

ZESZYTY NAUKOWE
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

FOLIA SCIENTIARUM
UNIVERSITATIS TECHNICAЕ RESOVIENSIS

NR 273
(e-ISSN 2300-5211)

MECHANIKA

z. 79

Połączenia montażowe



Wydano za zgodą Rektora

Redaktor naczelny
Wydawnictw Politechniki Rzeszowskiej
prof. dr hab. inż. Feliks STACHOWICZ

Redaktor naukowy
prof. dr hab. inż. Jerzy ŁUNARSKI

Komitet Redakcyjny

Władysław FILAR
Roman PETRUS
Grzegorz PROKOPSKI
Jarosław SĘP
Jan STANKIEWICZ
Zbigniew ŚWIDER

Recenzenci prac

prof. dr hab. inż. Volodymyr LIUBYMOV, prof. dr hab. inż. Jerzy ŁUNARSKI
prof. dr hab. inż. Paweł PAWLUS, dr hab. inż. Jarosław SĘP, prof. PRz
prof. dr hab. inż. Feliks STACHOWICZ, dr hab. inż. Łukasz WĘSIERSKI, prof. PRz
dr hab. inż. Władysław ZIELECKI, prof. PRz

Skład i opracowanie

dr inż. Dorota STADNICKA

Monotematyczny zbiór opracowań naukowych dotyczących aktualnych problemów projektowania i wytwarzania połączeń montażowych i związanych z tym ogólnych problemów montażu. Zamieszczone artykuły zostały opracowane w latach 2009-2010 przez osoby współpracujące z Wydziałem Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej oraz z Instytutem Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie.

p-ISSN 0209-2689

e-ISSN 2300-5211

Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej
ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów

Nakład 110 egz. Ark. wyd. 18,28. Ark. druk. 14,75. Papier offset. kl. III 70g B1.
Oddano do druku w kwietniu 2010 r. Wydrukowano w maju 2010 r.
Drukarnia Oficyny Wydawniczej, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów
Zam. nr 49/10

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE

Łunarski J.: Montaż maszyn jako realizacja strumienia połączeń.....	5
---	---

I. PROBLEMY PROJEKTOWANIA MONTAŻU I POŁĄCZEŃ

1. Korenkow W.N., Subin A.A.: Automatyzacja formowania początkowej informacji dla analizy montowanych wyrobów.....	11
2. Pasichnyk V., Łaszina J.W.: Analiza i doskonalenie konstrukcji wyrobów z wykorzystaniem oprogramowania „DFA EXPERT”.....	17
3. Wójcicki T., Czajka P., Giesko T.: Automatyczna inspekcja montażu uszczelek łożysk tocznych z wykorzystaniem komputerowych metod przetwarzania i analizy obrazów.....	26
4. Nieoczym A.: Modułowe stanowiska obróbkowe.....	36
5. Streubel A., Kuran M., Kuprowska I.: Logistyczne zabezpieczenie seryjnego montażu toków silnika spalinowego.....	43
6. Hajduk M., Sejmon I., Balaż V., Sukop M., Voronko A.: Testery mimośrodowych wyłączników dla przemysłu elektrotechnicznego.....	48
7. Balaż V., Sejmon I., Vagas M., Pachnikowa L.: Automatyczne urządzenie dla nacinania gwintów w stykach elektrycznych.....	55

II. PROBLEMY JAKOŚCI POŁĄCZEŃ MONTAŻOWYCH

8. Nikołajew W.: Sterowanie zależnościami wymiarowymi w zrobotyzowanym montażu dokładnych połączeń.....	65
9. Bożkova L.W., Wartanow M.W., Bakena Mbya Ž.K.: Zrobotyzowany montaż walcowych części profilowych z pomocą wibracji i pasywnej adaptacji.....	73
10. Timiriaziew W., Gołobow D., Kostenko A.: Wyznaczanie dokładności połączeń przy bazowaniu według trzech płaszczyzn.....	81
11. Timiriaziew W., Gołobowa A., Szagałkin A.: Zapewnienie dokładności połączeń z pomocą grupowej selekcji.....	85
12. Kristal M.: Nowa postać rozkładów w zadaniach zwiększania niezawodności automatów montażowych.....	88
13. Kluz R.: Wyznaczanie zdolności procesu montażu części typu czop-tuleja.....	95
14. Wasiliew S.A., Gromow W.F., Łarin A.A., Reznichenko W.I.: Współczesne metody kontroli wyrobów z kompozytów za pomocą tomografii.....	103

III. PROBLEMY MONTAŻU POŁĄCZEŃ WCISKANYCH ZE WSPOMAGANIEM TERMICZNYM

15. Oborski I.: Zapewnienie jakości połączeń wciskanych z podgrzewaniem z powierzchniami o regularnym mikroreliefie.....	109
16. Oborski I., Oborski A., Zenkin A.: Wybór energooszczędnej technologii montażu połączeń wciskanych z podgrzewaniem.....	115
17. Oborski I., Szałaj W., Oborski S., Zenkin A.: Wyznaczanie parametrów temperaturowych wpływu ciepła na części montowane z wciskaniem.....	123
18. Oborski I., Zenkin A., Oborska N., Dworżak W.: Badanie parametrów konstrukcyjno-technologicznych oraz opracowanie technologii montażu małogabarytowych połączeń części wrzecion.....	129
19. Pergałowski S., Łunarski J., Kobiałka J.: Automatyzacja wykonywania połączeń wciskanych drewno-tworzywo sztuczne.....	136

IV. PROBLEMY EKSPLOATACYJNE POŁĄCZEŃ MONTAŻOWYCH

20. Rośkowicz M., Tkaczuk S.: Połączenia adhezyjne w naprawach pokryć płatowców.....	143
21. Mnacanian W., Bojko P.: Regeneracja właściwości eksploatacyjnych mimośrodowych połączeń w tulejach agregatów rozdrabniających.....	150
22. Komorek A., Przybyłek P.: Obudowy ochronne wyposażenia awionicznego z powłokami na bazie kompozytów o właściwościach ablacyjnych.....	152
23. Rudawska A. Wpływ sposobu przygotowania powierzchni na wytrzymałość połączeń klejowych blach ze stali odpornej na korozję.....	163
24. Rychlik K., Bramowicz M.: Metoda nacinania gwintów wewnętrznych dla regenerowanych połączeń gwintowych korpusów turbin.....	173

V. PROBLEMY OGÓLNE WSPOMAGANIA MONTAŻU

25. Akułowicz L., Chejfec M., Zewielewa E.: Projektowanie i produkcja mechatronicznych spawalniczo-montażowych urządzeń technologicznych do produkcji wyrobów armaturowych.....	183
26. Reifur B.: Problemy technologiczne w połączeniach montażowych mini- i mikro-produktów.....	190
27. Antosz K., Stadnicka D.: Doskonalenie procesu produkcji mieszadeł z wykorzystaniem mapowania strumienia wartości.....	201
28. Sedych M.: Technologia montażu walcowych frezów igielkowych.....	210
29. Junin I.J., Feofanow A.N.: Problemy rekonfigurowanych systemów produkcyjnych.....	216
30. Junin I.J., Feofanow A.N.: Uzasadnienie potrzeby utworzenia portalu informatycznego dla transportu lotniczego.....	218

Indeks Autorów	221
-----------------------------	-----

Jerzy ŁUNARSKI
Politechnika Rzeszowska

Wprowadzenie

MONTAŻ MASZYN JAKO REALIZACJA STRUMIENIA POŁĄCZEŃ

Aktualne tendencje rozwoju technik wytwarzania wskazują na coraz szerszy rozwój zautomatyzowanych metod wytwarzania zarówno w procesach wytwarzania półfabrykatów (odlewy, odkuwki, wyciężki), ich obróbki (wiórowej, ścierniej, nagniataniem), procesów konstituowania warstw (nawęglanie, azotowanie, implantacja i in.), nakładania powłok ochronnych (chemicznych, galwanicznych, natryskiwanych, z tworzyw sztucznych i in.) oraz metod łączenia elementów (spawanie, lutowanie, zgrzewanie i in.).

Z pomocą powyższych procesów można konstituować pożądane cechy elementów składowych maszyn (wytrzymałość, sztywność, odporność na zużycie i in.). Mają one znaczący wpływ na eksploatacyjne charakterystyki wyrobów maszynowych. Jednakże główne cechy użytkowe i eksploatacyjne w znacznym stopniu zależą od sposobów zaprojektowania i wykonania poszczególnych połączeń w wytwarzanym obiekcie. Montaż wyrobu można traktować jako ciąg wytwarzania poszczególnych połączeń z jednoczesnym nadaniem im pożądanych właściwości. W trakcie ich projektowania przejawiają się dwie przeciwstawne tendencje:

- uproszczenia konstrukcji i ułatwienia ich wykonania, co często preferuje połączenia nierozłączne (deformacyjne, lutowane, zgrzewane i in.),
- umożliwienia łatwego demontażu elementów po zakończeniu eksploatacji celem ich recyklingu, co preferuje połączenia rozłączne bardziej pracochłonne (skręcane, składane, zatrzaskowe, wciskane i in.).

Ze względu na konieczność zapewnienia wymaganej jakości użytkowej połączeń ich wytwarzanie wymaga starannego dopracowania szeregu układów (orientujących, ustalających, kontrolnych, diagnostycznych i in.), co łącznie znacznie komplikuje systemy montażowe, zwłaszcza zautomatyzowane. Ze względu na tę złożoność oraz różnorodność obiektów montażu automatyzacja tych procesów jest znacznie mniej zaawansowana jak automatyzacja innych technik wytwarzania, w których nie występują trudności porównywalne do montażowych.

Z powyższych względów zauważa się wzrost udziału pracochłonności prac montażowych w ogólnej pracochłonności wytwarzania wyrobów, która może wynosić od 20% do 30% dla produkcji wielkoseryjnej i masowej 60÷70% w produkcji małoseryjnej, przy wytwarzaniu złożonego osprzętu, wyrobów precyzyjnych i in.

Ten znaczny udział oraz tendencja jego wzrostu (ze względu na szybciej postępującą automatyzację innych technik wytwarzania) stanowią potencjalną rezerwę zmniejszenia pracochłonności montażu poprzez opracowania i upowszechnienie efektywnych metod automatyzacji procesów wytwarzania połączeń montażowych i ich ciągłego strumienia w wykonywanych obiektach finalnych. Skuteczne rozwiązanie tych problemów może przyczynić się do wyraźnego wzrostu konkurencyjności przedsiębiorstw z dużym udziałem prac montażowych w swojej ofercie.

Do ważniejszych przedsięwzięć, sprzyjających temu można zaliczyć następujące:

1. Konieczność zapewnienia odpowiedniej technologiczności konstrukcji w trakcie projektowania połączeń montażowych, przejawiające się między innymi w:
 - konstrukcja połączenia powinna ułatwiać stosowanie wysokowydajnych metod montażu i kontroli,
 - liczba łączonych elementów powinna być możliwie minimalna podobnie jak liczba połączeń w wytwarzanej maszynie,
 - należy zapewnić łatwą dostępność narzędzi do stref połączeń, koniecznych dla wykonania połączenia, kontroli, regulacji,
 - należy preferować połączenia łatwe do automatycznej realizacji i unikać połączeń pracochłonnych, trudnych do automatyzacji (drurowe, taśmowe, klejowe i in.),
 - preferować połączenia możliwe do realizacji przy osiowym pionowym montażu z zastosowaniem na elementach łączonych stref wejściowych ułatwiających rozpoczęcie montażu (fazki, stożki, zaokrąglenia itp.).
2. Konieczność przestrzegania zasad i wymagań normalizacji sprzyjających ograniczeniu różnorodności, tzn.:
 - ograniczanie typowymiarów do liczb preferowanych,
 - stosowanie luzów i wcisków odpowiadających preferowanym pasowaniom,
 - opracowaniu norm zakładowych na nowe, innowacyjne połączenia stosowane w przedsiębiorstwie, ograniczające ich rozwiązania konstrukcyjne,
 - stosowanie zasad typizacji i unifikacji przy projektowaniu połączeń.
3. Praktyczne wykorzystywanie zasad modularyzacji w procesach projektowania układów i systemów montażowych charakteryzujących się:
 - łatwością łączenia i rozłączania poszczególnych modułów z systemem montażowym,
 - kompatybilnością stref łączenia poszczególnych modułów,
 - zamiennością modułów ułatwiającą ich wymianę i sprzyjającą polepszeniu niezawodności obiektu.
4. Zalecany sposób postępowania w celu zapewnienia wymaganych właściwości eksploatacyjnych wykonywanych połączeń montażowych, obejmuje następujące czynności:
 - zdefiniowanie warunków funkcjonowania połączeń (obciążenia, prędkości, temperatury, wibracje i in.),
 - ustanowienie właściwości eksploatacyjnych poszczególnych elementów połączenia (materiał, wytrzymałość, odporność na zużycie i in.),
 - opracowanie procesu technologicznego montażu, którego parametry, jak również stan urządzeń montażowych, zapewnia uzyskanie wymaganych właściwości, w sposób ekonomiczny,
 - analiza pracochłonności i kosztocłonności opracowanego procesu celem jego ulepszenia pod względem uzyskiwanych właściwości i redukcji kosztów,
 - realizacja ulepszonych procesów z zastosowaniem środków kontroli i nadzoru zapewniających poprawną, bezusterkową realizację procesu.

Efektywność montażu, zarówno zmechanizowanego jak i zautomatyzowanego, jest w dominujący sposób uzależniona od konstrukcji połączenia i technologii jego wykonania, gdyż:

- wpływają one bezpośrednio na cechy jakościowe i niezawodność eksploatacji obiektu z tymi połączeniami,
- ich konstrukcja i sposób wykonania mają bezpośredni wpływ na pracochłonność i koszty wykonania montowanego obiektu,
- zastosowane rodzaje połączeń powinny sprzyjać procesom zrównoważonego rozwoju poprzez minimalizację ich materiałochłonności, energochłonności oraz możliwości łatwego recyklingu po zakończeniu eksploatacji.

Z powyższych względów konstrukcja, technologia i eksploatacja połączeń montażowych są przedmiotem zainteresowań i prac badawczo-rozwojowych w różnych ośrodkach naukowych i przemysłowych stanowiąc jeden z głównych i ważnych działań na rzecz doskonalenia i automatyzacji montażu.

Referaty naukowe publikowane w niniejszym, monotematycznym Zeszycie Naukowym Politechniki Rzeszowskiej opracowane zostały przez znanych specjalistów z zakresu montażu z różnych ośrodków krajowych i zagranicznych. Prezentowane w nich osiągnięcia teoretyczne, eksperymentalne i techniczno-wdrożeniowe powinny przyczynić się do upowszechnienia tej wiedzy wśród projektantów maszyn, technologów projektujących procesy montażowe i personelu nadzorującego realizację tych procesów.

O aktualności i ważności tych problemów świadczy również podjęcie tej problematyki przez kwartalnik naukowo-techniczny „TECHNOLOGIA I AUTOMATYZACJA MONTAŻU”, który w bieżącym roku większość prezentowanych prac poświęca również połączeniom montażowym, ich automatyzacji oraz wpływom połączeń na inne czynności montażowe (organizacja i technologia montażu, problemy jakości i niezawodności systemów montażowych i montowanych obiektów i in.).

Władze Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, doceniając ważność problematyki montażu maszyn, determinującej bezpieczeństwo i niezawodność ich funkcjonowania, co ma duże znaczenie zwłaszcza w przemyśle lotniczym, zachęcają Autorów publikowanych prac do podtrzymywania kontaktów i współpracy z Wydziałem w celu dalszego rozwoju i doskonalenia połączeń montażowych.

I
PROBLEMY PROJEKTOWANIA
MONTAŻU I POŁĄCZEŃ

Włodimir N. KORENKOW

Anatolij A. SUBIN

Uniwersytet Techniczny

„Politechnika Kijowska”

Kijów, Ukraina

AUTOMATYZACJA FORMOWANIA POZĄTKOWEJ INFORMACJI DLA ANALIZY MONTOWANYCH WYROBÓW

АВТОМАТИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АНАЛИЗА СБОРОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В статье приведен анализ исходных данных необходимых для автоматического функционирования программных модулей анализа сборочных изделий. Описано программное обеспечение для автоматизации ввода, а также обработки геометрической информации непосредственно со сборочной 3D модели изделия.

Одними из основных задач, связанными с обеспечением модуля САAPP (Computer aided assembly process planning) исходной информацией является поиск возможных направлений относительных перемещений деталей и проверка условия их доступа в зону сборки. Решению первой задачи посвящено достаточно большое количество работ. В целом, все методы можно разделить на три следующие группы.

Априорное определение возможных направлений перемещений (например, направления коллинеарные системе координат).

Определение возможных направлений перемещений на базе анализа *кинематических пар* [1-4]. Поскольку идентифицировать наиболее распространенные типы поверхностей в современных 3D CAD достаточно просто, выделяют плоскостные, сферические, цилиндрические, конические и винтовые пары. Возможные перемещения определяются по количеству степеней свободы (рис. 1).

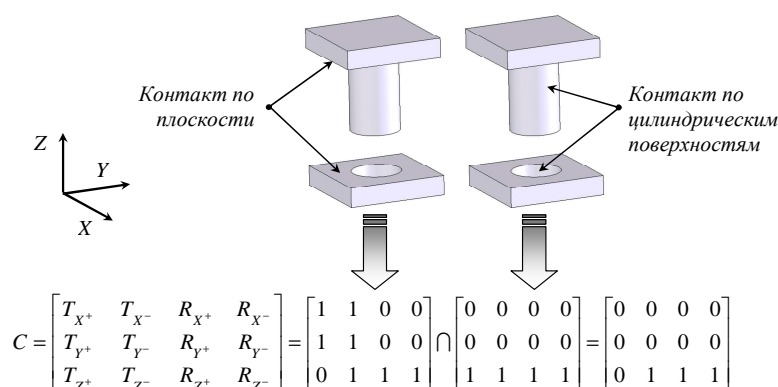


Рис. 1. Пример определения направлений взаимных перемещений деталей путем анализа движений в кинематических парах

Rys. 1. Przykład wyznaczania kierunków wzajemnych przemieszczeń części w oparciu o analizę ruchu w kinematycznych parach

Третья группа методов сводится к анализу *топологии поверхностей контакта* деталей [5-10]. Это позволяет определять не отдельно взятые направления, а объем пространства, в котором может перемещаться деталь по произвольной траектории относительно другой детали (рис. 2).

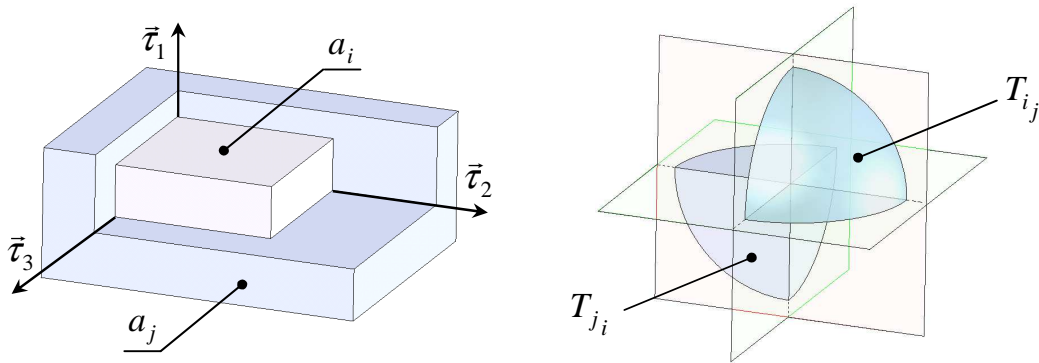


Рис. 2. Геометрическое представление множества траекторий перемещений T_{ij} детали a_i относительно a_j

Rys. 2. Geometryczna wizualizacja zbioru trajektorii przemieszczeń T_{ij} części a_i względem a_j

В общем случае, при перемещении детали a_i относительно группы деталей $A' = \{a_j, \dots, a_m\}$, справедливо равенство (рис. 3):

$$T_{i(j, \dots, m)} = \bigcap_{q=j}^m T_{i_q}$$

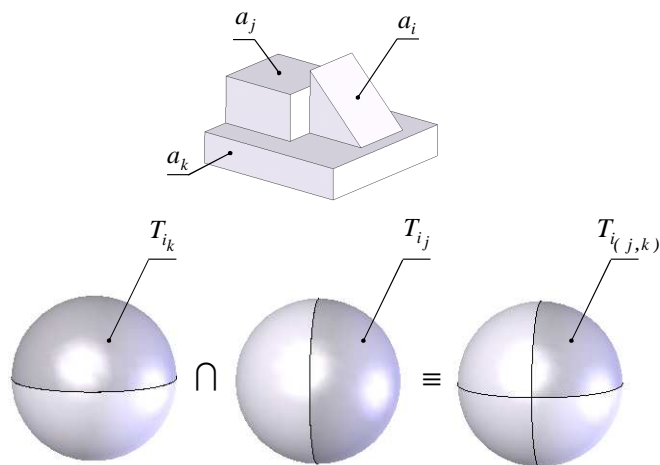


Рис. 3. Определение пространства перемещений групп деталей

Rys. 3. Wyznaczanie przestrzennych przemieszczeń grup części

Однако определив в один из приведенных выше способов потенциально возможное направление установки детали, необходимо проверить условие доступа данной детали к месту сборки.

С точки зрения геометрии, условие доступа выполняется, если трехмерный объект, представляющий собой след от движения детали по некоторой траектории, не пересекает ни одного из уже установленных в изделие элементов (рис. 4).

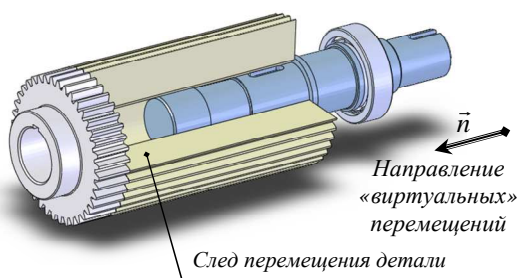


Рис. 4. Проверка условия доступа

Rys. 4. Sprawdzanie warunków dostępności

Алгоритмически реализовать данное определение современные 3D CAD системы на сегодня не позволяют. Поэтому возникает необходимость разработки методов, которые косвенно выполняли бы анализ условия доступа.

В случае использования твердотельных 3D моделей, эффективным является метод «виртуальных» перемещений объектов, описание программной реализации которого приведено в [11-13]. Содержание данного метода состоит в перемещении 3D модели детали a_i сборочного изделия относительно своего первоначального положения на некоторую величину ϵ в направлении $t \in T$ и проверке наличия области пересечения между объектами изделия. Деталь a_i ограничивает a_j в направлении $t \in T$, если на расстоянии, равном габаритному размеру изделия (при перемещении a_j с шагом ϵ), будет найдена область пересечения между соответствующими 3D объектами (рис. 5).

Одним из существенных недостатков данного метода является достаточно высокая трудоемкость вычислений при малых значениях ϵ , а при увеличении значения ϵ - появляется вероятность того, что элементы конструкций двух деталей могут находиться между фиксированными точками проверки. Как следствие, часть областей пересечения не будет обнаружена.

Данных недостатков лишен метод анализа пересечений проекций поверхностей деталей [14]. Его суть достаточно проста: если при взаимном поступательном перемещении деталей вдоль некоторого направления $t \in T$ детали пересекаются, то также пересекаются и проекции участков поверхностей этих деталей на плоскость, перпендикулярную t (рис. 6).

Как видно из рис. 6, элемент S_j^p ограничивает возможное перемещение S_i^p в направлении $\vec{t}_k \in T_{i_j}$ только при двух условиях:

- при наличии как минимум двух треугольников $\Delta_g \in S_j^p$ и $\Delta_q \in S_i^p$, проекции которых на плоскость χ , перпендикулярную $\vec{t}_k \in T_{i_j}$, пересекаются;
- при расстоянии между $\Delta_g \in S_j^p$ и $\Delta_q \in S_i^p$ в направлении движения $L_{(\Delta_g, \Delta_q)} > 0$ (очевидно, что поверхность, которой принадлежит треугольник $\Delta_r \in S_j^p$ не ограничивает перемещение S_i^p).

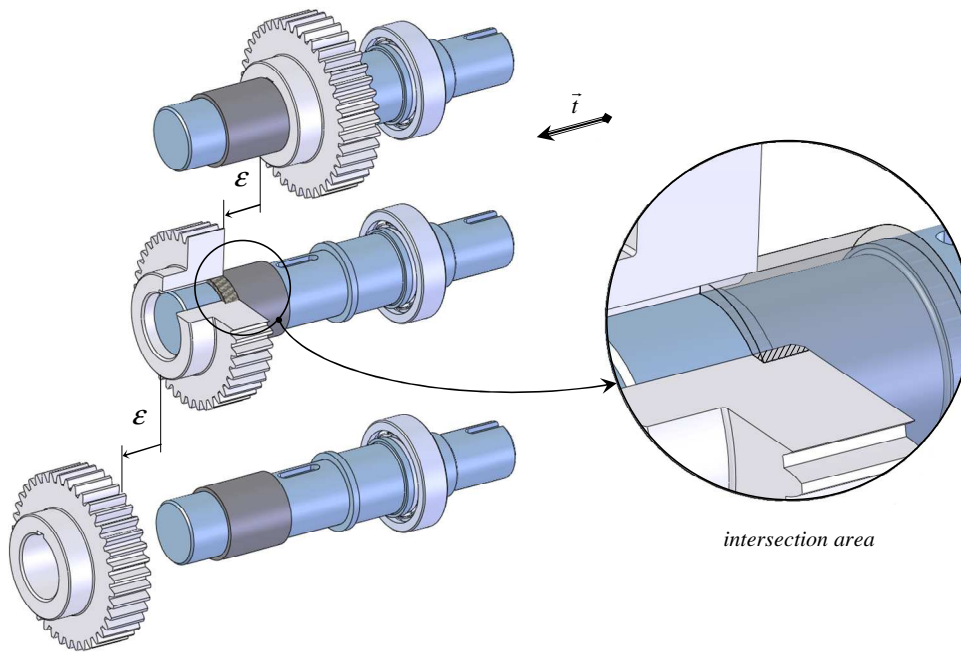


Рис. 5. Пример определения возможности установки детали «Зубчатое колесо» методом «виртуальных» перемещений

Rys. 5. Przykład określenia możliwości ustawienia części „koło zębate” metodą wizualnych przemieszczeń

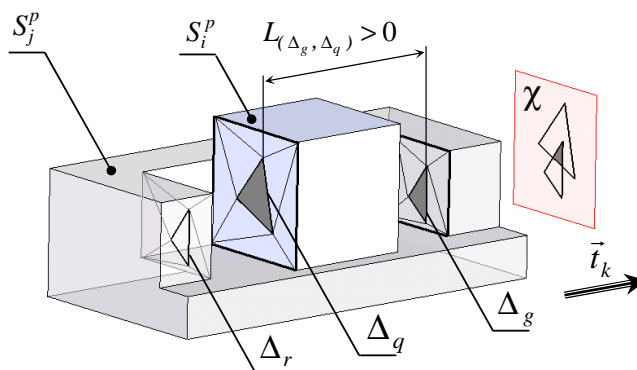


Рис. 6. Пример определения возможности установки детали методом анализа пересечений проекций поверхностей

Rys. 6. Przykład określenia możliwości ustawienia części metodą analizy przecięć projekcji powierzchni

Данный подход позволяет свести задачу из трехмерной к двухмерной. Чтобы проверить пересечения одной пары полигональных поверхностей (треугольников) требует лишь 74 арифметических операции. Но несмотря на все преимущества, главная причина, которая не позволяет его широко использовать - большая трудоемкость вычислений (при достаточно грубой аппроксимации, для сборки из ~ 100 деталей необходимо выполнить более 10^{12} операций, что естественно за приемлемое для конструктора время невозможно).

Наиболее удачным можно считать модификацию приведенного выше метода – анализ пересечения проекций отдельно взятых поверхностей [15, 16], а не только их аппроксимированных фрагментов.

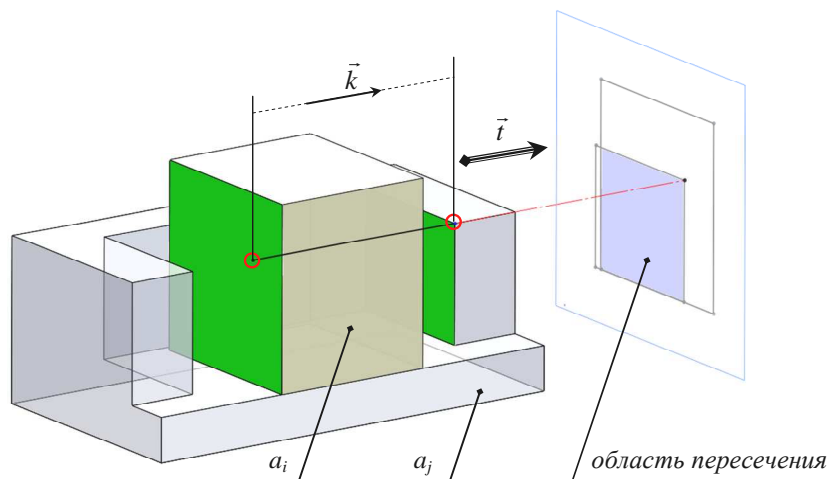


Рис. 7. Пример определения параметров детали методом проекций

Rys. 7. Przykład określenia parametrów części metodą projekcji

Алгоритмическая основа данного метода может быть описана следующим правилам:

1. Импорт через промежуточный формат (к примеру, *.stp или *.igs) геометрии из 3D CAD систем и формирования древовидной структуры: «деталь - перечень поверхностей».
2. Для каждой детали, исходя из контактных ограничений определить множество наиболее значимых направлений монтажа.
3. По каждому направлению для всех пар деталей:
 - Для всех комбинаций поверхностей двух деталей определить наличие области пересечения их проекций.
 - В случае выявления области пересечения, следует определить взаимное положение поверхностей касательно направления анализа (совпадение векторов t и k).

Таким образом, можно сделать вывод, что анализ непосредственно топологии сплайновых поверхностей на данном этапе развития CAD является едва ли не единственным методом формирования начальных данных (за приемлемое для инженера время) для систем автоматизированного проектирования технологии сборки изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kramer G.A. Solving geometric constraint systems, a case study in kinematics, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1992.
2. Laperrière L., ElMaraghy H. GAPP: A generative assembly process planner // Journal of Manufacturing Systems. – 1996. – Vol. 15, №4. – P. 282-293.
3. Turner J., Subramaniam S., Gupta S. Constrain representation and reduction in assembly modeling and analysis // IEEE Transaction on Robotics and Automation. – 1992. – Vol. 8, №6. – P. 741-749.
4. Пасічник В.А. Виявлення кінематичних з'єднань у складальній одиниці на основі інформації про бінарні відношення обмеження рухливості / В.А. Пасічник, Ю.В. Лашина // Труды Одесского политехнического университета: Науч. и произв.-прак. сб. по техн. и ест. наукам. – Одесса, 2008. – Вып. 1(29). – С.31-35
5. Woo T.C., Dutta D. Automatic disassembly and total ordering in three dimensions // Transactions of the ASME. – 1991. – Vol. 113, № 2. – P. 207-213.
6. Woo T.C. Visibility maps and spherical algorithms // Computer Aided Design. – 1994. – Vol. 26, №1. – P.6-16.
7. Wilson R.H., Latombe J. Geometric reasoning about mechanical assembly // Artificial Intelligence. – 1994. – Vol. 71, №2. – P. 371-396.
8. Latombe J., Wilson R.H., Cazals F. Assembly Sequence with tolerances parts // Computer Aided Design. – 1997. – Vol. 29, №2. – P.159-174.
9. Romney B., Godard C., Goldwasser M., Ramkumar G. An Efficient System for Geometric Assembly Sequence Generation and Evaluation // Proc. ASME International Computers in Engineering Conference. – 1995. – P. 699-712.
10. Siddique Z., Rosen D.W. A virtual prototyping approach to product disassembly reasoning // Computer Aided Design. – 1997. – Vol. 29, №12. – P. 847-860.
11. Давьгора В.Н., Пасечник В.А., Сімута Р.Р. Спосіб визначення взаємних обмежень рухливості деталей у складальній одиниці // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2000. – №3 / ч.2. – С. 157-161.
12. Сімута Р.Р. Забезпечення якості і прискорення технологічної підготовки механоскладального виробництва: Дис... канд. техн. наук: 05.02.08. – К., 2003. –174 с.
13. Сімута Р.Р. Визначення бінарних відношень обмеження рухливості деталей складальної одиниці в напрямках, які не є колінеарними головній системі координат // Наукові вісті НТУУ „КПІ”. – 2002. – №6. – С. 89-93 .
14. Кореньков В.М. Автоматизований синтез маршрутних технологічних процесів складання. Дис... канд. техн. наук: 05.02.08. – К., 2005. –171 с.
15. Rejneri N. Détermination et simulation des opérations d'assemblage Lors de la conception de systèmes mécaniques: These Pour obtenir le grade de Docteur de l'Inpg Institut national polytechnique de Grenoble 2000.
16. Romney B., Godard C., Goldwasser M., Ramkumar G. An Efficient System for Geometric Assembly Sequence Generation and Evaluation // Proc. ASME International Computers in Engineering Conference. – 1995. – P. 699-712.

**AUTOMATING THE FORMATION OF THE INITIAL DATA
FOR THE ANALYSIS OF AN ASSEMBLY**

Abstract. This paper presents the analysis of required initial data for computer-aided modules, which realize the analysis of an assembly. The software for computer-aided input of initial data as well as for the processing the geometric information directly from the product's 3D model is described.

Vitaliy PASICHNYK
Julia ŁASZINA
Uniwersytet Techniczny
„Politechnika Kijowska”
Kijów, Ukraina

ANALIZA I DOSKONALENIE KONSTRUKCJI WYROBÓW Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA „DFA EXPERT”

АНАЛИЗ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «DFA EXPERT»

В статье представлен метод целенаправленного перепроектирования сборочного изделия и реализованная на его основе новая система DFA Expert. Использование в данной системе существующих математических моделей сборочного изделия и технологического процесса сборки позволило, кроме основных функций анализа, реализовать интеграцию DFA Expert с другими системами поддержки жизненного цикла изделий.

Многие современные предприятия стараются управлять процессами создания своей продукции, используя подход, называемый «Бережливое производство» (*Lean Production*). Основной целью такого подхода является сокращение издержек производства, а одним из инструментов реализации, – «Параллельное проектирование» (*Concurrent Engineering*), подразумевающее одновременное и взаимообусловленное проектирование конструкции изделия и производственных процессов.

Метод параллельного проектирования, направленный на снижение затрат на сборку продукта за счёт проектирования конструкций, изначально ориентированных на сборочные процессы, получил название «Конструирование, ориентированное на сборку» (*DFA – Design for Assembly*) [1]. Этот метод объединяет в себе как набор определённых правил и рекомендаций по проектированию конструкций новых изделий, так и процедуры анализа существующих изделий с целью их перепроектирования.

Проведённые исследования [1] свидетельствуют о том, что машиностроительная продукция содержит в среднем 50% «лишних» деталей, т.е. деталей, которые можно исключить путём перепроектирования, а потому и процессы сборки таких изделий оказываются значительно дороже, чем это необходимо. Данная ситуация может быть объяснена тем, что на сегодняшний день DFA анализ конструкции практически не автоматизирован.

Самыми известными методами DFA анализа являются: *Hitachi Assemblability Evaluation Method*, *Boothroyd Dewhurst System* [1], *Lucas DFA Technique* [2]. На основании этих методов реализованы следующие экспертные системы: *Design for Assembly 9.2 (Boothroyd Dewhurst System)* и *TeamSET Software (Lucas DFA Technique)*. Однако, даже для этих, общепризнанных систем, характерным является достаточно низкий уровень автоматизации, в частности то, что практически все исходные данные вводятся пользователем вручную, а обработка результатов выполняется человеком. Поэтому, актуальной задачей является разработка системы, позволяющей проводить DFA анализ продукта, для которой существует возможность интеграции с другими системами поддержки жизненного цикла изделия. В данной статье представлен метод целенаправленного перепроектирования сборочного изделия и реализованная на его основе новая система *DFA Expert*, имеющая возможность интеграции с системами проектирования изделий.

Сначала определим некоторые понятия и примем обозначения.

Сборочное изделие (СИ), спроектированное конструктором, представляет собой иерархически упорядоченное множество деталей и *сборочных единиц* (СЕ).

A_{mn}^k – n -я СЕ k -го уровня декомпозиции, принадлежащая m -й СЕ $(k-1)$ -го уровня; a_{mn}^k – n -я деталь k -го уровня декомпозиции, принадлежащая m -й СЕ $(k-1)$ -го уровня.

Тогда любое СИ может быть описано следующим образом,

$$A^0 = A \cup a \quad (1)$$

Такое представление СИ является исходной информацией для создания *технологического дерева СИ*. Детали, принадлежащие каждому из поддеревьев дерева, представляющего СИ, упорядочиваются согласно *технологическому процессу сборки* (ТПС), а в каждой подборке выделяются базовые детали. Отметим, что в процессе синтеза последовательности сборки, иерархия компонентов может быть изменена с целью улучшения самого процесса сборки. Для автоматизации решения данной задачи может быть использована математическая модель СИ в виде *бинарных отношений ограничения подвижности* (БООП) [3] и метод обратного синтеза [4]. Для описания процесса сборки нами разработана модель в виде *матрицы последовательности сборки* (МПС) и связанного с каждым её элементом *вектора атрибутов* (ВА) [5].

Каждая строка и столбец матрицы МПС соответствует абсолютному индексу элемента (детали или сборочной единицы) в СИ. Элемент МПС $s_{ij} = T$, если после установки элемента a_j может быть установлен элемент a_i в направлении $T \in \{X \pm Y \pm Z \pm \dots\}$, во всех других случаях $s_{ij} = 0$:

$$\exists q_n [Hc_n = Hc_{n-1} + a_i] \rightarrow \exists q_{n+1} [a_j \in Hc_{n+1}] \Rightarrow s_{ij} = T, q \in Q, a \in A, Hc \subseteq A, \quad (2)$$

где q_n – состояние СИ на n -ом этапе процесса сборки, принадлежит множеству Q всех возможных состояний СИ; Hc_n – состав деталей СИ на n -ом этапе процесса сборки, является подмножеством всех деталей изделия A .

ВА представляется в виде множества операций, связанных с конкретной деталью или СИ, содержащего последовательность технологических переходов при её установке (рис. 1).

$$BA(A_{mn}^k) = \{O_1, O_2, \dots, O_i\}, \quad (3)$$

где O_i – технологический переход.

В ТПС, кроме операций установки элементов СИ, входят операции, которые выполняются над предварительно установленными деталями (сварка, затягивание болтов и т.п.). Такие операции не относятся ни к какому элементу СИ, а просто должны выполняться после определённых операций установки. Предлагается в технологическое дерево СИ в качестве отдельных узлов добавлять псевдодетали (на рис.1 обозначены пунктирной линией), к которым и будут привязаны такие сборочные операции. Введём следующее обозначение:

op_{mn}^k – n -я псевдодеталь k -го уровня декомпозиции, которая принадлежит m -й СЕ $(k-1)$ -го уровня. С учетом этого, выражение (1) может быть уточнено.

$$A^0 = A \cup a \cup op \quad (4)$$

Технологическое дерево СИ может быть использовано только для описания последовательной сборки. Для распространения предложенного представления ТПС на последовательно-параллельные и параллельные сборочные процессы предлагается рядом с технологическим деревом представлять графическое описание процесса, учитывающее выполнение операций во времени (рис. 1).

Совокупность данных о конструкторских и технологических характеристиках изделия назовём *конструкторско-технологическим решением (КТР)*.

Для DFA анализа важно знать время и стоимость каждой сборочной операции и перехода, на основании которых можно получить временные и стоимостные показатели конкретного КТР. Такой анализ проводится с целью поиска КТР, которое бы обеспечило уменьшение затрат на производство без потери качества изделия. Одним из направлений DFA анализа является сокращение количества деталей СИ за счёт объединения нескольких деталей в одну. Ранее нами были выделены две группы ограничений на объединение деталей: первая – ограничения, анализ которых может быть автоматизирован; вторая – ограничения, которые необходимо оценивать человеку [6].

Результатом проведения автоматизированного DFA анализа в части сокращения количества деталей изделия является набор множеств деталей, которые могут быть объединены с учётом первой группы ограничений. Человек на основании второй группы ограничений принимает решение о переконструировании СИ, в результате получая новое КТР. Новое КТР необходимо оценить с точки зрения затрат, сравнить с уже проанализированными и принять решение относительно продолжения поиска лучшего КТР.

Рассмотрим порядок автоматизированного поиска лучшего КТР, который был положен в основу разрабатываемого нами программного обеспечения *DFA Expert*.

Проект в *DFA Expert* содержит иерархически упорядоченное множество КТР и глобальные настройки для расчёта экономических показателей. Множество КТР описывается деревом, корнем которого является базовый KTP_0 (исходная конструкция), а узлами – все остальные *KTP*, рёбра отображают последовательность создания *KTP*.

Для ребра l , соединяющего два *KTP*: «родителем» будем называть *KTP*, соответствующее узлу n -го уровня, а «потомком» – *KTP*, соответствующее узлу $(n+1)$ -го уровня.

Предлагается следующая последовательность поиска лучшего КТР СИ (рис. 2).

На основе трёхмерной модели детали, созданной в САД-системе, может быть получена информация о конструкторской декомпозиции изделия, габаритных размерах деталей, массе, материалах, некоторых свойствах: хрупкости, гибкости и т.п. С помощью программного обеспечения *Extrass* [7] может быть сгенерирована математическая модель изделия в виде БООП, на основании которой, с использованием алгоритма, представленного в [5], может быть синтезирована математическая модель процесса сборки в виде *МПС*. Данная модель вместе с характеристиками деталей импортируется в *DFA Expert* через текстовый файл (рис. 3).

Программное обеспечение *DFA Expert* имеет однооконный интерфейс, в центральной части которого отображается текущее КТР, а в левой части отображается дерево существующих КТР. Представлено *технологическое дерево СИ*, затем *экономические показатели СИ* и ТПС (рис. 4).

Для каждого элемента СИ должны быть определены конструкторские и технологические характеристики, которые задаются и редактируются в отдельном окне (рис. 5). Интеграция *DFA Expert* с САД в данной версии реализована через импорт информации о КТР из текстового

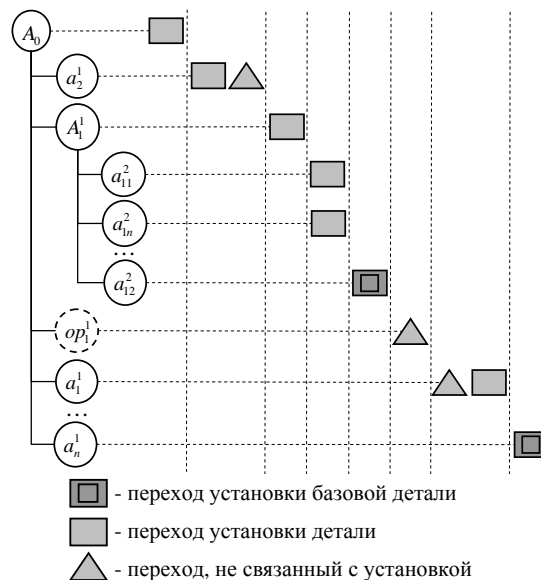


Рис. 1. Конструкторско-технологическое решение

Rys. 1. Konstrukcyjno-technologiczne rozwiązanie

файла, содержащего следующую информацию: количество деталей, название детали, масса, длина, ширина, идентификатор родителя, строка МПС.

Расчёт времени выполнения технологических переходов основывается на методике [1] и представляет собой экспертный расчет суммарного влияния двух составляющих основного времени, определяемого с учетом метода реализации соединения, наличия ограничений доступа и видимости, сложности ориентирования и удержания элементов, энергетических затрат; вспомогательного времени, определяемого с учетом ориентирования и манипулирования, технологических сложностей связанных со сцепляемостью, гибкостью, хрупкостью и т.д. элементов, дополнительных требований. На основании времени выполнения перехода и разрядной сетки, заданной в глобальных настройках проекта, может быть рассчитана стоимость установки каждой детали или СЕ при сборке СИ.



Рис. 2. Алгоритм поиска лучшего КТР

Rys. 2. Algorytm poszukiwania najlepszego konstrukcyjno-technologicznego rozwiązania (KTR)

Завершающим этапом и целью использования *DFA Expert* является сравнительный анализ трудоемкости изготовления и сборки двух или более вариантов КТР для одного изделия. Имеется возможность сравнения КТР по показателям: времени сборки, стоимости сборки, стоимости изготовления и общей стоимости производственных процессов. Результатом работы программного обеспечения является новое КТР, для которого может быть сгенерирован протокол ТПС.

Проиллюстрируем использование *DFA Expert* на примере переконструирования и сравнительного анализа изделия «Пневмораспределитель», исходный вариант конструкции которого представлен на рис. 6, а варианты перепроектирования – на рис. 7.

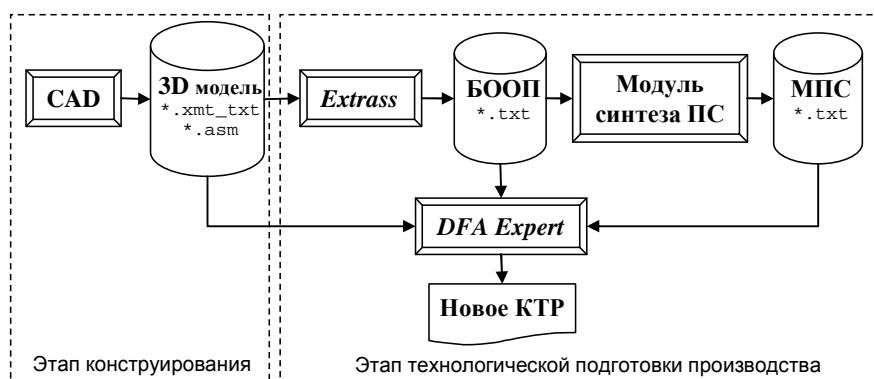


Рис. 3. Взаимодействие подсистем проектирования изделия и технологии

Rys. 3. Współdziałanie podsystemów projektowania wyrobu i technologii

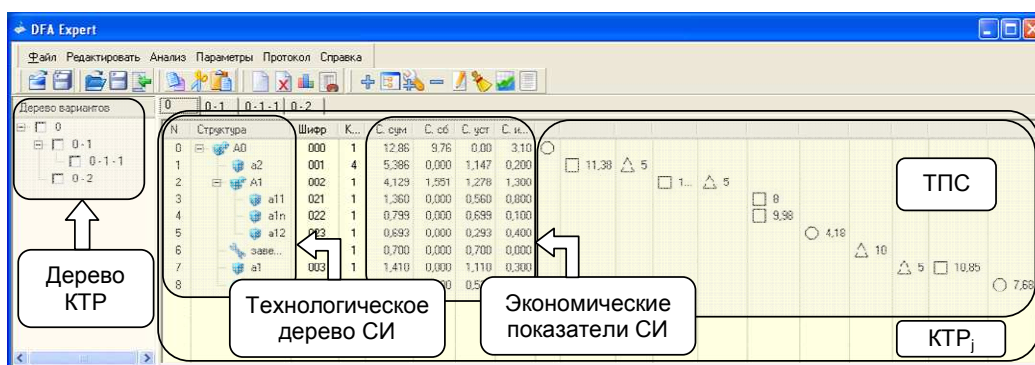


Рис. 4. Структурные элементы основного интерфейса программы DFA Expert

Rys. 4. Strukturalne elementy podstawowego interfejsu programu DFA Expert

Исходная конструкция СИ «Пневмораспределитель» содержит 31 деталь и включает нетехнологичные резьбовые и шплинтовые соединения. Анализ структуры временных затрат на сборочные операции (рис. 8) показал, что наиболее трудоёмкими являются процессы установки крышек a_5 , a_{24} и СЕ «Рычаг». После выполнения первой итерации перепроектирования (рис. 7а), нетехнологичные шплинтовые соединения были заменены более технологичными соединениями при помощи упругих деформаций, кроме того, детали a_{18} , a_{19} , a_{20} были объединены в одну деталь. Перепроектирование $КТР_0$ привело к сокращению: количества деталей на 29%, времени сборки на 30%, затрат на изготовление на 23% (рис. 9).

После выполнения второй итерации перепроектирования (рис. 7б) корпус был объединён с крышками, исключены нетехнологичные резьбовые соединения. Сборка новой конструкции выполняется в одном направлении (за исключением установки рычага), что исключает необходимость перебазирования СИ в процессе сборки. Перепроектирование $КТР_{0.1}$ привело к сокращению: количества деталей на 31,8%, времени сборки на 41%, затрат на изготовление на 27%.

Два этапа перепроектирования в целом привели к сокращению количества деталей на 51,6%; времени сборки на 58,7%, затрат на изготовление на 43,7%.

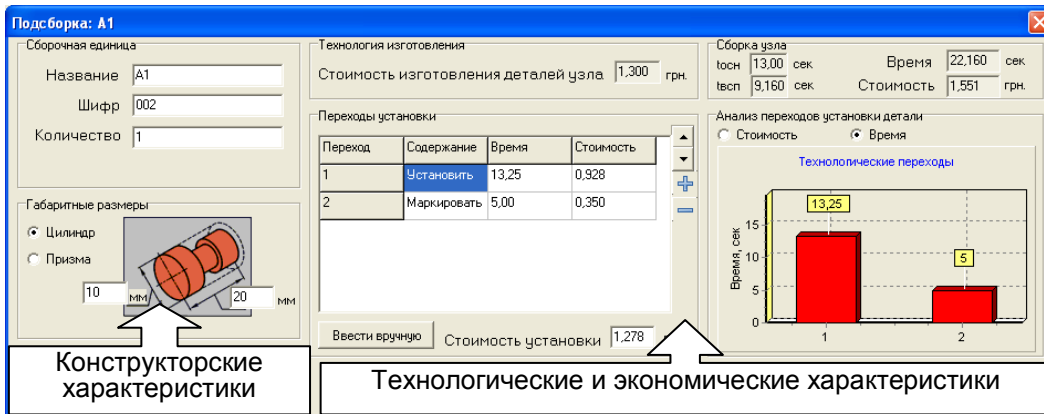


Рис. 5. Конструкторские, технологические и экономические характеристики сборочных единиц, деталей и операций

Rys. 5. Konstrukcyjne, technologiczne i ekonomiczne charakterystyki jednostek montażowych, części i operacji

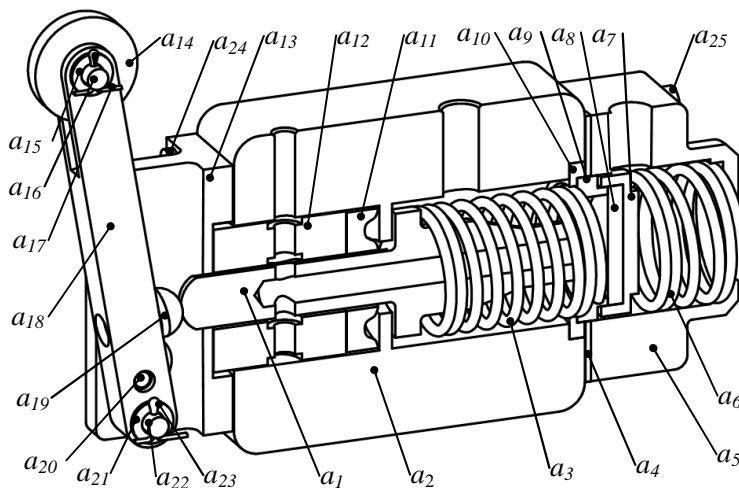


Рис. 6. Пневмораспределитель: а₁ – толкатель; а₂ – корпус; а₃, а₆ – пружина; а₄, а₁₁ – уплотнение; а₅, а₂₄ – крышка; а₇ – седло; а₈ – клапан; а₉ – втулка; а₁₀ – шайба; а₁₂ – золотник; а₁₄ – ролик; а₁₅, а₂₁ – шайба; а₁₆, а₂₂ – штифт; а₁₇, а₂₃ – шплинт; а₁₈ – рычаг; а₁₉ – опора; а₂₀ – штифт; а₂₄, а₂₅ – винт

Rys. 6. Rozdzielacz powietrza (zawór): а₁ – popychacz; а₂ – korpus; а₃, а₆ – sprężyna; а₄, а₁₁ – uszczelka; а₅, а₂₄ – pokrywa; а₇ – siodło; а₈ – zawór; а₉ – tulejka; а₁₀ – podkładka; а₁₂ – suwak; а₁₄ – rolka; а₁₅, а₂₁ – podkładka; а₁₆, а₁₇, а₂₀, а₂₂, а₂₃ – kołek; а₁₈ – dźwignia; а₁₉ – opora; а₂₄, а₂₅ – wkręt

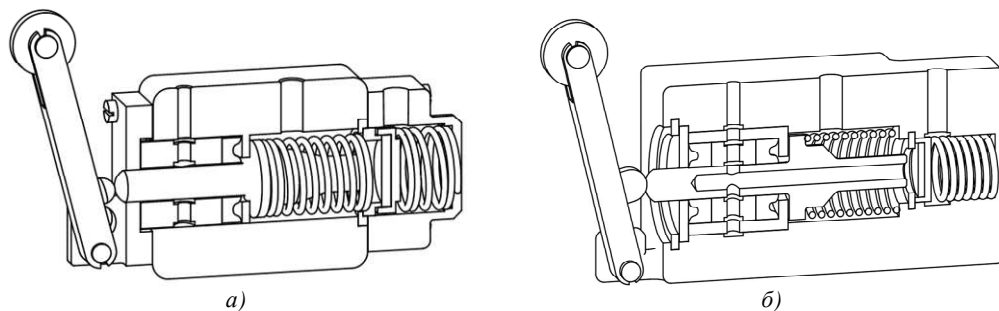


Рис. 7. Варианты переконструирования изделия «Пневмораспределитель»

Rys. 7. Warianty przekonstruowania wyrobu „Rozdzielacz powietrza”

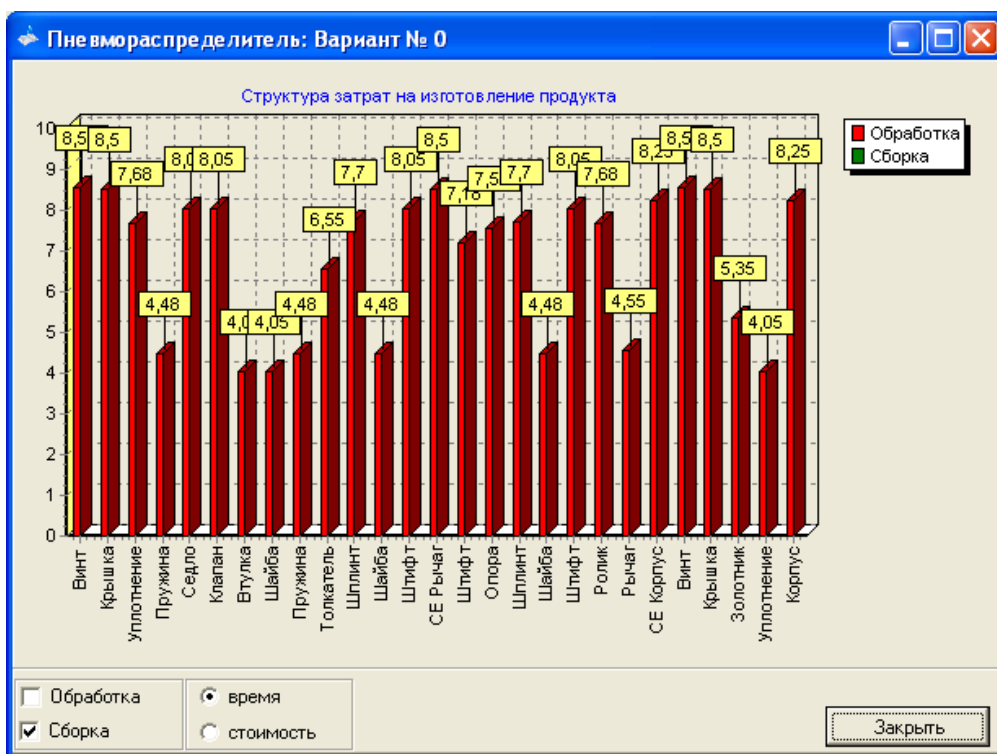


Рис. 8. Структура временных затрат на сборку КТР₀

Rys. 8. Struktura chwilowych nakładów na montaż KTR₀

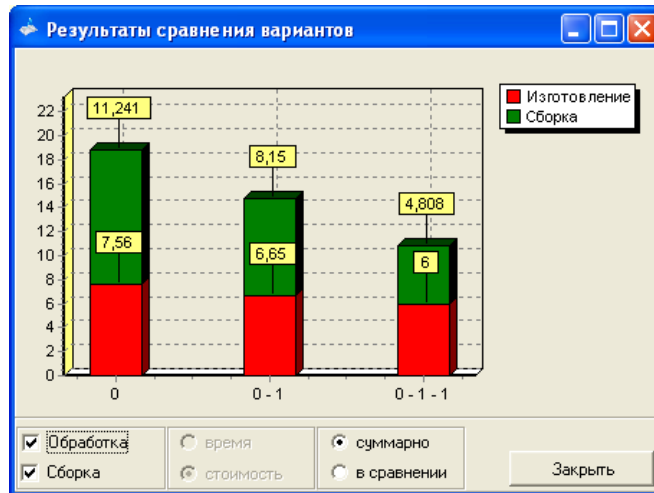


Рис. 9. Сравнительный анализ вариантов переконструирования СИ

Rys. 9. Analiza porównawcza wariantów przekonstruowania jednostki montażowej

ВЫВОДЫ

Представлен алгоритм поиска лучшего КТР и разработанное на его основе программное обеспечение DFA Expert. Для данного программного обеспечения существует возможность информационной интеграции с другими системами поддержки жизненного цикла изделия за счёт использования математической модели СИ в виде БООП и модели сборочного процесса в виде МПС и ВА. Кроме того, использование модели СИ в виде БООП позволит применить предложенные нами ранее алгоритмы автоматизированного DFA анализа. В целом, разработанное программное обеспечение позволяет повысить эффективность производства за счёт снижения затрат на сборочные процессы. Эффективность целенаправленного поиска лучшего КТР подтверждена на примере СИ «Пневмораспределитель», так, два этапа перепроектирования в целом привели к сокращению количества деталей в СИ на 51,6%; времени сборки на 58,7%, затрат на изготовление на 43,7%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston Anthony Knight. Product design for manufacture and assembly. 2nd ed. ISBN 10: 082470584X, CRC Press Taylor & Francis Group, 2001
2. Lucas Engineering Systems Ltd., University Of Hull, Design For Assembly / Manufacture Analysis Practitioners Manual, Version 10.5, CSC Manufacturing, Solihull, UK, 1995.
3. Пасічник В. А. Принципи формування математичної моделі складальної одиниці в виді бінарних відношень обмежень рухливості / В. А. Пасічник, В. М. Кореньков // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. тр XV межд. науч. техн. конф., В 4-х томах. – Донецк : ДонНТУ, 2008. Т. 3. – С. 64–70.
4. Давыгора В. Н. Теория формализованного синтеза множества альтернатив доминирующих порядков последовательно-параллельной сборки / В. Н. Давыгора, В. А. Пасечник // Вестник НТУУ „КПИ”. – К.: 2000. – № 39 / Машиностроение. С. 55–77.

5. Пасічник В. А. Синтез технологічного процесу складання виробу на основі інформації про бінарні відношення обмежень рухливості / В. А. Пасічник, Ю. В. Лашина // Вісник НТУУ «КПІ» – К.: 2009. – № 57 / Машинобудування. С. 75–81
6. Korenkow W. Procedura ukierunkowanej analizy DFA dla jednostek montażowych / W. Korenkow, W. Pasiecznik, J. Łaszina // Technologia i automatyzacja montażu. Ogólnopolski Kwartalnik Naukowo-Techniczny Nr 4 (62) październik – grudzień 2008. P. 11–14.
7. Пасічник В. А. Програмне забезпечення автоматизованого формування математичної моделі складального виробу / В. А. Пасічник, Р. Р. Сімута // Вестник НТУУ „КПІ”.– К.: 2003.– № 44 / Машиностроение. С.173-175.

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF PRODUCT DESIGN USING SOFTWARE «DFA EXPERT»

Abstract. The product design has a significant influence on assembly processes and, thus, production costs. This paper presents an algorithm for analyzing and improving the product design. The algorithm uses the BRRR assembly model and the assembly sequence matrix for the assembly process representation. There is an opportunity for computer-aided generating these models on the basis of the product's 3D model, created in the CAD system. The new computer-aided DFA tool named “DFA Expert” has been developed. The implementation of DFA Expert is based on the proposed algorithm. An example of Air Distributor redesign has been included to illustrate the application of DFA Expert.

Tomasz WÓJCICKI
Piotr CZAJKA
Tomasz GIESKO
Instytut Technologii Eksploatacji – PIB
Radom, Polska

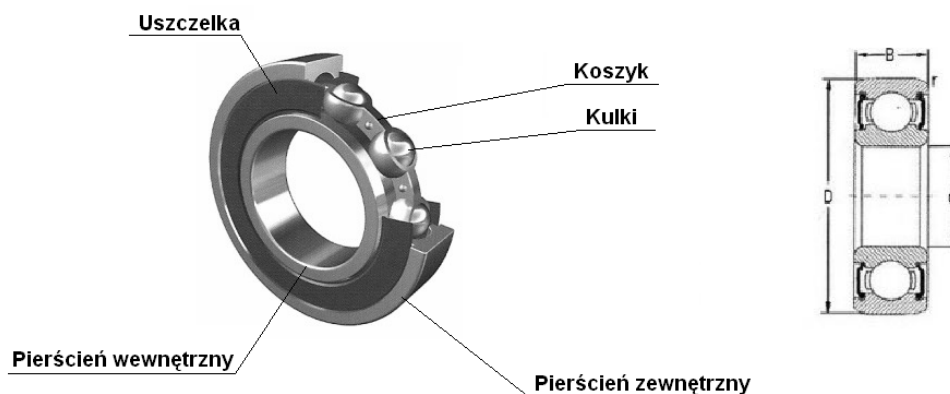
AUTOMATYCZNA INSPEKCJA MONTAŻU USZCZELEK ŁOŻYSK TOCZNYCH Z WYKORZYSTANIEM KOMPUTEROWYCH METOD PRZETWARZANIA I ANALIZY OBRAZÓW

W artykule zaprezentowano opracowaną optoelektroniczną metodę inspekcji montażu uszczelnień w łożyskach tocznych bezpośrednio na linii technologicznej. Do wykrywania i identyfikacji wad montażu uszczelnień zastosowano komputerowe metody przetwarzania i analizy obrazów. Omówiono podstawy teoretyczne zastosowanych metod oraz ich walory i ograniczenia. Przedstawiono zastosowane techniki oświetlenia umożliwiające wizualizację i detekcję wad. W ramach badań opracowano katalog wad montażu uszczelnek, który obejmuje występujące w praktyce wady, m. in. wadliwy montaż uszczelki w łożysku, wystawanie uszczelki poza gabaryt łożyska, ubytki materiałowe, podwinięcie, załamanie, wystawanie wargi z kanałka, zniekształcenie powierzchni. Zaprezentowano wyniki testów przeprowadzonych na stanowisku eksperymentalnym.

WPROWADZENIE

Łożyska toczne wchodzą w skład wielu maszyn często stanowiąc w nich element krytyczny dlatego bezawaryjność łożysk odgrywa kluczową rolę w funkcjonowaniu tych urządzeń. W związku z tym kontrola jakości łożysk przed ich montażem w urządzeniach jest bardzo ważnym elementem. Zastosowanie zautomatyzowanych systemów inspekcji optycznej w procesach produkcyjnych umożliwia wyeliminowanie bezpośredniego udziału człowieka w operacjach kontroli jakości, przyczyniając się do podwyższenia efektywności kontroli oraz skutecznej eliminacji wyrobów wadliwych. Wprowadzenie na linię produkcyjną systemów bazujących na automatycznej optycznej inspekcji (*Automatic Optical Inspection - AOI*) [1], wyposażonych w kamery oraz wyspecjalizowane oprogramowanie do przetwarzania i analizy obrazów, umożliwia podniesienie jakości wyrobów oraz zwiększenie wydajności poprzez wyeliminowanie czynników ludzkich związanych ze zmęczeniem i mniejszą sprawnością. Cyfrowe przetwarzanie obrazów (*Digital Image Processing - DIP*) [2] to dziedzina cyfrowego przetwarzania sygnałów (*Digital Signal Processing - DSP*) zajmująca się cyfrową reprezentacją obrazu a także technikami jego przekształcania. Wśród licznej grupy metod przetwarzania obrazów wyróżniają się metody charakteryzujące się uniwersalnością. Do grupy tej zaliczane są między innymi algorytmy służące polepszeniu jakości obrazów [3], segmentacja [4], transformacje morfologiczne [3], transformacje liniowe [5]. Analiza obrazów (*Image Analysis - IA*) [6] to proces polegający na wydzieleniu istotnej z punktu widzenia użytkownika informacji zawartej w obrazie docierającym do obserwatora lub detektora. Proces analizy obrazów związany jest ze znaczącą redukcją ilości informacji. Zawarte w obrazie dane wydobyte z niego w wyniku działania algorytmów analizy stanowią zaledwie ułamek całego zbioru bitów reprezentujących obraz cyfrowy. Analizę obrazów prowadzi się z wykorzystaniem narzędzi programowych (software) lub sprzętowych (hardware).

Prezentowany system przeznaczony jest do detekcji wad w uszczelkach łożysk tocznych typu RS. Są to gumowo-metalowe uszczelki zewnętrzne, osadzone na pierścieniu zewnętrznym łożyska. Osadzenie uszczelki polega na tym, że wargi uszczelnienia opierają się o wybranie (podtoczenie) na powierzchni pierścienia zewnętrznego. Uszczelki typu RS należą do grupy uszczelki stykowych które mogą być mocowane w łożysku z jednej lub dwóch jego stron. Uszczelnione łożyska wypełniane są zazwyczaj smarem posiadającym właściwości antykorozyjne. Uszczelki produkowane są w różnych kolorach co wpływa na parametry algorytmów detekcji wad takie jak np. progi segmentacji. Budowę łożyska wyposażonego w uszczelkę typu RS przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Budowa łożyska tocznego kulkowego wyposażonego w uszczelkę

WADY USZCZELEK

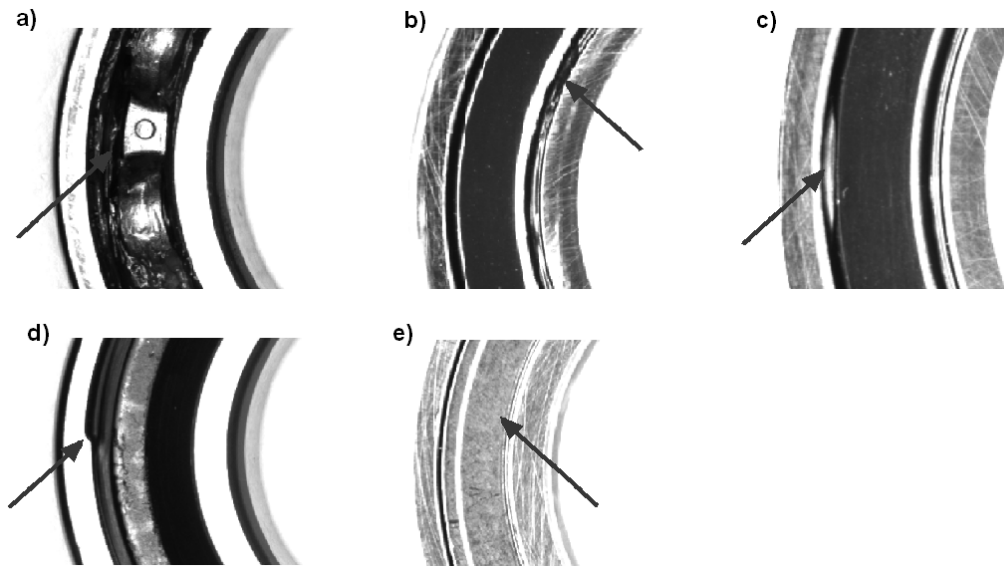
W ramach prowadzonych prac związanych z analizą wadliwych produktów oraz na podstawie informacji dostarczonych przez producenta łożysk zidentyfikowano następujące typy wad:

- brak obecności uszczelki w łożysku,
- odwrotny montaż uszczelki (nośnikiem na zewnątrz, gumą do środka),
- pomyłkowe wmontowanie uszczelki innego typu (z metalową osłoną),
- wystawanie uszczelki poza gabaryt łożyska,
- ubytki materiału na wardze wewnętrznej uszczelki,
- podwinięcie, załamanie lub wystawanie wargi z kanałka,
- wadliwy montaż uszczelki w postaci tworzenia przez uszczelkę stożka w stosunku do czoła łożyska,
- pofałdowanie powierzchni uszczelki.

Przykładowe wady uszczelki łożysk tocznych przedstawiono na rys. 2.

Specyfika wad występujących w uszczelkach łożysk tocznych spowodowała konieczność zastosowania systemu hybrydowego obejmującego kontrolę wizyjną oraz laserową. W celu znalezienia najlepszej metody detekcji wyspecyfikowanych wad przeprowadzono badania z udziałem obu technik. Na podstawie ich wyników opracowano klasyfikację wad możliwych do wyznaczenia proponowanymi metodami (TAB. 1).

System komputerowy zapewnia klasyfikację łożysk na dobre oraz wadliwe a także ich fizyczną segregację zgodnie z ograniczeniami czasowymi narzuconymi przez producenta nie przekraczającymi 3,5 do 4 sekund, co umożliwia synchronizację z cyklem linii produkcyjnej.



Rys. 2. Przykładowe wady uszczelki łożysk tocznych:

- a) brak uszczelki; b) ubytki na wardze wewnętrznej uszczelki; c) podwinięcie wargi zewnętrznej uszczelki;
d) wystawianie uszczelki poza gabaryt łożyska; e) uszczelka z metalową osłoną;

Tabela. 1. Klasyfikacja wad możliwych do wyznaczenia za pomocą kontroli wizyjnej i laserowej

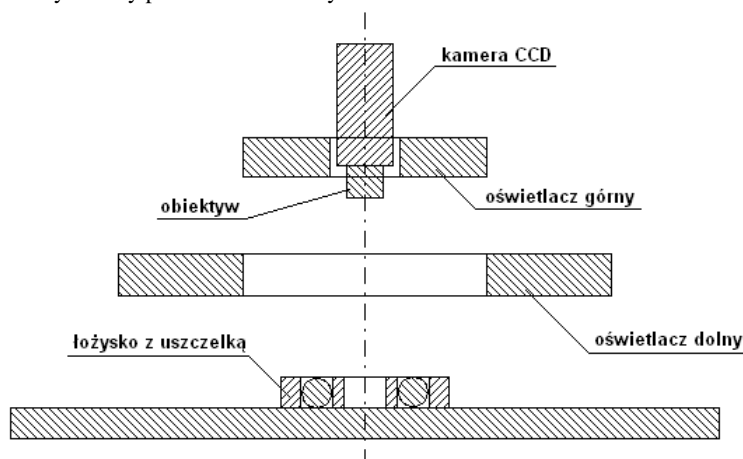
Kontrola wizyjna	Kontrola laserowa
<ul style="list-style-type: none"> - brak uszczelki - odwrotny montaż uszczelki - uszczelka niewłaściwego typu - wystawianie uszczelki poza gabaryt łożyska - ubytki na wardze wewnętrznej - podwinięcie, załamanie, wystawianie wargi - ułożenie w „stożek” 	<ul style="list-style-type: none"> - brak uszczelki - odwrotny montaż uszczelki - uszczelka niewłaściwego typu - wystawianie uszczelki poza gabaryt łożyska - pofałdowanie powierzchni uszczelki

BUDOWA STANOWISKA DO BADANIA WAD USZCZELNI

Zastosowanie hybrydowej metody kontroli powoduje wprowadzenie dwóch etapów inspekcji: kontroli laserowej i wizyjnej następujących kolejno po sobie. Kontrola laserowa polega na pomiarze odległości od obiektu za pomocą głowicy triangulacyjnej. Jest to metoda punktowa co wymusza konieczność obrotu łożyska w celu przebadania całej powierzchni uszczelki. Kontrola wizyjna prowadzona jest z wykorzystaniem kamery matrycowej, rejestrującej obraz całej powierzchni czołowej łożyska, eliminując dzięki temu potrzebę wykonywania kilku zdjęć do pojedynczego pomiaru. W celu przetestowania opracowanych metod przetwarzania i analizy obrazów zbudowane zostało eksperymentalne stanowisko umożliwiające prowadzenie inspekcji wizyjnej jednej strony powierzchni czołowej łożyska. Docelowa konstrukcja stanowiska powinna umożliwiać dostęp torów wizyjnych do powierzchni czołowej łożyska po obu jego stronach.

Jednym z kluczowych czynników wpływających na jakość rejestrowanych obrazów w systemach maszynowego widzenia jest sposób oświetlenia. Przy budowie systemu oświetleniowego należy dążyć do wyznaczenia minimalnej struktury oświetlenia, zapewniającej realizację wszystkich zadań [7].

W zaproponowanym rozwiązaniu zastosowane zostały dwa pierścieniowe oświetlacze emitujące światło białe zbudowane z diod LED (oświetlacz górny, oświetlacz dolny). Umieszczenie oświetlaczy, kamery oraz obiektu analizy zostały przedstawione na rys. 3.



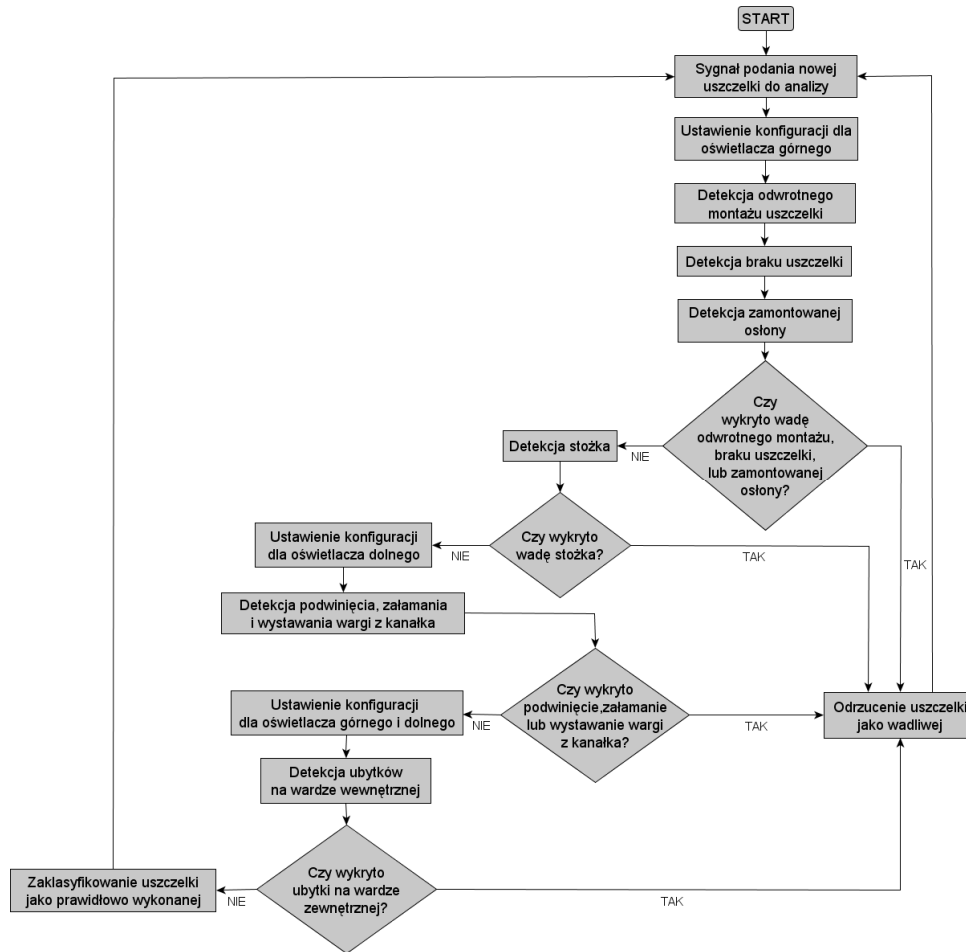
Rys. 3. Stanowisko przeznaczone do automatycznej detekcji wad w uszczelkach łożysk tocznych

Oświetlacz górny umiejscowiony jest na poziomie kamery i zbudowany jest z 400 diod LED w obudowie do montażu powierzchniowego posiadających kąt emisji $\pm 60^\circ$. Oświetlacz ten pełni funkcję oświetlacza czołowego (Front Lighting) [7, 8] w którym diody zostały umieszczone prostopadle do powierzchni czołowej łożyska. Oświetlacz dolny wykonuje funkcję oświetlenia ukośnego (Oblique) [7, 8] i znajduje się bliżej obiektu analizy. Oświetlacz ten zbudowany jest z 360 diod LED w obudowie kopułkowej do montażu przewlekanego o średnicy 5 mm i kącie emisji $\pm 10^\circ$. Diody zostały umieszczone w oświetlaczu pod kątem ok. 15° do powierzchni czołowej łożyska. W celu wyrównania rozkładu natężenia światła dla obu oświetlaczy zastosowano matówki. Oświetlacze są uruchamiane naprzemiennie lub jednocześnie w zależności od typu rozpoznawanej wady. W celu zapewnienia wyraźnego konturowania łożyska zastosowano jasne tło za obiektem analizy. W docelowym układzie zastosowane zostanie oświetlenie wsteczne (Back Lighting) [7, 8] w postaci podświetlacza dolnego co zapewni większą odporność na zanieczyszczenia. Obrazy do analizy pozyskiwane są z wykorzystaniem monochromatycznej kamery CCD o rozdzielczości 1000 x 1000 pikseli umożliwiającej rejestrację obrazów w 256 odcieniach szarości.

ALGORYTM DETEKЦИИ WAD

Główny algorytm procesu detekcji wad stanowi pętla wykonywana aż do momentu przerwania jej przez operatora systemu lub zadziałania czujników na linii produkcyjnej. W skład głównego algorytmu procesu detekcji wchodzi procedura detekcyjna umożliwiające wykrywanie wad poszczególnych rodzajów. Schemat algorytmu przedstawiono na rys. 4.

Jednym z kluczowych elementów procesu detekcji jest ustalenie obszarów zainteresowań (*Region Of Interest - ROI*) [9] dla poszczególnych procedur detekcyjnych. Obszary zainteresowań to fragmenty obrazu, które mają podlegać dalszemu przetwarzaniu, gdyż z punktu widzenia użytkownika zawierają istotne informacje. Zależnie od rodzaju wady ROI ustalane są w różnych obszarach obrazu.



Rys. 4. Schemat algorytmu detekcji wad w uszczelkach łożysk tocznych

Pozycjonowanie ROI dla procedur detekcyjnych wykonywane jest względem osi symetrii łożyska, która wykrywana jest z wykorzystaniem algorytmu najlepszego dopasowania wzorca do badanego obszaru obrazu (Template matching) [10], który z kolei jest zależny od konfiguracji oświetlenia łożyska z uszczelką. Dla konfiguracji oświetlenia, w której aktywny jest wyłącznie oświetlacz górny wzorcem jest pierścień, którego większy promień umiejscowiony jest w połowie szerokości pierścienia wewnętrznego łożyska, zaś mniejszy promień umiejscowiony jest w połowie wewnętrznej fazy pierścienia łożyska. Dla konfiguracji oświetlenia, w której aktywny jest wyłącznie oświetlacz dolny wzorcem jest pierścień umiejscowiony na uszczelce, którego mniejszy i większy promień znajdują się odpowiednio na największej płaskiej powierzchni uszczelki oraz w połowie wewnętrznego ścięcia uszczelki. W przypadku konfiguracji oświetlenia z aktywnym jednocześnie górnym i dolnym oświetlaczem wzorcem jest pierścień, którego większy promień jest w połowie pierścienia zewnętrznego łożyska, zaś mniejszy znajduje się na wewnętrznej fazie pierścienia zewnętrznego łożyska. Dodatkowo przed procesem pozycjonowania obraz filtrowany jest z wykorzystaniem filtra uśredniającego [11] z maską 3×3 .

Procedura detekcji odwrotnie zamontowanej uszczelki realizowana jest przy wykorzystaniu oświetlacza górnego. Dla wady tej ROI jest pierścieniem, którego większy promień oparty jest na wewnętrznej krawędzi pierścienia zewnętrznego łożyska, mniejszy promień zaś opiera się na zewnętrznej krawędzi pierścienia wewnętrznego łożyska. Obszar ROI poddawany jest segmentacji poprzez progowanie z doświadczalnie dobranymi dwoma progami, których wartości zależne są od koloru uszczelki. Dla uszczelki o barwie czarnej dolny i górny próg segmentacji wynoszą odpowiednio 35 oraz 255. Kolejnym krokiem w procedurze detekcji odwrotnie zamontowanej uszczelki jest zliczenie białych oraz czarnych pikseli. Jeśli liczba białych pikseli jest mniejsza niż zdefiniowana wartość progowa wówczas łożysko uznawane jest za wadliwe. Dla czarnych uszczelki wartość progowa wynosi 114 tysięcy pikseli.

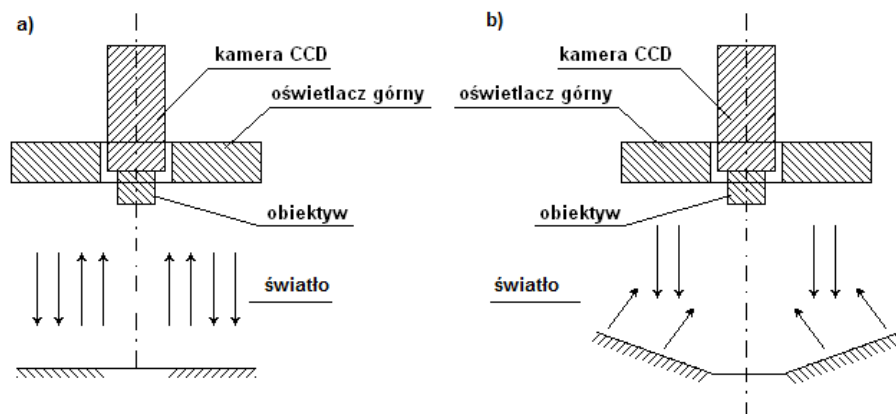
Procedura detekcji braku uszczelki realizowana jest przy wykorzystaniu oświetlacza górnego i wykorzystuje ROI ustalone na tej samej zasadzie co dla procedury detekcji odwrotnie zamontowanej uszczelki. W dalszej części ROI poddawany jest segmentacji poprzez progowanie z doświadczalnie dobranymi dwoma progami, zależnymi od koloru uszczelki. Dla uszczelki o barwie czarnej dolny i górny próg segmentacji wynoszą odpowiednio 6 oraz 230, po czym następuje zliczenie białych i czarnych pikseli. Jeśli liczba białych pikseli jest mniejsza niż założony próg, który dla uszczelki w kolorze czarnym wynosi 170 tysięcy, wówczas uszczelka uznawana jest za uszczelkę z „podejrzeniem” wady. Ponieważ próg liczby białych pikseli jest większy dla „podejrzenia” wady polegającej na braku uszczelki niż próg dla wady polegającej na odwrotnie zamontowanej uszczelce aby odróżnić jeden rodzaj wady od drugiej przyjęto założenie, że jeśli progi zostały przekroczone jednocześnie wówczas występuje wada polegająca na braku uszczelki.

Wykrywanie obecności metalowej osłony odbywa się z wykorzystaniem oświetlacza górnego. ROI ustalany jest tak jak dla przypadków braku uszczelki i odwrotnie zamontowanej uszczelki. Kolejnym krokiem w procedurze detekcji obecności metalowej osłony jest wykonanie segmentacji poprzez progowanie z doświadczalnie dobranymi progami. Dla uszczelki o barwie czarnej progi te są takie same jak w przypadku detekcji braku uszczelki i wynoszą 6 oraz 230. W dalszej kolejności zliczane są białe oraz czarne piksele. Jeśli liczba białych pikseli jest mniejsza niż zdefiniowana wartość progowa, która przykładowo dla uszczelki w kolorze czarnym wynosi 30 tysięcy wówczas uszczelka uznawana jest za uszczelkę z „podejrzeniem” wady. Jeśli wcześniej wykryto wadę polegającą na braku uszczelki oraz uszczelka jest „podejrzana” o wadę w postaci zamontowanej osłony, wówczas przyjmowane jest, że uszczelka jest wadliwa i posiada wadę w postaci zamontowanej osłony.

„Stożek” to wada montażu uszczelki w łożysku charakteryzującą się tym, że powierzchnia uszczelki tworzy w stosunku do czoła łożyska kształt ściętego stożka. „Stożek” wykrywany jest z wykorzystaniem oświetlacza górnego. Idea metody opiera się na założeniu, że ilość światła jaka powraca do kamery po odbiciu od uszczelki ułożonej w stożek jest mniejsza niż dla uszczelki zamontowanej prawidłowo (rys. 5). Obszar ROI dla „stożka” jest taki sam jak dla procedury odwrotnie zamontowanej uszczelki

W procedurze detekcji „stożka” nie jest wykonywana operacja segmentacji. Zamiast niej liczona jest średnia jasność pikseli, która następnie przyrównywana jest do zdefiniowanej wartości progowej, zależnej od koloru uszczelki. Gdy średnia jasność pikseli ROI jest mniejsza niż 45 (dla uszczelki w kolorze czarnym) wówczas stwierdza się występowanie wady w postaci „stożka”.

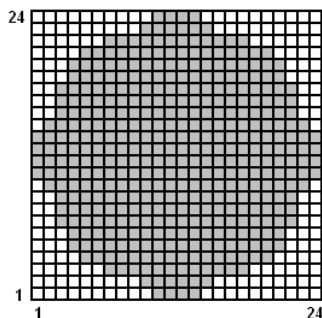
Procedura detekcji wad w postaci podwinięcia, załamania i wystawiania wargi z kanałką realizowana jest z wykorzystaniem oświetlacza dolnego. ROI dla tego przypadku zdefiniowany jest jako pierścień, którego większy promień opiera się o mniejszy promień pierścienia zewnętrznego łożyska. Mniejszy promień ROI opiera się zaś na wgłębieniu uszczelki, które wyznacza granice wargi zewnętrznej uszczelki. ROI poddawany jest procedurze segmentacji poprzez progowanie z ogólnie zdefiniowanymi dwoma progami zależnymi od koloru uszczelki. Dla uszczelki w kolorze czarnym próg dolny oraz górny segmentacji wynoszą odpowiednio 80 oraz 255. Po tej operacji wady widoczne są jako białe plamy, jednakże poza nimi znajdują się również plamy, które nie reprezentują wad. W celu wyeliminowania szumu, który stanowią plamy nie będące wadami, obraz jest filtrowany z wykorzystaniem algorytmu erozji [12] przy użyciu elementu strukturyzującego w postaci macierzy kwadratowej o rozmiarze 5x5.



Rys. 5. Idea metody wykrywania wady w postaci uszczelki ułożonej w stożek:
a) uszczelka prawidłowa; b) uszczelka ułożona w stożek

Jeśli obszar plamy przekroczy odgórnie zdefiniowany próg wówczas przyjmowane jest, że uszczelka posiada wadę. Próg ten ustalany jest jako 100 pikseli dla uszczelki w kolorze czarnym.

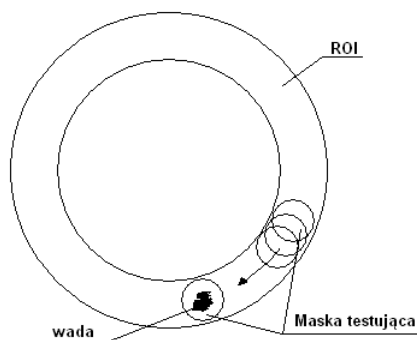
Procedura detekcji ubytków na wardze wewnętrznej realizowana jest z jednoczesnym wykorzystaniem oświetlacza górnego oraz dolnego. ROI tej procedury zdefiniowany jest jako pierścień, którego większy promień opiera się o wgłębienie uszczelki wyznaczające granice wargi wewnętrznej, zaś mniejszy promień pierścienia stanowiącego ROI zachodzi na pierścień wewnętrzny łożyska. Detekcja wady odbywa się z wykorzystaniem maski testującej, którą stanowi macierz o rozmiarze 24x24. Wygląd maski przedstawiony został na rys. 6.



Rys. 6. Maska testująca wykorzystana w algorytmie detekcji ubytków na wardze wewnętrznej uszczelki

Piksele z ROI testowane są z wykorzystaniem maski testującej w celu wyznaczenia ich średniej wartości intensywności. Maska testująca przemieszczana jest w ROI tak, aby przetestować wszystkie piksele tego obszaru. Sposób poruszania się maski testującej w ROI przedstawiono na rys. 7.

Jeśli średnia intensywność pikseli przekracza zdefiniowaną wartość progową, wówczas przyjmowane jest, że testowana uszczelka posiada wadę. Wartość progowa ustalana jest doświadczalnie i dla uszczelki w kolorze czarnym wynosi 10.



Rys. 7. Zasada działania algorytmu detekcji ubytków na wardze wewnętrznej uszczelki z wykorzystaniem maski testującej

IMPLEMENTACJA

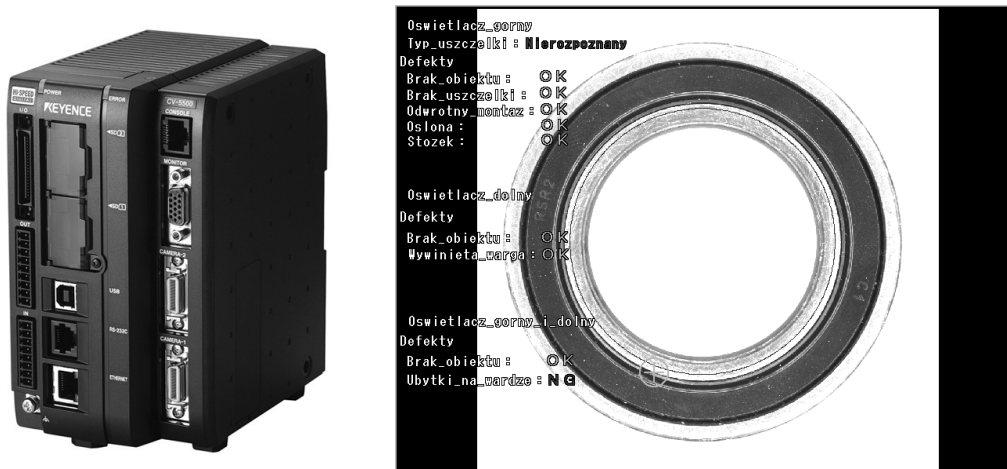
Implementacji rozwiązania dokonano w dwóch wersjach. Pierwszy wariant przeznaczony jest do pracy w środowisku Microsoft Windows i wykonany został przy wykorzystaniu narzędzi programistycznych firmy Borland (rys 8).



Rys. 8. Wygląd okna pomiarowego aplikacji dla systemu MS Windows przeznaczonej do detekcji wad uszczelnień łożysk tocznych

Zalecana minimalna konfiguracja komputera oraz systemu operacyjnego niezbędna do prawidłowej pracy oprogramowania jest następująca: mikroprocesor klasy Pentium IV, 256 MB pamięci typu RAM, 20 MB wolnej przestrzeni na dysku twardym, rozdzielczość karty graficznej 1024x764 pikseli, karta typu frame-grabber umożliwiającą przechwytywanie obrazu z częstotliwością nie mniejszą niż 1 Hz.

Druga wersja oprogramowania została osadzona na urządzeniu Keyence CV-5000, które jest uniwersalnym systemem optycznej inspekcji bazującym na obrazie pozyskiwanym z jednej lub kilku kamer równocześnie (rys.9).



Rys. 9. Urządzenie Keyence CV-5000 oraz okno pomiarowe z zaimplementowanym algorytmem detekcji wad uszczelnień łożysk tocznych

System Keyence zbudowany jest z jednostki centralnej, kamery, monitora, pilota zdalnego sterowania oraz zasilacza. W skład jednostki centralnej, będącej też jednostką kontrolującą, wchodzi procesor wykonany w technologii RISC wspierany przez dwa procesory sygnałowe DSP przeznaczone do obróbki obrazu. Moduł kontrolera został zaopatrzony w następujące interfejsy: port równoległy, czytnik kart pamięci typu SD, port USB, port szeregowy RS-232C, złącze sieciowe w standardzie Ethernet, specjalne złącze rozszerzające, złącze do podłączenia pilota zdalnego sterowania, wyjście VGA do podłączenia zewnętrznego monitora oraz złącza do podłączenia kamer.

PODSUMOWANIE

Opracowany algorytm automatycznej inspekcji montażu uszczelnień łożysk tocznych spełnia swoją funkcję zgodnie z przyjętymi założeniami co zostało potwierdzone eksperymentalnie. Aplikacja przeznaczona dla systemu MS Windows jak też urządzenia Keyence CV-5000 umożliwiają automatyczną klasyfikację uszczelnień z prędkością co najmniej jednej na dwie sekundy. Opisane w artykule rozwiązanie po zmodyfikowaniu może znaleźć zastosowanie w badaniu uszczelnień zaworów lub tłoków. Kolejnym etapem prac będzie integracja systemów kontroli wizyjnej i laserowej w ramach jednego urządzenia. Przeprowadzone zostaną również badania weryfikacyjne możliwości poprawnej pracy obu modułów w warunkach symulujących oddziaływania środowiskowe w postaci wibracji, zanieczyszczeń, pozostałości smaru i płynów technologicznych. Pozytywne wyniki prac umożliwią budowę systemu kontroli uszczelnień łożysk tocznych w wykonaniu przemysłowym.

LITERATURA

1. Tadeusiewicz R.: Systemy wizyjne robotów przemysłowych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1992.
2. Batchelor B., Waltz F.: Intelligent Machine Vision, Techniques, Implementations and Applications. Springer-Verlag, London, 2001.
3. Vorobel R., Stoińska M.: Adaptacyjna metoda poprawy kontrastu obrazu. Automatyka, Tom 9, Zeszyt 3, 2005.
4. Liao P.S., Chen T.S., Chung P.C.: A fast algorithm for multilevel thresholding. Journal of Information Science and Engineering 17, s. 713-727, 2001.
5. Szymocha A.: Przestrzeń i ruch. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1997.
6. Tadeusiewicz R., Korohoda P.: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997.
7. Giesko T.: Metody oświetlania w systemach maszynowego widzenia 3-D. Problemy Eksploatacji, Radom, 2005, 1, s. 43-51.
8. VanDommelen C. H.: Choose the Right Lighting for Inspection. Test & Measurement World, 10/1/1996.
9. Batchelor B., Waltz F.: Intelligent Machine Vision, Springer, 2001.
10. Brunelli R.: Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice. JohnWiley & Son Ltd, Torquay, 2009.
11. Chan H.: Medical Image Analysis Methods, CRC Press Inc., 2005.
12. O'gorman L., Sammon M. J., Seul M.: Practical Algorithms For Image Analysis. Cambridge University Press, 2008.

AUTOMATIC INSPECTION OF GASKETS ASSEMBLY IN ROLLER BEARINGS WITH THE USE OF COMPUTER BASED PROCESSING AND IMAGE ANALYSING METHODS

Abstract. This article presents the opto-electronic inspection method of gaskets assembly in roller bearings developed directly in a process line. Computer based processing and image analysing methods were applied to detect and identify defects of the gaskets assembled. This paper describes the theory behind the methods used, its advantages as well as limitations. Moreover, lighting techniques that enable visualisation and detection of defects are presented in this article. The catalogue of gaskets assembly defects was prepared within the research work. It covers such defects as: the faulty assembly of the gasket in the bearing, the protrusion of the gasket beyond a bearing, the loss of material, rolling up, bending, the protrusion of the gasket lip from the duct and surface deformation. The article presents the results of the tests carried out on the experimental stand as well..

Aleksander NIEOCZYM
Wyższa Szkoła Zawodowa
Zamość, Polska

MODUŁOWE STANOWISKA OBRÓBKOWE

ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

W katedrze PKM Politechniki Lubelskiej wykonane były projekty stanowisk montażowych bazujących na stole obrotowym [1, 2]. Konstrukcje te cechowały się mechanicznymi układami wydawania detali z magazynów grawitacyjnych zasilanych zasobnikami wibracyjnymi. Obecnie w projektach zastosowano typowe elementy modułowe zasilane pneumatycznie. Stosowanie konstrukcji modułowych spowodowane jest możliwością rozbudowy istniejących stanowisk obróbkowych i montażowych, umożliwia obniżenia kosztów, skrócenie terminów: projektowania, wykonania i wdrożenia. Ponadto urządzenie o strukturze modułowej, złożone ze standardowych elementów, spełniających samodzielną funkcję w urządzeniu odznacza się wysoką uniwersalnością zapewniającą możliwość wielokrotnego zastosowania przy zmianie obiektu produkcji, szybkością i łatwością wymiany modułów. Umożliwia to skrócenie czasu i pracochłonności projektowania oraz wykonania poprzez wysoki stopień unifikacji i normalizacji elementów zespołów konstrukcji. Wynikają stąd cechy modułów:

- niezależność konstrukcyjna,
- możliwość połączeń modułów w różnych kombinacjach, łatwość i niezawodność ich łączenia,
- zgodność wymiarów przyłączeniowych elementów stykających się w zespołach o jednakowym przeznaczeniu.

Przedstawione stanowisko jest modułowym gniazdem obróbkowym gdzie zachodzi proces frezowania otworu w przedmiocie obrabianym. Stanowisko to (rys. 1) stanowi rozwinięcie i unowocześnienie wcześniejszych projektów, przy czym operacja montażu została zastąpiona operacją obróbki skrawaniem.

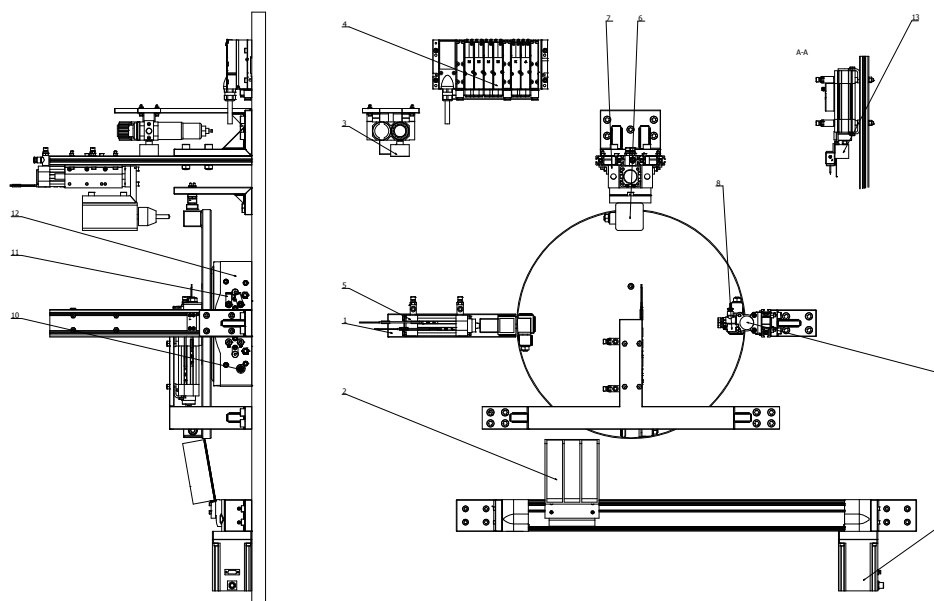
Budowa strukturalna i rozmieszczenie poszczególnych elementów wynikają z zachodzących czterech etapów cyklu pracy:

- transportu – pobieranie półfabrykatu z zasobnika grawitacyjnego,
- obróbki,
- kontroli poprawności wykonania otworu,
- sortowania i transportu do odpowiedniego gniazda magazynu elementów gotowych.

Do wykonania prac projektowych gniazda obróbkowego posłużył program Catia V5. Przy tworzeniu projektu modułowego gniazda obróbkowego zostały wykorzystane następujące moduły: Sketcher, Part Desing, Assembly Design, Drafting, DMU Kinematics.

Proces produkcyjny realizowany w gnieździe obróbkowym składa się z czterech etapów:

- 1) etapu transportu – pobranie półfabrykatu z zasobnika grawitacyjnego,
- 2) etapu obróbki frezowania,
- 3) etapu kontroli poprawności wykonania otworu,
- 4) etapu sortowania przedmiotu obrabianego do odpowiedniego gniazda magazynu.



Rys. 1. Schemat stanowiska obróbczego, 1 – zasobnik grawitacyjny, 2 – magazyn, 3 – zespół przygotowania sprężonego powietrza, 4 – zespół zaworów, 5 – siłownik nr 1, 6 – frezarka, 7 – jednostka prowadząca, 8 – czujnik położenia, 9 – silnik krokowy, 10 – wyłącznik zbliżeniowy, 11 – zawór zwrotny, 12 – stół obrotowy, 13 – głębokościomierz, 14 – siłownik nr 2

MODUŁY STANOWISKA

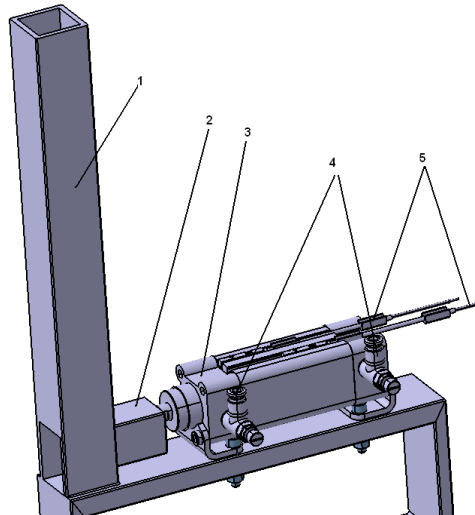
W konstrukcji stanowiska wykorzystano elementy wykonawcze, zasilające i siłowe firmy Festo [3]. Wyodrębniono tu pięć głównych modułów:

Moduł transportu

Elementami składowymi są (rys. 2):

- magazyn grawitacyjny pionowy wykonany z profilu zamkniętego o przekroju kwadratowym,
- siłownik DNC-32-40-PPV-A z dwoma zaworami dławiąco – zwrotnymi GRLA-1/8-QS-6-RS-D, wyłącznikami zbliżeniowymi SME-8M-DS-24V-K-2,5-OE,
- popychacz, który jest przykręcony do tłoczyska siłownika DNC-32-40-PPV-A.

Alternatywnym rozwiązaniem było wyposażenie stanowiska w manipulator ramieniowy, który spełniałby funkcję urządzenia podającego części do gniazda obróbczego. Po zakończeniu obróbki, manipulator przenosiłby część do magazynu. Starano się tu wykorzystać doświadczenie zdobyte podczas konfigurowania robotów [4]. Modułowy robot składa się ze zbioru standaryzowanych połączeń – przegubów (joint module - JM) i modułów konstrukcyjnych (link module - LM). W wyniku selekcji dostępnych modułów otrzymuje się konfigurację o określonej liczbie stopni swobody (DOF). Projekt wykonano w oparciu o program SEMORS do kształtowania modułowych robotów AMTEC (Automation, Measurement and Test Technologies). Podstawą działania tego programu jest możliwość konfigurowania robotów przemysłowych (RP) z ogólnie dostępnych LM oraz JM. Czynności te dokonywane są w oparciu o zadaną specyfikę parametrów pracy tj. moc znamionową, liczbę stopni swobody, kinematykę części roboczych. Program ten pozwala także na dobór specyficznego wyposażenia robota (czujniki, oprzyrządowanie robocze).

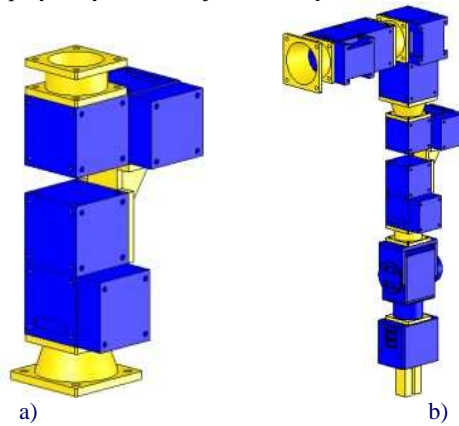


Rys. 2. Model modułu transportu: 1 – magazyn grawitacyjny, 2 – popychacz, 3 – siłownik, 4 – zawory dławiąco zwrotne, 5 – wyłączniki zbliżeniowe

System ten umożliwia uzyskanie następujących działań:

- 1 – wstępna specyfikacja konstrukcji (liczba stopni swobody DOF, liczba połączeń – przegubów)
- 2 – analiza kinematyczna i dynamiczna modelu robota,
- 3 – graficzne generowanie pożądanej trajektorii ruchu,
- 4 – określenie sekwencji procesu technologicznego,
- 5 – wybór metody kontroli działania i bezkolizyjności pracy,
- 6 - rozmieszczenie czujników kontroli poprawności pracy, metoda pomiaru i zbierania danych,
- 7 – symulacja.

Na rys. 3 przedstawiono przykłady konstrukcji modułowych robotów AMTEC.



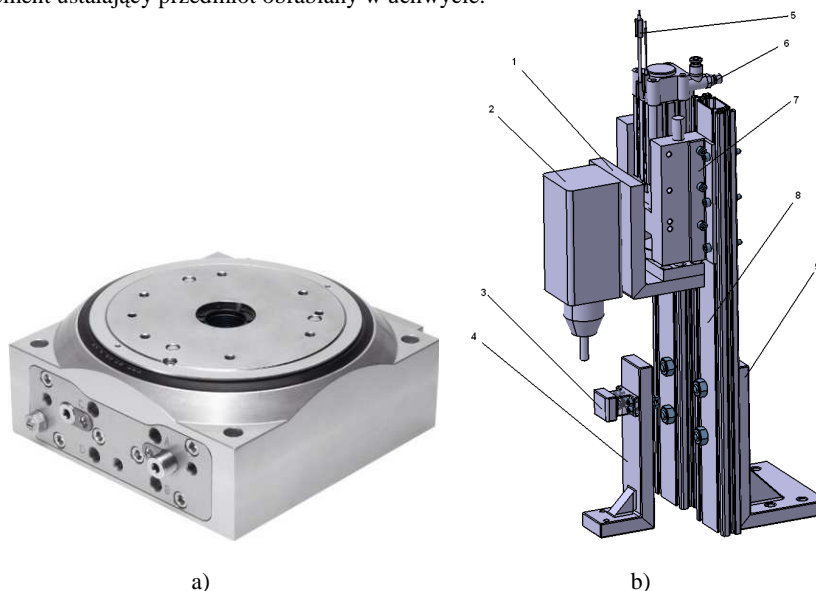
Rys. 3. Przykład konstrukcji modułowych robotów firmy AMTEC w oparciu o prostopadłościenną i sześcienną budowę modułów (LM). Liczba stopni swobody (DOF): a) dwa, b) sześć

Moduł obróbki

W skład modułu stołu obrotowego wchodzi elementy przedstawione na rys. 4.

W skład modułu obróbki wiertarskiej wchodzi następujące elementy:

- siłownik DNC-32-40-PPV-A z dwoma zaworami dławiająco-zwrotnymi GRLA-1/8-QS-6-RS-D, wyłącznikami zbliżeniowymi SME-8M-DS-24V-K-2,5-OE,
- jednostka prowadząca FENG-32-40,
- frezarka
- stół obrotowy DHTG-220-4-A,
- łąk z gniazdami obróbkowymi,
- element ustalający przedmiot obrabiany w uchwycie.

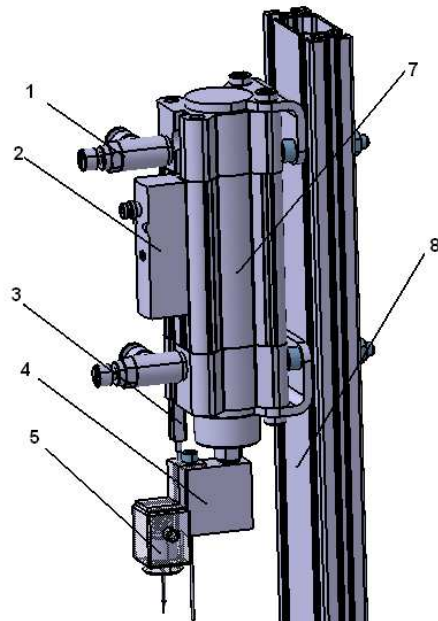


Rys. 4. Elementy składowe modułu obróbki: a) – stół obrotowy, b) rysunek zespołu wykonawczego:
 1 – uchwyt frezarki, 2 – wiertarka, 3 – docisk, 4 – mocowanie docisku, 5 – wyłącznik zbliżeniowy,
 6 – zawór dławiająco zwrotny, 7 – kątownik do mocowania jednostki prowadzącej, 8 – profil aluminiowy,
 9 – mocowanie profili aluminiowych

Moduł kontroli

Głównymi elementami są (rys. 5):

- siłownik DNCB-32-40-PPV-A zamocowanego na łapach z dwoma zaworami dławiająco – zwrotnymi GRLA-1/8-QS-6-RS-D wyłącznikiem zbliżeniowym SME-8M-DS-24V-K-2,5-OE oraz nadajnikiem połączenia SMAT-8E-S50-IU-M8,
- głębokościomierz,



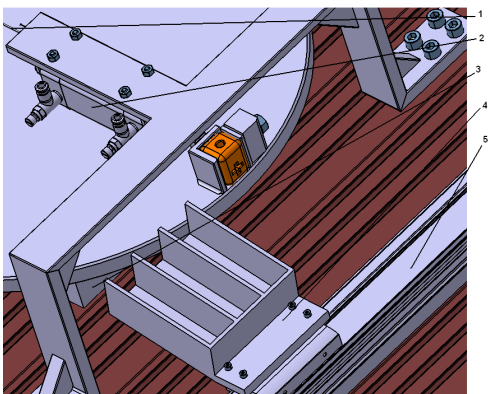
Rys. 5. Model modułu kontroli: 1 – zawór dławiąco zwrotny, 2 – nadajnik położenia, 3 – wyłącznik zbliżeniowy, 4 – głębokościomierz, 5 – czujnik materiału, 7 – siłownik, 8 – profil aluminiowy,

Moduł sortowania

Moduł sortowania składa się z następujących elementów:

- siłownika DNC-32-40-PPV-A z dwoma zaworami dławiąco – zwrotnymi GRLA-1/8-QS-6-RS-D, wyłącznikami zbliżeniowymi SME-8M-DS-24V-K-2,5-OE,
- popychacza przykręconego do tłoczyka siłownika DNC-32-40-PPV-A,
- napędu liniowego,
- magazynu z trzema kieszeniami.

Na rys. 6 przedstawiono przedmiot obrabiany w gnieździe sortowania.



Rys. 6. Przedmiot obrabiany w gnieździe sortowania: 1 – wyłącznik zbliżeniowy, 2 – siłownik, 3 – stół obrotowy, 4 – magazyn, 5 – napęd liniowy

Moduł sterowania pneumatycznego

Do sterowania elementami pneumatycznymi została zastosowana wyspa zaworowa (rys. 7). Ma ona na celu rozdzielenie sprężonego i oczyszczonego powietrza do wszystkich elementów wykonawczych. Wyspa zaworowa podłączona jest do sterownika PLC Simatic S7-300, który steruje prawidłowością procesu.



Rys. 7. Wyspa zaworowa

ZASADA DZIAŁANIA STANOWISKA

W etapie transportu przedmiotu obrabianego z zasobnika grawitacyjnego następuje podanie przedmiotu obrabianego z magazynu grawitacyjnego do pierwszego gniazda na stole obrotowym, na którym zostanie przeprowadzona obróbka frezowania. Siłownik dwustronnego działania DNC-32-40-PPV-A wyposażony w dwa wyłączniki zbliżeniowe SME-8M-DS-24V-K-2,5-OE, dwa zawory dławiąco zwrotne GRLA-1/8-QS-6-RS-D oraz specjalny popychacz zamontowany na tłoczysku transportuje przedmiot obrabiany do gniazda obróbkowego z magazynu grawitacyjnego. Po umieszczeniu przedmiotu obrabianego w gnieździe obróbkowym następuje powrót siłownika DNC-32-40-PPV-A do pozycji początkowej, po czym następuje obrót stołu obrotowego DHTG-220-4-A, który wyposażony jest w czujniki położenia SIEN-M8B-PS-S-L o 90°. W drugim etapie przedmiot obrabiany, zostaje dociśnięty do tylnej ściany gniazda obróbkowego. Ruch obrotowy freza nadaje silnik, który jest sterowany cyfrowo. Po wykonaniu otworu w przedmiocie obrabianym i wycofaniu się siłownika z frezarką, następuje obrót stołu o kolejne 90°. W etapie kontroli przedmiot obrabiany, zostaje unieruchomiony przez docisk. Następnie wykonywany jest pomiar głębokości otworu. Siłownik DNCB-32-40-PPV-A dwustronnego działania wyposażony w nadajnik położenia SMAT-8E-S50-IU-M8 oraz wyłącznik zbliżeniowy SME-8M-DS-24V-K-2,5-OE wykonuje ruch posuwowy. Głębokościomierz mierzy głębokość otworu dzięki nadajnikowi położenia SMAT-8E-S50-IU-M8. Po sprawdzeniu głębokości otworu, siłownik z głębokościomierzem wraca do pozycji początkowej. Następnie stół obrotowy DHTG-220-4-A wykonuje obrót o kolejne 90°.

W ostatnim etapie – sortowaniu, następuje transport przedmiotu obrabianego przez siłownik DNC-32-40-PPV-A dwustronnego działania do magazynu, który jest umieszczony na napędzie liniowym EGC-7-500-TB-KF-30H-GK. Magazyn składa się z trzech kieszeni. W zależności od rezultatów kontroli głębokości przedmiot obrabiany transportowany jest do odpowiedniej kieszeni. W pierwszej i drugiej kieszeni zostaje umieszczony przedmiot obrabiany, w którym otwór został wykonany prawidłowo. W trzeciej kieszeni zostanie umieszczony przedmiot obrabiany, w którym otwór został wykonany nieprawidłowo.

LITERATURA

1. *Nieoczym A.*: Wybrane zagadnienia procesu projektowania urządzeń pomocniczych automatu do połączeń gwintowych. *Technologia i Automatykacja Montaży*, nr 1, 1999; str. 6-9
2. *Nieoczym A.*: Analiza pracy obrotowego stołu montażowego. *Technologia i Automatykacja Montaży*, nr 1, 2000, str. 5-7
3. www.festo.pl
4. *Nieoczym A.*:Zagadnienia projektowania modułowych robotów. *Technologia i Automatykacja Montaży*, nr 2, 2006, str. 18-22.

MODULAR MACHINING STAND

Abstract. The article presents the concept of building the position of machining stand using typical actuator. Is based on a turntable with four slots. Teams are collaborating tray gravity, cutting device, the module checks the quality of performance and storage of finished components. The position of a pneumatic drive, is controlled by PLC. Presented assembly drawing position and working drawings of the basic modules.

Aleksander STREUBEL

Marek KURAN

Politechnika Wrocławska, Polska

Iwona KUPROWSKA

Koncern MAHLE Stuttgart, Niemcy

LOGISTYCZNE ZABEZPIECZENIE SERYJNEGO MONTAŻU TŁOKÓW SILNIKA SPALINOWEGO

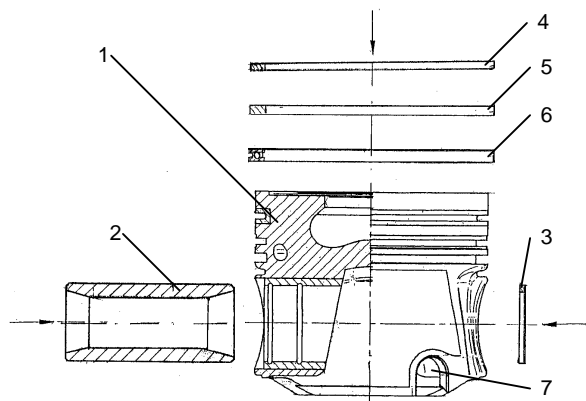
Postęp techniczny w przemyśle maszynowym i motoryzacyjnym ma na celu skrócenie czasów wytwarzania, obniżenie kosztów produkcji, zapewnienie wymaganej niezawodności wytwarzanych wyrobów. Istotny jest więc stabilny przebieg procesu wytwarzania, co trudno uzyskać w złożonych procesach technologicznych. Tym bardziej, że obserwuje się wysoką specjalizację zakładów, co szczególnie zauważalne jest w przemyśle motoryzacyjnym. Zakłady produkują tylko określone elementy, takie jak tłoki, tuleje cylindrowe, sworznie, zawory. Zawężenie programu produkcyjnego zmienia charakter produkcji, organizację zakładu oraz sposób zarządzania. Wielkość produkcji w przemyśle samochodowym kształtuje się na poziomie od kilkudziesięciu sztuk do miliona samochodów [1]. Dotychczas w literaturze [2] spotyka się podział produkcji na pięć grup w zależności od wielkości partii wyrobu: jednostkową, małoseryjną, seryjną, wielkoseryjną i masową. Obecny podział uwzględnia jeszcze inne czynniki, które są bardziej istotne w trakcie projektowania procesu produkcyjnego. Należą do nich: obciążenie obrabiarek, rodzaje obrabiarek, zastosowanie pomocy specjalnych, koszty przygotowania produkcji, koszt jednostkowy produkcji, opracowany proces technologiczny. W przemyśle motoryzacyjnym mamy do czynienia z produkcją wielkoseryjną lub masową a więc konieczne jest stosowanie linii produkcyjnych z odpowiednimi przenośnikami, nadzorowaniem produkcji, statystyczną kontrolą jakości.

Opis nowoczesnej metody produkcji tłoka do silnika 1,9 TDI w ilości około miliona sztuk rocznie, która gwarantuje wysoką wydajność i wymaganą jakość można znaleźć w literaturze [3]. Ogranicza się ona jednak tylko do wykonania tłoka, natomiast dalsze operacje jak jego uzbrojenie w pierścienie i sworznie z zabezpieczeniami były przeprowadzane u producenta silników. Obecnie czynności te wykonuje producent tłoka co wymusza na nim nowe podejście do zagadnienia. Kompletny tłok do silnika 1,9 TDI pokazuje rys. 1. Składa się on z obrobionego odlewu 1, w którym osadzone są: sworznie – 2, zabezpieczony z dwóch stron sprężystymi pierścieniami – 3, pierścieni uszczelniających 4 i 5 oraz pierścienia zgarniającego 6.

Operacje montażowe z uwagi na swą specyfikę tworzą odrębną linię produkcyjną. Obecnie są stosowane dwa rozwiązania: w małych seriach montaż wszystkich części odbywa się na jednym stanowisku, co jednak nie zapewnia wymaganej wydajności. Znacznie lepsze jest rozwiązanie, w którym montaż sworznia 2 i jego sprężystych zabezpieczeń 3 to jedno stanowisko oraz osadzenie pierścieni 4, 5, 6 to drugie stanowisko. Oba stanowiska w praktyce często ze sobą są połączone układem transportowym. W takim rozwiązaniu istotne jest to, że tłok jest osadzony na specjalnej palecie gdzie bazowany jest na bazie technologicznej 7 wykonanej na odlewie oraz jego specjalnym wybraniu 7. Proces technologiczny montażu wymienionych elementów tłoka został omówiony ze wcześniejszej publikacji [4].

Osobne zagadnienie stanowi zabezpieczenie logistyczne montażu tłoków. Na podstawie rocznego zamówienia ustalono tygodniowy limit produkcyjny wynoszący około 45 000 sztuk tłoków a więc konieczne jest dostarczenie na linię montażową 45 tys. sztuk sworzni, 90 tys. sztuk pierścieni zabezpieczających, 90 tys. sztuk pierścieni uszczelniających i 45 tys. sztuk pierścieni olejowych. Konieczne jest więc sformułowanie odpowiedniej strategii logistycznej, która uwzględni strategiczne cele przedsiębiorstwa.

Należy podkreślić, że przedstawione liczby dotyczą tylko jednego asortymentu tłoka. W praktyce typowymiarów tłoka jest kilkadziesiąt. Z danych rynkowych wynika, że liczba wykonawców wymienionych części jest ograniczona i nie każdy spełnia wymogi stawiane przez producenta tłoków.

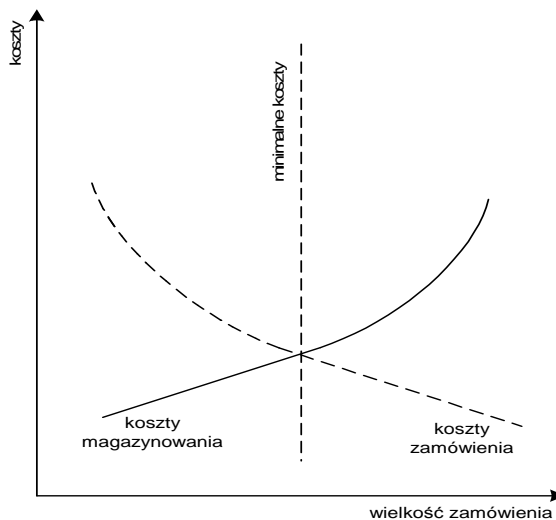


Rys. 1. Elementy składowe tłoka: 1 – korpus, 2 – sworzień, 3 – pierścień sprężysty zabezpieczający sworzień, 4, 5 – pierścienie uszczelniające, 6 – pierścień zgarniający, 7 – wybranie bazy technologicznej

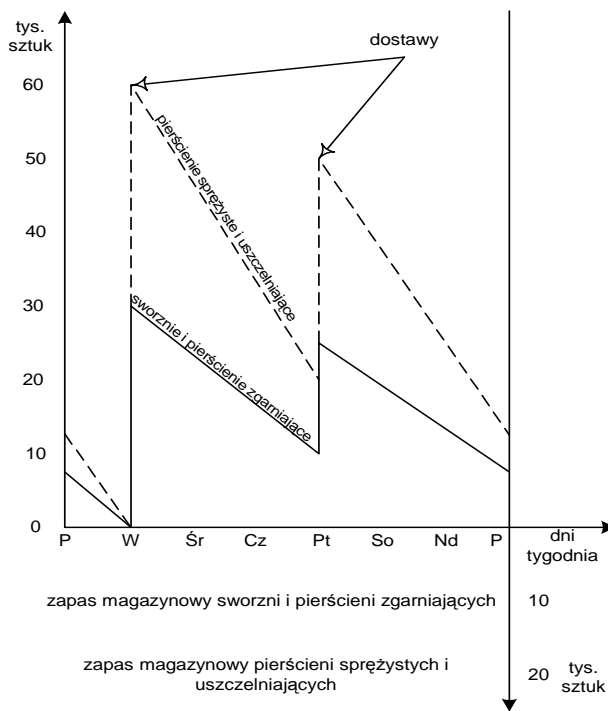
Wymagania te można przedstawić w 3 grupach tematycznych dotyczących: ceny dostarczonej części, jej jakości oraz logistyki. Cena produktu to efekt długich negocjacji i stanowi odrębne zagadnienie. Wymagania jakościowe są częściowo określone normą niemieckiego przemysłu motoryzacyjnego VDA6 część 4.1 (tom 2), jak i przez producenta gotowego wyrobu. Uznając element za jakościowo dobry, kupujący uważa, że produkt jest wykonany zgodnie z dokumentacją, poszczególne sztuki są powtarzalne i gwarantują wysoką trwałość. Zakłada się, że dostawca w pełni odpowiada za towar i ponosi konsekwencje w przypadku wady dostarczonego towaru. Tu często wymagane są od wykonawcy części odpowiednie certyfikaty jak i zaszeregowanie do określonej kategorii dostawców [5]: bardzo dobrych, dobrych, dostatecznych i nieakceptowalnych. (Z tym ostatnim rozwiązuje się umowę.) Osobne zagadnienie to logistyczne zabezpieczenie dostawy elementów do zakładu i dalej na montaż. Idealne rozwiązanie, to bieżące dostarczanie elementów bezpośrednio od dostawcy na linię. W praktyce jest to niemożliwe do zrealizowania. Wynika to z różnej konstrukcji poszczególnych elementów, ich masy i ilości potrzebnych do montażu oraz różnych producentów. Konieczna jest więc analiza kosztów poszczególnych opcji – częstotliwość dostaw oraz wielkości zapasów magazynowych.

Według danych literaturowych [6] koszty magazynowania zależą od kilku czynników. Najważniejsze to wielkość zamówienia, ilość dostawców i rotacji materiału. Ogólną charakterystykę kosztów magazynowania przedstawia rys. 2, na którym widać, że istnieje pewne minimum, które można w przybliżeniu określić według zależności podanych w literaturze [6]. Dzięki komputeryzacji procesów produkcyjnych można przeprowadzić symulację procesu logistycznego i na tej podstawie wybrać optymalne rozwiązanie.

Na rys. 3 pokazano niezbędny stan magazynowy elementów składowych tłoka; sworznia, pierścieni uszczelniających i sprężystych i pierścienia zgarniającego dla tygodniowej produkcji tłoków (45 tys. sztuk). Jest on wynikiem nie tylko komputerowych symulacji, ale również codziennej weryfikacji warsztatowej. Na podstawie praktyki ustalono, że z uwagi na problemy z rytmicznością dostawy konieczny jest minimum 1 – dniowy zapas magazynowy. Elementy powinny być dostarczone przez dwóch dostawców. Najlepsze terminy dostaw to wtorek i piątek. Osobne zagadnienie to kontrola dostaw. Musi ona zapewnić, że dostarczone materiały w pełni odpowiadają wymaganiom określonych w zapotrzebowaniu i warunkach technicznych dostaw oraz terminowość dostaw. W przypadku niezgodności wdrożyć procedurę reklamacji. Kontrolę dostaw przeprowadza się według algorytmu pokazanego na rys. 4.



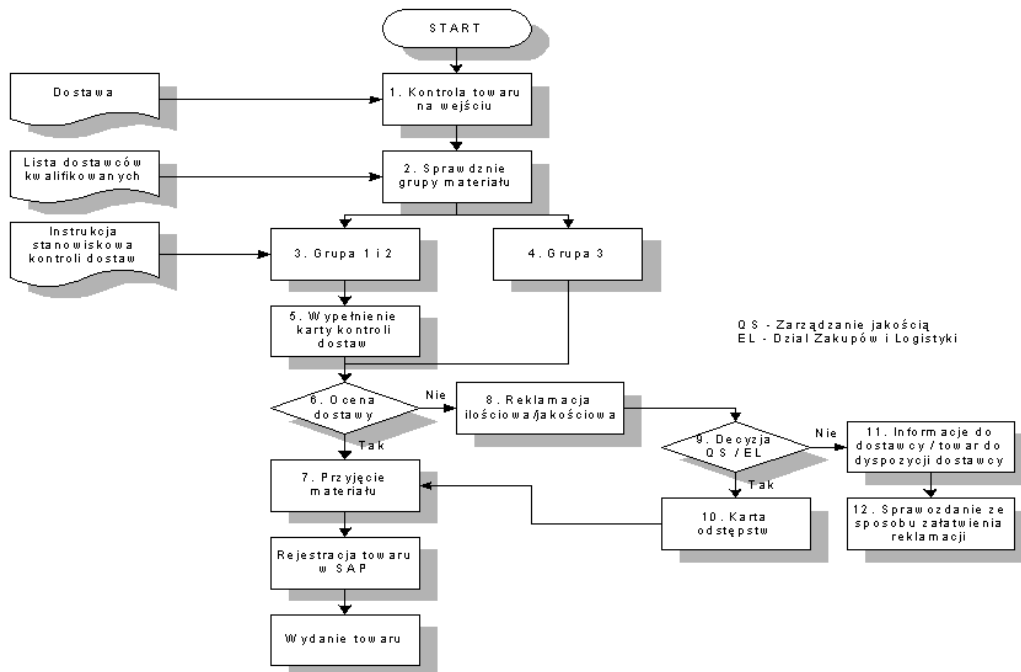
Rys. 2. Charakterystyki kosztów magazynowania i kosztów zależnych od wielkości zamówienia



Rys. 3. Stany magazynowe elementów tłoka podlegających montażowi w przeciągu tygodnia

Obejmuje ona:

- sprawdzenie zgodności dostawy ze specyfikacją,
- sprawdzenie zgodności z zamówieniami,
- ocenę jakości dostawy,
- ocenę terminowości, kompletności i poprawności dokumentacji,
- sprawdzenie obowiązkowych atestów i świadectw jakości.



Rys. 4. Kontrola dostaw [5].

Do czasu zakończenia procedury przyjęcia dostawy, materiały ze strefy przyjęć przechowywane są w specjalnej strefie magazynowania. Materiały ze strefy przyjęć przemieszczane są tylko w przypadku pozytywnego wyniku kontroli do strefy składowania. Przyjęcie dostawy jest ewidencjonowane (księgowane) w systemie SAP R/3 [7]. W przypadku dostawy materiałów od wytwórców niekwalifikowanych wymagany jest dodatkowy zakres kontroli dostawy jak sprawdzenie zgodności specyfikacji i załączonych do niej atestów jakościowych uwzględniających niezbędne warunki techniczne. Ilość materiału przeznaczanego do montażu winna odpowiadać dobowym potrzebom produkcji i być odnotowana w systemie SAP R/3.

PODSUMOWANIE

Logistyka w przedsiębiorstwie nie stanowi już celu samego w sobie lecz pełni istotną rolę w wypełnianiu zadań zakładu. Cechami logistyki w przedsiębiorstwie są: czas dostaw, niezawodność, elastyczność, terminowość, minimalizacja kosztów produkcji. Obecnie koszty logistyki w przemyśle motoryzacyjnym dochodzą do 5 %. Na koszty logistyki składają się koszty transportu zakładowego i pozakładowego, koszty magazynowania. Idealny stan to dostarczanie elementów bezpośrednio na linię produkcyjną. W praktyce przy seryjnym montażu konieczny jest zapas zarówno w magazynie jak i na linii.

LITERATURA

1. STREUBEL A, KOSICKI A. „Problemy w Obróbce tłoków silników spalinowych”. Prac. Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji nr 78/2000. Politechnika Wroclawska. Wroclaw 2000.
2. FELD M. „Postawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn” WNT Warszawa 2000.
3. KOSICKI A. „Badanie wydajności produkcji tłoków i ich jakości technologicznej z uwzględnieniem kosztów wytwarzania” Praca Doktorska Politechnika Wroclawska. Wroclaw 2002.
4. STREUBEL A., KOSICKI A., „Czynniki wpływające na wielkoseryjny montaż tłoków silników spalinowych” Technologia i Automatykacja Montażu Nr 3/4 2004.
5. KUPROWSKA I. „Metoda podwyższenia poziomu niezawodności systemu logistycznego dla produkcji wielkoseryjnej w przemyśle motoryzacyjnym” Praca Doktorska. Politechnika Wroclawska. Wroclaw 2006.
6. MAN M. „Logistik: mit Ubengsaufgaben und Losungen” Koln WRW - Verlag 2002
7. KOSICKI A., KUPROWSKA I., ŁUBNIEWSKI R., STREUBEL A. „Komputeryzacja procesów logistycznych w przedsiębiorstwie” WNT Warszawa. Zakopane 2004.

LOGISTIC SECURING OF COMBUSTION ENGINE PISTON SERIAL ASSEMBLY

Abstract. In the paper problems concerning large series assembly of combustion engine piston and problems connected with assurance of supplies of components such as rings and piston pin are presented. Ways of suppliers classification from the point of view of delivered elements quality are described. Problems connected with stock of hand planning to assure assembly process continuity is presented too.

M. HAJDUK
J. SEMJON
V. BALÁŽ
M. SUKOP
A. VOROŇKO

Uniwersytet Techniczny w Koszycach,
Koszyce, Słowacja

TESTERY MIMOŚRODOWYCH WYŁĄCZNIKÓW DLA PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO

ТЕСТЕРЫ КУЛАЧКОВЫХ ВКЛЮЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

АНОТАЦИЯ

Кулачковые выключатели используются в различных сферах промышленности для включения различного оборудования при этом нужно обеспечить безопасную и надёжную работу. Поэтому нужно исполнить тестирование каждого произведённого выключателя. Статья описывает конструкцию тестера кулачковых выключателей типа C25, которые изготавливаются в дизайне от 1 до 12 переключаемых полей. Тестер работает по принципу механического касания тестерных игл.

ВВЕДЕНИЕ

Для нужд большинства промышленного оборудования нужно использовать выключатели разных типов и нагрузок которые обеспечивают подключение и отключение оборудования от источников электроэнергии. Эти выключатели должны выполнять требования надёжного и безопасного включения. Выключатели производятся в разных конструктивных решениях и одним из них являются кулачковые выключатели. Кулачковые выключатели на рис. 1 имеют параметры 43x43xL (L = 33,5 - 182) мм, при этом текущий ток от 10 до 25А. Выключатель собранный на модульной основе, которая даёт возможность менять число полей выключателей в промежутке от 1 до 12. После сборки выключателя нужно контролировать его функциональность, это значит тестирование связи ВКЛ. – ВЫКЛ., это даёт возможность измерения всех контактов выключателя одновременно за один цикл. Для этого в нашей лаборатории проектировалось и реализовалось тестерное оборудование с автоматической оценкой.

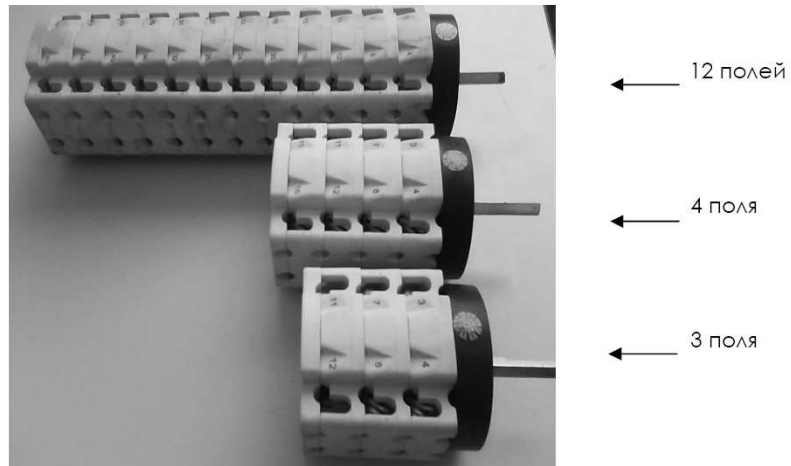


Рис. 1. КВ с разными числами полей
 Rys. 1. Wyłączniki mimośrodowe z różną liczbą sekcji

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИНЦИПА ИЗМЕРЕНИЯ КВ

Проектирование измерительных состояний ВКЛ. – ВЫКЛ., реализовалось с помощью 12 пар амортизаторных игл помещённых в непроводниковой доске рис. 2.

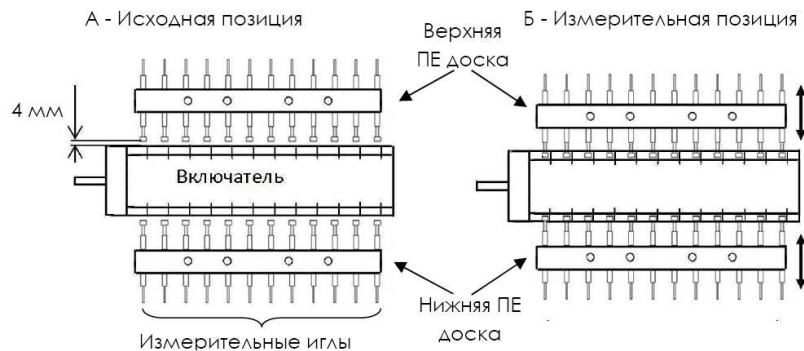


Рис. 2. Проектирование тестирования выключателей с помощью измерительных игл
 Rys. 2. Projektowanie testowania wyłączników z pomocą sond pomiarowych

При тестировании определяется электрическая связь между контактами в самостоятельных полях. Сигнализация исправности ВКЛ. – ВЫКЛ. выключателя показывает с помощью светодиодов, при этом для каждого поля подключен отдельный светодиод независимо на. Тестирование проводится постоянным напряжением 12 Вольт. На рис. 3 указана упрощённая схема одного поля при помощи одного диода.

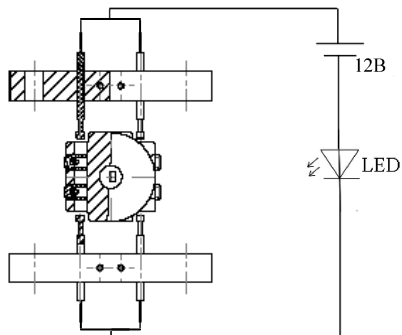


Рис. 3. Сигнализация исправности соединения одного поля контактов
Rys. 3. Sygnalizacja poprawności połączenia kontaktów jednej sekcji

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕСТЕРА

Концепция тестера

При измерении касание игл проводится одновременно на всех контактах. На рис. 4 показано концептуальное проектирование тестера с механическим движением. В позиции А рычаг находится в вертикальном положении при этом выключатель засовывается в тестер в направлении стрелки до упора. Тестирующие иглы находятся на расстоянии 4мм над выключателем. После чего нажимается рычаг на позицию Б. Движение игл реализовано рычажным механизмом через воздействие тяг на ПЕ доски. В позиции Б измерительные иглы касаются контактов выключателя. В этой позиции нужно законтрировать рычаг и после чего следует само измерение. После измерения рычаг одблочкируется и полиэтиленовая доска возвращается к исходной позиции.

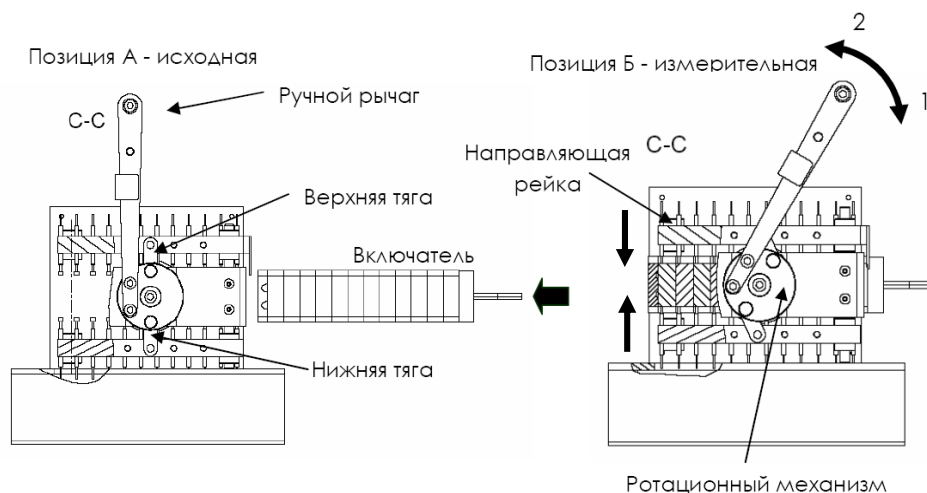


Рис. 4. Концептуальное проектирование тестера
Rys. 4. Konceptyjne projektowanie testera

Конструкция тестера

Тестер состоит из поддона, измерительной части с ручным рычагом и поворотной рукоядкой, рис. 5. Поддон (1) решённый как сваренный элемент из листов металла по причине наиболее пониженного центра массы к рабочему столу чтобы во время тестирования тестер недвигался на столе. В пространстве поддона тоже находится нужная электроинсталляция а также нижняя управляющая доска. Тестирующая часть (2) предназначена для всовывания выключателей и исполнения измерения. Ручной рычаг (3) даёт возможность обслуживанию воспроизвести достаточный нажим необходимый для удовлетворительного касания между подрессоренными измерительными иглами и контактами тестируемого выключателя. Рукоятка (4) вращает осью выключателя что даёт возможность определять угол поворота тестируемого выключателя при его включении либо выключении.

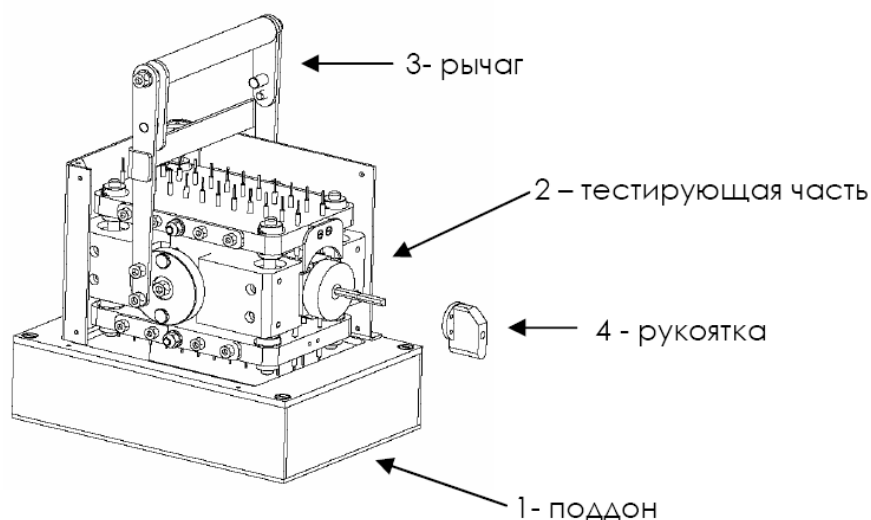


Рис. 5. Конструкция тестера

Rys. 5. Konstrukcja testera

Немаловажным компонентом тестера является измерительный сегмент, элементами которого числятся амортизирующие иглы вложенные в полиэтиленовой доске, со специфическими изолирующими свойствами. Втулки измерительных игл впаяны в плату содержащую нужные электронные элементы для правильной функции аппаратуры. Полиэтиленовая доска оснащена иглами и направляющими втулками вставляется на направляющие рейки. Присоединение к вращающему механизму реализовано за счёт тяги. Вращающийся механизм использует рычажной принцип позволяющий путём вращения фланца и подачи тяги взаимное сближение игл верхней а также нижней доски тестера в направлении стрелок.

ОПИСАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ТЕСТЕРА

Режим действия тестера изображён на рис. 6. С носовой стороны тестера вставляется выключатель в отверстие в направлении стрелки, позиция 1. После введения выключателя в тестер нужно насадить рукоятку на ось выключателя, позиция 2. в направлении стрелки. Рукоятка должна усесться на свою плоскость чтобы небыло неточностей, позиция 3. В следующем шаге произойдёт касание контактов с помощью нажатия на рычаг а также оборота рукоятки, позиция 4. в направлении стрелок. В это время происходит включение и выключение отдельных контактов. Внимание выключателя из тестера равно одинаковым действиям в обратном порядке. Исправность выключателей определяется с помощью светодиод которые отображают напряжение на отдельных контактах тестируемого выключателя.

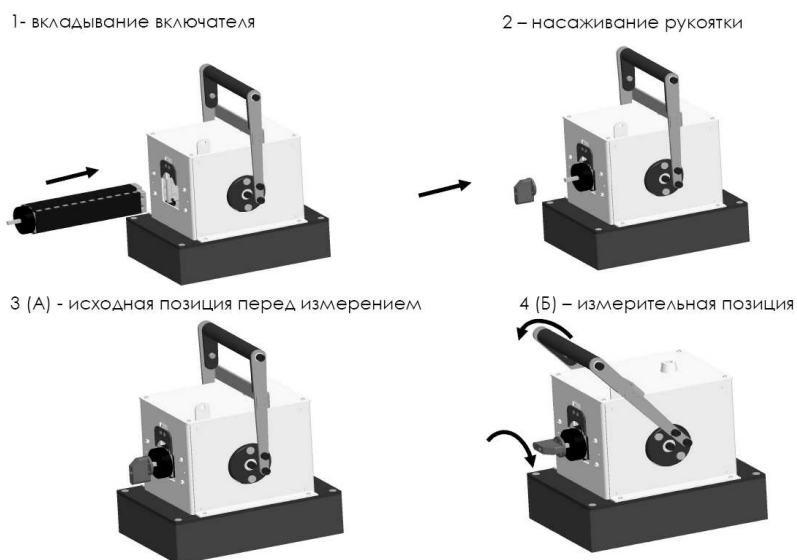


Рис. 6. Описание действий тестера

Rys. 6. Opis działań testera

Оценка тестируемых выключателей

Если напряжение присутствует и оно поступает на измерительные иглы то данное состояние покажет на панели рис. 7 это даёт возможность обслуживанию оборудования быстро и надёжно определить работоспособность выключателя.

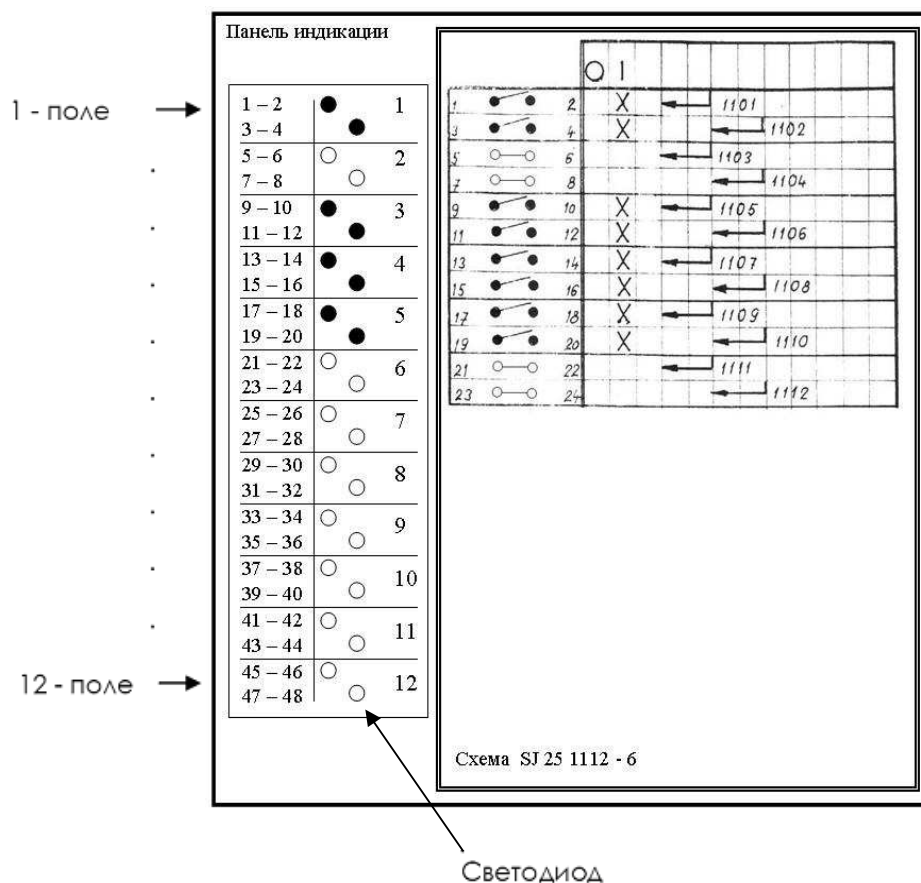


Рис. 7. Контрольная панель со светодиодами

Rys. 7. Panel kontrolny z diodami świetlnymi

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенная конструкция тестеров даёт возможность повышения производительности измерения кулачковых выключателей и само измерение реализовано в относительно краткое время. Измерение кратковременно в сравнении с вкладыванием и выниманием тестируемого выключателя из тестера. Дальнейшим но не менее значимым параметром оказывается повышение качества выходного контроля сопутствующим отстранением ошибок измерения несовершенным прикосновением между иглами и контактами. Это обеспечено воздействием равномерно распределённого давления по целой длине выключателя. С точки зрения обслуживания конструкция спроектирована так, что отдельные нарушенные узлы возможно легко и быстро заменить. Так как тестером возможно проверять все возможные комбинации выключателей видового ряда отпадает нужда использовать другие установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lunarski, J.: Kluczowe procesy w systemowym zarządzaniu technologią, in: Technologia i Automatykacja Montażu, No. 1, 2009, ISSN 1230-7661
2. Lunarski, J., Antosz K.: System nadzoru i obsługi prewencyjnej parku maszyn technologicznych, in: Technologia i Automatykacja Montażu, No. 3 - 4, 2004
3. Hajduk, M., Sukop, M., Balaz, V., Semjon, J., Vagas, M.: Zvyšovanie výkonnosti výrobných systémov na báze rekonfigurovateľnosti a počítačovej integrácie, SjF KVTaR, Košice 2006
4. Polivcakova, J. - Pasko, J.: Automatizácia strojárskej výroby s využitím priemyselných robotov a manipulátorov. In: Výrobné inžinierstvo. roč. 6, č. 4, 2007, s. 73-74. ISSN 1335-7972

**TESTERY MIMOŚRODOWYCH WYŁACZNIKÓW
DLA PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO**

Streszczenie. W pracy opisano budowę specjalnego testera umożliwiającego skontrolowanie poprawności wykonania wielosektorowych mimośrodowych wyłączników elektrotechnicznych. Opracowany tester działa wykorzystując zasadę kontaktu mechanicznego sond pomiarowych.

V. BALÁŽ
J. SEMJON
M. VAGAŠ
M. LIPČAK
L. PACHNIKOVÁ

Uniwersytet Techniczny w Koszycach
Koszyce, Słowacja

AUTOMATYCZNE URZĄDZENIE DLA NACINANIA GWINTÓW W STYKACH ELEKTRYCZNYCH

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КЛЕММАХ

ВВЕДЕНИЕ

Статья описывает проектирование устройства для автоматического нарезания резьбы. Устройство составлено из двух вибрационных бункеров с автоматической подачей электрических клемм в технологические гнёзда и затем в приспособленном цикле резьбонарезанием. Пара клемм устанавливается в электрических контакторах для закрепления проводов. Контакты зеркально симметричны для правой и левой стороны контактора. При проектировании устройства нужно было решить подачу и при этом правильную ориентацию пары клемм в положении для резьбонарезания. Решение требует выбрать резьбонарезающий автомат и автоматизацию подачи клемм в рабочие позиции с точной ориентацией. Технологическое время нарезания резьбы 3,5 секунды, причём целый цикл устройства 6 секунд.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА

При проектировании процесса производства базируемся на необходимости изготовления резьбы в двух типах клемм для электрических контакторов одинаковых размеров но зеркально симметричных по рис. 1. Для производства нарезания резьбы определились следующие запросы:

- Оборудовать устройство бункером для клемм с вмещением 500 шт.
- Нарезать резьбу сразу в двух клеммах
- Вход клемм от бункеров в технологические гнёзда для резьбонарезания использовать устройство с приспособленной подачей ZZ 25A.

Из указанных требований получится следующий порядок производства клемм:

- Автоматическая подача клемм от бункеров на рабочие позиции по 1 штуке
- Фиксация клемм
- Быстрое движение резьбонарезной головки с двумя инструментами
- Резьбонарезание
- Отвод резьбонарезной головки с двумя инструментами
- Выход клемм в выходной бункер

Схематическое движение наглядно указано на рис. 2

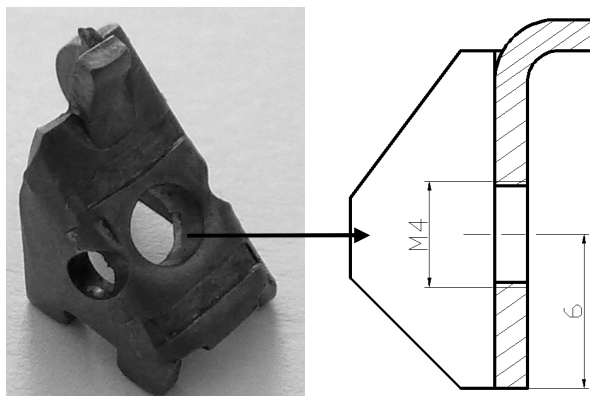


Рис. 1 Клемма
Rys. 1. Styk elektryczny



Рис. 2. Схема движения производства клемм
Rys. 2. Schemat struktury procesu wytwarzania styków

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА

Основные элементы предложенного устройства указаны на рис. 3. Бункеры наполнены клеммами с просверлённым отверстием для резьбы диаметра 3,5 мм и их подача для резьбонарезания является автоматической. В бункере подачи происходит ориентация клемм при помощи формованной круговой линии по стенкам бункера. Бункер расположен на независимой конструкции и подходящей высоте. С устройством связан при помощи круговой гравитационной линии так, чтобы отдельные клеммы попадали в резьбонарезные позиции гравитационным спадом.

Для нарезания резьбы клемм предлагаем передвижное устройство типа ZZ 25A законченную винторезами. Передвижное устройство для резьбонарезания собрано из двигателя с налаженной подачей. При запуске двигателя кроме ротационного движения винторезов в том числе происходит движение режущих звён. Передачей обеспечен подъём витков. Одновременно со стартом режущего устройства включается водяной насос для охлаждения режущего инструмента.

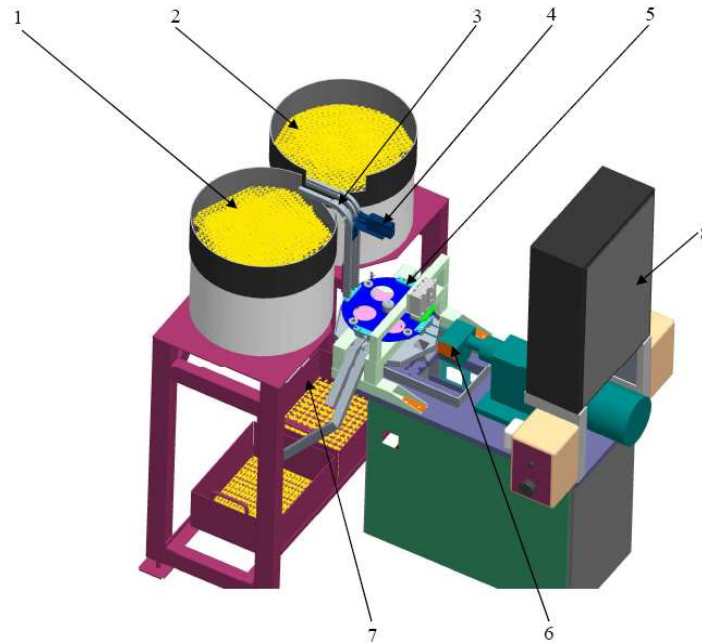


Рис. 3. Рабочее место: 1 – левый вибрационный бункер, 2 – правый вибрационный бункер, 3 – направляющие линии, 4 – пневматическое устройство для подачи клемм, 5 – пневматический ротационный стол, 6 – передвижное устройство типа ZZ 25A, 7 – выходные линии правой и левой клеммы, 8 – система управления

Rys. 3. Zautomatyzowane stanowisko robocze: 1 – lewy podajnik wibracyjny, 2 – prawy podajnik wibracyjny, 3 – przewadniki, 4 – układ pneumatycznego podawania, 5 – stół obrotowy, 6 – dwuwrzecionowa głowica gwintująca, 7 - przewadniki wyjściowe, 8 – układ sterowania

КОНСТРУКЦИЯ РОТАЦИОННОГО СТОЛА

Для поддержки желаемого такта предлагаем оснастить рабочее место пневматическим ротационным столом с четырьмя рабочими положениями. На этом основании выбран стол типа FESTO DHTG 90 с шагом 90 градусов. Каждая рабочая позиция оснащена технологическими гнездами для одной пары клемм.

На выходе вибрационных бункеров есть точно направленная пара электрических клемм с подачей через направляющие линии в технологические гнезда. Автоматическая подача происходит всегда по одной паре клемм. После происходит поворот стола и одновременно подача резьбонарезной головки с двумя инструментами на позицию для резьбонарезания. После нарезания клеммы автоматически освобождаются в выходные пути отдельно для левой и правой клеммы.

Описание позиций на рис. 4:

1. Вход клемм
2. Промежуточное положение
3. Нарезание резьбы
4. Выход клемм

На рис. 5 находится реализованное рабочее место.

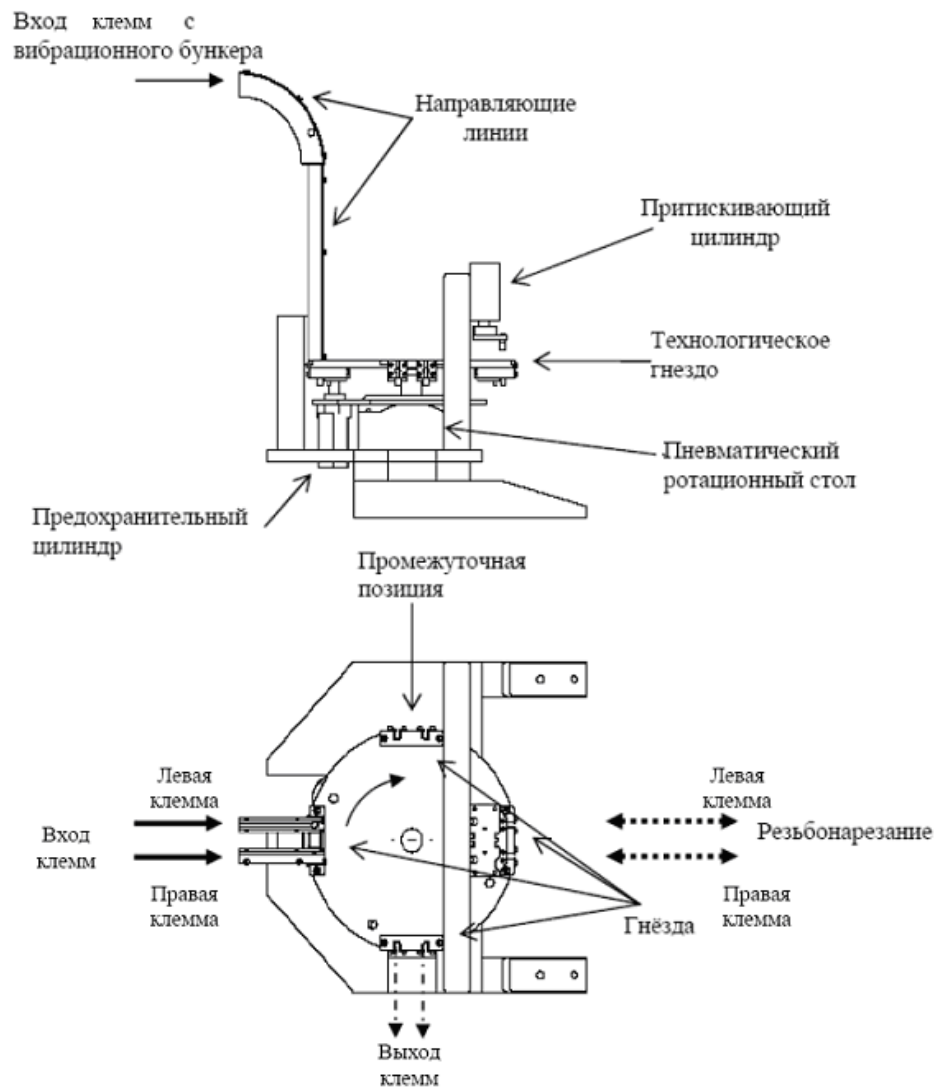


Рис. 4. Описание позиций

Rys. 4. Pozycje robocze urządzenia

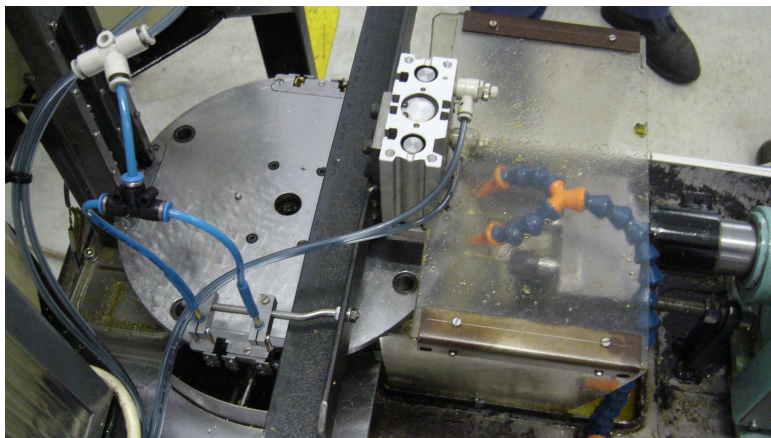


Рис. 5. Реализованное рабочее место

Rys. 5. Widok ogólny strefy roboczej urządzenia

ОПИСАНИЕ МАНИПУЛЯЦИОННОГО ЦИКЛА

Рабочий цикл начинается кнопкой старт. Потому что система может затормаживать нужно в первую очередь резьбонарезающую головку отодвинуть назад. Этим обеспечится выход инструментов из клемм если те на момент остановки устройства резали резьбу. Когда резьбонарезная головка достигнет окончательную реверзную позицию та замечена индуктивным датчиком и предохранительный цилиндр находится в нижней позиции (ротационный стол незаблокирован) система управления посылает сигнал для двигателя. Стол вращается в направлении часовых стрелок пока целевой датчик не даст сигнал для остановки. Карусель вращается при помощи пневматического ротационного стола FESTO DHTG 90 на котором зафиксирован. Во время остановки цилиндр высовывает поршень для предохранения вращения. Вибрационные бункеры обслуживаются вручную. Путь для подачи клемм оснащён пневматическим питателем. Если в обеих линиях присутствуют детали питатель освобождает разъёмы и детали перемещаются в гнезда карусели. Одновременно запускается нарезная головка. Чтобы при резке не происходил поворот детали выдвигается пневматический цилиндр который притискивает детали в гнезде к лобовой стенке. Если головка достигает крайнюю позицию сигнализированную датчиком следует реверзный ход до упора и цикл повторяется.

УПРАВЛЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИМ УСТРОЙСТВОМ

Управление автоматическим резьбонарезательным устройством обеспечено при помощи автомата Siemens LOGO 12/24. Этот автомат имеет восемь входов и четыре выхода. Поэтому модуль управления расширен модулем цифровых входов/выходов Siemens DM 16 см. рис. 6.

Двигатель запускается системой управления через два замыкателя подключённых в реверс моде. Кроме двигателя для резьбонарезания через замыкатели также управляется насос охлаждающей системы. Управление автоматического устройства реализовано через кнопки Старт, Стоп и кнопку безопасности Центральный Стоп. Число электрических клемм в которых нарежется резьба зафиксировано на счётчике штук у которого есть кнопка сброса. Притискивающий цилиндр, питатель клеммами и блокировочный предохранительный цилиндр карусели при нарезании управляются электрическими клапанами. Основная часть управляющей системы указана на рис. 7.

В таблице 1 описаны все входящие и выходящие сигналы управляющей системы.

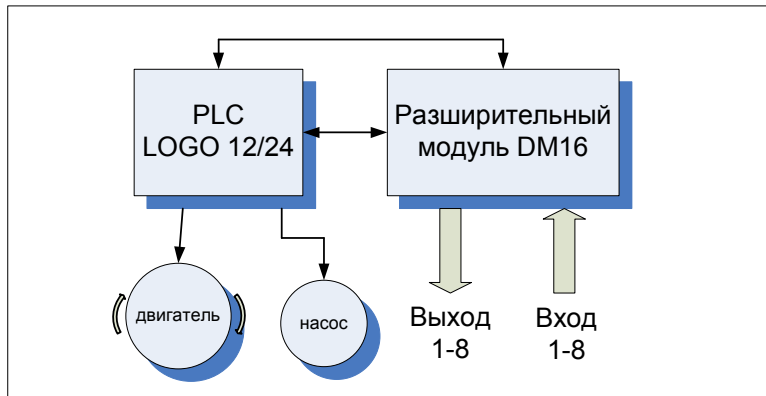


Рис. 6. Основная схема управления

Rys. 6. Schemat koncepcyjny sterowania

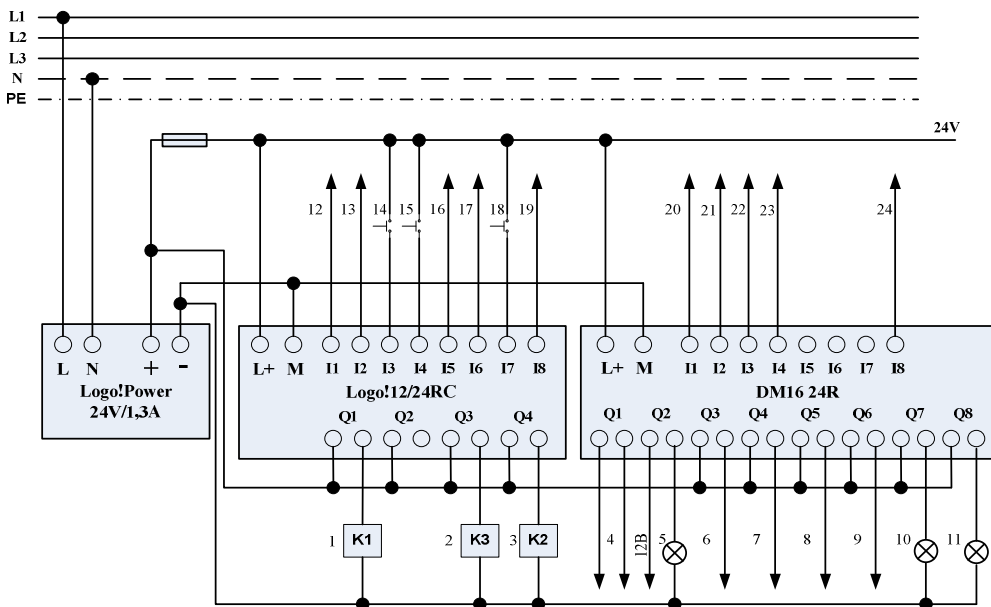


Рис. 7. Основная часть управляющей системы

Rys. 7. Schemat połączeń układu sterowania

Таб. 1. Описание входящих и выходящих сигналов управляющей системы
 Tab. 1. Opis sygnałów wejściowych i wyjściowych układu sterowania

1	Двигатель реверс	13	Индикатор датчика двигателя задней позиции
2	Насос	14	СТАРТ
3	Двигатель вперёд	15	СТОП
4	Вход к счётчику	16	Реле К1 – движение реверс
5	Авария - красный маяк	17	Реле К2 – нарезание
6	Старт ротации двигателя	18	ЦЕНТРАЛ СТОП
7	Блокировка карусели	19	Запуск двигателя
8	Предохранительный цилиндр	20	Инд. Дат. 1 на разделителе
9	Питатель	21	Инд. Дат. 2 на разделителе
10	Устройство в действии - зелёный	22	Инд. Дат. - упор вниз
11	Замена инструмента - красный	23	Инд. Дат. - упор вверх
12	Индикатор датчика двигателя передней позиции	24	Датчик – двигатель в позиции

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье изложен методологический порядок проектирования устройства, детальная конструкционная разработка выбранных узлов и общее решение рабочего места. В заключении уделяется внимание рабочему циклу решению управления на основе логического автомата Siemens Logo. Программа для управления устройством написана языком FBD.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hajduk, M.: Linearne roboty. ATP Journal, 2009
2. Mikolajczyk T.: Využitie robotov pri obrábaní povrchu, 9 Medzinárodná konferencia ROBTEP 2008, Košice, s. 387-394, ISSN 1335-2393
3. Pavlenko, S., Paško, J.: Možnosti zníženia dynamického zaťaženia závitových súkolesí. In: Výrobné inžinierstvo. roč. 1, č. 2-3 (2002), s. 24-25. ISSN 1335-7972.
4. Pavlenko, S. - Paško, J.: Determination of Transverse Contact Ratio of Worm Gearings. In: Výrobné inžinierstvo. roč. 2, č. 2-3 (2003), s. 33-35. ISSN 1335-7972-01.
5. Poppeová, V. – Čuboňová, N. – Uríček, J. – Kumičáková, D.: Automatizácia strojárskej výroby. Žilina EDIS – vydavateľstvo ŽU, október 2002, ISBN 80-8070-009-5
6. [Lunarski, J.: Kluczowe procesy w systemowych zarządzaniu technologia, In: Technologia i Automatyzacja Montazu, No. 1, 2009, ISSN 1230-7661.

AUTOMATYCZNE URZĄDZENIE DLA NACINANIA GWINTÓW W STYKACH ELEKTRYCZNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono proces projektowania i wykonania automatycznego urządzenia do nacinania gwintów w stykach elektrycznych. Styki podawane są wibracyjnie na robocze pozycje stołu obrotowego, na którym następuje jednoczesna obróbka dwóch styków za pomocą dwuwrzecionowej głowicy gwintującej. Czas wykonania gwintu w otworze styku wynosi 3,5 s, zaś pełny cykl pracy 6 s.

II
PROBLEMY JAKOŚCI POŁĄCZEŃ MONTAŻOWYCH

Wadim NIKOŁAJEW

Uniwersytet Techniczny

Samara, Rosja

STEROWANIE ZALEŻNOŚCIAMI WYMIAROWYMI W ZROBOTYZOWANYM MONTAŻU DOKŁADNYCH POŁĄCZEŃ

УПРАВЛЕНИЕ РАЗМЕРНЫМИ СВЯЗЯМИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Качество изделий машиностроения в значительной степени определяется точностью сборочных соединений. Важнейшими показателями точности являются координаты относительного положения и движения рабочих поверхностей, коэффициенты жёсткости и демпфирования, напряжения и деформации в деталях. Образование указанных показателей в большей степени следует отнести к процессам сборки соединений. Процесс сборки реализуется через построение и преобразование размерных связей и свойств материала и подвержен изменчивости. Изменчивость является следствием действия большого числа систематических и случайных факторов, приводящих к отклонениям действительных показателей качества от их целевых значений. Эффективным методом ограничения отклонений показателей качества от требуемых величин является управление процессом. Автоматизация на основе промышленной робототехники должна стать основным направлением развития технологии сборки высокоточных соединений и исключить ошибки из-за недооценки погрешностей изготовления деталей и ограниченных возможностях человека в воздействии на процесс [1].

ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ

Управлению процессами сборки соединений посвящено большое число работ. По рассматриваемым в них объектам и задачам управления можно указать на два основных направления исследований.

Первое направление в качестве объекта управления рассматривает процесс соединения деталей как совмещение двух прямоугольных систем координат, принадлежащих этим деталям. Задача управления в этом случае состоит в выполнении условий собираемости [2]. В качестве средств реализации такого управления используются устройства и системы пассивной и активной адаптации [3]. Вместе с тем, очевидно, что сборку соединений нельзя рассматривать как механическое совмещение сопрягаемых поверхностей деталей. Необходимо сознательно и активно формировать в соединениях требуемые служебным назначением размерные связи [4].

Второе направление в качестве объекта управления рассматривает процесс достижения точности соединения [2]. Задача управления – обеспечение наименьших из возможных отклонений показателей точности соединений от целевых значений. Наиболее просто эта задача решается при использовании метода неполной взаимозаменяемости [5], когда роботизированная сборочная система оснащается техническими средствами контроля и испытания собранных соединений. В партии собранных соединений выявляются дефектные, в отношении которых выполняются процедуры разборки, перекомплектации или утилизации.

Время и энергия на выполнение операций, в результате которых образуются несоответствующие соединения, затрачиваются бесполезно, что снижает их эффективность. По этому направлению разработаны научные основы и технические решения сопряжения деталей наиболее рациональным способом с учётом имеющихся погрешностей деталей, их силового взаимодействия и напряжено-деформированного состояния [1]. Этот метод может быть отнесён к технологии автоматического регулирования собираемых соединений и имеет большие возможности повышения точности и увеличения производительности труда [2]. Эффективность метода определяется не столько возможностью совмещения поверхностей сопряжения при погрешностях относительного положения соединяемых деталей, сколько обоснованным и комплексным управлением технологическими размерными связями, возникающими в процессе сборки.

Поскольку различия между процессами достижения точности изготовления деталей и сборки соединений не носят концептуальный характер, проявление действия технологических размерных связей можно отнести к этапам установки деталей на исполнительные поверхности робототехнической системы, статической настройки системы и непосредственно этапа формирования контактных связей между рельефами поверхностей сопряжения соединяемых деталей [2]. В процессе выполнения каждого из этих этапов действуют размерные связи, отклонениями замыкающих звеньев которых необходимо управлять. Рассматривая эти отклонения как результат действия погрешностей составляющих звеньев размерных связей, возможно определить состав задач управления для достижения точности соединений.

При сборке соединений в качестве технологических баз, как правило, выступают основные или вспомогательные базы деталей. Отсюда следует, что главной причиной погрешностей установки являются отклонения относительных поворотов и расстояний основных и вспомогательных баз у каждой из соединяемых деталей. Другой причиной указанных погрешностей, является неорганизованная смена баз из-за существенных отклонений исходного положения деталей в грузозахватно-накопительных устройствах. Задача управления связями на этапе установки состоит: во-первых, в обеспечении полноты контакта технологических баз деталей с базирующими элементами захватных устройств или позиционных приспособлений (обеспечение определённости базирования), во-вторых – в определении с требуемой точностью пространственного положения поверхностей сопряжения установленных деталей относительно базовой системы координат. Это необходимо для принятия решения о возможности образования из данных деталей соединения с требуемой точностью размерных связей.

Основной причиной образования погрешности статической настройки является ограниченная точность воспроизведения координатных движений в рабочем пространстве из-за упругих деформаций звеньев манипуляционной системы. При перемещениях манипуляторов и изменении их конфигурации происходит перераспределение нагрузки на несущие элементы конструкции, что приводит к изменению упругих деформаций последних. Для сборочных центров мостовой компоновки упруго деформируются направляющие продольного и поперечного перемещения манипуляторов. Прогобы приводят к отклонениям углового положения исполнительных поверхностей манипуляторов. Сокращение погрешности статической настройки возможно путём ограничения упругих деформаций, рациональным планированием движений и оснащением манипуляторов устройствами, позволяющими автоматически корректировать угловое положение исполнительных поверхностей.

С момента первоначального контакта поверхностей сопряжения и до завершения формирования контактных связей выполняется этап динамической настройки. Отличительной особенностью этапа является действие сил и моментов, необходимых для воспроизведения движений смены баз. Замена технологических баз на конструкторские (перебазирование) ставит задачу управления процессом замены размерных связей связями кинематическими [4].

Вторая задача управления на этапе динамической настройки диктуется необходимостью формирования требуемых параметров контактных связей поверхностей сопряжения деталей. Этот процесс можно рассматривать как достижение выходного вектора Y при частично определённых

значениях входного вектора $\langle X, W \rangle$ [6]. Связь $Y = f(X, W)$ может быть представлена в виде изображающей траектории процесса [7]. Вектор X определяется параметрами относительного положения систем координат двух деталей и может быть оценён в каждый момент времени. Измерение составляющих вектора W , характеризующего свойства поверхностей сопряжения деталей (микрogeометрия, волнистость, макрогеометрические отклонения, микротвёрдость, остаточные напряжения и др.), как правило, в производственных условиях затруднено в связи с необходимостью оснащения робототехнической системы сложным, дорогостоящим оборудованием и значительными затратами времени. Невозможность влияния на векторы X и W приводит к необходимости приложения к объекту специальных управляющих воздействий U и реализации связи вида $Y = F(X, U, W)$. Управляющие воздействия создаются системой управления, которая по информации о текущих значениях X реализует зависимость $U = \Phi(X, Y)$, с помощью которой устанавливается необходимое управляющее воздействие на объект. Информация о значениях W в системе управления естественно отсутствует. Если требуемые значения Y при управлении не достигаются, процесс должен быть прекращён, так как дальнейшее его развитие приведёт к образованию дефектного соединения.

Решение задач управления размерными связями должно начинаться с этапа, на котором окончательно достигается требуемая точность соединения [4], т.е. с этапа динамической настройки технологической системы и далее переходить к статической настройке и к началу технологической операции – захвату детали из загрузочно-накопительного устройства и её установке на исполнительные поверхности. Рассмотреть основы алгоритмизации и методику структурно-параметрического синтеза системы управления целесообразно на конкретном примере выполнения продольно-прессового соединения под действием осевой силы.

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА САУ

Применительно к продольно-прессовым соединениям в качестве одного из параметров, составляющих выходной вектор Y , может рассматриваться величина действительного посадочного натяга δ . Посадочный натяг для дискретной модели контактных связей является условной величиной. Но его влияние на основные показатели качества настолько существенно, что сокращение поля рассеяния ω и обеспечение требуемого значения координаты центра группирования $M(x)$ имеет большое значение. Вариации натяга, как в пределах одного соединения, так и в партии приводят к неравномерному распределению удельных давлений посадок и к деформациям деталей. Натяг влияет на прочность соединения, коэффициенты жёсткости и демпфирования, а следовательно, на частотные характеристики. В процессе формирования контактных связей стабилизация действительного натяга обеспечивает выравнивание силового поля трения и повышает точность движения соединяемых деталей.

Проведенные автором исследования показали, что в качестве специальных управляющих воздействий могут использоваться скорость запрессовки и низкочастотные направленные микроколебания [8]. Циклическое многократное деформирование контактных связей под действием переменных тангенциальных сил сопровождается развитием двух ведущих эффектов: эффекта вибрационной линеаризации разрывной характеристики трения и эффекта наклёпа. Благодаря первому эффекту может быть существенно снижена сила запрессовки и её вариации. Наклёп в зависимости от частоты, амплитуды колебаний и длительности воздействия может инициировать два процесса – упрочнения и разупрочнения материала поверхностей сопряжения. В первом случае возможно повышение прочности соединений с малой величиной действительного натяга, во втором случае снижение величины действительного натяга у тугих соединений приводит к уменьшению деформаций деталей.

Величина действительного натяга в значительной степени зависит от скорости запрессовки. При скоростях до $2,0 \times 10^{-3}$ м/с коэффициент трансформации натяга близок к единице. При скорости

$10,0 \times 10^{-3}$ м/с снижение средней величины контактного давления может достигать 35% от расчётного значения. Это открывает достаточные возможности в управлении точностью и прочностью посадок с натягом. Схема формирования контактных связей продольно-прессового соединения показана на рис.1, где F_3 – сила запрессовки, V_M – скорость монтажа, Z_{y1} , Z_{y2} – упругие перемещения технологических баз соединяемых деталей под действием силы запрессовки, m_1 , m_2 – приведенные массы деталей, C_1 , C_2 , K_1 , K_2 – коэффициенты жёсткости и демпфирования. Детали в осевом направлении рассматриваются как абсолютно жёсткие. Взаимодействие поверхностей сопряжения – упругое.

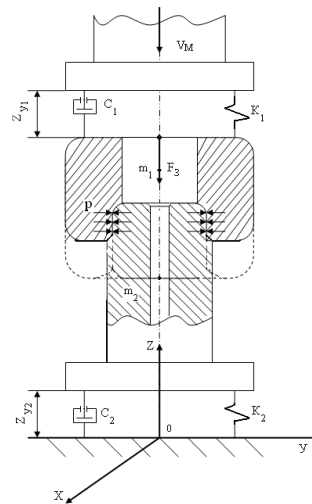


Рис. 1. Схема формирования контактных связей

Rys. 1. Schemat kształtowania kontaktowych relacji

Баланс перемещений представим в виде: $Z_M(t) = Z(t) + Z_{y1}(t) + Z_{y2}(t)$.

Баланс скоростей: $V_M(t) = V_{y1}(t) + V_{y2}(t) + V_\phi(t)$.

Движение формирования контактных связей в соединении представим в виде:

$$\begin{cases} m_1 \frac{d^2 z_{y1}}{dt^2} + C_1 \frac{dz_{y1}}{dt} + K_1 Z_{y1} = F_3 \\ m_2 \frac{d^2 z_{y2}}{dt^2} + C_2 \frac{dz_{y2}}{dt} + K_2 Z_{y2} = F_3 \end{cases} \quad (1)$$

Уравнения (1) записаны для случая изменения скорости монтажа. Для случая наложения на движение низкочастотных колебаний сила запрессовки может быть определена согласно [8] как:

$$F_{3\omega} = F_3 \cdot e^{-\gamma \frac{4\pi^2 f^2 A}{q}};$$

где γ – коэффициент влияния низкочастотных колебаний на снижение силы запрессовки (определяется экспериментально для партии соединений).

На рис. 2 и рис. 3 показаны полученные экспериментально графики изменения силы запрессовки F_3 соответственно при изменении скорости монтажа и возбуждении в конструкции соединения низкочастотных колебаний.

При использовании в качестве привода электродвигателя постоянного тока, структурная схема объекта управления – «процесс запрессовки - электродвигатель» после ряда преобразований принимает вид представленный на рис. 4.

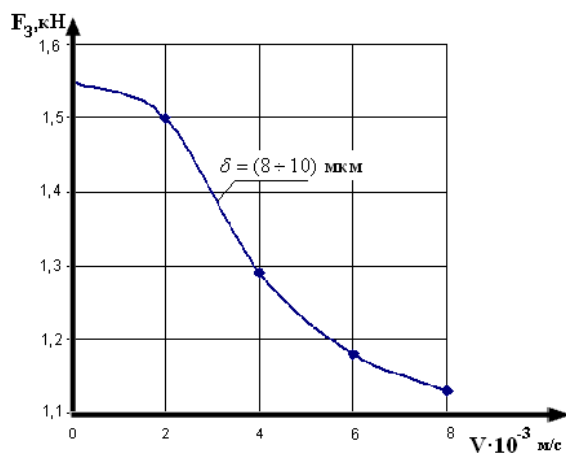


Рис. 2. График изменения силы запрессовки при изменении скорости монтажа

Rys. 2. Wykres zmiany siły wciskania przy zmianie prędkości przemieszczenia

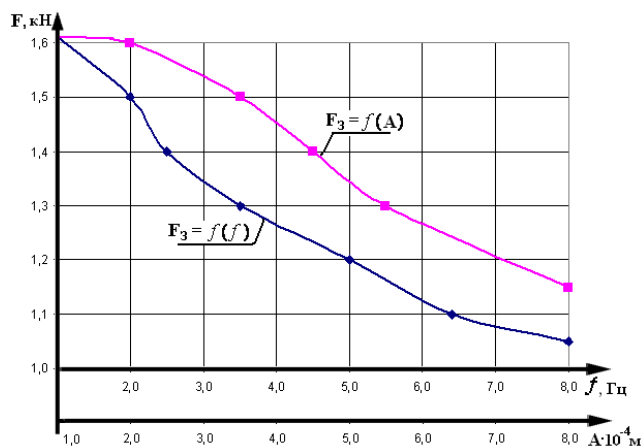


Рис. 3. График изменения силы запрессовки при возбуждении в конструкции соединения низкочастотных колебаний

Rys. 3. Wykres zmiany siły wciskania przy wzbudzeniu w połączeniu niskoczęstotliwościowych drgań

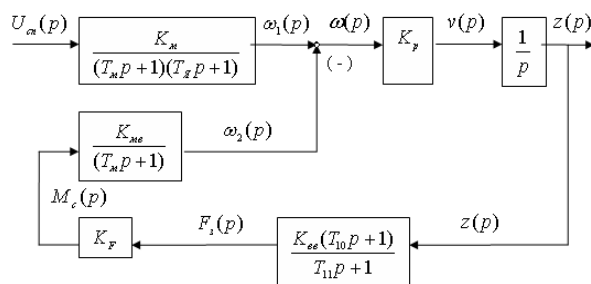


Рис. 4. Структурная схема объекта управления

Rys. 4. Strukturalny schemat obiektu sterowania

Обобщённая структурно-функциональная схема цифровой системы автоматического управления процессом, построенная на основе изложенных выше требований, представлена на рис. 5. Схема включает два взаимодействующих уровня управления. Нижний (исполнительный) уровень, реализующий программное движение монтируемой детали, строится на основе теории систем подчинённого регулирования. Верхний уровень обеспечивает наблюдение за соответствием изображающей траектории протекающего процесса формирования контактных связей его эталонной модели и производит выбор дополнительного управляющего воздействия на объект управления. Сигналы на управляющие воздействия формируются ключами К2.1 и К2.2. С дискретностью T производится последовательное включение каждого из возможных воздействий и оценивается степень отклонения измеренных параметров траектории от их эталонных значений. При отсутствии требуемой реакции объекта на управляющее воздействие процесс прекращается и система приходит в исходное положение. Выходной величиной системы является действительный посадочный натяг $\delta(p)$, наблюдение за формированием которого осуществляется путём измерения силы запрессовки $F_3(p)$ в функции координаты Z перемещения монтируемой детали. Это отражено на схеме в виде звеньев с коэффициентами передачи K_1 и K_2 . Значения указанных коэффициентов могут быть получены путём линеаризации зависимости силы запрессовки F_3 от конструктивных параметров соединения: $f_{TP}, d, L, C_1, C_2, E_1, E_2, \mu_1, \mu_2$.

Работоспособность системы оценивалась при выполнении операций запрессовки подшипника качения ВВ1-3065 АЕ в крышку автомобильного генератора 9402.3701 на сборочном центре МИР-1 конструкции СамГТУ. Измеренный натяг в двух партиях по 100 соединений менялся от $5,0 \times 10^{-6}$ м. до $20,0 \times 10^{-6}$ м. Скорость монтажа регулировалась в диапазоне $(2,0-10,0) \times 10^{-3}$ м/с. Частота колебаний $-5,0-15,0$ Гц, амплитуда $-(100-400) \times 10^{-6}$ м. Величина действительного натяга в соединениях оценивалась по выталкивающей нагрузке F_{BH} - наименьшему значению силы, при которой начинается движение запрессованного в крышку подшипника в направлении противоположном направлению его монтажа. На рис.6 а, б показаны гистограммы выталкивающей нагрузки F_{BH} для соединений собранных без управления (рис. 6.а) и при управлении (рис. 6. б). Как видно, поле рассеяния $\omega_{F_{BH}}$ в партии соединений уменьшилось на 20-25%, а центр группирования $M(x)$ сместился в направлении более высоких значений. Это указывает на достижение более высокого качества соединений.

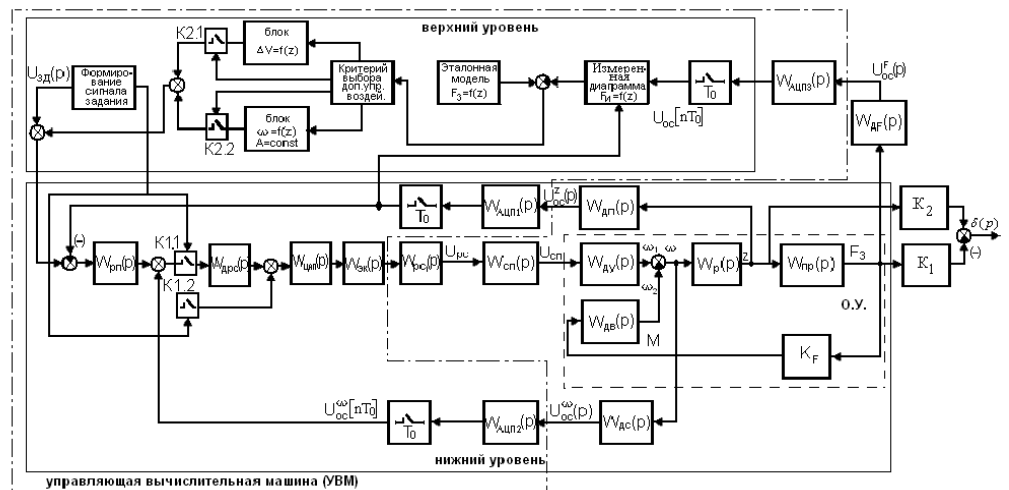


Рис. 5. Обобщенная структурно-функциональная схема цифровой системы управления процессом запрессовки

Rys. 5. Uogólniony schemat funkcjonalno-strukturalnego ukladu sterowania procesem wciskania

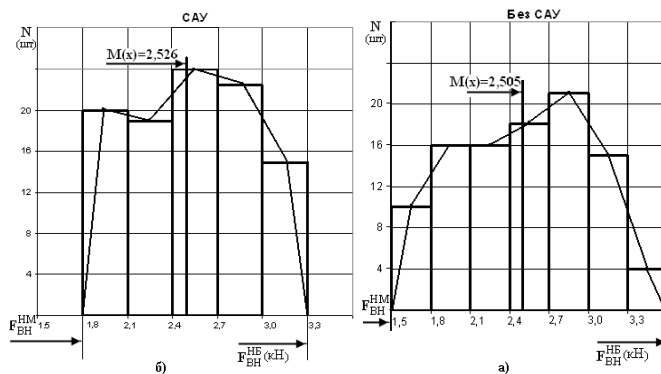


Рис. 6. Гистограммы выталкивающей нагрузки: а – без управления процессом, б – с управлением процессом

Rys. 6. Histogramy sił wyciskania; a) bez sterowania procesem, b) ze sterowaniem procesem

ВЫВОДЫ

1. Показана необходимость рассмотрения процесса достижения точности соединений, как объекта управления, обладающего свойствами изменчивости, динамичности, неполноты описания и целесообразности результата управления.

2. Установлено, что возможность достижения точности соединений определяется строением и свойствами размерных связей действующих на этапах установки, статической и динамической настройки технологической системы. Каждый из этапов вносит свой вклад в достижение точности соединений.

3. Формирование контактных связей между поверхностями сопряжения деталей происходит на этапе динамической настройки, внешним проявлением которого являются действующие в технологической системе силы. Возможность идентификации процесса формирования контактных связей по действующим силам в значительной степени определяется достигнутой точностью пространственного координирования поверхностей сопряжения.

4. Обоснована и экспериментально подтверждена возможность повышения качества высокоточных продольно-прессовых соединений путём автоматического управления размерными связями на операциях роботизированной сборки соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические основы обеспечения качества машин/ К.С. Колесников, Г.Ф. Баландин, А.М. Дальский и др.; Под общ. Ред. К.С. Колесникова.- М.: Машиностроение, 1990.-256 с.: ил. – (Основы проектирования машин).
2. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения: В 2-х кн.- М.: Машиностроение, 1982. 367 с., ил.
3. Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы.- Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1988. -332 с.
4. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учеб. Для машиностроит. Спец. Вузов.- 2-е изд., испр. – М.: Высш. Шк., 1999.-591 с. : ил.
5. Сборка и монтаж изделий: Сборник. В 2-х т. / Ред.совет. В.С. Корсаков (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1983. – Т.1. Сборка изделий машиностроения / Под ред. В.С. Корсакова, В.К. Замятинба, 1983. – 480 с., ил.
6. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика.- М.: Наука.- Гл. Ред. Физ.-мат. Лит., 1986. -288 с.
7. W. Nikolajew, B. Sztrikow: Technologiczne oprzyrzadowanie mechatronicznych systemow do montazu polaczen/ Technologia i automatyzacja montazu: NR 1, 2005,-s. 20-23.
8. Гудушаури Э.Г., Пановко Г. Теория вибрационных технологических процессов при некулонном трении. М.: Наука, 1988. – 145 с.

CONTROL OF DIMENSIONAL COUPLING IN ROBOTIZED HIGH-PRECISION ASSEMBLY

Abstract: Technological foundations of control algorithmization of dimensional coupling at stages of assembly precision achievement are considered in this paper. Methodology of automatic control structure and parameter-oriented synthesis has been developed for the touch coupling of the connected parts' joint points. Implementation and results of control over dimensional coupling at the stage of dynamic setting of the technological system when a roller bearing is being installed into the generator cover in the Assembly Centre at the Samara State Technical University are presented here.

L. W. BOŹKOWA
 M. W. WARTANOW
 Ż. K. BAKENA MBUA
 Uniwersytet Techniczny MAMI
 Moskwa, Rosja

ZROBOTYZOWANY MONTAŻ WALCOWYCH CZĘŚCI PROFILOWYCH Z POMOCĄ WIBRACJI I PASYWNEJ ADAPTACJI

РОБОТИЗАЦІЯ СБОРКИ ЦИЛІНДРИЧЕСКИХ ПРОФИЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИБРАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ И ПАССИВНОЙ АДАПТАЦИИ

В данной работе предлагается усовершенствовать конструкцию устройства, примененного для сборки цилиндрических соединений, предложена в работе [1] таким образом, чтобы оно было применимо при сборке профильных цилиндрических деталей, в том числе резьбовых и шлицевых соединениях. С этой целью в вибрационное специализированное устройство добавляется еще одно (третье) звено, совершающее вращательное движение вокруг неподвижной вертикальной оси.

В результате этого, сборочное устройство будет представлять собой трехзвенный манипулятор, каждое звено которого приводится в движение от отдельного привода (Рис. 1).

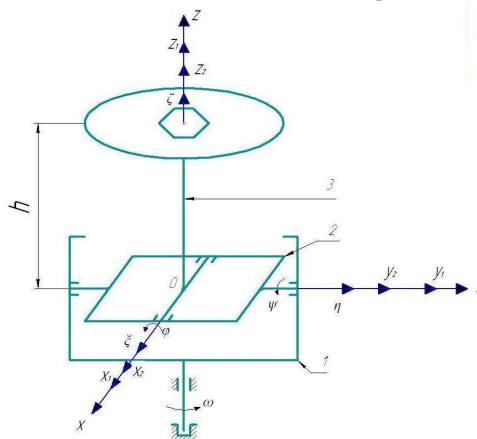


Рис. 1. Кинематическая схема сборочного вибрационного устройства

Rys. 1. Schemat kinematyczny wibracyjnego urządzenia montażowego

Первое звено устройства совершает вращательное движение с постоянной угловой скоростью ω вокруг вертикальной неподвижной оси Oz (система координат $Oxyz$ является неподвижной). Это звено приводится в движение электродвигателем. Второе и третье звенья устройства совершают вибрационные колебания вокруг взаимно перпендикулярных осей Oy_1 и Ox_2 . Система координат $Ox_1y_1z_1$ ($i = 1, 2$) неразрывно связана с первым и вторым звеньями. Эти звенья приводятся в движение электромагнитами. При этом вибрационные колебания вокруг осей Oy_1 и Ox_2 происходят по гармоническим законам.

С третьим звеном жестко связан диск, в центре которого жёстко базируется одна из сопрягаемых деталей. С третьим звеном связана система координат $O\xi\eta\zeta$.

Устанавливаемая деталь имеет упругое базирование в схвате робота, допускающее её упругие перемещения в вертикальной плоскости по двум взаимно перпендикулярным направлениям (в направлении осей C_4y_4 и C_4z_4). Система координат $C_4x_4y_4z_4$ жестко связана со схватом, где точка C_4 является центром масс (рис.2).

Рабочими движениями манипулятора робота на этапе сопряжения деталей является поступательное перемещение звена, несущего схват вертикально вниз в запрограммированное положение.

Считаем, что при транспортировке детали к месту монтажа появится погрешность позиционирования, обусловленная наличием упругих связей в схвате.

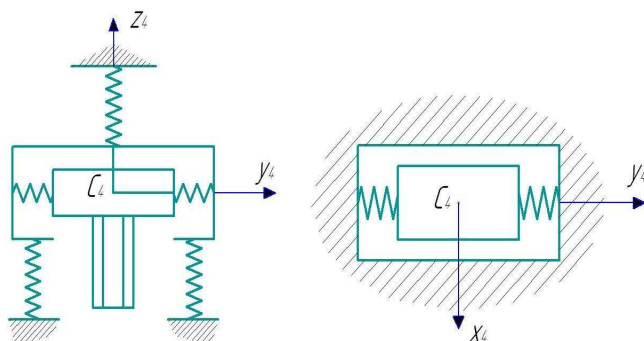


Рис. 2. Кинематическая схема упругого закрепления цилиндрической детали в схвате

Rys. 2. Kinematyczny schemat sprężystego zamocowania walcowej części w uchwycie

При этом устанавливаемая деталь в некоторый момент времени соприкоснется с плоскостью ориентирующего диска (с базовой деталью). Рассмотрим случай, когда первоначальный контакт цилиндрической детали с плоскостью ориентирующего диска произойдет в одной точке «к» (рис. 3).

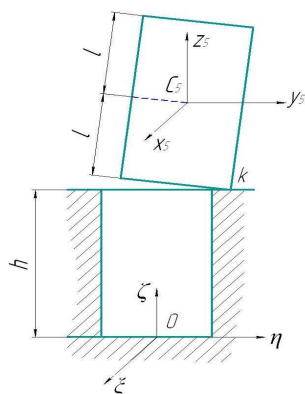


Рис. 3. Кинематическая схема первоначального контакта устанавливаемой детали с плоскостью ориентирующего диска

Rys. 3. Kinematyczny schemat początkowego kontaktu ustawionej części z płaszczyzną orientującej tarczy

Система координат $C_5x_5y_5z_5$ жестко связана с устанавливаемой деталью. Начало координат C_5 совпадает с центром масс детали.

В первом приближении будем предполагать, что угол перекоса осей детали и схвата настолько мал, что им можно пренебречь.

Целью данной работы является изучение влияния законов движения звеньев сборочного устройства, величин амплитуды и круговой частоты вибрационных колебаний, угловой скорости вращения первого звена на характер движения центра масс устанавливаемой детали (а также первоначальной точки контакта деталей) относительно базовой детали, то есть относительно неинерциальной системы координат $O\xi\eta\zeta$. Кроме того, необходимо оценить влияние на это движение конструктивного параметра “h” устройства (рис. 1), коэффициентов жесткости C_1 и C_2 упругих элементов схвата, а также коэффициента трения между устанавливаемой деталью и плоскостью ориентирующего диска.

Построена математическая модель динамики относительного движения центра масс устанавливаемой детали по отношению к неинерциальной системе координат $O\xi\eta\zeta$, жестко связанной с базовой деталью.

Дифференциальные уравнения относительного движения центра масс устанавливаемой детали в форме второго закона Ньютона имеет вид [2]:

$$m\vec{a}_{cr} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{TP} + \vec{F}^{yn} + \vec{F}_{ce}^{un} + \vec{F}_{ck}^{un} + \vec{F}, \quad (1)$$

где: m – масса устанавливаемой детали, \vec{a}_{cr} – абсолютное ускорение центра масс устанавливаемой детали относительно неинерциальной системы координат, \vec{g} – ускорение свободного падения, \vec{N} и \vec{F}_{TP} – соответственно нормальная реакция и сила трения, действующие в точке контакта «К» собираемых деталей, \vec{F}^{yn} – равнодействующая упругих сил в схвате, \vec{F} – сборочное усилие, развиваемое приводом робота, \vec{F}_{ce}^{un} – переносная сила инерции, \vec{F}_{ck}^{un} – кориолисова сила инерции.

Проецируя правую и левую части соотношения (1) на оси координат системы $O\xi\eta\zeta$ и учитывая при этом (2), получим систему дифференциальных уравнений относительного движения центра масс устанавливаемой детали в декартовых координатах:

$$\begin{cases} m\ddot{\xi}_c = (m\bar{g})_\xi + F_{TP\xi} + F_\xi^{yn} + F_{ce\xi}^{un} + F_{ck\xi}^{un} + P_\xi, \\ m\ddot{\eta}_c = (m\bar{g})_\eta + F_{TP\eta} + F_\eta^{yn} + F_{ce\eta}^{un} + F_{ck\eta}^{un} + P_\eta, \\ m\ddot{\zeta}_c = (m\bar{g})_\zeta + F_\zeta^{yn} + F_{ce\zeta}^{un} + F_{ck\zeta}^{un} + N + P_\zeta. \end{cases} \quad (3)$$

Для определения проекций всех сил на оси координат $O\xi\eta\zeta$ применим аппарат матриц преобразования однородных координат [3].

Положение системы координат $Ox_1y_1z_1$ (первого звена устройства) относительно неподвижной системы координат $Oxyz$ определяет матрица $[A_1]$:

$$[A_1] = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где угол $\theta = \omega \times t$.

Положение второго звена (системы координат $Ox_2y_2z_2$) относительно первого звена (системы координат $Ox_1y_1z_1$) задаёт матрица $[A_2]$:

$$[A_2] = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 & \sin \psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \psi & 0 & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Положение базовой детали (системы координат $O\xi\eta\zeta$) относительно второго звена (системы $Ox_2y_2z_2$) задаёт матрица $[A_3]$:

$$[A_3] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

Матрицу $[B]$, задающую положения системы координат $O\xi\eta\zeta$ относительно неподвижной системы $Oxyz$, можно построить по формуле:

$$[B] = [A_1] \cdot [A_2] \cdot [A_3], \quad (7)$$

Матрица $[B]^{-1}$ (обратная матрица $[B]$) задаёт положение системы координат $Oxyz$ относительно $O\xi\eta\zeta$.

Положение системы координат $C_4x_4y_4z_4$, жестко связанной со схватом, относительно неподвижной системы координат $Oxyz$ определяет матрица $[A_4]$.

$$[A_4] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z_{C_4} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где z_{C_4} – запрограммированное значение координаты Z центра масс схвата (точка C_4) в неподвижной системе координат в конце транспортировки детали к месту монтажа.

Положение устанавливаемой детали (система координат $C_5x_5y_5z_5$) по отношению к схвату (системе координат $C_4x_4y_4z_4$) задаёт матрица $[A_5]$.

$$[A_5] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y_{C_5}^{(4)} \\ 0 & 0 & 1 & z_{C_5}^{(4)} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где $y_{C_5}^{(4)}$ и $z_{C_5}^{(4)}$ – соответствующие координаты центра масс устанавливаемой детали по отношению к системе координат $C_4x_4y_4z_4$.

Для упрощения будем считать, что в положении равновесия устанавливаемой детали системы координат $C_4x_4y_4z_4$ и $C_5x_5y_5z_5$ совпадают. При этом растяжение или сжатие упругих элементов в схвате, отсчитываемые от положения равновесия в направлении координатных осей C_4y_4 и C_4z_4 будут соответственно равны $y_{C_5}^{(4)}$ и $z_{C_5}^{(4)}$.

На основании выше приведенных результатов можно построить матрицу $[B_{cx}]$, задающую положение системы координат $C_4x_4y_4z_4$, (схвата) относительно системы координат $O\xi\eta\zeta$:

$$[B_{cx}] = [B]^{-1} \cdot [A_4], \quad (10)$$

В свою очередь матрицу $[B_g]$, задающую положение системы координат $C_5x_5y_5z_5$ (устанавливаемой детали) относительно системы $O\xi\eta\zeta$ (базовой детали), можно построить на основании следующей формулы:

$$[B_g] = [B_{cx}] \cdot [A_5] \quad (11)$$

Между проекциями упругих сил в схвате на направления осей систем координат $C_4x_4y_4z_4$ и $O\xi\eta\zeta$ существует следующая зависимость:

$$\begin{Bmatrix} F_{\xi}^{yn} \\ F_{\eta}^{yn} \\ F_{\zeta}^{yn} \end{Bmatrix} = [l_{cx}] \begin{Bmatrix} F_{x4}^{yn} \\ F_{y4}^{yn} \\ F_{z4}^{yn} \end{Bmatrix} \quad (12)$$

где $[l_{cx}]$ - подматрица направляющих конусов матрицы $[B_{cx}]$, определяемой по (11).

Для определения проекций силы трения $(\overline{F_{mp}})$ на оси системы координат $O\xi\eta\zeta$ необходимо найти скорость точки касания устанавливаемой детали с плоскостью ориентирующего диска (точки "К") по отношению к системе координат $O\xi\eta\zeta$. Это объясняется тем, что сила трения направлена противоположно скорости точки "К", так как $\overline{F_{mp}}$ направлена противоположно скорости этой точки.

Координаты точки "К" в системе координат $O\xi\eta\zeta$ можно найти по формуле:

$$\begin{Bmatrix} \xi_k \\ \eta_k \\ \zeta_k \\ 1 \end{Bmatrix} = [B_g] \begin{Bmatrix} 0 \\ r \\ -l \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (13)$$

где $[B_g]$ определяется на основе (12).

В результате на основе (17) получим:

$$\begin{cases} \xi_k = r \sin \theta \cos \psi + l \sin \psi + \xi_c, \\ \eta_k = r(\sin \theta \sin \psi \sin \varphi + \cos \theta \cos \varphi) - l \cos \psi \sin \varphi + \eta_c, \\ \zeta_k = r(\sin \theta \sin \psi \cos \varphi - \cos \theta \sin \varphi) - l \cos \psi \cos \varphi + \zeta_c \end{cases} \quad (14)$$

При этом $\ddot{\xi}_c$ нетрудно найти на основе третьего уравнения системы уравнений (17) учитывая, что в случае наличия контакта собираемых деталей $\zeta_k = h$.

Таким образом, математическая модель динамики относительного движения центра масс устанавливаемой детали относительно неинерциальной системы координат $O\xi\eta\zeta$, жестко связанной с базовой деталью, представлена в виде:

$$\begin{aligned} m\ddot{\xi}_c &= p \sin \psi - c(\xi_c + Z_{c4} \sin \psi) - fN \frac{\dot{\xi}_k}{\sqrt{\xi_k^2 + \eta_k^2}} + \phi_1(t), \\ m\ddot{\eta}_c &= -p \cos \psi \sin \varphi - c(\eta_c - Z_{c3} \cos \psi \sin \varphi) - fN \frac{\dot{\eta}_k}{\sqrt{\xi_k^2 + \eta_k^2}} + \phi_2(t). \end{aligned} \quad (15)$$

где:

$$\begin{aligned} \phi_1(t) &= m(\xi_c \dot{\psi}^2 - \eta_c \dot{\psi} \sin \varphi - 2\eta_c \dot{\varphi} \dot{\psi} \cos \varphi - \\ &\quad - 2\eta_c \omega \dot{\varphi} \sin \varphi - \zeta_c \ddot{\psi} \cos \varphi + 2\zeta_c \dot{\varphi} \dot{\psi} \sin \varphi - 2\zeta_c \omega \dot{\varphi} \cos \varphi \cos \psi + \\ &\quad \xi_c \omega^2 \cos^2 \varphi + \eta_c \omega^2 \sin \psi \sin \varphi \cos \psi + \zeta_c \omega^2 \sin \psi \cos \varphi \cos \psi) - \\ &\quad - 2m\dot{\xi}_c(\dot{\psi} \cos \varphi + \omega \cos \psi \sin \varphi) + \\ &\quad + 2m\dot{\eta}_c(-\dot{\psi} \sin \varphi + \omega \cos \psi \cos \varphi); \\ \phi_2(t) &= m(\xi_c \dot{\psi} \sin \varphi + \eta_c \dot{\psi}^2 \sin^2 \varphi + \eta_c \dot{\varphi}^2 - \\ &\quad - 2\eta_c \omega \dot{\psi} \sin \psi + \zeta_c \dot{\psi}^2 \cos \varphi \cos \varphi + \\ &\quad + \zeta_c \omega^2 \sin \psi \cos \psi \sin \varphi + \zeta_c \dot{\varphi} + \eta_c \omega^2 \sin^2 \varphi \sin^2 \psi + \\ &\quad + \zeta_c \omega^2 \sin^2 \psi \sin \varphi \cos \varphi + 2\zeta_c \omega \dot{\psi} \sin \psi \cos \varphi) - \\ &\quad - 2\eta_c \omega \dot{\psi} \cos \psi \sin \varphi \cos \varphi - 2\zeta_c \omega \dot{\psi} \cos \psi \cos^2 \varphi + \\ &\quad + \eta_c \omega^2 \cos^2 \varphi - \zeta_c \omega^2 \sin \varphi \cos \varphi) - 2m\dot{\xi}_c(-\dot{\psi} \sin \varphi + \omega \cos \psi \cos \varphi) + \\ &\quad + 2m\dot{\zeta}_c(\dot{\varphi} - \omega \sin \psi) \end{aligned} \quad (16)$$

При этом нормальная реакция N плоскости ориентирующего диска определяется по формуле:

$$\begin{aligned} N &= M\ddot{\xi}_c + c(\zeta_c - z_{c4} \cos \psi \cos \varphi) - m(\xi_c \omega^2 \cos \psi \sin \psi \cos \varphi + \\ &\quad + \eta_c \omega^2 \sin^2 \psi \sin \varphi \cos \varphi - \eta_c \omega^2 \sin \varphi \cos \varphi + \zeta_c \omega^2 \sin^2 \psi \cos^2 \varphi + \\ &\quad + \zeta_c \omega^2 \sin^2 \varphi - 2\zeta_c \omega \dot{\varphi} \sin \psi + \xi_c \ddot{\psi} \cos \varphi + \eta_c \dot{\psi}^2 \sin \varphi \cos \varphi - \\ &\quad - \eta_c \dot{\varphi} + \zeta_c \dot{\psi}^2 \cos^2 \varphi + \zeta_c \dot{\varphi}^2 - 2\zeta_c \omega \dot{\psi} \sin \psi \sin \varphi + \\ &\quad + 2\eta_c \omega \dot{\psi} \cos \psi \sin^2 \varphi + 2\zeta_c \omega \dot{\psi} \cos \psi \sin \varphi \cos \varphi) + 2m\dot{\eta}_c(\dot{\varphi} - \omega \sin \psi) - \\ &\quad - 2m\dot{\xi}_c(\dot{\psi} \cos \varphi + \omega \cos \psi \sin \varphi) + p \cos \psi \cos \varphi. \end{aligned} \quad (17)$$

В момент отрыва устанавливаемой детали от плоскости ориентирующего диска нормальная реакция (N) и сила трения ($\vec{F}_{тр}$) равны нулю.

При этом дифференциальные уравнения относительного движения центра масс устанавливаемой детали (при отсутствии ее контакта с плоскостью ориентирующего диска) имеет вид:

$$\begin{aligned}
 m\ddot{\xi}_c &= -c(\xi_c + Z_{c4} \sin \psi) + p \sin \psi + \phi_1(t), \\
 m\ddot{\eta}_c &= -c(\eta_c + Z_{c4} \cos \psi \sin \varphi) - p \cos \psi \sin \varphi + \phi_2(t), \\
 m\ddot{\zeta}_c &= -c(\zeta_c + Z_{c4} \cos \psi \cos \varphi) - p \cos \psi \cos \varphi + \phi_3(t),
 \end{aligned} \tag{18}$$

где

$$\begin{aligned}
 \phi_3(t) &= m[\xi_c \omega^2 \cos \psi \sin \psi \cos \varphi + \eta_c \omega^2 \sin^2 \psi \sin \varphi \cos \varphi - \\
 &\quad - \eta_c \omega^2 \sin \varphi \cos \varphi + \zeta_c \omega^2 \sin^2 \psi \cos^2 \varphi + \zeta_c \omega^2 \sin^2 \varphi - \\
 &\quad - 2\zeta_c \omega \dot{\varphi} \sin \psi + \xi_c \ddot{\psi} \cos \varphi + \eta_c \dot{\psi}^2 \sin \varphi \cos \varphi - \\
 &\quad - \eta_c \ddot{\psi} + \zeta_c \dot{\psi}^2 \cos^2 \varphi + \zeta_c \dot{\varphi}^2 - \\
 &\quad - 2\xi_c \omega \dot{\psi} \sin \psi \sin \varphi + 2\eta_c \omega \dot{\psi} \cos \psi \sin^2 \varphi + \\
 &\quad + 2\zeta_c \omega \dot{\psi} \cos \psi \sin \varphi \cos \varphi] - 2m\dot{\eta}_c(\dot{\varphi} - \omega \sin \psi) + \\
 &\quad + 2m\dot{\xi}_c(\dot{\psi} \cos \varphi + \omega \cos \psi \sin \varphi).
 \end{aligned} \tag{19}$$

Построенная математическая модель динамики относительного движения центра масс устанавливаемой детали по отношению к подвижной базовой детали реализована на компьютере.

На рис. 4 показана траектория движения центра масс устанавливаемой детали по плоскости ориентирующего диска при следующих значениях перечисленных выше параметров:

$$\omega = 1 \text{ рад/мин}, A = 0,05 \quad k = 42 \text{ с}^{-1} \quad f = 0,4 \quad h = 0,04 \text{ м} \quad C = 60 \text{ н/м}$$

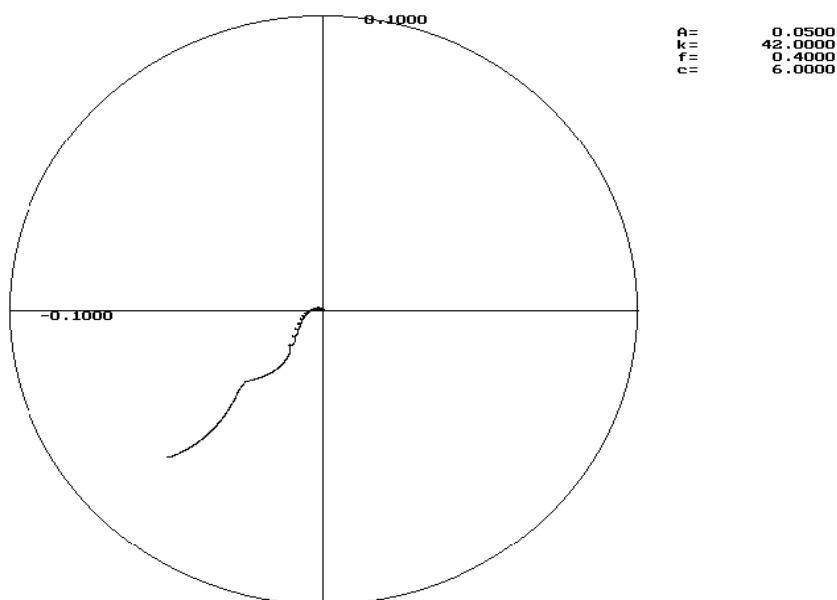


Рис. 4. Траектория движения центра масс устанавливаемой детали по плоскости ориентирующего диска

Rys. 4. Trajektoria ruchu środka ciężkości ustawianej części w płaszczyźnie orientującej tarczy

Анализ результатов численного решения рассматриваемой задачи показал, что существует область изменения основных динамических и конструктивных параметров, при которых центр масс достаточно быстро приближается к оси базовой детали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Божкова Л.В, Вартанов М.В., Кольчугин Е.И. Метод роботизированной сборки с использованием вибрационных колебаний // «Сборка в машиностроении, приборостроении», 2006, № 9, с. 19-24.
2. Добронравов В.В, Никитин М.Н. Курс теоретической механики – М., «Высшая школа», 1983.- 575с.
3. Коловский М.В, Слоущ А.В. Основы динамики промышленных роботов. – М.: Наука, 1980.- 240с.

ROBOTIC ASSEMBLY PROFILES CYLINDRICAL PARTS USING VIBRATORY OSCILLATIONS AND PASSIVE ADAPTATION

Abstract. The mathematical model for robotic assembly profile cylindrical details with passive adaptive grip and vibration is represented.

Władimir TIMIRIAZEW
Denis GOŁOŁOBOW
Aleksander KOSTENKO
Uniwersytet Technologiczny STANKIN
Moskwa, Rosja

WYZNACZANIE DOKIADNOŚCI POŁĄCZEŃ PRZY BAZOWANIU
WEDŁUG TRZECH PŁASZCZYZN

РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ БАЗИРОВАНИИ
ПО ТРЕМ ПЛОСКОСТЯМ

В тех случаях, когда приближенные методы расчета не позволяют достоверно оценить погрешность установки, целесообразно использовать аналитические методы теории баз [1].

Согласно теории баз погрешность установки характеризует вектор $\omega_y = (a_y, b_y, c_y, \lambda_y, \beta_y, \gamma_y)$, составляющие которого (a_y, b_y, c_y) – параметры смещения и $\lambda_y, \beta_y, \gamma_y$ – параметры поворота) определяют отклонение координатной системы (X, Y, Z) технологических баз устанавливаемой заготовки относительно системы координат (x, y, z) базовых поверхностей приспособления.

Отклонение обрабатываемой поверхности заготовки $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ от требуемого положения в направлении размера, получаемого от соответствующей технологической базы, проявляется как приведенная погрешность установки. Она зависит как от составляющих вектора ω_y , так и от положения этой поверхности относительно технологических баз заготовки.

Каждой из трех типовых схем базирования соответствует определенный комплект технологических баз, состоящий из трех базирующих поверхностей.

Так как каждой из базирующих поверхностей соответствует определенная координатная плоскость, то операционные размеры, получаемые от соответствующих баз и их отклонения $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$, имеют направления соответствующих координатных осей.

При базировании по трем плоскостям $T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta y_4, \Delta y_5, \Delta x_6)$ отклонения размера установки, формируемые в направлении технологических баз составляют:

- в направлении нормали к установочной базе

$$\epsilon_z^{(уст)} = c_y^{(уст)} + \lambda_y^{(уст)} \cdot y + \beta_y^{(уст)} \cdot x ; \quad (1)$$

- в направлении нормали к направляющей базе

$$\epsilon_y^{(нан)} = b_y^{(нан)} + \lambda_y^{(уст)} \cdot z + \gamma_y^{(нан)} \cdot x ; \quad (2)$$

- в направлении нормали к опорной базе

$$\epsilon_x^{(он)} = a_y^{(он)} + \beta_y^{(уст)} \cdot z + \gamma_y^{(нан)} \cdot x , \quad (3)$$

где $c_y^{(уст)}, \lambda_y^{(уст)}, \beta_y^{(уст)}$ – составляющие вектора погрешности установки ω_y , формируемые на установочной базе;

$b_y^{(нан)}, \gamma_y^{(нан)}$ – составляющие вектора ω_y , формируемые на направляющей базе;

$a_y^{(он)}$ – параметр смещения, формируемый на опорной базе.

При базировании заготовки по конструктивно оформленным опорным элементам параметр смещения $c_y^{(yem)}$, формируемый на установочной базе составляет

$$c_y^{(yem)} = 0,5 \cdot h, \quad (4)$$

где h – погрешность формы поверхности установочной базы.

Погрешность формы h (отклонения от плоскостности, прямолинейности и параллельности) регламентируется (ГОСТ 24643-81) с учетом допуска на размер между рассматриваемыми поверхностями и уровня относительной геометрической точности А, В, С. Это позволяет по таблицам [8] определить необходимые для расчета численные значения отклонений. В общем случае отклонения формы h можно определить как часть допуска IT на размер между рассматриваемыми поверхностями:

$$h = k \cdot IT, \quad (5)$$

где k – коэффициент, определяющий соотношение h/IT .

В соответствии с рекомендациями ГОСТ по определению уровня относительной геометрической точности плоских поверхностей деталей коэффициент k имеет следующие оценочные значения:

Относительная геометрическая точность поверхностей деталей		
нормальная (группа А)	повышенная (группа В)	высокая (группа С)
$\frac{h}{IT} \cdot 100 = 60\%$	$\frac{h}{IT} \cdot 100 = 40\%$	$\frac{h}{IT} \cdot 100 \leq 25\%$
$k = 0,6$	$k = 0,4$	$k = 0,25$

Таким образом, в общем случае отклонение формы поверхности h , определяемое как часть допуска IT на размер, координирующий данную плоскость, можно оценить коэффициентом k , который может принимать следующие значения:

Относительная геометрическая точность поверхности	Соотношение отклонения формы h и допуска IT на размер	Значения коэффициента k ,
нормальная (группа А)	$0,4 \cdot IT < h \leq 0,6 \cdot IT$;	$0,4 < k \leq 0,6$
повышенная (группа В)	$0,4 \cdot IT \geq h > 0,25 \cdot IT$;	$0,4 \geq k > 0,25$
высокая (группа С)	$h \leq 0,25 \cdot IT$.	$k \leq 0,25$

С учетом (5) выражение (4) можно записать:

$$c_y^{(yem)} = 0,5 \cdot k \cdot IT. \quad (6)$$

В соответствии с (6) параметры смещения $c_y^{(yem)}$, формируемые на установочной базе, можно рассчитать по формулам:

Относительная геометрическая точность установочной базовой поверхности		
нормальная (группа А), k = 0,6	повышенная (группа В) k = 0,4	высокая (группа С) k = 0,25
$c_y^{(ycm)} = 0,3 \cdot IT$	$c_y^{(ycm)} = 0,2 \cdot IT$	$c_y^{(ycm)} = 0,12 \cdot IT$

Параметры относительного поворота $\lambda_y^{(ycm)}, \beta_y^{(ycm)}$ формируемые по установочной базе, соответственно составляют:

$$\lambda_y^{(ycm)} = \frac{h}{4L_y}; \tag{7}$$

$$\beta_y^{(ycm)} = \frac{h}{4L_x}, \tag{8}$$

где L_y и L_x – расстояния между опорными элементами установочной базы в направлении осей Y и X. С учетом (5) выражение (7), (8) принимают вид:

$$\lambda_y^{(ycm)} = \frac{h \cdot k \cdot IT}{4L_y} \tag{9}$$

$$\beta_y^{(ycm)} = \frac{h \cdot k \cdot IT}{4L_x} \tag{10}$$

Согласно (9), (10) параметры поворота $\lambda_y^{(ycm)}, \beta_y^{(ycm)}$, формируемые на установочной базе различной геометрической точности, можно рассчитать по формулам:

Относительная геометрическая точность установочной базы		
нормальная (группа А), k = 0,6	повышенная (группа В) k = 0,4	высокая (группа С) k = 0,25
$\lambda_y^{(ycm)} = \frac{0,15 \cdot IT}{L_y}$	$\lambda_y^{(ycm)} = \frac{0,1 \cdot IT}{L_y}$	$\lambda_y^{(ycm)} = \frac{0,03 \cdot IT}{L_y}$
$\beta_y^{(ycm)} = \frac{0,15 \cdot IT}{L_x}$	$\beta_y^{(ycm)} = \frac{0,1 \cdot IT}{L_x}$	$\beta_y^{(ycm)} = \frac{0,03 \cdot IT}{L_x}$

Величина смещения $b_y^{(nan)}$, формируемая на направляющей базе, зависит от погрешности геометрической формы h направляющей базы и от перпендикулярности направляющей базы относительно установочной. С учетом вероятностного характера проявления этих отклонений имеем:

$$b_y^{(nan)} = 0,5 \cdot \sqrt{h^2 + (IT_v \cdot Z)^2}, \tag{11}$$

где Z – расстояние от установочной базы до опорных элементов направляющей базы;

IT_v – допуск, ограничивающий отклонения от перпендикулярности направляющей базы относительно установочной.

Представив погрешность геометрической формы h как часть допуска IT на размер, ограничиваемый поверхностью направляющей базы получим:

$$b_y^{(nan)} = 0,5 \cdot \sqrt{(k \cdot IT)^2 + (IT_v \cdot Z)^2} . \quad (12)$$

Параметр поворота $\gamma_y^{(nan)}$, формируемый на направляющей базе:

$$\gamma_y^{(nan)} = \frac{h}{4L_n} \quad \text{и с учетом (5) имеем} \quad \gamma_y^{(nan)} = \frac{k \cdot IT}{4L_n} , \quad (13)$$

где L_n – расстояние между опорными элементами направляющей базы.

Для базирующих поверхностей различной геометрической точности отклонения поворота $\gamma_y^{(nan)}$, можно рассчитать по формулам:

Относительная геометрическая точность деталей		
нормальная (группа А), $k = 0,6$	повышенная (группа В) $k = 0,4$	высокая (группа С) $k = 0,25$
$\gamma_y^{(nan)} = \frac{0,15 \cdot IT}{L_n}$	$\gamma_y^{(nan)} = \frac{0,1 \cdot IT}{L_n}$	$\gamma_y^{(nan)} = \frac{0,03 \cdot IT}{L_n}$

Параметр смещения $a_y^{(on)}$, формируемый на опорной базе, зависит от геометрической формы h и погрешности поворота поверхности опорной базы относительно установочной IT_μ и направляющей IT_ϕ баз:

$$a_y^{(on)} = 0,5 \cdot \sqrt{h^2 + (IT_\mu \cdot L_y)^2 + (IT_\phi \cdot L_n)^2} , \quad (14)$$

где L_y, L_n – расстояния от опорной точки до установочной и направляющей баз.

С учетом выражения (5) формула (14) принимает вид:

$$a_y^{(on)} = 0,5 \cdot \sqrt{(k \cdot IT)^2 + (IT_\mu \cdot L_y)^2 + (IT_\phi \cdot L_n)^2} . \quad (15)$$

Таким образом, приведенные зависимости позволяют рассчитать отклонения размеров, формируемых при соединении деталей по установочной, направляющей и опорной базам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование технологии. Под. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1990. – 415 с.

CALCULATION OF ACCURACY OF CONNECTION OF DETAILS AT BASING ON THREE PLANES

Abstract: In article questions of modelling of accuracy of connection of details are considered at their basing in assembly unit on three planes.

Władimir TIMIRIAZEW
 Anna GOŁOŁOBOWA
 Aleksander SZAGAŁKIN
 Uniwersytet Technologiczny STANKIN
 Moskwa, Rosja

ZAPEWNIENIE DOKŁADNOŚCI POŁĄCZEŃ Z POMOCĄ GRUPOWEJ SELEKCJI

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРУППОВОЙ ВЗАИМОЗАМЕЯЕМОСТИ

Метод групповой взаимозаменяемости (селективная сборка) применяют для достижения высокой точности соединения в малозвенных размерных цепях. Его сущность заключается в том, что требуемая точность соединения - зазора или натяга достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев (деталей), принадлежащих к одной из групп, на которые детали были предварительно рассортированы. Требуемая величина зазора или натяга в соединении формализуется как замыкающее звено соответствующей размерной цепи, точность которого определяется допуском T_{Δ} .

В начале задачу пытаются решить с использованием метода полной взаимозаменяемости и находят средний допуск T_{cp} для деталей соединения:

$$T_{cp} = \frac{T_{\Delta}}{m-1}$$

где m – число звеньев в рассматриваемом соединении.

Если полученный допуск T_{cp} оказывается по величине труднодостижимым (жестким), то его увеличивают в n раз:

$$T'_{cp} = n T_{cp}$$

где n – предполагаемое число групп сортировки.

В результате получаем расширенный средний допуск T'_{cp} , ориентируясь на который назначают расширенные допуски T'_i на детали соединения. При этом величина T'_i должна быть кратна числу групп n , что позволяет осуществить корректное разбиение деталей соединения на группы.

Реализация метода групповой взаимозаменяемости по данной схеме предусматривает также выполнение двух расчетных условий:

Условие 1 - сумма допусков увеличивающих звеньев должна равняться сумме допусков уменьшающих:

$$\sum_{i=1}^{i=k} T'_i = \sum_{i=k+1}^{i=m-1} T'_i$$

где k – число увеличивающих звеньев размерной цепи.

Условие 2 - координата середины поля допуска, получаемая на замыкающем звене при расширенных допусках Δ'_{Δ} , должна быть равна требуемой координате середины поля допуска:

$$\Delta'_{0\Delta} = \sum_{i=1}^{i=k} \Delta'_{0i} - \sum_{i=k}^{i=m-1} \Delta'_{0i} = \Delta_{0i}$$

Эффективная реализация этого метода, при которой имеет место наименьшее число некомплектных деталей соединения достигается при выполнении двух технологических условий:

1. Допуски на составляющие звенья, ограничивающие относительный поворот, отклонения формы и шероховатость поверхностей деталей, должны соответствовать не расширенным допускам T'_i , а устанавливаться в соответствии с численными значениям групповых допусков T'_i/n .

2. Обеспечение идентичность законов рассеяния отклонений на составляющих звеньях. Данное условие непосредственно вытекает из необходимости получения комплектности деталей соединения. Не выполнение этого условия приводит к тому, что в одинаковых группах оказывается различное число деталей.

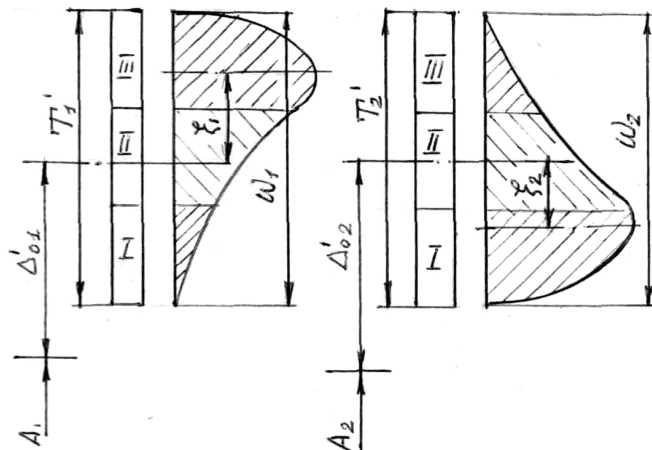


Рис.1

Rys. 1. Przykłady przesunięcia środka pola rozrzutu względem środka pola tolerancji dwóch łączonych części

На рис. 1 наглядно показано, что различные смещения центра группирования отклонений относительно середины поля допуска у двух соединяемых деталей $\xi_1 \neq \xi_2$ приводят к формированию разного числа деталей в группах I и III. В результате в этих двух группах остается большое число некомплектных (невыбранных) деталей. Идентичность законов рассеяния отклонений на составляющих звеньях достигают путем правильной настройки станков при изготовлении комплектующих деталей соединения.

В результате выполненного расчета составляют таблицу сортировки деталей по группам размеров, которая в общем случае имеет вид:

Звенья цепи

	A_1		A_2		...	A_{m-1}	
	Δ_1^g	Δ_1^h	Δ_2^g	Δ_2^h	...	$\Delta_{(m-1)}^g$	$\Delta_{(m-1)}^h$
I груп.	$\Delta_{1,I}^g$	$\Delta_{1,I}^h$	$\Delta_{2,I}^g$	$\Delta_{2,I}^h$	...	$\Delta_{(m-1),I}^g$	$\Delta_{(m-1),I}^h$
II груп.	$\Delta_{1,II}^g$	$\Delta_{1,II}^h$	$\Delta_{2,II}^g$	$\Delta_{2,II}^h$	...	$\Delta_{(m-1),II}^g$	$\Delta_{(m-1),II}^h$
J...	...	...	...	...	...	...	...
n груп.	$\Delta_{1,n}^g$	$\Delta_{1,n}^h$	$\Delta_{2,n}^g$	$\Delta_{2,n}^h$	...	$\Delta_{(m-1),n}^g$	$\Delta_{(m-1),n}^h$

По горизонтали располагают звенья цепи, а по вертикали для каждого звена располагают рассчитанные предельные отклонения, относящиеся к каждой из групп.

При сборке изделий с использованием метода групповой взаимозаменяемости соединение деталей, принадлежащих к одной группе, обеспечивает достижение точности замыкающего звена по полной взаимозаменяемости, а при рассмотрении всех групп имеет место групповая взаимозаменяемость.

В соответствии с этим, для проверки правильности разбиения расширенных допусков T'_i на группы и проверки правильности назначения предельных отклонений в каждой из групп, можно использовать формулы предельных отклонений, которые в общем случае для всех n групп имеют вид:

$$\Delta_{\Delta}^e = \sum_{i=1}^{i=k} \bar{\Delta}_{ij}^e - \sum_{i=k+1}^{i=m-1} \bar{\Delta}_{ij}^e ; \quad \Delta_{\Delta}^H = \sum_{i=1}^{i=k} \bar{\Delta}_{ij}^H - \sum_{i=k+1}^{i=m-1} \bar{\Delta}_{ij}^e ,$$

где j – номер соответствующей группы сортировки, $j = (1 \dots n)$.

Применение метода групповой взаимозаменяемости (селективной сборки) в многозвенных цепях требует выполнения большого объема работ, связанных с измерением деталей соединения и их сортировкой, что значительно снижает его эффективность. Поэтому этот метод групповой взаимозаменяемости обычно применяют в 3-х и 4-х звенных размерных цепях, т.е. в соединениях с малым числом комплектующих деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения. Под. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высшая школа, 1999. – 415 с.

MAINTENANCE OF ACCURACY OF CONNECTION WITH USE OF GROUP INTERCHANGEABILITY

Abstract: In article the design procedure of accuracy mobile connections with use of a method of group interchangeability is considered.

Mark KRISTAL
 Uniwersytet Techniczny
 Wołgograd, Rosja

НОВА ПОСТАЇ РОЗКЛАДЇВ В ЗАДАЧАХ ЗВІЙСЬЗАННЯ
 НЕЗАВОДНОЇ АВТОМАТЇВ МОНТАЖОВИХ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРИСТАЛЯ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ
 НАДЕЖНОСТИ СБОРОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Одной из наиболее сложных проблем внедрения сборочных автоматов является их недостаточно высокая надежность. При этом следует дифференцировать надежность выполнения собственно сборочной операции, зависящей от точности взаимного расположения деталей на рабочей позиции или в зоне сборки (для вибротранспортных непрерывных сборочных устройств (НСУ)), от надежности бесперебойного снабжения рабочих позиций деталями сборочного комплекта. Если вопросы точности относительного расположения деталей на стационарных позициях дискретных сборочных автоматов решают на основе анализа объемных размерных цепей, то для НСУ вибротранспортного типа [1] требуется иной подход.

Для обеспечения бесперебойного снабжения рабочих позиций технологических машин создают буферные накопители необходимого объема V , компенсирующие случайный характер, входного в накопитель и выходного из него потоков деталей. Известные методы расчета величины объема V , основанные на цепях Маркова, предполагают, что эти потоки, разной интенсивности, являются простейшими. Такой подход, во-первых, не всегда соответствует реальным процессам, а во-вторых, дает завышенные значения объема V .

Автором предложено новое распределение случайной величины (распределение Кристалля) [2], представляющую собой разность i -тых случайных величин t_i , имеющих распределение Эрланга:

$$f_i(t_i) = (k_i \lambda_i)^{k_i} t_i^{k_i-1} \exp(-k_i \lambda_i t_i) / (k_i - 1)!, \quad (1)$$

где $k_i \in [1, 2, \dots, n]$ – коэффициент последствия, принимающий целочисленные значения и характеризующий степень стохастичности потока; λ_i – средняя интенсивность (производительность) потока; i – индекс потока: для входного $i = 1$ и для выходного потоков – $i = 2$.

Плотность $f(t)$ вероятности распределения Кристалля имеет вид:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{A \exp(k_2 \lambda_2 t) (k_2 - 1)! \sum_{i=0}^{k_2-1} \frac{(-tb)^i (k_1 + k_2 - i - 2)!}{(k_2 - i - 1)! i!}}{b^{k_1+k_2-1}}, & \text{при } t < 0; \\ \frac{A \exp(-k_1 \lambda_1 t) (k_1 - 1)! \sum_{i=0}^{k_1-1} \frac{(tb)^i (k_1 + k_2 - i - 2)!}{(k_1 - i - 1)! i!}}{b^{k_1+k_2-1}}, & \text{при } t > 0; \end{cases} \quad (2)$$

где $A = \frac{(k_1 \lambda_1)^{k_1} (k_2 \lambda_2)^{k_2}}{(k_1 - 1)! (k_2 - 1)!}$; $b = k_1 \lambda_1 + k_2 \lambda_2$.

Основными характеристиками распределения Кристалла являются математическое ожидание $M(t) = (\lambda_1)^{-1} - (\lambda_2)^{-1}$; дисперсия $D(t) = (k_1 \lambda_1^2)^{-1} + (k_2 \lambda_2^2)^{-1}$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma(t) = \sqrt{D(t)} = \sqrt{(k_1 \lambda_1^2)^{-1} + (k_2 \lambda_2^2)^{-1}}$.

Функция $f(t)$ позволяет оценить вероятность выполнения сборки деталей, движущихся в зоне сборки сборочной позиции двумя случайными потоками. Поскольку при преобразовании случайной величины t временного смещения сопрягаемых поверхностей в случайную погрешность относительного расположения X этих поверхностей, эта величина существенно превышает величину радиального зазора S соединения, то вероятность сборки можно вычислить по выражению:

$$P_c^B = \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(c/a)^n (1+c/a)^{i+1-m-n} (m+n-i-2)!}{(m-i-1)!(n-1)!} [1 - \exp(-a) \sum_{j=0}^i a^j / j!] + \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(a/c)^m (1+a/c)^{i+1-m-n} (m+n-i-2)!}{(n-i-1)!(m-1)!} [1 - \exp(-c) \sum_{j=0}^i c^j / j!], \quad (3)$$

где $a = \lambda^* m$; $c = a \epsilon \nu$; $x^* = x / E_S$; λ^* - коэффициент заполнения потока зазоров; $\epsilon = \gamma_1 / \gamma_2$ - отношение интенсивностей потоков сопрягаемых деталей; $\nu = n / m$; E_S - математическое ожидание радиального зазора соединения.

Поскольку наибольшего значения вероятность P_c^B достигает, если параметры $\epsilon = \nu = 1,0$, т.е. при условии равенства интенсивностей $\gamma_1 = \gamma_2$ и параметров $m = n$, учитывающих степень последствия потоков деталей, проходящих через ЗС. В этом случае выражение (3) примет вид:

$$P_c^B = \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(c/a)^n (1+c/a)^{i+1-m-n} (2m-i-2)!}{(m-i-1)!(m-1)!} [1 - \exp(-m \lambda^*) \sum_{j=0}^i (-m \lambda^*)^j / j!]. \quad (4)$$

То есть, величина вероятности P_c^B сборки становится функцией лишь двух аргументов: коэффициента m , учитывающего степень последствия в потоках деталей, и коэффициента заполнения λ^* . Причем увеличение m и λ^* приводит к возрастанию вероятности P_c^B . Однако, на последствие в потоках накладывается ограничение, связанное с условиями эксплуатации вибротранспортных устройств автоматического сборочного оборудования. Из известных технологических приемов, способствующих осуществлению сборки на автоматическом сборочном оборудовании, достаточно широко применяют фаски на торцевых поверхностях сопрягаемых деталей. Количественно этот прием может быть представлен увеличением математического ожидания E_S радиального зазора на суммарный размер $(C_1 + C_2)$ фасок деталей. Тогда величина коэффициента заполнения λ^* будет определена по формуле:

$$\lambda^* = \gamma (E_S + C_1 + C_2), \quad (5)$$

где γ – интенсивность базового потока деталей в ЗС, на величину которой накладываются ограничения, обусловленные габаритными размерами деталей, измеренными в направлении их транспортирования в зоне сборки.

Увеличению коэффициента заполнения способствует также сопряжение деталей под углом. Применение этого приема количественно опишем заменой в выражении (5) математического ожидания E_S радиального зазора математическим ожиданием $E_{\hat{\lambda}}$ радиуса отверстия втулки. В этом случае коэффициент заполнения λ^* вычисляют следующим образом: $\lambda^* = \gamma (E_{\hat{\lambda}} + C_1 + C_2)$.

Среди используемых методов повышения надежности сборки широкое распространение получило применение вибрации, сообщаемой одной или обоим сопрягаемым деталям. В вибротранспортных НСУ вибрационное воздействие на детали оказывает несущая поверхность вибротолка ЗС. Вибрация способствует самоориентированию деталей при сопряжении. С другой стороны, скорость вибрационного воздействия на порядок выше скоростей транспортного и сборочного перемещений. Поэтому можно говорить об эффективном расширении радиального зазора соединения в пределах амплитуды относительных колебаний деталей.

Применительно к предложенной модели это равносильно увеличению коэффициента заполнения λ^* в k_T - раз.

Предложенная выше плотность вероятности $f(t)$ случайной величины t (2) позволяет также определить и необходимый объем накопителя, компенсирующего стохастичность поступающего из бункера в рабочую позицию потока деталей. Предполагая, что время t_2 выполнения сборочного процесса имеет распределение Гаусса, то его можно заменить распределением Эрланга с параметрами $\lambda_2 = (M_{t_2})^{-1}$

и $k_2 = \left(\frac{M_{t_2}}{\lambda_{t_2}} \right)^2$, а величина ошибки при замене распределений, вследствие большей дисперсии

распределения Эрланга по сравнению с распределением Гаусса, обеспечивает запас расчета. Такой подход позволяет рассматривать поток деталей, выходящий из накопителя и входящий в рабочую зону технологической машины, при условии детерминированного характера выполнения сборочного процесса, также потоком Пальма с ограниченным последствием.

Тогда буферный накопитель наполняет поток 1 Пальма деталей с параметрами λ_1, k_1 и опорожняет поток 2 Пальма деталей с параметрами λ_2, k_2 . За начальный момент времени принят момент, когда из потока 1 в накопитель поступает деталь и выходит из него в поток 2 другая деталь. Интервал времени одного цикла наполнения и опорожнения накопителя есть разность случайных временных интервалов $(t = t_2 - t_1)$ между деталями в выходном и входном потоках. Конечная величина объема V накопителя достигается при условии равенства интенсивностей $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2$ входящего и выходящего потоков. Тогда выражение (2) принимает вид:

$$f_{\lambda}(t) = \begin{cases} \frac{\lambda \exp(k_2 \lambda t) k_1^{k_1} k_2^{k_2}}{(k_1 - 1)! (k_1 + k_2)^{k_1 + k_2 - 1}} \sum_{i=0}^{k_2 - 1} \frac{(-t \lambda [k_1 + k_2])^i (k_1 + k_2 - i - 2)!}{(k_2 - i - 1)! i!}, & \text{при } t < 0; \\ \frac{\lambda \exp(-k_1 \lambda t) k_1^{k_1} k_2^{k_2}}{(k_2 - 1)! (k_1 + k_2)^{k_1 + k_2 - 1}} \sum_{i=0}^{k_1 - 1} \frac{(t \lambda [k_1 + k_2])^i (k_1 + k_2 - i - 2)!}{(k_1 - i - 1)! i!}, & \text{при } t > 0. \end{cases} \quad (6)$$

При этом математическое ожидание $M_{\lambda}(t) = (\lambda)^{-1} - (\lambda)^{-1} = 0$; дисперсия $D_{\lambda}(t) = [(k_1)^{-1} + (k_2)^{-1}] / \lambda^2$, а среднее квадратическое отклонение $\sigma_{\lambda}(t) = \lambda^{-1} \sqrt{(k_1)^{-1} + (k_2)^{-1}}$.

Частная величина объема V_{ξ} накопителя, необходимая для компенсации одного цикла его наполнения - опорожнения, должна иметь величину, обеспечивающую выдачу деталей с интенсивностью λ в течение интервала времени, удаленного от своего среднего значения на $\pm 3 \sigma_{\lambda}(t)$: $V_{\xi} = 6 \sqrt{(k_1)^{-1} + (k_2)^{-1}}$.

Полный же объем V определяет цепь событий накопления и опорожнения, и его можно вычислить как произведение: $V = \xi V_{\xi}$, где $\xi = (p_{\xi})^{-1}$ - коэффициент обратно-пропорциональный, вероятности p_{ξ} нахождения в накопителе как минимум одной детали в частном цикле накопления - опорожнения.

Вероятность p_{ξ} есть вероятность одновременного осуществления двух независимых событий: $p_{\xi} = p_1 p_2$, где $p_1 = P\{t_1 < t\}$ - вероятность того, что интервал t_1 между деталями во входящем потоке меньше интервала t одного цикла наполнения-опорожнения накопителя. Вероятность p_1 характеризует поступление в накопитель, по крайней мере, одной детали в пределах данного цикла. Аналогично $p_2 = P\{t < t_2\}$ есть вероятность превышения над временем t одного цикла наполнения-опорожнения интервала времени t_2 между деталями в выходящем потоке, что также характеризует наличие в накопителе, по крайней мере, одной детали в пределах этого же цикла.

Для определения величины p_1 сравним случайные величины: интервала t нахождения детали в накопителе в пределах одного цикла его наполнения-опорожнения и интервала времени t_1 между деталями во входном потоке. Величина t , имеет распределение Кристалла с плотностью вероятности $f_{\lambda}(t)$ (6), а величина t_1 - распределение Эрланга с плотностью вероятности (1).

Вероятность p_1 , вычисляют как вероятность $p_1 = P\{t_1 - t < 0\}$, где вероятность того, что некоторое значение времени t нахождения детали в накопителе находится в небольшом

интервале dt , равна площади под функцией $f_{\lambda}(t)$ в интервале $dt = dt_1$, т.е. $P \{t_0 - dt/2 \leq t_0 \leq t_0 + dt/2\} = f_{\lambda}(t) dt$.

Тогда вероятность превышения интервалом времени t некоторого интервала времени t_0

определяется выражением: $P \{t > t_0\} = \int_{t_0}^{\infty} f_{\lambda}(t) dt$.

Вероятность же превышения временем t нахождения детали в накопителе значений времени t_1 , заключенных в интервале $dt = dt_1$, при условии независимости данных случайных величин

и равенства $t_0 = t_{10}$, будет иметь вид (рис.1): $P \{t_1 < t_0\} = f(t_0) \cdot dt \int_{t_0}^{\infty} f_{\lambda}(t) dt$.

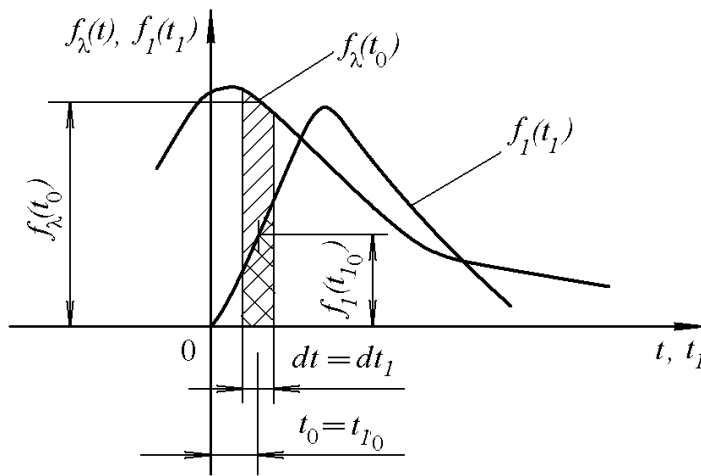


Рис.1. Определение вероятности p_1 поступления в накопитель, объемом V_{ξ} , как минимум одной детали

Rys. 1. Wyznaczanie prawdopodobieństwa p_1 wejścia do zasobnika buforowego, w objętości V_{ξ} , minimum jednej części

Вероятность p_1 поступления в накопитель хотя бы одной детали из входного потока есть вероятность превышения величиной интервала t одного цикла наполнения - опорожнения всех

возможных значений интервалов времени t_1 поступления детали в накопитель из входного потока,

и может быть вычислена по выражению:
$$P_1 = \int_0^{\alpha} f_1(t_1) \left[\int_{t_1}^{\beta} f_{\lambda}(t) dt \right] dt_1, \quad (7)$$

где $\alpha = 6(\lambda)^{-1} \sqrt{(k_1)^{-1}}$, а $\beta = 3(\lambda)^{-1} \sqrt{(k_1)^{-1} + (k_2)^{-1}}$.

Аналогично вычисляют вероятность P_2 , как вероятность нахождения в накопителе как минимум одной детали в пределах цикла наполнения - опорожнения, которая есть вероятность превышения величиной интервала t_2 всех возможных значений интервала времени t этого цикла, и может быть рассчитана согласно выражению:

$$P_2 = \int_0^{\alpha} f_{\lambda}(t) \left[\int_t^{\beta} f_2(t_2) dt_2 \right] dt, \quad (8).$$

где $\alpha = 3(\lambda)^{-1} \sqrt{(k_1)^{-1} + (k_2)^{-1}}$, а $\beta = 6(\lambda)^{-1} \sqrt{(k_2)^{-1}}$.

Полученные зависимости позволяют определить объем V накопителей деталей для различных параметров входных и выходных потоков. Расчетами установлено, что величина V зависит от коэффициентов k_1 и k_2 последействия этих потоков и не зависит от их средней интенсивности λ (производительности).

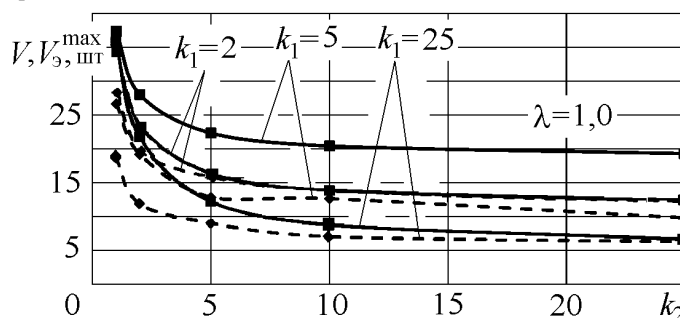


Рис. 2. Расчетные $V(k_1, k_2)$ - сплошные линии - и экспериментальные $V_3^{\max}(k_1, k_2)$ - штриховые линии- зависимости объема накопителя от коэффициентов последействия входного k_1 и выходного k_2 потоков

Rys. 2. Obliczeniowe $V(k_1, k_2)$ - linie ciągłe - i eksperymentalne $V_3^{\max}(k_1, k_2)$ - linie przerywane - zależność objętości zasobnika od współczynników sekwencji wejściowego k_1 i wyjściowego k_2 strumieni

Для проверки правомочности применения данной методики расчета выполнено статистическое моделирование процесса наполнения – опорожнения накопителя с использованием генератора Филлиппса [3], позволившее установить, что теоретические значения объема V близки и несколько превышают верхние пределы экспериментальных величин $V_{\text{max}} = \bar{V}_{\text{э}} + 3\sigma_V$, где $\bar{V}_{\text{э}}$ и σ_V - соответственно, математическое ожидание, и среднеквадратическое отклонение моделируемой величины объема V накопителя (рис. 2). Проверка полученных результатов на опытно-промышленных образцах сборочных автоматов непрерывного действия также подтвердила возможность использования предложенной методики для практических расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кристаль М.Г. Оценка погрешности относительного расположения сопрягаемых поверхностей при автоматической сборке цилиндрических соединений//Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2000. – № 6. – С.20–23.
2. Кристаль М.Г. Разработка методов проектирования автоматических устройств повышенной производительности и надежности для сборки. // Дисс... д-ра техн. наук. М.: 2009. – 509 с.
3. Phillips D.T. Generation of random gamma variates from two-parameter gamma/ D.T. Phillips // Transactions Amer. Institute of Electrical and Electronical Engineers. – 1971. - № 3. – p. 191-198.

NOWA POSTAĆ ROZKŁADÓW W ZADANIACH ZWIĘKSZANIA NIEZAWODNOŚCI AUTOMATÓW MONTAŻOWYCH

Streszczenie. W pracy przytoczono nowo opracowaną metodę wyznaczania ciągłego zasilania pozycji montażowych w potrzebne części za pomocą systemów podawania wibracyjnego z zasobników buforowych. Znane metody wyznaczania ich pojemności (np. łańcuchy Markowa) przeważnie dają zawyżone wyniki. W pracy opisano nowy rozkład wielkości przypadkowych pozwalający ocenić prawdopodobieństwo wykonania połączenia części przemieszczających się w strefie montażu.

Rafał KLUZ

Politechnika Rzeszowska
Rzeszów, Polska

WYZNACZANIE ZDOLNOŚCI PROCESU MONTAŻU CZĘŚCI TYPU CZOP-TULEJA

Ważnym zagadnieniem z zakresu pracy zrobotyzowanego stanowiska montażowego jest problem zapewnienia wymaganego prawdopodobieństwa połączenia części, a więc zapewnienia wymaganej zdolności procesu montażu. W ramach statystycznego sterowania procesami wykorzystywanych jest kilka podstawowych wskaźników zdolności, które odnoszą się albo do zdolności całych procesów, albo tylko poszczególnych maszyn [1, 8]. Chcąc ocenić zdolność procesu należy odnieść bezpośrednio jego rozrzut (szacowany zazwyczaj w oparciu o rozstęp lub odchylenie standardowe) do szerokości założonego pola tolerancji (w przypadku montażu części cylindrycznych rozrzut błędów do tolerancji względnego przemieszczenia osi łączonych elementów). Im wartość błędu generowana na stanowisku montażowym jest mniejsza w odniesieniu do szerokości tolerancji względnego przemieszczenia osi części, tym zwiększa się prawdopodobieństwo połączenia części, a proces jest bardziej zdolny [2]. W przypadku procesu montażu części cylindrycznych wyznaczenie zdolności procesu utrudnione jest koniecznością dokonywania analizy w płaszczyźnie prostopadłej do osi kojarzonych części. W literaturze przedmiotu znanych jest kilka metod wyznaczania zdolności procesu. W większości przypadków polegają na porównywaniu objętości lub pola powierzchni rozrzutu badanej cechy do objętości lub pola tolerancji [3,7,8]. Jednakże złożoność obliczeń koniecznych do przeprowadzenia podczas analizy stawia pod znakiem zapytania możliwość zastosowania tych metod w przedsiębiorstwach. Z drugiej jednak strony dążenie przedsiębiorstw do upraszczania obliczeń dokonywanych podczas badania zdolności procesu, doprowadza do znacznego uproszczenia analizy i przyjęcia metody, której wyniki w wielu przypadkach mogą nieodzwierciedlać rzeczywistego charakteru błędów generowanych na stanowisku montażowym i prowadzić do błędnych wyników. Dlatego niniejsza praca poświęcona jest zagadnieniu opracowania metody wyznaczania zdolności procesu, która uwzględniałaby specyficzne warunki procesu montażu, pomijane w metodach uproszczonych, a jednocześnie byłaby na tyle prosta w zastosowaniu, aby mogła być wykorzystana w rzeczywistych warunkach produkcyjnych.

TOLERANCJA WZGLĘDNEGO PRZEMIESZCZENIA OSI ŁĄCZONYCH CZĘŚCI

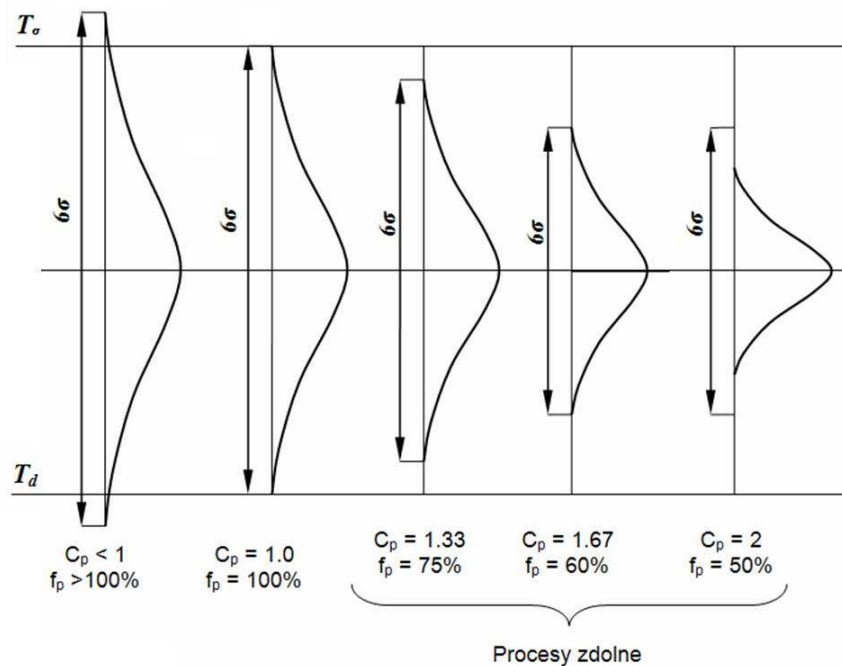
W zagadnieniu jednowymiarowym wyznaczania zdolności procesu wartość wskaźnika C_p (zdolności procesu) jest ilorazem założonego pola tolerancji do jego rozrzutu, szacowanego najczęściej w oparciu o rozstęp lub odchylenie standardowe (rys. 1). Im szerokość procesu jest mniejsza w odniesieniu do szerokości pola tolerancji tym proces jest bardziej zdolny. Zakładając, że „szerokość” procesu można wyrazić jako 6 odchyleń standardowych (założenie to jest właściwe dla rozkładu zgodnego z rozkładem normalnym, przy innych rozkładach stosuje się inne wzory), można skonstruować wzór na podstawowy wskaźnik oceny zdolności procesu C_p [4, 6]:

$$C_p = \frac{T_d - T_g}{6\sigma} = \frac{T}{6\sigma} \quad (1)$$

gdzie: T_g – górna wartość tolerancji, T_d – dolna granica tolerancji, σ – odchylenie standardowe.

Jak można wywnioskować z konstrukcji tego wzoru, im wskaźnik ten ma wyższą wartość, tym lepszy proces. W przypadku, gdy wartość ta wynosi 1 (szerokość procesu jest równa zakresowi tolerancji), to zgodnie z własnościami rozkładu normalnego wadliwość wynosi 0,27%. W zależności od wymagań klienta może to być dużo lub mało. Ogólnoświatowym standardem jest tu wartość 1,33, przy której wadliwość wynosi około 0,0063%. [1, 4, 6]

W przypadku montażu części cylindrycznych zagadnienie wyznaczania zdolności procesu jest znacznie bardziej złożone. Główny wpływ na poprawny przebieg montażu części ma odległość między osiami kojarzonych części, która powinna zawierać się w polu tolerancji na dopuszczalne względne ich przemieszczenie. Ponieważ zarówno średnica tulei jak i wału wykonywane są w pewnej tolerancji wykonania, dlatego w zależności od przyjętej metody montażu tolerancja na względne przemieszczenie osi łączonych elementów będzie przyjmowała różną wartość.



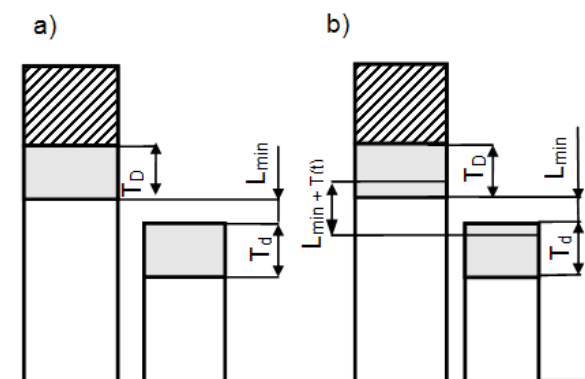
Rys. 1. Położenia pól rozrzutu 6σ względem pola tolerancji T i odpowiadające im wartości C_p ($f_p = 6\sigma/T$ - stosunek rozproszenia do tolerancji) [6]

a) metoda zamenności pełnej

W metodzie zamenności pełnej wymagane jest prawdopodobieństwo połączenia części bliskie 100%. Zatem w tym przypadku tolerancja na względne przemieszczenie osi łączonych części odpowiada luzowi minimalnemu rozpatrywanej jednostki montażowej (rys. 2):

$$T_{\Delta} = L_{min} = D_{min} - d^{max} \quad (2)$$

gdzie: D – średnica otworu, d – średnica wałka



Rys. 2. Tolerancja względnego przemieszczenia osi łączonych części,
a) zamienność pełna. b) zamienność częściowa

b) metoda zamienności częściowej

W przypadku metody zamienności częściowej zakłada się, że równoczesne wystąpienie niekorzystnych granicznych wartości odchyłek w łańcuchach wymiarowych występuje bardzo rzadko. Można zatem posługując się zasadami rozkładu prawdopodobieństwa zwiększyć wartość tolerancji względnego przemieszczenia osi łączonych elementów, tym bardziej iż w przypadku większości przedsiębiorstw dopuszczalna wartość wskaźnika zdolności procesu C_p podczas wytwarzania części maszyn wynosi 1.33, co odpowiada 75% udziałowi pola rozrzutu właściwość względem pola tolerancji (rys. 1, b).

Wartość tolerancji względnego przemieszczenia osi łączonych części można zatem zwiększyć o wartość $T(r)$:

$$T_{\Delta l} = L_{min} + T(t) \quad (3)$$

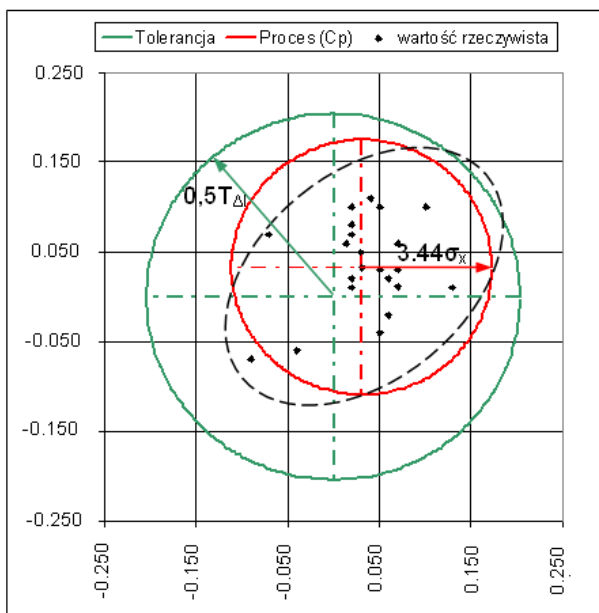
$$T(t) = T_D + T_d - t \sqrt{c_D^2 T_D^2 + c_d^2 T_d^2} \quad (4)$$

gdzie: T_D , T_d – tolerancja tulei i wałka, t – współczynnik ryzyka (wartości $t = 3$ odpowiada 0.27% niezrealizowanych połączeń), c_D , c_d – współczynnik rozproszenia pola rozrzutu dla tulei i wałka

METODA MAKSYMALNEGO ODCHYLENIA STANDARDOWEGO

Jedną częściej stosowanych w warunkach przemysłowych metod wyznaczania zdolności procesu jest metoda, polegająca na wyznaczeniu błędu względnego przemieszczenia osi łączonych elementów w dwóch prostopadłych kierunkach i przyjęciu do obliczeń wartości maksymalnego odchylenia standardowego błędu względnego przemieszczenia osi łączonych części ($\sigma_{\max}(x,y)$). Przy takim podejściu wskaźnik zdolności procesu przyjmuje następującą postać [1, 3]:

$$C_p = \frac{0.5T_{\Delta l}}{3\sigma_{\max}(x,y)} \quad (5)$$



Rys. 3. Porównanie obszaru tolerancji względnego przemieszczenia osi łączonych części $T_{\Delta 1}$ i pola rozrzutu błęd generowanego w trakcie realizacji procesu

Przedstawiona metoda jest prosta w zastosowaniu, albowiem nie wymaga skomplikowanych obliczeń. Uzyskane na jej podstawie wyniki analizy zdolności procesu są jednak poprawne jedynie w przypadku, gdy rozpatrywane zmienne są niezależne stochastycznie. W przypadku, gdy zachodzi korelacja między zmiennymi mamy do czynienia z elipsami koncentracji prawdopodobieństwa nachylonymi pod pewnym kątem do przyjętego układu współrzędnych (rys. 2). Wykorzystanie zatem zależności (4) do analizy zdolności procesu może w pewnych przypadkach prowadzić do błędnej interpretacji wyników pomiarów i uznania za zdolny proces nie będący zdolny jakościowo.

WYZNACZENIE MAKSYMALNEJ ODLEGŁOŚCI MIĘDZY OSIAMI

Jeżeli na proces montażu nie oddziałują czynniki specjalne, błąd względnego przemieszczenia osi łączonych części można opisać dwuwymiarową funkcją gęstości normalnego rozkładu prawdopodobieństwa [4. 5]:

$$f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^3 \det[\lambda_{jk}]}} \exp[-\Lambda_x x^2 + \Lambda_y y^2 + 2\Lambda_{xy} xy] \quad (6)$$

Rozwiązując równanie:

$$\Lambda_x x^2 + \Lambda_y y^2 + 2\Lambda_{xy} xy = \lambda^2 \quad (7)$$

można otrzymać elipsoidy koncentracji prawdopodobieństwa, na powierzchniach których gęstość prawdopodobieństwa ma stałą wartość. Prawdopodobieństwo zdarzenia, zmienna losowa x, y , będzie leżała wewnątrz elipsy podlega rozkładowi χ^2 – kwadrat o dwóch stopniach swobody $\chi^2(2)$.

$$\lambda^2 = \chi_{\alpha}^2(2) \quad (8)$$

Elipsy koncentracji prawdopodobieństwa są miejscami geometrycznymi punktów, na których gęstość prawdopodobieństwa błędu ma stałą wartość. Równanie rodzin elipsoid, dla różnej wartości prawdopodobieństwa umożliwia wyznaczenie granic obszaru błędu względnego przemieszczenia osi części, przy żądanym prawdopodobieństwie zajścia tego zdarzenia. W związku z tym, z punktu widzenia procesu montażu, parametrem umożliwiającym oszacowanie z zadowalającą dokładnością maksymalny błąd względnego przemieszczenia osi łączonych części (z uwzględnieniem zależności między zmiennymi) jest odległość skrajnego punktu elipsy koncentracji prawdopodobieństwa od żądanego nominalnego położenia. Parametr ten reprezentowany jest przez największą półosią R rozważanej elipsy (rys. 4).

W ogólnym przypadku elipsy koncentracji prawdopodobieństwa o równaniu (7) są krzywymi stopnia drugiego reprezentowanymi poprzez równanie [5]:

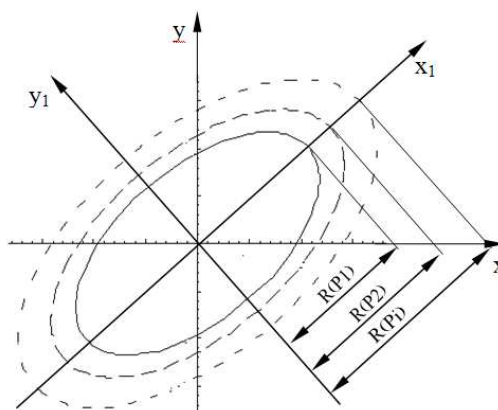
$$\Lambda_x x^2 + 2\Lambda_{xy} xy + \Lambda_y y^2 + 2\Lambda_{x0} x + 2\Lambda_{y0} y + \lambda^2 = 0 \quad (9)$$

gdzie wyznacznik:

$$w = \begin{vmatrix} \Lambda_x & \Lambda_{xy} \\ \Lambda_{xy} & \Lambda_y \end{vmatrix} \quad (10)$$

nazywany małym wyróżnikiem równania (9) oraz wyznacznik:

$$W = \begin{vmatrix} \Lambda_x & \Lambda_{xy} & \Lambda_{x0} \\ \Lambda_{xy} & \Lambda_y & \Lambda_{y0} \\ \Lambda_{x0} & \Lambda_{y0} & \lambda^2 \end{vmatrix} \quad (11)$$



Rys. 4. Schemat przedstawiający elipsy koncentracji prawdopodobieństwa błędu względnego przemieszczenia osi łączonych części: R – długość dłuższej półosi elipsy, P – prawdopodobieństwo zdarzenia, że zmienna losowa błędu znajdzie się wewnątrz elipsy o półosi R

nazywany dużym wyróżnikiem równania (9) a także wyrażenie $p = \Lambda_x + \Lambda_y$ są niezmiennikami przesunięcia i obrotu układu Oxy . Chcąc zatem wyznaczyć wielkość najdłuższej półosi należy sprowadzić rozważane równanie do postaci kanonicznej, dokonując zmiany układu współrzędnych, a mianowicie dokonać obrotu.. W rozważanym przypadku mały wyróżnik równania $w \neq 0$, w związku z czym istnieje zawsze taki układ $O'x'y'$, że równanie (9) przyjmuje w nim postać:

$$Ax'^2 + By'^2 + C = 0 \quad (12)$$

gdzie: $C = W/w$

Znajdując liczby A i B poprzez rozwiązanie układu równań niezmienników:

$$\begin{cases} A + B = p \\ AB = w \end{cases} \quad (13)$$

Można wyznaczyć długość półosi elipsy R , wewnątrz której z żądanym prawdopodobieństwem znajdzie się wektor błędu względnego przemieszczenia osi łączonych elementów:

$$R = \sqrt{\frac{2\chi_\alpha^2}{\Lambda_x + \Lambda_y - \sqrt{\Lambda_x^2 - 2\Lambda_x\Lambda_y + \Lambda_y^2 + 4\Lambda_{xy}^2}}} \quad (14)$$

gdzie $\chi_\alpha^2(2)$ - kwantyle rzędu α rozkładu chi – kwadrat o dwóch stopniach swobody, oraz:

$$\Lambda_x = \frac{\sigma_y^2}{-cov(x, y)^2 + \sigma_y^2\sigma_x^2} \quad (15)$$

$$\Lambda_y = \frac{\sigma_x^2}{-cov(x, y)^2 + \sigma_y^2\sigma_x^2} \quad (16)$$

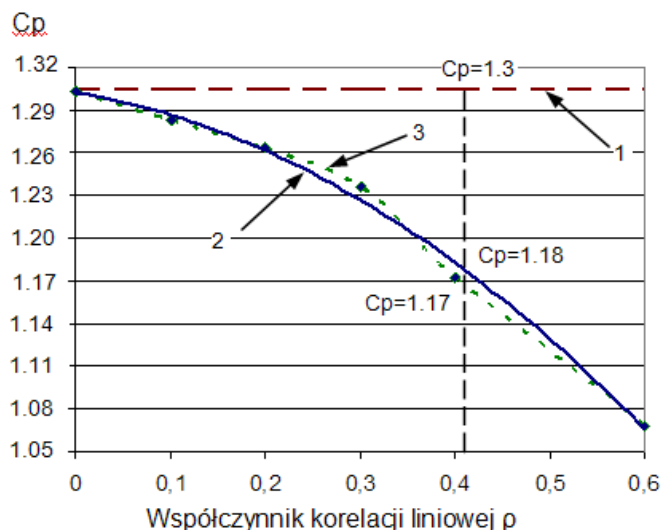
$$\Lambda_{xy} = \frac{-cov(x, y)}{-cov(x, y)^2 + \sigma_y^2\sigma_x^2} \quad (17)$$

Zatem ostateczna postać wskaźnika zdolności procesu Cp , przyjmuje następującą postać:

$$Cp = \frac{0.5T_{\Delta}}{R(\alpha=0.9973)} \quad (18)$$

WERYFIKACJA METOD

W celu zweryfikowania adekwatności przedstawionych metod przeprowadzono symulację procesu montażu, a uzyskane wyniki porównano z wartościami wskaźników uzyskanymi na podstawie zależności (5) i (18) (rys.5).



Rys. 5. Zależność przedstawiająca wpływ współczynnika korelacji liniowej ρ na wartość wskaźnika zdolności procesu C_p (1 – metoda maksymalnego odchylenia standardowego, 2 – wyniki symulacji, 3 – metoda proponowana)

Z przeprowadzonej analizy wynika, że wartość wskaźnika zdolności procesu uzyskana metodą maksymalnego odchylenia standardowego ($C_p = 1.3$) obarczona jest największym błędem. Błąd ten dla wyników pomiarów przedstawionych na rysunku 2 wynosi 12%. Uzyskana na podstawie przedstawionej w pracy metody wartość wskaźnika ($C_p = 1.17$) nieznacznie odbiega od wartości uzyskanej w drodze symulacji ($C_p = 1.18$). Wartość błędu wynosi w tym przypadku 1%. Analiza rysunku 5 potwierdza również fakt, że metoda uproszczona może być stosowana jedynie wówczas, gdy istnieje pewność, że między analizowanymi zmiennymi nie występuje zależność stochastyczna, gdyż w miarę zwiększania się wartości współczynnika korelacji liniowej ρ gwałtownie zwiększa się różnica między wartością wskaźnika C_p wyznaczoną na jej podstawie a wartością uzyskaną w drodze symulacji.

PODSUMOWANIE

Istniejące obecnie standardy zarządzania jakością wymagają od przedsiębiorstw nieustannego doskonalenia jakości realizowanych procesów. Nieodzownym elementem sterowania i doskonalenia jakości procesów są wskaźniki zdolności procesów. Z uwagi na złożoność procesu montażu, wymagającego dokonywania analizy w płaszczyźnie prostopadłej do osi kojarzonych części, większość przedsiębiorstw wykorzystuje do wyznaczania zdolności procesu metody uproszczone, co może prowadzić do powstawania niezgodności w przebiegu procesów i generowania dodatkowych kosztów związanych z przestojem linii montażowej. Przedstawiona w pracy metoda wyznaczania zdolności procesu uwzględnia możliwość wystąpienia zależności stochastycznej między wektorami błędów, będącej główną przyczyną niedokładności metod uproszczonych. Przeprowadzone badania symulacyjne wykazały ponadto, że

w zależności od wartości parametrów zmiennych losowych i wartości kowariancji między składowymi wektora błędu względnego przemieszczenia osi łączonych części, uzyskana za pomocą metod uproszczonych wartość wskaźnika zdolności może być zawyżona nawet o 25% w stosunku do wartości wskaźnika C_p uzyskaną na podstawie zaproponowanej metody, zweryfikowanej badaniami symulacyjnymi.

LITERATURA

1. Grau D.: New process capability indices for one-sided tolerances, *Quality Technology Quantitative Management*, vol.6, 2009, nr 2, s. 107-124.
2. Greber T., Badanie zdolności procesów – niebezpieczne wskaźniki, *Zarządzanie Jakością*, 2005, nr 1, s. 43-51.
3. Jessenberger J. Wehs C.: A note on a multivariate analogue of the process capability index C_p , *Quality Technology Quantitative Management*, vol.5, 2009, nr 2.
4. Kluz R., Montowalność czopowo – tulejowych połączeń realizowanych przez roboty montażowe, *Technologia i Automatyzacja Montażu*, 2007, nr 2, s. 17–20
5. Kotulski Z., Szczepiński W., *Rachunek kosztów dla inżynierów*, Warszawa, WNT 2004.
6. Łunarski J.: *Zarządzanie jakością: standardy I zasady*, WNT, Warszawa 2008.
7. Tresa D., Automation of casting, *Archives of Foundry*, 2006, vol. 6, nr 18, s. 513-514
8. Zahid A., Sultana A.: Assessment and comparison of multivariate process capability indices in ceramic industry, *Journal of Mechanical Engineering*, vol. ME39, 2008, nr 1, s.18-25.

DETERMINING A PROCESS CAPACITY FOR ASSEMBLY PROCES OF PARTS PIN-SLEEVE TYPE

Abstract. The article presents the assurance problems of the required capacity of machine cylindrical parts assembly process, which is realized on the robotized assembly position. In the article the most popular methods for fixing the capacity process coefficient C_p are presented. On this base the own methods of fixing this index are proposed. In the last part of the article the values of capacity process coefficient C_p are compared with computer simulation results.

S.A. WASILIEW
W.F. GROMOW
A.A. ŁARIN
W.I. REZNICZENKO

Techniczny Uniwersytet Narodowy MAI
Moskwa, Rosja

WSPÓŁCZESNE METODY KONTROLI WYROBÓW Z KOMPOZYTÓW ZA POMOCĄ TOMOGRAFII

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОМОГРАФИИ

Широкое внедрение в производство изделий машиностроения, в частности, самолетостроения, судостроения и автомобилестроения новых современных композиционных материалов (КМ) взамен легких сплавов и сталей, свойства которых находятся на предельном уровне, обусловлено не только высокими физико-механическими свойствами КМ, меньшей массой деталей из КМ по сравнению с деталями из алюминиевых, титановых и стальных сплавов, но и возможностью конструктора конструировать материал под заранее заданные свойства для агрегатов изделий, работающих в сложных условиях.

В отличие от металлов, поступающих в производство с известными физико-механическими свойствами, композиционный материал только приобретает эти свойства по окончании производства изделия, то есть композиционный материал как конструкционный материал возникает не в начале, а в конце технологического процесса изготовления изделия. Поэтому первоочередной задачей является определение и контроль физико-механических, теплофизических и иных свойств полученного композита на соответствие расчетным значениям.

С другой стороны, на качество композиционного оказывают влияние многие технологические и конструктивные факторы. Сочетание этих факторов, а также ошибки объективного и субъективного характера – всё это приводит к появлению в изделии из композиционных материалов неблагоприятных эффектов. Эти отрицательные эффекты проявляются в появлении локальных внутренних макродефектов – раковин, расслоений, непрочных мест – место и вероятность появления которых в изделии из композиционного материала носит случайный характер. Однако вероятность их появления в изделиях из композитов велика, а для деталей ответственного назначения появление таких дефектов недопустимо.

Для выявления дефектов в изделии из композиционных материалов проводят операцию дефектоскопии. Однако отсутствие дефектов и соответствие физико-механических свойств КМ являются необходимыми, но недостаточными условиями прочности готовых изделий, поскольку на прочность влияют и другие факторы – конструктивные и эксплуатационные.

Одним из актуальных вопросов применения в современных конструкциях изделий машиностроения новых композиционных материалов, обеспечивающих высокие эксплуатационные характеристики изделий, качество и надежность, является применение современных методов неразрушающего контроля агрегатов.

В соответствии с ГОСТ 18353 -73 приняты следующие виды неразрушающего контроля: акустический, магнитный, оптический, радиационный, тепловой, ультразвуковой, импедансный и др. [1, 2, 3].

Использование акустических, импедансных, ультразвуковых методов не позволяет четко определить дефект при сложных пакетах и больших толщинах, а современные конструкции именно и отличаются наличием таких деталей, в состав которых входят разные слои из углепластика, органопластика, стеклопластика, сот и пенопластов, обладающих разной проницаемостью, плотностью и другими физико-механическими характеристиками. Кроме того, существующие методы неразрушающего контроля фактически не позволяют произвести контроль качество прочности клеевых соединений. Целью работы была разработка методов и средств контроля изделий из композиционных материалов с применением томографа.

Внедрение в промышленность методов томографии позволяет произвести количественный неразрушающий контроль качества внутренней пространственной структуры широкого спектра ответственных авиационных и авиадвигательных узлов и деталей из композиционных материалов, многослойных конструкций, клеевых соединений, сотовых конструкций, теплозащиты, лопастей вертолетов, лопаток турбин и вентиляторов, сварных и паяных соединений и др. То есть практически на всех этапах жизненного цикла изделия, начиная от входного контроля материалов, отработки техпроцесса, мониторинга серийной технологической дисциплины до диагностики в процессе испытаний, эксплуатации и ремонта.

Принцип работы томографа основан на реконструкции и визуализации внутренней структуры сечений (томограмм) объекта контроля (ОК) в результате совместной вычислительной обработки теневых проекций, полученных при просвечивании ОК ионизирующим излучением в различных направлениях. [4].

Была разработана методика проведения контроля отсека крыла из углепластика с помощью томографа. Рентгеновская реконструктивная вычислительная томография – высокоэффективный метод радиационного неразрушающего контроля, сочетающего физические и информационные достоинства традиционного рентгеновского просвечивания с достижениями вычислительной математики и цифровой техники в решении задач интроскопии.

Существо рентгеновской реконструктивной вычислительной томографии сводится к реконструкции детальных характеристик внутренней пространственной структуры объекта контроля в результате совместной математической обработки теневых проекций, полученных при рентгеновском просвечивании объекта контроля в различных направлениях.

По чувствительности контроля рентгеновская реконструктивная вычислительная томография на два порядка превышает традиционные технические средства радиационного неразрушающего контроля. Цифровое представление результатов рентгеновского томографического контроля выгодно дополняет привычную форму отображения исследуемых структур в виде яркостных или цветных изображений. Бесконтактность исследования и длительное запоминание цифровой информации об объемной структуре объекта контроля создают качественно новые возможности использования результатов томографического контроля на протяжении всей «жизни» объекта контроля: непосредственно в процессе изготовления, при хранении, эксплуатации, ремонте, испытаниях.

Технические характеристики рентгеновского вычислительного томографа

BT-1500XA соответствуют следующим показателям:

Максимальный диаметр объекта контроля, мм	1500
Максимальный вес объекта контроля, кг	500
Диаметр рабочего поля томограммы, мм	1500..100
Эффективная толщина контролируемого слоя, мм	5..0,5
Погрешность измерения размеров внутренних структурных элементов, мм	0,1
Чувствительность к произвольно ориентированным трещинам, мм	0,1
Максимальное напряжение рентгеновской трубки, кВ	450
Время сканирования и реконструкции томограммы на поле 600мм, мин	10
Среднеквадратичная погрешность измерения отклонения плотности, %	0,5
Возможность реконструкции томограмм в темпе сканирования	имеется

Возможность сканирования и реконструкции локальных зон объекта	имеется
Режим цифровой рентгенографии с рабочим полем до 600 x 800 мм	имеется
Режим многослойного сканирования и 3D реконструкции	имеется
Возможность документирования изображений томограмм и оцифрованных графиков сечений на бумажном носителе	имеется

Томограмма многолонжеронного крыла из углепластика представлена на рис. 1

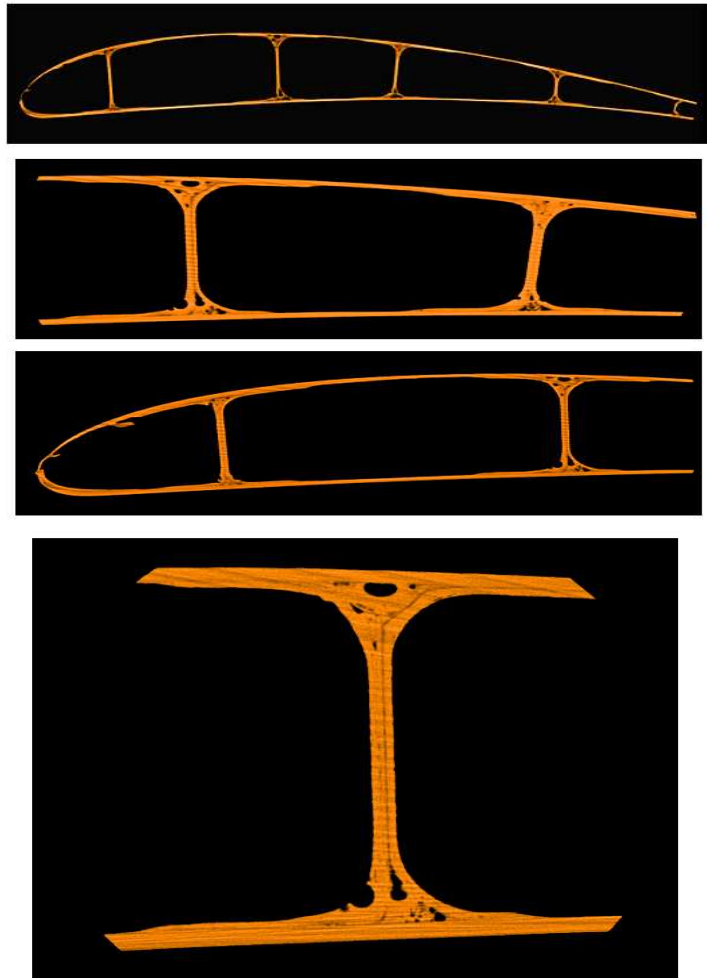


Рис.1.
Rys. 1.

Из рисунка видно, что в местах стыка стенок лонжерона с обшивкой имеется непрочность, которые свидетельствуют о недостаточном давлении в этих местах и других недостатках технологического процесса.

ВЫВОДЫ

На основании результатов контроля с помощью томографа, используя результаты томограмм, можно дать рекомендации по выбору параметров техпроцесса и изменению конструкции оснастки. Томограмма позволяет не только показать структуру КМ внутри изделия, но и косвенно оценить прочность сцепления по толщине клеевого слоя, цвету пленки – прослойки связующего и другим параметрам. Использование томографа позволяет на этапе опытного производства правильно выбрать параметры технологического процесса, отработать режимы прессования и конструктивные элементы изделия. Практически на современном этапе нет более совершенного метода, который позволял бы в 3D просмотреть внутреннюю структуру изделия, количественно измерить дефекты и дать конкретные рекомендации по ремонту или отбраковке изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Резниченко В.И. Изготовление лопастей вертолетов из неметаллических материалов. М.: МАИ, 1977.
2. Резниченко В.И., Хомич В.И. Применение композиционных материалов в энергетике, электротехнике, электронике. Центральный Российский Дом Знаний.-М.,1992.
3. Попов Ю.И., Резниченко В.И. Проектирование и изготовление узлов и деталей планера самолета из композиционных материалов. М.: МАИ, 1994.
4. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Практ. пособие под ред. проф. Сухорукова В.В.
5. М.: Высш. шк., 1992.

WSPÓŁCZESNE METODY KONTROLI WYROBÓW Z KOMPOZYTÓW ZA POMOCĄ TOMOGRAFII

Streszczenie. W pracy przedstawiono problemy kontroli wyrobów z materiałów kompozytowych przy zastosowaniu rentgenowskiej, obliczeniowej tomografii umożliwiającej uwidocznienie struktury wewnętrznej kompozytu. Pozwala to pośrednio ocenić właściwości wytrzymałościowe i wady klejenia. Zastosowanie takiej tomografii na etapie przygotowania prototypu umożliwia właściwy dobór parametrów technologicznych i dopracowanie technologiczności konstrukcji oraz uwidocznienie budowy wewnętrznej i ewentualnych wad. Pozwala to na poprawienie konstrukcji i cech wyrobu.

III
PROBLEMY MONTAŻU POŁĄCZEŃ WCISKANYCH
ZE WSPOMAGANIEM TERMICZNYM

Ivan OBORSKI

Uniwersytet Technologii i Projektowania

Kijów, Ukraina

**ZAPEWNIENIE JAKOŚCI POŁĄCZEŃ WCISKANYCH Z PODGRZEWANIEM
Z POWIERZCHNIAMI O REGULARNYM MIKRORELIEFIE**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ,
ФОРМИРУЕМЫХ КТСС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА
В ЗОНЕ КОНТАКТА ДЕТАЛЕЙ**

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных проблем машиностроения на современном этапе является повышение эксплуатационной надежности различных изделий, которая в значительной степени определяется прочностью соединений с натягом [1, 2]. Широкое применение для сборки таких соединений получили технологические способы формирования с использованием термических способов с нагреванием или охлаждением сопрягаемых деталей, с использованием относительно больших сборочных натягов и регулярного микрорельефа в зоне контакта. Однако, термическая сборка выполняется зачастую при достаточно высоких температурах нагревания или глубокого охлаждения сопрягаемых деталей, что делает ее достаточно энергоемким технологическим процессом и продолжительным по времени. Поэтому необходимо изыскание путей, обеспечивающих снижение энергозатрат, например, за счет применения регулярного микрорельефа, обеспечивающего повышенную прочность посадок и возможность снижения величины сборочного натяга, снижение уровней нагрева и охлаждения сопрягаемых деталей перед сборкой. Это позволит сократить продолжительность цикла сборки, тепловые потери, уменьшить время нагрева и охлаждения сопрягаемых деталей. Эти преимущества позволяют эффективно использовать этот технологический процесс в массовом производстве.

Одним из возможных путей повышения эффективности термической сборки является использование рационального направления подвода тепла и холода, а также выбора рациональных температур нагрева и охлаждения при неравномерном термовоздействии на сопрягаемые детали. К сожалению исследования в этой области носили ограниченный характер, что не позволило разработать научные подходы для решения проблемы и предложить рекомендации по рациональному выбору температуры нагрева и низкотемпературного охлаждения сопрягаемых деталей, величины сборочного натяга, параметров микрорельефа и его топологии на сопрягаемой поверхности охватываемой детали. В ряде специфичных случаев известные технологические решения не позволяют качественно собрать соединения с натягом и полностью реализовать их запас прочности. При этом изделия имеют повышенное напряженно-деформированное состояние, что снижает их эксплуатационную прочность.

Таким образом, решение этой проблемы требует применения новых подходов к обеспечению прочности соединений деталей с натягом и условий их реализации.

В связи с этим значительный научный и практический интерес представляет перспектива использования специальных видов регулярного микрорельефа в зоне контакта деталей для качественной сборки соединений с относительно большими натягами, одновременного и параллельно выполняемого пониженного нагрева и низкотемпературного охлаждения сопрягаемых деталей – комбинированного термического способа сборки (КТСС).

При этом повышается качество посадок, представляется возможность исключить ухудшение физико-механических свойств материалов, снизить величину сборочного натяга, напряженно-деформированное состояние деталей, тепловые, энергетические и временные потери. Также КТСС позволит увеличить термический сборочный зазор, что даст возможность упростить соединение деталей в процессе их ориентирования и взаимного совмещения, сохранить исходные параметры микрорельефа на сопрягаемых поверхностях, повысить плотность и площадь зоны контакта, а также прочность посадок с натягом.

Однако, для принятия решения об использовании прогрессивной технологии необходимо создать технологические основы обеспечения КТСС и научно обосновать при этом гипотезу о повышении качества соединений с натягом деталей из материалов с различными физико – механическими характеристиками и конструктивными параметрами, производительности процесса, снижении затрат времени и энергоносителей. При этом, для определения технологических возможностей реализации КТСС и режимов необходимо проведение комплексных исследований по выбору: рациональных параметров специфичной топологии регулярного микрорельефа на сопрягаемых поверхностях охлажденных охватываемых деталей и применением промежуточных прослоек. Это позволит увеличить номенклатуру изделий с высокими показателями качества, а также расширить применение средств автоматизации за счет использования достаточно простых по конструкции сборочных устройств.

Таким образом, решение проблемы повышения эксплуатационной надежности машиностроительной продукции за счет разработки и внедрения технологических основ обеспечения сборки ответственных соединений с натягом комбинированным термическим способом является актуальным для машиностроения. Ниже представлены отдельные аспекты проведенных исследований в этой области сборки. В качестве примера приводится разработанный автором графо-аналитический метод выбора рациональных параметров микрорельефа на сопрягаемой поверхности вала.

ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОРЕЛЬЕФА

На основании выполненного комплекса исследований процессов сборки соединений с натягом термическими способами установлено, что при формировании зоны контакта таких посадок происходят специфичные процессы, связанные с внедрением микрорельефа сопрягаемой поверхности охлажденной охватываемой детали в тело нагретой охватывающей. При этом на характер происходящих процессов влияет комплекс взаимосвязанных технологических и конструктивных параметров: физико-механические свойства материалов сопрягаемых деталей и поверхностного слоя в зоне контакта; величина контактного давления; технология подготовки сопрягаемых поверхностей деталей; параметры микрорельефа (высота, возможная глубина его внедрения, углы профиля при вершине и наклона его сторон к оси соединения, вид его топологии – пирамидальный или кольцевой, площадь нанесения); величины температур начального контакта нагретой охватывающей детали и охлажденной до низких температур охватываемой.

В результате выполненных исследований разработаны конструкция и способы сборки соединений с натягом с регулярным равносторонним и треугольным упорным микрорельефом [2].

Установлено, что при заданных свойствах материалов сопрягаемых деталей, их конструктивных параметров, величины контактного давления необходимым условием является выбор совокупности параметров регулярного микрорельефа (высоты R_v , угла профиля при вершине α , углов наклона его сторон к основанию β_y и β_n). Следует отметить, что важным параметром является величина возможного внедрения микрорельефа, с учетом которого следует выбирать его оптимальную высоту. Для решения задачи повышения прочности и снижения трудоемкости подготовки производства инженерно-техническим составом автором предлагаются соответствующие расчетные зависимости и номограммы.

Необходимые значения технологических параметров, обеспечивающих прочность соединений с натягом, формируемых КТСС, представляется возможным рассчитать по разработанным аналитическим зависимостям [1, 2] или номограмме, состоящей с трех частей (рис. 1 - 3).

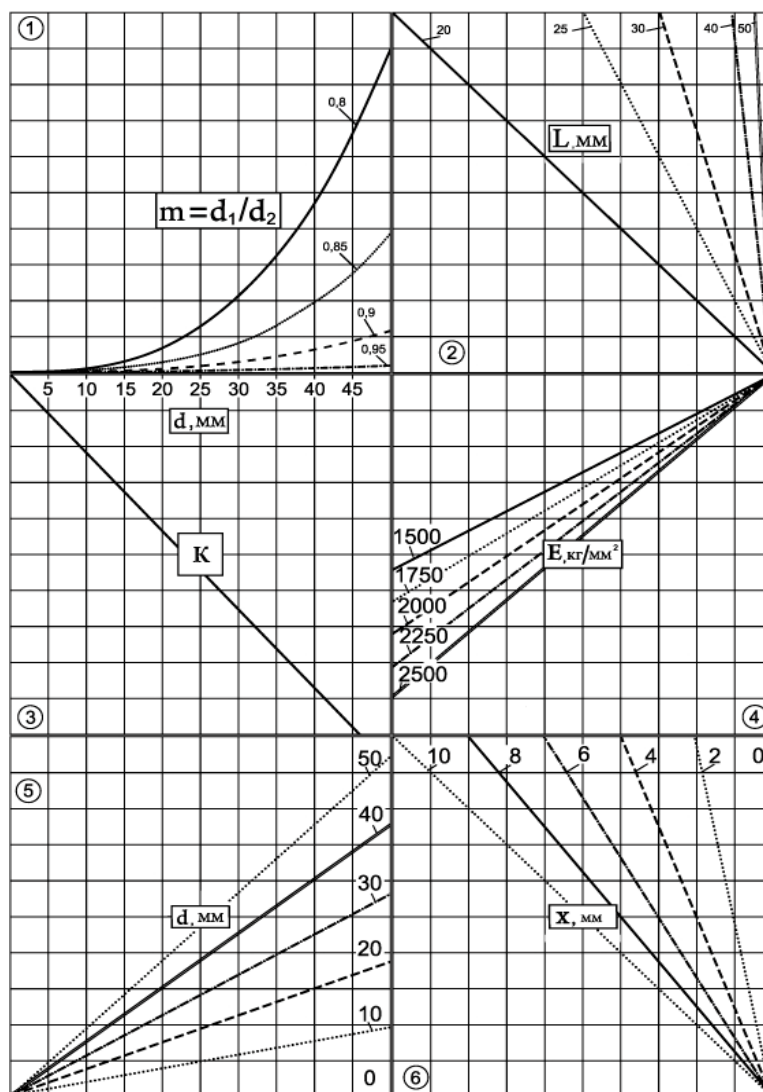


Рис. 1. Определение промежуточных параметров технологии подготовки сопрягаемых поверхностей охватываемых деталей для обеспечения заданной повышенной прочности соединений с натягом при КТСС

Rys. 1. Wyznaczanie pośrednich parametrów technologii przygotowania powierzchni części obejmujących dla zapewnienia wytrzymałości połączenia wciskanego z podgrzewaniem

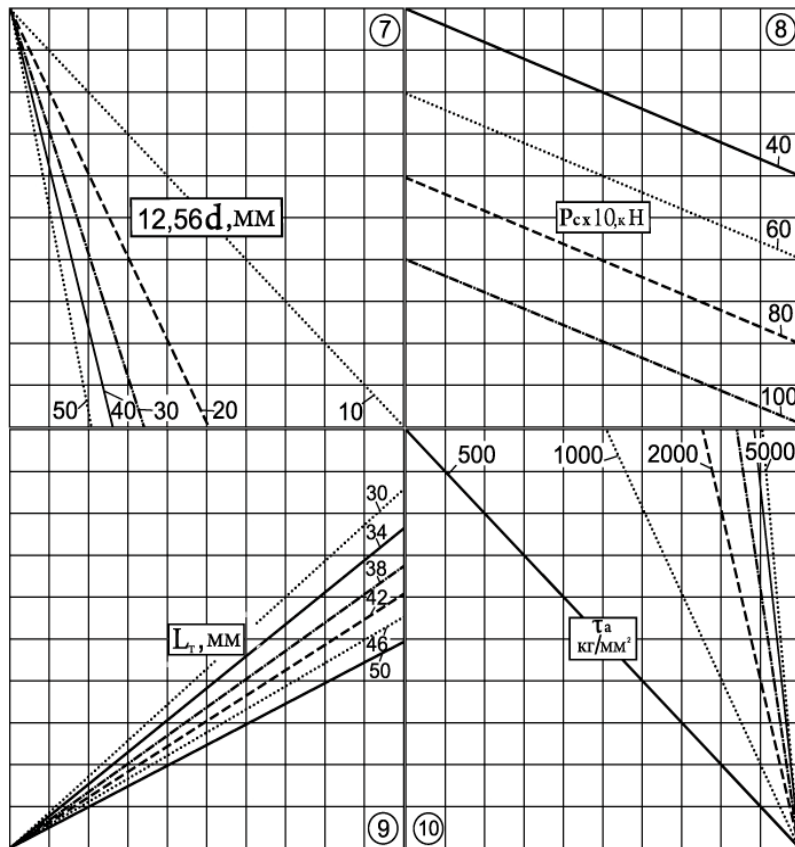


Рис. 2. Определение промежуточных параметров технологии подготовки сопрягаемых поверхностей охватываемых деталей для обеспечения заданной повышенной прочности соединений с натягом при КТСС

Rys. 2. Wyznaczanie pośrednich parametrów technologii przygotowania powierzchni części obejmowanych celem zapewnienia wytrzymałości połączenia wciskanego z podgrzewaniem

Зная конструктивные параметры соединения и деталей (диаметр посадки d , отношение наружного диаметра d_2 охватывающей детали и внутреннего диаметра d_1 охватываемой, длину посадки L , модуль упругости для материалов деталей, длину нанесения регулярного микрорельефа на поверхность охватываемой детали X , заданную прочность соединения P_c , напряжения среза T_a при сдвиге для материала охватывающей детали можно найти параметры регулярного микрорельефа (шаг нанесения S , угол при вершине и наклона стороны к его основанию, высоту R_v). Решение задачи необходимо проводить по номограммам 1–3 в направлении от точки 1 (диаметр посадки d) к точке 16 (высота микрорельефа R_v).

Для расчета параметров, обеспечивающих прочность соединений с натягом, и выбора рациональной технологии их формирования разработан алгоритм и программа для персонального компьютера. Об эффективности применения методики неоднократно автор докладывал на международных конференциях [1 – 5].

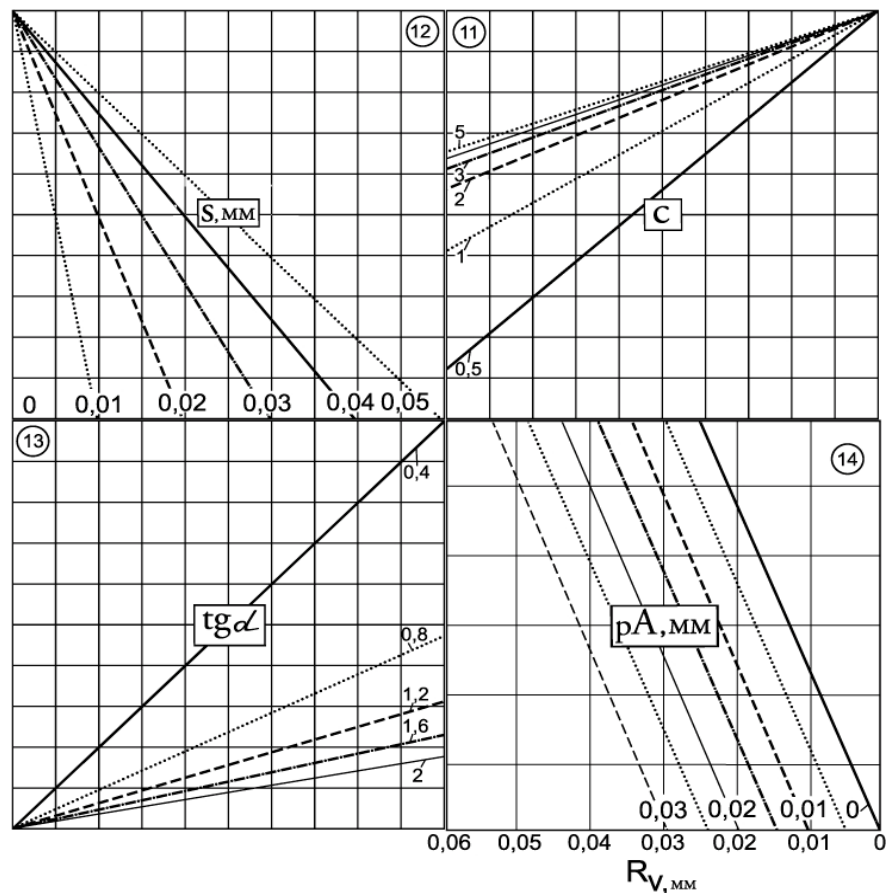


Рис. 3. Определение параметров технологии подготовки сопрягаемых поверхностей охватываемых деталей для обеспечения заданной повышенной прочности соединений с натягом при КТСС

Rys. 3. Wyznaczanie pośrednich parametrów technologii przygotowania powierzchni części obejmowanych celem zapewnienia wytrzymałości połączenia wciskanego z podgrzewaniem

ВЫВОДЫ

Обоснована возможность повышения прочностных характеристик соединений с натягом и снижения напряженно-деформированного состояния за счет специфики временного формирования зоны контакта и изменения механических свойств материалов при КТСС, что позволило создать методологию определения оптимальных параметров регулярного микрорельефа и топологии его нанесения на сопрягаемые поверхности охватываемых деталей: использование микрорельефа обеспечивает увеличение фактической площади контакта и прочности соединений с натягом с учетом условий эксплуатационного их нагружения, что позволит уменьшить контактное давление и напряженное состояние; установлено, что высота микрорельефа на сопрягаемой поверхности

охватываемой детали для конструкционных углеродистых сталей должна быть не более 0,5N, а угол наклона стороны, воспринимающей рабочую нагрузку, равным арккотангенсу от коэффициента трения поверхности контакта его профиля с охватываемой деталью при заданных иных сборочных параметрах; топология микрорельефа на поверхности сопряжения тонкостенных деталей должна задаваться с учетом закона распределения контактного давления, обеспечивать возможность направленного формирования зоны контакта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оборський І.Л., Зенкін А.С., Шалай В.О. Розробка конструкції та технології збірки складеного колеса електровагона. //Techniczno - ekonomiczne uwarunkowania rozwoju przedsiębiorczości. Zbiór prac 11 Polsko – Ukrainskiej Konferencji Naukowej/ Pod redakcją Czesława Nizankowskiego. – Krakow, 2005. – S. 201 – 208.
2. Оборський І.Л., Шалай В.А., Зенкін А.С. Обеспечение качества соединений с натягом, формируемых термическими методами. "Качество, стандартизация, контроль: теория и практика." Сб.: Материалы 8-й международной научно-практической конференции, 23 – 26 сентября 2008 г., г. Ялта: – Киев: АТМ Украины, 2008. – С.101-105
3. Оборський І. Л. Технологічні основи збірки з'єдинень з натягом термічними способами з використанням регулярного микрорельєфа в зоні контакту. – // "Modulowe technologie i konstrukcje w budowie maszyn MTK'2009. – Rzeszow-Regietow (Польща). – С. 229 – 234.
4. Оборський І. Л., Зенкін А.С. Применение специальной топологии микрорельефа при сборке соединений с натягом термическими способами. – Збірник тез конференції "Modulowe technologie i konstrukcje w budowie maszyn MTK'2009. –Rzeszow-Regietow (Польща). – С. 235 – 242.
5. Оборський І.Л. Выбор температуры термовоздействия на сопрягаемые детали для обеспечения качественной сборки соединений с натягом. "Качество, стандартизация, контроль: теория и практика." Сб.: Материалы 9-й международной научно-практической конференции, 21 – 25 сентября 2009 г., г. Ялта: – Киев: АТМ Украины, 2008. – С.101-105.

QUALITY ASSURANCE OF FORCED-IN JOINTS WITH PREHEATING AND WITH IRREGULAR MICRO-RELIEF ON SURFACES

Streszczenie. W pracy przedstawiono uogólnione wyniki badań technologii wykonywania połączeń wciskanych z podgrzewaną częścią obejmującą i z wykonanym na niej regularnym mikroreliefem oraz ze schłodzoną częścią obejmowaną. Wyniki przedstawiono w postaci uogólnionych nomogramów, umożliwiających dobór parametrów technologicznych w zależności od badanych, zmiennych parametrów procesu.

Ivan OBORSKI

Artiem OBORSKI

Anatolij ZENKIN

Uniwersytet Technologii i Projektowania

Kijów, Ukraina

WYBÓR ENERGOOSZCZĘDNEJ TECHNOLOGII MONTAŻU POŁĄCZEŃ WCISKANYCH Z PODGRZEWANIEM

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМОЙ ТЕРМИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее актуальных научно-технических проблем технологии машиностроения является создание соединений с натягом с повышенными эксплуатационными показателями и с минимальными энергозатратами. Успешное решение задачи энергосбережения требует учета множества входных факторов, взаимосвязанных во времени и пространстве. К основным факторам можно отнести механические и теплофизические свойства материалов сопрягаемых деталей, их конструктивные размеры и геометрию формы, технологические условия термовоздействия на детали, заданное значение временного сборочного зазора для реализации технологии. В частности, при сборке соединений с натягом КТСС, то есть с использованием нагрева и низкотемпературного охлаждения сопрягаемых деталей, необходимо определить рациональные температуры, их перепад между сопрягаемыми деталями, величину необходимого временно образованного зазора при взаимном соединении деталей. Использование такого подхода к выбору методологии определения сборочных параметров позволит производителям при минимальных затратах создавать современные изделия с соединениями с натягом.

НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ТЕОРИИ ГАРАНТИРОВАННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ ПРИ НАЛИЧИИ ВРЕМЕННОГО СБОРОЧНОГО ЗАЗОРА

В процессе выполнения операций сборки соединений с натягом происходят потери тепла нагретой охватывающей деталью и холода охлажденной охватываемой деталью. В результате будут происходить изменения диаметра посадки d сопрягаемых деталей от воздействия температуры окружающей среды за время τ_i при выполнении i – й операции сборочного процесса (при транспортировании $\Delta d_{тр}$ деталей, их ориентировании $\Delta d_{ор}$ и взаимном соединении Δd_y с временным зазором, соответственно). Для качественной реализации технологии сборки необходимо обеспечить расчетное значение временного сборочного зазора $S_{сб}$. С учетом этих явлений тепловых потерь зазор $S_{сб}$ должен быть большим на величину $\Delta d_{сб}$, учитывающую потери в течение времени сборки, то есть он должен определяться

$$S_{сб} = S_{мин} + \Delta d_{сб} = \Delta d_a + \Delta d_b = S_{мин} + \Delta d_{тра} + \Delta d_{ора} + \Delta d_{ya} + \Delta d_{трав} + \Delta d_{орв} + \Delta d_{ув}, \quad (1)$$

где $\Delta d_a = \Delta d_{\text{тра}} + \Delta d_{\text{ора}} + \Delta d_{\text{ya}}$; $\Delta d_b = \Delta d_{\text{трв}} + \Delta d_{\text{орв}} + \Delta d_{\text{yb}}$; $\Delta d_{\text{тра}}$, $\Delta d_{\text{ора}}$, Δd_{ya} и $\Delta d_{\text{трв}}$, $\Delta d_{\text{орв}}$, Δd_{yb} – изменения диаметра посадки d сопрягаемых деталей (охватывающей и соответственно охватываемой) от воздействия температуры окружающей среды за время τ транспортирования деталей, их ориентирования и взаимного совмещения (соединения с временным зазором); эти величины могут быть определены косвенно по изменению температуры деталей на промежуточных операциях цикла сборки.

С учетом (1) суммарная величина Δd_{Σ} , включающая расширение отверстия охватывающей втулки при нагреве Δd_a и сжатие вала при охлаждении Δd_b будет определяться

$$\Delta d_{\Sigma} = \Delta d_a + \Delta d_b = S_{\text{сб}} + N_{\text{макс}} = S_{\text{сб}} + N_{\text{расч}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{расч}}$ – максимальное значение расчетного натяга.

Величина термического зазора $S_{\text{сб}}$ при КТСС и наибольший натяг $N_{\text{макс}}$ определяют величину температуры охватывающей и охватываемой деталей как в начальный момент их начала транспортирования на позицию окончательной сборки ($T_{\text{нагр}}$ и $T_{\text{охл}}$ соответственно), так и к моменту их начального совмещения деталей (T_{ay} и T_{by}). В связи с этим очень важно знать как с научной, так и практической точки зрения необходимую величину температуры предварительного нагрева охватывающей детали и низкотемпературного охлаждения охватываемой, которые позволят получить необходимое значение временного сборочного зазора как на момент начала их транспортирования на позицию сборки, так и к моменту их начального совмещения. Между тем, одним из решений снижения тепловых и энергетических затрат может быть выбор такого рационального цикла сборки, при котором представится возможность сохранить то тепло и холод, которые приобретают детали на технологических операциях их предварительного нагрева и охлаждения.

В связи с изложенным выше и на основании проведенных авторами комплексных исследований термических способов формирования посадок с натягом установлено, что для эффективного использования сборки деталей с их охлаждением или нагревом и особенно при их совместном использовании необходимо стремиться сокращать затраты времени на выполнение операций сборочного цикла.

Эти затраты времени $\tau_{\text{сб}}$ при КТСС будут включать: нагрев охватывающей $\tau_{\text{на}}$ и низкотемпературное охлаждение охватываемой $\tau_{\text{ов}}$ деталей; транспортирование этих деталей $\tau_{\text{тра}}$ и $\tau_{\text{трв}}$; их ориентирование $\tau_{\text{ора}}$ и $\tau_{\text{орв}}$; взаимное соединение деталей с временным зазором $\tau_y = \tau_{\text{ya}} = \tau_{\text{yb}}$; выборку зазора до начала контакта $\tau_{\text{нк}} = \tau_{\text{нка}} = \tau_{\text{нкв}}$; внедрение микрорельефа $\tau_{\text{вн}}$ и скрепление $\tau_{\text{скр}}$ соединения с заданным максимальным значением сборочного натяга N .

Исходя из выше изложенного структуру затрат времени на сборку КТСС соединений с натягом при использовании нагрева охватывающей детали можно представить в виде

$$\tau_{\text{сб а}} = \tau_{\text{на}} + \tau_{\text{тра}} + \tau_{\text{ора}} + \tau_y + \tau_{\text{нка}} + \tau_{\text{вн}} + \tau_{\text{скр}}, \quad (3)$$

а охлажденной до низких температур охватываемой

$$\tau_{\text{сб в}} = \tau_{\text{ов}} + \tau_{\text{трв}} + \tau_{\text{орв}} + \tau_y + \tau_{\text{нкв}} + \tau_{\text{вн}} + \tau_{\text{скр}}. \quad (4)$$

Продолжительность $\tau_{\text{сб}}$ цикла сборки будет определяться одним из максимальных значений времени сборки $\tau_{\text{сб}а}$ или $\tau_{\text{сб}в}$ с учетом минимизации тепловых потерь и затрат на нагрев и охлаждение деталей перед их сборкой.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ

На основании выполненных анализа научно-технической литературы, теоретических и экспериментальных исследований ниже будут приведены расчетные зависимости, которые позволят производить расчет затрат на нагрев и охлаждение сопрягаемых деталей при сборке соединений с натягом комбинированным термическим способом сборки, а также производить рациональный выбор технологического цикла сборки.

Затраты Z_H на нагрев охватывающих деталей можно определить по формуле

$$Z_H = \frac{c_a \cdot \Delta d_a}{\eta_3 \cdot \cos \beta \cdot d \cdot \alpha_p} \cdot \rho_a \cdot w_3 \cdot V_a, \quad (5)$$

а затраты Z_O на охлаждение охватываемой детали по формуле

$$Z_O = \frac{c_6 \cdot \Delta d_6}{E_N \cdot d \cdot \alpha_{\text{сж}}} \cdot \rho_6 \cdot w_N \cdot V_6, \quad (6)$$

где Z_H и Z_O – затраты на нагрев охватывающей и низкотемпературное охлаждение охватываемой деталей; d – диаметр посадки; c_a , c_6 – теплоемкость материалов сопрягаемых деталей; ρ_a , ρ_6 – удельная плотность их материалов; V_a и V_6 – объемы охватывающей и охватываемой деталей; α_p , α_6 – коэффициенты линейного расширения и сжатия материалов сопрягаемых деталей; Δd_a и Δd_6 – увеличение посадочного диаметра охватывающей детали при ее нагревании и уменьшение охватываемой при ее низкотемпературном охлаждении, которые необходимы для создания требуемого временного теплового сборочного зазора для качественной реализации сборки соединений с натягом; E_N – скрытая теплота испарения жидкого азота, при погружении детали в ванну; w_3 – себестоимость 1 кВт.час электрической энергии; w_N – себестоимость 1кг массы жидкого азота; η_3 – КПД нагревателя; $\cos \beta$ – коэффициент мощности.

Для выбора рационального технологического процесса КТСС соединений с натягом следует определить коэффициент относительных затрат на нагрев охватывающих деталей и низкотемпературное охлаждение охватываемых. Он может быть определен, как

$$K = \frac{\Delta d_a \cdot w_3 \cdot \alpha_{\text{сж}} \cdot V_a \cdot E_N \cdot \rho_a}{\Delta d_6 \cdot w_N \cdot \alpha_p \cdot V_6 \cdot \eta_3 \cdot \cos \beta \cdot \rho_6} \quad (7)$$

Если коэффициент затрат будет превышать 1, то целесообразно при сборке больше охлаждать охватываемую деталь, а если же он ниже 1, то целесообразно больше нагревать охватывающую деталь.

В случае, когда обе детали изготовлены из одного материала, то коэффициент относительных затрат на нагрев охватывающих деталей и низкотемпературное охлаждение охватываемых будет

$$K = \frac{\Delta d_a \cdot w_a \cdot \alpha_{сж} \cdot V_a \cdot E_N}{\Delta d_g \cdot w_N \cdot \alpha_p \cdot V_g \cdot \eta_a \cdot \cos \beta}, \quad (8)$$

а если обе детали имеют равные объемы, то этот коэффициент будет

$$K = \frac{\Delta d_a \cdot w_a \cdot \alpha_{сж} \cdot E_N}{\Delta d_g \cdot w_N \cdot \alpha_p \cdot \eta_a \cdot \cos \beta} \quad (9)$$

В случае использования для нагрева охватывающих деталей газовых нагревателей коэффициент относительных затрат будет

$$K_z = \frac{\Delta d_a \cdot w_a \cdot \alpha_{сж} \cdot E_N}{\Delta d_g \cdot w_N \cdot \alpha_p \cdot \eta_z}, \quad (10)$$

где η_z – КПД газового нагревателя; w_z – себестоимость газа.

Время неравномерного нагрева охватывающей детали на выбранном, например, индукционном нагревателе будет определяться по зависимости

$$\tau_H = \frac{c_a \cdot V_a \cdot \rho_a \cdot (T_H - T_c)}{W_H \cdot \eta_a \cdot \cos \varphi}, \quad (11)$$

а время неравномерного низкотемпературного охлаждения охватываемой детали по зависимости

$$\tau_o = \frac{V_g \cdot c_g \cdot \rho_g \cdot \ln \frac{\Delta T}{T_{ок} - T_c}}{S_g \cdot a \cdot \rho_g}, \quad (12)$$

где T_H и T_c – температура нагрева охватывающей детали и окружающей среды; W_H – мощность нагревателя; ΔT – температурный перепад между охлаждающей средой и охлаждаемой деталью; $T_{ок}$ – конечная температура охлаждения; a – коэффициент теплообмена.

Коэффициент соотношения увеличения посадочного диаметра охватывающей детали при ее нагревании Δd_a к уменьшению посадочного диаметра охватываемой при ее низкотемпературном охлаждении Δd_g будет определяться

$$k \Delta d = \frac{\alpha_p \eta_a \cos \beta \rho_a c_a}{kV \cdot k w \cdot \alpha_{сж} \cdot E \cdot \rho_g c_g} \quad (13)$$

Ниже приведены графики (рис.1 – 3) для определения величины коэффициента соотношения увеличения посадочного диаметра охватывающей детали при ее нагревании Δd_a к уменьшению посадочного диаметра охватываемой при ее низкотемпературном охлаждении Δd_g для сборки соединений с натягом охватываемой детали и охватывающей, изготавливаемых из материалов сталь-сталь, сталь-бронза и бронза-сталь.

С учетом (2) определив по соответствующему графику величину коэффициента соотношения необходимое уменьшение посадочного диаметра охватываемой при ее низкотемпературном охлаждении Δd_g будет определяться

$$\Delta d_b = \frac{S_{сб} + N_{\max}}{1 + k \Delta d}. \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
 kV_{av} &:= 0.1, 0.15.. 2 & k_{weN} &:= 0.1, 0.15.. 1 & \alpha_p &:= 0.0000119 & \alpha_z &:= 0.00001 \\
 EN &:= 43 & \eta_e &:= 0.9 & \cos \beta_e &:= 0.6 & c_v &:= 0.334 & \rho_a &:= 7800 & \rho_v &:= 7800 & & \text{stal} \\
 & & & & & & c_a &:= 0.334 & & & & & \text{stal}
 \end{aligned}$$

$$k\Delta d(kV_{av}, k_{weN}) := \frac{\alpha_p \cdot \eta_e \cdot \cos \beta_e \cdot \rho_a \cdot c_a}{kV_{av} \cdot k_{weN} \cdot \alpha_z \cdot EN \cdot \rho_v \cdot c_v}$$

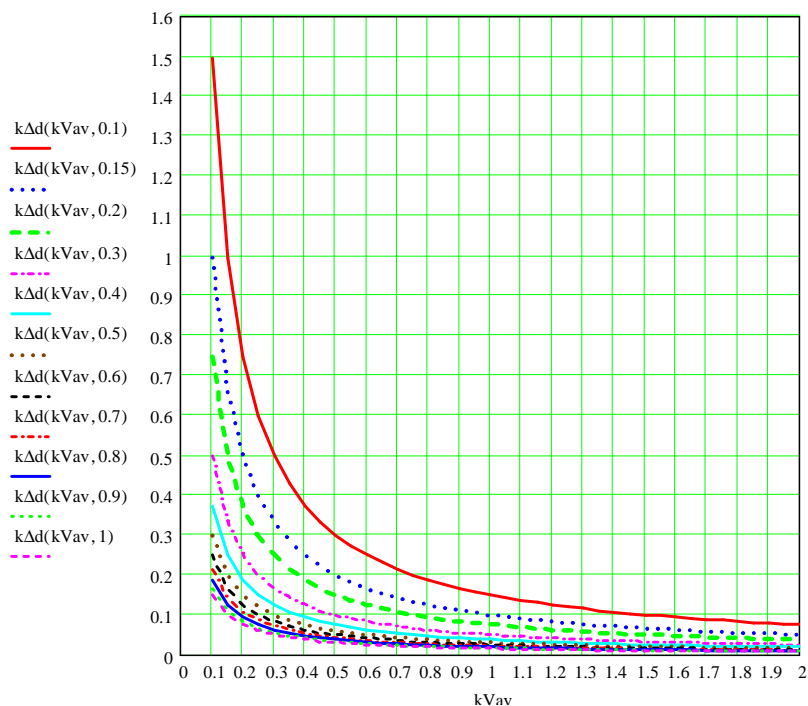


Рис. 1. Зависимость соотношения изменений диаметра посадки охватывающей детали при нагревании и охватываемой при ее охлаждении (детали изготовлены из конструкционной углеродистой стали) от отношения их объемов и себестоимости затрат на нагрев и охлаждение деталей

Rys. 1. Zależność stosunku zmian średnicy pasowania części obejmującej przy nagrzewaniu i obejmowanej przy jej chłodzeniu od stosunku ich objętości oraz kosztów nagrzewania i chłodzenia (konstrukcyjna stal węglowa)

Увеличение посадочного диаметра охватывающей детали при ее нагревании Δd_a будет определяться

$$\Delta d_a = S_{c\sigma} - \Delta d_b. \quad (15)$$

UWAGA: KTCC – sposób montażu z podgrzewaniem

$$\begin{aligned}
 kV_{av} &:= 0.1, 0.15.. 2 & kweN &:= 0.1, 0.15.. 1 & \alpha_p &:= 0.0000119 & \alpha_z &:= 0.000016 \\
 EN &:= 43 & \eta_e &:= 0.9 & \cos \beta_e &:= 0.6 & cv &:= 0.334 & \rho_a &:= 7800 & \rho_v &:= 8880 & & \text{stal} \\
 & & & & & & ca &:= 0.460 & & & & & \text{bronza}
 \end{aligned}$$

$$k\Delta d(kV_{av}, kweN) := \frac{\alpha_p \cdot \eta_e \cdot \cos \beta_e \cdot \rho_a \cdot ca}{kV_{av} \cdot kweN \cdot \alpha_z \cdot EN \cdot \rho_v \cdot cv}$$

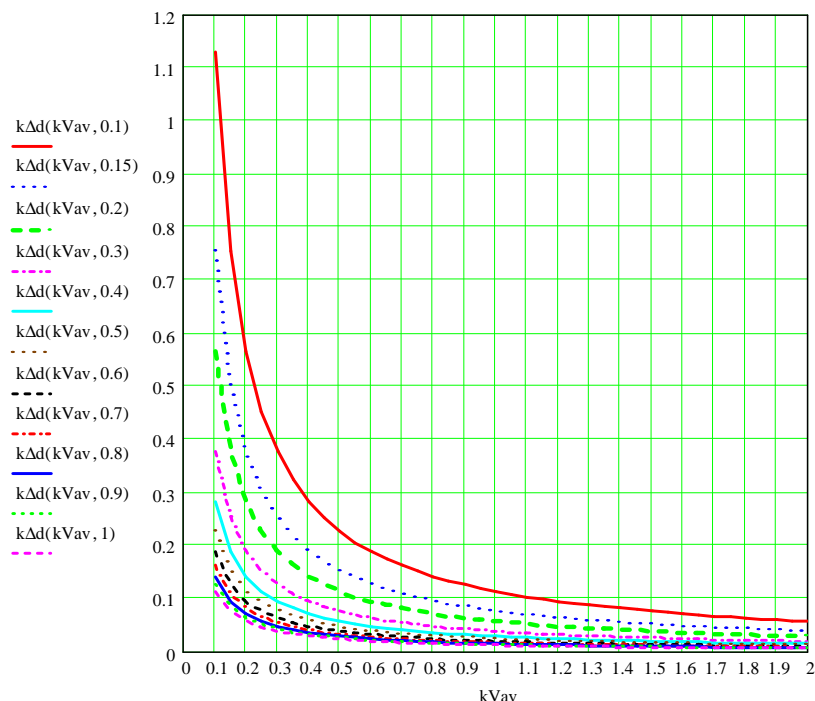


Рис. 2. Зависимость соотношения изменений диаметра посадки охватывающей детали (материал – конструкционная углеродистая сталь) при нагревании и охватываемой (материал – бронза) при ее охлаждении от отношения их объемов и себестоимости затрат на нагрев и охлаждение деталей

Rys. 2. Zależność stosunku zmian średnicy pasowania części obejmowanej przy jej nagrzewaniu i części obejmującej (z brązu) przy chłodzeniu od stosunku ich objętości oraz kosztów energetycznych chłodzenia i nagrzewania (materiał – brąz)

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что использование зависимостей (3), (5) – (10) позволяет с достаточной для технологии машиностроения точностью производить с учетом сокращения энергетических затрат выбор оптимальных параметров технологии сборки соединений с натягом комбинированным термическим способом сборки.

Для практического применения исследований разработаны специальные номограммы для определения рационального энергосберегающего технологического процесса, выбора временных параметров и комплекса технологических параметров.

$$kVav := 0.1, 0.15.. 2 \quad kweN := 0.1, 0.15.. 1 \quad \alpha z := 0.00001 \quad \alpha p := 0.000016$$

$$EN := 43 \quad \eta e := 0.9 \quad \cos \beta e := 0.6 \quad ca := 0.334 \quad \rho v := 7800 \quad \rho a := 8880 \quad \text{bronza}$$

$$cv := 0.460 \quad \text{stal}$$

$$k\Delta d(kVav, kweN) := \frac{\alpha p \cdot \eta e \cdot \cos \beta e \cdot \rho a \cdot ca}{kVav \cdot kweN \cdot \alpha z \cdot EN \cdot \rho v \cdot cv}$$

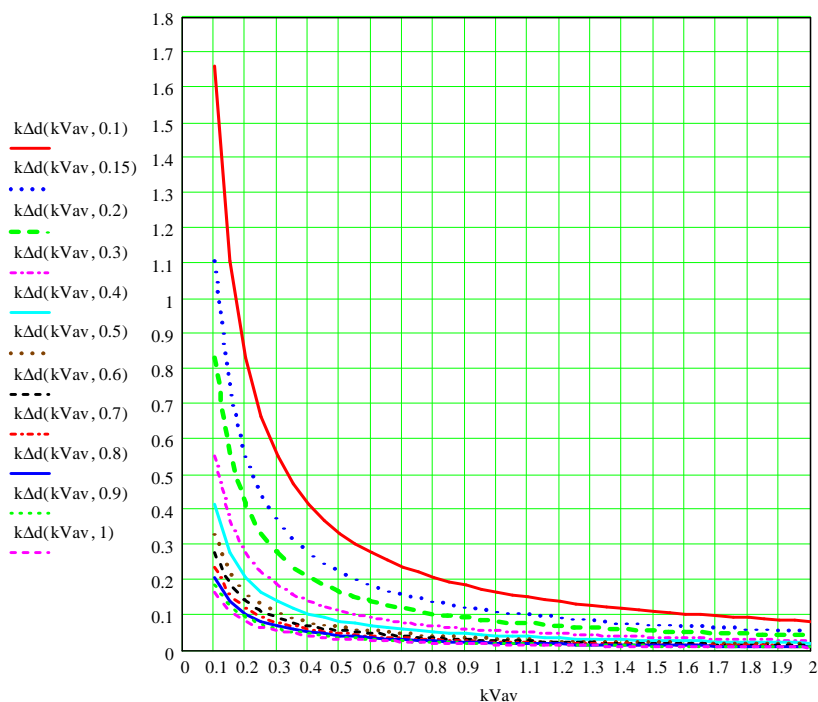


Рис. 3. Зависимость соотношения изменения диаметра посадки охватывающей детали (материал – бронза) при нагревании и охватываемой (материал – конструкционная углеродистая сталь) при ее охлаждении от отношения их объемов и себестоимости затрат на нагрев и охлаждение деталей

Rys. 3. Zależność stosunku zmian pasowania średnicy części obejmującej (brąz) przy nagrzewaniu i części obejmowanej (stal) przy jej chłodzeniu od stosunku ich objętości oraz kosztów energetycznych

ЛИТЕРАТУРА

1. Оборський І.Л., Зенкін А.С., Шалай В.О. Розробка конструкції та технології збірки складеного колеса електровагона. //Techniczno - ekonomiczne uwarunkowania rozwoju przedsiębiorczości. Zbiór prac 11 Polsko – Ukrainskiej Konferencji Naukowe/ Pod redakcja Czesława Nizankowskiego. – Krakow, 2005. – S. 201 – 208.
2. Оборский И. Л. Технологические основы сборки соединений с натягом термическими способами с использованием регулярного микрорельефа в зоне контакта. – //”Modulowe technologie i konstrukcje w budowie maszyn MTK’2009. – Rzeszow- Regietow (Польша). – 2009. – С. 229 – 234.
3. Оборский И. Л., Зенкин А.С. Применение специальной топологии микрорельефа при сборке соединений с натягом термическими способами. – //”Modulowe technologie i konstrukcje w budowie maszyn MTK’2009. –Rzeszow-Regietow (Польша). – 2009. – С. 235 – 242.

CHOOSING ENERGY-SAVING TECHNOLOGY OF FORCED-IN JOINTS WITH PREHEATING

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki analiz teoretycznych przeprowadzonych w oparciu o wcześniej wykonane badania eksperymentalne w celu wyboru racjonalnych parametrów technologicznych procesu wciskania wspomaganego termicznie zapewniającego minimalną energochłonność przy spełnieniu wymagań jakościowych.

Ivan OBORSKI
Witalij SZALAJ
Siergiej OBORSKI
Anatolij ZENKIN

Uniwersytet Technologii i Projektowania
Kijów, Ukraina

WYZNACZANIE PARAMETRÓW TEMPERATUROWYCH WPŁYWU CIEPŁA NA CZĘŚCI MONTOWANE Z WCISKANIEM

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОПРЯГАЕМЫЕ ДЕТАЛИ ПРИ СБОРКЕ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ

ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение для формирования посадок с натягом приобрели способы сборки, использующие неравномерный нагрев охватывающих и охлаждение охватываемых деталей. Использование таких способов позволяет повысить прочность посадок с натягом, снизить натяг и напряженно-деформированное состояние сборочных единиц, сократить временные и энергетические затраты на сборку.

Однако для реализации этих способов сборки требуется в отдельных случаях создание новых научно-практических подходов для разработки методологии расчета технологических сборочных параметров. В частности, весьма важно получить теоретические зависимости для определения температур предварительного неравномерного нагрева охватывающих и низкотемпературного охлаждения охватываемых деталей.

Следует при этом отметить, что при сборке соединений с натягом очень важно знать, какое может быть распределение температуры в сопрягаемых деталях на момент их начального контактирования (начала формирования сборочного натяга). Это позволит при разработке технологии более точно определять температуру нагрева и охлаждения, увеличение диаметра посадки охватывающей и охватываемой деталей, величину временного сборочного зазора и временные затраты на технологических операциях сборочного цикла.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕРАВНОМЕРНОГО ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОПРЯГАЕМЫЕ ДЕТАЛИ

Выполненными исследованиями установлено, что при сборке комбинированным термическим способом (КТСС) возможно множество сочетаний распределения температуры в деталях на момент их начала контактирования. В каждом конкретном случае для определения необходимого значения температуры требуется применение конкретной расчетной зависимости. На рис. 1 и 2 приведены некоторые примеры возможного распределения температур в деталях.

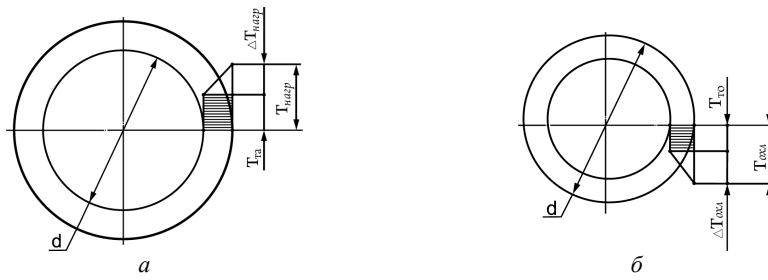


Рис. 1. Схема линейного распределения температуры в тонкостенных деталях при полном нагревании (рис. 1а) охватывающей и низкотемпературном охлаждении (рис. 1б) охватываемой при их сборке КТСС

Rys. 1. Schemat liniowego rozkładu temperatury w cienkościennych częściach przy nagrzewaniu obejmującej (a) i schładzaniu obejmowanej części (b) przy montażu z podgrzewaniem

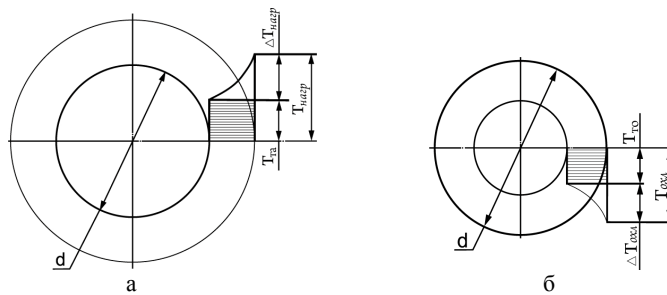


Рис. 2. Схема логарифмического распределения температуры в толстостенных деталях при КТСС: а – при полном нагревании охватывающей детали снаружи; б – при полном низкотемпературном охлаждении охватываемой снаружи

Rys. 2. Schemat logarytmicznego rozkładu temperatury w grubościennych częściach przy zewnętrznym nagrzewaniu części obejmującej (a) i wewnętrznym chłodzeniu części obejmowanej (b)

С учетом изложенного выше для тонкостенной охватываемой детали при подводе тепла (холода) к ее наружной поверхности получены зависимости для расчета рациональных температур (с учетом линейного закона их распределения) полного неравномерного нагревания $T_{нар}$ охватывающей детали и полного низкотемпературного $T_{охл}$ охлаждения охватываемой детали, соответственно

$$T_{T_a} + \Delta T_{нар} \frac{3 + 2m_a}{6 + 3m_a} = \frac{\Delta d_a}{d \cdot \alpha_p},$$

$$T_{T_o} + \Delta T_{охл} \frac{3 + 2m_b}{6 + 3m_b} = \frac{\Delta d_b}{d \cdot \alpha_{сж}}, \quad (1)$$

где α_p и $\alpha_{сж}$ – коэффициенты линейного расширения материала охватывающей и линейного сжатия материала охватываемой деталей; $m_a = r_{на}/r_{ва} - 1$, $r_{на}$ и $r_{ва}$ – наружный и внутренний радиусы охватывающей детали; $m_b = r_{нв}/r_{вв} - 1$, $r_{нв}$ и $r_{вв}$ – наружный и внутренний радиусы охватываемой детали.

Зависимости для расчета рациональных температур (с учетом линейного закона их распределения) неполного (местного) неравномерного нагревания $T_{\text{нагр}}$ охватывающей детали и неравномерного низкотемпературного $T_{\text{охл}}$ охлаждения охватываемой будут, соответственно

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{нагр}} &= \frac{\Delta d_a}{d \cdot \alpha_p} \cdot \frac{6 + 3m_a}{3 + 2m_a}, \\ \Delta T_{\text{охл}} &= \frac{\Delta d_b}{d \cdot \alpha_{\text{сж}}} \cdot \frac{6 + 3m_b}{3 + 2m_b}.\end{aligned}\quad (2)$$

С учетом изложенного выше для тонкостенных деталей при подводе тепла (холода) изнутри детали получены зависимости для расчета рациональных температур (с учетом линейного закона их распределения) неравномерного нагревания $T_{\text{нагр}}$ охватывающей детали и неравномерного низкотемпературного $T_{\text{охл}}$ охлаждения охватываемой, соответственно

$$\begin{aligned}T_{T_a} + \Delta T_{\text{нагр}} \frac{3 + m_a}{6 + 3m_a} &= \frac{\Delta d_a}{d \cdot \alpha_p}, \\ T_{T_o} + \Delta T_{\text{охл}} \frac{3 + m_b}{6 + 3m_b} &= \frac{\Delta d_b}{d \cdot \alpha_{\text{сж}}}.\end{aligned}\quad (3)$$

Зависимости для расчета рациональных температур (с учетом линейного закона их распределения) неполного нагревания $T_{\text{нагр}}$ охватывающей детали и неполного низкотемпературного $T_{\text{охл}}$ охлаждения охватываемой будут, соответственно

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{нагр}} \frac{3 + m_a}{6 + 3m_a} &= \frac{\Delta d_a}{d \cdot \alpha_p}, \\ \Delta T_{\text{охл}} &= \frac{\Delta d_b}{d \cdot \alpha_{\text{сж}}} \cdot \frac{6 + 3m_b}{3 + m_b}.\end{aligned}\quad (4)$$

В работе с учетом изложенного выше получены также зависимости для расчета рациональных температур нагревания $T_{\text{нагр}}$ охватывающей толстостенной детали при подводе к ней тепла по наружной поверхности

$$T_{T_a} + \Delta T_{\text{нагр}} \left[(1 + m_a)^2 - \frac{m_a(2 + m_a)}{\ln(1 + m_a)^2} \right] \cdot \frac{1}{m_a(2 + m_a)} = \frac{\Delta d_a}{d \alpha_p} \quad (5)$$

и охлаждения $T_{\text{охл}}$ охватываемой толстостенной детали

$$T_{T_b} + \Delta T_{\text{охл}} \left[(1 + m_b)^2 - \frac{m_b(2 + m_b)}{\ln(1 + m_b)^2} \right] \cdot \frac{1}{m_b(2 + m_b)} = \frac{\Delta d_b}{d \alpha_{\text{сж}}} \quad (6)$$

Зависимости для расчета рациональных температур неполного нагревания $T_{\text{нагр}}$ охватывающей толстостенной детали при подводе к ней тепла по наружной поверхности будут

$$\Delta T_{\text{нагр}} = \frac{\Delta d_a}{d \alpha_p} \cdot \frac{m_a(2 + m_a) \cdot \ln(1 + m_a)^2}{(1 + m_a)^2 \cdot \ln(1 + m_a)^2 - m_a(2 + m_a)} \quad (7)$$

и неполного охлаждения $T_{\text{охл}}$ охватываемой толстостенной детали

$$\Delta T_{\text{охл}} = \frac{\Delta d_b}{d \alpha_{\text{сж}}} \cdot \frac{m_b(2 + m_b) \cdot \ln(1 + m_b)^2}{(1 + m_b)^2 \cdot \ln(1 + m_b)^2 - m_b(2 + m_b)} \quad (8)$$

В работе с учетом изложенного выше получены также зависимости для расчета рациональных температур полного нагревания $T_{\text{нагр}}$ охватывающей толстостенной детали при подводе к ней тепла изнутри

$$T_{T_a} + \Delta T_{\text{нагр}} \left[\frac{m_a(2 + m_a)}{\ln(1 + m_a)} - 1 \right] = \frac{\Delta d_a}{d \alpha_p} m_a(2 + m_a) \quad (9)$$

и неполного охлаждения $T_{\text{охл}}$ охватываемой толстостенной детали

$$T_{T_b} + \Delta T_{\text{охл}} \left[\frac{m_b(2 + m_b)}{\ln(1 + m_b)} - 1 \right] = \frac{\Delta d_b}{d \alpha_{\text{сж}}} m_b(2 + m_b) \quad (10)$$

Зависимости для расчета рациональных температур неполного (местного) нагревания $T_{\text{нагр}}$ охватывающей толстостенной детали при подводе к ней тепла изнутри будут

$$\Delta T_{\text{нагр}} = \frac{\Delta d_a}{d \alpha_p} \cdot \frac{m_a(2 + m_a) \cdot \ln(1 + m_a)^2}{m_a(2 + m_a) - \ln(1 + m_a)^2} \quad (11)$$

и неполного (местного) охлаждения $T_{\text{охл}}$ охватываемой толстостенной детали

$$\Delta T_{\text{охл}} = \frac{\Delta d_b}{d \alpha_{\text{сж}}} \cdot \frac{m_b(2 + m_b) \cdot \ln(1 + m_b)^2}{m_b(2 + m_b) - \ln(1 + m_b)^2} \quad (12)$$

Полученные аналитические расчетные зависимости позволяют для обеспечения заданного значения временного сборочного зазора определять необходимые температуры полного и местного как равномерного, так и неравномерного предварительного термовоздействия (нагрева и охлаждения) на сопрягаемые детали, что может обеспечить возможность их совмещения без непосредственного контакта.

Следует заметить, что возможны отдельные специфичные случаи сборки (например, сложных корпусных деталей из материалов, склонных к изменению структуры материалов и деформациям деталей) при которых, несмотря на достаточно высокую продолжительность процессов термовоздействия на сопрягаемые детали, нагрев (охлаждение) и сборка деталей должны производиться при равномерном распределении температуры. В связи с этим представляет научный и практический интерес установить соотношение температур неравномерного и равномерного термовоздействия на сопрягаемые детали при различных подводах к ним тепла и холода.

СООТНОШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР НЕРАВНОМЕРНОГО И РАВНОМЕРНОГО ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОПРЯГАЕМЫЕ ДЕТАЛИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОДВОДАХ К НИМ ТЕПЛА И ХОЛОДА

С учетом (1) и (12) при подводе тепла к тонкостенной охватывающей детали или холода к охватываемой снаружи получим температуры $T_{\text{ста}}$ и $T_{\text{ств}}$ при равномерном распределении их по толщине изделий, соответственно

$$T_{\text{ста}} = \Delta T_{\text{нагр}} \frac{2r_2^2 - r_2 r - r^2}{3 \cdot (r_2^2 - r^2)},$$

$$T_{\text{ств}} = \Delta T_{\text{охл}} \frac{2r^2 - r r_1 - r_1^2}{3 \cdot (r^2 - r_1^2)} \quad (13)$$

При подводе тепла к тонкостенной охватывающей детали или холода к охватываемой изнутри получим температуры $T_{\text{ста}}$ и $T_{\text{ств}}$ при равномерном распределении их по толщине изделий, соответственно

$$T_{\text{ста}} = \Delta T_{\text{нагр}} \frac{r_2^2 + r_2 r - 2r^2}{3 \cdot (r_2^2 - r^2)},$$

$$T_{\text{ств}} = \Delta T_{\text{охл}} \frac{r^2 + r r_1 - 2r_1^2}{3 \cdot (r^2 - r_1^2)}. \quad (14)$$

При подводе снаружи тепла к толстостенной охватываемой детали или холода к охватываемой получим температуры $T_{\text{ста}}$ и $T_{\text{ств}}$ при равномерном распределении их по толщине изделий, соответственно

$$T_{\text{ста}} = \Delta T_{\text{нагр}} \cdot \frac{1}{(r_2^2 - r^2)} \left[r_2^2 - \frac{r_2^2 - r^2}{2 \cdot (\ln r_2 - \ln r)} \right],$$

$$T_{\text{ств}} = \Delta T_{\text{охл}} \cdot \frac{1}{(r^2 - r_1^2)} \left[r^2 - \frac{r^2 - r_1^2}{2 \cdot (\ln r - \ln r_1)} \right]. \quad (15)$$

При подводе изнутри тепла к толстостенной охватываемой детали или холода к охватываемой детали получим температуры $T_{\text{ста}}$ и $T_{\text{ств}}$ при равномерном распределении их по толщине изделий, соответственно

$$T_{\text{ста}} = \Delta T_{\text{нагр}} \cdot \frac{1}{(r_2^2 - r^2)} \left[\frac{r_2^2 - r^2}{2 \cdot (\ln r_2 - \ln r)} - r \right],$$

$$T_{\text{ств}} = \Delta T_{\text{охл}} \cdot \frac{1}{(r^2 - r_1^2)} \left[\frac{r^2 - r_1^2}{2 \cdot (\ln r - \ln r_1)} - r_1 \right]. \quad (16)$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании выполненных в настоящем подразделе исследований научно обоснованы принципиальные решения, позволяющие получить аналитические зависимости для определения изменений посадочных диаметров и температурных параметров, изменяемых во времени и обеспечивающих гарантию выполнения технологического процесса сборки КТСС соединений деталей с натягом при наличии временного зазора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оборский И.Л., Андреев А. Г., Щепкин А.В., Арпентьев Б.М. Исследование технологических параметров сборки соединений с натягом, осуществляемых с термовоздействием. // Вестник Нац. техн. ун-та «Харьковский политехн. ин-т»: Сб. науч. работ. Темат. выпуск: Динамика и прочность машин. – Х.: НТУ «ХПИ». — 2008. — № 36. — С. 147 – 153.
2. Оборский И.Л., Шалай В.А., Зенкин А.С. Выбор температуры нагрева и охлаждения для сборки соединений с натягом комбинированным термическим способом. «Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциалов в современных условиях» Сб.: Материалы 9-й юбилейной Промышленной конференции с международным участием и блиц – выставки, 11- 18 февраля 2009 г., п. Славское, Карпаты. – К., 2009.- с. 315 – 316
3. Оборский И.Л., Андреев А.Г., Щепкин А.И. Определение параметров термовоздействия, обеспечивающих энергосбережение, на сопрягаемые детали при сборке соединений с натягом. “Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте”. Материалы

- 9-го международного научно-технического семинара, 23 – 27 февраля 2009 г., г. Свалява: – К.: АТМ Украины, 2009. – С. 198 – 200.
4. Оборский И.Л. Технологическое обеспечение сборки соединений с натягом комбинированным термическим способом. //“Современные проблемы подготовительного производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте”. 26 –28 февраля 2008 г. Сб.: – К., Материалы 8-го международного научно-технического семинара, 26 – 28 февраля 2008 г., г. Свалява: – К.: АТМ Украины, 2008. –С. 190 – 192.
 5. Оборский И. Л. Технологические основы сборки соединений с натягом термическими способами с использованием регулярного микрорельефа в зоне контакта. – //“Modulowe technologie i konstrukcje w budowie maszyn MTK’2009. – Rzeszow- Regietow (Польша). – С. 229 – 234.
 6. Оборский И.Л. Выбор условий для качественной реализации процесса формирования соединений деталей с натягом КТСС.//“Человек–технологии–среда. Теория и практика”. 15 – 19 сентября 2009 г. Сб.: Материалы 1-ой Международной научно-практической конференции, 15 – 19 сентября 2009 г., г. Судак, Украина. – 2009. – С. 83 – 85.
 7. Оборский И.Л. Методология определения технологических параметров, обеспечивающих качественный процесс выполнения соединений деталей с натягом КТСС. //“Человек–технологии–среда. Теория и практика”. 15 – 19 сентября 2009 г. Сб.: Материалы 1-ой Международной научно-практической конференции, 15 – 19 сентября 2009 г., г. Судак, Украина. – 2009. – С. 85 – 88.

WYZNACZANIE PARAMETRÓW TEMPERATUROWYCH WPŁYWU CIEPŁA NA CZĘŚCI MONTOWANE Z WCISKANIEM

Streszczenie. W pracy przytoczono analizy teoretyczne oprate wcześniejszych badaniach eksperymentalnych, Umożliwiające wyznaczenie temperatur nagrzewania części obejmującej połączenia wciskowego oraz temperatur schładzania części obejmowanej. Przytoczone zależności umożliwiają również wyznaczenie rozkładów temperatur w częściach łączonych w trakcie wciskania, co umożliwia dokładne wyznaczenie uzyskanego wcisku.

Ivan OBORSKI
Anatolij ZENKIN
Nina OBORSKA
Włodimir DWORŻAK

Uniwersytet Technologii i Projektowania
Kijów, Ukraina

**BADANIE PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNO-TECHNOLOGICZNYCH
ORAZ OPACOWANIE TECHNOLOGII MONTAŻU MAŁOGABARYTOWYCH
POŁĄCZEŃ CZĘŚCI WRZECION**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ДЕТАЛЕЙ ВЕРЕТЕН**

ВВЕДЕНИЕ

При формировании соединений с натягом КТСС в зоне контакта происходят сложные процессы, связанные с одновременным появлением радиальных и тангенциальных напряжений. Они вызваны формированием натяга и температурными деформациями и приводят к появлению торцевого зазора между охватываемыми деталями (рис. 1), например, между блочком и насадкой при их установке на шпиндель веретена кольцепрядильной машины. Этот недостаток требует устранения, так как качество изделия в данном случае не соответствует техническим условиям.

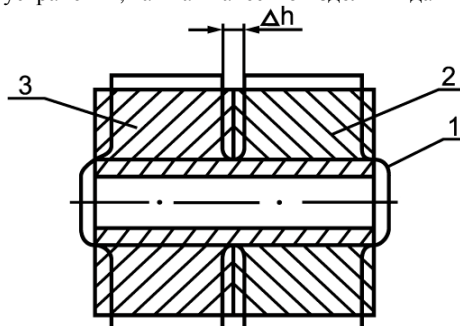


Рис. 1. Многоэлементное соединение деталей с натягом и схема деформаций деталей при КТСС: 1 – охватываемая деталь; 2 и 3 – охватывающие детали

Rys. 1. Wieloelementowe połączenie części wciskanych oraz schemat deformacji przy podgrzewaniu: 1 – część obejmowana, 2, 3 – części obejmujące

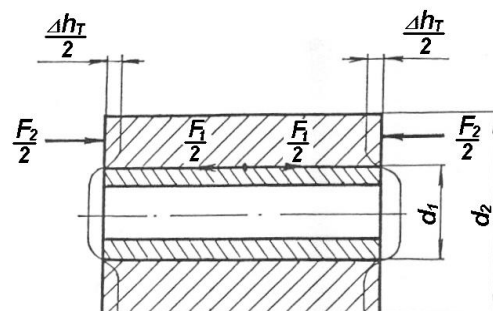


Рис. 2. Схема действующих сил и деформаций при КТСС соединения деталей с натягом

Rys. 2. Schemat sił i odkształceń przy łączeniu części wciskanych z podgrzewaniem

UWAGA: КТСС – sposób montażu z podgrzewaniem

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СБОРКИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ С НАТЯГОМ ВЕРЕТЕН КОЛЬЦЕПРЯДИЛЬНЫХ МАШИН

Величину осевых перемещений $\Delta h_{\text{ап}}$ и $\Delta h_{\text{вп}}$ торцевой поверхности охватывающей втулки и охватываемого вала под влиянием постоянной радиальной нагрузки можно определить по формулам (1) и (2), которые получены на основании решения дифференциальных уравнений, описывающих плоское напряженное состояние пустотелого цилиндра

$$\Delta h_{\text{ап}} = -\mu_a \frac{hd}{d_2^2} N, \quad (1)$$

$$\Delta h_{\text{вп}} = -\mu_b \frac{hd_1}{d^2} N, \quad (2)$$

где N – натяг; h – длина соединения; μ_b и μ_a – коэффициенты Пуассона для материалов охватываемой и охватывающей деталей; d_2 , d и d_1 – наружный диаметр охватываемой, диаметр посадки и внутренний охватывающей деталей.

Из решения уравнения теплового баланса деталей соединения, находим выражения для определения термических перемещений охватывающей детали

$$\Delta h_{\text{ат}} = \frac{2fh^2N \cdot c_a m_a}{2fhd(c_b m_b + c_a m_a) + d_2^2 c_a m_a} \quad (3)$$

и соответственно охватываемой детали

$$\Delta h_{\text{вт}} = \frac{2fh^2N \cdot c_b m_b}{2fhd_1(c_b m_b + c_a m_a) + d^2 c_b m_b}, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения; c_b , c_a – теплоемкость материалов сопрягаемых деталей; m_b , m_a – их массы.

Уравнение для определения общего осевого перемещения (деформаций) деталей соединения после скрепления втулки с валом из однородных материалов и соответственно торцевого зазора будет иметь вид:

$$\Delta h_{\text{т}} = Nk \left\{ \left[\mu_b \frac{d_1}{d^2} + \mu_a \frac{d}{d_2^2} \right] + 2fh \left[\frac{c_b m_b}{2fhd(c_b m_b + c_a m_a) + d_2^2 c_b m_b} + \frac{c_a m_a}{2fhd_1(c_b m_b + c_a m_a) + d^2 c_a m_a} \right] \right\} \quad (5)$$

Если принять при этом коэффициент трения по торцам близким к 0, получим условие формирования соединения без торцевых зазоров [4]

$$\frac{\mu_b N_b}{\mu_a N_a} \approx -\frac{d^3}{d_1 \cdot d_2^2}. \quad (6)$$

Таким образом, проведенные исследования позволили раскрыть специфику формирования многоэлементных соединений деталей с натягом КТСС и на этой основе установить расчетные

модели по определению комплекса конструкторско-технологических параметров, обеспечивающих заданное качество сборки, а также влияние соотношения температур нагрева охватывающих и низкотемпературного охлаждения охватываемых деталей, их конструкции и материалов на напряженно-деформированное состояние изделий.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРОСЛОЕК ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ

Допустим мы введем в соединение прослойку с коэффициентом ее трения по металлу $f_{кл}$ значительно меньшим, чем металла по металлу f_m . При этом общая длина h соединения (посадки) составит

$$h = h_m + h_{кл}. \quad (7)$$

При этом величина приведенного коэффициента трения f' будет

$$f' = \frac{c_b c_a m_b m_a}{(h_{кл} + h_m) 2N} \frac{N(d^2 + d_2^2)}{[c_b m_b d_1 (c_b m_b + c_a m_a) - c_b m_b d (c_b m_b + c_a m_a)]}, \quad (8)$$

а длина прослойки

$$h_{кл} = \frac{c_b c_a m_b m_a N(d^2 + d_2^2) - f h_m 2\{N[(c_b m_b) d_1 - (c_a m_a) d]\}(c_b m_b + c_a m_a)}{2f\{N[c_b m_b d_1 + c_a m_a d]\} (c_b m_b + c_a m_a)}. \quad (9)$$

Для подтверждения теоретических данных были проведены экспериментальные и расчетно-экспериментальные исследования технологических параметров прочности многоэлементных соединений и величины торцевого зазора между торцами сопрягаемых деталей веретена. Исследования ставили целью подтвердить выдвинутые предположения о возможности значительного уменьшения или практического исключения торцевого зазора между охватывающими деталями при сборке комбинированным термическим способом.

ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ КТСС

Определение временных и температурных параметров технологи КТСС деталей небольшого посадочного диаметра и соизмеримой длины можно проводить по номограммам, представленных на рис. 3 – 5. Номограммы использованы при разработке технологии и оборудования для сборки деталей веретен кольцепрядильных машин в условиях производственного объединения. Номограмма построена на основе зависимостей, полученных авторами, и состоит из трех частей (основной номограммы и двух дополнительных).

Приняв температурный перепад между сопрягаемыми деталями $\Delta T_{нст}$, константы А и В, которые характеризуют соответственно свойства материалов сопрягаемых деталей и их геометрические параметры ($A = \alpha / c\rho$; $B = F/V$), теплопроводность материала α , удельную теплоемкость c , удельную плотность ρ материала деталей, площадь F поверхности теплообмена детали, объем детали V , наружный радиус сопрягаемой детали R и длину l , внутренний радиус r сопрягаемой детали и диаметр посадки d , можно решать задачи по определению времени τ_r , выполнения сборочных операций или изменения ΔT_r температуры деталей при сборке малогабаритных изделий. По номограммам (рис. 3) и (рис. 4) определим коэффициенты А и В, а по основной номограмме с использованием полученных коэффициентов А и В – время τ_r , выполнения сборочных операций или изменения ΔT_r температуры деталей при сборке малогабаритных изделий. Последовательность и направление решения этих задач показано линиями со стрелками.

Временные и температурные параметры технологии КТСС для деталей типа втулок могут быть определены по номограммам, представленным на рис. 4 – 5.

Номограмма для определения изменения температуры ΔT_1 приведена на рис. 5 и разработана на основе полученных авторами аналитических зависимостей, представляет их графическое решение и состоит из 6 квадрантов. По оси абсцисс квадранта 1 отложены значения коэффициента

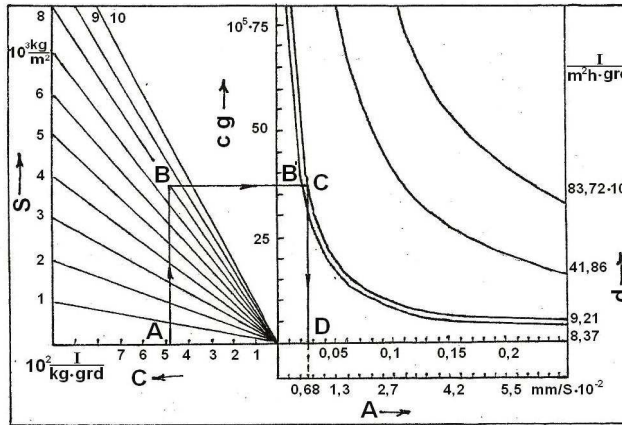


Рис. 3. Номограмма для выбора параметра А при определении временных и температурных параметров (рис. 5) КТСС соединений с деталями малого посадочного диаметра типа веретен кольцепрядильных машин и изменения температуры сопрягаемыми деталями

Rys. 3. Nomogram dla wyboru parametru A przy wyznaczaniu czasowych i temperaturowych parametrów podgrzewania połączeń z częściami o małej średnicy typu wrzeciona maszyn włókienniczych i zmian temperatur połączonych części

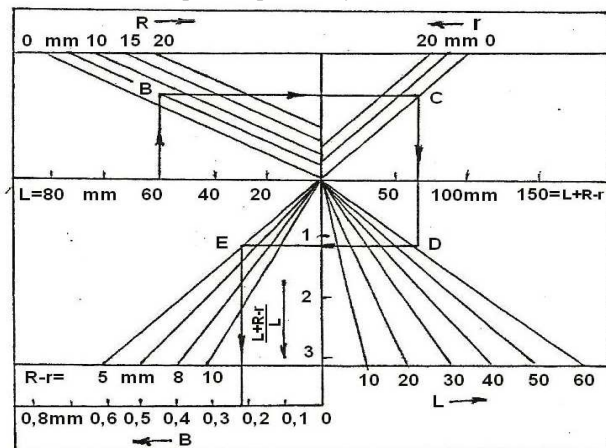


Рис. 4. Номограмма выбора параметра В при определении временных и температурных параметров (рис. 5) КТСС соединений малого посадочного диаметра типа веретен кольцепрядильных машин и изменения температуры сопрягаемыми деталями

Rys. 4. Nomogram dla wyboru parametru B przy wyznaczaniu czasowych i temperaturowych parametrów podgrzewania połączeń o małej średnicy i zmian temperatur połączonych części

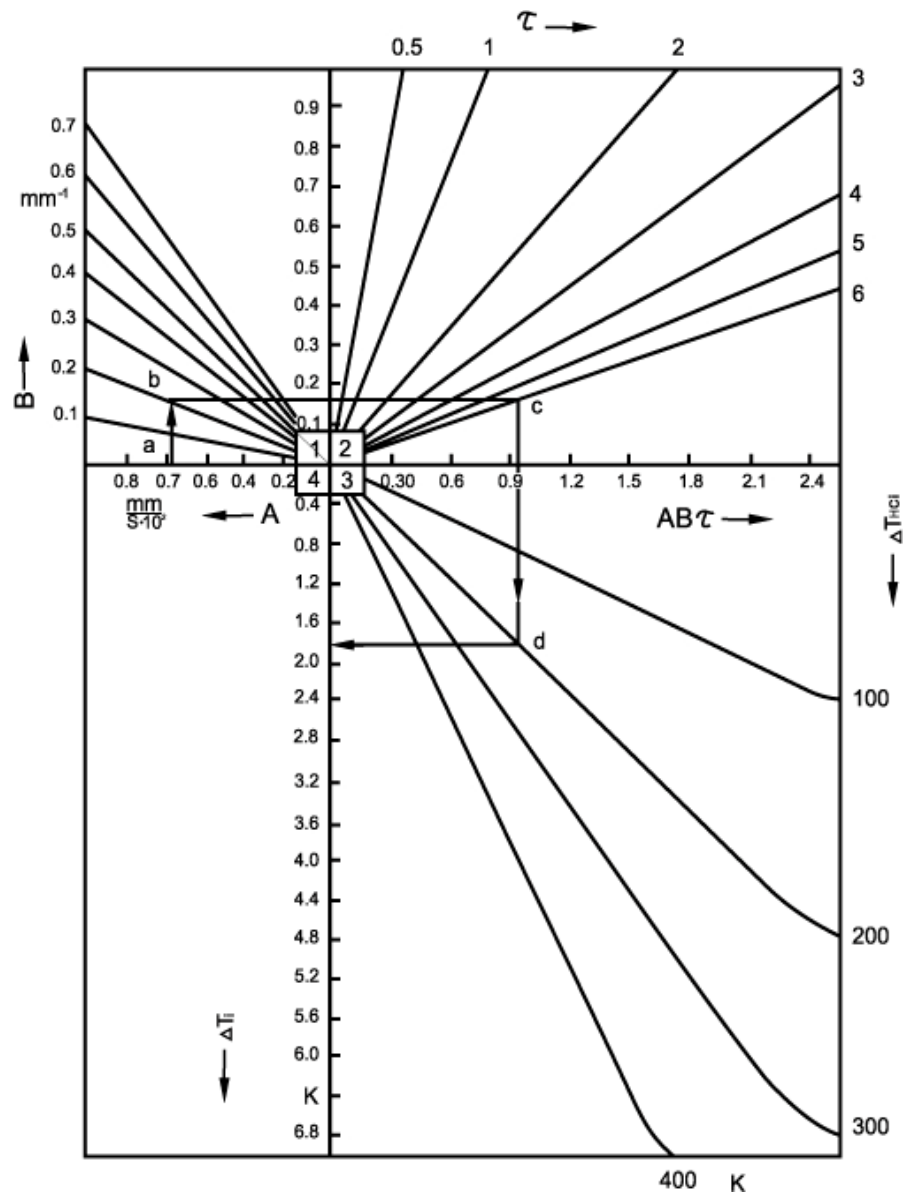


Рис. 5. Номограммы для определения временных и температурных параметров КТСС соединений с деталями малого посадочного диаметра типа веретен кольцепрядильных машин

Rys. 5. Nomogram dla wyznaczania czasowych i temperaturowych parametrów podgrzewania połączeń z częściami wrzecion o małych średnicach

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ СПОСОБОМ КТСС И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

Для осуществления технологии КТСС разработано технологическое оборудование для автоматической сборки малогабаритных деталей веретена кольцепрядильной машины. Предложено цилиндрическое соединение с натягом бочка и насадки со шпинделем взамен конусного. Диаметр посадки 8 мм. Предлагается проводить сборку таких изделий с использованием КТСС (с нагревом бочков до температуры 130-150°C и насадок до 115-125°C, а также низкотемпературным охлаждением шпинделей до -180–(-195,6)°C. При сборке использовано оригинальное сборочное устройство и технология формирования соединений деталей с натягом, разработанные и защищены экономическим патентом №2247951 [5].

Оригинальность устройства состоит в том, что его конструктивное выполнение и расположение сборочных модулей обеспечивают реализацию технологии с повышенными скоростями ориентирования и сборки при минимальных потерях тепла-холода сопрягаемыми деталями, что позволило сократить энергетические и временные затраты. Модуль ориентирования деталей выполнен заодно с устройствами для нагрева охватываемых деталей (бочка и насадки) и представляет собой два цилиндрических индуктора ТВЧ, расположенных друг под другом (верхнего 1 для бочка и нижнего 2 для насадки). Между ними расположено цилиндрическое приспособление 3 для охлаждения деталей после сборки, выполненное в виде трубчатого кольца с отверстием для подвода охлаждающей жидкости при охлаждении собранного узла, чем обеспечено скорость и направленность формирования натяга и исключение торцевого зазора между бочком и насадкой. Предложены конструкции накопителей и приспособлений для поштучного отделения соответственно для стержней и конусных деталей, а также их расположение, чем обеспечены минимальные затраты времени и высокая надежность транспортирования собираемых деталей.

Конструкция камеры для охлаждения позволяет проводить охлаждение стержней при минимальных затратах жидкого азота, так как выполнена закрытого типа и дает возможность использовать для охлаждения выделяемые пары азота.

Конструктивное исполнение модуля для подачи конусной детали в зону нагрева и сборки, а также его размещение позволяют сократить затраты времени и улучшают условия процесса ее транспортирования и ориентирования при сборке.

Таким образом, в разделе подтверждены научные принципы создания модулей ориентирования сборочного оборудования для осуществления КТСС многоэлементных малогабаритных соединений с натягом.

ВЫВОДЫ

1. Комплексные исследования особенностей формирования малогабаритных многоэлементных соединений подтвердили закономерности формирования зоны контакта деталей при КТСС с учетом физико-механических свойств материалов деталей, параметров микрорельефа и промежуточных прослоек в зоне контакта, обеспечивающих заданную прочность соединений и снижение напряженно-деформированного состояния.

2. Подтверждено, что при соотношении $\mu_b N_b / \mu_a N_a = d^3 / d_1 \cdot d_2^2$, учитывающем соотношении свойств материалов и параметров соединения, характеризующих посадку с натягом, зазор между охватываемыми деталями будет отсутствовать.

Таким образом подтверждена методология для выбора рациональных параметров топологии подготовки сопрягаемых поверхностей деталей накаткой специальных видов регулярного микрорельефа, параметров промежуточных прослоек в зоне их контакта и вида термовоздействия для технологического обеспечения КТСС соединений с натягом, позволяющие эффективно

управлять технологическим процессом формирования ответственных соединений с натягом, обеспечивающих заданную эксплуатационную прочность и надежность посадок с натягом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арпентьев Б.М., Зенкин А.С., Оборский И.Л. Многоэлементная сборка соединений с натягом термическими методами с использованием клеевой прослойки. Изв. вузов. Сер.Машиностроение.-М.-1989.-№6.-С.34-38.
2. Вильнав Жан-Жак. Клеевые соединения / Л.В. Синегубова (пер. с фр.); Г.В.Малышева (предисл.и ред.пер.) – М.: Техносфера, 2007. – 381.
3. Оборский И.Л., Зенин А.С., Шалай В.О., Сорока О.Б. Расчет параметров промежуточных прослоек при формировании соединений с натягом термическими методами. “Современные проблемы подготовительного производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте”. Сб.: Материалы 9-го международного научно-технического семинара, 23 – 27 февраля 2009 г., г. Свалява: – К.: АТМ Украины, 2009. – С. 95 – 99.
4. Оборський І.Л. Дослідження параметрів складання багатоеlementних з'єднань з натягом веретен кільцепрядильних машин. // Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины. – № 1(7). –Херсон, 2004. – С. 40–42.
5. Wirtschaftspatent DDR DD 224795 A1, WP B 23 P 11/02. Vorrichtung zum Fugen von Teilen mit Schrumpf-Dehnverbindungen für zylindrische Kleinteile // Kurjatschij St., Oborski I.L., Blume F. – №261778 0, заявлено 09.04.84; опубл. 17.07.85.

TESTING THE CONSTRUCTIONAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS AND PREPARING THE ASSEMBLY TECHNOLOGY OF SMALL JOINTS' PARTS OF SPINDLE

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w celu wyznaczenia parametrów technologicznych wykonywania połączeń wciskowych wspomaganých termicznie małych tulejek wrzecion. Wyniki badań przedstawiono w postaci nomogramów umożliwiających łatwy i optymalny dobór tych parametrów w przypadku montażu podobnych połączeń.

Stanisław PERGAŁOWSKI

Janusz KOBIAŁKA

Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego
Warszawa, Polska

Jerzy ŁUNARSKI

Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego
Warszawa, Polska

Politechnika Rzeszowska,
Rzeszów, Polska

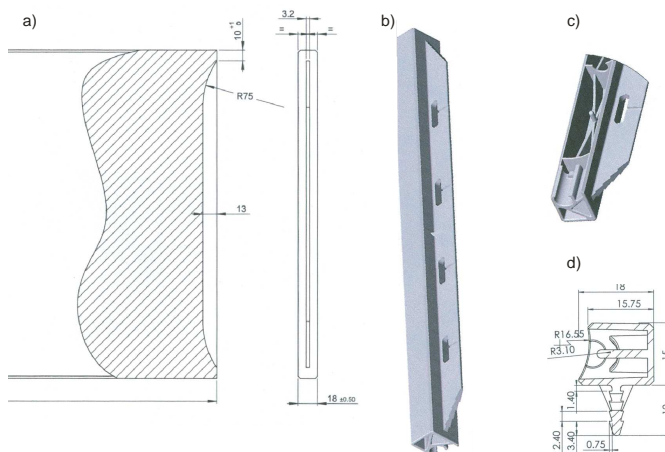
AUTOMATYZACJA WYKONYWANIA POŁĄCZEŃ WCISKANYCH DREWNO-TWORZYWO SZTUCZNE

AUTOMATION OF MAKING FORCED-IN JOINTS WOOD-PLASTIC TYPE

Wymagania doskonalenia konkurencyjności w różnych sektorach wytwórczych skłaniają do podejmowania prac naukowo-badawczych w celu ulepszenia istniejących rozwiązań na takie, które zapewniłyby:

- mniejsze koszty wytwarzania,
- lepszą jakość wyrobów,
- łatwiejszą i tańszą eksploatację itp.

Przykładem takiego rozwiązania jest konstrukcja specjalnego połączenia półki drewnianej ze specjalną listwą z tworzywa sztucznego, której usytuowanie przy bocznych krawędziach półki znacznie upraszcza ich montaż ze stojakami regałowymi lub ściankami nośnymi mebli, zapewniając jednocześnie niezawodne i trwałe połączenie półki z innymi elementami. Zasadę tego połączenia pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Elementy składowe nowego połączenia drewno-tworzywo sztuczne: a) brzeg półki drewnianej z wyfrezowanym rowkiem, b) listwa z tworzywa sztucznego z pletwą wciskaną w rowek półki, c) fragment listwy z widocznymi wzmocnieniami i powierzchniami montażowymi, d) przekrój listwy z kształtem pletwy wciskanej w rowek półki

Celem wciśnięcia pletwy listwy w rowek półki konieczny jest znaczny, równomierny nacisk na listwę, w wyniku którego tworzywo pletwy ulega sprężystej deformacji (ściskaniu), zaś jej kształt powoduje, że siły sprężystości powodują zakleszczenie choinkowych występów pletwy w rowku tworząc połączenie praktycznie nierozbieralne. Wewnętrzne zebra usztywniające listwy zapewniają jej dużą wytrzymałość i sztywność zaś ukształtowanie powierzchni pod bolce złączne umożliwia łatwe wykonanie, przez nabywcę zestawu regałowego lub meblowego, trwałego i niezawodnego połączenia.

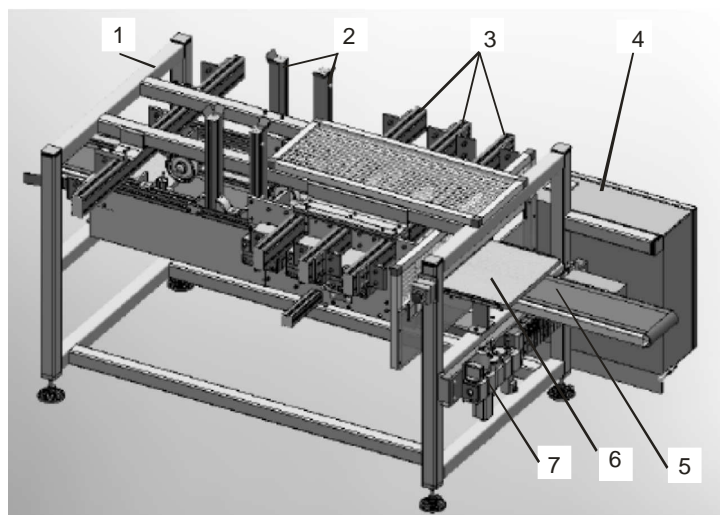
Potrzeby wykonywania takich połączeń półki z listwą w dużych seriach produkcyjnych uzasadniały opracowanie i wykonanie specjalnej zautomatyzowanej linii wytwórczej, w której na jednym ze stanowisk dokonywana byłaby operacja jednoczesnego, obustronnego wciskania wskazanych listew w podawane półki z wyfrezowanym rowkiem.

Względem tego urządzenia sformułowano następujące wymagania:

- możliwość automatycznego funkcjonowania w zautomatyzowanej linii wytwarzania półek, jak również przy ręcznym podawaniu półek do urządzenia,
- możliwość łatwego przezbierania urządzenia do wytwarzania czterech rodzajów półek (dwie długości i dwie szerokości), do których mogłyby być wciskane cztery rodzaje listew bocznych,
- automatyczne wykluczanie ze strumienia zmontowanych półek takich, w których wystąpiły wady połączenia,
- zapewnienie wydajności wynoszącej 500 sztuk montowanych półek w ciągu godziny,
- zapewnienie pełnego bezpieczeństwa pracy personelu i niedopuszczenie do awaryjnych uszkodzeń urządzenia i in.

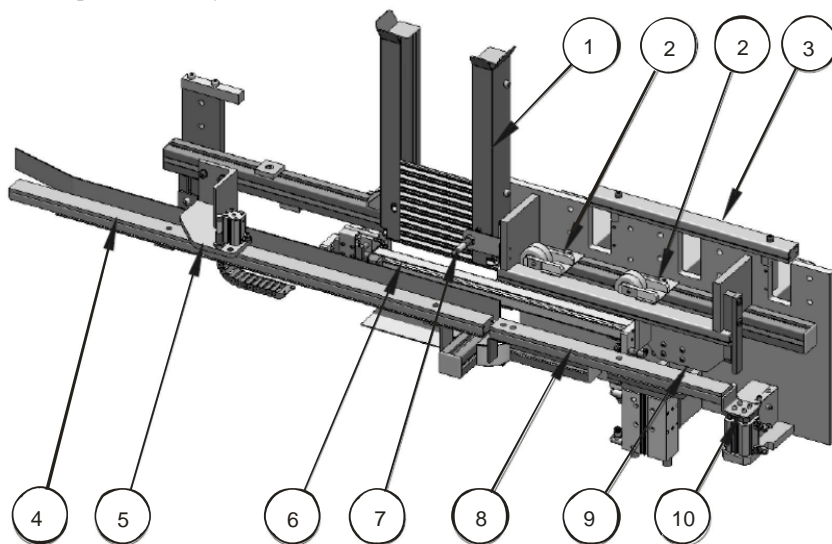
Urządzenie spełniające powyższe wymagania opracowano i wykonano w Zakładzie Technologii Montażu (TEKOMA-KOPROTECH) Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie.

Ogólny schemat 3D urządzenia pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Schemat ogólny 3D urządzenia do wciskania listew z tworzywa sztucznego w rowki półek drewnianych: 1 – konstrukcja nośna urządzenia, 2 – magazyn listew z mechanizmem pojedynczego wydawania (po obu stronach urządzenia), 3 – siłowniki wciskające listwę (po obu stronach urządzenia), 4 – układ sterowania z pulpitem sterującym, 5 – przenośnik taśmowy półek, 6 – półka na przenośniku, 7 – układ przygotowania powietrza

Przenośnik taśmowy przemieszcza półki usytuowane w dwóch liniowych prowadnicach bocznych, przestawialnych w celu dostosowania do długości aktualnie wykonywanej partii półtek. Z chwilą, gdy półka znajdzie się w strefie roboczej jest ona zatrzymywana zderzakami, unoszona siłownikami do poziomu przygotowanych listew, wyrównywana i unieruchamiana (mocowanie siłownikami). Wcześniej do strefy roboczej z magazynku listew, mechanizmami pojedynczego wydawania i mechanizmami podawania listew (z obu stron półki) podawane są listwy z tworzywa sztucznego w ten sposób, aby ich pletwy znalazły się naprzeciw rowków w półce. Zasygnalizowanie przez czujniki właściwego, wzajemnego położenia półki i listew uruchamia proces wciskania. Listwy dłuższe wciskane są za pomocą trzech siłowników pneumatycznych i listwy dociskowej, zaś krótsze – za pomocą dwóch siłowników i listwy dociskowej. Schemat tej strefy urządzenia pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Schemat bocznego zespołu montażowego (strona prawa, widok od wnętrza maszyny):

1 – zasobnik listew z tworzywa sztucznego, 2 – rolki ustawiające listwę, 3 – zawiesie bocznego zespołu montażowego, 4 – prowadnica stabilizująca ruch półki, 5 – zespół bramki wejściowej, 6 – mechanizm podawania listwy, 7 – czujnik obecności listew w zasobniku, 8 – zespół podnoszenia półki, 9 – wspornik podtrzymujący listwy, 10 – zespół bramki wyjściowej

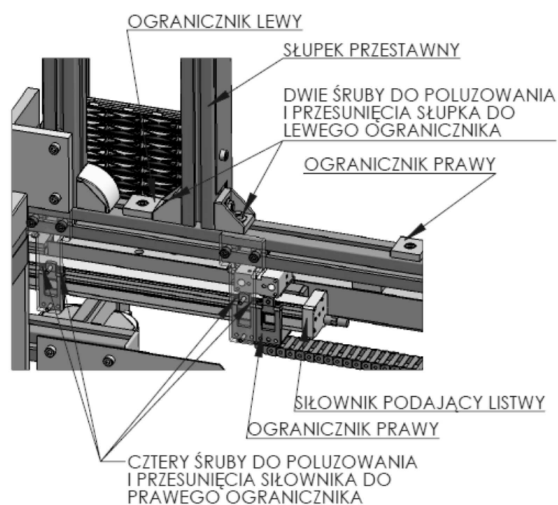
Analogiczny mechanizm umieszczony jest również po lewej stronie przenośnika zaś ich działania są zsynchronizowane zapewniając jednoczesne wciskanie listew z obu stron półki. W wykonanej wersji urządzenia listwy wkładane są ręcznie do magazynka, którego jeden wspornik prowadnicowy może być przestawialny celem dostosowania szerokości magazynu do szerokości aktualnie montowanych listew. Schemat tego układu urządzenia pokazano na rys. 4.

Równie łatwe jest przebrojenie dostosowujące prowadnice półtek do ich różnej długości – w tym celu dokonuje się rozsunięcia (lub zsunięcia) bocznych prowadników półtek mocowanych śrubami do ich wsporników. Ustalona odległość między tymi prowadnikami, odpowiadająca długości podawanych półtek, zapewnia ich równomierny i zorientowany przesuw.

W celu zapewnienia szybkości działania i wymaganej wydajności urządzenia zastosowano napędy pneumatyczne w postaci:

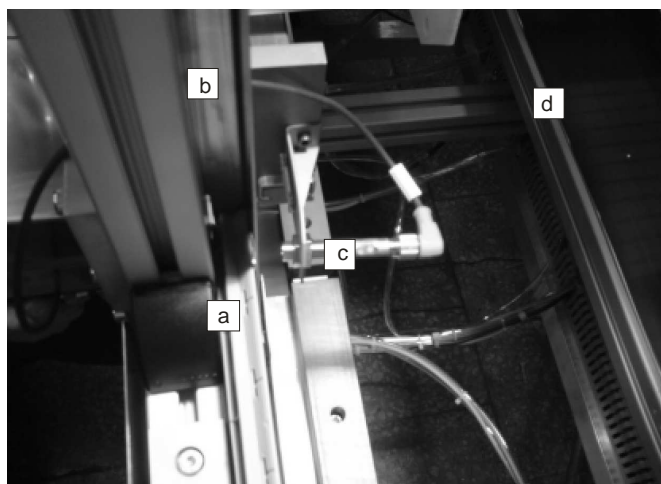
- siłowników kompaktowych dla zatrzymywania półtek w strefie roboczej, wciskania listew i ich przytrzymywania,

- siłowników z prowadzeniem do podnoszenia półki i jej wyrównywania, wycofania wysuwaka oraz dolnego podparcia listwy,
- siłownika zderzakowego do wpuszczania półki do strefy roboczej,
- napędu liniowego do podnoszenia listwy.



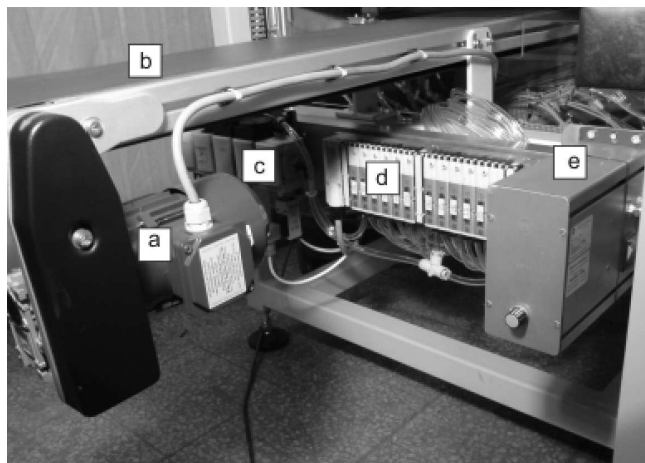
Rys. 4. Układ do podawania listew oraz sposób jego przezbrajania (opisy na rysunku)

Zastosowane w urządzeniu czujniki optyczne sygnalizują obecność: nowej półki przed strefą roboczą, obecność zapasu 4-ch listew w magazynku oraz obecność półki w położeniu roboczym. Widok ogólny zasobnika listew z czujnikiem w wykonanym urządzeniu pokazano na rys. 5.



Rys. 5. Widok zewnętrzny zasobnika listew z czujnikiem w wykonanym urządzeniu: a) listwa z tworzywa sztucznego, b) prowadnica listwy, c) czujnik obecności listew w magazynku, d) przenośnik taśmowy

Układ sterowania urządzenia wykonano na bazie sterownika PLC firmy Idec z wykorzystaniem ciekłokrystalicznego pulpitu operatorskiego Beijer Electronics. Opracowany program sterujący kontroluje sygnały zbliżeniowych czujników na siłownikach pneumatycznych, z przycisków sterowniczych oraz z pulpitu operatorskiego i według określonego algorytmu uruchamia sekwencyjnie siłowniki pneumatyczne. Na pulpicie operatorskim wyświetlane są informacje o stanie pracy urządzenia. Niektóre elementy tego układu uwidoczniiono na rys. 6.



Rys. 6. Widok niektórych elementów sterowania urządzeniem do wciskania listew: a) motoreduktor napędu przenośnika taśmowego, b) przenośnik taśmowy, c) zespół przygotowania sprężonego powietrza, d) wyspa zaworowa, e) falownik motoreduktora

PODSUMOWANIE

1. Opracowane i wykonane urządzenie spełnia założone wymagania automatycznego wykonania połączeń wciskanych i zapewnia wymaganą wydajność 500 sztuk zmontowanych półek w ciągu godziny.
2. Urządzenie jest łatwo przezbrajalne do wykonywania 4-ch rodzajów półek (dwie długości i dwie szerokości) z wciskaniem 4-ma rodzajami listew (2 długości, 2 warianty konstrukcyjne).
3. Urządzenie wymaga okresowego, ręcznego załadunku listew do magazynków oraz automatycznego lub ręcznego podawania półek na przenośnik taśmowy.

AUTOMATION OF MAKING FORCED-IN JOINTS WOOD-PLASTIC TYPE

Abstract. In the work a construction of automatic device for making joints in wooden shelves with assembly forced-in strips is presented. Strips have a special construction, which facilitates assembly of cabinets and furniture. Device was designed in IMBIGS Warsaw. It has a productivity 500 shelves with two-sided forced-in strips per hours.

IV
PROBLEMY EKSPLOATACYJNE
POŁĄCZEŃ MONTAŻOWYCH

Marek ROŚKOWICZ

Sławomir TKACZUK

Wojskowa Akademia Techniczna

Warszawa, Polska

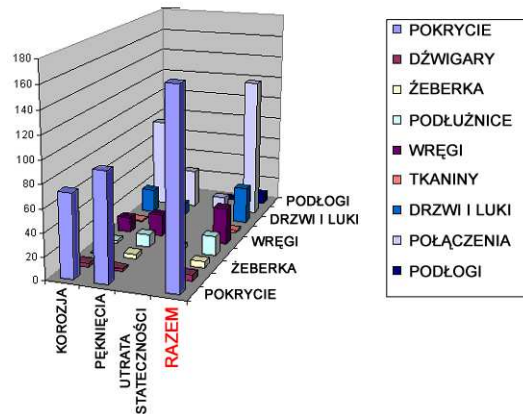
POŁĄCZENIA ADHEZYJNE W NAPRAWACH POKRYĆ PŁATOWCÓW

WSTĘP

Statki powietrzne to złożone obiekty techniczne, które składają się z wielu elementów – zespołów i układów konstrukcyjnych, które to w różnym stopniu narażone są na uszkodzenia. Uszkodzenie jest zazwyczaj skutkiem nienormalnego oddziaływania na konstrukcję (skutkiem pracy w warunkach, do których nie jest ona przystosowana), niewłaściwą eksploatacją, ewentualnie błędem konstrukcyjnym, wadą materiałową, niedotrzymaniem warunków technologii produkcji lub nadmiernego zużycia. W przypadku wojskowych statków powietrznych dochodzą też oczywiście uszkodzenia spowodowane oddziaływaniem środków bojowych [1, 2].

Największa względna częstotliwość uszkodzeń przypada na pokrycie płatowca (98...100 %), pokładową sieć elektryczną (60...70 %) oraz przewody instalacji hydraulicznych i pneumatycznych. Uszkodzenia, w zależności od przyczyny, mogą mieć charakter uszkodzenia pojedynczego elementu lub uszkodzenia kompleksowego, to znaczy że obok uszkodzeń pokrycia występują zazwyczaj uszkodzenia: bloków, agregatów, instalacji, elementów siłowych itp. [1, 3]. Nie wszystkie elementy płatowca statku powietrznego są narażone w tym samym stopniu. Okazuje się, że stosunkowo mało podatne na uszkodzenia są dźwigary, w większym stopniu podłużnice, wręgi i żebra, najczęściej zaś uszkadzane jest pokrycie, w tym panele pokryć integralnych (rys. 1) [4].

W związku z tym, że większość z uszkodzeń powstających w warunkach eksploatacji nie powoduje katastrofy samolotu czy śmigłowca to może być usunięta w wyniku wykonania naprawy w warunkach polowych (lotnictwo wojskowe) lub warunkach bazy naprawczej (lotnictwo cywilne).



Rys. 1. Względna częstość występowania różnego rodzaju uszkodzeń w określonych częściach struktury płatowca

Skutecznym sposobem napraw uszkodzonych elementów konstrukcyjnych statków powietrznych, są naprawy wykonywane z wykorzystaniem nowoczesnych materiałów kompozytowych opartych na włóknach szklanych, węglowych i aramidowych spajanych z uszkodzoną strukturą tworzywami adhezyjnymi. Naprawy realizowane z wykorzystaniem materiałów kompozytowych są szczególnie akceptowane w przypadku pokryć wykonanych ze stopów aluminium [5, 6].

Dość istotnym problemem pozostaje zawsze etap podejmowania decyzji o rozpoczęciu naprawy. Nie ma uniwersalnych wytycznych, na podstawie których można przystąpić do realizacji naprawy. Poszczególni producenci statków powietrznych tworzą własne programy naprawcze dla konkretnych produktów, gdzie zakres i technologia wykonywania tego rodzaju napraw są prezentowane bez podawania szczegółowych kryteriów naprawczych (które to pozostają swoistą tajemnicą firmy). Dokumenty powstają w oparciu o programy badawcze realizowane przez laboratoria producentów lotniczych i eksploatacyjne doświadczenia przekazywane przez przewoźników obsługujących statki powietrze z naprawianymi elementami.

Doświadczenia niektórych firm zajmujących się naprawą konstrukcji lotniczych wskazują na ogólną zasadę projektowania i wykonywania naprawy uszkodzonej struktury- zredukowania dopuszczalnego współczynnika bezpieczeństwa uszkodzonego elementu do poziomu nie niższego niż 1.2 [6]. Ocenę zmiany współczynnika bezpieczeństwa w uszkodzonej strukturze można obecnie wykonać wykorzystując nowoczesne programy do obliczeń numerycznych (wykonujących obliczenia inżynierskie w oparciu o metodę elementów skończonych). W pracy wykonano analizę wpływu uszkodzenia pokrycia na wytrzymałość struktury półskorupowej statecznika poziomego samolotu TS-8 Bies.

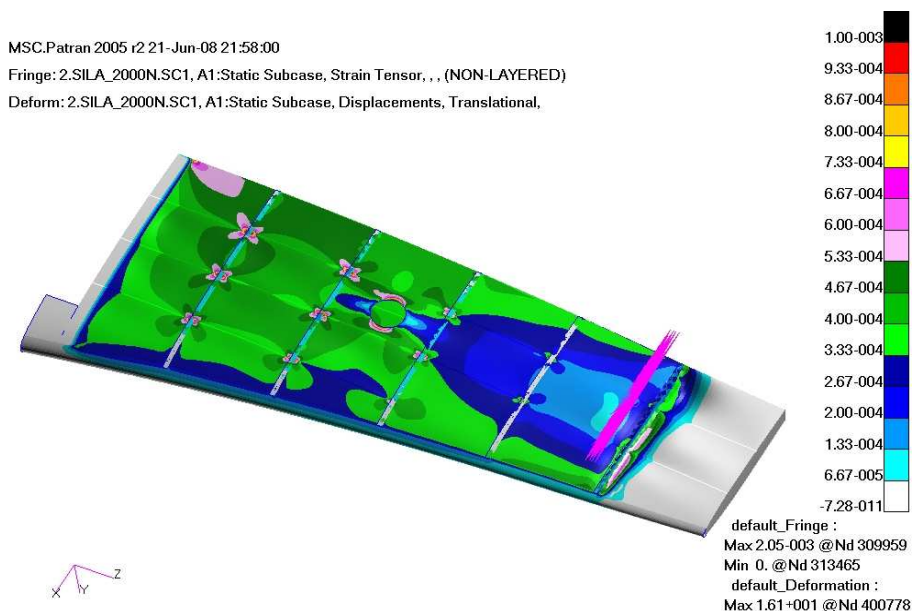
ANALIZA USZKODZENIA STRUKTURY PÓLSKORUPOWEJ

Obliczenia numeryczne wykonano wykorzystując metodę elementów skończonych (MES), która jest stosowana w środowisku programowym MSC Patran/Nastran. Analizie wytrzymałościowej poddano statecznik poziomy samolotu TS-8 Bies o konstrukcji półskorupowej, w którym wyróżniamy: pokrycie, podłużnice, żebra oraz dźwigary: przedni i tylny. Na podstawie statecznika zdemontowanego z samolotu wykonano jego model geometryczny, starając się odwzorować jego poszczególne elementy składowe i strukturę minimalizując uproszczenia konstrukcyjne. Następnie, na bazie modelu geometrycznego, wykonano model numeryczny składający się z elementów typu SHELL (pokrycie, żebra, ścianki dźwigarów) oraz BAR (podłużnice, pasy dźwigarów). W opracowanym modelu numerycznym warunki brzegowe odpowiadały sposobowi zamocowania statecznika na stanowisku badawczym oraz sposobowi zadawania obciążeń zewnętrznych. Dla wszystkich elementów modelu przyjęto jednakowe właściwości materiałowe- stopu aluminium serii 2024T4. Model statecznika został utwierdzony z jednej strony w węzłach na całym jego obwodzie oraz na długości pięciu kolejnych rzędów węzłów. Utwierdzenie polegało na odebraniu węzłom wszystkich stopni swobody – rys. 2.



Rys. 2. Model geometryczny statecznika poziomego

W badaniu przyjęto, że siła zewnętrzna obciążająca statecznik będzie miała wartość równą 2000 [N]. Wartość siły obciążającej została wyznaczona z zależności analitycznych opisujących wartość obciążeń niszczących konstrukcję półskorupową [7]. Obciążenie zostało zamodelowane z wykorzystaniem elementu typu RBE 3 (element specjalny o nieskończonej sztywności). Siła zewnętrzna do modelu została przyłożona przez węzeł niezależny elementu – węzeł mocowania siłownika. Węzły zależne, które przenoszą obciążenie od węzła niezależnego są rozłożone na całej szerokości usterzenia na czterech rzędach elementów skończonych pokrycia.



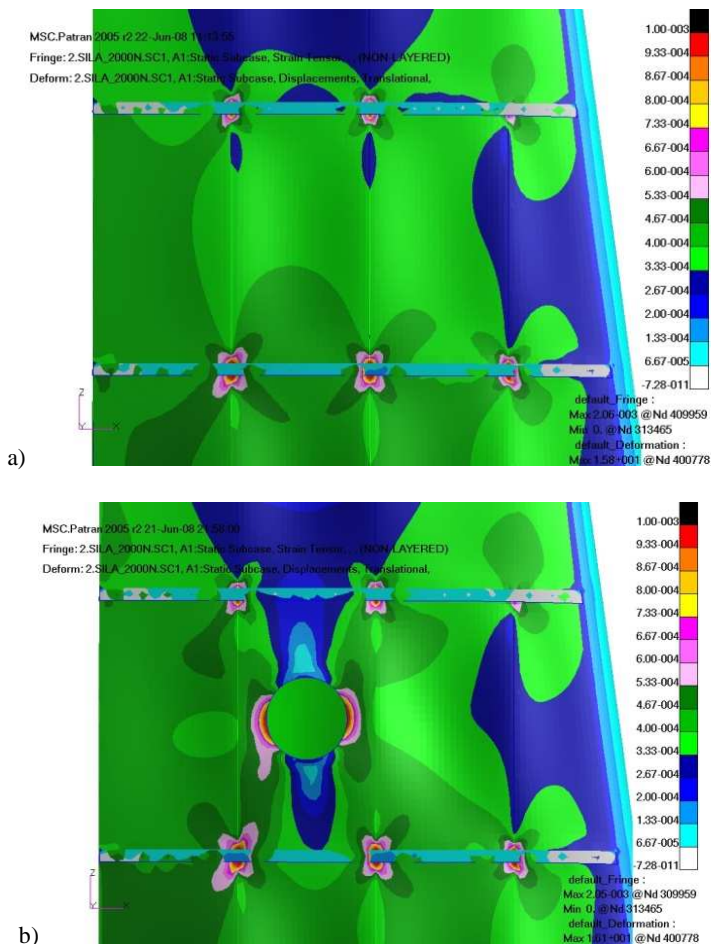
Rys. 3. Rozkład odkształceń w stateczniku poziomym z uszkodzeniem

Analizowano zmianę rozkładu naprężeń i odkształceń w stateczniku nieuszkodzonym i uszkodzonym. Uszkodzenie zostało zamodelowane otworem $\varnothing 100$ mm w środkowej części pokrycia statecznika (rys. 3). Porównanie rozkładu naprężeń zredukowanych w strefie uszkodzenia statecznika nieuszkodzonego i uszkodzonego przedstawiono na rys. 4.

W okolicy uszkodzenia obserwowano zjawisko spiętrzenia naprężeń – ponad dwukrotny wzrost naprężeń w kierunku równoległym do żebra usterzenia oraz spadek naprężeń w kierunku równoległym do podłużnic. Tego rodzaju zmiany w pokryciu są charakterystyczne dla lokalnej utraty stateczności pokrycia (w strefie pomiędzy podłużnicą i żebrum usterzenia. Na podstawie otrzymanych wyników z obliczeń numerycznych można sformułować wniosek, że o ile uszkodzenie zmienia rozkład odkształceń w strefie uszkodzenia to są to zmiany ograniczone, w przypadku cienkościennej konstrukcji półskorupowej, do obszaru pokrycia wyznaczonego przez żebra i podłużnice.

Poza tymi elementami wzmacniającymi obserwowane odkształcenia zmieniają się w znikomym stopniu. Uszkodzenie powoduje, że elementy usztywniające tzn. żebra i podłużnice przenoszą większy wydatek obciążenia – są bardziej wyężone.

W związku z powyższym dokonując naprawy pokrycia półskorupowej konstrukcji cienkościennej, która nie obejmuje elementów usztywniających, a jedynie samo pokrycie głównym kryterium naprawczym jest odtworzenie sztywności pokrycia w miejscu uszkodzenia oraz problem zachowania stateczności naprawianego elementu.



Rys. 4. Porównanie rozkładu odkształceń w stateczniku poziomym:
 a) bez uszkodzenia, b) z uszkodzeniem

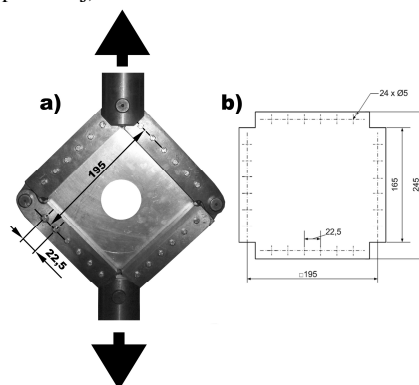
ZAGADNIENIE UTRATY STATECZNOŚCI NAPRAWIANEGO POKRYCIA

W konstrukcjach lotniczych, gdzie ze względu na określoną wartość współczynnika bezpieczeństwa (1,5...1,7) dozwolona jest lokalna utrata stateczności pokrycia już przy obciążeniach dopuszczalnych występujących w locie, istnieje niebezpieczeństwo, że w przypadku uszkodzonego pokrycia odkształcenia obciążonej konstrukcji spowodują od razu ogólną utratę stateczności konstrukcji (wyboczeniu ulegnie nie tylko pokrycie ale również elementy szkieletu) bez fazy początkowej tj. lokalnej utraty stateczności. Stąd istnieje konieczność naprawy nawet najmniejszych uszkodzeń pokrycia. Istnieje również potrzeba oceny efektywności wykonywanych napraw na uszkodzonym pokryciu.

W celu oceny efektywności naprawy pokrycia wykonanej z wykorzystaniem materiałów kompozytowych przeprowadzono badania eksperymentalne na próbkach modelowych. Do badań

wykorzystano przegubową ramkę, w której za pomocą śrub mocowano próbki płytowe o kształcie prezentowanym na rys. 5. Badaniom eksperymentalnym poddano próbki wykonane w postaci płyt z duralowej blachy 2024T4. Do badań wytypowano blachy o grubości 1mm. Ramka zapewniała sztywne podparcie krawędzi badanych próbek wzdłuż boków, tworzących kwadrat o wymiarach 195x195 mm. Badane fragmenty blach mocowano do przegubowej ramki za pomocą śrub średnicy 5 mm, rozstawionych równomiernie wzdłuż krawędzi ramki z zachowaniem stałej podziałki rozstawu 22,5 mm.

Ramkę obciążano siłami zgodnie ze schematem ilustrowanym na rys. 4a. W badaniach wyznaczano zmianę wartości obciążenia płyty w funkcji jej odkształcenia oraz nośność płyty. Badaniom poddano płyty nieuszkodzone, płyty uszkodzone i płyty naprawiane. Uszkodzenie płyty miało postać otworu o średnicy 60 mm wykonanego centralnie w płycie (geometria wykonanego uszkodzenia wynikała z geometrii ramki oraz geometrii wykonanej nakładki naprawczej).



Rys. 4. Widok ramki wykorzystywanej w badaniach eksperymentalnych (a) oraz kształt i wymiary próbek płytowych przygotowanych do badań (b).

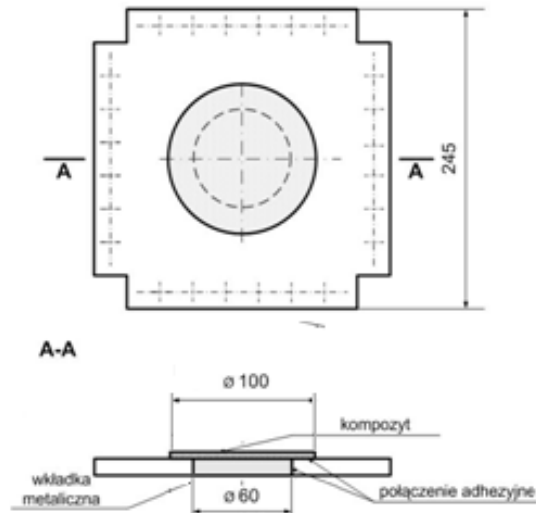
Naprawę uszkodzonych próbek zrealizowano poprzez wprowadzanie do otworu wkładki metalowej (wykonanej z tego samego materiału co badane próbki) i następnie metodą ręcznego nalaminowania kolejnych warstw tkaniny z włókien węglowych lub szklanych tworzących na zewnętrznej powierzchni płyty kompozytową nakładkę wzmacniającą. Przygotowano próbki z nakładką wzmacniającą formowaną na jednej powierzchni płyty ze względu na ograniczony dostęp do naprawianego pokrycia na płatowcu. Do przesykania tkaniny szklanej i węglowej wykorzystano kompozycję opartą na żywicy epoksydowej Epidian 53 utwardzanej trietylenotetraaminą (TECZA). Próbki utwardzono pod naciskiem $6,5 \text{ N/cm}^2$ przez 12 godzin w temperaturze otoczenia i następnie w temperaturze 80°C w czasie pięciu godzin (rys. 6).

Kompozytowe nakładki wzmacniające formowano w kształcie okrągłych łatek o średnicy 100mm (w ten sposób pomiędzy krawędziami otworu i nakładki wzmacniającej kształtowano zakładkę o długości 20 mm). Do wykonania nakładek wzmacniających wykorzystano tkaniny o splocie prostym, w tym tkaninę szklaną belgijskiej firmy Syncoglass o gramaturze 160g/m^2 oraz tkaninę węglową firmy KDL również o gramaturze 160g/m^2 .

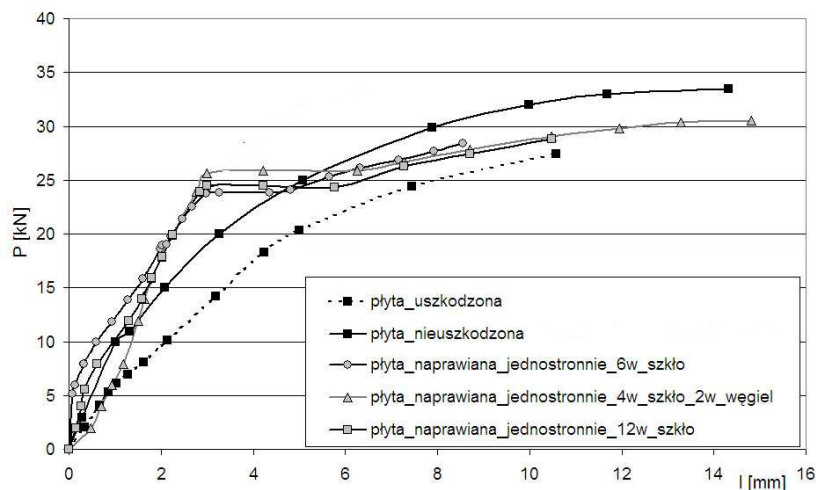
Po przygotowaniu próbki mocowano w ramce przyrządu i następnie zakładano ramkę z próbką w uchwytach maszyny wytrzymałościowej ZD-10, poddawano ją rozciąganiu z prędkością 15 mm/min. Dla każdej próbki rejestrowano przebieg zależności zmiany siły w funkcji przyrostu wydłużenia ramki ($P = f(\Delta l)$). Wykonano badania dla próbek, w których modyfikowano grubość nakładki wzmacniającej (poprzez zmianę ilości warstw w laminacie) oraz rodzaj tkaniny w poszczególnych warstwach laminatu (węglowe, szklane lub naprzemiennie szklane i węglowe) w postaci kompozytu 6-cio i 12-sto warstwowego szklanego i szklano-węglowego.

Przy badaniu płyty nieuszkodzonej (bez otworu) i uszkodzonej (z otworem) oraz płyt naprawianych materiałami kompozytowymi za nośność przyjmowano wartość siły niszczącej płytę lub wartość siły, przy

której uszkodzeniu ulegało połączenie adhezyjne lub materiał kompozytowy. W trakcie wyznaczania zależności odkształcenia płyty od wartości obciążenia, obserwowano również moment utraty stateczności płyty, który objawił się spadkiem wartości obciążenia przy jednoczesnym wzroście odkształcenia. Obciążenie, przy którym następowało charakterystyczne załamanie krzywej przyjmowano jako obciążenie krytyczne. Po przekroczeniu obciążenia krytycznego płyta ulegała pofalowaniu i spadała jej sztywność w kierunku prostopadłym do płaszczyzny środkowej. Wyniki badań przedstawiono na rys. 6.



Rys. 5. Schemat wykonania naprawy uszkodzonej płyty za pomocą wkładki metalowej i nakładki kompozytowej



Rys. 6. Charakterystyki obciążenia ($P = f(\Delta l)$) płyt poddanych ścinaniu, wykonanych z duralowej blachy 2024T4 o grubości 1 mm z zastosowaniem różnych metod naprawy

Dla wszystkich zastosowanych metod naprawy wartość obciążenia, przy którym nastąpiła gwałtowna zmiana charakteru krzywej była porównywalna i wynosiła ok. 25kN. Po przekroczeniu tej wartości obciążenia, próbki ulegały odkształceniu (charakterystyczny 'uskok' na krzywej), niezależnie od rodzaju nakładki wzmacniającej. Moment gwałtownej zmiany przebiegu krzywej związany był z niszczeniem połączenia adhezyjnego między metaliczną wkładką, a kompozytową nakładką i dynamicznym wypchnięciem metalicznej wkładki z otworu. Jednocześnie uszkodzeniu ulegało również połączenie adhezyjne pomiędzy kompozytową nakładką, a płytą.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

- w strukturze półskorupowej uszkodzenie samego pokrycia wywołuje lokalną zmianę (wzrost odkształceń w strefie uszkodzenia ograniczonej żebrami i podłużnicami,
- projektując naprawę pokrycia struktury półskorupowej należy przyjmować jako kryterium naprawcze ograniczenia związane ze zjawiskiem lokalnego wyboczenia pokrycia,
- w badaniach eksperymentalnych naprawianych płyt (gdzie wykorzystywano jednostronną kompozytową nakładkę wzmacniającą) nie uzyskano wartości siły krytycznej odpowiadających płycie nieuszkodzonej,
- wszystkie naprawiane płyty, w zakresie obciążeń o wartości mniejszej od siły krytycznej wyznaczonej dla płyty nieuszkodzonej, charakteryzują się wyższą od niej sztywnością początkową.
- naprawiane płyty - niezależnie od struktury nakładek wzmacniających (kompozyt szklany, szklano-węglowy) charakteryzuje porównywalna wartość siły krytycznej,

LITERATURA

1. Godzimirski J.: Naprawa płatowców. WAW, Warszawa 1998.
2. Lewitowicz J.: Podstawy eksploatacji statków powietrznych cz.4. Wydawnictwo ITWL Warszawa 2007.
3. Bieżący i średni remont sprzętu lotniczego. DWL Poznań 1990.
4. Jones A., Peel C.J.: The analysis of aircraft component failures. In: Goel V.S., editor. Analysing failures: the problems and the solutions. Cleveland, OH: American Society for Metals, 1986.
5. Baker A. Chester R. Davis M. Roberts J. Retchord J.: Reinforcement of the F-111 wing pivot fitting with a baron/epoxy doubler system- materials engineering aspects. Composites 1993.
6. Baker P. Chalkley.: Development of a generic repair joint for certification of bonded composite repairs. International Journal of Adhesion and Adhesives 19 p. 1999
7. Cichosz E.: Obciążenia zewnętrzne samolotu. Wydawnictwo WAT, Warszawa 1968.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt badawczy O N504 0010 33

ADHESIVE CONNECTION WITH REPAIRS TO SKIN OF AIRFRAMES

Abstract. The article presents the issues related to the repair skin semi-monocoque structures. Presentation of loss-sented an analysis of the methods of repair using adhesive's materials.

Wiktorja MNACAKANIAN
Porfirij BOJKO
Uniwersytet Górniczy
Moskwa, Rosja

**REGENERACJA WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH MIMOŚRODOWYCH POŁĄCZEŃ
W TULEJACH AGREGATÓW ROZDRABIAJĄCYCH**

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СОЕДИНЕНИЙ
ЭКЦЕНТРИКОВЫХ СТАКАНОВ ДРОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ**

Эксцентрикостаканы и сферические подшипники являются наиболее нагруженными узлами дробилок крупного, мелкого и среднего дробления. Материал эксцентрикостаканов и подшипниковых опор – сталь 30Л. Для обеспечения требуемых условий эксплуатации рабочие поверхности эксцентрика и сферического подшипника в базовом варианте заливают баббитом марок Б83 или Б16.

С целью экономии антифрикционного материала, применяемого для заливки поверхностей скольжения втулок эксцентрика дробилок и сферического подшипника, снижения трудоемкости и повышения качества восстановительных работ, а также для повышения работоспособности реставрируемых деталей, более целесообразным является применение газотермических методов напыления для восстановления размеров и геометрических форм последних.

Необходимость замены технологии заливки баббитового слоя подшипников скольжения на более рациональную технологию нанесения покрытия из соответствующего материала обусловлена низкой работоспособностью и интенсивным износом поверхности скольжения вследствие некачественной заливки баббита.

Опыт применения электродуговой наплавки порошковой проволоки из оловянной бронзы ППБрОС8-21 для восстановления антифрикционного слоя втулок эксцентрика показал, что работоспособность втулок значительно повысилась [1]. Для повышения качества наплавки применяют флюсы, обеспечивающие стабильность горения дуги, получение заданного химического состава и качества наплавляемого слоя. В качестве флюсов используют марки АН-348А, АН-348АМ. Скорость наплавки составляет 16...35 м/час, величина подачи (шаг наплавки) 4...6 мм/об. Однако, производственная практика показывает, что втулки, наплавленные бронзой, для повторного использования непригодны, так как при использовании технологии электродуговой наплавки отсутствует возможность регенерации детали. Это связано, в первую очередь, со значительным тепловым эффектом, возникающим при наплавке, в результате которого структура и свойства материала поверхности основы претерпевают необратимые изменения.

В связи с этим наиболее эффективным методом восстановления работоспособности втулок эксцентрика и сферического подшипника является газотермическое напыление антифрикционного материала. Важной особенностью данного метода является возможность многократного его применения для одной и той же детали в случае полной выработки нанесенного покрытия.

Внутренние и наружные поверхности эксцентрикостакана и рабочую поверхность сферической опоры восстанавливают путем газопламенного напыления баббитового покрытия. Данная ремонтная технология применяется взамен первоначальной заливки баббитового слоя.

Сущность газопламенного напыления порошкового материала заключается в том, что напыляемый порошок, подаваемый через центральное отверстие горелки, расплавляется пламенем горючего газа. Расплавленные частицы наплавляемого металла подхватываются струей сжатого воздуха и транспортируются на восстанавливаемую поверхность. Давление сжатого воздуха

(транспортирующего газа) составляет 0,6 - 0,8 МПа. Дистанция напыления, определяющая расстояние от сопла горелки до напыляемой поверхности, составляет 150 - 170 мм. В качестве горючего газа используют смесь ацетилена с кислородом, который также подается под давлением 0,8 МПа. Напыляемый материал подается в виде порошка из накопителя по специальным каналам. Состав напыляемого материала идентичен баббитам, применяемым при заливке, в частности, Б16 и Б83. Перед нанесением покрытия, согласно разработанной технологии, выполняется предварительная подготовка поверхностей восстанавливаемых деталей: механическая обработка, обезжиривание и нанесение подслоя.

Восстанавливаемые поверхности эксцентрикового стакана обрабатываются на специальном технологическом модуле, который позволяет получить на цилиндрической части кольцевые канавки или поверхность типа «рваная резьба», а после нанесения покрытия выполнить отделочную обработку. Для сферической опоры такая подготовка может осуществляться на крупном токарно-карусельном станке при условии демонтажа многотонной опоры. В этом случае по программе, задаваемой устройством ЧПУ станка, осуществляется точение по всей рабочей поверхности сферического подшипника.

Непосредственно перед нанесением покрытия выполняют обезжиривание восстанавливаемых поверхностей с помощью уайт-спирита или тетрахлорэтилена. Затем на подготовленную базу напыляют газопламенным методом баббитовое покрытие толщиной до 12...15 мм. Нанесение баббитового покрытия происходит в автоматическом режиме с использованием встраиваемого на станок манипулятора, на котором монтируется горелка с подводом горючего и транспортирующего газов и напыляемого порошкового материала.

Ввиду различия физико-механических свойств материала основы и напыляемого слоя газопламенное напыление баббита осуществляется через подслоя композиционного терморезирующего никель-алюминиевого порошка марки ПТ-НА-01. Предварительное нанесение подслоя обеспечивает достаточно прочное сцепление покрытия с материалом основы в пределах 25 - 30 МПа. При восстановлении сферического подшипника скорость вращения чаши составляет порядка 10 - 14 м/мин и поддерживается постоянной за счет изменения частоты вращения планшайбы. Смещение горелки происходит в радиальном направлении. Величина радиальной подачи горелки составляет 2- 4 мм/об и может изменяться в зависимости от технологических параметров процесса напыления и требуемой толщины покрытия. При необходимости выполняют восстановление локального участка изношенной поверхности сферической опоры.

После нанесения покрытия для достижения требуемых показателей качества отремонтированных поверхностей выполняют отделочную механическую лезвийную обработку баббитового слоя. Опыт эксплуатации эксцентриковых стаканов и сферических опор дробильно-измельчительного оборудования показал, что применение баббитового слоя, полученного напылением, обеспечивает более высокие эксплуатационные свойства подшипниковых опор по сравнению с первоначальной технологией получения антифрикционного слоя заливкой. Кроме того, технология создания газотермического покрытия на поверхности эксцентрикового стакана позволяет уменьшить толщину баббитового слоя до 5-6 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Донченко А.С., Донченко В.А. Справочник механика рудо-обогатительной фабрики. М.: Недра, 1975, 556 с.

RESTORATION OF OPERATIONAL PROPERTIES OF CONNECTIONS ECCENTRIC GLASSES OF CRUSHING UNITS

Abstract. In the article the progressive technology of restoration of serviceability of the loaded connections eccentric glasses of crushing units is considered.

Andrzej KOMOREK
Paweł PRZYBYŁEK
Wyższa Szkoła Sił Powietrznych
Dęblin, Polska

OBUDOWY OCHRONNE WYPOSAŻENIA AWIONICZNEGO Z POWŁOKAMI NA BAZIE KOMPOZYTÓW O WŁAŚCIWOŚCIACH ABLACYJNYCH

Na pokładach statków powietrznych zabudowane są urządzenia, instalacje i przyrządy zapewniające załozdze właściwe warunki, umożliwiające kontrolę pracy zespołów i urządzeń oraz ułatwiających pilotowanie i nawigowanie statkiem powietrznym. Wyposażenie nowych oraz modernizacja awioniki użytkowanych samolotów i śmigłowców objawia przed konstruktorami nowe problemy, których rozwiązanie jest konieczne w celu spełnienia coraz surowszych warunków dotyczących zapewnienia bezpieczeństwa lotu, niezawodności, trwałości, itp. Ponadto pojawiają się całkowicie nowe obszary wymagań, zmuszających konstruktorów i producentów do poszukiwań innowacyjnych rozwiązań i weryfikacji dotychczas stosowanych. Użytkowane urządzenia elektryczne i elektroniczne emitują znaczne ilości ciepła a jednocześnie są narażone na działanie ciepła wydzielanego, przez inne urządzenia. Stosowane obecnie technologie chłodzenia (standardowe radiatory i wentylatory) zbliżają się do granic swoich możliwości. W takiej sytuacji zwiększanie funkcjonalności produktów jest coraz częściej uzależnione od odpowiedniego zarządzania ciepłem. Ponadto większość urządzeń awioniki samolotów i śmigłowców zbudowanych na bazie elementów wysokowydajnej elektroniki chroniona jest przed uszkodzeniami przez obudowy wykonane z materiałów o dużym współczynniku przewodności cieplnej, spośród których najpowszechniej stosowanymi były metale, np. stopy aluminium.

W celu ograniczenia wpływu temperatury na poprawność funkcjonowania szczególnie ważnych urządzeń awionicznych zabudowanych na pokładzie statku powietrznego w sytuacjach awaryjnych oraz przedłużenia czasu ich działania w tych stanach, zainicjowano badania zmierzające do zbudowania obudowy ochronnej zapewniającej optymalne warunki pracy wybranych urządzeń. W konstrukcji obudowy postanowiono wykorzystać kompozyty o właściwościach ablacyjnych.

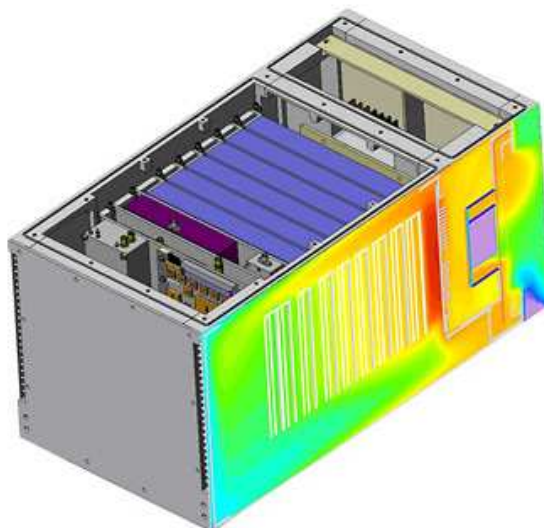
WARUNKI PRACY POZAKABINOWEGO WYPOSAŻENIA AWIONICZNEGO STATKÓW POWIETRZNYCH

Urządzenia elektroniczne stanowiące wyposażenie statków powietrznych są eksploatowane w różnorodnych warunkach wynikających z zmiany parametrów lotu oraz właściwości fizycznych otoczenia. Przyjmuje się iż np. temperatura otoczenia zmienia się w zakresie od (-60...+50)°C. Jednakże skalowanie przyrządów pokładowych przeprowadza się w temperaturze normalnej (15...20)°C. Zmiana temperatury otoczenia w tak szerokim zakresie może wywierać wpływ na:

- wymiary liniowe, tj. zmiany przelżenia, zwiększenie lub zmniejszenie szczelin itp.;
- zmianę sprężystości elementów pomiarowych;
- zmianę rezystancji przewodników elektrycznych;
- stan smarowania współpracujących elementów;
- stan mas plastycznych i materiałów izolacyjnych;
- skraplanie się pary wodnej na częściach przyrządów przy szybkiej zmianie temperatury otoczenia [3].

W celu znormalizowania warunków pracy które należy uwzględnić przy ich projektowaniu oraz wytwarzaniu, poszczególne organizacje odpowiedzialne za eksploatację sprzętu lotniczego sformułowały szereg norm określających wymagania dotyczące poprawnego funkcjonowania wyposażenia pokładowego. Wyposażenie pokładowe wojskowych statków powietrznych eksploatowanych w krajach NATO musi spełniać wymagania normy środowiskowej MIL-STD-810. Norma określa m.in.: wartość i szybkość zmian temperatury oraz ciśnienia w jakich wyposażenie lotnicze powinno działać bezawaryjnie i wiarygodnie.

Odrębne zagadnienie stanowi kontrola energii cieplnej, wytwarzanej przez urządzenia elektryczne i elektroniczne podczas ich pracy. Okazuje się, że problem ten należy rozważać zarówno w aspekcie ochrony urządzeń przed wytworzonym przez nie ciepłem jak również w aspekcie izolacji tych urządzeń od otoczenia, tak aby energia cieplna wytwarzane przez te urządzenia nie zakłócała pracy innych urządzeń. Aby zabezpieczyć i izolować elementy elektroniczne oraz zbudowane z nich urządzenia, można wykorzystać odpowiednie obudowy, uwzględniające zarówno wymagania wytrzymałościowe, masowe oraz coraz częściej zapewniającej zarządzanie ciepłem we wnętrzu obudowy. W związku z powyższym już na etapie projektowania koniecznym staje się określenie m.in. rozkładu temperatury wewnątrz zaprojektowanej obudowy przy jednoczesnym uwzględnieniu zmiany warunków otoczenia np. na wysokości 25000 m gęstość powietrza na zewnątrz jest 8 krotnie niższa niż na poziomie morza. W takich warunkach wydajność systemu chłodzenia powietrznego powinna być 8 krotnie większa. Należy również uwzględnić parametry pracy urządzenia np. im wyższa szybkość przetwarzania danych tym większa ilość wydzielanej energii cieplnej.



Rys. 1. Model obciążenia termicznego bloku elektronicznego projektowanego dla samolotów ATR stworzony przy wykorzystaniu oprogramowania "FloTHERM" firmy Hybricon Inc.

METODY ZABEZPIECZENIA TERMICZNEGO WYPOSAŻENIA STATKÓW POWIETRZNYCH

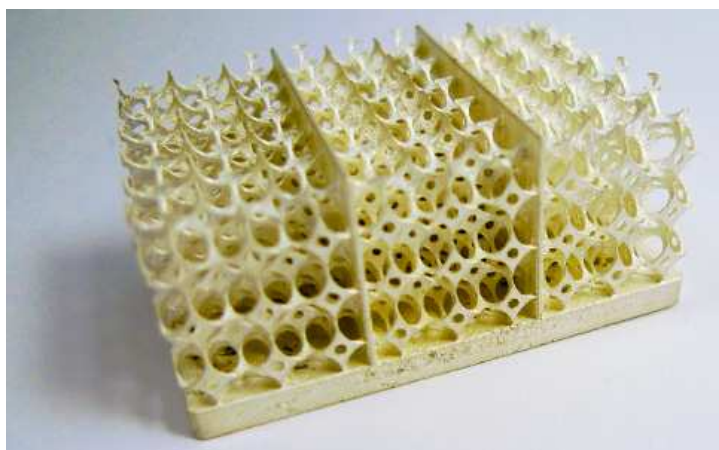
W celu zapewnienia poprawnego funkcjonowania urządzeń elektronicznych, koniecznym stało się stosowanie rozwiązań, ograniczających wpływ temperatury na ich pracę. Stosuje się m.in. układy wykorzystujące:

- radiatory,
- chłodzenia za pomocą swobodnego przepływu powietrza atmosferycznego;

- chłodzenia za pomocą wymuszonego przepływu powietrza atmosferycznego;
- chłodzenia za pomocą wymuszonego przepływu powietrza o regulowanej temperaturze;
- chłodzenia za pomocą wymuszonego przepływu cieczy;
- odpowiednio skonstruowane obudowy;
- bariery, osłony i przegrody ochronnych;
- obudowy z udziałem materiału ablacyjnego.

Chłodzenie z zastosowaniem radiatorów

W chłodzeniu urządzeń elektronicznych powszechnie stosowane są radiatory o równoległych żeberkach, które niestety osiągnęły już granice swoich możliwości. Pojawiają się nowe rozwiązania np. radiator żeberkowo-komórkowy (Fin-Foam Heat Sink - FFHS) opracowany przez Alcatel-Lucent Bell Labs, który rozprasza dwa razy więcej ciepła niż standardowy radiator o równoległych żeberkach przy tej samej szybkości przepływu powietrza. Jednakże nie znalazły one szerszego zastosowania w lotnictwie.



Rys. 2. Radiator żeberkowo-komórkowy

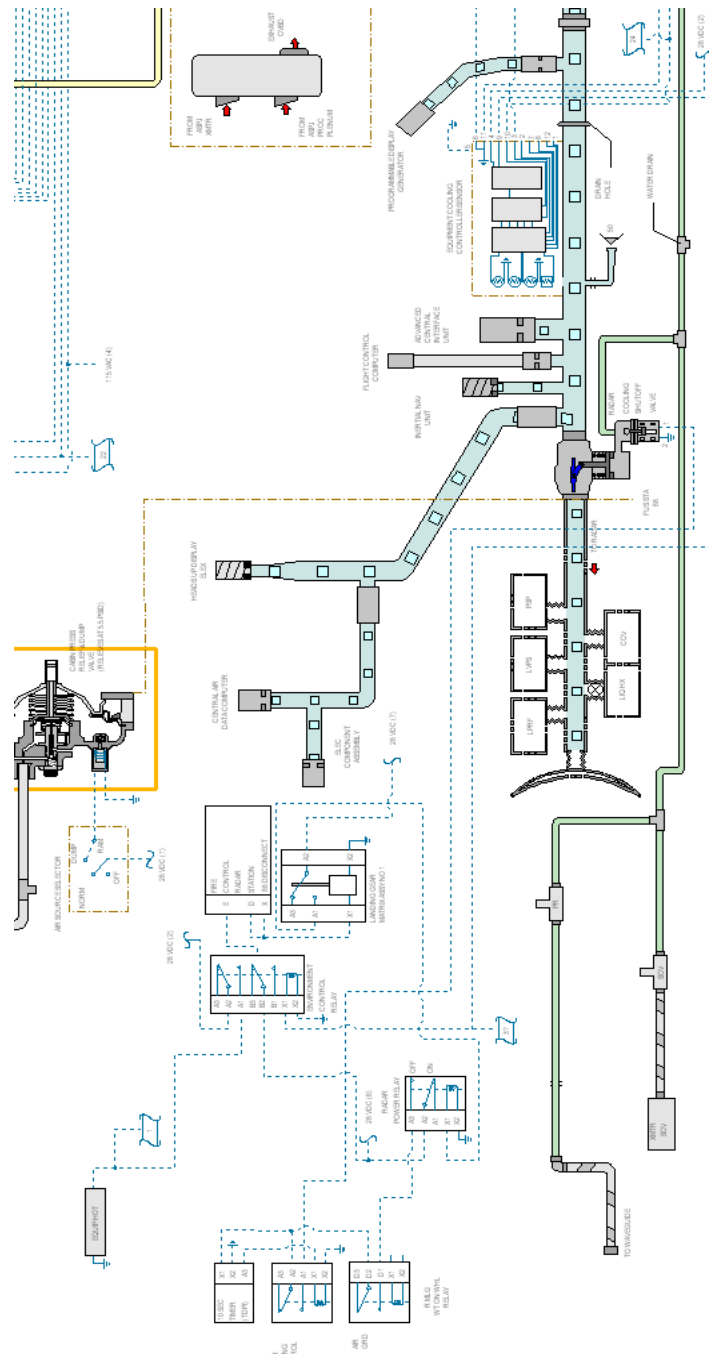
Chłodzenie z wykorzystaniem układów przepływowych

Rozwiązaniem najpowszechniej stosowanym obecnie w lotnictwie są systemy chłodzące wykorzystujące jako medium odbierające ciepło od wyposażenia:

- powietrze;
- paliwo;
- ciecz chłodząca.

Układ wykorzystujący przepływ powietrza wykorzystywany jest np. w samolocie F-16 wyposażonym w system kontroli temperatury i ciśnienia powietrza (ECS- environmental control system), składający się z obwodów:

- zasilającego;
- dystrybucji powietrza;
- ciśnieniowania kabiny;
- chłodzenia;
- chłodzenia wyposażenia radiowo-elektronicznego.

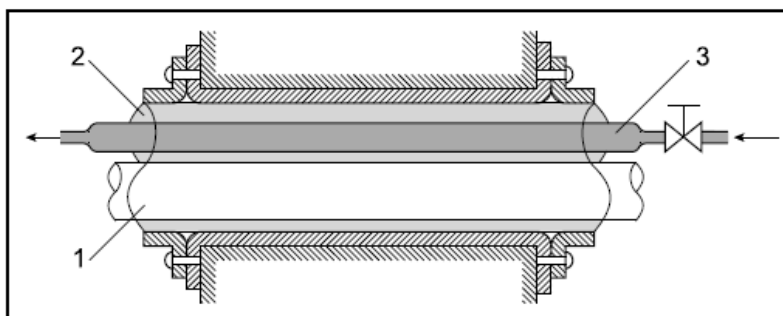


Rys. 3. Schemat systemu kontroli temperatury i ciśnienia powietrza samolotu F-16

W podobny sposób realizowane jest chłodzenie wyposażenia elektronicznego na takich samolotach jak:

- A380, wyposażonym w dwa niezależne systemy chłodzące: lewy i prawy przeznaczone do chłodzenia:
 - elementów wyposażenia pokładowego;
 - zasadniczego systemu zasilania;
 - tylnych i górnych luków wyposażenia elektronicznego.
- Boeing B767, w którego wczesnych wersjach samolotu system wymiany ciepła wykorzystywał poszycie samolotu, a w późniejszych cyrkulacja powietrza odbywa się w dolnych przedziałach samolotu.

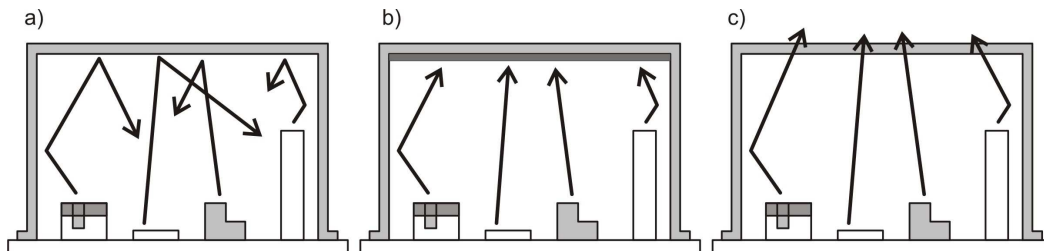
Innym rozwiązaniem zadania odbioru ciepła od elementów wyposażenia jest zastosowanie systemu chłodzenia, w którym czynnikiem roboczym jest ciecz. Do chłodzenia prądnic, w niektórych samolotach jako czynnik chłodzący stosowane jest paliwo (Su-22M4). Prądnice prądu stałego na samolocie F-22 są chłodzone cieczą dielektryczną PAO. Stosowanie chłodzenia cieczowego prądnic pozwala na uzyskanie większej mocy jednostkowej (z 1 kg masy prądnicy).



Rys. 4. Przykład rozwiązania chłodzenia kabla energetycznego przepływającym czynnikiem chłodzącym:
1 – rdzeń, 2 – ciecz dielektryczna, 3 – przewód chłodzący

Obudowy i osłony ochronne

Rozwiązaniem, które jest stosowane do ochrony termicznej pojedynczych elementów elektronicznych są specjalne osłony z materiałów o odpowiedniej do potrzeb przewodności cieplnej (polimer wypełniony materiałem przewodzącym ciepło lub będącym izolatorem cieplnym).



Rys. 5. Schemat koncepcji obudowy ochronnej, a) obudowa odbijająca energię cieplną, b) obudowa z warstwą pochłaniającą energię cieplną, c) obudowa z materiału o dobrej przewodności cieplnej

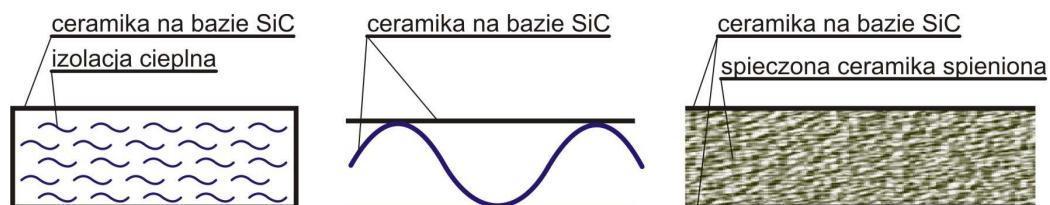
Kolejną metodą zabezpieczenia wyposażenia awionicznego statku powietrznego przed oddziaływaniem wysokiej temperatury i ognia jest stosowanie powłok, osłon i barier, chroniących wybrane elementy przed działaniem ognia w przypadku wystąpienia pożaru na pokładzie statku powietrznego, np. pokrywanie przewodów elektrycznych lub przegród (rys. 6) specjalnymi materiałami tworzącymi barierę ochronną.



Rys. 6. Przegroda ochronna śmigłowca W-3 pokryta szpachlówką ognioodporną

Materiały ablacyjne jako powłoki ochronne

W budowie statków powietrznych od pewnego czasu wykorzystuje się specjalistyczne materiały służące do zabezpieczania różnych elementów przed wpływem wysokiej temperatury. W ostatnich latach często korzysta się z materiałów posiadających właściwości ablacyjne (chłodzenie na skutek odparowania lub odsublumowania ochronnego materiału). Zjawisko to wykorzystywano dotychczas przy budowie elementów dysz wylotowych silników raketowych, systemu ochrony termicznej (FGM) zastosowanego w samolocie kosmicznym (program Orient-express) oraz systemu TPS (Thermal Protection System) wykorzystywanego na promach kosmicznych.



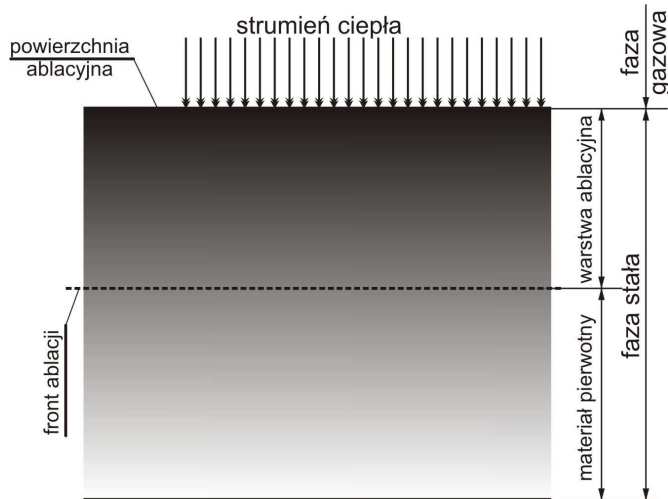
Rys. 7. Osłony cieplne czołowych powierzchni statków powietrznych do pracy w temperaturach 1250...1700 °C [7]

Ablacja jest samoregulującym się procesem wymiany ciepła i masy w wyniku którego na skutek przemian fizycznych oraz reakcji chemicznych, dochodzi do nieodwracalnych zmian strukturalnych i chemicznych materiału z równoczesnym pochłanianiem ciepła. Proces ten jest inicjowany i podtrzymywany z zewnętrznych źródeł energii cieplnej [1].

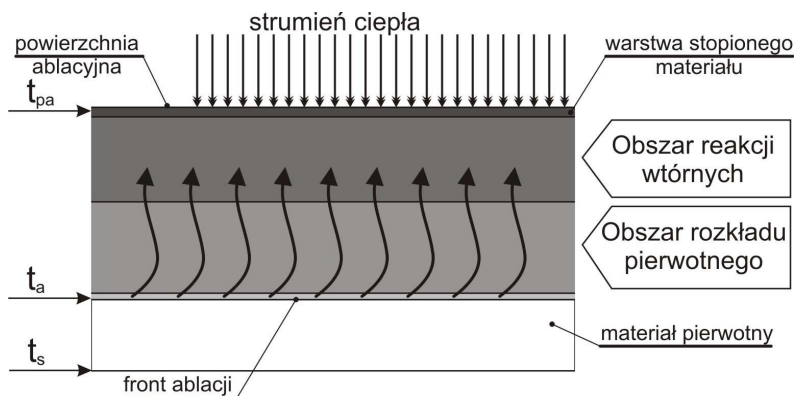
W procesie ablacji strumień energii zużywany jest na:

- depolimeryzację organicznych składników kompozytu;

- topnienie, parowanie i sublimacje łatwo topliwych napelniaczy kompozytu i produktów depolimeryzacji;
- nagrzewanie produktów odprowadzanych do otoczenia;
- endotermiczne reakcje pomiędzy składnikami kompozytu i produktami depolimeryzacji;
- konwekcyjną wymianę ciepła z otoczeniem;
- wymianę ciepła przez promieniowanie [2].



Rys. 8. Schemat fizycznego modelu ablacji [2]

Rys. 9. Schemat warstwy ablacyjnej, t_{pa} – temperatura powierzchni ablacyjnej, t_a – temperatura frontu ablacji, t_s – temperatura tylnej powierzchni ścianki [2].

W materiale ablacyjnym podczas przebiegu procesu ablacji możemy wyróżnić:

- powierzchnię ablacyjną na styku fazy gazowej i stałej;
- powierzchnię rozkładu zwaną „frontem ablacji” oddzielającą warstwę ablacyjną od materiału pierwotnego;

- warstwę ablacyjną znajdującą się w fazie stałej pomiędzy powierzchnią ablacyjną i frontem ablacji;
- warstwę materiału pierwotnego w warstwie stałej.

W warstwie ablacyjnej można wyróżnić: obszar rozkładu pierwotnego i obszar reakcji wtórnych odpowiadające zachodzącym w niej zjawiskom określenie których jest niezbędne do przeprowadzenia bilansu energetycznego.

ZAŁOŻENIA DO BADAŃ KONSTRUKCJI OBUDOWY OCHRONNEJ WYPOSAŻENIA AWIONICZNEGO STATKÓW POWIETRZNYCH

Opisane metody zabezpieczają urządzenia elektroniczne przed wpływem temperatury podczas normalnej pracy i w określonym zakresie, np. na samolocie F-16, po zaświeceniu się lampki EQUIP HOT, należy natychmiast wyłączyć wyposażenie elektroniczne, chyba, że jest niezbędne do lotu (niektóre urządzenia są wyłączane automatycznie).

Taki schemat działania powoduje, że systemy tylko w ograniczony sposób zabezpieczają urządzenia elektroniczne przed działaniem temperatur powyżej określonej wartości, np. wytworzonej w wyniku pożaru na pokładzie statku powietrznego. Dodatkowo układy te działają często asekuracyjnie, powodując wcześniejsze niż to jest konieczne wyłączenie zabezpieczanego urządzenia z użytkowania a tym samym niejednokrotnie pozbawiają załogę informacji i możliwości, które w momencie wystąpienia zdarzenia lotniczego związanego np. z pożarem mogą mieć kluczowe znaczenie dla ratowania życia załogi, pasażerów, ładunku lub kontynuowania misji do czasu gdy zmiana warunków umożliwiłaby bezpieczne jej zakończenie.

W związku z powyższym zainicjowane zostały badania mające na celu stworzenie uniwersalnej obudowy ochronnej, która w sytuacji awaryjnej, polegającej na wzroście temperatury bezpośredniego otoczenia pracy urządzenia elektronicznego zapobiegłaby:

- przedwczesnemu wyłączeniu urządzenia z użytkowania;
- zniszczeniu urządzenia poprzez oddziaływanie wysokiej temperatury;
- zniszczeniu innych urządzeń elektronicznych zabudowanych w bezpośrednim sąsiedztwie w przypadku zapłonu elementów ochraniającego urządzenia.

Wobec tego, iż chronione urządzenia również emitują ciepło, wydaje się, że w badaniach należy uwzględnić zapewnienie ochrony przed autoogrzewaniem.

Do przeprowadzenia obliczeń wstępnych, założono, że obudowa będzie miała kształt kulisty, ze względów technologicznych składający się z dwóch elementów połączonych opaską.

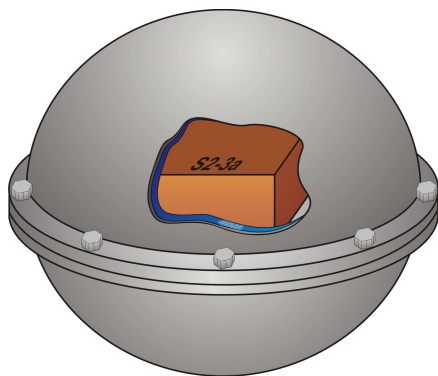
Ponadto założono wstępnie dwie koncepcje umieszczenia warstwy zabezpieczającej obudowy:

- na wewnętrznej stronie obudowy (rys. 10),
- na zewnętrznej stronie obudowy.

Jako materiał konstrukcyjny do budowy modelu badawczego zostanie wykorzystany stop aluminium, najczęściej stosowany na standardowe obudowy urządzeń wyposażenia elektronicznego statków powietrznych.

Do wytworzenia warstwy ochronnej postanowiono wykorzystać kompozyty o właściwościach ablacyjnych.

Do prawidłowego wykorzystania właściwości ablacyjnych materiału wymagana jest znajomość i uwzględnienie „ablacyjnego zużycia się materiału”, czyli procesu zmniejszania się czynnej objętości tworzywa nie podlegającego ablacji [4].



Rys. 10. Koncepcja uniwersalnej obudowy ochronnej wykorzystującej materiał ablacyjny umieszczony wewnątrz

Szybkość ablacji jest jednym z podstawowych kryteriów pozwalających na porównanie właściwości różnych materiałów, natomiast z punktu widzenia właściwości eksploatacyjnych i użytkowych najważniejszą cechą termoochronną materiału ablacyjnego jest stopień redukcji temperatury tylnej powierzchni ścianki izolującej. Szybkość ablacji zależna jest od ciepła ablacji H oraz gęstości strumienia ciepła q doprowadzonego do powierzchni ablacyjnej. Efektywne ciepło ablacji materiału H wyraża się zależnością pomiędzy gęstością strumienia ciepła i masową szybkością ablacji:

$$H - \frac{q_0}{\dot{m}} - \left(\int_{T_s}^{T_a} c_p dT + \xi [c_f + \beta (\Delta H)_0] + \frac{q_0}{q_0 - q_p} \right) \quad (1)$$

gdzie:

\dot{m} - masowa szybkość ablacji [g/s]

q_0 - gęstość strumienia ciepła wyznaczona dla powierzchni pierwotnej (niezdegradowanej) w temperaturze ablacji [W/m^2]

q_p - gęstość strumienia emisji [W/m^2]

c_f - ciepło przemian fazowych (topienia, parowania, sublimacji) [J/kg]

c_p - ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu [J/kgK]

T_a - temperatura bezwzględna ablacji na powierzchni materiału [K]

ΔH - przyrost entalpii gazu w warstwie granicznej [J/kg]

ξ - współczynnik zagazowania produktów pirolizy

β - współczynnik wymiany masy z powietrzem

Czas po jakim szybkość ablacji ustabilizuje się, można obliczyć z zależności:

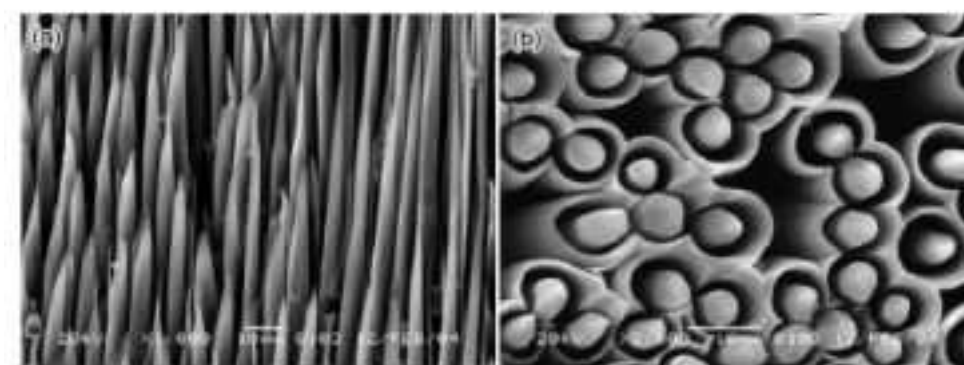
$$\tau_u = \alpha \left(\frac{1}{v_{an}} \right)^2 \quad (2)$$

Kształtowanie ablacyjnych właściwości termochronnych polega na poszukiwaniu materiałów o dużym cieple właściwym $c_p(t)$ i dużej gęstości ρ , oraz o niskim współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda(t)$ (czyli małej dyfuzyjności cieplnej). W kompozytach polimerowych po przekroczeniu temperatury ablacji (rys. 10) występują reakcje endotermiczne związane z rozkładem termicznym materiału osnowy, które powodują że efektywne ciepło właściwe c_p żywicy osiąga wysokie wartości. W czystej postaci żywice te są dobrym materiałem ablacyjnym. Jednak, ze względu na ich mięknięcie oraz porowatość i kruchość tworzącej się warstwy ablacyjnej, wymagają „zbrojenia” wysokotopliwymi napełniaczami sypkimi lub włóknistymi. Szczególnie przydatne w tym zastosowaniu są materiały wzmacniające o dużej gęstości, np. proszki lub węgliki wolframu.

Parametry ablacyjne kompozytów można poprawić poprzez zmianę rodzaju napełniaczy lub poprzez zmianę ułożenia kierunku włókien dla laminatów wzmacnianych włóknami np. dla laminatów fenolowych wzmacnianych włóknami oraz kompozytu C-C zmiana ułożenia kierunku włókien o 90° może spowodować spadek naprężeń termicznych o 50%.

Gęstość materiału kompozytowego jest w dużym stopniu zależna od nacisku w fazie prasowania i przekłada się na szybkość ablacji, która jest mniejsza w przypadku materiałów kompozytowych o dużej gęstości [5].

Również sposób ogrzewania powierzchni materiału ablacyjnego wywiera istotny wpływ na ubytek masy oraz powierzchnię obszaru powierzchni zdegradowanej [6].



Rys. 11. Obraz z mikroskopu skaningowego. Przekrój kompozytu ablacyjnego C-C, a) wzdłuż włókien, b) prostopadłe do włókien [6]

W związku z przedstawionymi uwarunkowaniami, mającymi znaczący wpływ na właściwości ablacyjne kompozytów, kluczowym staje się problem właściwego doboru materiału osnowowego obudowy. Ponadto w przypadku pokrycia ochronnego naniesionego z zewnętrznej strony obudowy, dodatkowym aspektem, który należy uwzględnić przy doborze materiału są jego właściwości mechaniczne. Ma to istotne znaczenie np. w przypadku próby zastosowania obudowy ochronnej z powłoką zewnętrzną do zabezpieczenia rejestratorów parametrów lotu, szczególnie pierwszej i drugiej generacji, wciąż użytkowanych na wielu statkach a nie spełniających obecnie obowiązujących wymagań (tabela 1).

Pierwszy etap badań będzie polegał na wykonaniu obliczeń numerycznych mających na celu dobór optymalnych parametrów geometrycznych oraz określenie właściwości ablacyjnych kompozytów. W kolejnym etapie zostanie zbudowany model obudowy ochronnej, który następnie będzie pokryty warstwą kompozytu o właściwościach ablacyjnych. Wykonany model posłuży do realizacji części eksperymentalnej badań.

Tabela. 1. Wymagania jakości zabezpieczenia zapisanych informacji określone wymaganiami EUROCAE ED55

	Wymagania zgodnie z TSO C123a (CVR), C124a (DFDR)
Ogień wysokiej intensywności	1100°C ogień pokrywający 100% obudowy przez 30 min (60 minut przy wykorzystaniu testu EUROCAE ED55)
Ogień niskiej intensywności,	260°C w czasie 10 godzin (test piekarnika)
Obciążenie udarowe	3 400 jednostek przeciążenia działającego w czasie 6,5 ms
Obciążenie statyczne	5 000 lb (2 265 kg) przez 5 minut wzdłuż każdej osi
Wpływ cieczy agresywnych	Odporność na działanie cieczy roboczych z różnych instalacji SP (paliwo, oleje itp.) przez 24 godziny
Wpływ wody	Działanie wody morskiej przez 30 dni
Odporność na przebicie	Masa 500 lb (226,5 kg) zrzucona z wysokości 10 ft (3,048 m), penetrująca obudowę stalowym ostrzem o średnicy 0,25 in. (6,35 mm)
Ciśnienie hydrostatyczne	Ciśnienie równoważne ciśnieniu wody na głębokości 20 000 ft (ok. 6 000 m)

W wyniku zrealizowanego programu badawczego zostaną określone założenia konstrukcyjne do wykonania obudowy ochronnej, która we właściwy sposób zabezpieczy wybrane urządzenia wyposażenia pokładowego przed wpływem wysokiej temperatury spełniając jednocześnie wymagania eksploatacyjne i wytrzymałościowe.

LITERATURA

2. A. Jackowski, Model fizyczny ablacji (opracowanie niepublikowane), WAT, Warszawa 1990,
3. W. Kucharczyk, Rozprawa doktorska "Kształtowanie ablacyjnych właściwości termochronnych kompozytów polimerowych z napełniaczami proszkowymi", Politechnika Radomska 2006,
4. Z. Polak, A. Rypulak, Awionika przyrządy i systemy pokładowe, WSOSP, Dęblin 2002,
5. A. Jackowski, Numeryczne rozwiązanie głównego problemu ablacji. Biuletyn WAT 1986
6. 5 Young-Jae Lee, Hyeok Jong Joo, Investigation on ablation behavior of CFRC composites prepared at different pressure, *Composites Part A. Applied Science and Manufacturing, Elsevier 2004*
7. Yin J. Zhang H. Xiong, X. Huang Boyun, Influence of microstructure of pyrocarbon on ablation performances of C/C composites, *Chinese Journal of Materials Research*, vol. 21, part 1, 2007
8. F. Wojtkun, J. Sołncew, Materiały specjalnego przeznaczenia, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2001

PROTECTIVE CONTAINMENT OF AVIONIC EQUIPMENT WITH COATING BASED ON COMPOSITE MATERIAL WITH ABLATIVE CHARACTERISTIC

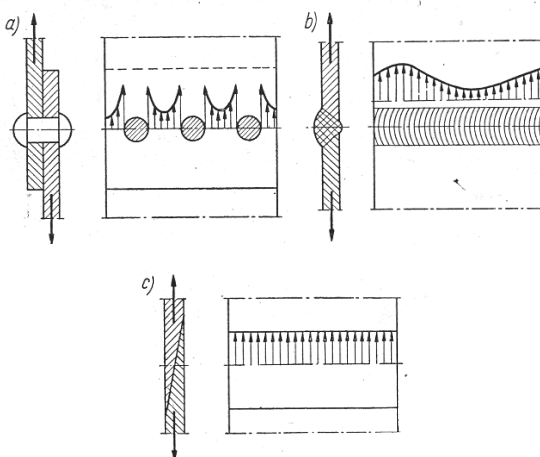
Abstract. In the article methods for aircraft avionic equipment protecting from influence of high temperature are presented. Authors proposed using composite materials with ablative characteristic to construct protective containment, which can guarantee optimal work conditions of work of chosen equipment.

Anna RUDAWSKA
Politechnika Lubelska
Lublin, Polska

WPLYW SPOSOBU PRZYGOTOWANIA POWIERZCHNI NA WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZEŃ
KLEJOWYCH BLACH ZE STALI ODPORNEJ NA KOROZJĘ

THE INFLUENCE OF SURFACE TREATMENT ON STAINLESS STEEL SHEETS BONDING
JOINT STRENGTH

Technologia klejenia wykorzystywana jest do łączenia materiałów o specyficznych właściwościach, z których wykonywane są elementy o różnorodnych kształtach lub też znajdujących się w różnych miejscach konstrukcji. Za pomocą klejenia można łączyć elementy o niewielkich rozmiarach lub o skomplikowanych kształtach, czasami trudne do połączenia za pomocą innej technologii, z uwagi np. na brak dostępu lub ograniczenie miejsca w analizowanej konstrukcji. W niektórych przypadkach klejenie jest konkurencyjną metodą wykonywania połączeń ze względu na liczne zalety [1-6], wśród których można wymienić możliwość połączenia różnego rodzaju materiałów, w tym m.in. możliwość uniknięcia korozji elektrochemicznej, otrzymanie lżejszej konstrukcji w porównaniu z innymi technologiami, czy też uzyskanie równomiernego rozkładu naprężeń (rys. 1) w porównaniu z innymi rodzajami połączeń, np. nitowymi, czy spawanymi [6].



Rys. 1. Porównanie rozkładów naprężeń w połączeniach: a) nitowanych, b) spawanych, c) klejowych

Pomimo wielu zalet technologii klejenia projektując połączenie określonych materiałów należy zwrócić uwagę na pewne ograniczenia [7, 8], do których można zaliczyć m.in. podleganie procesom starzenia spoin klejowych [1, 2, 8], zmienność warunków eksploatacji połączeń klejowych, skomplikowana niekiedy technologia związana ze sposobem przygotowania powierzchni do klejenia (zwłaszcza materiałów wykazujących trudności w klejeniu [6, 8]), a także zapewnienie często specyficznych warunków utwardzania spoiny klejowej [1, 7, 8].

Projektując lub też dobierając technologię wykonywania połączeń, należy dokonać szczegółowej analizy zarówno zalet, jak i pewnych ograniczeń rozpatrywanych technologii, przy czym niezwykle istotny jest rodzaj łączonego materiału oraz właściwie zaprojektować połączenia.

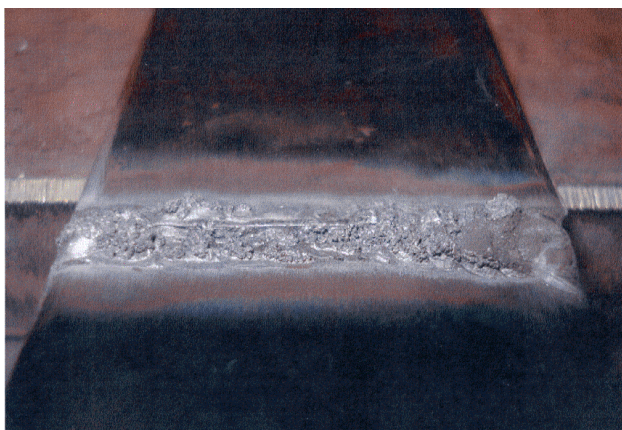
Prezentowany artykuł został przygotowany na podstawie zagadnień rozważanych w jednej z puławskich firm zajmujących się wykonywaniem połączeń blach ze stali kwasoodpornej.

ŁĄCZENIE BLACH ZE STALI KWASOODPORNEJ

Dotychczasowa technologia połączeń blach ze stali kwasoodpornej dotyczyła wykonywania połączeń spawanych. Połączenia spawane ze względu na możliwość przenoszenia dużych obciążeń są często stosowane w różnych konstrukcjach stalowych (maszyny, konstrukcje szkieletowe, mosty i inne) [9, 10]. Blacha ze stali kwasoodpornej wykorzystywana jest w wielu konstrukcjach przemysłu m.in. spożywczego, chemicznego, budowlanego, przede wszystkim z uwagi na swoje właściwości antykorozyjne [10].

Jedną z metod łączenia blach ze stali kwasoodpornej jest spawanie [11, 12], które należy do najpowszechniej wykorzystywanych metod łączenia stali nierdzewnej, chociaż nie wszystkie gatunki tej stali mogą być łączone w procesie spawania [12].

Analizowany materiał ze względu na swoją strukturę i skład chemiczny jest trudny do spawania, ponieważ pod wpływem wysokich temperatur ulega znacznym odkształceniom. Problem ten występuje zwłaszcza w przypadku blach (lub też elementów) o niewielkiej grubości, gdzie przy krawędziach łączonych elementów można zaobserwować zmiany wymiaru, wywołane skurczem spoiny. W przypadku łączenia najczęściej blach o niewielkiej grubości i dużej powierzchni, przy spawaniu ciągłym można zauważyć pofalowanie powierzchni blach w pobliżu spoiny. Inny problem występuje przy spawaniu łukowym elektrodą nietopliwą w osłonie gazu obojętnego, gdzie konieczne jest zastosowanie od spodu łączonych elementów tzw. poduszki gazowej [11, 13]. W przypadku dużych płaskich powierzchni lub też w konstrukcjach, w których brak jest dostępu z drugiej strony łączonych materiałów zastosowanie wspomnianej metody spawania jest niezwykle trudne i kosztowne. Przykład połączeń spawanych, w których nie istniała możliwość zastosowania osłony gazowej z drugiej strony połączenia przedstawiono na rys. 2 [13]. Brak osłony gazowej od spodu elementów spowodował utlenienie się przetopu, a taka sytuacja całkowicie dyskwalifikuje tak wykonaną spoinę.



Rys. 2. Przykład nieprawidłowo wykonanej spoiny spawalniczej ze względu na brak osłony gazowej z drugiej strony łączonych elementów

Na rys. 3 [13] zamieszczono przykład połączenia spawanego otrzymanego w przypadku zbyt małej ilości gazu osłonowego z drugiej strony łączonych elementów. Otrzymano chropowatą i nierówną powierzchnię przetopu, który może być zaakceptowany w spoinach o mniejszych wymaganiach, np. w sytuacji, gdy wymagana jest tylko szczelność.



Rys. 3. Przykład nieprawidłowo wykonanej spoiny spawalniczej ze względu na zbyt małą ilość gazu osłonowego z drugiej strony łączonych elementów

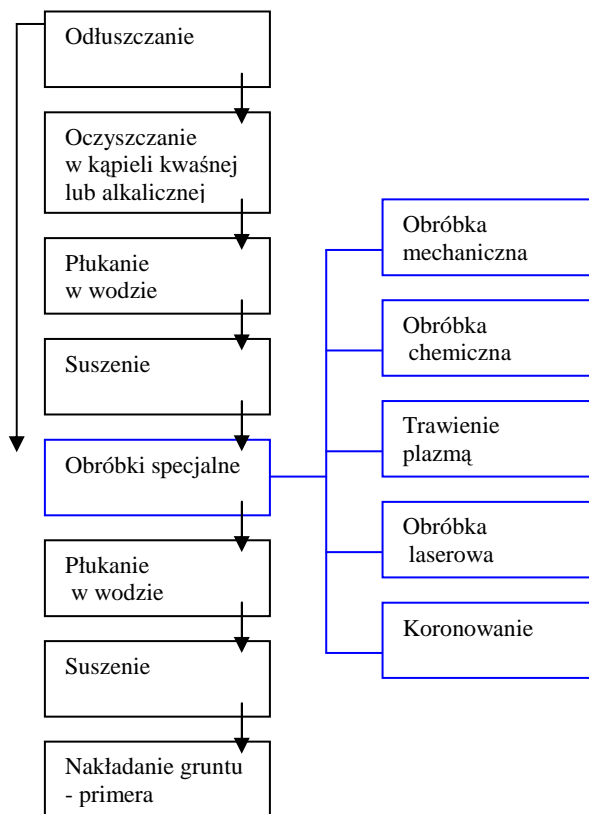
W związku z trudnościami występującymi podczas spawania blach ze stali kwasoodpornej, jako jedną z alternatywnych metod została zaproponowana technologia klejenia. Uwzględniając wytrzymałość połączeń spawanych i klejowych, niewątpliwie większą wytrzymałością charakteryzują się połączenia spawane. Przeprowadzone wstępne badania doświadczalne (na próbkach klejowych jednozakładkowych, których charakterystyka została przedstawiona w pracach [1, 2, 5, 14], wykazały wytrzymałość połączeń spawanych wynoszącą około 435 MPa, co stanowiło około 30 większą wytrzymałość niż dla połączeń jednozakładkowych analizowanych blach ze stali nierdzewnej. Jednak w związku z tym, że badane połączenie będzie przenosiło obciążenia rzędu 2000 N, można zaproponować wykonanie połączenia klejowego w analizowanym przypadku.

Podczas klejenia materiałów konstrukcyjnych istotnym czynnikiem technologicznym wpływającym na uzyskiwaną wytrzymałość połączeń klejowych jest m.in. sposób przygotowania powierzchni. W niniejszym artykule przedmiotem badań będą połączenia klejowe blach ze stali kwasoodpornej, których powierzchnia została poddana różnym operacjom przygotowawczym, powszechnie dostępnym w warunkach warsztatowych.

PRZYGOTOWANIE POWIERZCHNI

Przygotowanie powierzchni (jako pierwszy etap technologii klejenia) powinno zapewnić uzyskanie jak najsilniejszych wiązań adhezyjnych [1, 8], ponieważ sprzyja to uzyskaniu wysokiej wytrzymałości. Istnieje wiele sposobów przygotowania powierzchni [1, 7, 8], wśród których można wymienić odłuszczenie, obróbkę mechaniczną, obróbkę chemiczną, a także specyficzne rodzaje obróbki, do których zalicza się metodę plazmową [15, 16, 17], metodę wyładowań koronowych [17], czy też obróbkę laserem [18]. Jednakże nie w każdym przypadku łączonych materiałów i w każdym warunkach można te sposoby wykorzystać ze względu na istnienie niekiedy pewnych ograniczeń [1, 7].

Sposób przygotowania powierzchni, metody oraz parametry technologiczne operacji przygotowawczych uzależnione są od wielu czynników, do których należy m.in. rodzaj łączonego materiału, rodzaj produkcji, podczas której wykonywane są połączenia klejowe, czy też warunki warsztatowe, w tym dostępność do odpowiednich przyrządów oraz narzędzi. Jeden ze schematów przedstawiających rodzaje operacji przygotowawczych, możliwych do wykorzystania w procesie przygotowania warstwy wierzchniej wielu materiałów konstrukcyjnych zamieszczono na rys. 4. Rodzaj, występowanie oraz kolejność operacji uzależnione jest od wymienionych czynników.



Rys. 4. Przykład operacji wchodzących w skład procesu przygotowania powierzchni materiałów przeznaczonych do klejenia

W przypadku niektórych rodzajów materiałów konstrukcyjnych przedstawiane są w literaturze informacje dotyczące możliwości zastosowania określonych metod przygotowania powierzchni [7, 8, 19], niekiedy zamieszczone są szczegółowe wytyczne związane np. ze składem chemicznym kąpeli trawiących i czasem trwania takiej kąpeli [1, 8], temperaturą wody w operacji płukania [7], czy też czasem i temperaturą suszenia [8].

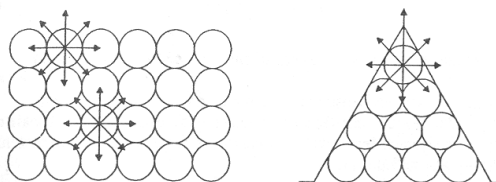
W typowych warunkach warsztatowych najczęściej spotykanymi operacjami przygotowawczymi są m.in. odfuszczenie i obróbka mechaniczna [1, 7, 8, 20, 21], głównie ze względu na niezbyt skomplikowane przeprowadzanie tych rodzajów obróbek, przy stosunkowo niskich nakładach finansowych oraz przy założeniu uzyskania określonej wytrzymałości. Podczas zastosowania tego typu obróbek, wspomniany warunek może zostać spełniony przy zastosowaniu specjalnych sposobów przygotowania powierzchni

w celu uzyskania odpowiednich więzi adhezyjnych wpływających na uzyskiwaną wytrzymałość połączeń klejowych. Dlatego też przed przystąpieniem do wykonywania połączeń klejowych, należy przeanalizować wiele czynników wpływających na właściwy dobór sposobu przygotowania powierzchni rozpatrywanych materiałów przeznaczonych do łączenia.

ODTŁUSZCZANIE I OBRÓBKA MECHANICZNA

Odtłuszczenie jest najczęściej wykonywaną operacją przygotowania powierzchni do klejenia, ponieważ usuwa m.in. wszelkie zanieczyszczenia tłuszczowe stanowiące pozostałości np. po ochronie antykorozyjnej, po różnego rodzaju obróbce skrawaniem itp. Operacja ta może być realizowana różnymi metodami przy wykorzystaniu odpowiednich środków odtłuszczających i za pomocą różnorodnych urządzeń [1, 7, 8]. Niekiedy producenci klejów oferują gotowe produkty o określonych właściwościach i przeznaczeniu, często w bardzo dogodnych do aplikacji opakowaniach [22]. Dobór właściwej metody lub też środka odtłuszczającego uzależniony jest m.in. od rodzaju materiału, a także kształtu, wymiarów gabarytowych, czy też dostępności do powierzchni elementu przeznaczonego do łączenia. Niewątpliwie istotnym czynnikiem, który należy uwzględnić przy operacji odtłuszczenia jest także rodzaj produkcji, który warunkuje użycie zarówno odpowiednich urządzeń, środków, jak i metod operacji przygotowania powierzchni.

Obróbka mechaniczna zaliczana jest do operacji specjalnych przygotowania powierzchni materiałów przeznaczonych do klejenia [1, 8]. Zastosowanie tej obróbki umożliwia zwiększenie rozwinięcia powierzchni, dzięki temu zwiększa się energię powierzchniową oraz zmienia się zakres wysycenia sił międzycząsteczkowych (rys. 5) [2]. Jednakże w pewnych przypadkach sposób ten nie zawsze zapewnia właściwe uaktywnienie energetyczne powierzchni i należy zwrócić szczególną uwagę na kształt mikronierówności uzyskanych po obróbce mechanicznej (zwłaszcza głębokość, szerokość oraz kąt rozwarcia nierówności [8, 17]). Zagadnienie to jest szczególnie istotne w aspekcie wnikania kleju w mikronierówności powierzchni, ponieważ może zaistnieć niekorzystna struktura geometryczna powierzchni (stopień schropowacenia), która niekorzystnie będzie wpływać na ten proces, prowadząc do zmniejszenia wytrzymałości połączeń klejowych [1,8]. W literaturze przedstawiane są zależności określające zarówno proces wnikania kleju, który opisuje prawo Poiseuille'a, jak i głębokość wnikania kleju we wgłębienia materiału chropowatego [17]. Zagadnienia związane z chropowatością powierzchni podczas wykonywania połączeń klejowych, związane z mechaniczną teorią adhezji, uwzględniane są m.in. w publikacjach [1, 7, 8, 19, 21, 23, 25].



Rys. 5. Schemat wpływu chropowatości powierzchni na jej właściwości energetyczne

Istnieje wiele metod obróbki mechanicznej, wśród których można wyróżnić m.in. obróbkę strumieniowo-ścierną, piaskowanie, śrutowanie. Charakterystykę tych metod przedstawiono w licznych pracach, m.in. [1, 7, 8, 25, 26], w niektórych opisano zalecane parametry technologiczne obróbki [1, 17, 24].

Jednym ze sposobów obróbki mechanicznej jest zastosowanie ściernych narzędzi nasypowych [26]. Niewielki koszt, dostępność, łatwość użycia w operacjach ręcznych, możliwość zastosowania w różnych warunkach powoduje, iż ściernie narzędzia nasypowe są często wykorzystywane obróbki materiałów przeznaczonych m.in. do klejenia. Ważna jest także łatwość w uzyskiwaniu bezkierunkowej struktury śladów obróbki, co jest korzystne, zwłaszcza w warunkach klejenia konstrukcyjnego.

BADANIA DOŚWIADCZALNE

Charakterystyka materiałów

Badaniom poddano próbki wykonane ze stali odpornej na korozję o oznaczeniu X5CrNi1810 (PN-EN 10088-1:1998). Skład chemiczny oraz wybrane właściwości mechaniczne zamieszczono w tabeli 1 [10,27].

Tabela. 1. Skład chemiczny oraz wybrane właściwości mechaniczne stali odpornej na korozję X5CrNi1810

Charakterystyka		Rodzaj stali odpornej na korozję X5CrNi18-10
Skład chemiczny, stężenie masowe, %	C	≤ 0,07
	Mn	≤ 2,00
	Si	≤ 1,00
	P	≤ 0,045
	S	≤ 0,015
	Cr	17,0÷19,5
	Ni	8,0÷10,5
	N	≤ 0,11
Właściwości mechaniczne	Rm [MPa]	500-700
	R _{p0,2} [MPa]	≥190
	E [GPa]	200
	A [%]	≥ 45
	Twardość HB	≤ 200

Analizowana stal stosowana jest m.in. w przemyśle chemicznym, spożywczym, rafineryjnym na wymienniki ciepła, zbiorniki, pompy, rurociągi.

Charakterystyka połączeń klejowych

Badaniom poddano połączenia klejowe jednozakładkowe obciążone na ścinanie. Charakterystykę tego typu połączeń przedstawiono w pracach [1, 3, 7, 13]. Długość próbek wynosiła 100 mm, szerokość 20 mm, grubość 1 mm, natomiast długość zakładki, wynosząca 14 mm, została określona (z pewnym przybliżeniem) na podstawie zależności [1]:

$$l_{gr} \geq 5 \sqrt{\frac{E \delta \delta_k}{2G_k}} \quad (1)$$

gdzie: E – współczynnik sprężystości wzdłużnej klejonych elementów,

δ – grubość klejonych elementów ,

δ_k – grubość spoiny klejowej (kleju),

G_k – współczynnik sprężystości poprzecznej kleju.

W przypadku analizowanego materiału przyjęto współczynnik sprężystości wzdłużnej E wynoszący 200 GPa [27]. Do wykonania połączeń zastosowano klej epoksydowy Loctite 3430, o współczynniku sprężystości wzdłużnej 2500 MPa [22] i na podstawie informacji zamieszczonych w pracy [2] przyjęto współczynnik sprężystości postaciowej wynoszący 1000 MPa.

Analizowano trzy rodzaje przygotowania powierzchni:

- 1) odtłuszczenie,
- 2) obróbkę mechaniczną,
- 3) obróbkę mechaniczną i odtłuszczenie.

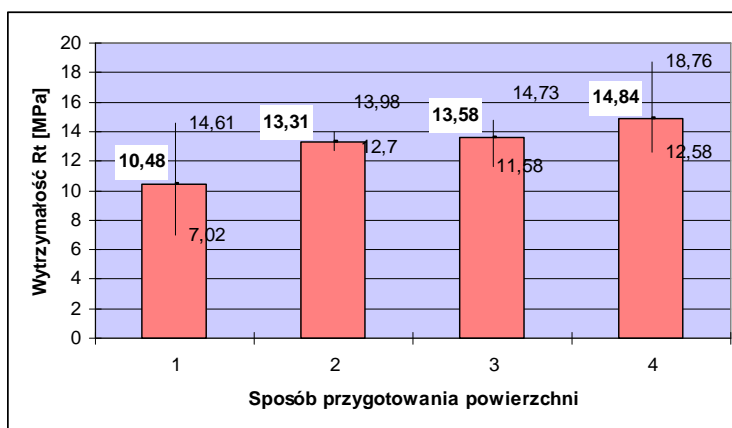
Do odtłuszczenia zastosowano środek odtłuszczający firmy Loctite7063 (na bazie węglowodorów alifatycznych). Obróbka mechaniczna polegała na zastosowaniu obróbki ściernym narzędziem nasypowym P320, po którym uzyskano bezkierunkową strukturę. Niektóre parametry obróbki mechanicznej zamieszczono w pracy [20].

W celach porównawczych wyniki badań wytrzymałościowych odniesiono do połączeń, w których powierzchnia badanych blach nie została poddana żadnemu procesowi przygotowania.

Wykonane połączenia klejowe blach ze stali nierdzewnej poddano badaniom wytrzymałościowym, obciążając je siłą ścinającą. Badania wytrzymałości doraźnej na ścinanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-689300.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań wytrzymałości połączeń klejowych blach ze stali nierdzewnej po różnych sposobach przygotowania powierzchni przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Wytrzymałości połączeń klejowych blach ze stali nierdzewnej po różnych sposobach przygotowania powierzchni: 1) bez przygotowania powierzchni, 2) odłuszczenie środkiem odłuszcającym Loctite7063, 3) obróbka ściernym narzędziem nasypowym P320, 4) obróbka ściernym narzędziem nasypowym P320 i odłuszczenie środkiem odłuszcającym Loctite7063

Po wykonaniu badań wytrzymałościowych, przeprowadzono analizę statystyczną uzyskanych wyników badań, na poziomie ufności $\alpha = 0,5$; wykorzystując odpowiednie hipotezy oraz testy statystyczne [28, 29]. Na jej podstawie można stwierdzić, iż w przypadku zastosowania odłuszczenia (13,31 MPa) i obróbki mechanicznej (13,58 MPa), jako sposobów przygotowania powierzchni blach ze stali nierdzewnej, brak jest statystycznie istotnych różnic w uzyskiwanych wartościach wytrzymałości. W pozostałych przypadkach występują statystycznie istotne różnice na przyjętym poziomie ufności.

Największą wytrzymałość uzyskano w przypadku zastosowania obróbki mechanicznej i następującego po niej odłuszczenia (14,87 MPa), przy czym zauważono dość duże rozbieżności w uzyskanych wynikach badań. Odchylenie standardowe jest znacznie większe niż w przypadku innych sposobów przygotowania powierzchni, czyli powtarzalność uzyskiwanej wytrzymałości wykonywanych połączeń jest znacznie mniejsza niż w przypadku na przykład zastosowania odłuszczenia. Różnica w wartościach wytrzymałości po zastosowaniu odłuszczenia oraz po obróbce mechanicznej i odłuszczeniu wynosi około 10 %.

Na podstawie wyników analizy statystycznej można zauważyć, iż zastosowanie zarówno odłuszczenia, jak i obróbki mechanicznej pozwala na otrzymanie takiej samej wytrzymałości, przy czym większa powtarzalność występuje w przypadku zastosowania odłuszczenia. Wyniki te mogą zostać wykorzystane podczas wykonywania połączeń, bowiem mając do wyboru te dwa sposoby przygotowania powierzchni, można kierować się m.in. prostotą i czasem wykonania tych operacji (uwzględniając fakt otrzymania takiej samej wytrzymałości po zastosowaniu obu operacji przygotowawczych).

Porównując wyniki wytrzymałości połączeń klejowych po operacjach przygotowawczych oraz bez obróbki przygotowującej powierzchnie badanych materiałów do klejenia, zauważono, iż w każdym z analizowanych rodzajów przygotowania powierzchni uzyskano większą wytrzymałość w stosunku do wytrzymałości otrzymanej dla połączeń, w których powierzchnia blach ze stali nierdzewnej nie była poddana operacji przygotowawczej. Ponadto nie stosując żadnego przygotowania powierzchni zauważono największe rozbieżności (największe odchylenie standardowe) w uzyskanych wartościach wytrzymałości połączeń badanych materiałów (uzyskano wartości wytrzymałości od ok. 7 do 14,6 MPa).

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy statystycznej wyników tych badań można zauważyć, że:

- 1) wykorzystanie, jako sposobu przygotowania powierzchni blach ze stali nierdzewnej, zarówno odłuszczenia, jak i obróbki mechanicznej, pozwala na uzyskanie znacznej wytrzymałości (w tych przypadkach brak jest statystycznie istotnych różnic w uzyskanych wartościach wytrzymałości na poziomie ufności $\alpha=0,5$);
- 2) zastosowanie odłuszczenia po obróbce ściernym narzędziem nasypowym korzystnie wpływa na uzyskiwaną wytrzymałość połączeń klejowych analizowanych blach, chociaż w tym przypadku otrzymano znacznie większe odchylenie standardowe wyników badań, niż w przypadku np. odłuszczenia, czyli powtarzalność otrzymanych wyników badań wytrzymałościowych tego sposobu przygotowania powierzchni jest znacznie mniejsza niż dla wymienionego odłuszczenia;
- 3) we wszystkich rozważanych przypadkach sposobów przygotowania powierzchni uzyskano większą wytrzymałość w porównaniu do wytrzymałości połączeń, w których powierzchnie łączonych materiałów nie zostały poddane jakiegokolwiek obróbce przygotowawczej,
- 4) analizując wyniki badań statystycznych zauważono, iż największe rozbieżności w otrzymanych rezultatach badań wytrzymałościowych otrzymano w przypadku nie zastosowania obróbki przygotowawczej, czyli powierzchnia materiałów dla takiego wariantu może wykazywać zróżnicowane właściwości i nie stosując żadnego przygotowania można otrzymać wyniki o dużej rozbieżności, najmniejsze natomiast otrzymano w przypadku zastosowania operacji odłuszczenia, czyli w tym przypadku można uzyskać największą powtarzalną wytrzymałość połączeń (spośród analizowanych sposobów przygotowania powierzchni do klejenia).

Podsumowując można zauważyć korzystny wpływ zastosowania operacji przygotowania powierzchni na wytrzymałość połączeń klejowych blach ze stali nierdzewnej. Zastosowanie tych operacji znacznie zwiększa powtarzalność uzyskiwanej wytrzymałości, co jest niezwykle istotne podczas opracowywania technologii wykonania połączeń klejowych, która zaliczana jest do procesów specjalnych. Zaprezentowane wyniki badań zostały uzyskane dla przedstawionych warunków wykonywania połączeń klejowych. W sytuacjach, gdy wymagane jest, aby połączenie przenosiło określone obciążenie oraz znana jest wartość tych obciążeń, unikając niektórych trudności w spawaniu blach ze stali nierdzewnej oraz spełniając pozostałe wymagania konstrukcyjne, możliwe jest zastosowanie technologii klejenia w łączeniu blach ze stali odpornej na korozję.

LITERATURA

1. Godzimirski J., Kozakiewicz J., Łunarski J., Zielecki W.: Konstrukcyjne połączenia klejowe elementów metalowych w budowie maszyn. Podręcznik akademicki. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1997.
2. Kuczmaszewski J.: Podstawy konstrukcyjne i technologiczne oceny wytrzymałości adhezyjnych połączeń metali. Wydawnictwa uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin, 1995 r.
3. Godzimirski J.: Wytrzymałość doraźna konstrukcyjnych połączeń klejowych. WNT, Warszawa 2002.

4. Szabajkiewicz W., Towt A.: Zastosowanie w montażu klejów i tworzy klejopodobnych o właściwościach metalicznych, *Technologia i Automatykacja Montaży*, nr 2/1994 r.
5. Rudawska A., Kuczmaszewski J.: Klejenie blach ocynkowanych. Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 2005.
6. Sikora R.: tworzywa epoksydowe w naprawie maszyn, WNT, Warszawa 1971 r.
7. Kleje i klejenie. Poradnik inżyniera i technika. Praca zbiorowa pod red. Ch.V. Cagle'a. WNT, Warszawa 1977.
8. Czaplicki J., Ćwikliński J., Godzimirski J., Konar P.: Klejenie tworzyw konstrukcyjnych. WKiŁ, Warszawa 1987.
9. Skoć A., Spatek J.: Podstawy konstrukcji maszyn, T.I. WNT, Warszawa 2006.
10. Dobrzański L.A.: Metalowe materiały inżynierskie, Warszawa, WNT, 2004.
11. Klimpel A.: Spawanie, zgrzewanie i cięcie metali, Warszawa, WNT, 1999.
12. Chiniewicz W.: „Spawanie stali nierdzewnej”, *Stal-Metale i Nowe Technologie*, nr 11-12/2008 r., s. 30.
13. Praca dyplomowa: Analiza porównawcza celowości stosowania klejenia i spawania do łączenia blach ze stali nierdzewnej. Politechnika Lubelska, Lublin 2009.
14. Rudawska A., Łukasiewicz M.: Wpływ obróbki mechanicznej na wytrzymałość połączeń klejowych wybranych materiałów konstrukcyjnych. *Przegląd Spawalnictwa* nr 8/2008 r.
15. Nakamura Y., Suzuki Y., Watanabe Y.: Effect of oxygen plasma etching on adhesion between polyimide films and metal, *Thin Solid Films* 1996 r.
16. Oehrlein G.S.: Surface processes in low pressure plasmas, *Surface Science*, 1997 r.
17. Żenkiewicz M.: Adhezja i modyfikowanie warstwy wierzchniej tworzyw wielkocząsteczkowych, WNT, Warszawa 2000 r.
18. Babraj E.G., Starikov D., Evans J., Shafeev G.A., Bensaoula A.: “Enhancement of adhesive joint strength by laser surface modification”, *Int. Journal of Adhesion and Adhesives* 2007, 27, s. 268-276.
19. Critchlow G.W., Yendall K.A., Barani D., Quinn A., Adreus F.: Strategies for the replacement of chromic acid anodizing for the structural bonding of aluminium alloys. *Int. J. Adhesion and Adhesives*, 26/2006 r.
20. Rudawska A.: Operacje specjalne w technologii klejenia blach ocynkowanych. *Technologia i Automatykacja Montaży*, nr 2 i 3/2007 r., s. 100-103.
21. Zielecki W.: Wpływ rozwinięcia struktury powierzchni na wytrzymałość zakładkowych połączeń klejowych, *Technologia i Automatykacja Montaży*, nr 2/3/2007 r.
22. Materiały informacyjno-reklamowe firmy Loctite.
23. Rudawska A., Jacniacka E.: Ocena przydatności parametrów chropowatości powierzchni do określenia wytrzymałości połączeń klejowych. *Przegląd Mechaniczny, Zeszyt 9S/2005 r.*
24. Łunarski J., Zielecki W.: Wpływ struktury geometrycznej powierzchni na wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych. „*Technologia i Automatykacja Montaży*”, nr 2/1994 r., s. 13–16.
25. Kubik K., Rosienkiewicz P.: Obróbka ścierna. Wrocław 1990.
26. Pszczołowski W., Rosienkiewicz P.: Obróbka ścierna narzędziami nasypowymi. WNT, Warszawa 1995.
27. PN-EN 10088-1:1998.
28. Krysicki W. i in.: *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach. Cz.II. Statystyka matematyczna*, PWN, Warszawa, 1999.
29. Praca zbiorowa pod red. pod red. P. Konieczki i J. Namieśnika: *Ocena i kontrola jakości wyników pomiarów analitycznych*, WNT, Warszawa 2007 r.

THE INFLUENCE OF SURFACE TREATMENT ON STAINLESS STEEL SHEETS BONDING JOINT STRENGTH

Abstract. This article resulted from the problematic issue of stainless sheets joining, as observed in one of Polish companies. The joining technology in question is welding and it has proven unsuitable due to severe deformations of the welded material occurring in the consequence of its structure and chemical composition. The problem occurs predominantly in case of small thickness sheets and concerns changing of dimensions. In case of gas metal arc welding of big flat surfaces or constructions where there is either no access to the other side of welded sheets or the access is difficult this method was found to be both cost-ineffective and highly difficult. Due to the numerous drawbacks with welding, an alternative joining method of bonding has been introduced.

This article presents stainless steel sheets bonding joints strength analysis. The essential technological factor in gluing, which influences bonding joint strength, is surface treatment. Therefore, various commonly accessible surface treatment methods were applied to the stainless steel sheets surface.

Kazimierz RYCHLIK

Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego
Warszawa, Polska

Mirosław BRAMOWICZ

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Olsztyn, Polska

METODA NACINANIA GWINTÓW WEWNĘTRZNYCH DLA REGENEROWANYCH POŁĄCZEŃ GWINTOWYCH KORPUSÓW TURBIN

METHODS OF INTERNAL THREAD CUTTING FOR REGENERATED SCREW JOINT OF TURBINE FRAME

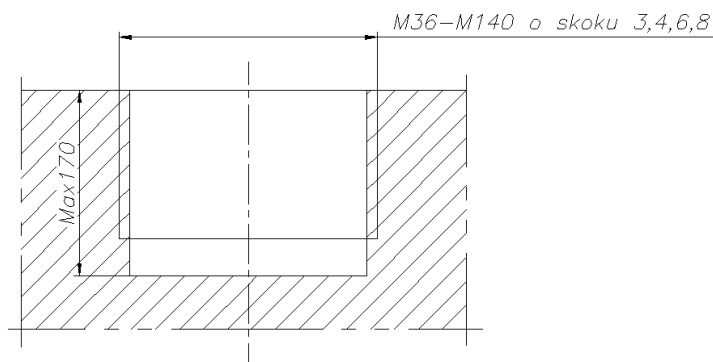
Rozpoznanie rynku wskazuje, że w sektorze obrabiarek przenośnych istnieje duże zapotrzebowanie na obrabiarki z grupy remontowej. Postępujące zużycie elementów o dużych gabarytach wymaga cyklicznego stosowania zabiegów remontowych. Rozmiary przedmiotu obrabianego i wysokie wymagania dokładności obróbki zmuszają zakłady przemysłowe wyspecjalizowane w usługach remontowych do stosowania obrabiarek o znacznych gabarytach i dużych mocach. Zastosowanie takiej metody regeneracji zmusza usługobiorcę do demontażu przedmiotu obrabianego z zespołu, którego jest częścią, co ze względu na ciężar i gabaryty przedmiotu bywa kłopotliwe. Dodatkowo konieczne jest także zapewnić transport do siedziby usługodawcy. Zakłady przemysłowe oferujące usługi obróbki skrawaniem przedmiotów wielkogabarytowych borykają się z podstawowym problemem, jakim jest obciążenie znaczną ilością zamówień, a których okres realizacji wynosi od kilku miesięcy do kilku lat. Konieczność odciążenia obrabiarek wielkogabarytowych oraz przerwy w pracy spowodowane czynnikami losowymi sprawiają, że możliwości wykonania mniejszej usługi nie ujętej w planach produkcyjnych firmy jest znikoma. Odpowiedzią na bolączki obu stron wydaje się nowy trend w dziedzinie obróbki skrawaniem zwany „*IN – SITU machining*” (obróbka w miejscu pracy) lub „*ON – SITE machining*” (obróbka na miejscu pracy). Obrabiarki przeznaczone do tego typu obróbki mają kompaktowe rozmiary a jednocześnie pozwalają uzyskać duże dokładności, które są wymagane przez odbiorców.

ZADANIE TECHNOLOGICZNE

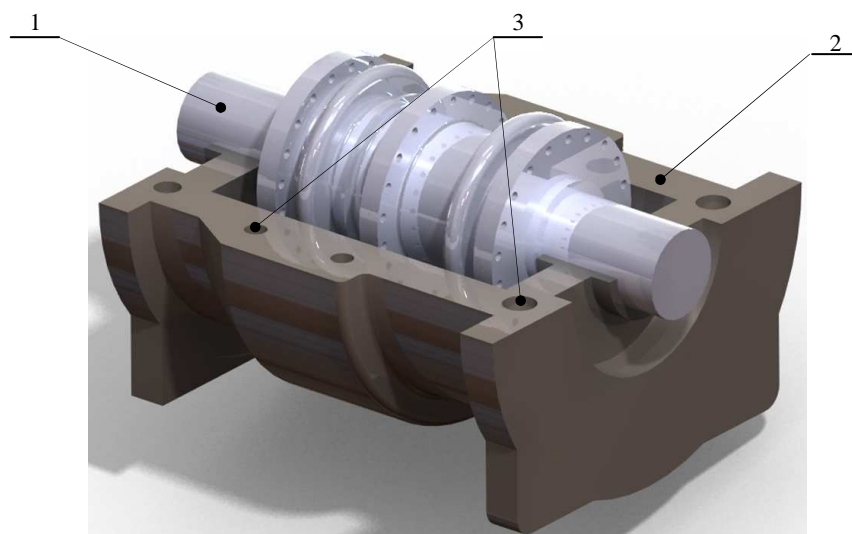
Jednym z zadań technologicznych realizowanych przez grupę obrabiarek przenośnych zaprojektowanych i wykonanych w Zakładzie Obrabiarek Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego było wykonanie gwintu wewnętrznego korpusach turbin (rys. 1).

Przedstawione parametry wynikają bezpośrednio z rodzaju połączeń występujących w korpusach turbin parowych i gazowych oraz przyjętych założeń technologicznych.

Podczas remontu korpus turbiny rozdzielany jest na dwie połowy (rys. 2). Połowy te połączone są przy pomocy specjalnych śrub. W trakcie odkręcania, w większości przypadków, śruby urywane są. Stan ten wymaga specjalnego podejścia do przedstawianego zagadnienia. Urwane śruby mogą być wyjęte z zastosowaniem różnych metod jednak użycie tego samego gwintu znajdującego się w korpusach do kolejnego łączenia połówek korpusu jest niedopuszczalne. Istnieje, zatem konieczność ponownego wykonania gwintu w miejscu gdzie doszło do urwania śruby.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny przedmiotu ze wskazanym zadaniem technologicznym



Rys. 2. Model wału z połową korpusu turbiny: 1 – wał turbiny, 2 – korpus turbiny, 3 – otwory montażowe

TECHNOLOGIA OBRÓBKI

Dla skutecznej realizacji przedstawionego zadania technologicznego została opracowana technologia nacinania gwintu wewnętrznego składająca się z dwóch głównych etapów:

- Etap 1 – Przygotowanie otworu pod gwint (planowanie powierzchni urwanej śruby, wiercenie wstępnego otworu, roztaczanie otworu na wymiar pod odpowiedni gwint).
- Etap 2 – Wykonanie gwintu (nacięcie nowego gwintu).

Przygotowanie otworu pod gwint

Pierwszym zabiegiem wykonywanym podczas regeneracji jest wiercenie wstępne otworu. Czasami jednak można wykonać planowanie czoła urwanej śruby, co ułatwia późniejszą pracę wiertła w początkowym jego okresie skrawania.

Wiercenie otworu zostało zrealizowane wiertłem T-MAX U R416.2-0450L-41 – SANDVIK COROMANT zamocowanym w oprawce narzędziowej 7620, 50-50-110 – BISON- BIAL, co przedstawia rys. 3.

Podczas badań zaobserwowano, że na głębokości 90 [mm] wierzonego otworu wióry powodują zapychanie kanałów wiórowych a w konsekwencji przeciążenie i zatrzymanie obrabiarki. Badania prowadzone były bez użycia sprężonego powietrza planowanego do wydmuchiwania wiórów. W kolejnym kroku zmieniono posuw na obrót do 0,025 [mm/obr], co wyeliminowało zjawisko zapychania.



Rys. 3. Wiercenie otworu wstępnego: a) narzędzie, b) wióry

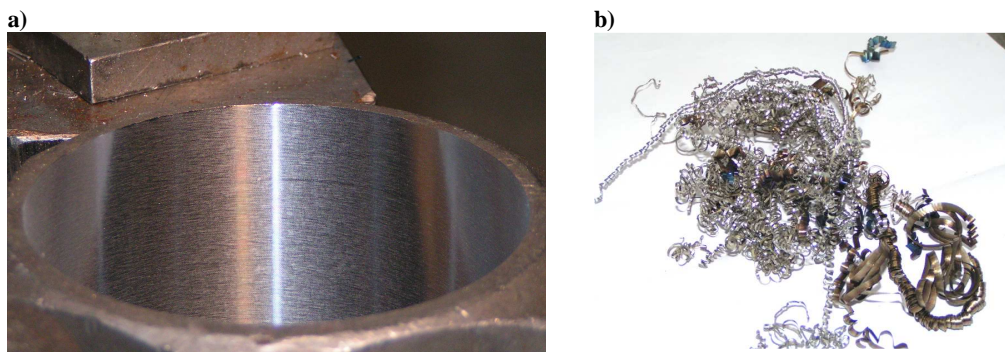
Kolejnym zabiegiem realizowanym podczas regeneracji połączeń gwintowych jest roztaczanie otworu na odpowiedni wymiar.

Wytaczanie otworów zostało wykonane przy użyciu głowicy narzędziowej TA-170 D'ANDREA z parametrami przedstawionymi w tabl. 1.

Tablica 1. Parametry roztaczania otworów.

L.p.	Parametr	Wartość
1.	Średnica wytaczania	$\varnothing 45 \pm 140$ [mm]
2.	Głębokość warstwy skrawanej	$1 \div 4$ [mm]
3.	Prędkość obrotowa wrzeciona	300 [obr/min]
4.	Posuw na obrót	0,025 - 0,05 – 0,01 [mm/obr]
5.	Prędkość skrawania	$42 \div 130$ [mm/min]

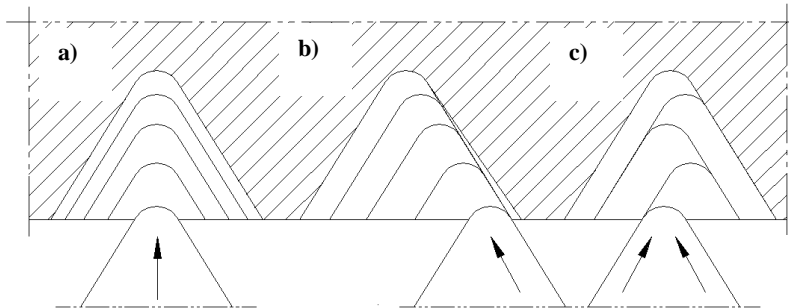
W wyniku przeprowadzonych prób obróbkowych i badań zostały zoptymalizowane parametry skrawania, przy których obrabiana powierzchnia (rys. 4) uzyskała wymagane parametry.



Rys. 4. Roztaczanie otworu: a) przedmiot obrabiany, b) wióry

Wykonanie gwintu

Nacinanie gwintu przy regeneracji połączeń śrubowych korpusów turbin jest zabiegiem najtrudniejszym. Gwinty wewnętrzne można wykonywać różnymi narzędziami. Mogą to być gwintowniki, frezy, noże itp. Ograniczenia jednak wynikające ze specyfiki przedmiotu i procesu regeneracji nie pozwalają jednak na dowolny wybór metody gwintowania. W przedstawianym przypadku jedynym sposobem wykonania gwintu było zastosowanie noża z płytką. Dla wykonania gwintu wewnętrznego płytką istnieją trzy różne metody zagłębiania się narzędzia w obrabiany przedmiot (rys. 5).



Rys. 5. Metody zagłębiania się płytki w obrabiany przedmiot podczas gwintowania: a) dosuw wglębny, b) zmodyfikowany dosuw boczny, c) dosuw wglębny naprzemienny

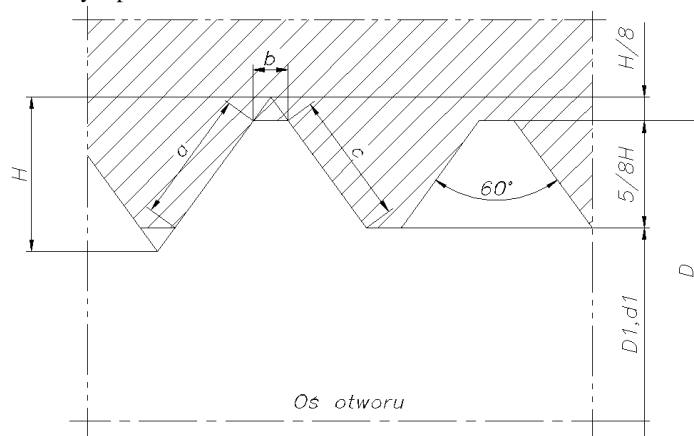
Dosuw wglębny (rys. 5, poz. a) to typowy sposób, szeroko stosowany tam gdzie płytka jest zagłębiania pod kątem w stosunku do przedmiotu obrabianego i jest formowany sztywny wiór w kształcie V, na obu stronach krawędzi skrawającej. Zużycie narzędzia na obu stronach płytki jest bardziej równomierne, a metoda ta jest bardziej odpowiednia do małych skoków i materiałów utwardzających się w czasie obróbki.

Zmodyfikowany dosuw boczny (rys. 5, poz. b) jest to metoda korzystna do nowoczesnych operacji toczenia gwintów na obrabiarkach sterowanych numerycznie. Są one oprogramowane do przeprowadzenia takiej obróbki w poszczególnych cyklach. Płytkę jest zagłębiania pod kątem, którego miara jest równa mierze kąta zarysu, pomniejszonej o miarę kąta przyłożenia. Luz za skrawającym narożem, jak w typowych operacjach toczenia, powinien zostać zapewniony w kierunku posuwu. Kontrola wióra jest lepsza, proces jest bardziej zbliżony do typowego procesu toczenia i do zastosowanych płytek łamiących wiór z geometrią typu C. W metodzie tej podczas skrawania wydzielą się mniej ciepła, a bezpieczeństwo produkcji jest wysokie. Skłonność do drgań może wzrosnąć podczas wykonywania gwintów o mniejszych skokach lub gdy powierzchnia styku jest znaczna, co może być ograniczone przez zastosowanie bocznego dosuwu wglębnego.

Dosuw wglębny naprzemienny (rys. 5, poz. c) to metoda używana zazwyczaj do większych zarysów. Płytkę wykonuje skrawanie w naprzemiennych przejściach. Zużycie płytki postępuje równomiernie. Jedną stronę zarysu gwintu jest wykonywana w kilku naprzemiennych przejściach. Narzędzie jest wtedy przesuwane i kolejną stronę zarysu obrabiana jest w ten sam sposób i tak dalej aż do uzyskania pełnego zamierzonego zarysu.

Wszystkie przedstawione metody znajdują swobodne zastosowanie w przypadku kiedy wykonywany jest gwint zewnętrzny. Narzędzia obróbkowe posiadają dużo miejsca dzięki czemu mogą posiadać odpowiednio sztywną konstrukcję. W przypadku wykonywania gwintów wewnętrznych sytuacja się mocno komplikuje. Wymiary narzędzi są ograniczone wymiarami otworu wstępnego, w którym będzie nacinany gwint. Zbyt mała średnica otworu oraz zbyt duża głębokość wpływa bardzo niekorzystnie na sztywność narzędzia. Przy tak niekorzystnych ograniczeniach należałoby poszukiwać metody nacinania gwintu gdzie występujące siły skrawania są najmniejsze. W tym przypadku odpowiednią metodą wydawać by się mogła metoda zmodyfikowanego dosuwu wglębnego. Analiza zarysu gwintu (rys. 6) wykazuje, iż długość czynnej krawędzi skrawającej będzie się zwiększała stopniowo zależnie od skoku gwintu zaś zmniejszała się

grubość warstwy skrawanej. Istotnym jest, aby pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej utrzymywane było na stałym poziomie.



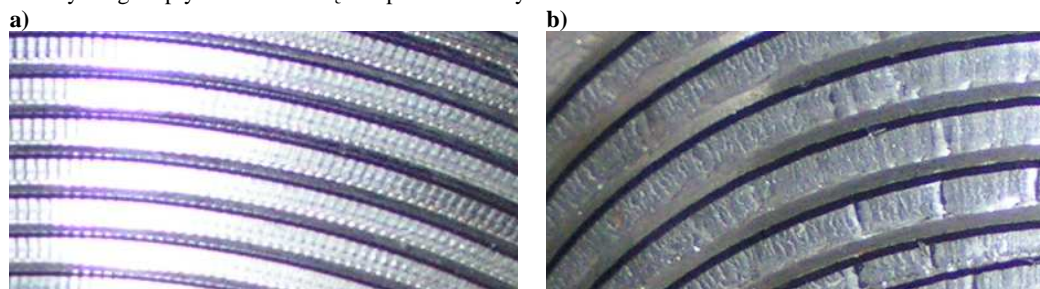
Rys. 6. Zarys gwintu metrycznego

Przy zastosowaniu metody zmodyfikowanego posuwu wglębnego i założeniu, że grubość warstwy skrawanej będzie wynosiła 0,05 [mm] (tabl. 2) najtrudniejszym gwintem do wykonania będzie gwint o skoku 8 [mm].

Tablica 2. Parametry warstwy skrawanej

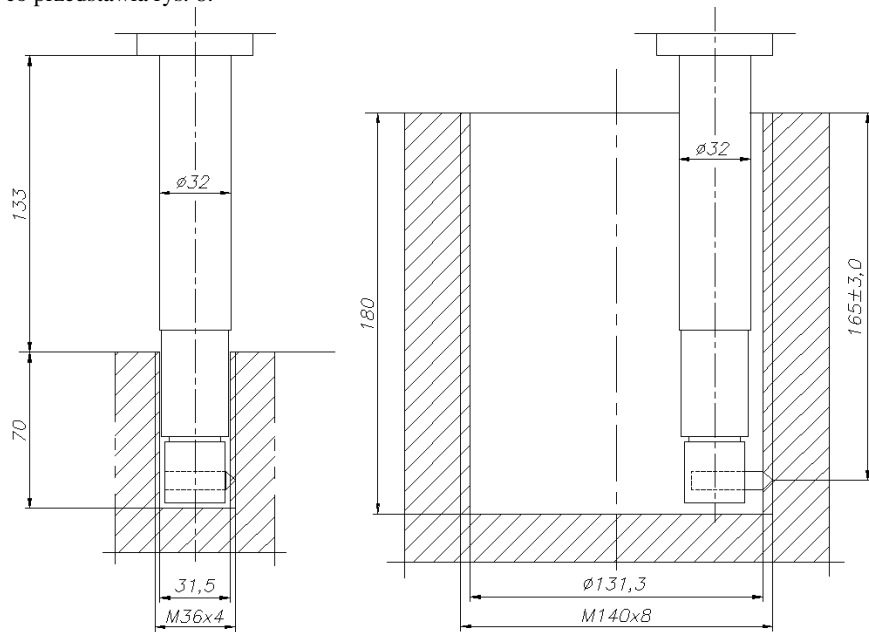
L.p.	Skok gwintu [mm]	Max szerokość warstwy skrawanej [mm]	Grubość warstwy skrawanej [mm]	Pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej [mm ²]
1.	3	2,2	0,05	0,11
2.	4	3	0,05	0,15
3.	6	4,4	0,05	0,22
4.	8	6	0,05	0,3

Przeprowadzone analizy wykazały, że wykonanie gwintu M8 na średnicy 140 [mm] wymagało będzie zapotrzebowania momentu ok. 40 [Nm] a siła skrawania wynosiła będzie ok. 600 [N]. Skutki niekorzystnego wpływu sił na narzędzie przedstawia rys. 7.



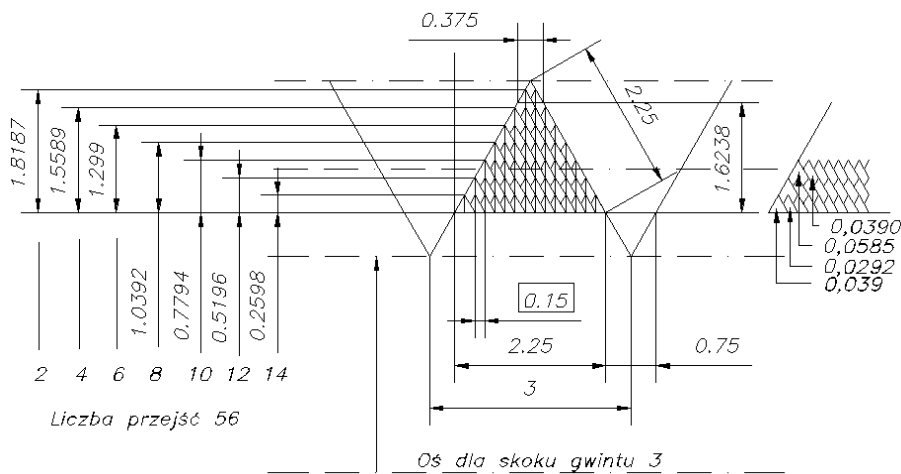
Rys. 7. Powierzchnia gwintu po obróbce metodą zmodyfikowanego posuwu wglębnego:
a) gwint o skoku 3, b) gwint o skoku 8

Konstrukcja narzędzia jak wcześniej wspomniano została ograniczona wymiarami wstępnego otworu, co przedstawia rys. 8.



Rys. 8. Ograniczenia technologiczne dla wykonywanych gwintów

Dla rozwiązania problemu została zaproponowana inna metoda wykonywania gwintu. Aby uzyskać małe siły skrawania zostały ograniczone pola przekroju poprzecznego warstwy skrawanej. Wprowadzono metodę wierszowania wglębnej (rys. 9). Metoda polega na stopniowym skrawaniu poszczególnych warstw zarysu gwintu w kilku lub kilkunastu przejściach narzędzia po jednej warstwie.



Rys. 9. Wierszowanie gwintu o skoku 3 [mm]

Jak przedstawiono na rys. 9, liczba przejść narzędzia dla gwintu o skoku 3 [mm] nie jest zbyt duża. Liczbę tę można ograniczać stosując większe odstępki pomiędzy poszczególnymi przejściami narzędzia na tej samej warstwie. Należy jednak mieć na uwadze wzrastające siły skrawania i niekorzystny ich wpływ na obrabianą powierzchnię gwintu.

Problem wykonywania gwintów szczególnie się nasila w rozpatrywanym przypadku dla gwintów o skoku 6 i 8 [mm]. Liczba przejść narzędzia wynosi ok. 400. Do tego typu metody niezbędne jest sterowanie numeryczne maszyny w 3 osiach.

PODSUMOWANIE

Zapotrzebowanie na usługi remontowe przedstawionego typu występują w wielu gałęziach przemysłu. Regeneracja wielkogabarytowych przedmiotów w miejscu pracy pozwala zaoszczędzić dużo czasu potrzebnego na demontaż i transport przedmiotu obrabianego do zakładu remontowego jak również kosztów wynikających z postępu urzędzenia.

Przedstawiona metoda wykonywania gwintów zewnętrznych została opracowana przez Zakład Obrabiarek IMBiGS i wdrożona w zakładzie produkcyjnym. Zastosowanie przedstawionej metody wymaga jednak w każdym przypadku szczegółowej analizy sztywności narzędzia, parametrów skrawania, konfiguracji obrabiarki itp. Dla realizacji przedstawionej metody wymagane jest zastosowanie specjalnej obrabiarki ze sterowaniem CNC w trzech osiach.

LITERATURA

1. Jemielniak K.: Obróbka Skrawaniem. Warszawa, OWPW, 1998.
2. Olszak W.: Obróbka skrawaniem. Warszawa, WNT, 2008.
3. Rychlik K., Jastrzębski M.: Problemy technologiczne obróbki otworów w wielkogabarytowych przedmiotach-modułowe obrabiarki przenośne. Warszawa, TIAM Nr 2, 2009.
4. Rychlik K., Jastrzębski., Rutkowski K.: Obróbka otworów montażowych w połączeniach kołnierzych wałów turbin gazowych i parowych, Warszawa, Przegląd Mechaniczny Nr 11, 2009.
5. Rychlik K., Jastrzębski M., Pabich M.: Adaptacja współrzędnościowej obrabiarki na potrzeby zadaniowej obróbki korpusów turbin. Warszawa, TIAM Nr 4, 2009.
6. Szymczak W.: Opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej oraz wykonanie współrzędnościowej jednostki obróbkowej typ LNB-64. Warszawa, Biuletyn Naukowo-Techniczny OBK KOPROTECH Nr 20, 2004.
7. Szymczak W.: Technologia usuwania urwanych śrub z pomocą obrabiarki typ LNB-68. Warszawa, TIAM Nr 1, 2008.
8. Wzór użytkowy W 117914 – Obrabiarka zadaniowa.
9. Patent P 386939 – Sposób i wytaczarka precyzyjna przenośna do wytaczania otworów w kołnierzach wałów turbin i wałów okrętowych.
10. Poradnik obróbki skrawaniem firmy Sandvik Coromant.

METHODS OF INTERNAL THREAD CUTTING FOR REGENERATED SCREW JOINT OF TURBINE FRAME

This paper presents method of internal thread production during frame turbine regeneration. There are shown all stages of process realisation and characterised particular technological tasks. Present essential technological bound results from used methods and ways of solving described problem.

V
PROBLEMY OGÓLNE
WSPOMAGANIA MONTAŻU

Leonid AKUŁOWICZ

Michaił CHEJFEC

Elena ZEWIELEWA

Uniwersytet Połocki, Nowopołock, Białoruś

Władimir BORODAWKO

ZNP „CENTR”, Mińsk, Białoruś

PROJEKTEKTOWANIE I PRODUKCJA MECHATRONICZNYCH SPAWALNICZO-MONTAŻOWYCH URZĄDZEŃ TECHNOLOGICZNYCH DO PRODUKCJI WYROBÓW ARMATUROWYCH

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО МЕХАТРОННЫХ СВАРОЧНО-СБОРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АРМАТУРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Синтез новых прецизионных, информационных и измерительных наукоемких технологий дает основу для проектирования и изготовления интеллектуальных мехатронных модулей и систем. Мехатронные машины и системы объединяются в мехатронные комплексы на базе единых интеграционных платформ. Цель создания таких комплексов - добиться сочетания высокой производительности и одновременно гибкости технико-технологической среды за счет возможности ее реконфигурации, что позволит обеспечить конкурентоспособность и высокое качество выпускаемой продукции на рынках XXI века.

Новые технологии основаны, как правило, на использовании концентрированных в пространстве и во времени потоков энергии физических полей. Использование источников концентрированной энергии радикально интенсифицирует технологические процессы современного производства.

Проектирование технологических комплексов (ТК) разделяется на два этапа:

- 1) структурный обобщенный синтез, при котором рассматриваются принципиальные схемы решения, отвечающие исходным технологическим условиям;
- 2) параметрический оптимизационный синтез, в ходе которого ранее найденное схемное решение, являющееся принципиальной реализацией заданного технологического способа, воплощается в рациональные конструктивные формы в виде совокупности конкретных механизмов, блоков, устройств и элементов ТК.

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРЕССИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Технологические модули и комплексы в своем развитии за последние 30 лет [1-4] прошли ряд этапов (рисунок 1).

По сравнению с универсальным станочным оборудованием 70-ых годов прошлого века компьютерно-управляемое производство начала, использующее, с приходом на рабочие места персональных компьютеров, компоненты искусственного интеллекта, позволяет повысить эффективность оборудования и при обеспечении все более возрастающих требований к качеству продукции увеличить производительность в десятки раз.

С середины 80-х годов подъем промышленного производства стран СНГ, особенно в наукоемких сферах, прервался и остановился на рубеже перехода от обрабатывающих центров к гибким производственным системам в то время, когда промышленно развитые страны начали овладевать элементами интеллектуального производства.

Развитие средств микроэлектроники явилось базой для создания мехатронных систем, которые включают как электромеханическую часть, так и электронно-управляющую (построенную на основе использования компьютеров или микропроцессоров) [5, 6].

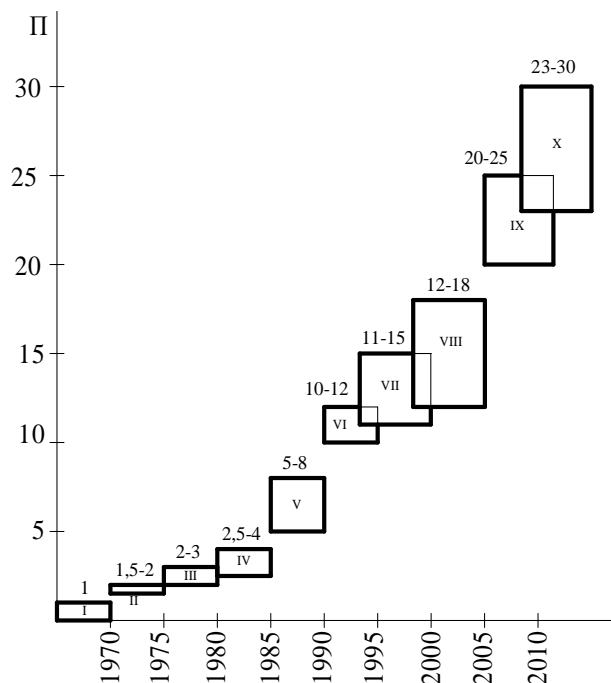


Рис. 1. Этапы развития технологических модулей и комплексов: П – производительность оборудования, возрастающая со временем: I – универсальное оборудование с производительностью, принятой за 1, II – оборудование с числовым программным управлением, III – робототехнические комплексы, IV – обрабатывающие центры, V – гибкие производственные системы, VI – компьютерно-управляемое производство, VII – мехатронные технологические комплексы, VIII – компактное интеллектуальное производство, IX – компьютерное сопровождение жизненного цикла изделий, X – виртуальные предприятия

Rys. 1. Etapy rozwoju modułów technologicznych (P – wydajność urządzeń): I – uniwersalne, II – ze sterowaniem programowym, III – zrobotyzowane kompleksy, IV – centra obróbkowe, V – elastyczne systemy produkcyjne, VI – CIM, VII – mechatroniczne kompleksy, VIII – zwarta intelektualna produkcja, IX – komputerowa symulacja cyklu życia wyrobu, X – wirtualne przedsiębiorstwo

Мехатронные системы обеспечивают синергетическое объединение узлов точной механики с электротехническими, электронными и компьютерными компонентами с целью проектирования и производства качественно новых установок, модулей, систем и комплексов машин с интеллектуальным управлением их функциями.

Новые этапы развития гибкой автоматизации производственных систем связаны, прежде всего, с предельной концентрацией средств производства и управления, а также с сокращением сроков конструирования, проектирования, технологической подготовки и изготовления изделий. В результате на основе мехатронных технологических комплексов появляется компактное интеллектуальное производство (СІМ - Compact Intelligent Manufacture), базирующееся на сочетании интенсивных технологий, прогрессивного технологического оборудования и интегрированной системы управления.

Современный уровень развития информационных технологий в промышленности обеспечивает переход к использованию технологий создания, поддержки и применения единого информационного пространства на всех этапах жизненного цикла продукции от ее проектирования до эксплуатации и утилизации, т.е. к CALS-технологиям (Continuous Acquisition and Life-cycle Support) [4].

Единое информационное пространство позволяет интегрироваться разрозненным комплексам компактного производства в виртуальное предприятие. Виртуальное предприятие, создаваемое из различных пространственно удаленных подразделений, не имея единой юридической организационной структуры, обладает единой информационной структурой для использования компьютерной поддержки всех этапов жизненного цикла продукции.

Проведенный анализ возрастающей эффективности технологических комплексов показывает необходимость формирования единой методологии их проектирования, учитывающей совместное использование инструментов и энергии, программных и аппаратных средств управления с начальных стадий разработки оборудования.

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ И ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Ключевой задачей проектирования ТК является разработка универсальной структуры, обеспечивающей бесперебойную работу и гибкую переналадку оборудования. Рациональные надежность и адаптивность обеспечиваются при синтезе структуры, основанном на анализе элементов и исследовании кортежей ТК [7].

Технологический комплекс в общем случае рассматривается как иерархически построенная система «человек – машина», включающая следующие уровни [7, 8]:

I) функциональные элементы (ФЭ), такие как главное движение, движение подачи, движение инструмента и перемещение потока энергии;

II) функциональные подсистемы (ФПС) в виде агрегатных блоков и установок;

III) функциональные системы (ФС), обеспечивающие рабочие, транспортные движения, питание и удаление, а также обслуживание;

IV) технологические модули (ТМ) или агрегатные станки, энергетические и информационные машины;

V) автоматические и полуавтоматические линии и участки, образующие ТК.

Каждая подсистема n -го уровня является элементом подсистемы $(n+1)$ -го уровня. Состав ТК, каждой ФС и ФПС, входящих в ТМ, а также функции составляющих их ФЭ соответствуют содержанию тех технологических операций, для которых создается данный технологический комплекс.

Каждая ФПС состоит в общем случае из нескольких ФЭ, в названии которых фигурируют названия выполняемых ими функций (движений). Функциональная подсистема данного вида в ходе технологического процесса выполняет определенную типовую функцию, т.е. типовую технологическую операцию.

Технологические основы проектирования ТК обеспечивают разработчика информацией, необходимой для создания технологических процессов, средств их оснащения и автоматизации. Они содержат рациональные режимы сборки по всем операциям технологического процесса, сведения о конструкции приспособлений, рабочих органах оборудования, установок, программное

обеспечение и схемы сопряжения рабочих, обслуживающих, информационных машин и агрегатов технологической системы.

Рациональные режимы и конструкции получают путем оптимизации основных параметров, которые описывают аналитическими и статистическими моделями. В статистических моделях используют многофакторное планирование экспериментов, дисперсионный, регрессионный и ковариационный анализ.

Структурный синтез и параметрическая оптимизация завершаются пространственно-временным совмещением требуемого сочетания функциональных элементов на множестве компоновок технологического модуля [9, 10].

СВАРОЧНО-СБОРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

В машиностроении распространение получили технологические комплексы для обработки материалов резанием, в заготовительных и сборочных производствах.

При производстве строительных конструкций из монолита и сборного железобетона около 40% материальных и трудовых затрат приходится на сварные арматурные изделия: арматурные сетки, плоские и пространственные каркасы из проволоки диаметром 3...8 мм. Большая номенклатура этих изделий и частая сменяемость объекта производства требуют гибкой автоматизации оборудования для их изготовления.

Концепция решения проблемы состоит в создании технологических комплексов на основе синтеза унифицированных механизмов, агрегатов и систем, интегрированных в блоки и модули, включающие механическое, сварочное оборудование, системы электрооборудования и программного управления. В состав технологических комплексов входит оборудование для правки, сварки, вырубки проволоки, укладки готовых сеток в пакет.

Общий вид технологических комплексов изготовления сварных арматурных изделий приведен на рисунках 2 и 3.



Рис. 2. Технологический комплекс по изготовлению пространственных каркасов из проволоки диаметром 3 ... 6 мм

Rys. 2. Technologiczny kompleks wytwarzania przestrzennych zbrojeń z drutu ϕ 3-6 mm

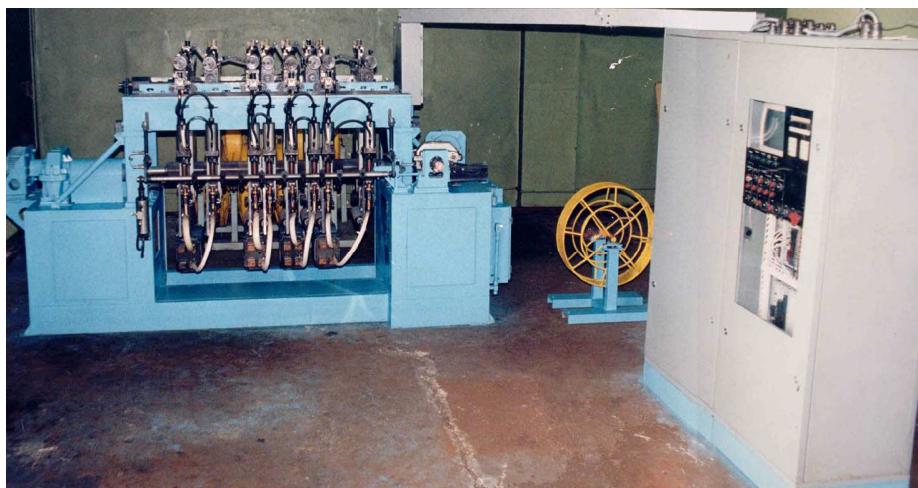


Рис. 3. Технологический комплекс по изготовлению арматурных сеток из проволоки диаметром 3 ... 6 мм.

Rys. 3. Technologiczny kompleks (TK) wytwarzania siatek armaturowych z drutu ϕ 3-6 mm

Технические характеристики ТК для изготовления сеток шириной до 1600 мм

Techniczne charakterystyki TK wytwarzania siatek o szerokości do 1600 mm

Напряжение питающей сети, В.....	380
Установленная мощность сварочных трансформаторов, кВА.....	160
Количество сварочных трансформаторов (ТК-301), шт.....	4
Установленная мощность электродвигателей, кВт.....	8,6
Количество электродвигателей (ДР-4), шт.....	2
Количество сварочных блоков, шт.....	8
Габариты свариваемых сеток и каркасов, мм	
длина.....	100-12000
ширина.....	140 - 1600
Количество продольных проволок, шт.....	1 - 8
Количество поперечных проволок, шт.....	1
Шаг продольных проволок, мм.....	100 и более
Шаг поперечных проволок, мм.....	50 и более
Количество переменных шагов поперечных проволок в одном изделии, мм.....	не ограничивается
Производительность, шагов/мин.....	10 - 30
Система управления.....	микропроцессорная
Давление питающей сети, МПа.....	0,4 - 0,6
Габаритные размеры ТК, мм	
длина.....	3860
ширина.....	6900
высота.....	2300
Масса, т.....	5,1

Технические характеристики ТК для изготовления пространственных каркасов

Techniczne charakterystyki TK wytwarzania przestrzennych zbrojeń

Напряжение питающей сети, В.....	380
Установленная мощность сварочных трансформаторов, кВА.....	400
Количество сварочных трансформаторов (ТК-401), шт.....	4
Установленная мощность электродвигателей, кВт.....	13,1
Количество электродвигателей (ДР-4), шт.....	4
Количество сварочных клещей, шт.....	9
Габариты свариваемых изделий (блоков), мм	
длина.....	до 6500
ширина.....	2600
высота.....	110 и 50
Количество продольных проволок, шт.....	8
Количество одновременно подаваемых поперечных проволок, шт.....	2
Шаг продольных проволок, мм.....	по конструкции изделия
Шаг поперечных проволок, мм.....	по конструкции изделия
Система управления.....	микропроцессорная
Давление питающей сети, МПа.....	0,4 - 0,6
Габаритные размеры машины, мм	
длина.....	22800
ширина.....	5800
высота.....	3800
Масса, т.....	17

Технологические комплексы соответствуют современным требованиям технологии и обеспечивают высокую эффективность их применения в условиях серийного, мелкосерийного и единичного производства широкой номенклатуры сварных арматурных сеток и каркасов при высокой производительности за счет следующих преимуществ:

- изготовление сварной арматуры из бухт или кассет с проволокой позволяет исключить заготовительные операции правки и резки проволоки на стержни, транспортировку стержней, сэкономить до 10% арматурной проволоки и снизить трудоемкость изготовления до 40%;
- быстрое освоение производства новых изделий с минимальными затратами на переналадку (до 10 минут) без остановки технологического комплекса за счет возможности автономной подготовки рабочих программ на компьютере;
- стабильность технологических процессов, возможность многократного точного воспроизведения процесса изготовления изделия по заданной программе;
- соответствующее стандартам высокое качество арматурных изделий, стабильность геометрических формы и размеров, качества сварки и размеров осадки сварных соединений;
- возможность автоматизации планово-диспетчерских работ, получения точной оперативной информации о ходе производства.

ВЫВОДЫ

Интеграция электромеханики и микроэлектроники при компоновке машин привела к появлению комплексных интегрированных мехатронных модулей движения рабочих органов

и узлов машин, а также создаваемого на их основе оборудования. Такая интеграция требует использования систем компьютерного управления движениями, деталями, инструментами, источниками энергии, транспортными и другими механизмами.

В результате составляющие части мехатронных комплексов не просто дополняют друг друга, но и объединяются таким образом, чтобы образованная система обладала качественно новыми свойствами.

Элементы интегрированных мехатронных комплексов выбираются разработчиком на стадии функционального проектирования, а затем обеспечивается необходимая конструкторская и технологическая поддержка при производстве и эксплуатации модуля. В этом радикальное отличие мехатронных систем от традиционных, когда пользователь самостоятельно объединяет в систему разнородные механические, электрические и информационно-управляющие устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сироткин, О. Технологический облик России на рубеже XXI века / О. Сироткин // Экономист. – 1998. – № 4. – С. 3–9.
2. Технологические аспекты конверсии машиностроительного производства / А.С. Васильев [и др.]. – Тула: ТулГУ, 2003. – 271 с.
3. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / А.Г. Братухин [и др.]; под общ. ред. А.Г. Братухина. – Киев: Техника, 2001. – 728 с.
4. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития /Л.М. Акулович [и др.]; под общ. ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – 268 с.
5. Медведев, В.С. Мехатроника в системе машиностроительных научно-технических дисциплин / В.С. Медведев // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1998. – №2. – С. 110–116.
6. Бушуев, В.В. Мехатронные системы в станках / В.В. Бушуев // СТИН. 1998. – №9 – С. 19 – 22.
7. Артоболевский, И.И. Механизмы в современной технике. Справочное пособие: в 7 т. / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1979. – Т.1. – 496 с.
8. Акулович, Л.М. Проектирование технологических комплексов на базе высокоэффективных технологий / Л.М. Акулович, М.Л. Хейфец, Е.З. Зевелева, А.А. Садюкович // Машиностроение: Сб. науч. тр. Вып.18; под ред. И.П. Филонова. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – С.84–89.
9. Артоболевский, И.И. Основы синтеза систем машин автоматического действия / И.И. Артоболевский, Д.Я. Ильинский. – М.: Наука, 1983. – 280 с.
10. Хейфец, М.Л. Проектирование мехатронных технологических комплексов высокоэффективной обработки деталей машин / М.Л.Хейфец, Е.З.Зевелева, Л.М. Акулович // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. В, Прикладные науки. – 2004. – №1. – С. 59–65

DESIGNING AND PRODUCTION MECHATRONIC OF WELDING-ASSEMBLY TECHNOLOGICAL COMPLEXES FOR PRODUCTION OF REINFORCING PRODUCTS

Abstract. The analysis of efficiency of technological complexes is conducted. It is recommended to conduct designing welding-assembly technological complexes on the basis of synthesis of the unified gears, units and the systems integrated into blocks and modules, including mechanical, welding equipment, systems of an electric equipment and program management.

Bogusław REIFUR
Politechnika Wrocławska
Wrocław, Polska

PROBLEMY TECHNOLOGICZNE W POŁĄCZENIACH MONTAŻOWYCH MINI I MIKRO PRODUKTÓW

Zagadnienia technologii mikro i mini stanowią nierozwalny związek z problemami montażowymi w zakresie koncepcji, projektowania a szczególnie problemów technologicznych połączeń montażowych. Dotyczy to szczególnie problematyki wzajemnych połączeń mikro i mini elementów, a także dokładności i powtarzalności tych połączeń.

Dynamiczny rozwój inżynierii materiałowej oraz technologii wytwarzania umożliwia coraz szerszą miniaturyzację części i urządzeń w takich dziedzinach jak: elektronika, motoryzacja, lotnictwo, biotechnologia, medycyna, farmaceutyka, uwypuklając jednocześnie problemy natury montażowej. Obecnie zapotrzebowanie na mini- i mikrouządzenia jest ogromne. I choć ich wykorzystanie w życiu codziennym jest tak szerokie, wytwarzanie mikrouządzeń jest skomplikowane i stwarza wiele problemów. Próby wytwarzania monolitycznych mikroczości nie zawsze przynoszą oczekiwane rezultaty. Produkowane zatem mikrouządzenia składają się najczęściej z różnych mikroczości, zarówno pod względem materiałowym jak i konstrukcyjnym.

Proces mikromontażu jest operacją obejmującą wiele czynności typowych dla montażu części w zwykłej skali, takich jak: chwytanie, manipulowanie, łączenie uwypuklając specyfikę procesu. Biorąc pod uwagę sposób montażu wykorzystywany w produkcji mikrouządzeń, montaż ręczny jako najbardziej elastyczny często staje się niemożliwy ze względu na małe rozmiary produktów. W rezultacie mikromontaż z uwagi na realizowane połączenia montażowe staje się sektorem o istotnym znaczeniu z powodu szczególnych potrzeb zautomatyzowania procesów produkcyjnych i montażowych.

PROBLEMY TECHNOLOGICZNE

Mikromontaż jest kluczowym procesem w produkcji urządzeń, których poszczególne części wchodzące w ich skład mają wielkości nie przekraczające milimetra a problemy montażu mikroelementów opisywane są przez pryzmat klasycznego montażu, nie biorąc przy tym pod uwagę realiów mikroświata. Problemy technologiczne występujące podczas wykonywania operacji połączenia mikroelementów wynikają głównie z występującego efektu skali związanego z rozmiarem części i oprzyrządowania technologicznego. Najczęściej występujące problemy zostały przedstawione na rys. 1.

Problemy technologiczne występujące w procesach połączeń elementów mini i mikro można sklasyfikować ze względu na kilka czynników:

Połączenia mikroczości:

- zaprojektowanie konstrukcji mikroczości pod kątem sposobu łączenia,
- zaprojektowanie odpowiedniego sposobu łączenia elementów,
- dokładne dopasowanie mikroczości względem siebie jak i względem narzędzia,
- zbyt duża powierzchnia zajęta przez połączenie,
- mniejsza wytrzymałość części w miejscu połączenia,
- wymagania odnośnie wprowadzenia dodatkowych operacji,
- wielkość zanieczyszczeń, które w porównaniu do wielkości łączonych elementów wpływają na niezawodność pozycjonowania i trwałości połączeń.

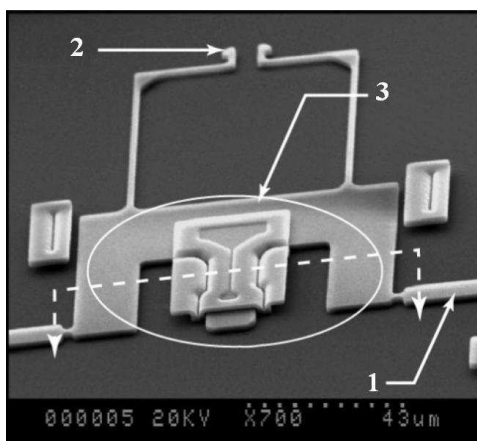
wywane i transportowanie oraz łamanie się w pewny i przewidywalny sposób, gdy mikrochwytak łapie część (ang. *Tether feature*).

Po drugie, powinny posiadać element służący do łączenia ich z innymi mikroczęściami podczas operacji montażu (ang. *Micro-joint feature*). Po trzecie i najważniejsze, należy zaprojektować powierzchnie lub elementy chwytne, za które mikroczęść będzie łapana przez mikrochwytak i nie zostanie uszkodzona (ang. *Interface feature*). Element ten umożliwia chwytać różne części, posiadające taki sam element chwytny, za pomocą jednego chwytaka. Pozwala to obniżyć koszty związane z wytwarzaniem różnych mikrochwytaków dla różnych mikroczęści. Wszystkie konieczne do zaprojektowania elementy zostały przedstawione na rys. 2 [2].

Tabela 1. Dokładności pozycjonowania i instrumenty wizualizacji części montażowych w zależności od skali [3]

Skala	Wielkość	Dokładność pozycjonowania	Instrument potrzebny do wizualizacji
Nano	< 500 nm	< 250nm	SEM/TEM*
Mikro	0,5 μm – 500 μm	0,25 μm – 2,5 μm	Mikroskop optyczny
Mezo	500 μm - 5 cm	2,5 μm – 25 μm	Zwykła optyka
Makro	> 5 cm	>25 μm	Zwykła optyka

SEM – Scanning Elektron Microscope
TRM – Transmission Elektron Microscope



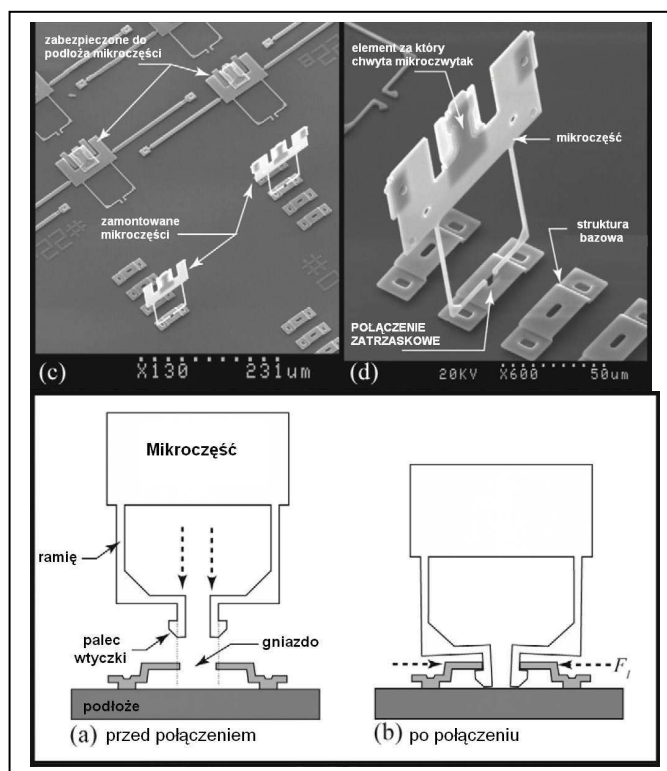
Rys. 2. Trzy szczególne elementy, które należy zaprojektować: 1 – element mocujący do podłoża (ang. *Tether feature*), 2 – element łączący mikroczęści (ang. *Micro-joint feature*), 3 – element, za który chwyta mikrochwytak (ang. *Interface feature*) [6]

Mikromontaż określany jako montaż różnych mikrokomponentów z submikronową precyzją leży między konwencjonalnym montażem w skali makro (w przypadku, gdy wymiary elementów są większe niż 1 mm) oraz szybko powstającej dziedzinie montażu w skali nano (gdzie rozmiar części jest mniejszy niż 1 μm). Problemy dokonywania połączeń na poziomie μm należą do jednych z najtrudniejszych zadań procesu montażu. Tylko niektóre z tradycyjnych metod łączenia znajdują ograniczone zminiaturyzowane zasto-

sowanie. Zaistniała więc konieczność opracowania specjalnych technik łączenia mikroczęści. Oprócz połączeń czysto mechanicznych (mikrolity, mikrorzepy, połączenia kształtowane, połączenia wciskowe, połączenia typu zatrask, stosowane są też znane jak klejenie, spawanie laserowe, lutowanie [3, 4, 5, 6, 7] oraz nowego rodzaju metody wykorzystujące mikrotechnologię krzemową np. bonding anodowy i fuzyjny.

Nowe technologie wytwarzania mikro elementów umożliwiają wykorzystanie rzeczywistych połączeń typu zatrask rys. 3 (obraz SEM).

System łączący składa się ze stożkowej wtyczki związanej z jedną mikrocząścią oraz z gniazda będącego elementem części bazowej drugiej mikrocząści rys. 2a. Połączenie tworzy się, gdy wtyczka jest włożona do gniazda, tworząc połączenie z wciskiem między palcem wtyczki a wewnętrzną krawędzią gniazda rys. 2b.

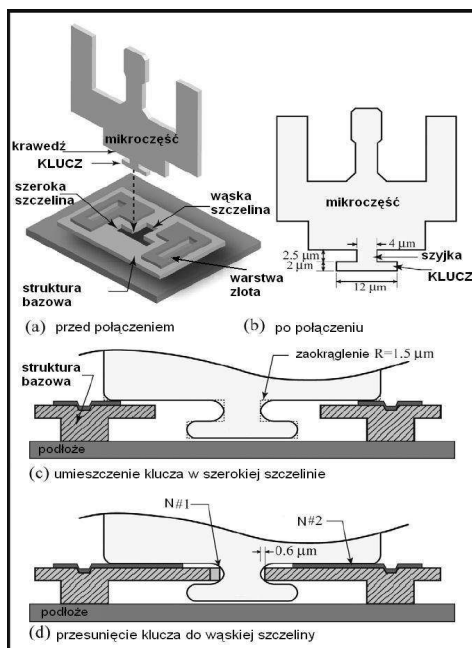


Rys. 3. Schemat połączeń typu zatrask a, b; dwa obrazy SEM c, d [4]

Geometria palca wtyczki została zaprojektowana w taki sposób, że jeśli została już raz włożona do gniazda nie może być z niego usunięta, tworząc trwałe połączenie. Projektując odpowiednio luz ujemny między wtyczką i gniazdem można stworzyć połączenie o określonej sztywności połączenia. Im większy luz ujemny, tym większa sztywność złącza. Połączenie może być również zaprojektowane z „luźnym pasowaniem” w przypadku gniazda o okrągłym kształcie a ta konfiguracja może zostać wykorzystana do stworzenia połączenia obrotowego. Połączenia z dużym luzem ujemnym są wymagane do uzyskania sztywnych połączeń. W praktyce oznacza to jednak, że zadanie umieszczenia wtyczki w gnieździe o dużym luzie ujemnym (pasowanie wciskowe) jest powtarzane wiele razy zanim nie uzyska się prawidłowego wyrównania części [8].

Kolejne z tego typu połączeń – typu klucz składające się z dwóch geometrycznych elementów wymaganych do uzyskania połączenia przedstawiono na rys. 4.

Połączenie typu klucz działa na zasadzie blokady mechanicznej między kluczem a gniazdem, a tarcie między mikroczęścią a strukturą bazową uniemożliwia wysuwanie się klucza z gniazda. Połączenia typu klucz zostały stworzone w celu zapewnienia kompaktowej metody łączenia mikroczęści. Dla przykładu, przy użyciu połączeń typu zatrask mikroczęści pozostają w pewnej odległości, wynikającej z długości ramion, od struktury bazowej, tak jak pokazano na rys. 3a. Rezultatem tego jest umieszczenie mikroczęści wysoko ponad podłożem. W przypadku niektórych zastosowań, takich jak montaż cewki mikrotransformatora jest to korzystne. Jednak w innych przypadkach pożądane może być połączenie, gdzie brzeg jednej mikroczęści spoczywa bezpośrednio przy drugiej. W odróżnieniu od konstrukcji połączenia zatraskowego, klucz jest stosunkowo niewielkich rozmiarów. Wymiary klucza są pokazane na rysunku 4 b. Gdy klucz włożony jest do gniazda, znajdującego się na strukturze bazowej, cała jego struktura znajduje się w gnieździe tak, że żaden element nie wystaje. Wynikiem jest kompaktowe połączenie, umożliwiające stykanie się krawędzi mikroczęści, jak pokazano na rys.4b, do górnej powierzchni struktury bazowej.

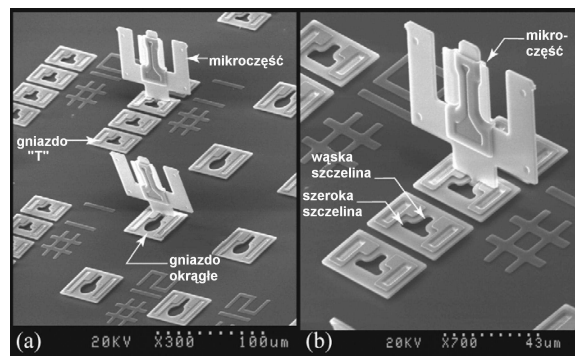


Rys. 4. Połączenie typu klucz [8]

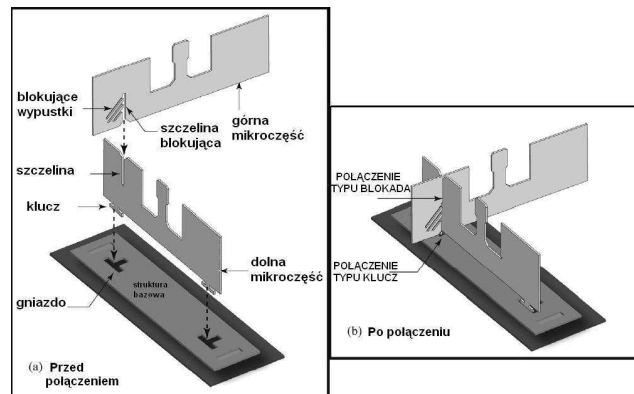
Interesującym z punktu widzenia procesu łączenia jest połączenie typu klucz. Klucz znajdujący się na jednej mikroczęści jest jej najniższym punktem, gdy jest ona ustawiona prostopadle do podłoża przez mikrochwytak. Szerokość klucza wynosi 12 μm a szersza szczelina ma 18 μm. Istnieje zatem 6 μm luz boczny, gdy klucz znajduje się w szerokiej szczelinie rys. 4c. Kreskowany obszar reprezentuje przekrój struktury bazowej. Szyjka klucza ma 2,5 μm wysokości, więc nie ma problemów z przemieszczeniem go do wąskiej szczeliny. Krawędź mikroczęści ma niewielki lub żaden kontakt z górną częścią struktury bazowej. Należy dodać, że geometria klucza została dostosowana przez zaokrąglenia krawędzi, które są następstwem mikroobrobki. Po włożeniu klucza do szerokiej szczeliny na prawidłową głębokość, zakłada się, że klucz jest w

konfiguracji rys. 4c. Mikroczęść jest następnie przesuwana tak, aż szyjka klucza wejdzie do wąskiej szczeliny. Została ona zaprojektowana jako mały trapez o szerokości 6 μm na wejściu i tylko 5 μm w dalszej części. To przewężenie 1 μm ma za zadanie zniwelować luz w trakcie wkładania klucza do wąskiej szczeliny, co przedstawione jest na rysunku 4d. Przesunięcie klucza do samego końca pozwoli zaklinować mikroczęść na boki, a co za tym idzie całkowicie zniwelować luz. Dodatkowo krawędź mikroczęści zostanie wciśnięta na warstwę złota, jak pokazano na rysunku 4d. Tarcie statyczne pozwala utrzymać mikroczęść na pożądanym miejscu. Obrazy SEM udanych połączeń typu klucz pokazują połączenia z gniazdem w kształcie litery T oraz gniazdem okrągłym na rys. 5a, b. [8].

Kolejne połączenia typu blokada - rygiel używane są do montażu trzech lub więcej mikroczęści ze sobą, aby utworzyć sześcienną mikrostrukturę. Do stworzenia wspólnego połączenia typu blokada wymagane są trzy rodzaje mikroczęści przedstawione na rys. 6. Połączenie to uzyskuje się w dwóch etapach. W pierwszym, dolna mikroczęść jest dołączana do struktury bazowej za pomocą połączenia typu klucz (rys. 6a) lub typu zatrzask. Kolejnym krokiem jest wyrównanie ze sobą i włożenie szczeliny górnej mikroczęści do szczeliny dolnej mikroczęści tworząc ich wspólne połączenie. Uzyskane w ten sposób połączenie przedstawione jest na rys. 6b.

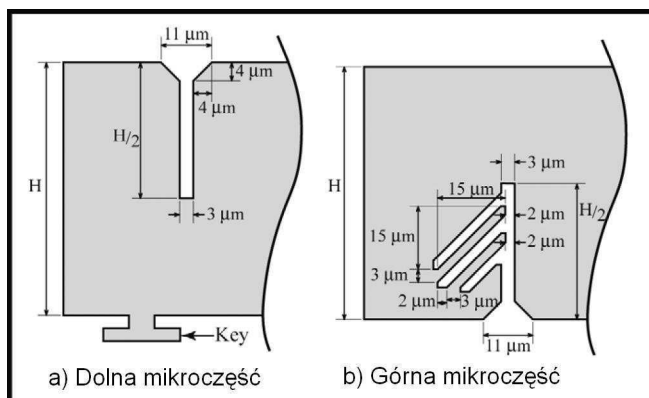


Rys. 5. Połączenia typu klucz w gniazdem o kształcie „T” i okrągłym. Obrazy SEM [8]



Rys. 6. Połączenie typu blokada [8]

Ważną rolę w połączeniu z uwagi na wymaganą dokładnością pozycjonowania odgrywa szczelina blokująca rys 6a. Szczeliny blokujące są zaprojektowane w taki sposób, że podczas łączenia szczeliny wystąpi pasowanie z wciskiem. Szczelina blokująca jest wyposażona dodatkowo w elastyczne wypustki blokujące, rys. 7. Zostały one zaprojektowane z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES). Podczas wkładania szczeliny wypustki te ulegają odkształceniom i wywierają nacisk na dolną mikroczęść powodując powstanie sztywnego łącza. Ze względu na umieszczone wypustek blokujących pod kątem 45° , nie jest możliwe rozdzielenie mikroczęści bez uszkodzenia którejs z nich. W związku z tym powstałe w ten sposób połączenie rys. 8 jest stałe [8].



Rys. 7. Struktura detali połączenia typu blokada [8]

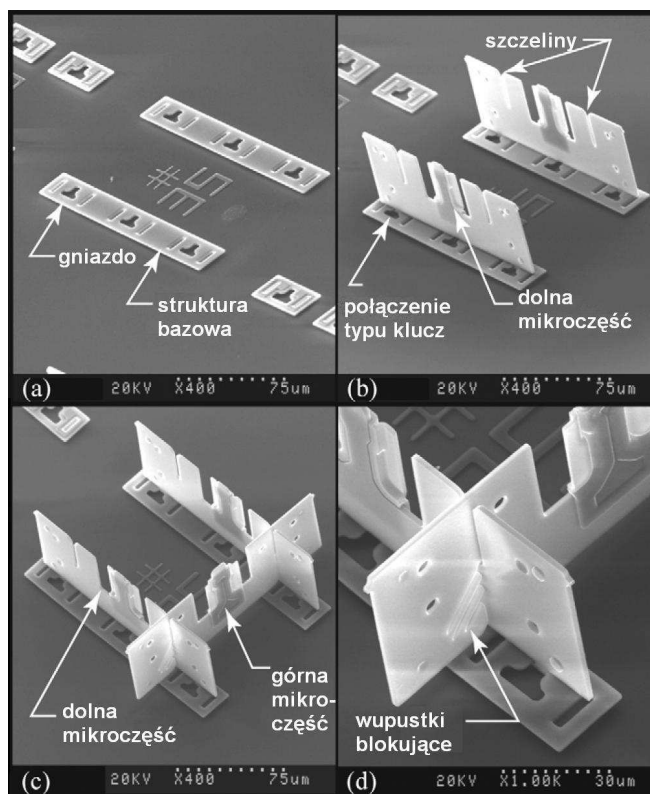
Bonding (ang. łączenie, spajanie) to zespół procesów technologicznych, umożliwiających trwałe łączenie niektórych materiałów o gładkich i płaskich powierzchniach. Istnieje wiele odmian bondingu. Jednak każdy z nich składa się z trzech etapów:

- przygotowania powierzchni do łączenia (mycie, aktywacja). Powierzchnie muszą być czyste, bezpyłne, i dobrze przylegające do siebie.
- zgrywania i wstępnego łączenia detali.
- formowania połączenia.

Etapy te są powiązane ze sobą i uzależnione od rodzaju zastosowanej odmiany bondingu. Łączenie przeprowadza się w temperaturze wysokiej ($>700^\circ\text{C}$), średniej (200°C - 500°C) lub niskiej (20°C - 200°C). Aktywacja procesu bondingu może być wywołana termicznie, bez zastosowania pola elektrycznego, wtedy mamy do czynienia z bondingiem fuzyjnym, lub może on być wspomagany polem elektrycznym, mowa wtedy o bondingu anodowym. Bonding jest stosowany zarówno jako procedura w początkowych etapach wytwarzania przestrzennych struktur mikromechanicznych, jak i w końcowych etapach formowania mikro-systemu. W technice mikrosystemów najszerze zastosowanie znajduje łączenie krzemu z krzemem i krzemu ze szkłem w układach dwu- i wielowarstwowych.

Bonding anodowy (elektrostatyczny) to niskotemperaturowe, wspomagane polem elektrycznym łączenie metali lub półprzewodników z dielektrykami nieorganicznymi, a szczególnie krzemu ze szkłem zwane jest bondingiem anodowym, elektrostatycznym lub spajaniem elektrostatycznym. W technologii mikrosystemów krzemowych bonding anodowy jest obok mokrego trawienia krzemu, najważniejszym procesem.

Podstawowe wyposażenie umożliwiające przeprowadzenie bondingu anodowego krzemu ze szkłem to: stolik przewodzący, o płaskiej i gładkiej powierzchni, z regulowaną temperaturą, zasilacz wysokonapięciowy i punktowa lub płaska elektroda polaryzacyjna.



Rys. 8. Obrazy SEM połączenia typu blokada [8]

Bonding fuzyjny to sposób łączenia podłoży krzemowych w wysokiej temperaturze bez udziału zewnętrznego pola elektrycznego jest nazywane bondingiem fuzyjnym, bezpośrednim lub termicznym. Płytki o płaskich, gładkich i czystych, zaktywowanych powierzchniach są doprowadzane do zetknięcia. Między powierzchniami wytwarza się słabe połączenie (tzw. połączenie spontaniczne). Siłę połączenia zwiększa się poprzez wygrzewanie. Bonding wysokotemperaturowy umożliwia łączenie powierzchni hydrofilowych oraz hydrofobowych [9].

Innym bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na proces technologiczny mikromontażu są warunki środowiska. Jego elementy takie jak: wilgotność, temperatura, wibracje, ciśnienie powietrza, prędkość przepływu powietrza, zanieczyszczenia bezpośrednio wpływają na zadania montażowe. Warunki środowiskowe takie jak temperatura i wilgotność mogą mieć wpływ na siły adhezji i mikrotribiologiczne właściwości mikroczęści. Inne parametry jak: np. wysoka częstotliwość lub niska częstotliwość drgań mechanicznych mogą doprowadzić do zakłóceń w procesie mikromontażu. Z kolei czystość powietrza może zmienić ładunek elektrostatyczny mikroczęści i narzędzi, co może przeszkadzać w procesie montażu itd. Biorąc pod uwagę powyższe problemy najlepszym ich rozwiązaniem jest wykonywanie operacji mikromontażowych w Clean room'ach. Dzięki temu możliwe jest prowadzenie kontrolowanego procesu odbywającego się w ściśle nadzorowanym środowisku. W zależności od wymaganej czystości atmosfery pomieszczenia clean room dzielone są na klasy, w których definiuje się ilość i poziom zanieczyszczeń na metr sześcienny atmosfery. Klasy te przedstawiono w tabeli 2 [10].

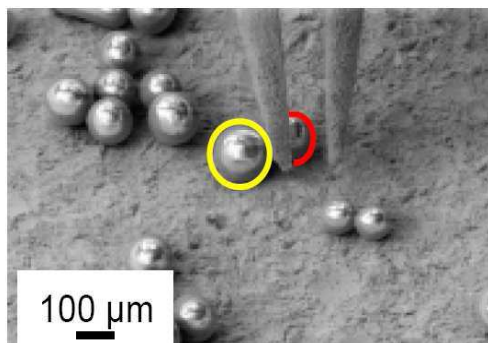
Tabela 2. Klasyfikacja clean room [13]

Klasy Clean room	maksymalna wartość liczby dopuszczalnych cząstek/m ³					
	≥ 0,1 μm	≥ 0,2 μm	≥ 0,3 μm	≥ 0,5 μm	≥ 1 μm	≥ 5 μm
ISO Klasa 1	10	2				
ISO Klasa 2	100	24	10	4		
ISO Klasa 3	1000	237	102	35	8	
ISO Klasa 4	10000	2370	1020	352	83	
ISO Klasa 5	100000	23700	10200	3520	832	29
ISO Klasa 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
ISO Klasa 7				352000	83200	2930
ISO Klasa 8				3520000	832000	29300
ISO Klasa 9				35200000	8320000	293000

MIKROCZĘŚCI I MIKROCHWYTAKI

W procesie mikromontażu nie należy zapominać o problemach technologicznych związanych z zagadnieniami chwytania, przenoszenia i doboru chwytaka w zależności od wykonywanych zadań. Występujący problem sił adhezyjnych między chwytakiem a mikrocząściami p rys. 9 4.10 zależy od:

- siła mostka cieczowego (siła międzyziarnowa kohezji- ang. the liquid bridge force) wynikająca z kondensacji kapilarnej wody, gdy wilgotność powietrza wokół dwóch stykających się powierzchni jest wysoka (ponad 60% RH);
- siła wiązania wodorowego pomiędzy cząsteczkami wody, adsorbowanej na dwóch powierzchniach, gdy wilgotność jest stosunkowo niska;
- siła van der Waalsa, kiedy zaadsorbowanych cząsteczek wody na powierzchni prawie nie ma.



Rys. 9 Problemy przylepiania [6]

Efekt przyczepiania jest nie tylko problemem montażu, ale również powoduje również problemy podczas produkcji mikrostruktur [11]. Dotyczy on również sił elektrostatycznych wynikających z generowania ładunków i przeniesienia ładunków podczas kontaktu i mają one istotny wpływ na mikromanipulowanie. W kontaktowym manipulowaniu siły elektrostatyczne są zwykle traktowane jako źródła zakłóceń, ale również są wykorzystywane jako siły napędowe w dwuwymiarowym samodzielnym montażu w suchych ośrodkach.

Problemy technologiczne zależą w większości od odpowiedniego dobrania mikrochwytnika do wykonywanych zadań a przy ich wyborze należy się kierować według następujących zasad:

- stosować materiały o małej kontaktowej różnicy potencjałów między chwytakiem a mikroczęścią.
- stosować materiały przewodzące, na których nie tworzą się wysoce izolacyjne rodzime tlenki.
- utrzymać małą powierzchnię styku. Zamiast płaskich preferowane są kuliste końcówki mikrochwytaka. Powierzchnia styku może być również zmniejszona przez zwiększenie chropowatości końcówek chwytaka. To, także znacznie zredukuje siły van der Waalsa.
- duży nacisk styku spowodowany siłami adhezyjnymi, może powodować lokalne odkształcenia w miejscu kontaktu. Deformacja ta zwiększa powierzchnię styku, a tym samym siły przyczepności. Preferowane są, więc twarde materiały.
- napięcie powierzchniowe może być zredukowane przy pomocy suchego otoczenia i hydrofobowych powłok. Atrakcyjną alternatywą jest montaż mikroczęści zanurzonych w cieczy, tzw. montaż fluidalny, który eliminuje siły elektrostatyczne oraz napięcie powierzchniowe. Napięcie powierzchniowe jest również wykorzystywane, aby przyczepność mikroczęści do podłoża w docelowej lokalizacji była większa niż do chwytaka
- ładunki swobodne, występujące w jonizowanym powietrzu mogą łączyć się i neutralizować ładunki powierzchniowe.

Biorąc pod uwagę problemy technologiczne wynikające z zastosowania chwytaków kontaktowych w operacjach mikro manipulowania najlepszym sposobem ich zapobiegania jest zastosowanie chwytaków bezkontaktowych. Techniki te mają mnóstwo zalet a niektóre z wymienionych korzyści nie ogranicza się tylko do manipulowania mikrokomponentami:

- siły powierzchniowe mogą być całkowicie zaniechane.
- tarcie jest znacznie zredukowane, co umożliwia wysoką rozdzielczość i dokładność ruchu urządzeń poprzez unikanie tarcia poślizgowego.
- manipulowanie skomplikowanych (kruchych, świeżo malowanych, wrażliwych lub mikronowych wielkości) elementów jest możliwe, ponieważ unika się dużego lokalnego nacisku, który ma miejsce w kontakcie mechanicznym. Możliwe jest także przenoszenie elastycznych mikroczęści.
- unika się zanieczyszczeń wytwarzanych przez niego jak i tych znajdujących się na chwytaku [12].

PODSUMOWANIE

Przedstawione w treści artykułu problemy należą do grupy przysparzających najwięcej kłopotów w mikromontażu. Innego rodzaju problemy dotyczą braku norm, standardów, unifikacji i standaryzacji. Brak jest możliwości wykorzystania tego samego rodzaju mikroczęści do różnych mikrokonstrukcji. Ten problem jest szczególnie ważny w związku z dążeniem do automatyzacji procesów mikromanipulacyjnych i montażowych.

LITERATURA

1. Kunt Emrah Deniz, Design and realization of a microassembly Workstation, Sabanci University, 2006
2. http://www.iof.fraunhofer.de/departments/precision-engineering/microassembly/index_e.html
3. Van Brussel H., Annals of the CIRP: Assembly of microsystems, Vol. 49 (2), 2000

4. Reifur Bogusław Aspekty budowy systemów połączeń składowych układów MEMS-micro-Electro-mechanical-Systems. *Technologia Automatykacja Montażu* 3/2007
5. Han Hongtao, Weiss Lee E., Reed Michael L., Micromechanical Velcro, *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. 1, No.1, 1992
6. Weck Manfred, Peschke Christian, Assembling Hybrid Microsystems, IAP Workshop - Advanced Mechatronic Systems Lovain-la-Neuve, 2003
7. Lu Zhe, Chen Peter C. Y., Lin Wei, Force Sensing and Control in Micromanipulation, *IEEE transactions on systems, man and cybernetics. Part C, Applications and reviews* vol. 36 nr 6, 2006
8. Dechev Nikolai., Mills James K, Leghorn William L., Mechanical Fastener Designs For Use In The Microassembly Of 3d Microstructures, 2004 ASME International Mechanical Engineering Congress and RD&D Expo, USA, 2004
9. Dziuban Jan, *Technologia i zastosowanie mikromechanicznych struktur krzemowych i krzemowo-szklanych w technice mikrosystemów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2004
10. Menz Wolfgang, Mohr Jürgen, Paul Oliver, *Microsystem technology*, John Wiley & Sons Inc, 2001
11. Chandra Santanu, A Numerical Study For Liquid Bridge Based Microgripping And Contact Angle Manipulation By Electrowetting Metod, 2007
12. Vandaele Vincent, Lambert Pierre, Delchambre Alain, Non-contact handling in microassembly: Acoustical levitation, *Precision Engineering* 4/ 2005, ELSEVIER,
13. Whyte William, *Cleanroom Technology: Fundamentals of Design, Testing an Operation*, John Wiley & Sons Inc, 2001

ASSEMBLY CONNECTIONS OF MINI AND MICRO PRODUCTS- TECHNOLOGICAL PROBLEMS

Abstract. Zagadnienia technologii mikro i mini stanowią nierozdzielny związek z problemami montażowymi w zakresie koncepcji, projektowania a szczególnie problemów technologicznych połączeń montażowych. Dotyczy to szczególnie problematyki wzajemnych połączeń mikro i mini elementów, a także dokładności i powtarzalności tych połączeń. W artykule przedstawiono wyżej wymienione zagadnienia w aspekcie problemów połączeń technologicznych mini i mikro produktów.

Katarzyna ANTOSZ
Dorota STADNICKA
Politechnika Rzeszowska
Rzeszów, Polska

DOSKONALENIE PROCESU PRODUKCJI MIESZADEŁ Z WYKORZYSTANIEM MAPOWANIA STRUMIENIA WARTOŚCI

MIXER ARMS PRODUCTION PROCESS DEVELOPING WITH USING VALUE STREAM MAPPING

WSTĘP

Konkurencyjny rynek i postępująca globalizacja wymuszają na przedsiębiorstwach ciągłe cięcia kosztów. Ceny wyrobów, które kształtuje rynek dają małe szanse na zyski przedsiębiorstwom niegospodarnym i takim, które nie poszukują oszczędności. Klient wybierając wyrób jest skłonny za niego zapłacić tyle, ile wyrób jest dla niego wart. Według Philipa Kotlera „całkowita wartość wyrobu dla klienta jest sumą korzyści, jakich oczekuje on od danego produktu, czy usługi.” [2] Możemy jednocześnie powiedzieć, że wartość tworzą te działania w procesie wytwarzania wyrobu, za które klient jest skłonny zapłacić, czyli działania, które kształtują wyrób. W czasie przechodzenia z operacji na operację wartość rośnie. Niestety nie wszystkie operacje powodują wzrost wartości [1].

Mapowanie strumienia wartości jest metodą umożliwiającą dokonanie analizy procesów realizowanych w firmie pod kątem występującego w nich marnotrawstwa w łatwy i prosty sposób. Z jej pomocą można zidentyfikować czynności nietworzące wartości. Jest metodą niewymagającą ponoszenia kosztów na oprogramowanie komputerowe do analiz, ani specjalnego sprzętu, czy określonych kwalifikacji personelu, a jednocześnie skuteczną. Metoda z powodzeniem była stosowana w zakładach Toyoty, jest promowana przez Mike’a Rothera i Sohna Shook’a a w Polsce przez Wrocławskie Centrum Transferu Technologii Politechniki Wrocławskiej [4]. W dostępnych źródłach literaturowych spotyka się jednakże mało praktycznych przykładów zastosowania metody w praktyce, co przecież ułatwiłoby zrozumienia procesu mapowania i stosowania narzędzi szczupłej produkcji w różnego rodzaju sytuacjach produkcyjnych. W niniejszej pracy autorzy prezentują prace nad doskonaleniem przepływu strumienia wartości występującego w średniej wielkości firmie produkcyjnej wytwarzającej wyroby w wielu rodzajach, co powoduje konieczność wdrażania specyficznych rozwiązań.

CEL I ETAPY WDRAŻANIA VSM

Głównym celem mapowania strumienia wartości jest pokazanie jak wartość jest generowana w procesie i na jakich stanowiskach pracy. Wartość przepływa przez różne stanowiska, a praca na nich wykonywana dodaje wartość do wyrobu procesowi, bądź nie. Jak już wspomniano wartość w procesie produkcyjnym tworzą te działania, za które klient jest skłonny zapłacić. Klient nie chce płacić za powstałe w procesie niezgodności, za poprawki, czy za straty generowane przez realizowaną nadprodukcję, zapasy, zbędne czynności, oczekiwanie itp.

Mapowanie strumienia wartości pozwala na zidentyfikowanie tych działań, które stanowią czyste marnotrawstwo. Straty w procesie najłatwiej jest znaleźć po całościowym przedstawieniu przebiegu procesu w postaci graficznej i wskazaniu przepływu wartości oraz przepływu materiałów w procesie. Po opracowaniu mapy łatwo zidentyfikować te miejsca, w których materiały, wyroby w toku produkcji, czy wyroby gotowe zatrzymują się w jednym miejscu na dłuższy czas, zamiast płynąć do klienta. [3]

Mapowanie strumienia wartości składa się z kilku etapów, do których zalicza się:

1. Wybór rodziny wyrobów.
2. Wybór menedżera strumienia wartości.
3. Zebranie informacji o procesie.
4. Opracowanie mapy stanu aktualnego.
5. Analiza mapy: poszukiwanie strat, identyfikacja problemów, proponowanie rozwiązań.
6. Opracowanie mapy stanu przyszłego.
7. Opracowanie planu wdrożenia stanu przyszłego.
8. Wdrażanie.
9. Ocena wyników. [4]

Rodzina wyrobów

W pierwszym etapie wybierana jest rodzina wyrobów, dla których powstanie mapa. Za rodzinę wyrobów uważamy te wyroby, które przechodzą przez te same stanowiska pracy i operacje technologiczne, przy czym nie koniecznie każdy rodzaj wyrobów musi przejść przez wszystkie stanowiska, przez które przechodzą wyroby innego rodzaju. Najłatwiej wyjaśnić definicję rodziny wyrobów na przykładzie (tab. 1).

Tab. 1. Identyfikacja rodziny wyrobów. Źródło: opracowanie własne

Wyroby	Operacje									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wyrób 1	+	+	+	+		+	+		+	
Wyrób 2	+	+	+	+		+	+		+	
Wyrób 3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Wyrób 4	+				+			+	+	+
Wyrób 5	+				+	+			+	
Wyrób 6	+	+					+	+	+	+
Wyrób 7	+	+					+	+	+	+

Rodzina wyrobów

Wyrób 1, wyrób 2 i wyrób 3 przechodzą przez operacje technologiczne 1, 2, 3, 4, 6, 7 i 9, a wyrób 3 przechodzi dodatkowo przez operacje 5 i 8, można więc uznać, że wszystkie one należą do jednej rodziny wyrobów i jest możliwe przedstawienie strumienia przepływu wartości w procesie produkcyjnym tych wyrobów na jednej mapie.

Menedżer strumienia wartości

Menedżer strumienia wartości jest dla rodziny wyrobów tym, kim jest właściciel dla swojego procesu. Jego zadaniem ma być nadzór nad przepływem strumienia wartości i reagowanie na pojawiające się problemy. Ta jedna osoba powinna posiadać kompleksowe, aczkolwiek nie koniecznie szczegółowe informacje, na temat tego, co się dzieje z wytwarzanymi wyrobami. Menedżer odpowiada za to, aby wartość płynęła, bez względu na to, w jakim wydziale i w jakiej komórce organizacyjnej przedsiębiorstwa wyrób się aktualnie znajduje. Menedżer powinien mieć odpowiedzialności i uprawnienia do podejmowania decyzji związanych z pracą wszystkich komórek organizacyjnych, przez które płynie strumień określonej rodziny wyrobów.

Zebranie informacji o procesie

Informacje o procesie, przez który przepływają wyroby zbierane są „z natury”. Oznacza to, że aby stworzyć mapę stanu aktualnego powinniśmy przejść drogę, którą fizycznie pokonują wyroby „od drzwi do drzwi”, zmierzyć ile czasu spędzają na poszczególnych stanowiskach pracy, gdzie i jak długo oczekują na kolejną operację oraz w jaki sposób dostają się do klienta. A w szczególności zbieramy następujące informacje:

- wymagania dostawców dotyczące zamawianych ilości, rodzajów wyrobów oraz sposobu dostawy,
- wymagania naszej firmy dotyczące terminów składania zamówień przez klientów,
- wymagania naszych dostawców dotyczące zamawiania materiałów dla wytwarzania analizowanej rodziny wyrobów,

- rodzaje operacji produkcyjnych,
- czasy trwania operacji,
- czasy przebrożeń,
- dostępność stanowisk pracy,
- zmienność pracy w organizacji,
- liczba operatorów maszyn i urządzeń wykorzystywanych w procesie,
- sposób planowania produkcji i przydzielania zadań produkcyjnych,
- planowanie wysyłek do klienta,
- zapasy materiałów, wyrobów w toku produkcji oraz wyrobów gotowych,
- sposobów komunikacji w procesie między klientem a naszą organizacją, organizacją a dostawcą, działem sterowania produkcją organizacji a wydziałami produkcyjnymi.

Opracowanie mapy stanu aktualnego

Opracowanie mapy stanu aktualnego polega na graficznej prezentacji działań realizowanych w procesie za pomocą określonych symboli graficznych.

Analiza mapy stanu aktualnego

Analiza mapy stanu aktualnego polega na poszukiwaniu marnotrawstwa, aby następnie wyszczuplić strumień wartości.

Opracowanie mapy stanu przyszłego

Mapa stanu przyszłego jest graficzną prezentacją propozycji eliminacji marnotrawstwa.

Plan wdrożenia i wdrożenie stanu przyszłego

Mapa stanu przyszłego to niestety jedynie pewien schemat graficzny. Kolejnym krokiem jest praktyczne wdrożenie zaproponowanych rozwiązań według ustalonego planu z określonymi celami, zadaniami, odpowiedzialnościami i terminami.

Ocena wyników

Po wdrożeniu planu przychodzi czas na podsumowanie. Dokonywana jest ocena faktycznie uzyskanych korzyści, co konfrontowane jest z nakładami poniesionymi na wprowadzenie zmian.

ZNACZENIE SYMBOLI GRAFICZNYCH STOSOWANYCH PRZY OPRACOWYWANIU VSM

W mapowaniu strumienia wartości używa się określonych symboli graficznych, dzięki czemu proces można przedstawić jasno i przejrzysto, i łatwo zidentyfikować miejsca do doskonalenia. W tabeli 1 przedstawiono symbole oraz ich znaczenie, a w dalszej części niniejszego artykułu zastosowanie.

PREZENTACJA DZIAŁAŃ REALIZOWANYCH W ANALIZOWANYM PROCESIE PRODUKCYJNYM

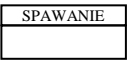


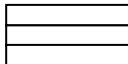


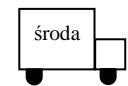
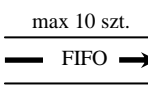


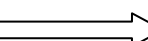


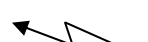


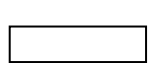


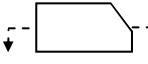


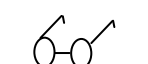

W niniejszej części artykułu przedstawiono proces wytwarzania wybranej rodziny wyrobów, w którym zastosowano metodę mapowania strumienia wartości a wyniki pracy przedstawiono dalej.

Informacje ogólne

Produkcja analizowanych wyrobów jest tylko niewielkim wycinkiem z całej produkcji realizowanej w firmie. Wyrobami są mieszadła mające postać metalowego pręta z przyspawanym na końcu elementem mieszającym z płaskownika wygiętego na obydwu końcach. Mieszadła są dostępne w pięciu różnych długościach, pięciu średnicach pręta, pięciu średnicach elementu mieszającego oraz trzech szerokościach płaskownika elementu mieszającego. W sumie w rodzinie produktów podlegających analizie znajduje się 375 różnych odmian mieszadeł budowlanych.

W gronie odbiorców mieszadeł znajdują się zarówno producenci narzędzi dla branży budowlanej jak i firmy zajmujące się ich bezpośrednią sprzedażą. Ze względu na to, że mieszadła produkowane są w tak wielu odmianach, występuje długi czas oczekiwania klientów na zamówione wyroby, co stanowi główny problem firmy. Klientom zapewniany jest miesięczny czas realizacji zamówień.

Tab. 2. Symbole graficzne (ikony) wykorzystywane do budowy mapy przepływu strumienia wartości. Źródło: opracowanie własne na podstawie: [4].

Symbol	Znaczenie symbolu	Symbol	Znaczenie symbolu	Symbol	Znaczenie symbolu
	- element procesu wytwórczego		- przedsiębiorstwo zewnętrzne		- operator
	- dane		- kaizen		- supermarket
	- transport		- kolejka FIFO		- bufor lub zapas bezpieczeństwa
	- pchanie		- wyroby gotowe dla klienta		- ssanie
	- przepływ informacji		- przepływ informacji drogą elektroniczną		- zapasy
	- poziomowanie produkcji		- zamówienie codzienne		- kanban sygnałowy
	- kanban transportowy		- kanban produkcyjny		- skrzynka na karty kanban
	- karty kanban przemieszczane partiami		- harmonogramowanie typu „idź i zobacz”		- ssanie sekwencyjne

Klienci, jednakże nie są w stanie przewidzieć dokładnie swoich potrzeb na okres dłuższy niż 2 tygodnie i dlatego dokonują korekt zamówień na 14 dni przed terminem ich realizacji. Korekty te powodują konieczność zmiany priorytetów zleceń kierowanych na wydziały produkcyjne. Mimo tego, że Dział Sterowania Produkcją przekazuje zamówienia klientów na produkcję mniej więcej w kolejności ich napływania, zamówienia dzielone są na partie w celu zredukowania liczby czasochłonnych przebrojeń maszyn. Fakt ten powoduje również konieczność zmiany priorytetów zleceń.

Wymagania klientów

Klienci zamawiają średnio 20.000 sztuk miesięcznie. Pojedyncze zamówienia są na poziomie od 25 do 100 sztuk - średnio 50 sztuk. Mieszadła pakowane są w pudła ochronne zawierające 5 mieszadeł. Transport gotowych wyrobów do klientów odbywa się transportem własnym raz dziennie. Kolejne zamówienia składane przez danego klienta mogą się od siebie znacząco różnić. Firma wymaga, aby zamówienie było złożone 30 dni przed żądaną datą wysyłki. Często zdarzają się korekty zamówień przez klientów na 2 tygodnie przed terminem realizacji. W trakcie produkcji mieszadeł budowlanych wykonywane są następujące operacje: cięcie metalowych prętów, cięcie płaskownika na element mieszający, gięcie płaskownika w celu uformowania końcówek mieszających, spawanie (łączenie pręta i płaskownika), obróbka wykonanych spawów (mechaniczne usunięcie nadmiaru materiału w spoinie), malowanie wykonywane przez zewnętrzną firmę (kooperanta). Przejście na produkcję mieszadeł o innej długości wymaga 15 minut przebrojenia

urządzeń wykorzystywanych do cięcia, spawania i obróbki spawów. Przejście na produkcję mieszadeł o innej średnicy wymaga godzinnego przebrojenia urządzeń wykorzystywanych do cięcia, spawania i obróbki spawów. Dłuższy czas przebrojenia w przypadku zmiany średnicy wynika z większych wymagań dotyczących jakości.

Współpraca z dostawcami

Firma współpracuje z dwoma stałymi dostawcami. Jeden z nich dostarcza pręty i oczekuje składania zamówień na 16 tygodni przed dostawą. Drugi dostarcza płaskowniki. Zamówienie do niego musi być złożone 10 tygodni przed dostawą. Dostawa surowca realizowana jest przez obydwu dostawców dwa razy w miesiącu.

Czas pracy

Analizowana firma pracuje 20 dni w miesiącu w systemie 2-zmianowym na wszystkich wydziałach produkcyjnych. Zmiana trwa 8 godzin. Jeśli istnieje konieczność pracuje się w nadgodzinach. W czasie każdej zmiany są dwie 15-minutowe przerwy. Wszystkie czynności wykonywane ręcznie na czas przerw są wstrzymywane. Przerwy obiadowe są niepłatne.

Sterowanie produkcją

Dział Sterowania Produkcją wprowadza zamówienia klientów do systemu MRP. Dla każdego zamówienia klienta opracowywane są zlecenia produkcyjne, a następnie przekazywane na poszczególne stanowiska pracy raz na tydzień. Codziennie przekazywane są kierownikom produkcji tzw. listy priorytetów. Zgodnie z nimi kierownicy określają kolejność realizacji zamówień w ramach swoich wydziałów. 6 tygodni przed datą realizacji zamówienia Dział Sterowania Produkcją zamawia pręty i płaskowniki. Jeżeli klient koryguje zamówienie do systemu MRP wprowadzane są zmiany najpóźniej na dwa tygodnie przed realizacją zamówienia, a kierownikom zleca się przyspieszoną realizację określonych zamówień. Dział Sterowania Produkcją opracowuje również dzienny harmonogram wysyłek do klienta, który przekazuje do Działu Wysyłek i na jego podstawie realizowany jest transport do klientów.

Informacje dotyczące procesu

W procesie produkcji mieszadeł realizowane są następujące operacje:

1. Cięcie (na pierwszym stanowisku do cięcia są cięte pręty dla produkowanych wyrobów);

- proces wykonywany ręcznie przez jednego operatora
- czas cyklu: 15 sekund (dla maksymalnej średnicy)
- czas przeobrażania: 15 minut (zmiana długości), 1 godzina (zmiana średnicy),
- dostępność: 100%
- zaobserwowane zapasy międzyoperacyjne:
 - zapas na 10 dni niepociętych prętów oczekujących na wejściu
 - 7.000 szt. prętów pociętych.

2. Cięcie (na drugim stanowisku do cięcia jest cięty płaskownik dla produkowanych wyrobów);

- proces wykonywany ręcznie przez jednego operatora
- czas cyklu: 15 sekund (dla maksymalnej grubości)
- czas przeobrażania: 15 minut (zmiana długości), 1 godzina (zmiana średnicy)
- dostępność: 100%
- zaobserwowane zapasy międzyoperacyjne:
 - zapas na 10 dni niepociętych płaskowników oczekujących na wejściu
 - 5.200 szt. płaskowników pociętych.

3. Gięcie (na stanowisku odbywa się gięcie dwóch końcówek płaskownika z wykorzystaniem wzorca w celu uformowania końcówek mieszających)

- proces wykonywany ręcznie przez jednego operatora zgodnie z wzorcem
- czas cyklu: 30 sekund na uformowanie jednej końcówki.
- czas przeobrażania: 15 minut (zmiana długości), 1 godzina (zmiana średnicy).
- dostępność: 100%
- zaobserwowane zapasy międzyoperacyjne:
 - 4.800 szt. uformowanych końcówek.

- 4. Stanowisko spawalnicze** (dedykowane tej rodzinie wyrobów);
 - na stanowisku tym spawane są elementy mieszała – prowadnica i element mieszający
 - proces automatyczny, z ładowaniem i rozładowywaniem przez operatora w trakcie pracy urządzenia
 - czas cyklu: operator 10 sekund, maszyna 30 sekund
 - czas przezbrajania: 15 minut (zmiana długości), 1 godzina (zmiana średnicy)
 - dostępność: 90%
 - zaobserwowane zapasy międzyoperacyjne: 3.100 szt. pospawanych elementów.
- 5. Stanowisko obróbki spawów (dedykowane tej rodzinie wyrobów)**
 - proces automatyczny, z ładowaniem i rozładowywaniem przez operatora w trakcie pracy urządzenia
 - czas cyklu: operator 10 sekund, maszyna 30 sekund
 - czas przezbrajania: 15 minut (zmiana długości), 1 godzina (zmiana średnicy)
 - dostępność: 100%
 - zaobserwowane zapasy międzyoperacyjne: 2.900 szt. obrobionych mieszała.
- 6. Malowanie (proces wykonywany u zewnętrznego kooperanta)**
 - czas przejścia dla procesu malowania 4 dni
 - raz dziennie ciężarówka zabiera niepomalowane mieszała i przywozi mieszała pomalowane
 - jednorazowo do kooperanta dostarczanych jest 2.000 szt.
 - zaobserwowane zapasy międzyoperacyjne:
 - 6.000 szt. mieszała pomalowanych.
- 7. Dział Wysyłek**
 - pobiera produkty z magazynu wyrobów gotowych i zajmuje się ich wysyłką transportem własnym do klientów.

MAPA STANU AKTUALNEGO

Dla procesu produkcji przedstawionej rodziny wyrobów opracowano mapę przepływu strumienia wartości, na której przedstawiono stan aktualny (rys. 1). W celu obliczenia długości czasu przejścia obliczono czasy utrzymywania zapasów według wzoru:

$$C_{UZ} = \text{Dostępny czas pracy} / \text{Zapotrzebowanie klienta} \quad (1)$$

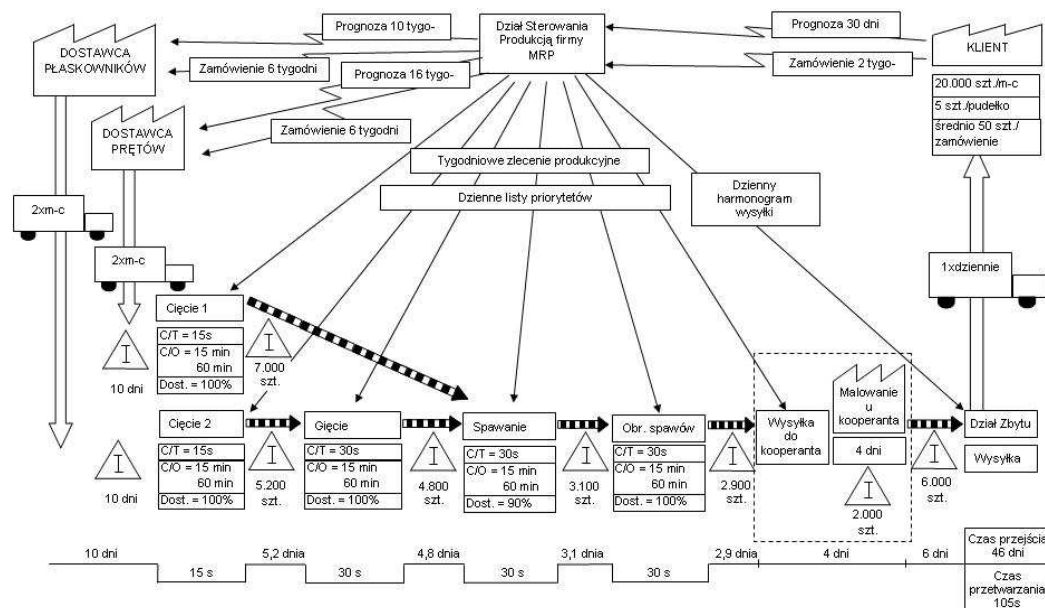
ANALIZA PROBLEMÓW I PROPOZYCJE DOSKONALENIA PROCESU

Głównym problemem z produkcją analizowanej rodziny wyrobów jest fakt, że klient na zamówienie musi czekać 30 dni. A w szczególności występują następujące problemy:

- duże zapasy materiałów, wyrobów w toku produkcji oraz wyrobów gotowych, co wynika między innymi ze zmian w zamówieniu, które są wprowadzane przez klienta na 14 dni przed terminem dostawy,
- 90% dostępność spawarki,
- konieczność częstej zmiany priorytetów,
- rzadkie dostawy materiałów,
- długi czas przejścia wyrobu przez organizację.

Wyrób jest praktycznie przepychany na kolejne stanowiska pracy. Każde stanowisko pracuje na podstawie indywidualnego zlecenia produkcyjnego oraz listy priorytetów. Powoduje to powstawanie zapasów międzyoperacyjnych, które ze względu na zmianę priorytetów utrzymywane są przez długi czas. Dodatkowo na zwiększenie zapasów wpływa fakt istnienia dużej liczby rodzajów produkowanych wyrobów. Konieczne jest, więc zastosowanie całkowicie nowej organizacji pracy i jej planowania.

Klienci zamawiają średnio 20.000 szt. wyrobów miesięcznie, co oznacza, że dziennie klienci kupują 1000 szt., więc w ciągu jednej zmiany firma powinna wyprodukować 500 szt. wyrobów gotowych. Żeby zaspokoić to zapotrzebowanie w przyjętym czasie pracy, co 54 s musi zejść z produkcji wyrób gotowy. Taki jest, więc czas taktu (tab. 3).



Rys. 1. Mapa przepływu strumienia wartości w produkcji mieszadeł – stan aktualny
 Źródło: opracowanie własne

Tab. 3. Obliczanie czasu taktu oraz czasu utrzymywania zapasów. Źródło: opracowanie własne.

Czas pracy	Czas pracy na jedną zmianę	Zapotrzebowanie klienta	Czas taktu	Czas utrzymywania zapasów
20 dni w miesiącu	8h x 60 min – 2 x 15 min = 450 min	20.000 szt./m-c	450 min x 60 s/ 500 szt. = 54 s	wielkość zapasów / 1000 szt.
2 zmiany		1.000 szt./dzień		
8 godzin dziennie		500 szt./zmiانę		
2 przerwy po 15 min				

Aby rozwiązać problemy proponuje się zastosowanie wybranych metod szczupłej produkcji, a mianowicie:

- połączenie stanowisk cięcia i gięcia w jedno gniazdo robocze, na którym pracowałoby dwóch pracowników,
- połączenie stanowiska spawania i obróbki spawów w jedno gniazdo robocze z jednym pracownikiem,
- przeprowadzenie sesji Kaizen dla zidentyfikowania przyczyn długich czasów przebrojeń i opracowania metod ich skrócenia,
- przeprowadzenie sesji Kaizen dla zidentyfikowania przyczyn małej dostępności spawarki,
- przeprowadzenie sesji Kaizen dla skrócenia czasu operacji spawania i obróbki spawów,
- zwiększenie częstotliwości dostaw materiałów do dwóch razy na tydzień zamiast dotychczasowych dwóch razy na miesiąc (własnym transportem),
- zastosowanie supermarketu, w którym materiały (pręty i płaskowniki) będą oczekiwały na proces cięcia; supermarket należy usytuować obok piły,
- zastosowanie systemu kanban dla składania zamówień na dostawę określonych rodzajów prętów i płaskowników w zależności od potrzeb produkcji,

- zastosowanie supermarketu pomiędzy gniazdem „cięcie i gięcie” a gniazdem „spawanie i obróbka spawów”; niedogodnością jest mimo wszystko konieczność utrzymywania stosunkowo dużego zapasu ze względu na różnorodność wyrobów zamawianych,

- harmonogramowanie procesu „spawanie i obróbka spawów” poprzez codzienne przekazywanie przez Dział Sterowania Produkcją zleceń produkcyjnych na to stanowisko; dzięki temu znacznie skróci się czas realizacji zamówienia dla klienta i będzie on teraz głównie uzależniony od czasu realizacji operacji malowania u kooperanta; można przeprowadzić negocjacje z kooperantem i zachęcić go do wprowadzenia działań korygujących, które mogłyby skrócić czas przebywania u niego mieszadeł,

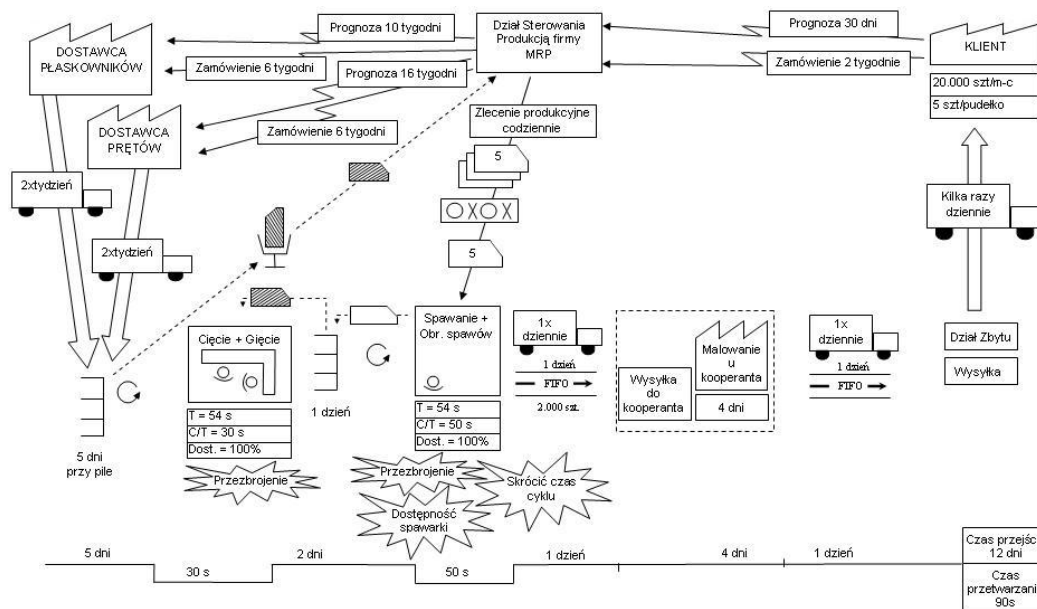
- wyroby na wysyłkę do malowania będą oczekiwały w kolejności zamówienia przez klientów w kolejce FIFO na zasadzie „pierwsze weszło pierwsze wyszło”,

- wyroby po przywiezieniu od kooperanta będą bezpośrednio w Dziale Wysyłki przygotowywane do wysłania i wysyłane klientom nawet kilka razy dziennie w kolejności składanych zamówień,

- klienci będą mieli możliwość składania zamówień na 2 tygodnie przed czasem ich realizacji.

MAPA STANU PRZYSZŁEGO

Na rys. 2 przedstawiono mapę stanu przyszłego z przedstawionymi propozycjami doskonalenia strumienia przepływu wartości.



Rys. 2. Mapa przepływu strumienia wartości w produkcji mieszadeł – stan przyszły

Źródło: opracowanie własne

WNIOSKI

Zastosowanie mapowania strumienia wartości dla procesu wytwarzania mieszadeł dało możliwość zidentyfikowania głównych problemów występujących w procesie. Opracowana mapa stanu przyszłego pokazuje możliwości doskonalenia przepływu strumienia wartości. Dokładniejsza analiza w ramach sesji

Kaizen pozwoli określić, czy propozycje są możliwe do wdrożenia. Stanowi ona jedynie punkt wyjścia do dalszej analizy procesu, a przedstawione rozwiązanie jest jedynie jednym z wielu możliwych rozwiązań. Optymalne rozwiązanie problemów uwarunkowane jest wieloma czynnikami takimi jak: wyniki analizy kosztów, wyniki analizy zdolności produkcyjnych (pracownicy, maszyny), rodzaj i stopień skomplikowania wyrobu, proces technologiczny i inne.

LITERATURA

1. Jones D.T., Womack J.P.: Odchudzenie firmy. Wydawnictwo CIM, Warszawa 2001
2. Kotler P.: Marketing: analiza, planowanie, wdrażanie i kontrola. Gebethener i S-ka, wyd. VI, Warszawa 1994
3. Rother M., Harris R.: Tworzenie ciągłego przepływu. Wrocławskie Centrum Transferu Technologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001
4. Rother M., Shook J.: Naucz się widzieć. Eliminacja marnotrawstwa poprzez Mapowanie Strumienia Wartości. Wrocławskie Centrum Transferu Technologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002

MIXER ARMS PRODUCTION PROCESS DEVELOPING WITH USING VALUE STREAM MAPPING

Abstract. In the work the conception of VSM (Value Stream Mapping), its advantages and basics are presented. The steps of VSM using are shown. An example of a products family, which are produced in a middle enterprise are described. During the mapping process the certain graphical symbols were used. The symbols represent process's actors, information, which are needed in the process and a flow of the information and materials. In the article actual state map and future state map for described process are shown. Actions for process developing are proposed. The potential advantages, which can be achieved after actions introduction, are also presented.

Michaił SIEDYCH

Uniwersytet Technologiczny STANKIN
Moskwa, Rosja

TECHNOLOGIA MONTAŻU WALCOWYCH FREZÓW IGIEŁKOWYCH

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИГЛОФРЕЗ

ВВЕДЕНИЕ

В машиностроении используются такие технологические операции как волочение, антикоррозионное покрытие металла, сварка взрывом и др. Перед выполнением этих операций необходимо с заготовки удалить окалину, ржавчину, окислы, грубые загрязнения и т.д. Перспективным методом очистки металла за наибольшую простоту, дешевизну и экологичность считается иглофрезерование по отношению к таким методам подготовки поверхностей как обработка щётками, шарошками, абразивными кругами, дробеструйная, травление кислотами и др.

Технология сборки иглофрез. Существенное влияние на технологию сборки и качество иглофрез оказывает качество изготовления игл. Строгая прямолинейность игл обеспечивает хорошую их ориентацию при сборке, высокую плотность упаковки, хорошую разделяемость на пучки и наоборот, даже небольшая серповидность и волнистость игл существенно затрудняют процесс сборки иглофрез.

Важными технологическими и конструкторскими параметрами игл является допуск на их длину. При большом колебании длины игл проварка массива их корней изобилует рядом дефектов: пережогом и расплавлением выступающих концов игл, непроваром коротких концов, пузырями и раковинами в шве и т.п. Это влечёт за собой неравномерное закрепление игл и как следствие разрушение игольчатого набора.

Первой операцией в технологии изготовления иглофрез является резка проволоки на определённую длину. Её выполняют на игольных автоматах, которые также осуществляют предварительную правку проволоки, но производительность этих автоматов низка, поэтому в промышленности при изготовлении иглофрез используют менее точные, но более производительные способы резки в пучках: резку ножницами, рубку в штампах и др.

Схемы некоторых устройств для реализации этих способов приведены на рис. 1. Резка проволоки ножницами различного типа (рис. 1а) применяется в единичном производстве. При данном способе не достигается стабильного размера длины игл, а производительность процесса низкая. В серийном производстве получил распространение способ рубки проволоки в пучках на штампах (рис. 1б).

Рубка на штампах обеспечивает необходимую производительность и позволяет относительно просто решить вопрос ориентированной укладки игл в промежуточные накопители-пеналы. Последнее значительно облегчает процесс сборки иглофрез.

Предварительно заготовленные пучки проволоки длиной 800...1000 мм и диаметром 8...10 мм подаются на рубку. Эти пучки вставляются в отверстие штампа до упора и перерубаются пуансоном. Отрубленный пучок по наклонному жёлобу штампа выталкивается в приёмный пенал. Каждый последующий отрубленный пучок под действием пуансона перемещает в пенале ранее отрубленный, происходит ориентированная укладка игл в пеналы.

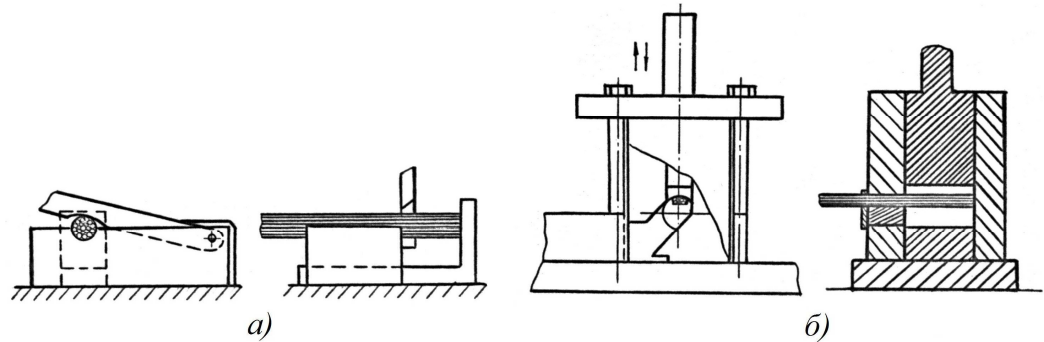


Рис. 1. Способы резки проволоки в пучках: а) резка ножницами; в) рубка в штампе

Rys. 1. Sposoby cięcia drutu w pęczkach; a) nożycami, b) w matrycy

Основным недостатком рубки на штампах в пучках, является нестабильность размеров получаемых игл, вследствие ненадежности прижатия к упору всех проволочек в пучке и сдвиговых деформаций возникающих при рубке. Существенным недостатком является также спайка отдельных игл в пучке, возникающая при затуплении режущих элементов штампа. Кроме того, при рубке на штампах остается неиспользуемый «хвост» пучка, что приводит к значительным (до 5% и более) потерям проволоки.

Необходимо отметить, что рубка на штампах наиболее приемлема при изготовлении игл из кардной проволоки, обладающей прямолинейностью. Рубка стальной проволоки марок 65Г, У8, У10 вследствие сохранения значительной серповидности, после разрезки бунтов из пучка, затруднена.

Следующей операцией технологического процесса изготовления иглофрез является укладка игл в приспособление для их опрессовки. Отрезанные иглы вручную укладывают в специальное сборочное приспособление (рис. 2).

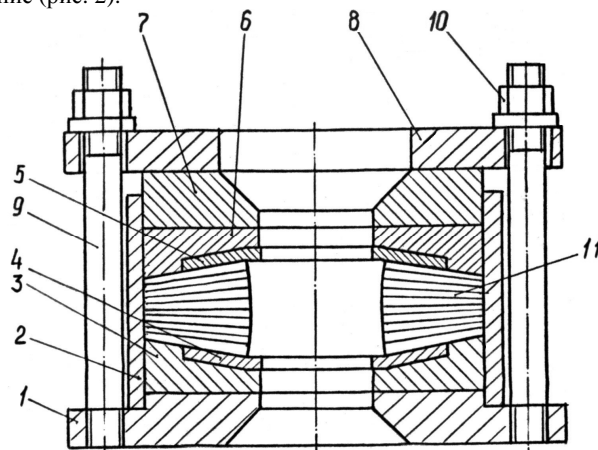


Рис. 2. Приспособление для сборки цилиндрической иглофрезы

Rys. 2. Przyrząd do montażu walcowego freza igłowego

Сборка иглофрезы осуществляется в следующей последовательности. На основании 1 устанавливают обойму 2 с нижним вкладышем 3 и накладкой 4. На накладку 4 производят укладку

игльчатого набора. При укладке обеспечивают радиальное расположение игл, плотное прилегание их торцев к обойме 2 и равномерность высоты укладки по периметру. Не допускается переплетение игл между собой. Количество укладываемых игл определяется по весу расчётным путём, исходя из необходимой плотности иглофрезы. На игльчатый набор устанавливают верхний вкладыш 6 с накладкой 5. Через кольцо 7 и крышку 8 весь набор стягивается шпильками 9 с гайками 10. Собранный приспособление передают на операцию опрессовки.

Следующей операцией технологического процесса изготовления иглофрез является опрессовка. Усилие опрессовки составляет $50...100 \text{ кг/см}^2$. Некоторое повышение стойкости инструмента обеспечивает обкатка роликом поверхностей игл в сварной зоне, что обеспечивает выравнивание торцев игл в сварной зоне и повышение качества иглофрез.

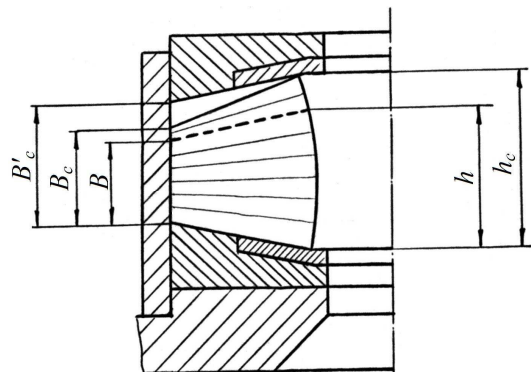


Рис. 3 Схема опрессовки игльчатого набора

Rys. 3. Schemat obciskania zestawu igłowego

Необходимо отметить, что с увеличением ширины иглофрез (высоты игльчатого набора) возрастает неравномерность плотности игльчатого набора в его режущей части. Это обусловлено тем, что возрастает разница между высотой свободно уложенного и спрессованного игльчатого набора. На рис. 3 показана схема опрессовки игльчатого набора. Высота свободно уложенного игльчатого набора по внутреннему диаметру составляет величину h_c , по наружному диаметру H_c . После опрессовки (пунктирная линия) высота игльчатого набора составит соответственно h и B . B_c' – расстояние между вкладышами до опрессовки. В связи с тем, что степень опрессовки внутреннего диаметра игльчатого набора значительно выше (составляет до 0,906) степени опрессовки наружного диаметра (составляет 0,6...0,8), в первоначальный момент при опрессовке осуществляется сжатие игл по внутреннему диаметру набора. Рабочие концы верхних игл в наборе под действием усилий опрессовки даже несколько приподнимаются над ниже расположенными, заполняя свободное пространство в пределах размеров $B_c - B_c'$. Нижние иглы за счёт перераспределения нагрузки воспринимают усилие опрессовки по всей своей длине с самого начала воздействия. В результате этого плотность игл по наружному диаметру в верхней части набора несколько ниже плотности его нижней части. Этот эффект усиливается с увеличением общей высоты игльчатого набора. Для его устранения необходимо проводить специальные мероприятия.

Большое значение при опрессовке имеет величина угла наклона накладок. При углах больше $25^\circ...30^\circ$ иглы просто выдавливаются внутрь набора.

Опрессованный набор передают на сварку. Крепление игл обычно осуществляется сваркой ручной электродуговой или сваркой в среде углекислого газа сварочной проволокой по ГОСТ 2246-70. Ручная электродуговая сварка получила более широкое распространение за счёт высокой производительности.

Процесс сварки осуществляют на специальных сварочных стандах (рис.4), обеспечивающих охлаждение режущей части игольчатого набора и его вращение. Для вращения, приспособление с игольчатым набором устанавливают в специальном патроне рис. 4. Охлаждение оснастки с игольчатым набором осуществляется проточной водой. Уровень воды обычно не превышает двух третей длины игл.

Конструкция приспособления, представленная на рис.4 имеет один существенный недостаток, который ухудшает качество сварки и соответственно стойкость иглофрезы. Недостаток заключается в том, что при вращении заготовки иглофрезы в приспособление, игольчатый набор и зону сварки попадают капли воды, таким образом на месте влаги образуется непровар или раковины. Нами разработано приспособление с водоохлаждаемыми полостями исключающее этот недостаток (рис. 5). Использование такого приспособления несколько затрудняет процесс вращения набора при сварке, но полностью исключает попадание влаги в игольчатый набор и зону сварки, что обеспечивает высокое качество сварного шва.

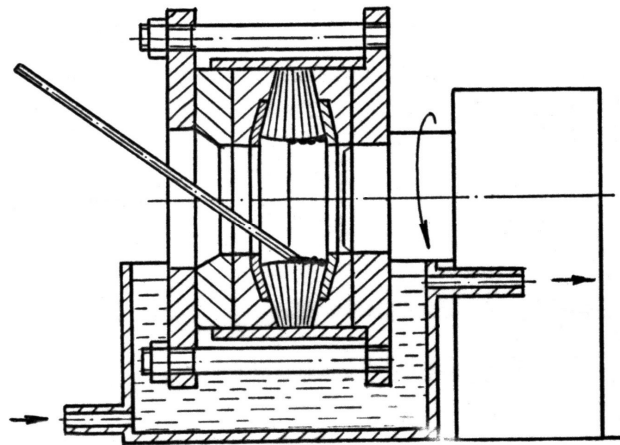


Рис. 4 Сварочный станд со специальным патроном

Rys. 4. Stanowisko spawalnicze ze specjalnym uchwytem

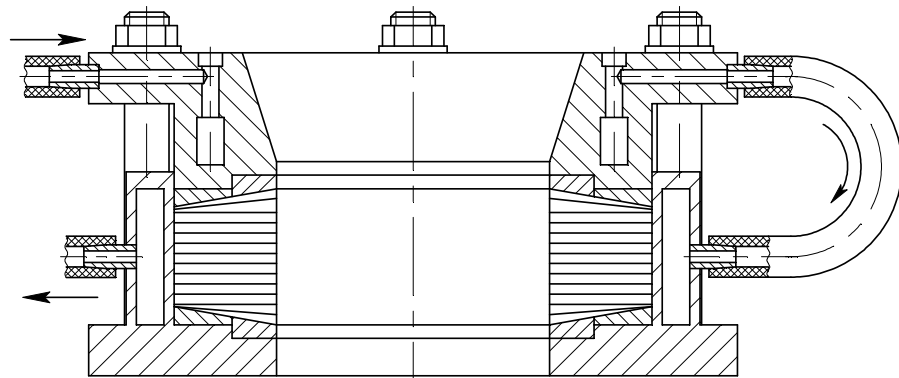


Рис. 5. Водоохлаждаемое приспособление для сборки иглофрез

Rys. 5. Przyrząd do montażu frezów igłowych z chłodzeniem wodnym

После сварки приспособление разбирают и передают игольчатый набор на сборку. На этой технологической операции происходит соединение игольчатого набора с боковыми фланцами, гайкой, а также другими деталями в зависимости от конструкции иглофрезы.

На последней технологической операции изготовления иглофрезы и для придания режущей поверхности необходимого качества и формы, иглофрезу подвергаются шлифованию. При шлифовании необходимо соблюдать следующие основные правила:

1. шлифование иглофрез осуществлять на режимах, обеспечивающих обработку игл без прижогов, которые снижают их режущие свойства;
2. проводить обработку необходимо на «сухую» или использовать СОТС без жировых составляющих;
3. схема обработки должна препятствовать попаданию отходов шлифования в игольчатый набор, чтобы не вызывать засаливание иглофрез и потерю работоспособности;
4. в конце обработки необходимо осуществлять продолжительный процесс выхаживания, обеспечивающий выравнивание отклоняющихся при шлифовании игл.

Шлифование отдельных и блоков цилиндрических иглофрез осуществляют на универсальных круглошлифовальных станках. Схема шлифования цилиндрических иглофрез набранных на оправку показана на рис.6.

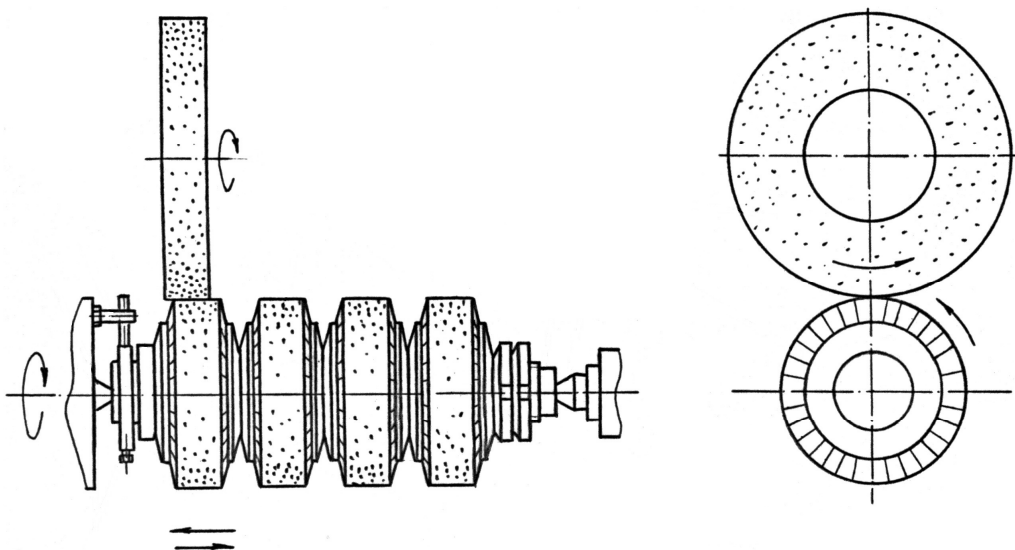


Рис. 6. Схема шлифования цилиндрических иглофрез набранных на оправку

Rys. 6. Schemat szlifowania zestawu walcowych frezów igłowych na oprawce trzpieniowej

Шлифование фасок осуществляется на круглошлифовальных и специальных заточных станках. Примеры схем шлифования фасок на иглофрезах представлены на рис.7.

После операции шлифования иглофрезы отправляют на консервацию, упаковку и отправку потребителю.

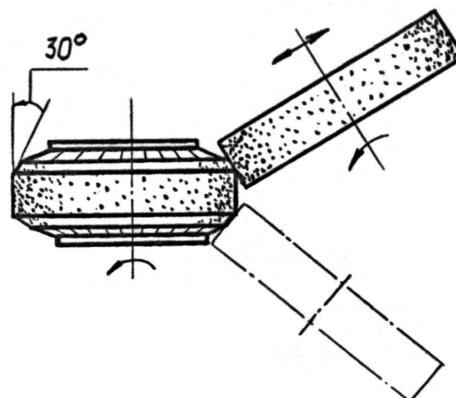


Рис. 7. Схема шлифования фасок на цилиндрических иглофреззах

Rys. 7. Schemat szlifowania fazek na walcowych frezach igłowych

ВЫВОДЫ

Предложена конструкция приспособления с водоохлаждаемыми полостями, используемого для сварки торца игольчатого набора. Конструкция приспособления предотвращает попадание охлаждающей жидкости (воды) в игольчатый набор и зону сварки, что исключает образование непровара или раковин в месте сварки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Одинцов Л.Г. Седых М.И., Вороненко В.П. Игольфрезы и иглофрезерование / Л.Г. Одинцов, М.И. Седых, В.П. Вороненко – ГУП РМЭ «Типография Правительства Республики Марий Эл», 2009, 304 с.

TECHNOLOGY ASSEMBLING CYLINDRICAL WIRE BRASH

Abstract. In the article consider the technology assembling cylindrical wire brash. Feature consists that the show of the adaptation for welding butt end needles which prevents hit of a cooling liquid (water) in a welding place is presented that prevents formation don't welding, bowls and improves quality of welded connection.

Igor J. JUNIN
Aleksander N. FEOFANOW
Uniwersytet Technologiczny STANKIN,
Moskwa, Rosja

PROBLEMY REKONFIGUROWANYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH

К ВОПРОСУ О ПЕРЕКОМПОНУЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

В работе обоснована необходимость применения перекомпоуемых производственных систем (ППС). Гибкие и способные к изменению производственные единицы, соединенные во временные сети для производства конкретного продукта, будут определять производства будущего.

Автоматически сменные модули призматической формы – носители и их влияние на компоновку ППС

К числу основных узлов ППС относятся носители, выполненные в виде полых многогранной призмы. Носитель является автоматически сменным транспортно - технологическим устройством, на боковых гранях корпуса которого базируются и крепятся обрабатываемые изделия.

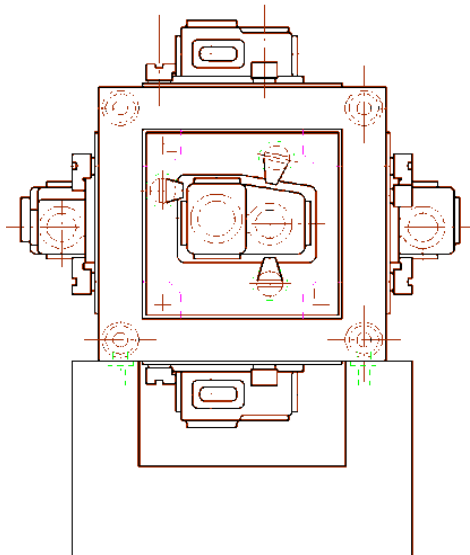


Рис. 1. Автоматически сменный модуль
Rys. 1. Moduł zmieniany automatycznie

Носитель имеет 6 граней для базирования и закрепления на них заготовок. Расположение деталей на гранях обеспечивает доступность подвода группы инструментов к любой из шести граней. На боковых гранях выполнены базисные отверстия. Реконфигурируемое производство

требует создания производственного пространства. Из носителей автоматически компонуются технологические комплекты рабочих позиций.

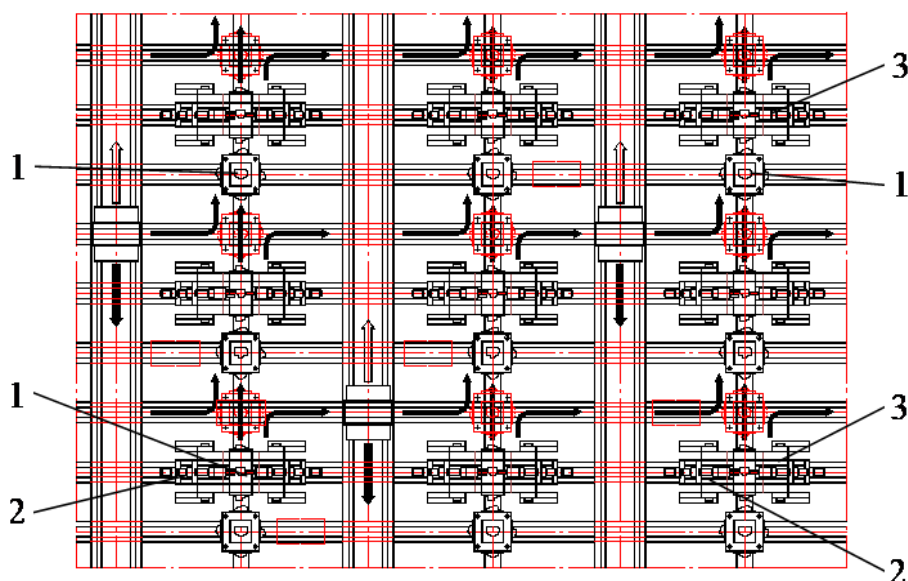


Рис. 2. Схема реконфигурируемого производства на основе ППС
Rys. 2. Schemat rekonfigurowalnej produkcji na bazie rekonfigurowalnych systemów

Применяя многогранные носители 1, обеспечивается большая точность обработки и повышается жесткость конструкции носителя. Это позволяет в несколько раз сократить количество рабочих позиций по сравнению с традиционными автоматическими линиями и гибкими производственными системами. Переменность компоновки оборудования осуществляется при одновременной многоинструментальной обработке нескольких деталей одного наименования на одной рабочей позиции с применением автоматически сменных узлов 2, 3. Возможность перекомпоновки позволяет рассматривать ППС как динамичную производственную среду, структурно изменяющуюся в зависимости от задач производства.

Со временем в процессе эксплуатации перекомпоновываемая система стареет, трансформируется со старой базы узлов на новую, меняя свою архитектуру, но сохраняя свою живучесть для выполнения последующих технологических процессов. Происходит многократное увеличение жизненного цикла, превышающего жизненный цикл современного автоматизированного оборудования.

PROBLEMS OF RECONFIGURATED PRODUCTION SYSTEMS

Abstract. In world practice of development of mechanical engineering scientific researches on creation repacked or otherwise reconfigurable industrial systems, industrial systems of changing configuration and a configuration are widely carried out.

Igor J. JUNIN
Aleksander N. FEOFANOW
Uniwersytet Technologiczny STANKIN,
Moskwa, Rosja

ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОРТАЛА ДЛЯ АВИАПЕРЕВОЗЧИКА

UZASADNIENIE POTRZEBY UTWORZENIA PORTALU INFORMATYCZNEGO DLA TRANSPORTU LOTNICZEGO

Авиаперевозчик осуществляет регулярные рейсы в десятки стран мира, в которых у компании имеются представительства. Деятельность авиакомпании предполагает наличие очень многих функциональных направлений. Первое направление связано с формированием маршрутной сети, обеспечением бронирования и продажи билетов. Это самый специфический класс задач, решать которые просто невозможно без серьезной информационной поддержки. Данное направление работы называется коммерческим.

Другое важнейшее направление связано с обеспечением авиаперелетов. Сюда относятся летная деятельность, отправка пассажиров в аэропорту, обеспечение безопасности полетов, управление ремонтами и техобслуживанием воздушных судов, обслуживание пассажиров на борту. Здесь функционирование авиакомпании можно сравнить с работой производственного предприятия. Продукция авиакомпании - отправляемые в соответствии с расписанием пассажирские рейсы. Для отправки рейса необходимо иметь исправное воздушное судно, готовый обученный экипаж, питание для пассажиров на борту и многое другое, необходимое для "производства" рейса. Поэтому данное направление деятельности называется производственным.

Третье направление ассоциировано с финансово-управленческой деятельностью компании. Авиаперевозчик имеет дело со сложными схемами финансовых потоков, взаимодействием с финансово-кредитными учреждениями, и сталкивается с потребностью в адекватной, точной и своевременно получаемой информации для принятия стратегических и оперативных решений - прежде всего со стороны высшего менеджмента.

Все названные особенности подталкивают компанию к созданию информационного портала. Основная задача в области автоматизации - это не внедрение какого-либо продукта автоматизации бизнеса, а создание мощной информационной инфраструктуры.

С помощью информационного портала руководителю в режиме реального времени должна быть доступна производственная информация. Для того, чтобы руководство авиакомпании знало текущие производственные показатели, в информационном портале должна быть указана информация о количестве рейсов за выбранный период для каждого аэропорта и количество перевезенных пассажиров. В информационном портале с помощью графиков будут отображены показатели рентабельности, пассажирооборота в сравнении с анализируемым периодом предыдущего периода. Пользуясь информационным порталом, руководитель всегда будет знать текущее положение дел в компании и может влиять на производственные показатели, путем принятия оперативных управленческих решений. Отдельно необходимо выделить плановые и фактические показатели. Руководителю будут доступны цифры загрузки авиарейсов по разным направлениям полетов (Россия, Европа, Азия) в сравнении с предыдущим периодом.

Исходя из количества пассажиров на определенных направлениях полетов и тенденцию к их изменению, можно оптимально планировать расписание полетов и типы воздушных судов для каждого рейса.

В разделе текущей информации за день будут перечислены все задержанные и отмененные рейсы с указанием номера рейса. С помощью удобной навигации портала для получения детальной информации по рейсам, идущим вне расписания, можно запрашивать информацию о причинах задержки рейса. За заданный период времени причины задержек рейсов будут анализироваться. Данные будут представлены в удобной графической форме, где в процентном составе будут указаны все причины задержек рейсов (плохие метеоусловия и т.д.).

В финансовом блоке доходы от полетов в сравнении с предыдущим периодом необходимо показать в виде графиков, также будут перечислены убыточные и прибыльные рейсы. В информационном портале руководитель может получить аналитику по выделенному рейсу, состоящую из структуры затрат и доходов. Например, увеличение затрат обусловлено увеличением цен на ГСМ. Падение загрузки рейса связано с падением рынка авиаперевозок в связи с кризисом и невыполнением плана продаж авиабилетов. Для убыточного рейса будет показана сумма потери дохода за определенное количество рейсов. В режиме реального времени будут отображаться продажи билетов в городах вылета и прибытия в процентах.

Кроме экономических показателей по деятельности данного авиаперевозчика на информационном портале также необходимо представить ленту новостей по авиационной отрасли и отразить производственные показатели конкурирующих авиакомпаний, которые будут братья из поисковых систем.

Успешное создание и внедрение информационного портала в деятельность авиаперевозчика облегчит задачу руководства компанией и будет способствовать принятию верных стратегических решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.iemag.ru/interview/> №6 (182), 21 апреля 2008 года Сергей Кирюшин «Аэрофлот»: Подготовить инфраструктуру, руководство и персонал
2. В.М.Окулов, М.И.Полубояринов, Е.П.Курочкин, Н.Ф.Акимова, В.Г.Дубинина Эффективность пассажирских авиаперевозок. – М.: Высшая коммерческая школа «Авиабизнес», 2008

REASONS FOR MAKING A WEBSITE FOR AIR TRANSPORT

Abstract. W pracy uzasadniono potrzebę utworzenia portalu informacyjnego z infrastrukturą dostosowaną do zbierania bieżących informacji dotyczących lotniczych przewozów pasażerskich. Wskazano również na potrzebę bieżącego przetwarzania tej informacji na uogólnione wskaźniki pozwalające oceniać rentowność, terminowość, wykorzystanie i inne parametry przewozów lotniczych umożliwiające ich analizę i korzystanie w celu doskonalenia działalności.

Wykaz autorów i specjalistów współpracujących z Wydziałem Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej w zakresie montażu maszyn i połączeń montażowych

1. Akułowicz Leonid, prof. dr hab. inż., Agrarny Uniwersytet Techniczny, Mińsk, Białoruś
2. Antosz K., dr inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska, kcktmiop@prz.edu.pl
3. Bakena Mbua Ž. K., mgr inż., aspirant, Katedra Technologii Budowy Maszyn Uniwersytetu Technicznego MAMI (samochodowy), Moskwa, Rosja
4. Balaž V., Uniwersytet Techniczny, Koszyce, Słowacja
5. Bojko Porfirij, doc. dr inż., Gubińska Filia Uniwersytetu Technicznego im. W.G. Szuchowa, Rosja
6. Borodawski Władimir, Dyrektor Stowarzyszenia Naukowo-Produkcyjnego „CENTR”, Mińsk, Białoruś
7. Bożkowa L. W., prof. dr hab. inż., Katedra Technologii Budowy Maszyn Uniwersytetu Technicznego MAMI (samochodowy), Moskwa, Rosja, e-mail: iptm@mami.ru
8. Bramowicz M., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska,
9. Chejfec Michaił L., prof. dr hab. inż., Prezydium Akademii Nauk, Połocki Uniwersytet Techniczny, Mińsk, Nowopołock, Białoruś, e-mail : mlk-z@mail.ru
10. Chmiel D. S., Akademia Rynku i Technologii Informatycznych MARTIT, Moskwa, Rosja
11. Chmielnik Piotr, mgr inż., Taylor Hobson, Polska
12. Cieślak Robert, mgr inż., Instytut Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, Poznań, Polska
13. Ciszak Olaf, dr inż., wicedyrektor Instytutu Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, Poznań, Polska
14. Czajka Piotr, mgr inż., Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, Polska
15. Domińczuk Jacek, dr inż., Politechnika Lubelska, Lublin, Polska
16. Dworzak Władimir, Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina
17. Feofanow Aleksandr, prof. dr hab. inż., Uniwersytet Technologiczny STANKIN, Moskwa, Rosja, e-mail: it_ktp@mail.ru
18. Galiński Krzysztof, mgr inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska, k.galinski@imbigs.pl
19. Giesko Tomasz, dr inż., Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, Polska
20. Godzimirski Jan, prof. dr hab. inż., Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, Polska
21. Gołobow Denis, Uniwersytet Technologiczny STANKIN, Moskwa, Rosja
22. Gołobowa Anna, Uniwersytet Technologiczny STANKIN, Moskwa, Rosja
23. Hajduk M., prof. dr hab. inż., Uniwersytet Techniczny, Koszyce, Słowacja
24. Jastrzębski Robert, mgr inż., Centrum Badawczo Konstrukcyjne Obrabiarek, Pruszków, Polska
25. Junin Igor J., mgr inż., Uniwersytet Technologiczny STANKIN, Moskwa, Rosja, e-mail: unini-gor@mail.ru
26. Kluz R., dr inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska, rkkmtmiop@prz.edu.pl
27. Kobiałka Janusz, mgr inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska, j.kobialka@imbigs.org.pl
28. Komorek Andrzej, mgr inż., Wyższa Szkoła Oficerska Sił Lotniczych, Dęblin, Polska, kom-man@op.pl
29. Korenkow Władimir, doc. dr inż., Katedra Technologii Budowy Maszyn Uniwersytetu Technicznego „Politechnika Kijowska”, Kijów, Ukraina, e-mail: vkorenkov@gmail.com

30. Kostenko Aleksandr, Uniwersytet Technologiczny STANKIN, Moskwa, Rosja
31. Kowalski Tadeusz, dr inż., Politechnika Warszawska, Centrum Badawczo Konstrukcyjne Obrabiarek, Pruszków, Polska
32. Kristal Mark, prof. dr hab. inż., Wołgogradzki Narodowy Uniwersytet Techniczny, Wołgograd, Rosja, crysmar@tele-kom.ru
33. Kuprowska I., Koncern MAHLE Stuttgart, Niemcy
34. Kuran Marek, dr inż., Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska
35. Łabęda Maciej, mgr inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska, m.labeda@imbigs.pl
36. Łaszina Julia, mgr inż., Uniwersytet Techniczny „Politechnika Kijowska”, Kijów, Ukraina, e-mail: tm_mmi@users.ntu-kpi.kier.ua
37. Lunarski Jerzy, prof. dr hab. inż., Politechnika Rzeszowska, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska, e-mail: jlkmiop@prz.edu.pl
38. Matecki Krzysztof, mgr inż., Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, Polska
39. Mnacakanian Wiktoria, prof. dr hab. inż., Uniwersytet Górniczy, Moskwa, Rosja
40. Musiał Janusz, dr inż., Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgosz, Polska
41. Nieoczym Aleksander, dr inż., Politechnika Lubelska, Lublin, Polska e-mail: a.nieoczym@pollu.pl
42. Nikolajev Vadim, prof. dr hab. inż., Dziekan, Uniwersytet Techniczny, Samara, Rosja, e-mail: fpkp@samgtu.ru
43. Oborska Nina, Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina
44. Oborski Artiom, Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina
45. Oborski Iwan L., doc. dr inż., Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina, e-mail: ivan.oborskiy@mail.ru
46. Oborski Siergiej, Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina
47. Osówniak Paweł, mgr inż., Centrum Badawczo Konstrukcyjne Obrabiarek, Pruszków, Polska
48. Pachnikowa L. Uniwersytet Techniczny, Koszyce, Słowacja
49. Pasiecznik Witalij, prof. dr hab. inż., Katedra Technologii Budowy Maszyn Uniwersytetu Technicznego „Politechnika Kijowska”, Kijów, Ukraina, e-mail: pasichnyk@ukr.net
50. Pergałowski Stanisław, mgr inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska, s.pergalowski@imbigs.org.pl
51. Płaziuk Małgorzata, mgr inż., Daicel Safety System Europe sp. z o.o., Wroclaw, Polska
52. Przybyłek Paweł, mgr inż., Wyższa szkoła Oficerska Sił Lotniczych, Deblin, Polska, e-mail: sgcdr@wp.pl
53. Reifur Bogusław, dr inż., Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska, e-mail: bo-gr@itma.pwr.wroc.pl
54. Rezniczenko Wiaczesław, prof. dr inż., Państwowa Uczelnia Wyższa „MARTIT”, Moskwa, Rosja, e-mail: kmit@martit.ru
55. Rośkiewicz Marek, dr inż., Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, Polska, e-mail: marek.roskiewicz@wat.edu.pl
56. Rudawska Anna, dr inż., Politechnika Lubelska, Lublin, Polska, a.rudawska@pollub.pl
57. Rychlik Kazimierz, mgr inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska, k.rychlik@imbigs.pl
58. Sedych Michaił, doc. dr inż., Katedra Technologii Budowy Maszyn Uniwersytetu Technologicznego STANKIN, Moskwa, Rosja, e-mail: sedykhmi@mail.ru
59. Sejmon I., Uniwersytet Techniczny, Koszyce, Słowacja
60. Sejmon I., Uniwersytet Techniczny, Koszyce, Słowacja
61. Sęp Jarosław, prof. dr hab. inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów Polska, email: jszt-miop@prz.edu.pl
62. Stadnicka Dorota, dr inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów Polska, email: dsktmiop@prz.edu.pl

63. Streubel Aleksander, prof. dr hab. inż., Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska, e-mail: Aleksander.streubel@pwr.wroc.pl
64. Styp-Rekowski Michał, prof. dr hab. inż., Bydgoska Szkoła Wyższa, Bydgosz, Polska
65. Subin Anatolij, doc. dr inż., Katedra Technologii Budowy Maszyn Uniwersytetu Technicznego „Politechnika Kijowska”, Kijów, Ukraina
66. Sukop M., Uniwersytet Techniczny, Koszyce, Słowacja
67. Szagałkin Aleksandr, Uniwersytet Technologiczny STANKIN, Moskwa, Rosja
68. Szałaj Witalij, Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina
69. Szepe Anna, mgr inż., Centrum Badawczo Konstrukcyjne Obrabiarek, Pruszków, Polska
70. Timiriazew Władimir, prof. dr hab. inż., Uniwersytet Technologiczny STANKIN, Moskwa, Rosja
71. Tkaczuk Sławomir, dr inż., Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, Polska, e-mail: slawomir.tkaczuk@wat.edu.pl
72. Tubielewicz Krzysztof, prof. dr hab. inż., Politechnika Częstochowska, Częstochowa, Polska
73. Turczyński Krzysztof, dr inż., Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice, Polska
74. Tylanda Jacek, mgr inż., Instytut Mechnanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska, j.tylenda@imbigs.pl
75. Urbaś Zbigniew, mgr inż., Instytut Mechnanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska
76. Vagas M., Uniwersytet Techniczny, Koszyce, Słowacja
77. Voronko A., Uniwersytet Techniczny, Koszyce, Słowacja
78. Wartanow M. W., prof. dr hab. inż., Katedra Technologii Budowy Maszyn Uniwersytetu Technicznego MAMI (samochodowy), Moskwa, Rosja
79. Wójcicki Tomasz, mgr inż., Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, Polska
80. Zbrowski Andrzej, dr inż., Instytut Technologii Eksploatacji, PIB, Radom, Polska, e-mail: andrzej.zbrowski@itee.radom.pl
81. Zbrowski Andrzej, dr inż., Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, Polska
82. Zenkin Anatolij, prof. dr hab. inż., Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina
83. Zeweliewa Elena, dr inż., Połocki Uniwersytet Techniczny, Nowopołock, Białoruś, e.zeveleva@mail.ru
84. Zielecki Władysław, prof. dr hab. inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów Polska, email: wzkt-miop@prz.edu.pl
85. Żurek Jan, prof. dr hab. inż., Dziekan Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej, Poznań, Polska

