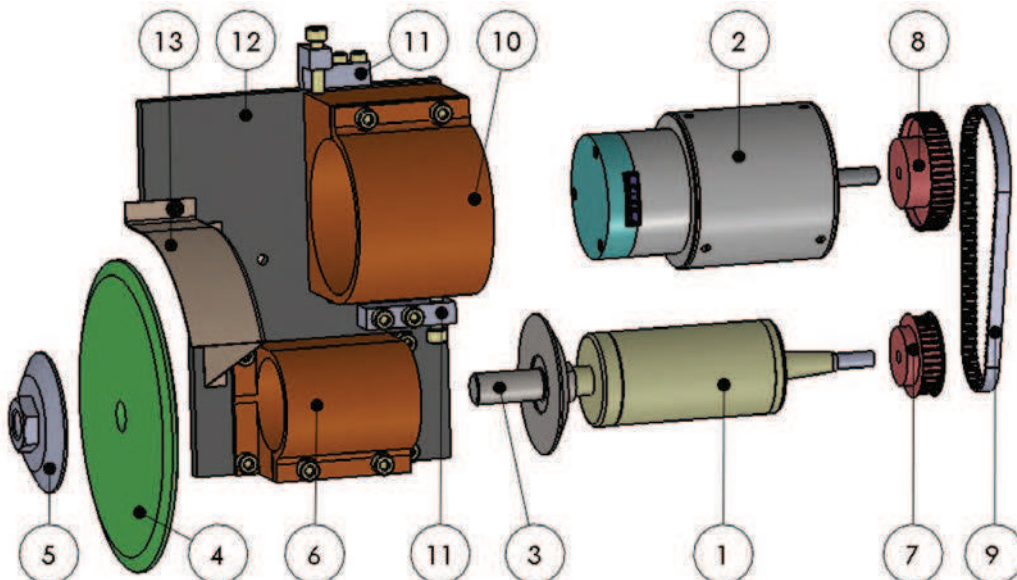


Rys. 5. Mocowanie napędu:

1 – gniazdo, 2 – klin, 3 – „jaskółczy ogon”, 4 – śruba blokująca klin, 5 – wałek, 6 – płyta pionowa, 7 – płyta blokująca, 8 – śruba blokująca wał

Fig. 5. Fixing the drive:

1 – seating, 2 – key, 3 – dovetail, 4 – screws clamping the flat key, 5 – shaft, 6 – vertical plate, 7 – locking plate, 8 – screw clamping shaft



Rys. 6. Zespół napędowy ściernicy:

1 – wrzeciono, 2 – silnik, 3 – trzpień osadczy ściernicy, 4 – ściernica, 5 – tarcza dociskowa, 6 – obejma wrzeciona, 7 – koło pasowe wrzeciona, 8 – koło pasowe silnika, 9 – pasek zębaty, 10 – obejma silnika, 11 – napinacze paska, 12 – płyta, 13 – osłona ściernicy

Fig. 6. The drive of grinding wheel:

1 – spindle, 2 – engine, 3 – retaining pin grinding wheel, 4 – grinding wheel, 5 – pressure plate, 6 – spindle clamping ring, 7 – pulley spindle, 8 – pulley engine, 9 – cogbelt, 10 – engine clamping ring, 11 – belt tightener, 12 – plate, 13 – spark shield

łatwością kasowania luzu oraz niewielkimi rozmiarami. Pierwsza część, zwana „gniazdem” (1), rys. 5 została osadzona na czopie wału (5). Do drugiej części (3), zwanej „jaskółczym ogonem” przykręcono zespół napędowy. Połączenie obu elementów polega na wsunięciu jednego w drugi i zablokowaniu ich śrubą (4). Klin (2) służy do zniewelowania luzu w złączu, a strzałka (9) wskazuje kierunki pochylania złącza.

Prędkość szlifowania jest niezwykle ważnym parametrem, ponieważ to od niej zależy jakość uzyskiwanej powierzchni i trwałość ściernicy. Zbyt duża powoduje przypalenia obrabianego przedmiotu i zniszczenie narzędzia, natomiast zbyt mała prowadzi do zalepienia materiałem obrabianym powierzchni ścierniej. Prędkość szlifowania kontrolowana jest m.in. za pomocą regulacji obrotów tarczy szlifierskiej. Oczywiście dobór obrotów zależny jest od średnicy tarczy szlifierskiej oraz zaleceń producenta. Prezentowany przyrząd umożliwia taką regulację za pomocą zespołu napędowego przedstawionego na rys. 6. Jego najważniejszymi elementami są wrzeciono (1) oraz silnik (2). Oba podzespoły zamontowano w odpowiednich obejmach (6) i (10). Na wrzecionie znajduje się trzpień (3), zespolony z pierwszą tarczą oporową. Są to elementy zamontowane na stałe i stanowią powierzchnię do bazowania narzędzia. Osadzona na nich ściernica (4) jest blokowana z drugiej strony za pomocą nakręcanej na trzpień tarczy dociskowej (5). Napęd przekazywany jest z silnika za pośrednictwem kół zębatych pasowych (7) i (8) oraz paska zębatego (9). Do napięcia pasa służą dwa napinacze (11) umieszczone po obu stronach obejmy silnika (10). Obejma przykręcana jest do płyty (12) za pomocą otworów wykonanych w postaci podłużnych szczelin, co umożliwi przesuwanie mocowania w pionie w zakresie niezbędnym do umożliwienia założenia i napięcia pasa. Zakres ten został wyznaczony na podstawie danych katalogowych producenta pasa zębatego.

Podsumowanie

Zaprezentowany projekt jest pierwszym etapem prac zmierzających do opracowania i wykonania specjalnego przyrządu tokarskiego do szlifowania powierzchni śrubowych na tokarkach uniwersalnych. Konstrukcja ta pozwoli na zbadanie wpływu różnych zarysów zwojów ślimaków uzyskanych tą metodą na parametry pracy przekładni

ślimakowej. Możliwe będzie również określenie dokładności obróbki powierzchni śrubowych zaprezentowanym sposobem. Zadawalające efekty pozwolą na dalszy rozwój współczesnego trendu podążającego w kierunku koncentracji jak największej ilości operacji, także tych specjalnych, na uniwersalnych centrach obróbkowych. Podyktowane jest to oczywistymi względami dotyczącymi obniżania kosztów produkcji, zarówno przez obniżenie liczby potrzebnych obrabiarek, jak i skracania czasu obróbkowego oraz minimalizacji liczby zamocowań jednego detalu.

LITERATURA

- [1] „Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce – Nauki techniczne i inżynieryjne”. 2016. Pod redakcją J. Leśny, J. Nyćkowiak. Wydawnictwo www.mlo-dzinaukowcy.com, Monografie (21): 7–18.
- [2] Choroszy B. 2000. „Technologia maszyn”. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [3] Feld M. 2009. „Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [4] Kwapisz L., J. Rafałowicz. 1992. „Szlifierki obrabiarki ściernie”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [5] Marciniak T. 2013. „Technologia przekładni ślimakowych”. Łódź: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB.
- [6] Skoczyła L. 2010. „Synteza geometrii zazębienia walcowych przekładni ślimakowych ze ślimakiem o dowolnym zarysie”. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- [7] http://www.depo-gmcd.com/wp-content/uploads/2015/12/DEPO-CAM-Prospekt-V13_D.pdf, dostęp 2.12.2016 r.
- [8] http://www.hiwin.pl/pl/Wyszukiwarka-produktow/Osie_linowe/O_linowa/22997, dostęp 2.12.2016.
- [9] http://meftech.com.pl/pdf/SG_500_PL.pdf, dostęp 02.12.2016 r.

mgr inż. Artur Belzo – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: artur.belzo@prz.edu.pl

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

ANALIZA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYCJI KLEJOWYCH Z NANONAPEŁNIACZAMI

The analysis of selected properties of adhesives with nanofillers

Barbara CIECIŃSKA, Andrzej KUBIT

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, których celem była ocena wpływu dodatku nanonapełniaczy do kompozycji klejowej Epidian 57 z utwardzaczem PAC na temperaturę zeszklenia i przewodność cieplną. Temperatura zeszklenia po wprowadzeniu nanoproszku SiO₂ w ilości 2% i 5% wzrosła odpowiednio o 1,28% oraz 2,43%. Dodanie nanoproszku Al₂O₃ spowodowało wzrost o ok. 18,3 i 21% odpowiednio dla ilości 2 i 5%, a dla nanorurek węglowych w ilości 5% przyrost wyniósł ok. 16,5%. Przewodność cieplna uległa zmianie w największym stopniu po dodaniu nanorurek węglowych w ilości 5%, kiedy odnotowano przyrost o ok. 10,5%. Natomiast domieszkowanie nanoproszkiem MgAl₂O₄ w ilości 8% spowodowało spadek przewodności cieplnej o ok. 15%.

Słowa kluczowe: kleje konstrukcyjne, temperatura zeszklenia, przewodność cieplna, nanocząstki

Abstract: The paper presents the results of experimental research, which the goal was to assess the impact of nanofillers added to the Epidian 57/PAC composition on the glass transition temperature and thermal conductivity. The glass transition temperature after addition of nanopowder SiO₂ in an amount 2% i 5% increases of 1,28% and 2,43%. Addition of the nanopowder Al₂O₃ was the reason of the temperature increasing of app. 18,3 and 21% in an amount 2 i 5%, for the carbon nanotubes in amount 5% – the increase was of app. 16,5%. On the other hand the highest increase of thermal conductivity (app. 10,5%) was achieved for Epidian 57/PAC composition with carbon nanotubes in an amount of 5%. Modification by adding of nanopowder MgAl₂O₄ in an amount 8% was the reason of the thermal conductivity decrease of app. 15%.

Key words: structural adhesives, glass transition temperature, thermal conductivity, nanoparticles

Wprowadzenie

W ostatnim czasie innowacyjnymi dodatkami, stosowanymi do wzbogacania materiałów konstrukcyjnych są nanomateriały, których naturalną jednostką miary jest nanometr. Materiały o takiej strukturze można projektować tak, aby wykazywały pożądane właściwości fizyczne, chemiczne czy biologiczne, dzięki ograniczonej wielkości tworzących je cząstek. Takie materiały mogą wykazywać właściwości znacznie odbiegające od właściwości pojedynczych atomów czy typowych kryształów. Daje to możliwość tworzenia materiałów o niespotykanych właściwościach [4, 8].

Wzbogacanie kompozycji klejowych nanonapełniaczami może powodować zmianę ich niektórych cech. Przykładowo w pracy [12] badano wytrzymałość statyczną na oddzieranie, która wzrosła o 14–18% po dodaniu nanoproszków SiO₂ i Al₂O₃. W pracy [6] badano wytrzymałość zmęczeniową połączeń klejowych wykonanych wybranymi kompozycjami klejowymi, gdzie wzrosła ona o ok. 12,6% w przypadku domieszkowania nanorurkami węglowymi.

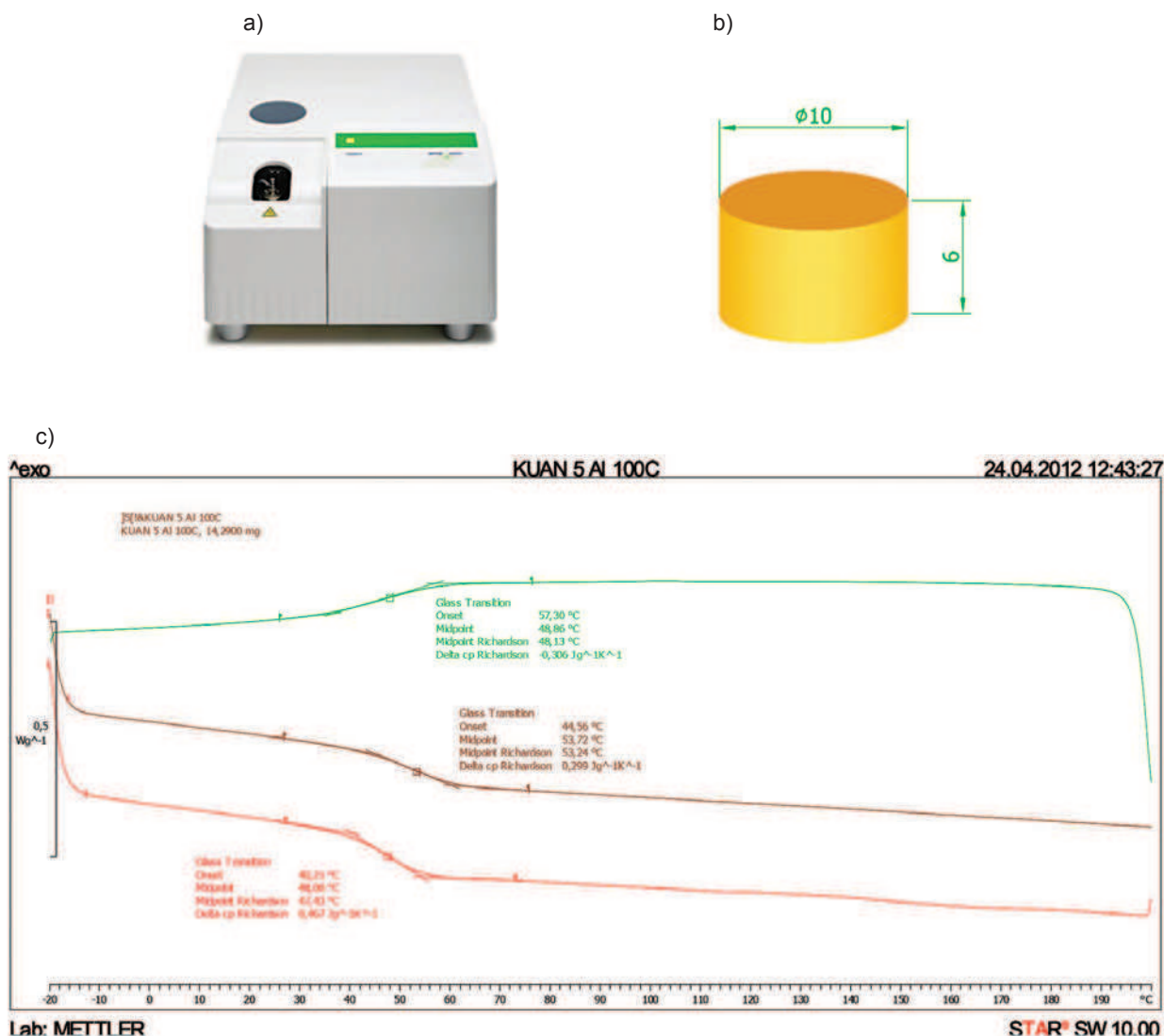
Podczas tworzenia kompozycji klejowych z różnorodnymi nanonapełniaczami, konieczne są badania eksperymentalne celem oceny znaczenia i charakteru zmian, wywołanych modyfikacją składu kompozycji klejowych.

Wpływ dodatku nanonapełniaczy na temperaturę zeszklenia

Z punktu widzenia m.in. właściwości przetwórczych oraz użytkowych polimerów istotne jest określenie obszaru przejścia szklistego, które definiuje się jako przejście ze stanu wysokoelastycznego (ciekłego) w stan szklisty na skutek wzrostu lepkości materiału (np. podczas chłodzenia). Zjawisku temu towarzyszy zmiana różnych właściwości polimeru, m.in. przenikalności elektrycznej oraz modułu Younga [3, 10]. Zjawisko to przebiega w dość szerokim zakresie temperatury, ale przyjęto określać ten zakres jednym punktem, zwanym temperaturą zeszklenia T_g [5]. Pomiar wartości T_g są użyteczne m.in. podczas projektowania temperatury eksploatacji konstrukcji lub w wielokrotnym przetwórstwie (recykling jest obecnie pożądanym ze względu na poszanowanie środowiska naturalnego), kiedy każdorazowe przetwarzanie mieszanin polimerów prowadzi do obniżania T_g i ich stopniowej degradacji.

Do przeprowadzenia eksperymentu przygotowano mieszaniny żywicy Epidian 57 z utwardzaczem PAC w stosunku wagowym 100:80 w wariantach:

- bez nanonapełniacza,
- z dodatkiem nanoproszku SiO₂ firmy Aldrich Chemistry o średniej wielkości cząstek 10–20 nm, w ilości 2% i 5% (udział wagowy),



Rys. 1. Wyznaczanie temperatury zeszklenia: a) kalorymetr Mettler Toledo 822e, b) wymiary i kształt próbek, c) przykład termogramu i sposobu wyznaczenia temperatury zeszklenia T_g
 Fig. 1. The determining of glass transition temperature: a) Mettler Toledo 822e calorimeter, b) the dimensions and shape of the specimens, c) the example of the thermogram and the method of determining of the T_g

- z dodatkiem nanoproszku Al_2O_3 firmy Aldrich Chemistry o średniej wielkości cząstek 60–80 nm, w ilości 2% i 5% (u.w.),
- z dodatkiem wielościennych nanorurek węglowych o średnicy ok. 30 nm, wytworzonych w Instytucie Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, w ilości 5% (u.w.).

Wszystkie kompozycje Epidian57/PAC badano w stanie utwardzonym. Kompozycje Epidian57/PAC z nanonapełniaczami zostały przygotowane następująco: suszenie nanonapełniacza w temp. 80°C w czasie 1 godz., nagrzanie żywicy epoksydowej do temp. 40°C w celu zmniejszenia lepkości, dodanie nanonapełniacza, mieszanie wibracyjne i mechaniczne w stałej temp. 40°C w czasie 1,5 godz., dodanie utwardzacza i mieszanie mechaniczne przez 2 min. Tak przygotowaną kompozycję wlewano do wcześniej przygotowanych form i utwardzano

w temperaturze pokojowej przez 24 godz. Po utwardzeniu wyjęte próbki szlifowano w celu usunięcia wypływek i nadatków oraz nadania im właściwych wymiarów.

Temperaturę zeszklenia T_g zbadano metodą skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC – differential scanning calorimetry), wykorzystując kalorymetr Mettler Toledo 822e z oprogramowaniem StareSystem (rys. 1a) i próbki o wymiarach pokazanych na rys. 1b.

Pomiary T_g opierały się na rejestracji zmiany pojemności cieplnej mieszanin polimerów występującej w obszarze przejścia szklistego. Przejawiała się ona w zmianach odchylenia linii podstawowej na otrzymanym termogramie, a T_g wyznaczono jedną ze znanych i opisanych w literaturze metod [5]. T_g przyjęto jako środkowy punkt odcinka powstałego w wyniku przecięcia stycznych obu linii podstawowych ze styczną odchylenia (rys. 1c).

W wyniku przeprowadzonych pomiarów uzyskano wyniki przedstawione w tab. I.

Tabela I. Wartości temperatury zeszklenia dla kompozycji Epidian 57/PAC

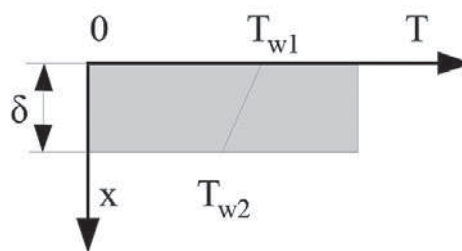
Table I. The values of glass transition temperature for Epidian 57/PAC

| Kompozycja klejowa poddana analizie DSC | | Wartość temperatury zeszklenia T_g [°C] |
|---|-----------------------------------|---|
| Klej epoksydowy | Nanonapełniacz | |
| EPIDIAN 57/PAC | brak | 39,85 |
| | 2% SiO ₂ | 40,36 |
| | 5% SiO ₂ | 40,82 |
| | 2% Al ₂ O ₃ | 47,16 |
| | 5% Al ₂ O ₃ | 48,21 |
| | 5% MW CNT* | 46,39 |

* CNT – z ang. Multiwall Carbon Nano Tube – wielościennie nanorurki węglowe

Określenie przewodności cieplnej

W konstrukcjach istotny jest problem zachowania się danej konstrukcji na skutek oddziaływania temperatury. Niekiedy ważne jest izolowanie fragmentów konstrukcji, a w innym przypadku wymaga się szybkiego odprowadzenia ciepła (np. w elektronice lub przemyśle samochodowym). Jeszcze w innej sytuacji może być konieczne użycie past, klejów lub uszczelnaczy tam, gdzie konstrukcja wymaga połączenia ze sobą różnych materiałów, wówczas eliminuje się tzw. mostki cieplne. Swoistym łącznikiem jest warstwa kompozycji klejowej



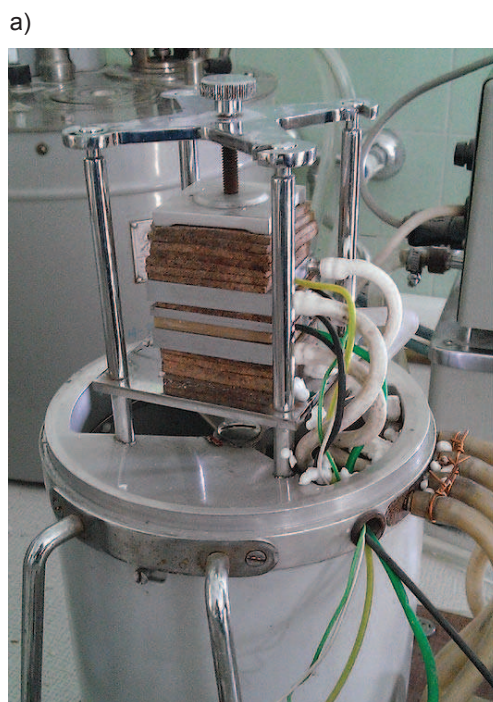
Rys. 2. Model płyty w pomiarze przewodności cieplnej [2]

Fig. 2. Model of plate in the measurement of the thermal conductivity [2]

w połączeniach klejowych. Sklejenie dwóch materiałów i uzyskanie konstrukcji jednolicie przewodzącej ciepło jest uzależnione od doboru kleju. Tworzywa polimerowe (do których zalicza się kleje), w porównaniu z materiałami metalicznymi mają bardzo małą przewodność cieplną [2, 11].

Optymalizacja konstrukcji części, w których występują rozkłady temperatury, wymaga znajomości zależności współczynnika przewodzenia ciepła ciała stałego λ od temperatury. Może to mieć znaczenie m.in. do obliczeń pól temperatury. Przewodność cieplna ciała stałego może wahać się w granicach od 0,02 W/(mK) dla najlepszych materiałów izolacyjnych do ponad 400 W/(mK) dla najlepszych przewodników ciepła [1, 7, 9].

W celu sprawdzenia wpływu dodatku nanonapełniacza na przewodność cieplną λ wybranej kompozycji klejowej przygotowano próbki z mieszaniny żywicy Epidian 57 z utwardzaczem PAC w stosunku wagowym 100:80 w wariantach:



Rys. 3. Fotografia: a) stanowiska pomiarowego, b) wybranych próbek

Fig. 3. The photograph of: a) measurement position, b) selected specimens

Tabela II. Wyznaczanie przewodności cieplnej
Table II. The thermal conductivity calculation

| Wyznaczana wielkość | Badana kompozycja klejowa | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| | Epidian57/PAC bez nanonapełniacza | Epidian57/PAC z nanonapełniaczem | | | |
| | | 2% Al ₂ O ₃ | 5% Al ₂ O ₃ | 8% MgAl ₂ O ₄ | 5% MW CNT* |
| U [V] | 17,98 | 16,03 | 15,05 | 16,48 | 15,41 |
| I [A] | 0,212 | 0,188 | 0,177 | 0,193 | 0,181 |
| δ [m] | 0,00502 | 0,00493 | 0,00502 | 0,0039 | 0,00513 |
| Δt [K] | 36,83 | 29,53 | 30,00 | 29,75 | 29,75 |
| A _g [m ²] | 2485,517 · 10 ⁻⁶ | 2395,589 · 10 ⁻⁶ | 2018,921 · 10 ⁻⁶ | 2347,972 · 10 ⁻⁶ | 2079,257 · 10 ⁻⁶ |
| λ [W/m·K] | 0,209 | 0,210 | 0,221 | 0,178 | 0,231 |

* CNT – z ang. Multiwall Carbon Nano Tube – wielościenne nanorurki węglowe

- bez nanonapełniacza,
- z dodatkiem nanoproszku Al₂O₃ (o charakterystyce podanej wcześniej) w ilości 2% i 5% (u.w.),
- z dodatkiem nanoproszku MgAl₂O₄ (prod. firmy Taima) o wielkości cząstek ok. 40 nm w ilości 8% (u.w.),
- z dodatkiem wielościennych nanorurek węglowych (o charakterystyce podanej wcześniej) w ilości 5% (u.w.).

W eksperymencie wykorzystano jednopłytkowy aparat Poensgena, w którym pomiar opiera się na rozwiązaniu pola temperatury podczas jednokierunkowego, ustalonego przewodzenia ciepła (w osi x – rys. 2) dla modelu nieograniczonej płaskiej płyty o grubości δ, gdzie T_w oznacza temperaturę ścianki [9].

W badaniach wykorzystano uproszczoną wersję aparatu, składającego się z dwóch elementów grzejnych i jednej chłodnicy, wymagającego użycia jednej próbki. Przestrzeń pomiędzy wszystkimi elementami wypełniona jest materiałem izolacyjnym. Grzejnik zasilany jest prądem stałym, chłodnica zaś cieczą o stabilizowanym ciśnieniu i temperaturze (rys. 3).

Do wyznaczenia przewodności cieplnej λ wykorzystano zależność: $\lambda = Q \delta / A \Delta t$, gdzie: Q – moc cieplna wydzielona przez grzejnik, $Q = U \cdot I$ [W], δ – średnia grubość próbki [m], t_g – średnia temperatura grzejnika [K], t_c – średnia temperatura chłodnicy [K], Δt = t_g – t_c – średnia różnica temperatury [K], A_g [m²] – powierzchnia przewodzenia ciepła jako (zgodnie z procedurą podaną w [2]). Ostateczne wartości przewodności cieplnej podano w tab. II.

Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych pozwalają stwierdzić, że:

- wprowadzenie do kompozycji klejowej EPIDIAN 57/PAC wybranego nanonapełniacza spowodowało wzrost wartości temperatury zeszklenia. Był on uzależniony od rodzaju i ilości dodatku. Minimalną

zmianę stwierdzono dla dwu i pięcioprocentowego dodatku nanoproszku SiO₂ (przyrost o ok. 1,28% oraz ok. 2,43%). Dodatek nanoproszku Al₂O₃ spowodował korzystniejszą zmianę – zanotowano przyrost o ok. 18,3% do 21% (dla ilości 2% i 5%). Zbliżony rezultat uzyskano dla nanorurek węglowych (5% MW CNT) – przyrost T_g wyniósł ok. 16,5%.

- domieszkowanie kompozycji klejowej EPIDIAN 57/PAC nanonapełniaczami było przyczyną zmiany przewodności cieplnej tylko w wybranych wariantach. Dla dodatku 2% Al₂O₃ zanotowano zmianę o ok. 0,5%, a dla dodatku 5% Al₂O₃ o ok. 5,7% – co dla wybranej metody doświadczalnej pozostaje w granicach błędów (wg [2] jest to ±7%). Jedynie dla dodatku 5% nanorurek węglowych odnotowano przyrost o ok. 10,5%. Natomiast domieszkowanie proszkiem MgAl₂O₄ spowodowało spadek przewodności cieplnej o ok. 15%.
- niezbędne są dalsze badania eksperymentalne nad składem kompozycji klejowych EPIDIAN 57/PAC z nanonapełniaczami. Uzyskane wyniki mogą ulec istotnej zmianie ze względu na rodzaj oraz większą niż dotychczas badaną ilość wprowadzonego nanonapełniacza.

LITERATURA

- [1] Collins P., P. Avouris. 2000. „Nanotubes for Electronic”. Scientific American (69).
- [2] Grosicki S. i in. 2014. „Wymiana ciepła. Eksperymenty”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- [3] Haponiuk J. „Polimery amorficzne” (www.im.mif.pg.gda.pl/download/materialy_dydaktyczne/inzynieria_polimerow/3_Polimery_a.pdf, dostęp 23.09.2016 r.).
- [4] Kelsall R.W., I.W. Hamley, M. Geoghegan. 2012. „Nanotechnologie”. Warszawa: PWN.
- [5] Kościuszko A. i in. 2010. „Kalorymetryczna ocena temperatury zeszklenia mieszanin PP/PS po wielokrotnym przetwórstwie”. Inżynieria i Aparatura Chemiczna (5): 65–66.

- [6] Kubit A. 2014. „Wpływ nanorurek węglowych na wytrzymałość zmęczeniową połączeń klejowych”. [W:] „Wybrane zagadnienia i problemy z zakresu budowy maszyn”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- [7] Marcq F. et. al. 2011. „Carbon nanotubes and silver flakes filled epoxy resin for new hybrid conductive adhesives”. *Microelectronics Reliability* (51): 1230–1234.
- [8] „Nanomateriały inżynierskie konstrukcyjne i funkcjonalne”. Pod red. Kurzydłowskiego K., M. Lewandowskiej, Warszawa: PWN 2011.
- [9] „Pomiary cieplne”. Pod red. T. Fodemskiego. Warszawa: WNT 2001.
- [10] Przygocki W. 1990. „Metody fizyczne badań polimerów”. Warszawa: PWN.
- [11] Saechtling H. 2000. „Tworzywa sztuczne”. Warszawa: WNT.
- [12] Zielecki W., A. Kubit. 2013. „Wpływ proszkowych nanonapełniaczy ceramicznych na wytrzymałość statyczną połączeń klejowych”. *Technologia i Automatyka Montażu* (4): 45–48.

dr inż. Barbara Ciecińska – Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, e-mail: bcktmio@prz.edu.pl

dr inż. Andrzej Kubit – Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, e-mail: akubit@prz.edu.pl

DYNAMICZNY KĄT ZWILŻANIA JAKO MIARA STOPNIA PRZYGOTOWANIA WARSTWY WIERZCHNIEJ W PROCESIE KLEJENIA

Dynamic contact angle as a measure of the degree of preparation of the surface layer in the adhesion process

Anna KRAWCZUK

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę możliwości wykorzystania pomiarów dynamicznego kąta zwilżania do oceny zwilżalności wybranych materiałów konstrukcyjnych. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów dynamicznego kąta zwilżania dla poliamidu PA6 oraz stali 0H18N9T poddanych wybranym sposobom przygotowania powierzchni, wyznaczono krzywe zmian w czasie kąta zwilżania oraz przeprowadzono analizę zwilżalności. Zjawisko zwilżania powierzchni jest jedną z właściwości fizykochemicznych, która pomaga w odpowiednim doborze środka adhezyjnego oraz określeniu skuteczności zastosowanego sposobu przygotowania powierzchni do procesów adhezyjnych. W wyniku przeprowadzonych prac stwierdzono, że analiza krzywych zmian w czasie kąta zwilżania może być pomocna podczas analizy zjawisk adhezyjnych ściśle powiązanych ze zwilżalnością, a w szczególności adhezji mechanicznej.

Słowa kluczowe: dynamiczny kąt zwilżania, zwilżalność, właściwości adhezyjne

Abstract: The paper presents an analysis of the possibility of using dynamic contact angle measurements to evaluate the wettability of selected construction materials. Variation in time of the contact angle were determined on the basis of the dynamic contact angle measurements for polyamide PA6 and steel 0H18N9T subjected selected methods of surface preparation as well as an analysis of wettability was carry out. The phenomenon of wetting the surface is one of the physicochemical properties, which helps in the appropriate selection of an adhesive, and determining the effectiveness of the method used to prepare the surface for adhesion processes. As a result of work carried out it was found that the analysis of the curves presenting variation in time of the contact angle may be helpful in the analysis of adhesion phenomena closely linked to the wettability, in particular mechanical adhesion.

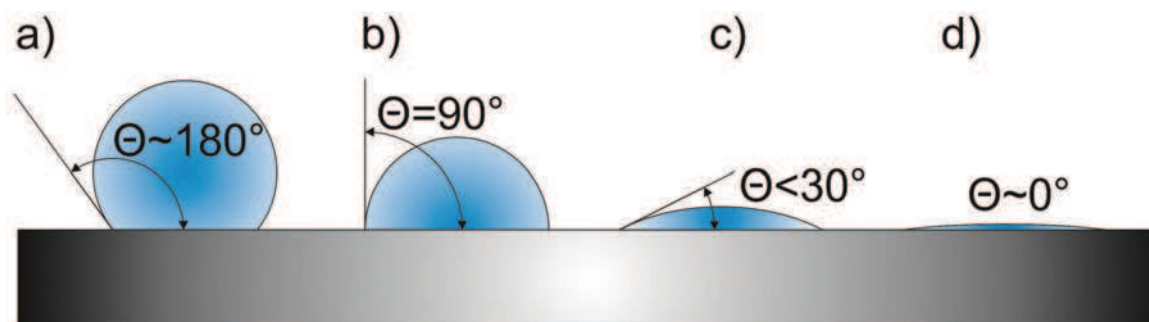
Keywords: dynamic contact angle, wettability, adhesion properties

Wprowadzenie

Jednym z parametrów określających prawidłowość przygotowania warstwy wierzchniej łączonych materiałów do procesu klejenia jest zwilżalność, która wpływa również na siły wiązań, wynikające z adhezji mechanicznej i specyficznej. W przypadku połączeń klejowych ważna jest dobra zwilżalność powierzchni oraz to, aby kąt, jaki tworzy styczna powierzchni rozpluwającej się cieczy i powierzchni ciała stałego, miał wartości mniejsze niż 30° (rys. 1) [1-5].

Efekt całkowitego zwilżania następuje w przypadku, gdy kąt zwilżania jest bliski zeru, a swobodna energia powierzchniowa ciała stałego jest większa lub równa napięciu powierzchniowemu cieczy zwilżającej. W takim przypadku adhezja może być wystarczająca do utworzenia wytrzymałego połączenia.

Określając i porównując zwilżalność powierzchni materiałów najczęściej posługujemy się średnimi z wyników pomiarów statycznego kąta zwilżania. Należy jednak mieć na uwadze, że wyniki pomiarów statycznego kąta



Rys. 1. Przypadki zwilżania: a) $\theta \sim 180^\circ$ brak zwilżalności, b) $\theta = 90^\circ$ zwilżalność niezadowalająca, c) $\theta \sim 30^\circ$ zwilżalność dobra, d) $\theta \sim 0^\circ$ zwilżalność bardzo dobra

Fig. 1. Wetting cases: a) $\theta \sim 180^\circ$ dewetting, b) $\theta = 90^\circ$ poor wetting, c) $\theta \sim 30^\circ$ good wetting, d) $\theta \sim 0^\circ$ complete wetting

Tabela I. Plan badań pomiarów dynamicznego kąta zwilżania dla badanych materiałów z uwzględnieniem sposobu przygotowania powierzchni

Table I. Research plan of the dynamic contact angle measurements for the tested materials with taking into account the method of surface preparation

| L.p. | Materiał | Przygotowanie powierzchni | Informacje o badaniu |
|------|--------------|---|---|
| 1 | Stal 0H18N9T | Odtłuszczenie LOCTITE 7063 | Ciecz pomiarowa – woda Objętość kropli – 4 μ l Całkowity czas pomiarów – 1 min Częstotliwość pomiarów – 0,5 s Liczba powtórzeń pomiarów – 5 |
| 2 | | Ozonowanie stężenie ozonu – 7 g/m ³ czas ozonowania – 30 min | |
| 3 | | Obróbka mechaniczna + odtłuszczenie LOCTITE 7063 | |
| 4 | Poliamid PA6 | Odtłuszczenie LOCTITE 7063 | |
| 5 | | Ozonowanie Stężenie ozonu – 2 g/m ³ czas ozonowania – 30 min | |
| 6 | | Ozonowanie stężenie ozonu – 7 g/m ³ czas ozonowania – 30 min | |
| 7 | | Obróbka mechaniczna + odtłuszczenie LOCTITE 7063 | |

zwilżania w znacznym stopniu zależą od czasu wykonania pomiaru oraz wielkości zaaplikowanej na powierzchni materiału kropli. Ciecz pozostająca na materiale z czasem zmienia stan skupienia i przechodzi do fazy gazowej oraz wnika w pory i nierówności powierzchni [6, 7].

W sytuacji, gdy zachodzi reakcja chemiczna cieczy z podłożem (zmieniająca właściwości powierzchni materiału lub napięcie powierzchniowe cieczy) lub gdy mamy do czynienia z materiałami dla których następuje penetracja płynu w podłoże – wielkością charakteryzującą zwilżanie jest dynamiczny kąt zwilżania. Dynamika procesu rozpylania się cieczy na powierzchni ciała stałego jest określona na podstawie pomiarów kąta zwilżania w kolejnych okresach pomiarowych. Stopień hydrofobowości powierzchni zależy od stopnia jej rozwinięcia, a tym samym od rodzaju przeprowadzonej obróbki warstwy wierzchniej, zwiększającej siłę wiązań adhezji mechanicznej [8-10].

Metodyka badań

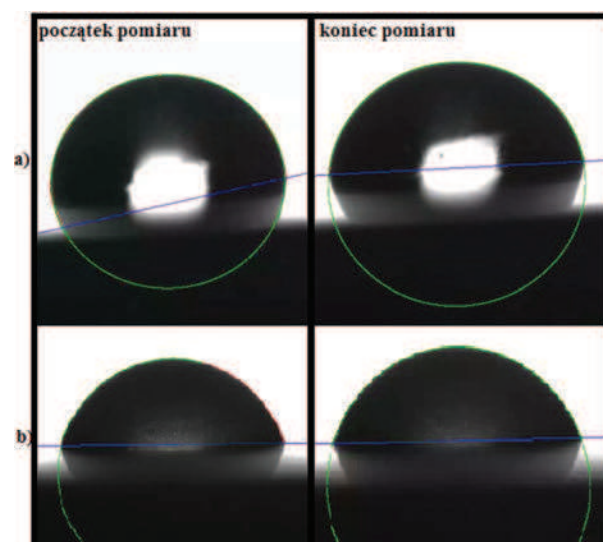
W celu przeprowadzenia możliwości wykorzystania pomiarów dynamicznego kąta zwilżania do oceny zwilżalności przeprowadzono pomiary kąta zwilżania w czasie na próbkach o wymiarach 100 × 20 × 2 ze stali 0H18N9T i poliamidu PA6, poddanych wybranym sposobom przygotowania warstwy wierzchniej do klejenia. Badania przeprowadzono w oparciu o program przedstawiony w tab. I. Badania prowadzono na urządzeniu DSA30 firmy KRÜSS, które umożliwiło wykonanie pomiarów i zdjęć w założonych odstępach czasu dzięki wyposażeniu w automatyczny moduł pozyskiwania i analizy wyników.

Na powierzchni badanych materiałów dozowano kroplę pomiarową o objętości 4 μ l i automatycznie dokonywano pomiaru kąta zwilżania co 0,5 s przez minutę. Wykonano 5 powtórzeń pomiarów dla każdego materiału

po określonym sposobie przygotowania powierzchni. Na rys. 2 przedstawiono przykładowy kształt kropli pomiarowej w momencie pierwszego i ostatniego pomiaru.

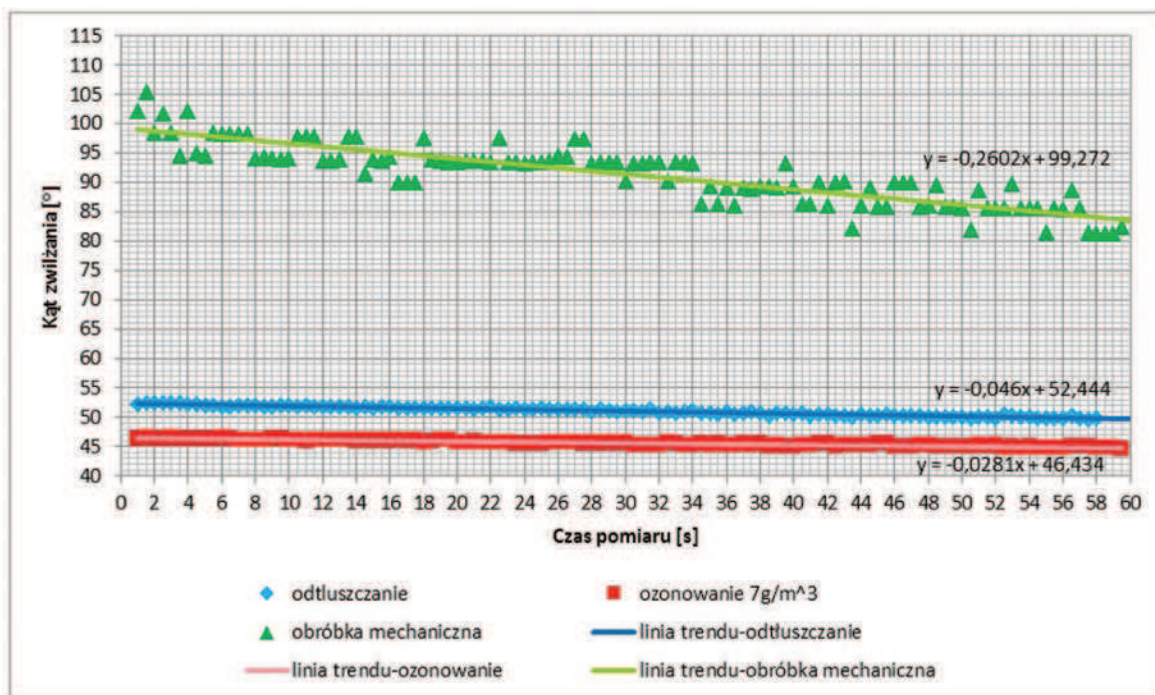
Wyniki pomiarów

W ramach eksperymentu uzyskano wyniki pomiarów kąta zwilżania kropli rozpylającej się na powierzchni badanego materiału. Dla stali odpornej na korozję 0H18N9T i poliamidu PA6 po różnych sposobach przygotowania

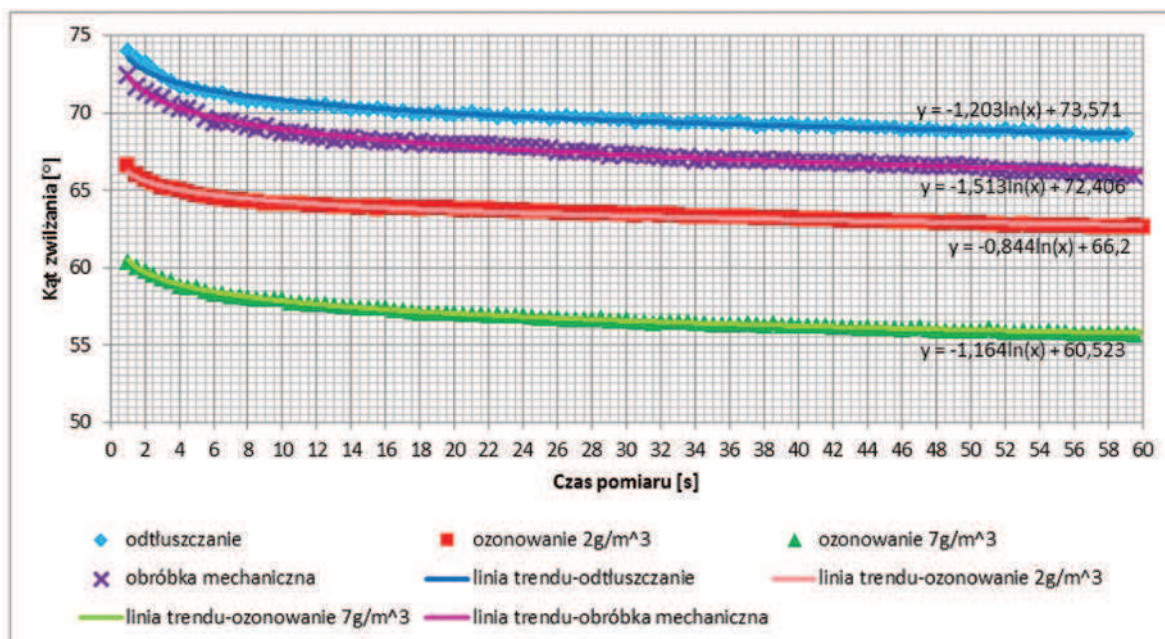


Rys. 2. Kropla pomiarowa podczas dynamicznego pomiaru kąta zwilżania na powierzchni badanego materiału: a) stali nierdzewnej 0H18N9T po obróbce mechanicznej b) poliamidu PA6 po obróbce mechanicznej

Fig. 2. Measured drop during the dynamic contact angle measurements on the surface of the tested material: a) steel 0H18N9T after abrasion b) polyamide PA6 after abrasion



Rys. 3. Zestawienie średnich wartości z pomiarów dynamicznego kąta wraz z liniami trendu dla stali 0H18N9T po różnych sposobach przygotowania powierzchni
 Fig. 3. A comparison of average values of dynamic angle measurements with trend lines for steel 0H18N9T after the different methods of surface preparation



Rys. 4. Zestawienie średnich wyników pomiarów dynamicznego kąta wraz z liniami trendu dla poliamidu PA6 po różnych sposobach przygotowania powierzchni
 Fig. 4. A comparison of average values of dynamic angle measurements with trend lines for polyamide PA6 after the different methods of surface preparation

powierzchni obliczono wartości średnie kąta zwilżania w określonych momentach pomiarowych z pięciu przeprowadzonych prób. Na rys. 3 i 4 przedstawiono krzywe obrazujące zmianę w czasie kąta zwilżania wraz z wyznaczonymi liniami trendu.

Z rys. 3 wynika, że największą zmienność wyników pomiarów kąta zwilżania uzyskano dla stali 0H18N9T po obróbce mechanicznej. Linie trendu wyznaczone na podstawie średnich pomiarów kąta dynamicznego po odfuszczeniu i ozonowaniu są równoległe. Na podstawie

położenia linii trendu można przypuszczać, że obróbką w największym stopniu poprawiającą zwilżalność stali jest ozonowanie. Wyznaczone linie trendu średnich z pomiarów dynamicznego kąta zwilżania dla poliamidu PA6 po różnych sposobach przygotowania powierzchni są równoległe, co przedstawiono na rys. 4. Nie zauważono większych zmian nachylenia wyznaczonych linii trendu. Dla poliamidu obróbką najkorzystniej wpływającą i poprawiającą zwilżalność podobnie jak dla badanej stali jest ozonowanie przy stężeniu ozonu wynoszącym 7g/m^3 .

Porównując otrzymane wykresy dla stali 0H18N9T i poliamidu PA6 można zauważyć, że w przypadku tworzywa polimerowego, czas w jakim stabilizuje się kropla cieczy jest dłuższy niż w przypadku stali, gdzie różnice pomiędzy kątami zwilżania na początku i na końcu pomiaru są niewielkie. Zobrazowane jest to otrzymanymi liniami trendu, która dla stali jest linią prostą, a dla poliamidu opisana jest funkcją logarytmiczną. W przypadku poliamidu kąty zwilżania na końcu pomiaru osiągają wartości nawet o 5° niższe niż wartości na początku pomiaru, co może mieć wpływ na dokładność wyznaczenia swobodnej energii powierzchniowej i jej składowych w przypadku stosowania metod statycznych.

Podsumowanie

Prezentowane w pracy wykresy zmian w czasie kąta zwilżania opracowane dla stali 0H18N9T i poliamidu PA6 pozwalają stwierdzić, że obróbką poprawiającą w obu przypadkach zwilżalność jest ozonowanie w atmosferze ozonu 7g/m^3 . Po ozonowaniu otrzymano kąty zwilżania o najniższych wartościach. Obróbka mechaniczna stali 0H18N9T powoduje, że powierzchnia materiału jest gorzej zwilżana w porównaniu do ozonowania i odtuszczenia. Linia trendu wyznaczona dla średnich wyników pomiarów kąta zwilżania na powierzchni obrabianej mechanicznie jest bardziej nachylona dla stali niż linie wyznaczone dla pozostałych sposobów przygotowania powierzchni. W tym przypadku kropla wody szybciej wnika w nierówności powierzchni, powstałe w wyniku zastosowanego przygotowania powierzchni, zwiększając wysycenie siłą wiązań powstałą w wyniku adhezji mechanicznej. Dla poliamidu PA6 czas stabilizacji kropli od momentu jej aplikacji jest dłuższy, a różnice między kątami zwilżania zmierzonymi na początku i końcu pomiaru są większe niż dla stali. Obliczona swobodna energia powierzchniowa na podstawie kąta zwilżania, którego wartość została odczytana w początkowej fazie pomiaru będzie osiągać inne wartości niż po ustabilizowaniu kropli cieczy na powierzchni materiału. Aby otrzymać wytrzymałe połączenie klejowe, klej należy dobrać na podstawie

wartości składowych swobodnej energii powierzchniowej łączonych materiałów, dążąc do równej składowej swobodnej energii powierzchniowej kleju. Stosowanie dynamicznego kąta zwilżania jako miary przygotowania warstwy wierzchniej do zwilżania jest szczególnie zalecane przy dużej dynamice procesu zwilżania. Zastosowanie tej miary pozwala bowiem na lepsze zobrazowanie procesu rozpląwu kleju, co jest istotne szczególnie ze względu na adhezję mechaniczną.

Literatura

- [1] Ciecierska B., R. Pełowski. 2013. „Swobodna energia powierzchniowa wybranych materiałów lotniczych po obróbce laserowej”. *Technologia i Automatyka Montażu* (1): 56–62.
- [2] Domińczuk J. 2011. „Właściwości adhezyjne warstwy wierzchniej materiałów konstrukcyjnych”. *Postęp Nauki i Techniki* (9): 28–37.
- [3] Hutera B. 2006. „Wpływ dodatku nieaktywnego rozcieńczalnika na wytrzymałość masy ze spoiwem epoksydowym”. *Archiwum Odlewnictwa* (18): 441–446.
- [4] Kłonica M., J. Kuczmaszewski. 2011. „Ozonowanie jako metoda aktywowania warstwy wierzchniej materiałów konstrukcyjnych w operacjach klejenia”. *Technologia i Automatyka Montażu* (2): 38–46.
- [5] Kuczmaszewski J. 2006. “Fundamentals of metal-metal adhesive joint design”. Lublin University of Technology: Polish Academy of Sciences. Lublin Branch.
- [6] Bieliński D. i in. 2006. „Porównanie metod oznaczania statycznego kąta zwilżania powierzchni cieczą małowcząsteczkową”. *Problemy Eksploatacji* (1): 131–144.
- [7] Zielecka M. 2004. “Methods of contact angle measurement as a tool for characterization of wettability of polymers”. *Polimery* (5): 327–332.
- [8] Możaryn T., A. Lamenta, J. Kokowska. 2013. „Badanie zwilżalności w ocenie skuteczności impregnacji hydrofobizującej betonu”. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej* (2): 3–12.
- [9] Starov V. M. et. al. 2002. “Spreading of Liquid Drops over Dry Porous Layers: Complete Wetting Case”. *Journal of Colloid and Interface Science* (252): 397–408.
- [10] Wege H. A. et. al. 2003. “Dynamic contact angle and spreading rate measurements for the characterization of the effect of dentin surface treatments”. *Journal of Colloid and Interface Science* (263): 162–169.

mgr inż. Anna Krawczuk – Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania Procesami Produkcyjnymi Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, e-mail: anna.krawczuk@up.lublin.pl

WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH BLACH STALOWYCH PO OBRÓBCE MECHANICZNEJ

The bonded joints strength of steel sheets after mechanical treatment

Anna RUDAWSKA, Dominika NOWICKA, Nadežda ČUBOŇOVÁ

Streszczenie: Przeprowadzone badania doświadczalne miały na celu określenie wpływu przygotowania powierzchni na wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych. W badaniach przyjęto jedną z możliwych metod obróbki mechanicznej – obróbkę ściernymi narzędziami nasypowymi, ze względu na niski koszt oraz możliwość dobrego rozwinięcia powierzchni, co ma wpływ na wytrzymałość. Wykorzystane zostały papiery o różnej wielkości ziarna tj. P120, P320, P500 oraz P800. Dodatkowo zastosowano dwa warianty przygotowania powierzchni. Pierwszy wariant to obróbka mechaniczna przy pomocy wyznaczonego narzędzia nasypowego, a drugi to obróbka mechaniczna i dodatkowo odtłuszczenie powierzchni próbek. Po przygotowaniu powierzchni próbek zostały one sklejone z użyciem przygotowanego kleju (mieszanka żywicy epoksydowej Epidian 57 oraz utwardzacza Z1 w stosunku 100:10). Po określonym czasie utwardzania próbki były poddane badaniom wytrzymałościowym. Zauważono, że największą wytrzymałość na ścinanie w rozpatrywanych wariantach osiągają połączenia, których powierzchnie zostały przygotowane przy użyciu papieru ściernego P320.

Słowa kluczowe: połączenia klejowe, wytrzymałość, obróbka mechaniczna, blachy stalowe

Abstract: The aim of experimental studies was to determine the influence of surface treatment on the adhesive joints strength of steel sheets. In a study accepted one of the possible methods of machining – abrasive machining grinding tools. This kind of tools was used due to its low cost and the ability to fairly good development of the surface, which affects the strength. The sand papers with different grain size (P120, P320, P500 and P800) were used. Two variants of surface treatment were tested. The first variant was the mechanical treatment by using the tested grinding tools and the second variant consisted mechanical treatment and degreasing by using Loctite 7063 degrease agent. After surface treatment the samples was joined by using the adhesive as a compound of Epidian 57 epoxy resin and Z1 hardener in the ratio of 100:10. After curing the samples were subjected to strength tests. It was noted that the highest shear strength was achieved for samples, which surfaces were prepared using sandpaper P320.

Key words: adhesive joints, strength, mechanical treatment

Wprowadzenie

Technologia klejenia znajduje zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, przy czym ważna jest możliwość jej wykorzystania do spajania części w trudno dostępnych miejscach lub też takich, gdzie nie ma możliwości zastosowania innych metod łączenia [2, 4, 8, 12]. Ze względu na istnienie wielu czynników decydujących o wytrzymałości połączeń klejowych, należy skoncentrować się na ich odpowiednim wyborze. Jednym z czynników technologicznych jest przygotowanie powierzchni łączonych materiałów, będących pierwszym etapem technologii klejenia. Wyróżnić można wiele sposobów obróbki materiałów, których celem jest uzyskanie powierzchni o określonej wytrzymałości. Na podstawie licznych publikowanych wyników badań można stwierdzić, że przygotowanie powierzchni do klejenia jest najistotniejszym etapem procesu klejenia, dlatego też stał się on tematem interesującym i jednocześnie cały czas pogłębianym [4, 9, 11].

W artykule zaprezentowano wyniki badań wytrzymałościowych jednozakładkowych połączeń klejowych blach stalowych, w których powierzchnie blach zostały poddane obróbce mechanicznej ściernymi narzędziami nasypowymi o wielkości ziaren: P120, P320, P500, P800. Obróbka

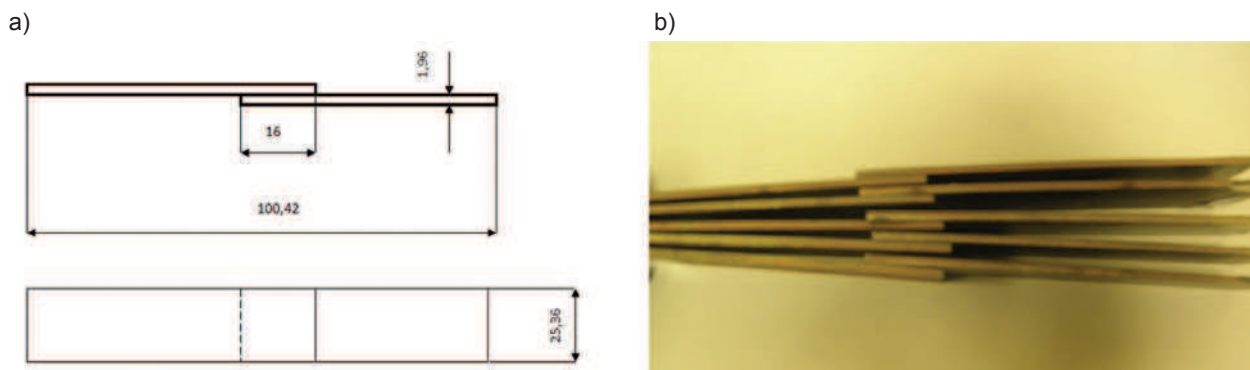
została przeprowadzona w dwóch wariantach: obróbka mechaniczna oraz obróbka mechaniczna i odtłuszczenie. Wyniki badań zostały poddane analizie statystycznej zgodnie z wytycznymi zawartymi w pracach [12, 6].

Metodyka badań

Połączenie klejowe

Przedmiotem badań były próbki jednozakładkowe połączeń klejowych, wykonane z blach stalowych S235 JR o grubości $g = 2,0 \pm 0,04$ mm, szerokości $b = 25 \pm 0,25$ mm i długości 100 ± 42 mm. Długość zakładki spoiny klejowej wynosiła 16 mm. Na rys. 1 przedstawiono schemat analizowanego połączenia.

Do wykonania połączeń klejowych wykorzystano klej epoksydowy dwuskładnikowy Epidian 57/Z1/100:10, składający się z żywicy epoksydowej Epidian 57 i utwardzacza Z1 (w stosunku 100:10). Sposób przygotowania kleju oraz jego zalety opisano m.in. w pracy [10]. Klej utwardzany był jednostopniowo w temperaturze otoczenia $25 \pm 3^\circ\text{C}$, przy wilgotności powietrza $35 \pm 3\%$. Kompozycję klejową użytą do połączenia blach sporządzono tuż przed nałożeniem jej na przygotowaną powierzchnię.



Rys. 1. Połączenie klejowe: a) kształt i wymiary, b) widok
Fig. 1. The bonded joint: a) shape and dimensions, b) view

Podczas wykonywania połączeń stosowano obciążenie 1 kg, a czas utwardzania każdej serii wynosił 7 dni.

Po utwardzeniu połączenia klejowe poddano próbie niszczącej na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z150, zgodnie z normą DIN EN 1465 [3], przy prędkości badania 5 mm/min. Wykonanie tych badań miało na celu określenie wytrzymałości analizowanych połączeń klejowych na ścinanie.

Przygotowanie powierzchni

Powierzchnie próbek przeznaczonych do sklejenia zostały przygotowane za pomocą obróbki mechanicznej. Wykorzystano narzędzia nasypowe o ziarnistości: P120, P320, P500 oraz P800 w postaci papieru ściernego w formie arkusza. Przed przystąpieniem do procesu obróbki za pomocą wybranego papieru ściernego z płytek stalowych usunięto wszelkiego rodzaju zadziory występujące na brzegach oraz widoczne zgrubienia. Po zakończeniu tego etapu próbki poddano obróbce przygotowującej ich powierzchnie do klejenia. Analizowano dwa rodzaje przygotowania powierzchni – obróbkę mechaniczną oraz obróbkę mechaniczną wraz z odtłuszczeniem.

Obróbka mechaniczna była realizowana ręcznie ruchem okrężnym (40–50 ruchów) w różnych kierunkach za pomocą specjalnego uchwytu. Po zakończeniu tego procesu przygotowująca część próbek była oczyszczana z powstałych po obróbce papierem ściernym zanieczyszczeń przy użyciu suchego ręcznika papierowego. W drugim wariantcie przygotowania powierzchni po zakończeniu obróbki mechanicznej zastosowano środek odtłuszczający Loctite 7063, a sposób odtłuszczenia opisano w pracach [12, 9].

Pomiary chropowatości powierzchni

Pomiary wybranych parametrów chropowatości powierzchni wykonano z wykorzystaniem profilografometru Perthometr 2 firmy Mahr (wg PN-EN ISO 4287 [7]). Średnie arytmetyczne poszczególnych parametrów zostały wyliczone na podstawie dziewięciu wyników: pomiary wykonywano w trzech miejscach na każdej z trzech próbek,

poddanych obróbce zastosowanym papierom ściernym (P120, P320, P500 oraz P800). Analizie poddano parametry wysokościowe (amplitudowe) chropowatości powierzchni [2, 1, 5].

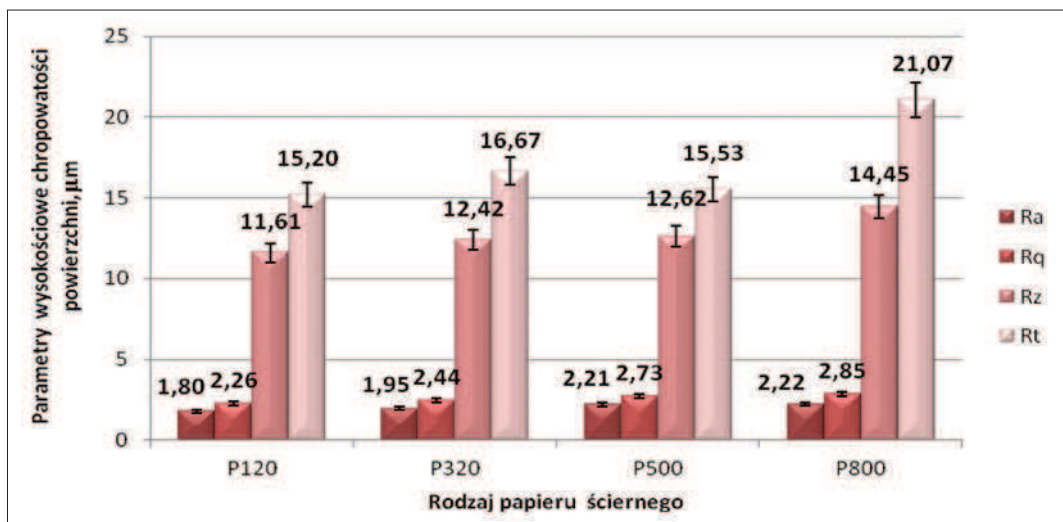
Wyniki badań

Chropowatość powierzchni

Wyniki wybranych parametrów wysokościowych chropowatości powierzchni przedstawiono na rys. 2. Na podstawie wyznaczonych średnich wartości wybranych parametrów wysokościowych chropowatości powierzchni zauważono, że największe wyniki chropowatości osiągnięte zostały po obróbce ściernym narzędziem nasypowym P800. Nie można jednak wyłonić jednego papieru ściernego, po zastosowaniu którego wszystkie z wybranych parametrów (rys. 2) w porównaniu do pozostałych są najmniejsze.

Wyniki badań chropowatości powierzchni dla średniego odchylenia arytmetycznego profilu chropowatości (R_a) pokazują, że najwyższą wartość tej wielkości uzyskano po obróbce papierem ściernym P800, natomiast najniższą po użyciu papieru ściernego P120. W odniesieniu do parametru R_a zauważono niewielką różnicę pomiędzy wartościami tego parametru uzyskanymi po przygotowaniu powierzchni papierem P500 oraz P800 i wynosi ona 0,01 μm . Średnie wartości parametru R_t dla powierzchni poddanych obróbce mechanicznej papierem ściernym P120, P320, P500 oraz P800 (rys. 2) mieszczą się w zakresie od 15,20 μm do 21,07 μm , zatem różnica pomiędzy najwyższym a najniższym średnim wynikiem całkowitej wysokości profilu wynosi 5,87 μm .

Uwzględniając parametr R_t po wykonaniu badań chropowatości dla próbek przygotowanych z użyciem poszczególnych papierów ściernych zauważyć można, że największą wartość uzyskano po zastosowaniu papieru ściernego P800. Analizując profilogram powierzchni po tej obróbce zauważono pojawienie się na niektórych fragmentach powierzchni nierówności o znacznych wysokościach i głębokościach (różniących się od pozostałych, których przyczyną mogłyby być też nierówności



Rys. 2. Parametry wysokościowe chropowatości powierzchni próbek po obróbce papierem ściernym P120, P320, P500 oraz P800
Fig 2. The surface roughness parameters of samples after P120, P320, P500 and P800 sandpaper treating

powierzchni przed obróbką), które mogły przyczynić się do uzyskania takiego wyniku, przy czym odchylenie standardowe parametru Rt w przypadku tej obróbki jest największe.

Wytrzymałość połączeń klejowych

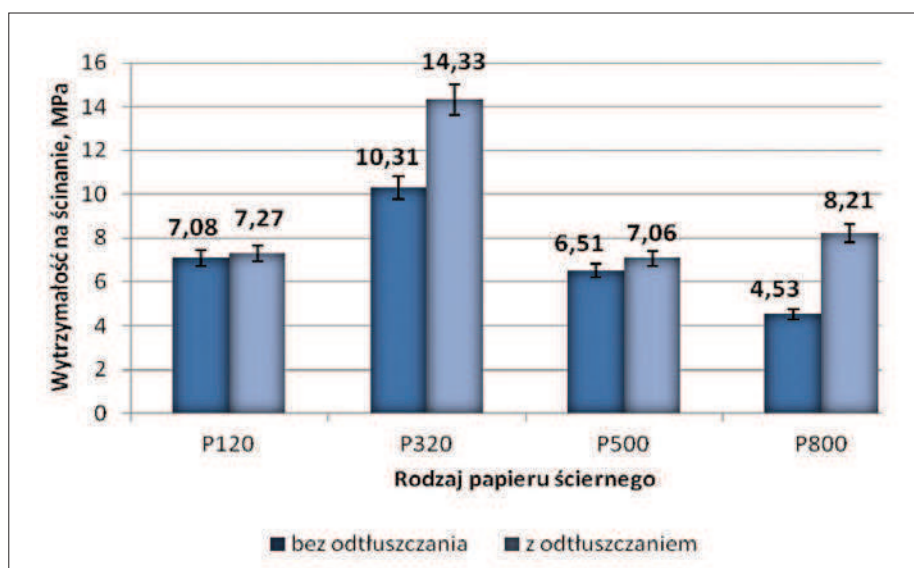
Zestawienie rezultatów wytrzymałości analizowanych połączeń klejowych zaprezentowano na rys. 3.

Średnie wartości wyników z przeprowadzonych badań dla poszczególnych papierów ściernych wraz z podziałem na wariant z użyciem środka odtłuszczającego oraz na wariant bez dodatkowego oczyszczania środkiem

odtłuszczającym pozwala zauważyć, że największą wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych uzyskano w przypadku, gdy do obróbki powierzchni łączonych elementów zastosowano narzędzia o wielkości ziarna P320 wraz z użyciem środka odtłuszczającego, która wyniosła 14,33 MPa, a najmniejszą po obróbce papierem P800 bez odtłuszczania równą 4,53 MPa.

Analiza statystyczna rezultatów badań

Analiza statystyczna dotyczyła porównania średniej wartości wytrzymałości połączeń klejowych w dwóch rozpatrywanych wariantach przygotowania powierzchni.



Rys. 3. Wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych, w których powierzchnie blach przygotowano z użyciem papierów ściernych: P120, P320, P500, P800 bez odtłuszczania oraz z zastosowaniem środka odtłuszczającego

Fig. 3. The shear strength of adhesive joints in which surfaces were treated by using P120, P320, P500, P800 sandpapers without degreasing, and using a degreasing agent

Tabela. Wyniki analizy statystycznej
Table. The statistical analysis results

| Rodzaj papieru ściernego | Wartość statystyki F_{obl} | Wartość statystyki F_{α} | Wniosek | Wartość statystyki T_{obl} | Wartość statystyki F_{α} | Wniosek |
|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|----------------|
| P120 | 4,16 | 9,28 | $S_1^2 = S_2^2$ | 0,350 | 1,782 | $m_1 = m_2$ |
| P320 | 1,89 | 9,28 | $S_1^2 = S_2^2$ | 7,182 | 1,782 | $m_1 \neq m_2$ |
| P500 | 2,77 | 9,28 | $S_1^2 = S_2^2$ | 1,965 | 1,782 | $m_1 \neq m_2$ |
| P800 | 3,54 | 9,28 | $S_1^2 = S_2^2$ | 8,764 | 1,782 | $m_1 \neq m_2$ |

gdzie: S^2 – wariancja, m – średnia

W tab. zamieszczono rezultaty testów t-Studenta oraz F-Snedecora – Fishera, które zostały obliczone w odniesieniu do wyników wytrzymałości połączeń klejowych z użyciem do obróbki powierzchni papierów ściernych P120, P320, P500 oraz P800, przedstawionych na rys. 3. Porównywane pary to połączenia klejowe, w których łączone próbki poddano tylko obróbce mechanicznej oraz które poddano zarówno obróbce mechanicznej zastosowanymi rodzajami papieru ściernego, jak i odtłuszczaniu.

Analiza wyników wytrzymałościowych pozwala zauważyć, że w jednym przypadku – obróbki papierem ściernym P120 – zauważono brak statystycznie istotnych różnic w rozpatrywanych wartościach średnich wytrzymałości połączeń klejowych, w których powierzchnia po obróbce mechanicznej została poddana odtłuszczeniu oraz w których nie zastosowano odtłuszczenia powierzchni łączonych elementów.

Ponadto przeprowadzono analizę statystyczną dla par próbek przygotowanych bez użycia odtłuszczacza oraz z zastosowaniem odtłuszczenia po obróbce różnym rodzajem papieru ściernego. W przypadku wariantu przygotowania powierzchni, który polegał tylko na obróbce mechanicznej zauważono, że jedynie dla par próbek po przygotowaniu powierzchni z użyciem papierów ściernych P120 oraz P500 średnie są statystycznie równe. Pozostałe warianty wykazują statystycznie istotne różnice. Rozpatrując wariant przygotowania z zastosowaniem odtłuszczenia stwierdzono, że w wariantach P120 – P500, P120 – P800, po przeprowadzeniu testu statystycznego t-Studenta, można stwierdzić równość średnich. Pozostałe warianty wykazują statystycznie istotne różnice.

Zaobserwowane różnice w wynikach otrzymanych po zastosowaniu testów statystycznych oraz odpowiednich modeli wykazują statystycznie istotne różnice pomiędzy porównywanymi średnimi wynikami wytrzymałości w poszczególnych wariantach obróbki na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych oraz analizy uzyskanych wyników można sformułować następujące wnioski:

- w wielu przypadkach operacja odtłuszczenia po obróbce ściernym narzędziem nasypowym wpływa korzystnie na wzrost wartości wytrzymałościowych połączeń klejowych analizowanych blach stalowych,
- we wszystkich rozpatrywanych wariantach przygotowania powierzchni (porównując wytrzymałość połączeń klejowych, w których łączone elementy poddano procesowi odtłuszczenia po obróbce mechanicznej oraz w których zastosowano tylko obróbkę mechaniczną klejonych elementów), większą wytrzymałością charakteryzowały się te połączenia, w których po obróbce mechanicznej papierem ściernym zastosowano środek odtłuszczący, co potwierdzono także na podstawie wyników analizy statystycznej (poza jednym przypadkiem), stąd też zaleca się zastosowanie operacji odtłuszczenia po obróbce mechanicznej w celu uzyskania większej wytrzymałości połączeń klejowych,
- rozwinięcie powierzchni w wyniku zastosowania narzędzia nasypowego, którym był papier ścierny o różnej wielkości ziarna pozwala uzyskać zróżnicowane wyniki wytrzymałości połączeń klejowych,
- największymi parametrami chropowatości powierzchni charakteryzują się elementy poddane obróbce ściernym narzędziem nasypowym P800,
- największą wytrzymałość na ścinanie w rozpatrywanych wariantach przygotowania powierzchni osiągają połączenia, których powierzchnie zostały przygotowane przy użyciu papieru ściernego P320. Można zatem stwierdzić, że ta wielkość ziarna jest najodpowiedniejsza do osiągnięcia względnie wysokiej wytrzymałości, przy zachowaniu określonych parametrów obróbki,
- zauważyć można, że im drobniejsze ziarno ściernych narzędzi nasypowych podczas przygotowywania powierzchni łączonych elementów, tym średnia wytrzymałość połączeń klejowych jest coraz mniejsza (pomijając papier ścierny P320, po zastosowaniu którego podczas obróbki mechanicznej powierzchni uzyskano największą wytrzymałość połączeń klejowych), pomimo wzrostu parametrów chropowatości powierzchni. Można więc przypuszczać, że istnieje pewien korzystny stopień schropowacenia

powierzchni pod względem wytrzymałości. Wyniki te stanowią także potwierdzenie informacji przedstawianych w literaturze.

Podsumowując można zauważyć, że zastosowanie obróbki mechanicznej w wielu przypadkach może być wystarczającym sposobem na uzyskanie wymaganej wytrzymałości połączeń klejowych. Należy jednak opracować właściwą technologię przygotowania powierzchni, gdyż (jak wykazały badania) obróbkę mechaniczną korzystnie jest połączyć z odłuszczeniem powierzchni. Wzrasta wówczas wytrzymałość połączeń klejowych w odniesieniu do wytrzymałości połączeń, w których powierzchnie łączonych elementów poddano tylko obróbce mechanicznej. Ponadto należy określić zalecane wartości parametrów chropowatości powierzchni (uwzględniając wytrzymałość połączeń) w odniesieniu do łączonych materiałów, zarówno wysokościowe (pionowe), jak i odległościowe (poziome) w celu pełnego wskazania korzystnej struktury geometrycznej klejonych materiałów, także w aspekcie adhezji mechanicznej.

LITERATURA

- [1] Adamczak A. 2008. „Pomiary geometryczne powierzchni”. Warszawa: WNT.
- [2] Czaplicki J. i in. 1987. „Klejenie tworzyw konstrukcyjnych”. Warszawa: WKŁ.
- [3] DIN EN 1465. Adhesives. Determination of tensile lap-shear strength of bonded joints.
- [4] Godzimirski J. 2002. „Wytrzymałość doraźna konstrukcyjnych połączeń klejowych”. Warszawa: WNT.
- [5] Grzesik W. 2015. „Wpływ topografii powierzchni na właściwości eksploatacyjne części maszyn”. *Mechanik* (8-9): 587–593.
- [6] Krysicki W. i in. 1999. „Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach. Cz. II. Statystyka matematyczna”. Warszawa: PWN.
- [7] Norma PN-EN ISO 4287 Specyfikacja geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni i metoda profilowa. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
- [8] „Poradnik inżyniera i technika”. Pod red. Charles V. Cagle’a „Kleje i klejenie”. Warszawa: WNT, 1977.
- [9] Rudawska A., M. Chruściel. 2011. „Wpływ sposobu przygotowania powierzchni na wytrzymałość połączeń klejowych lotniczego stopu aluminium”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (2): 42–46.
- [10] Rudawska A., K. Głogowska. 2014. „Analiza porównawcza wytrzymałości połączeń klejowych wykonanych przy użyciu klejów epoksydowych”. *Przetwórstwo Tworzyw* (4): 320–325.
- [11] Rudawska A., M. Łukaszewicz. 2008. „Wpływ obróbki mechanicznej na wytrzymałość połączeń klejowych wybranych materiałów konstrukcyjnych”. *Przeгляд Spawalnictwa* (98): 27–30.
- [12] Rudawska A. 2013. „Wybrane zagadnienia konstruowania połączeń adhezyjnych jednorodnych i hybrydowych”. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej.

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

mgr inż. Dominika Nowicka – absolwentka Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej

prof. ing. Nadežda Čuboňová, PhD. – Katedra Automatykacji i Systemów Produkcyjnych Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Technicznego w Žilinie (Słowacja), Univerzita 8215/1, 010 26 Žilina

BADANIA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI POŁĄCZEŃ LUTOWANYCH WYKONANYCH ZE STOPÓW ALUMINIUM

Research of selected properties of aluminum brazed joints

Katarzyna PETA

Streszczenie: W pracy omówiono ważniejsze właściwości połączeń nierozłącznych (lutowanych), wykonanych ze stopów aluminium, stosowanych m.in. w przemyśle motoryzacyjnym. Szczególną uwagę zwrócono na właściwości decydujące o końcowej jakości montowanych wyrobów. Uwzględniając warunki ich pracy, przedstawiono oczekiwania stawiane połączeniom lutowanym w konkretnym zastosowaniu. W tym celu wykonano badania materiałowe wybranych właściwości oraz przedstawiono uzyskane wyniki. Podjęto próbę określenia wpływu operacji lutowania na finalną jakość montowanych wyrobów, w tym głównie na ich trwałość. W końcowej części pracy zaprezentowano wnioski oraz kierunki dalszych badań.

Słowa kluczowe: połączenia montażowe, twardość, stopy aluminium

Abstract: The paper describes an important properties of aluminum inseparable joints (brazed), used in the automotive industry. Particular attention was paid to the characteristics which determine the quality of the final assembled products. Taking into account the conditions of their work, the expectations of brazed joints in the particular application was presented. To this aim the material research of selected properties and obtained results was shown. An attempt to determine the impact of the brazing quality of the product, mainly for their durability was made. In the final part of the paper was presented the conclusions and directions of further research.

Keywords: assembly joints, hardness, aluminum alloys

Wprowadzenie

Stopy aluminium ze względu na swoje właściwości są powszechnie stosowane w przemyśle: motoryzacyjnym, lotniczym, energetycznym i okrętowym. Do ich najważniejszych zalet zalicza się dobrą wytrzymałość w stosunku do gęstości właściwej, odporność korozyjną, przewodność cieplną, obrabialność plastyczną i lutowność [4-6, 9]. Ostatnia właściwość wskazuje na zdolność stopów aluminium do tworzenia trwałych połączeń lutowanych, które są niezastąpionym technicznie i ekonomicznie rodzajem połączeń montażowych nierozłącznych, stosowanym w licznych wyrobach. Występują one m.in. w instalacjach chemicznych, elektrycznych, elementach aparatury próżniowej, elektronicznej, a także w wymiennikach ciepła. Lutowanie znajduje zastosowanie w łączeniu elementów o zróżnicowanych i skomplikowanych kształtach, wymiarach i właściwościach, z zachowaniem dobrej przewodności cieplnej [1, 2, 7, 10].

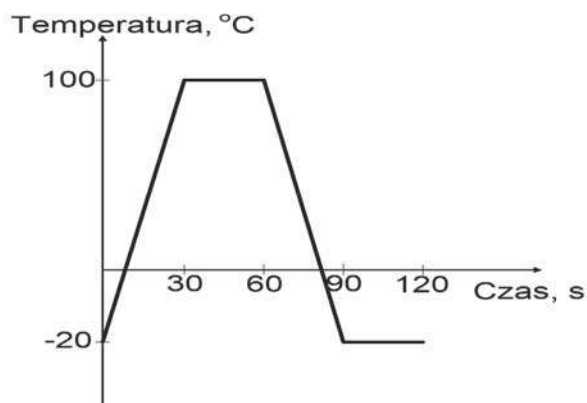
Połączenia lutowane w samochodowych wymiennikach ciepła muszą spełniać szereg wymagań eksploatacyjnych, związanych z warunkami ich pracy. Do podstawowych zalicza się: szczelność, wytrzymałość mechaniczną w warunkach drgań, odporność na korozję oraz szoki cieplne. Ponadto jednym z ważniejszych kryteriów oceny połączeń lutowanych są ich właściwości mechaniczne, określane przez wykonanie pomiarów mikrotwardości. Podczas kontroli jakości wyrobu finalnego pozwalają one na identyfikację krytycznych obszarów

w strefie lutowanych materiałów oraz ocenę poprawności przebiegu operacji lutowania [8].

Metodyka badań

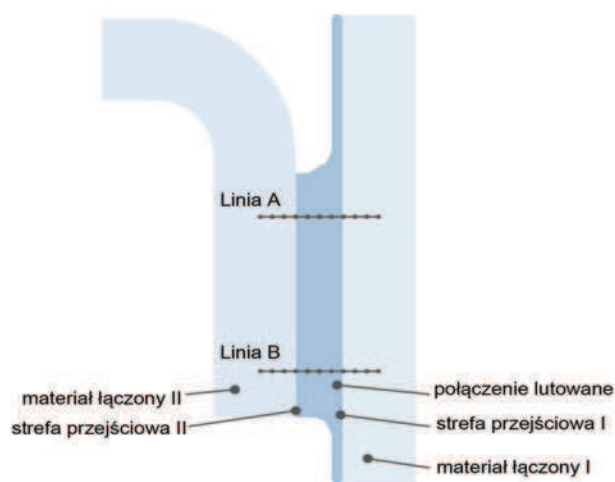
Badaniom trwałości poddano połączenia lutowane w chłodnicach cieczy, które wykonano z taśm na bazie stopu Al-Mn (seria 3xxx), platerowanych lutem Al-Si (seria 4xxx). Materiały te są powszechnie stosowane w produkcji samochodowych wymienników ciepła i lutowane w atmosferze azotu w piecach radiacyjno-konwekcyjnych, składających się ze stref: odtłuszczania cieplnego, elektrostatycznego nanoszenia topnika, nagrzewania, lutowania oraz chłodzenia w atmosferze kontrolowanej, a następnie w powietrzu atmosferycznym.

Do oceny trwałości połączeń lutowanych przeprowadzono badanie odporności na szoki cieplne w warunkach przepływu cieczy chłodzącej przez wymiennik ciepła, którego charakterystyki temperaturowo-czasowe przedstawiono na rys. 1. Uwzględniając kryteria oceny wyrobów definiowane przez ich producenta wykonano 1500 takich cykli, a następnie zweryfikowano szczelność połączeń lutowanych przez włączanie powietrza do zanurzonej w wodzie chłodnicy cieczy i identyfikację ewentualnych pęcherzy powietrza. Następnie określono zmiany rozkładu mikrotwardości w strefie łączonych materiałów po lutowaniu i badaniu odporności na szoki cieplne, stosując metodę Vickersa z obciążeniem 0,246 N, przyłożonym w czasie 5 s [8].



Rys. 1. Schemat rozkładu temperatury cieczy chłodzącej w funkcji czasu podczas badania odporności chłodnic cieczy na szoki cieplne

Fig. 1. Distribution of the coolant liquid temperature as a function of time during the thermal shock test for radiators



Rys. 2. Schemat próbki z zaznaczeniem punktów pomiaru mikrotwardości

Fig. 2. Scheme of sample with microhardness measurement points

Schemat analizowanej próbki oraz położenie punktów odcisków Vickersa przedstawiono na rys. 2. Pomiar mikrotwardości wykonano w pięciu wyodrębnionych strefach próbki, a następnie wzdłuż dwóch linii A i B, aby porównać ich rozkład w dwóch skrajnych obszarach połączenia lutowanego.

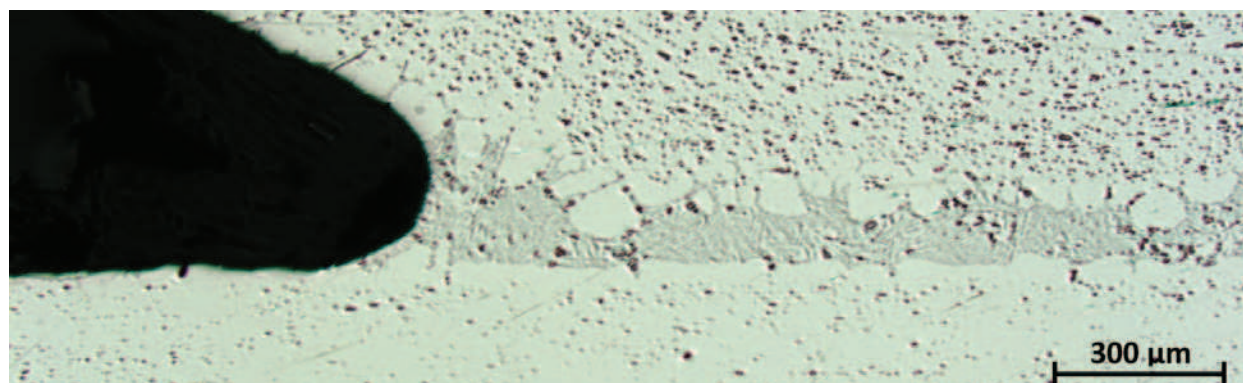
Wyniki badań i ich analiza

W celu oceny trwałości połączeń lutowanych po badaniu odporności na szoki cieplne, poza wizualną oceną uszkodzeń przeprowadzono obserwacje ich mikrostruktury, pomiary szczelności oraz określono rozkład mikrotwardości. Analiza otrzymanych wyników nie wykazała nieprawidłowości w strefach łączonych materiałów, zarówno po procesie wytwarzania, jak i po badaniu odporności na szoki cieplne. Oznacza to znikome prawdopodobieństwo uszkodzenia chłodnicy cieczy podczas eksploatacji, zatem podjęcie działań naprawczych lub zapobiegawczych nie jest wymagane. Na rys. 3 przedstawiono mikrostrukturę połączenia lutowanego

w analizowanym obszarze. Obserwacje mikroskopowe strefy łączonych materiałów nie wykazały wad struktury, w tym nieciągłości, pęknięć, wtrąceń lub pęcherzy gazowych.

Pomiary mikrotwardości wykonano po lutowaniu i badaniu odporności na szoki cieplne. Odciski Vickersa wykonano w obszarach łączonych materiałów, połączenia lutowanego oraz przejściowych (dyfuzyjnych). W tab. przedstawiono średnią arytmetyczną z trzech pomiarów wykonanych w każdym obszarze, a na rys. 4 wykres rozkładu mikrotwardości w funkcji odległości od osi połączenia lutowanego.

Uzyskano zbliżony rozkład mikrotwardości po lutowaniu i badaniu odporności na szoki cieplne. W miejscu połączenia lutowanego jej wartość jest większa od tej w materiale łączonym, co wynika z obecności krzemu jako składnika stopowego w warstwie lutu, który zwiększa twardość i jednocześnie wytrzymałość stopu. Uzyskane wartości mikrotwardości dla linii A i B są porównywalne, co oznacza zbliżony rozkład właściwości mechanicznych na długości analizowanego połączenia

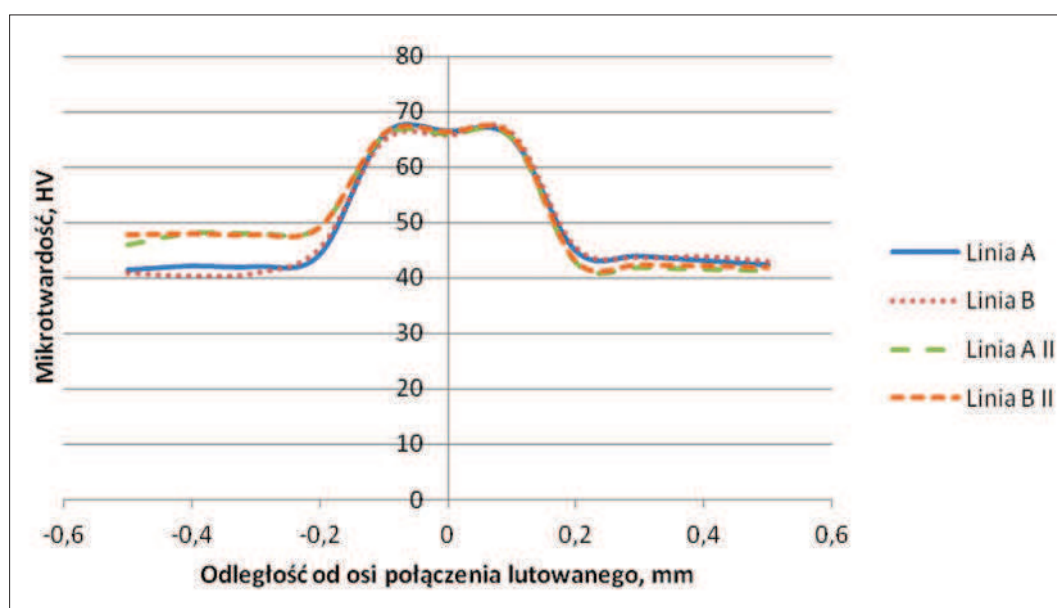


Rys. 3. Mikrostruktura połączenia lutowanego po badaniu odporności na szoki cieplne

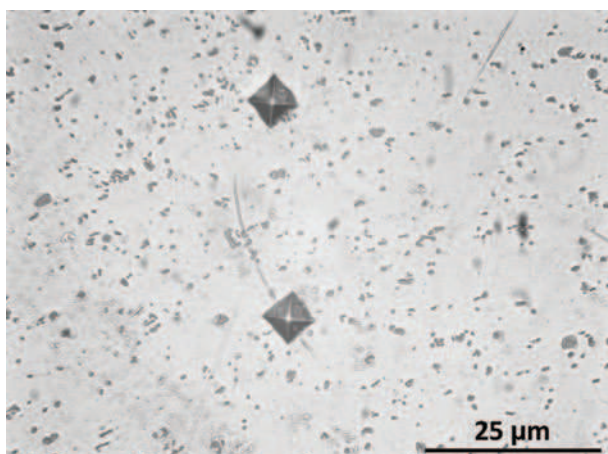
Fig. 3. The microstructure of brazed joint after thermal shocks test

Tabela. Wyniki pomiarów mikrotwardości w strefie łączonych materiałów
 Table. The results of the microhardness measurements in joined materials area

| Miejsce pomiaru | Wyniki mikrotwardości po lutowaniu | | Wyniki mikrotwardości po badaniu odporności na szoki cieplne | |
|-----------------------|------------------------------------|---------|--|---------|
| | Linia A | Linia B | Linia A | Linia B |
| Materiał łączony I | 42,1 | 40,9 | 48,0 | 47,8 |
| Strefa przejściowa I | 45,3 | 44,8 | 49,2 | 49,2 |
| Połączenie lutowane | 66,5 | 65,8 | 65,9 | 66,4 |
| Strefa przejściowa II | 43,8 | 43,1 | 42,8 | 43,0 |
| Materiał łączony II | 43,5 | 43,6 | 41,6 | 42,2 |



Rys. 4. Rozkład mikrotwardości w strefie lutowanych materiałów
 Fig. 4. Distribution of microhardness in brazed materials area



Rys. 5. Odciski Vickersa w strefie łączonego materiału
 Fig. 5. Vickers indentation in assembled material area

lutowanego [3]. Na rys. 5 przedstawiono przykładowe odciski, otrzymane po pomiarach mikrotwardości metodą Vickersa.

Podsumowanie

Mikrowardość jest jedną z głównych właściwości mechanicznych, której pomiary wykonywane są w celu określenia odporności materiału na odkształcenia trwałe, powstające pod wpływem działania sił skupionych. Ich zaletą jest niewielkie uszkodzenie materiału oraz możliwość oszacowania innych właściwości mechanicznych, m.in. wytrzymałości na rozciąganie, granicy plastyczności. Znajomość właściwości materiałów, w tym twardości w strefie łączonych materiałów oraz zjawisk zachodzących podczas lutowania pozwala na jego usprawnianie oraz lepsze sterowanie systemem kontroli jakości wyrobów finalnych. Przeprowadzone badania potwierdziły, że wartość mikrotwardości nie zmienia się po badaniu odporności na szoki cieplne, czyli w warunkach imitujących

pracę samochodowych chłodziaczy cieczonej. Istnieje zatem niewielkie prawdopodobieństwo ich uszkodzenia w trakcie eksploatacji w wyniku przepływu cieczonej cieczonej o temperaturze od -20°C do 100°C.

LITERATURA

- [1] Ambroziak A. i in. 2009. „Lutowanie twarde aluminium i jego stopów”. *Przegląd Spawalnictwa* (2): 10–14.
- [2] Dai W. et. al. 2012. “Torch brazing 3003 aluminum alloy with Zn-Al filler metal”. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 22, 30–35.
- [3] Dai W. et. al. 2012. “Microstructure and Properties of 6061 Aluminum Alloy Brazing Joint with Al-Si-Zn Filler Metal”. *Materials Transactions*, vol. 53 (9): 1638–1643.
- [4] Dudzik K. 2011. “Mechanical properties of 5083, 5059 and 7020 aluminium alloys and their joints welded by MIG”. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, vol. 18 (3): 73–77.
- [5] Dudzik K. 2011. „Wpływ spawania na rozkład twardości w złączu spawanym na przykładzie stopu AW-7020”. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni* (71): 32–37.
- [6] Hua L., J. Hua. 2011. “The Metallographic Structure and Mechanical Properties of the Brazing Weld of 3003 Aluminum Alloy”. *Advanced Material Research*, vol. 287–290, 3098–3101.
- [7] Ma C. et. al. 2011. “Correlation between brazed joint elevated strength, microstructure and brazing processing parameter of Inconel superalloy”. *Acta Metallurgica Sinica*, vol. 24 (3), 205–212.
- [8] „Metaloznawstwo”, pod red. J. Hucińskiej, Politechnika Gdańska, 1995.
- [9] Pokova M., M. Cieslar, J. Lacaze. 2011. “Enhanced AW3003 Aluminum Alloys for Heat Exchangers”. *WDS'11 Proceedings of Contributed Papers, Part III*, 141–146.
- [10] Rudawska A., P. Trebik. 2012. „Analiza porównawcza wytrzymałości połączeń klejowych i lutowanych blach stalowych”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (4): 45–49.

mgr inż. Katarzyna Peta – Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: katarzyna.p.peta@doctorate.put.poznan.pl

KOSZTY STANOWISKOWE W OPERACJACH MONTAŻU

Costs of work-stands in the assembly operations

Krystyna SKOCZYLAS

Streszczenie: Artykuł przedstawia różnorodność kosztów występujących w obliczeniach kosztu realizacji operacji technologicznych. Omówienie to zawiera spojrzenie z perspektywy układu rodzajowego i kalkulacyjnego kosztów. Z uwagi na aktualną tendencję automatyzacji produkcji zwraca uwagę na różnice w podziale kosztów, odnoszące się do operacji montażu realizowanych manualnie oraz w sposób automatyczny. Przedstawione omówienie kosztów jest wstępem do przygotowania matematycznego modelu kosztów stanowiskowych procesu wytwarzania.

Słowa kluczowe: koszty, proces wytwarzania

Abstract: The paper presents a variety of costs occurring in the calculation of the technological operations cost. Discussion of the costs includes a look from the perspective of the generic and the calculation systems of costs. Due to the current trend of production automation draws attention to the differences in the distribution of costs relating to the assembly operations performed manually and automatically. The presented discussion is an introduction to the preparation of a mathematical costs model in the manufacturing processes.

Key words: costs, manufacturing process

Wstęp

Każda działalność gospodarcza przedsiębiorstwa związana jest z ponoszeniem kosztów. Koszty definiowane są jako wyrażone w pieniądzu zużycie środków i przedmiotów pracy, usług obcych oraz samej pracy, jak również niektóre wydatki, które nie są wynikiem zużycia, np. podatki od nieruchomości [1]. Koszty powstają wyłącznie na skutek zużycia związanego z działalnością przedsiębiorstwa w określonej jednostce czasu, w celu osiągnięcia korzyści ekonomicznych. Wyrażenie zużycia różnych czynników produkcji w postaci kosztów daje m.in. możliwość oceny opłacalności zastosowania różnych form i metod działania, możliwość porównania wielkości zużycia i osiągniętych efektów, ocenę opłacalności zamiany jednych materiałów na inne, zastąpienia pracy ręcznej automatyczną, czy też porównania zużycia wielkości ponoszonych kosztów na tle konkurencji [6]. W każdym z wymienionych przypadków zachodzi potrzeba odpowiedniej identyfikacji ponoszonych kosztów oraz właściwego ich rozdziału i zakwalifikowania. Tego typu podejście pozwala na wiarygodne ustalenie wielkości kosztów, odnoszących się do wybranych obszarów i na tej podstawie podejmowanie dalszych działań.

Klasyfikacja kosztów oraz kalkulacja kosztów własnych produkcji

Koszty produkcji związane są przede wszystkim z zastosowanymi materiałami, technologicznością produktu, skalą produkcji, kosztami pracy, skutecznością i efektywnością firmy [4]. Ze względu na różnorodność ponoszonych przez przedsiębiorstwo kosztów mogą być one różnie klasyfikowane. Wybrany przez przedsiębiorstwo podział kosztów może służyć celom sprawozdawczym oraz potrzebom wewnętrznym przedsiębiorstwa, związanym z zarządzaniem kosztami.

Wykorzystanie informacji o ponoszonych kosztach na potrzeby zarządzania wymaga znajomości ich elementów składowych [8]. Podział kosztów globalnych na części składowe jest podstawą prawidłowego ustalania wielkości poniesionych kosztów oraz oceny efektywności działalności gospodarczej przedsiębiorstwa. Wynika to z faktu, że na składniki kosztów mogą wpływać różne czynniki i z różną siłą. Posiadanie informacji o poszczególnych składnikach kosztów daje możliwość ustalenia kosztów i wyników określonych wycinków działalności gospodarczej.

Mając na uwadze możliwość dokonania kalkulacji kosztów własnych produkcji istotny jest podział kosztów wg rodzaju. Rodzajowy rachunek kosztów obejmuje koszty proste, ujęte zgodnie z ich treścią ekonomiczną. Taki podział kosztów możliwy jest we wszystkich branżach. Podział kosztów wg rodzaju przedstawiono w tab. I.

W przedsiębiorstwach produkcyjnych istotne jest również grupowanie kosztów w układzie kalkulacyjnym. Według tego kryterium koszty grupuje się ze względu na ich związek z wytwarzanymi produktami [2, 7]. Relacja pomiędzy obiektem a kosztami, które się do niego odnoszą, wyznaczona jest przez realność i celowość dokładnego przyporządkowania tych kosztów do danego obiektu. Zgodnie z tym kryterium wyróżnia się koszty:

- bezpośrednie, które można odnieść na nośniki (produkt, działalność) lub miejsca powstawania kosztów na podstawie dokumentów źródłowych zużycia oraz to odniesienie jest nie tylko możliwe, ale również istotne i opłacalne,
- pośrednie, gdzie przypisanie kosztów na podstawie dokumentów źródłowych jest niemożliwe, bądź nieopłacalne czy nieistotne, ponieważ koszty te powstały w związku z ogólnymi potrzebami całej firmy lub wydziału wytwórczego. Należy jednak zwrócić uwagę, że koszty wydziału będą kosztami bezpośrednimi w stosunku do miejsca powstawania jakim

Tabela I. Układ rodzajowy kosztów
Table I. Generic system of costs

| Rodzaj kosztu | Treść |
|--|---|
| Amortyzacja | Odpisy amortyzacyjne środków trwałych oraz wartości niematerialnych i prawnych wykorzystywanych w procesie produkcji, jak np. amortyzacja maszyn, urządzeń, budynków i budowli wydziału produkcyjnego, amortyzacja narzędzi, przyrządów produkcyjnych, narzędzi i przyrządów specjalnych |
| Zużycie materiałów i energii | Materiały bezpośrednio produkcyjne, energia napędowa maszyn i urządzeń, oleje, smary zużyte na cele ruchu maszyn i urządzeń, zużycie materiałów technologicznych (pomocniczych) np. materiały spawalnicze, farby, lakiery, pasy, liny, emulsje do chłodzenia, koszty ogrzewania, oświetlenia, utrzymania czystości, części zamienne maszyn i urządzeń, opakowania, zużycie wody, sprężonego powietrza, energia elektryczna, materiały biurowe. |
| Usługi obce | Obróbka obca, np. obróbka termiczna, farbowanie, szlifowanie, koszty transportu obcego związanego np. z materiałami bezpośrednimi, usługi remontowe maszyn i urządzeń produkcyjnych, napraw i konserwacji, koszty konserwacji i remontów np. budynków i budowli wydziału, czynsze i najem nieruchomości, w tym opłaty z tytułu leasingu operacyjnego, wynajem sprzętu, usługi projektowe, koszty przygotowania nowej produkcji, badania i ekspertyzy naukowe. |
| Podatki i opłaty | Podatki kosztowe np. podatek od nieruchomości, podatek gruntowy, opłaty za ochronę środowiska. |
| Wynagrodzenia | Wynagrodzenie brutto np. pracowników bezpośrednio produkcyjnych, dopłaty i płace uzupełniające pracowników bezpośrednio produkcyjnych niezaliczane do płac bezpośrednich, np. godziny nadliczbowe, premie za ilość wykonanej produkcji, dopłaty za szkodliwe warunki pracy, za pracę nocną, płace kierownictwa wydziału, ogólnej obsługi wydziału. |
| Ubezpieczenia społeczne i inne świadczenia | Składki na ubezpieczenia społeczne obciążające pracodawcę, składki na Fundusz Pracy, FGŚP, koszty szkolenia BHP, odpisy na ZFŚS i inne. |
| Pozostałe koszty | Ubezpieczenia rzeczowe, ekwiwalenty za zużyte przy wykonywaniu pracy narzędzia, materiały lub sprzęt stanowiący własność wykonawcy. |

Źródło: opracowanie własne na podstawie Gierusz J., Plan kont z komentarzem. Handel. Produkcja. Usługi., ODDK, Gdańsk 2002, s. 369–418.

jest wydział, ale kosztami pośrednimi w stosunku do wytwarzanych w tym wydziale wyrobów gotowych.

Dokładne omówienie powyższych kosztów przedstawia tab. II.

W celach decyzyjnych istotny jest podział kosztów ze względu na stopień ich zależności od rozmiarów produkcji. Zgodnie z tym kryterium wyróżnia się koszty stałe i zmienne. Koszty stałe to koszty gotowości produkcyjnej [3]. Wielkość tych kosztów utrzymuje się w zasadzie na jednakowym poziomie, niezależnie od rozmiarów produkcji. Natomiast wielkość kosztów zmiennych jest uzależniona od wielkości produkcji.

W przedsiębiorstwach produkcyjnych, a zwłaszcza o zróżnicowanym programie produkcyjnym, istotne znaczenie dla precyzyjnego rozliczenia kosztów ma ich grupowanie wg miejsc powstawania (np. warsztaty, gniazda produkcyjne, stanowiska pracy) [9]. Podział kosztów wg miejsc powstawania ma na celu zwiększenie odpowiedzialności za ponoszone koszty, jak również planowanie i kontrolę kosztów [5]. Zgodnie z tym kryterium wyróżnia się koszty działalności podstawowej, pomocniczej, zarządu, zakupu i sprzedaży. Koszty działalności podstawowej produkcyjnej można rozpatrywać jako koszty produkcji podstawowej oraz koszty wydziałowe. Przy pogłębionym podziale miejsc powstawania kosztów możliwa jest obserwacja kosztów stanowiskowych [9]. W tym przypadku miejscami powstawania kosztów są poszczególne grupy maszyn, pojedyncze maszyny albo stanowiska pracy.

Koszty stanowiskowe można rozpatrywać w ramach kalkulacji kosztów jako bezpośrednie i pośrednie. Bezpośrednie koszty stanowiskowe obejmują ogół kosztów, które można bezpośrednio przypisać do stanowiska produkcyjnego. Natomiast pośrednie koszty stanowiskowe to te, które rozlicza się na stanowiska produkcyjne za pomocą kluczy rozliczeniowych. Koszty stanowiskowe można również rozpatrywać w układzie rodzajowym.

Koszty stanowisk operacji montażowych

Stanowisko robocze ściśle kojarzy się z określonym miejscem zlokalizowanym w obszarze zakładu produkcyjnego, gdzie realizowane są określone działania, wynikające z realizowanego procesu produkcyjnego. Stanowiska montażowe obok stanowisk obróbkowych są podstawowymi miejscami realizującymi operacje technologiczne i w stosunku do nich prowadzone są kalkulacje dotyczące czasów i kosztów wytwarzania. Analizując różnorodność kosztów stanowisk montażowych można zauważyć pewną grupę kosztów występującą w każdym przypadku i odnoszącą się do zajmowanego miejsca. Z racji różnorodności prowadzonych prac stanowiska montażowe mogą znacząco różnić się wyposażeniem, co bezpośrednio przekłada się na generowane na stanowisku koszty, ich różnorodność i sposób obliczeń. Odmiennie składniki kosztów będą występowały na samodzielnych stanowiskach z montażem ręcznym, inne przy liniach montażowych, czy montażu automatycznym. Rozpatrując koszty stanowiskowe z tytułu

Tabela II. Koszty w układzie kalkulacyjnym
Table II. Calculation system of costs

| Koszty bezpośrednie | Koszty pośrednie |
|---|--|
| <p>Materiały bezpośrednie: zużyte materiały wchodzące w skład substancji produktu lub bezpośrednio związane z procesem technologicznym oraz opakowania zaliczane do poszczególnych produktów. Mogą obejmować również półfabrykaty własnej produkcji.</p> <p>Płace bezpośrednie: koszty pracowników zatrudnionych bezpośrednio w procesie wytwórczym.</p> <p>Inne koszty bezpośrednie: zużycie narzędzi i przyrządów specjalnych, koszty przygotowania nowej produkcji np. szkolenia pracowników na potrzeby wytwarzania nowych wyrobów, obróbka obca.</p> | <p>Koszty wydziałowe – koszty pośrednie produkcji (amortyzacja, remonty i konserwacje, energia, organizacja i kierowanie wydziałem). Koszty te ujmowane są według poszczególnych wydziałów lub oddziałów i stanowisk wchodzących w ich skład.</p> <p>Koszty zarządu to koszty związane z zarządzaniem przedsiębiorstwem jako całością.</p> <p>Koszty sprzedaży są związane z czynnościami sprzedaży.</p> <p>Koszty zakupu – obejmują koszty związane z zakupem materiałów.</p> |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Sawicki K., Analiza kosztów firmy, PWE, Warszawa 2000, s. 121–124.

wydzielonego miejsca w pierwszej kolejności należy odnieść je do amortyzacji przypadającej na zajmowaną powierzchnię. Chodzi tutaj o amortyzację budynku i jego wyposażenia. Do kosztów danego stanowiska należy przypisać m.in. zużycie energii elektrycznej, ogrzewanie, utrzymanie czystości. W niektórych przypadkach, zakładając że ogół kosztów występujących w przedsiębiorstwie odnoszony jest do stanowisk produkcyjnych, na stanowiska te należy rozliczyć również powierzchnie transportowe, magazynowe, pomocnicze. Rozliczenie takie może być zrealizowane wg przyjętego klucza. W podobny sposób mogą być przypisane do stanowiska również koszty innego rodzaju. Sposób działania zależy od rodzaju prowadzonych analiz oraz przeznaczenia opracowanej kalkulacji.

Rozpatrując koszty wynikające z różnych form montażu i tym samym wyposażenia stanowisk, należy liczyć się ze znaczną różnorodnością kosztów. Najprostszy sposób obliczeń występuje dla samodzielnych stanowisk montażu ręcznego. W takich przypadkach koszty stanowiskowe będą obejmowały koszty pracownicze oraz koszty wyposażenia stanowiska. Można tu zaliczyć różnego rodzaju narzędzia, przyrządy, uchwyty, wykorzystywaną energię oraz środki pomocnicze. W kalkulacjach pozbawionych odrębnych obliczeń kosztów operacji transportowych czy magazynowych na takie stanowiska należy również rozdzielić koszty tych operacji.

Dla linii montażowych z montażem ręcznym oprócz kosztów pracowniczych oraz wyposażenia, które może być podobne jak w przypadku samodzielnych stanowisk montażowych do poszczególnych stanowisk należy doliczyć koszty wspólnej linii transportowej. Oczywiście rozliczenie tych kosztów może być zrealizowane wg odpowiednio opracowanego klucza rozliczeniowego. Wymieniona linia transportowa zastąpi środki transportu jakie są niezbędne w przypadku obsługi odrębnych stanowisk montażowych. W montażu automatycznym zminimalizowane są, ale niewykluczone całkowicie koszty pracownicze, gdyż nadzór nad przebiegiem produkcji jest niezbędny. Rosną z kolei koszty związane z robotami i manipulatorami obsługującymi stanowiska montażowe. Ponadto należy liczyć się ze zwiększoną awaryjnością i koniecznymi remontami linii automatycznych, co również musi być wkalkulowane w koszty stanowiska. W pracach przygotowawczych

produkcji dodatkowo dochodzą koszty zaprogramowania wykorzystywanych maszyn.

Podsumowanie

Podjmując kalkulację kosztów stanowisk roboczych w wielu wypadkach należy liczyć się ze znaczną złożonością zagadnienia. O ile z kosztami odnoszonymi do analizowanego stanowiska nie ma większych problemów, tak w przypadku rozliczenia kosztów wspólnych zadanie może okazać się złożone. Działania służące jak najdokładniejszemu określeniu kosztów stanowiskowych są jednak niezbędne. Na ich podstawie można podejmować dalsze decyzje dotyczące opłacalności produkcji i konkurencyjności przedsiębiorstwa. Są to niezbędne działania w wolnorynkowym, konkurencyjnym środowisku. Przedstawiona problematyka jest elementem prowadzonych prac, mających na celu przygotowanie spójnego modelu kalkulacji kosztów produkcji w przedsiębiorstwie na potrzeby ich wyceny i optymalizacji.

Literatura

- [1] Gierusz B. 2001. „Podręcznik samodzielnej nauki księgowania”. Gdańsk: ODDK.
- [2] Gierusz J. 2002. „Plan kont z komentarzem. Handel. Produkcja. Usługi.” Gdańsk: ODDK.
- [3] Karmańska A. 1995. „Koszty w przedsiębiorstwie”. Warszawa: Infor.
- [4] Matuszek J., M. Kołosowski, Z. Krokosz-Krynke. 2011. „Rachunek kosztów dla inżynierów”. Warszawa: PWE.
- [5] Matuszewicz J. 1995. „Rachunek kosztów”. Warszawa: Finans-Servis.
- [6] Matuszewicz J. P. Matuszewicz. 2001. „Rachunkowość od podstaw”. Warszawa: Finans-Servis.
- [7] Naumiuk T. 1995. „Koszty i ich klasyfikacja”. Warszawa: Infor.
- [8] Nowak E. 2003. „Rachunek kosztów przedsiębiorstwa”. Wrocław: Ekspert, Wrocław.
- [9] Warnecke H.J. i in. 1993. „Rachunek kosztów dla inżynierów”. Warszawa: WNT.

dr Krystyna Skoczylas – Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, e-mail: kszyb@prz.edu.pl

ANALIZA WPLYWU WYBRANYCH PARAMETRÓW PNEUMOKULOWANIA NA NOŚNOŚĆ JEDNOZAKŁADKOWYCH POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH STOPU TYTANU Ti6Al4V

Analysis of the impact of shot peening parameters on the capacity of single lap adhesive joints of titanium alloy Ti6Al4V

Władysław ZIELECKI, Katarzyna KORZYŃSKA

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu umacniania metodą pneumatycznego kulowania jednozakładkowych połączeń klejowych ze stopu tytanu Ti6Al4V. Obróbka umacniająca zwiększyła nośność badanych połączeń klejowych o 24–52%. Analiza statystyczna uzyskanych wyników badań wykazała, że w przyjętym obszarze zmienności parametrów technologicznych procesu pneumatycznego kulowania na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, ciśnienie p , średnica stalowych kulek d oraz czas obróbki t nie wpływają w istotny sposób na właściwości wytrzymałościowe zakładkowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V.

Słowa kluczowe: połączenia klejowe, pneumatyczne kulowanie, wytrzymałość na ścinanie

Abstract: The paper presents the results of research on the impact of strengthening of lap adhesive joints of titanium alloy Ti6Al4V with the use of shot peening method. Treatment of appreciating increased load capacity of tested adhesive joints from 24 to 52%. The statistical analysis of the results showed that in the adopted area variability of technological parameters of shot peening: pressure p , the diameter of the steel balls d and the processing time t does not significantly affect the properties of the strength of adhesive lap joints of titanium alloy Ti6Al4V.

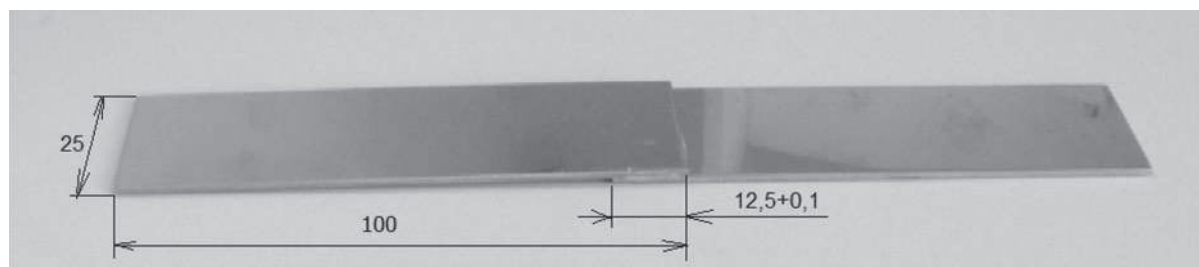
Key words: adhesive joints, shot peening, shear strength

Nagniatanie strumieniowe dynamiczne (pneumatyczne kulowanie) jest procesem obróbki, podczas którego powierzchnia obrabianego przedmiotu jest uderzana małymi twardymi drobinami (kulki szklane, śrut, kulki łożyskowe) rozpędzonym strumieniem sprężonego powietrza. Ten rodzaj obróbki powoduje wzrost twardości warstwy wierzchniej materiału i ukonstytuowanie w niej naprężeń ściskających własnych, pochodzących od powierzchniowego odkształcenia plastycznego. Stan warstwy wierzchniej korzystnie wpływa na właściwości użytkowe części maszyn, w szczególności na ich wytrzymałość zmęczeniową [1, 2]. Ściskające naprężenia własne ukonstytuowane podczas nagniatania połączenia klejowego powodują odkształcenie powierzchni zakładki i dociśnięcie krawędzi zakładki klejonych części, co z kolei wpływa na wzrost wytrzymałości zakładkowego połączenia klejowego [4, 5].

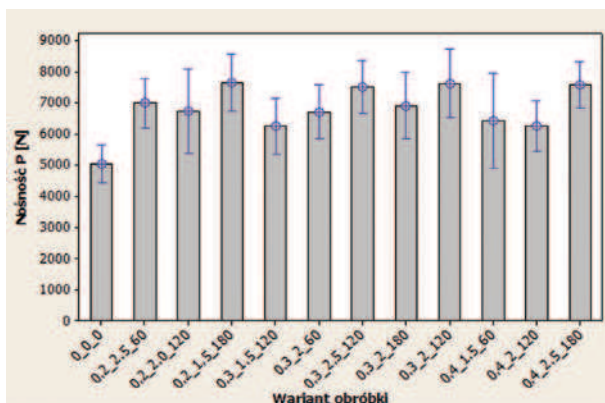
Pneumatyczne kulowanie jest procesem, o którego efektach decydują m.in. takie parametry jak: ciśnienie powietrza, liczba dysz, kąt padania kulek, odległość dyszy od obrabianego przedmiotu, czas obróbki i rodzaj drobiwa (średnica kulek, masa), przy czym parametrami sterowanymi urządzeń do pneumatycznego kulowania, które nie zależą od ich konstrukcji, są: ciśnienie powietrza, czas obróbki i średnica kulek [6-9].

Badania własne

Celem badań było przeprowadzenie analizy statystycznej wpływu wybranych parametrów pneumatycznego kulowania na nośność zakładkowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V. Do badań wykorzystano próbki wykonane ze stopu tytanu Ti6Al4V (o zawartości procentowej:



Rys. 1. Jednozакładkowe połączenie klejowe stopu tytanu Ti6Al4V stosowanego w badaniach
Fig. 1. Single lap adhesive joints of titanium alloy Ti6Al4V used of the test



Rys. 2. Wpływ parametrów pneumatyzacji na nośność P jednozakładkowych połączeń klejowych ze stopu tytanu Ti6Al4V (ciśnienie: $p = 0,2-0,4$ MPa, średnica kulek: $d = 1,5-2,5$ mm, czas obróbki: $t = 60-180$ s)

Fig. 2. Effect of shot peening on the load-bearing capacity P single lap adhesives joints of titanium alloy Ti6Al4V (pressure: $p = 0,2-0,4$ MPa, the diameter of the balls: $d = 1,5-2,5$ mm, treatment time: $t = 60-180$ s)

wanad 3,5–4, żelazo $\leq 0,3$, tlen $\leq 0,2$, azot $\leq 0,05$, węgiel $\leq 0,08$, wodór $\leq 0,01$, aluminium 5,5–6,75, tytan – reszta) o wymiarach: 100 mm długości, 25 mm szerokości i grubości 2 mm, które sklejono na zakładkę o długości 12,5 mm klejem Araldite 2014-1 (rys. 1). Araldite 2014-1 jest klejem dwuskładnikowym, powstającym podczas mieszania w specjalnej końcówce żywicy epoksydowej z utwardzaczem w proporcji 2:1 w trakcie wyciskania składników kompozycji z tuby specjalnym pistoletem. Łączone płytki ustalano w specjalnym uchwycie, zapewniającym uzyskanie zakładki o długości $12,5 \pm 0,1$ mm. Utwardzanie spoin klejowych przebiegało w temperaturze pokojowej $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Następnie sklejone próbki poddano pneumatyzacji. Podczas obróbki dla kolejnych grup próbek zmieniano parametry obróbki w następujących zakresach: ciśnienie $p = 0,2-0,4$ MPa, średnica stalowych kulek: $d = 1,5-2,5$ mm, czas obróbki: $t = 60-180$ s. Dla każdego wariantu umocniono po 5 próbek. Liczebność próby 5 szt. przyjęto z nomogramu do wyznaczania niezbędnej liczebności próby [3], uwzględniając wartość współczynnika zmienności wariantu podstawowego $V_p = 9,73\%$ oraz założonej dokładności $\varepsilon = 10\%$.

Umocnione próbki poddano badaniom wytrzymałości na ścinanie na maszynie wytrzymałościowej INSTRON ElectroPlus™ E10000 z prędkością 5 mm/min. Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. 2 oraz w tab. I, w której zamieszczono średnie wartości nośności P_{sr} i wytrzymałości na ścinanie R_{tsr} , wyznaczone z 5 próbek, rozstęp nośności połączeń $P_{\text{min}}-P_{\text{max}}$, odchylenie standardowe nośności połączeń σ_P , współczynnik zmienności (Pearsona) V_p oraz względną zmianę procentową nośności próbek pneumatyzowanych do nieumocnianych ΔP .

Przeprowadzone badania wykazały, że w następstwie pneumatyzacji wzrosła nośność badanych połączeń o 23,97 do 51,93% w zależności od parametrów obróbki umacniającej, przy czym największy wzrost dotyczył grupy próbek pneumatyzowanych z ciśnieniem $p = 0,2$ MPa, kulkami o średnicy $d = 1,5$ mm przez czas $t = 180$ s.

W dalszej części badań przeprowadzono analizę statystyczną uzyskanych wyników przy użyciu programu MiniTab. W ramach badań statystycznych przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA, test t-Studenta grup próbek przygotowanych do badań wytrzymałościowych zgodnie z przyjętymi wariantami obróbki, analizę regresji nośności połączeń P kolejno od

Tabela I. Wyniki badań wytrzymałościowych jednozakładkowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V umocnionych metodą pneumatyzacji

Table I. Results of strength tests of single lap adhesive joints of titanium alloy Ti6Al4V after shot peening

| Wariant obróbki | | | P_{sr} [N] | R_{tsr} [MPa] | $P_{\text{min}} - P_{\text{max}}$ [N] | σ_P [N] | V_p [%] | ΔP [%] |
|-----------------|----------|---------|---------------------|------------------------|---------------------------------------|----------------|-----------|----------------|
| p [MPa] | d [mm] | t [s] | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 5036,4 | 16,12 | 4638-5863 | 490,22 | 9,73 | - |
| 0,2 | 2,5 | 60 | 7003,6 | 22,40 | 5954-7628 | 643,92 | 9,19 | 39,06 |
| 0,2 | 2,0 | 120 | 6728,0 | 21,53 | 5417-7885 | 1093,35 | 16,25 | 33,59 |
| 0,2 | 1,5 | 180 | 7651,8 | 24,48 | 6341-8164 | 743,56 | 9,72 | 51,93 |
| 0,3 | 1,5 | 120 | 6243,8 | 19,98 | 5254-7062 | 737,99 | 11,82 | 23,97 |
| 0,3 | 2,0 | 60 | 6707,6 | 21,62 | 5587-7426 | 700,23 | 10,44 | 33,18 |
| 0,3 | 2,5 | 120 | 7520,4 | 24,06 | 6720-8442 | 681,78 | 9,07 | 49,32 |
| 0,3 | 2,0 | 180 | 6918,6 | 22,14 | 5958-7873 | 860,59 | 12,44 | 37,37 |
| 0,3 | 2,0 | 120 | 7627,8 | 24,34 | 6075-8272 | 887,15 | 11,63 | 51,45 |
| 0,4 | 1,5 | 60 | 6420,2 | 20,51 | 5093-7886 | 1238,50 | 19,29 | 27,48 |
| 0,4 | 2,0 | 120 | 6249,0 | 20,00 | 5696-7087 | 661,11 | 10,58 | 24,08 |
| 0,4 | 2,5 | 180 | 7592,2 | 24,28 | 6890-8241 | 605,25 | 7,97 | 50,70 |

Tabela II. Wyniki analizy One-way ANOVA
Table II. Results of the analysis One-way ANOVA

| Zmienna niezależna | DF | SS | MS | S ² | F | P _v |
|--------------------|----------|----------------|----------------|----------------|-------------|----------------|
| p | 2 | 1102918 | 551459 | 852852 | 0,65 | 0,528 |
| Error | 52 | 44349113 | 852868 | | | |
| Total | 54 | 45452031 | | | | |
| d | 2 | 3396459 | 1698229 | 808740 | 2,1 | 0,133 |
| Error | 52 | 42055572 | 808761 | | | |
| Total | 54 | 45452031 | | | | |
| t | 2 | 3856713 | 1928357 | 799951 | 2,41 | 0,100 |
| Error | 52 | 41595317 | 799910 | | | |
| Total | 54 | 45452031 | | | | |

DF – liczba stopni swobody, SS – suma kwadratów, MS – średnia suma kwadratów, S² – wariancja, F – wartość testu F, P_v – poziom prawdopodobieństwa

zmiennych niezależnych: ciśnienia *p*, średnicy kulek *d*, czasu obróbki *t*, dodatkowo sporządzono wykresy Boxplot oraz wykresy warstwowe.

Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA przedstawiono w tab. II. Wskazują one, że w badanym obszarze zmienności parametry technologiczne pneumatyzacji: ciśnienie *p*, średnica kulek *d*, czas obróbki *t*, na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ nie wywierają istotnego wpływu na nośność umocnianych połączeń klejowych.

W kolejnym kroku przeprowadzono test t-Studenta, który pozwolił określić grupy próbek (warianty obróbki), różniące się między sobą na przyjętym poziomie istotności $\alpha = 0,05$ ($\alpha = 5\%$). Wyniki testu t-Studenta

przedstawiono w tab. III. Wartości wskaźnika P_v mniejsze od 5% wskazują na istotne różnice nośności badanych grup połączeń klejowych. Istotne różnice występują pomiędzy próbkami nieumocnianymi a próbkami obrabionymi metodą pneumatyzacji. Można zatem stwierdzić, że proces pneumatyzacji w istotny sposób wpływa na nośność jednozakładowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V. Spośród próbek pneumatyzowanych, próbki obrabione wg wariantu 0.4_2.5_180 istotnie statystycznie różnią się od 7 innych grup próbek poddanych obróbce strumieniem kulek.

Zamieszczone w tab. 4 wyniki analizy regresji oraz wykresy Boxplot (rys. 4) wskazują, że wydłużając czas obróbki *t* oraz zwiększając średnicę kulek *d* uzyskuje

Tabela III. Wyniki testu t-Studenta
Table III. Results of t test

| P _v [%] | 0.2_2.5_60 | 0.2_2.0_120 | 0.2_1.5_180 | 0.3_1.5_120 | 0.3_2.0_60 | 0.3_2.5_120 | 0.3_2.0_180 | 0.3_2.0_120 | 0.4_1.5_60 | 0.4_2.0_120 | 0.4_2.5_180 |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0_0_0 | 0,039 | 1,093 | 0,016 | 0,940 | 0,155 | 0,013 | 0,237 | 0,054 | 3,279 | 0,613 | 0,005 |
| 0.2_2.5_60 | x | | | | | | | | | | |
| 0.2_2.0_120 | 32,160 | x | | | | | | | | | |
| 0.2_1.5_180 | 8,979 | 8,095 | x | | | | | | | | |
| 0.3_1.5_120 | 6,086 | 21,938 | 0,847 | x | | | | | | | |
| 0.3_2.0_60 | 25,321 | 48,649 | 3,634 | 16,896 | x | | | | | | |
| 0.3_2.5_120 | 12,647 | 10,665 | 38,916 | 1,096 | 5,000 | x | | | | | |
| 0.3_2.0_180 | 43,219 | 38,381 | 9,409 | 11,035 | 34,116 | 12,847 | x | | | | |
| 0.3_2.0_120 | 12,099 | 9,621 | 48,210 | 1,434 | 5,408 | 41,788 | 11,771 | x | | | |
| 0.4_1.5_60 | 19,300 | 34,404 | 5,057 | 39,643 | 33,329 | 6,537 | 24,177 | 5,907 | x | | |
| 0.4_2.0_120 | 5,246 | 21,563 | 0,689 | 49,546 | 15,906 | 0,863 | 10,370 | 1,279 | 39,704 | x | |
| 0.4_2.5_180 | 8,743 | 8,555 | 44,651 | 0,940 | 0,155 | 0,013 | 0,237 | 0,054 | 3,279 | 0,613 | x |

Tabela IV. Wyniki analizy regresji nośności P jednozakładkowych połączeń klejowych od zmiennych parametrów pneumokulowania: ciśnienia p , średnicy kulek d , czasu obróbki t
 Table IV. Results of the regression analysis the load P single lap adhesive joints of variables pneumokulowania parameters: pressure p , diameter of the balls d , the treatment time t

| Zależność nośności P od zmiennej niezależnej: | Otrzymane równanie regresji | P_v |
|---|--|-------|
| p | $y_P = 7530 - 1870 x_p$ | 0,268 |
| d | $y_P = 5769 + 600 x_d$ | 0,073 |
| t | $y_P = 6292 + 5,64 x_t$ | 0,042 |
| p, d, t | $y_P = 5653 - 1870 x_p + 0,600 x_d + 5,64 x_t$ | 0,031 |

się wzrost nośności badanych połączeń klejowych, natomiast zwiększanie ciśnienia p powoduje zmniejszenie ich nośności. Wykresy Boxplot potwierdzają również brak istotnego statystycznie wpływu parametrów pneumokulowania na nośność połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V.

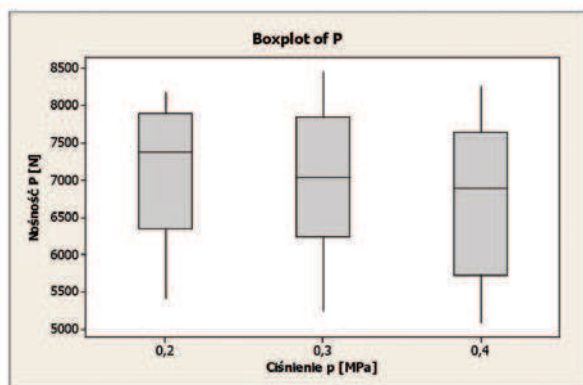
Analiza wykresów warstwicowych, obrazujących zmienność nośności P połączeń klejowych w zależności od parametrów pneumokulowania (rys. 4) wskazuje, że największą nośność uzyskiwały połączenia klejowe obrabione z maksymalnymi wartościami parametrów zmiennych $t = 180$ s, $d = 2,5$ mm, $p = 0,4$ MPa. Nie zostały zatem ustalone optymalne parametry pneumokulowania, zapewniające osiągnięcie maksymalnej nośności badanych połączeń klejowych. Należy zatem kontynuować badania i wyznaczyć optymalne parametry pneumokulowania, stosując np. metodę przejścia po gradiencie.

Wnioski

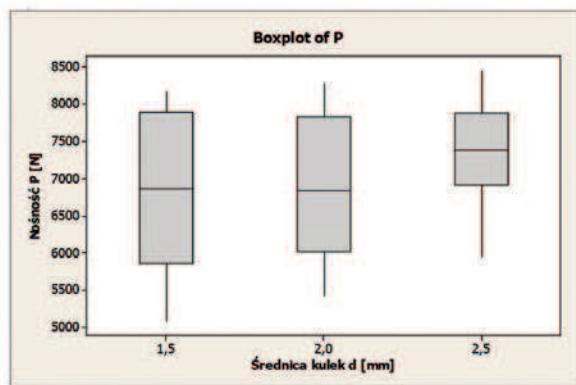
Przeprowadzone badania wykazały możliwość zwiększenia nośności jednozakładkowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V dzięki zastosowaniu obróbki umacniającej strefy złącza strumieniem kulek stalowych rozprężonych sprężonym powietrzem. Pneumokulowanie pozwoliło zwiększyć nośność badanych złączy o 23,97 do 51,93%.

Test t-Studenta wykazał istotny wpływ pneumokulowania na nośność jednozakładkowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V, natomiast analiza wariancji ANOVA ujawniła, że w badanym obszarze zmienności parametrów technologicznych procesu pneumokulowania, ciśnienie p , średnica kulek d , czas obróbki t nie wpływają w sposób istotny statystycznie na nośność badanych połączeń klejowych. Brak wpływu na nośność połączeń

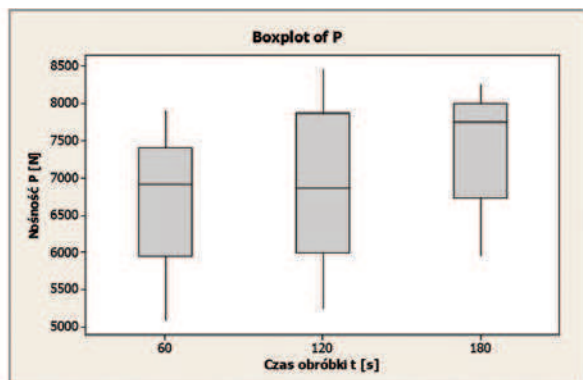
a)



b)



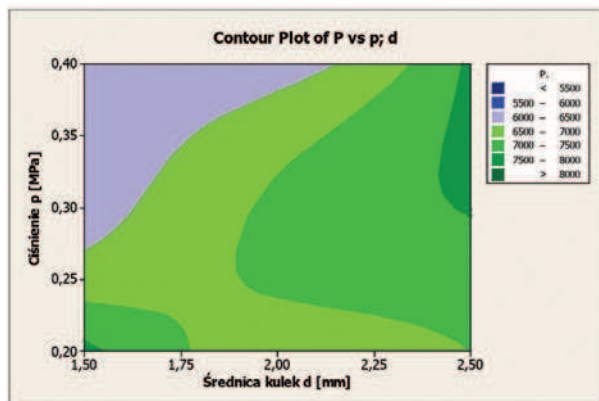
c)



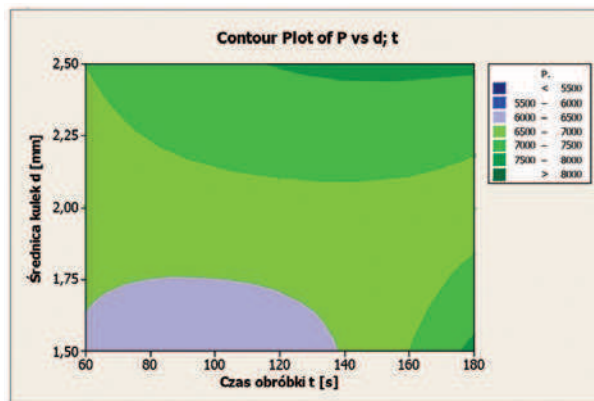
Rys. 3. Wykresy Boxplot, obrazujące zmienność nośności P połączeń klejowych w zależności od: a) ciśnienia p , b) średnicy kulek d , c) czasu obróbki t

Fig. 3. Boxplot graphs showing the variation of the load P of the adhesives joints on: a) a pressure p , b) the diameter of the balls d , c) the treatment time t

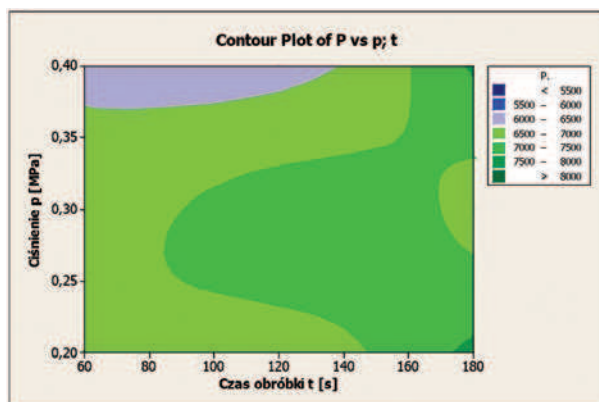
a)



b)



c)



Rys. 4. Wykresy warstwiczne, obrazujące zmienność nośności P połączeń klejowych w zależności od: a) ciśnienia p i średnicy kulek d , b) średnicy kulek d i czasu obróbki t , c) ciśnienia p i czasu obróbki t

Fig. 4. Contour graphs showing the variation of the load P of the adhesives joints on: a) the pressure p and the diameter of the balls d , b) the diameter of the balls d and the treatment time t , c) a pressure p and the treatment time t

klejowych stopu tytanu Ti6Al4V potwierdzają również wykresy Boxplot.

Przeprowadzona analiza regresji oraz sporządzone wykresy warstwiczne wskazują na konieczność kontynuowania badań w celu wyznaczenia optymalnych parametrów pneumatycznej metody przejścia po gradiencie.

LITERATURA

- [1] Korzyński M. et. al. 2009. "Fatigue strength of chromium coated elements and possibility of its improvement with ball peening". *Surface and Coatings Technology* (204): 615–620.
- [2] 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.
- [3] Korzyński M. 2016. „Metodyka eksperymentu. Planowanie, realizacja i statystyczne opracowanie wyników eksperymentów technologicznych”. Warszawa: WNT.
- [5] 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, p. 91-95.

- [6] Zielecki W. 1998. „Wytrzymałość połączeń klejowych po nagniataniu dynamicznym”. *Technologia i Automatyza Montażu* (4): 25–28.
- [7] Zielecki W., K. Korzyńska. 2016. „Umacnianie zakładkowych połączeń klejowych stopu tytanu Ti6Al4V metodą pneumatycznego kulowania”. *Technologia i Automatyza Montażu* (1): 44–47.
- [8] Zielecki W., R. Perłowski, T. Trzepieciński. 2007. „Analiza stanu naprężeń w spoinie zakładkowego połączenia klejowego umocnionego metodą pneumatycznego kulowania”. *Technologia i Automatyza Montażu* (1): 31–33.
- [9] Zielecki W. 2009. „Determinanty wpływające na wytrzymałość klejowych połączeń”. *Vedecké Spisy Strojníckej Fakulty, Zväzok 02, Edícia: Habilitačné a inauguračné spisy*. Košice.

dr hab. inż. Władysław Zielecki – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, e-mail: wzktmiop@prz.edu.pl

mgr Katarzyna Korzyńska – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, e-mail: kk@prz.edu.pl

Sborka nr 1/2016 (186)

1. Automatyczny dozownik ciężarowy o działaniu dyskretnym z urządzeniem pomiarowym z wbudowanym sprężystym czujnikiem
2. Techniczna komplementarność elementów jako czynniki doskonalenia składanych systemów „napęd elektryczny – armatura blokująca”
3. Graniczne warunki ruchu suwaków przy automatycznym ustawianiu kompletu „uszczelnienie – łączona część”
4. Opracowanie i montaż przyborów świetlnych ze zmiennym spektrum promieniowania
5. Zautomatyzowane projektowanie procesów technologicznych montażu
6. Tribologia nieruchomego kontaktu
7. Czynniki wpływające na dopuszczalną koncentrację aktywnych cząstek ściernych w olejach agregatów maszyn
8. Cechy charakterystyczne obliczeń i projektowania adaptacyjnych sprzęgieł ciernych
9. Wykaz artykułów opublikowanych w 2015 r.

Sborka nr 2/2016 (187)

1. Badania właściwości technologicznych kompleksu „Gersil-312”
2. Badania stanu naprężeń i odkształceń połączeń stożkowych ze zwiększonym wciskiem przy ich montażu i demontażu z pomocą prasy hydraulicznej
3. Kompletowanie łożysk tocznych
4. Badania wpływu warunków strefowego elektromechanicznego hartowania na kształtowanie stref regularnej mikrotwardości
5. Uzasadnienie granicznej prędkości posuwu do zespołu urządzenia wkręcającego bez uszkodzenia otworów pod kołki w zespole i kołków w zespole wykonawczym urządzenia
6. Wibrostykowe urządzenie do kontroli średnic części elektroprzewodzących
7. Cechy charakterystyczne metodyki obliczeń charakterystyk wyjściowych zespołu wrzeciona łożyskowego na częściowo porowatych gazowo-statycznych oporach
8. Zwiększanie trwałości łożysk ślizgowych za pomocą ukonstituowania w nich adaptacyjnych właściwości przy wykorzystaniu materiałów smarnych, tworzących błonki
9. Aktywne tłumienie drgań wymuszonych w systemie z nieliniowym tłumieniem pod działaniem impulsowej siły wymuszającej

Sborka nr 3/2016 (188)

1. Cechy charakterystyczne montażu metodą ekranową cyfrowego prototypu w CAD Inventor Autodesk
2. Analiza warunków sterowalności w systemach automatycznego montażu
3. Optymalizacja transportowych operacji montażu modułów elektronowych w zrobotyzowanym kompleksie GASK wieloasortymentowej produkcji
4. Eksperymentalne badania pneumatyczno-elektronicznego urządzenia pomiarowego do automatycznego sortowania części przed montażem selekcyjnym
5. Montaż urządzenia eliminującego zapachy typu kontenerowego
6. Problemy optymalizacji obciążeń w rozczłonkowanych systemach obliczeniowych
7. Nieliniowe efekty oddziaływania elektroprzewodzących smarów na czop łożyska posiadającego właściwości tłumiące
8. Wykorzystywanie materiałów anaerobowych w tribologii

Opracował: Jerzy Łunarski

Andrzej Zbrowski: Metodyka badań prototypów i jednostkowych urządzeń technicznych. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji. Radom 2016 r.



Książka ta o charakterze monograficznym zawarta jest na 528 stronach i zawiera 659 pozycji wykorzystanej literatury. W opracowaniu opisano takie zagadnienia jak: pojęcia podstawowe, problemy budowy prototypów, klasyczne metody badań urządzeń technicznych oraz procesów badań prototypów urządzeń technicznych. Sednem monografii jest opracowana przez Autora metodyka badań unikatowych urządzeń technicznych oraz weryfikacja tej metodyki na podstawie badań wybranych obiektów. W końcowej części książki przedstawiono zastosowanie opracowanej metodyki w badaniach dwóch obiektów technicznych, tzn. siłowników elektromechanicznych i działa pneumatycznego (do badań zderzeniowych konstrukcji lotniczych).

Blisko połowa opracowania stanowi analiza problematyki w oparciu o dane literaturowe oraz obszerne przykłady prac z tego zakresu realizowanych w ITE Radom z udziałem Autora i wskazaniem problemów występujących w badaniach jakości rozwiązań układów funkcjonalnych tych urządzeń (tzn. techniczno-organizacyjnych, metodologicznych i informacyjno-informatycznych). Wyodrębniono również czynniki dominujące w jednostkowym wytwarzaniu urządzeń technicznych w takich etapach jak: projektowanie, wytwarzanie, uruchamianie, weryfikacja i walidacja.

Istota opracowanej i prezentowanej metodyki polega na uszczegółowionej analizie opracowania projektowego obejmującej: identyfikację funkcji urządzenia, struktury sprzętowo-programowej, struktury procesowej, wyodrębniania elementów nowoprojektowanych i handlowych, wraz z przyporządkowaniem im odpowiednich współczynników ważności. Na podstawie wyników badań poszczególnych funkcji, procesów i parametrów oraz zaobserwowanych usterek wyznaczane są priorytetowe liczby ryzyka i podejmowane decyzje dotyczące wprowadzania

ulepszeń. W pracy zamieszczono procedury dekompozycyjne dla analizowanych przykładów, procedury budowy macierzy relacji oraz ogólne zasady funkcjonowania opracowanego systemu komputerowego wspomagającego powyższe działania.

Weryfikację opracowanej metodyki przedstawiono na przykładzie stanowiska do badań napędów elektromechanicznych w stanie rzeczywistym i zmodyfikowanym. W końcowej części pracy przedstawiono proces realizacji badań z wykorzystaniem opracowanej metodyki do systemu badań siłowników elektromechanicznych oraz działa pneumatycznego do badań zderzeniowych. Wyniki tych badań wykazały zadowalającą funkcjonalność i użyteczność opracowanych systemów.

Opracowana metodyka spełnia wymagania bezpieczeństwa względem unikalnych urządzeń technicznych, wskazanych w różnych dyrektywach i rozporządzeniach, a zwłaszcza wymagań funkcjonalności. Wymaga to rzetelnej wiedzy z zakresu analizowanych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych, a także może być użyteczne dla organizacji zajmujących się profesjonalnym projektowaniem i wytwarzaniem określonego typu urządzeń, w zakresie których mają wystarczające kompetencje i zgromadziły wystarczające zbiory danych statystycznych i eksperymentalnych oraz dotyczących wymagań klientów.

W opracowaniu pominięto rozważania i konkluzje na temat skuteczności dotychczas stosowanych metod zapewnienia jakości unikalnych urządzeń technicznych. Dotyczy to zwłaszcza umiejętnego stosowania wymagań zawartych w normach ISO serii 9000 (tzn. 9001 i 9004), które zalecają: zapewnienie wysokich kompetencji projektantów, stworzenia warunków poprawnej realizacji projektowania, skutecznego nadzorowania tego procesu (etapowanie, przeglądy, weryfikacje, walidacje) oraz doskonalenia tych opracowań metodą FMEA (opisano ją w pracy). Dotyczy to również wykorzystywania konkretnych wytycznych zawartych w normach technicznych związanych z projektowaniem. Są to normy ISO serii 10000 (dotyczą zagadnień jakości), ISO serii 14000 (dotyczą zrównoważonego rozwoju), ISO serii 27000 (dotyczą informacji i danych), ISO serii 31000 (dotyczą zarządzania ryzykiem), CEN/TS 16555-1 do 7 (dotyczą innowacyjności), normy ISO 21500 (dotyczy zarządzania projektami).

Umiejętne i skuteczne realizowanie wymagań zawartych w tych i innych normach (dotyczących zarządzania, nadzorowania i ocen) w procesach projektowania obiektów, systemów ich realizacji i badań oceniających pozwalają spełnić normatywne wymagania i uzyskać odpowiednie certyfikaty bezpieczeństwa, jakości, ekologiczności lub inne wymagane przez klientów.

Książka zawiera również obszerne informacje o działalności ITE Radom w zakresie projektowania i wytwarzania unikalnych urządzeń technicznych, które mogą okazać się przydatne w instytucjach zajmujących się podobną działalnością.

Jerzy Łunarski

III Konferencja Naukowa Doktorantów i Młodych Naukowców

MŁODZI DLA TECHNIKI 2017

Płock, 7-8 września 2017 roku

Organizator: Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku

Data: 7 – 8 września 2017 r.

Miejsce: Politechnika Warszawska Filia w Płocku, ul. Łukasiewicza 17, Płock.

Celem konferencji jest prezentacja dorobku naukowego młodych pracowników nauki, doktorantów i studentów. Konferencja przeznaczona jest nie tylko dla początkujących, ale także doświadczonych młodych badaczy, działających w szerokim obszarze budownictwa i inżynierii lądowej, inżynierii środowiska, inżynierii mechanicznej i materiałowej, jak również inżynierii chemicznej i petrochemicznej.

Założeniem organizatorów jest stworzenie okazji do wymiany doświadczeń, poglądów, jak również integracji środowiska zainteresowanego współczesnymi problemami techniki.

Tematyka konferencji:

- konstrukcje budowlane i inżynierskie,
- technologia i organizacja budowy,
- mechanika budowli,
- fizyka budowli,
- ciepłownictwo, ogrzewnictwo, wentylacja, gazownictwo,
- inżynieria wodna i sanitarna,
- konwencjonalne i alternatywne źródła energii,
- technologia chemiczna i petrochemiczna,
- inżynieria mechaniczna i materiałowa,
- urządzenia i systemy mechaniczne,
- budowa maszyn,
- ochrona środowiska.

Terminarz konferencji:

- 1 grudnia 2016 r. – 31 stycznia 2017 r.: rejestracja, przesłanie abstraktu on-line (wyłącznie po rejestracji).
- 10 lutego 2017 r.: akceptacja abstraktów.
- 31 marca 2017 r.: ostateczny termin nadsyłania prac.
- 5 maja 2017 r.: ostateczna kwalifikacja referatów.
- 15 maja 2017 r.: termin uiszczenia opłaty konferencyjnej.
- 7 – 8 września 2017 r.: KONFERENCJA.

Konferencja Młodzi dla Techniki 2017 stanowi integralną część obchodów 50-lecia Filii Politechniki Warszawskiej w Płocku.

Przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego – dr inż. Anna Krawczyńska-Piechna
Przewodniczący Komitetu Naukowego – prof. nzw. dr hab. inż. Roman Marcinkowski

Kontakt: mdt2017@pw.plock.pl

Więcej informacji na: www.mdt2017.pw.plock.pl

IX Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna

TECHNIKA I TECHNOLOGIA MONTAŻU MASZYN TTMM-2017

połączona z obchodami Jubileuszu 80-lecia
Prof. dr hab. inż. Jerzego Łunarskiego

Rzeszów – Czarna (Bieszczady), 6–9 czerwca 2017 r.

Organizatorzy Konferencji:

**Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej
Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie**

Komitet Organizacyjny i Rada Programowa zapraszają do udziału w IX Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Technika i Technologia Montażu Maszyn – TTMM 2017” i do prezentacji nowych prac naukowo-technicznych i wdrożeniowych z zakresu tematyki Konferencji. Tegoroczna Konferencja połączona jest z obchodami Jubileuszu **80-lecia Prof. dr hab. inż. Jerzego Łunarskiego**, który zapoczątkował organizację Konferencji. Jednocześnie mija 25 lat od zorganizowania pierwszej Konferencji.

**Konferencja odbędzie się w Ośrodku Szkoleniowo-Konferencyjnym w Bieszczadach
w dniach 6–9 czerwca 2017 r.**

Tematyka Konferencji

1. Zagadnienia teoretyczne procesów i systemów montażowych.
2. Zagadnienia projektowania procesów i systemów montażowych.
3. Zagadnienia technologiczności konstrukcji ze względu na montaż wyrobów i maszyn montażowych.
4. Zagadnienia modelowania procesów i systemów montażowych w procesach projektowania i planowania.
5. Zagadnienia doskonalenia właściwości eksploatacyjnych systemów montażowych: funkcjonalność, niezawodność, łatwość obsługi, ekonomiczność, bezpieczeństwo, ergonomia pracy.
6. Zagadnienia mechanizacji i automatyzacji prac projektowych i wytwórczych w produkcji montażowej.
7. Zagadnienia sterowania i zarządzania procesami i systemami montażowymi.
8. Zagadnienia doskonalenia oprzyrządowania technologicznego stosowanego w systemach montażowych.
9. Zagadnienia innowacyjności w produkcji montażowej i jej efektywność.
10. Nowe metody usprawniające produkcję zwłaszcza montażową.
11. Perspektywiczne kierunki rozwoju techniki i technologii montażu maszyn.
12. Współczesne sposoby przygotowania kwalifikowanego personelu montażowego.

Patronat Medialny Konferencji

- Kwartalnik naukowo-techniczny „Technologia i Automatykacja Montażu”
- Miesięcznik naukowo-techniczny „Przegląd Mechaniczny”
- Kwartalnik naukowo-techniczny „Mechanika” Politechniki Rzeszowskiej

Języki Konferencji: polski, angielski, rosyjski

Komitet Organizacyjny Konferencji

Honorowy Przewodniczący: prof. dr hab. inż. Jerzy Łunarski
tel. 607 794 815, e-mail: jlkmiop@prz.edu.pl

Przewodniczący: dr hab. inż. Władysław Zielecki, prof. PRZ
tel. 17 865 1727, e-mail: wzktmiop@prz.edu.pl

Sekretarz konferencji: dr inż. Dorota Stadnicka
Tel. +48 17 865 1452, Fax. 17 865 1184,
e-mail: dorota.stadnicka@prz.edu.pl

Sekretarz konferencji: mgr inż. Małgorzata Barańska
tel. + 48 22 843 0201 wew. 469,
e-mail: m.baranska@imbigis.pl

Strona internetowa Konferencji: <http://ktmiop.portal.prz.edu.pl/pl/konferencje-seminaria/ttmm2017/>

Wymagania względem przygotowania artykułów dostępne na stronie <http://www.tiam.pl/index.php?page=do-autorow>

Zgłoszenie uczestnictwa w Konferencji

Zgłoszenia uczestnictwa w konferencji prosimy przesyłać na Karcie Zgłoszenia do **1.03.2017 r.** na adres: dorota.stadnicka@prz.edu.pl lub pocztą na adres: Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, TTMM 2017, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów.

Terminarz Konferencji

| | |
|--|---------------|
| Przesłanie zgłoszenia uczestnictwa na Karcie Zgłoszenia | do 1.03.2017 |
| Potwierdzenie przyjęcia zgłoszenia | do 6.03.2017 |
| Nadestanie pełnego tekstu artykułu | do 7.03.2017 |
| Wniesienie opłaty konferencyjnej | do 10.03.2017 |
| Wysłanie programu Konferencji i informacji organizacyjnych | do 30.05.2017 |

Koszt uczestnictwa jednej osoby w Konferencji wynosi 1600 zł i obejmuje: noclegi, wyżywienie, wycieczki, dowóz autobusem uczestników z Rzeszowa do miejsca konferencji i z powrotem, koszty materiałów konferencyjnych oraz koszty organizacyjne. Koszt uczestnictwa osoby towarzyszącej nie będącej uczestnikiem Konferencji to 1050 zł. Wpłaty za uczestnictwo w Konferencji należy dokonywać na konto Politechniki Rzeszowskiej: **Bank Pekao S.A. II oddział w Rzeszowie, nr konta 29 1240 2614 1111 0000 3958 6445**, SWIFT CODE: PKOPPLPW. Tytuł przelewu: „**Uczestnictwo w konferencji TTMM 2017 Imię i Nazwisko uczestnika lub uczestników konferencji**”.

Materiały Konferencyjne

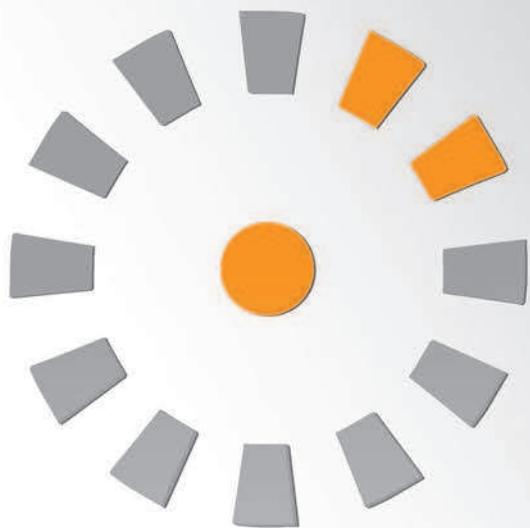
Artykuły, które zostaną przesłane, po uzyskaniu pozytywnych recenzji, zostaną opublikowane w jednym z następujących wydawnictw:

- kwartalnik „Technologia i Automatyizacja Montażu”,
- miesięcznik „Przegląd Mechaniczny” (wybrane artykuły),
- kwartalnik „Mechanika” Zeszyt Naukowy Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej (wybrane artykuły).

Ramowy Program Konferencji

| 6.06.2017 – wtorek | 7.06.2017 – środa |
|---|---|
| 7.00-11.00 – zbiórka uczestników w bud. L Politechniki Rzeszowskiej, Al. Powst. W-wy 8 11.30 – wyjazd autokaru z Rzeszowa 14.00 – przyjazd uczestników 15.00 – obiad 16.30-18.30 – obrady 19.30 – uroczysta kolacja połączona z uroczystościami jubileuszowymi | 8.00 – śniadanie 9.00-12.30 – obrady 10.30 – serwis kawowy 13.30 – obiad 15.00-18.00 – wycieczka 1 19.00 - ognisko |
| 8.06.2017 – czwartek | 9.06.2017 – piątek |
| 8.00 – śniadanie 9.00-13.30 – wycieczka 2 14.00 – obiad 15.00-18.30 – obrady 16.30 – serwis kawowy 19.00 – grill | 8.00 – śniadanie 9.00-10.30 – obrady 11.00 – wyjazd uczestników konferencji |

UWAGA: Planowany przebieg Konferencji może ulec nieznacznym zmianom. Szczegółowe informacje organizacyjne zostaną przesłane wraz z programem konferencji.



INTARG

10. jubileuszowe Międzynarodowe Targi
Wynalazków i Innowacji INTARG®

22-23 czerwca 2017

Katowice, Międzynarodowe Centrum Kongresowe

www.intarg.haller.pl

Patronaty honorowe:

Wiceprezes Rady Ministrów,

Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego;

Urząd Patentowy; Narodowe Centrum Badań i Rozwoju;

Rada Główna Instytutów Badawczych; Krajowa Izba Gospodarcza;

Polska Izba Gospodarcza Zaawansowanych Technologii;

Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego;

World Invention Intellectual Property Associations



INNOWACJE DLA PRZEMYSŁU, MEDYCYNY i ZDROWIA ORAZ ŻYCIA CODZIENNEGO

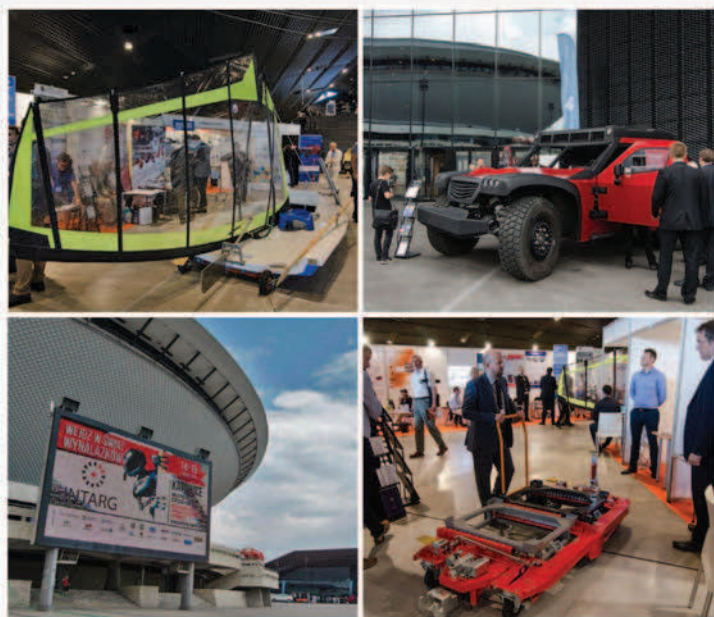
już po raz dziesiąty zostaną zaprezentowane w Katowicach podczas Międzynarodowych Targów Wynalazków i Innowacji INTARG® 2017, które odbędą się w dniach 22-23 czerwca w Międzynarodowym Centrum Kongresowym.

Misją Targów INTARG® jest prezentacja innowacyjnych produktów, technologii i usług z różnych branż i dziedzin, w celu ich transferu do przemysłu. Targi są platformą bezpośredniego kontaktu i spotkań przedstawicieli nauki i biznesu, potencjalnych nabywców prezentowanych innowacji oraz podmiotów wspomagających i finansujących badania i rozwój.

Celem tego interdyscyplinarnego wydarzenia jest również wsparcie rozwoju oraz konkurencyjności przedsiębiorstw.

Wystawcy: jednostki sfery nauki; producenci i oferenci innowacyjnych produktów, technologii i usług z różnych branż i dziedzin; startupy; młodzi wynalazcy oraz podmioty wspierające wynalazczość i rozwój

Program Targów: Prezentacja wynalazków i innowacji z 15 krajów świata; Konferencje; Sesje branżowe; Konkurs INTARG®; Gala wręczenia nagród INTARG® 2017; Gala Konkursu LIDER INNOWACJI 2017



Organizatorzy:

EUROBUSINESS-HALLER & FUNDACJA HALLER PRO INVENTIO

ul. Obroki 133, 40-833 Katowice

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



Eurobusiness - Haller



FUNDACJA HALLER
pro inventio

Czytaj **POLSKĄ** prasę fachową

Cennik prenumeraty na 2017 r. (ceny brutto rocznej prenumeraty papierowej)

Czasopisma dostępne tylko w prenumeracie w wariantach:

- wersja papierowa,
- wersja **PLUS** z dostępem do e-publicacji,
- wersja **ciągła PLUS** z 10% rabatem (automatycznie odnawiająca się co roku)

PRASA FACHOWA

SIGMA-NOT

www.sigma-not.pl



więcej informacji: 22 840 30 86, prenumerata@sigma-not.pl

www.sigma-not.pl
Zaprenumeruj przez