

PORTAL INFORMACJI TECHNICZNEJ

WWW.SIGMA-NOT.PL



ponad

90 000 e-publicacji

ponad

30 tytułów w jednym miejscu

PRASA FACHOWA

SIGMA-NOT

www.sigma-not.pl



więcej informacji: 22 827 43 65, reklama@sigma-not.pl
22 840 30 86, prenumerata@sigma-not.pl

TO CO NAS WYRÓŻNIA

ZESPÓŁ REDAKCYJNY:

Redaktor Naczelny – prof. dr hab. inż. Jerzy Łunarski
Z-ca Redaktora Naczelnego – dr inż. Martyna Jachimowicz
 tel. 663 311 966
Sekretarz Redakcji – mgr Izabella Gosiewska
 tel. 663 311 933
Redaktorzy tematyczni:
 Dr inż. Rafał Kluz (technologia, automatyzacja)
 Dr inż. Katarzyna Antosz (niezawodność, eksploatacja)
 Dr inż. Mirosław Chosta (inżynieria, produkcja)

RADA PROGRAMOWO-NAUKOWA:

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

ADRES REDAKCJI:

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

PRENUMERATA:

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

REKLAMA:

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

SKŁAD I ŁAMANIE:

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

WYDAWCA:



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



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

PATRONAT:

Stowarzyszenie Inżynierów Mechaników i Techników Polskich

Za treść ogłoszeń i artykułów promocyjnych redakcja nie odpowiada

Cena prenumeraty rocznej 60 zł
 Wersja pierwotna: elektroniczna

W numerze

Pasichnyk V., Khmurenko A.: Specyfika syntezy i analizy łańcuchów wymiarowych dla zapewnienia dokładności konstrukcji montowanych z materiałów kompozytowych	6
Kowalski T., Dubiel G.: Cechy połączeń modułów konstrukcyjnych obrabiarek rekonfigurowalnych.	13
Stamirowski J.: Koncepcja technologicznego wyboru urządzeń dla elastycznych systemów produkcyjnych (ESP) z wykorzystaniem zaleceń standardu ISO 10303 STEP	20
Rośkowicz M., Leszczyński P., Chudowolska J.: Analiza nośności połączeń hybrydowych, stosowanych w budowie statków powietrznych	25
Gorelova A., Kristal M., Popov A.: Dynamiczna stabilizacja przy obróbce głębokich otworów do montażu	29
Barylski A.: Połączenia konstrukcyjne w narzędziach tarczowych do szlifowania na docierarkach	35
Turmanidze R., Bachanadze V., Popkhadze G.: Efektywne konstrukcje mikrowiertel z węglików spiekanych do głębokiego wiercenia pakietów płytek drukowanych	40
Rudawska A., Wolińska A., Warda T., Mitur-ska I.: Wpływ wybranych czynników technologicznych i eksploatacyjnych na wytrzymałość połączeń klejowych blach tytanowych	45
Kłonica M., Kuczmaszewski J., Pieško P.: Analiza stanu powierzchni po cięciu hydroabrazywnym metalowych konstrukcji przekładkowych	50
Komorek A., Przybyłek P.: Badanie udarowe połączeń klejowych z wykorzystaniem dedykowanego młota wahadłowego	56
Domińczuk J., Krawczuk A.: Analiza zdolności kleju do zwilżania powierzchni o określonych właściwościach energetycznych.	61

Kwartalnik notowany na liście czasopism punktowanych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego – 7 pkt.

Pasichnyk V., Khmurenko O.: Specificity of dimensional chains synthesis and analysis for assembled PCM constructions accuracy evaluate	6
Kowalski T., Dubiel G.: Features of connection module constructions of reconfigurable machine tools	13
Stamirowski J.: The concept of the technological choice of equipment for flexible manufacturing systems (FMS) using the recommendations of the standard ISO 10303 STEP	20
Rośkowicz M., Leszczyński P., Chudowolska J.: Analysis of load capacity of hybrid joints used in the construction of aircraft	25
Gorelova A., Kristal M., Popov A.: Dynamic stabilization of the tool during the deep holes production for assembling	29
Barylski A.: Structural connections in disc tools for grinding on lapping machines	35
Turmanidze R., Bachanadze V., Popkhadze G.: Effective design of hardmetall microdrills for deep drilling of the package of printed-circuit boards	40
Rudawska A., Wolińska A., Warda T., Miturska I.: The influence of chosen technological and operational factors on the bonded joints strength of titanium sheets	45
Klonica M., Kuczmazewski J., Pieśko P.: Analysis of the surface after hydro-abrasive cutting of metal sandwich structure	50
Komorek A., Przybyłek P.: Impact testing of adhesive joints with a dedicated pendulum hammer	56
Domińczuk J., Krawczuk A.: Analysis of the ability of the adhesive to wet the surface with the specified energy properties	61

Пасечник В.А., Хмуренко О.О.: Специфика синтеза и анализа размерных цепей для обеспечения точности сборных конструкций из композитных материалов	6
Ковальски Т., Дубель Г.: Особенности соединений конструкционных модулей формоизменяемых станков	13
Стамировски Е.: Концепция технологического подбора установок для гибких производственных систем с использованием указаний стандарта ИСО 10303 STEP	20
Роськович М., Лещински П., Худовольска Ю.: Анализ несущей способности гибридных соединений применяемых в строительстве воздушных кораблей	25
Горелова А.Ю., Кристал М.Г., Попов А.И.: Динамическая стабилизация положения инструмента при обработке глубоких отверстий для сборки	29
Барыльски А.: Конструкционные соединения в дисковых инструментах до шлифовки на притирочных станках	35
Турманидзе Р.С., Бачанадзе В.,И., Попхадзе Г.З.: Эффективные конструкции твердосплавных микросверл для глубокого сверления пакета печатных плат	40
Рудавска А., Волинска А., Варда Т., Митурска Ю.: Влияние избранных факторов технологических и эксплуатационных на прочность клеевых соединений титановой жести	45
Клоника М., Кучмашевски Ю., Песько П.: Анализ состояния поверхности после гидроабразивной резки прокладочных конструкции	50
Коморек А., Пшыбылек П.: Ударные исследования клеевых соединений с использованием специального маятникового копера	56
Доминьчук А., Кравчук А.: Анализ способности клея для влагосоприкосновения поверхностей об определенных энергетических свойствах	61

KWARTALNIK

Opracowania i nowości z zakresu:

- ▶ technologii montażu,
- ▶ budowy urządzeń,
- ▶ konstrukcji wyrobów,
- ▶ systemów montażowych

Wejdź na stronę
www.sigma-not.pl

więcej informacji 22 840 30 89
prenumerata@sigma-not.pl

Wskazówki dotyczące przygotowania artykułów

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

Procedura recenzowania

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

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

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

Lista recenzentów publikowana jest w ostatnim zeszycie każdego rocznika.

Warunki prenumeraty kwartalnika „Technologia i Automatykacja Montażu” w 2016 r.

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

Cena prenumeraty rocznej wynosi: 60 zł (w tym 5% VAT).

Rabaty:

50% – dla członków stowarzyszeń naukowo-technicznych NOT, nauczycieli, studentów i uczniów,

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

Prenumeratę można zamówić:

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

JAKOŚCIOWE ASPEKTY DZIAŁAŃ GOSPODARCZYCH

Jerzy ŁUNARSKI

Aktualnie osiągnięty poziom jakościowego funkcjonowania przedsiębiorstw i organizacji jest wynikiem wzrastającej konkurencji oraz powszechnej stosowalności wytycznych, dotyczących skutecznego zarządzania, zawartych w różnych opracowaniach. Do szczególnie użytecznych należy zaliczyć kolejne nowelizacje norm ISO serii 9000. Zostały one opracowane przy międzynarodowej współpracy specjalistów na podstawie praktycznych obserwacji czynników i działań, sprzyjających doskonaleniu jakościowego funkcjonowania i wytwarzania.

Kolejne nowelizacje tych norm uwzględniały doświadczenia wcześniejszej ich stosowalności oraz zmiany zachodzące w otoczeniu organizacji w okresie między nowelizacjami. Treści tych norm stanowią skondensowaną wiedzę, dotyczącą skutecznego zarządzania, ukierunkowanego na aspekty jakościowe, przedstawione w postaci uogólnionych wymagań dotyczących działań i postępowania organizacji. Dzięki uogólnionym sformułowaniom wymagań każda organizacja mogła ustanowić konkretne formy ich realizacji, uwzględniające miejscową specyfikę oraz uwarunkowania zewnętrzne.

Poszczególne wymagania formułowane są w ten sposób, że mogą być zaadoptowane przez każdy typ organizacji zainteresowanej doskonaleniem swojej działalności niezależnie od jej wielkości, dziedziny aktywności, poziomu rozwoju ewolucyjnego czy przyjętych aspektów doskonalenia. Wiedza zawarta w tych normach jest szczególnie użyteczna dla organizacji w początkowych etapach rozwoju, gdy nie dysponuje ona jeszcze wystarczającym doświadczeniem, umożliwiającym sprostanie konkurencji.

W znowelizowanych normach EN ISO 9000 i EN ISO 9001, opublikowanych w 2015 r. (w Polsce ustanowionych w 2016 r.), wprowadzono szereg zmian mających na celu lepsze dostosowanie organizacji do zmieniającego się otoczenia. Poniżej podano niektóre charakterystyczne zmiany, które powinny być brane pod uwagę w procesach projektowania, wytwarzania, użytkowania wyrobów i usług oraz funkcjonowania różnych organizacji (naukowych, dydaktycznych, konsultingowych, wytwórczych i in.).

W normie ISO 9000 omówiono pojęcie jakości wyrobów i usług jako zdolność organizacji do uzyskiwania zadowolenia klientów i interesariuszy oraz promowanie kultury jakości kształtującej zachowania, postawy, działania i procesy dostarczające oczekiwanych wartości. Natomiast system zarządzania jakością (QMS) umożliwia

kierownictwu optymalizowanie decyzji, dotyczących wykorzystywania zasobów, realizacji celów i dostarczania wartości zainteresowanym stronom. Podkreślono znaczenie zrozumienia przez organizację jej kontekstu, będącego procesem identyfikacji czynników, determinujących jej cel istnienia i zdolności do zrównoważonego rozwoju (m.in.: kultura, wiedza, prawa, technologie). Dość obszernie wyjaśniono znaczenie tzw. wsparcia QMS przez najwyższe kierownictwo, personel, zasoby, kompetencje, świadomość i komunikację. Określonej zmianie uległo podejście do zasad zarządzania jakością. Z dotychczasowych ośmiu zasad zrezygnowano z zasady podejścia systemowego i ukierunkowanego na dostawców, zamieniając je na zasadę „zarządzania relacjami” ze stronami zainteresowanymi (w tym dostawcy), co sprzyja osiągnięciu trwałego sukcesu dzięki zoptymalizowaniu tych relacji. Dla wszystkich siedmiu zasad zarządzania jakością wprowadzono uszczegółowienie przez podanie:

- ogólnego scharakteryzowania zasady, jej celu lub znaczenia wraz z odpowiednim uzasadnieniem,
- wskazaniu głównych korzyści możliwych do uzyskania przez skuteczne wdrożenie zasady w system QMS,
- wskazanie możliwych działań organizacji celem zastosowania zasady w praktyce funkcjonowania organizacji.

Dość obszernie omówiono model QMS i system QMS, wraz ze wskazaniem znaczenia procesów i działań w osiągnięciu celów organizacji. Przy opracowywaniu QMS należy korzystać z ISO 9001 oraz ewentualnie ISO 9004, przy czym QMS winien być ciągłym procesem uwzględniającym zmieniające się okoliczności. Pomocne w opracowywaniu QMS są również normy ISO serii 10000.

W normie w sposób obszerny omówiono terminy i definicje mające zastosowanie we wszelkich normach zarządzania opracowywanych w ISO. Zostały one uporządkowane i pogrupowane w następujące zbiory: terminy dotyczące osób, organizacji, działań, procesu, systemu, wymagań, wyników, danych, informacji, dokumentów, klienta, właściwości, określeń, działania i auditu. Aby uniknąć nieporozumień wyjaśniam, że grupa „działań” obejmuje takie zagadnienia jak: doskonalenie, zarządzanie jakością, planowanie jakości, zapewnienie jakości, sterowanie jakością, zarządzanie konfiguracją, nadzorowanie zmian, zarządzanie projektem itp. Natomiast grupa „działania” obejmuje: działania korygujące i zapobiegawcze, korekcję, przeklasyfikowanie, zezwolenie, zwolnienie,

przeróbkę, naprawę, likwidowanie. Zawartości pozostałych zbiorów są spójne z nazwą grupy.

Istotna zmiana związana jest również z terminem „wyrób”, który wg normy ISO/IEC 17065 definiowany jest jako „wynik procesu, który może być produktem materialnym lub przetworzonym, wytworem intelektualnym lub usługą tzn. pojęcie wyrób obejmowało produkty i usługi”. W normie EN ISO 9000 istnieją odrębne definicje wyrobu i usługi, tzn. określa się „wyjście” (z organizacji) jako wynik procesu, a dodatkowo:

- „wyrób” jako wyjście organizacji, które może być wytworzone bez transakcji między organizacją a klientem,
- „usługa” jako wyjście organizacji z przynajmniej jednym działaniem nieodzownie przeprowadzonym między organizacją a klientem.

Znowelizowana norma EN ISO 9001 zawiera również szereg nowych sformułowań, dotyczących wymagań względem wdrażanego systemu QMS. Ukierunkowane są one głównie na doskonalenie jakościowe wyrobów i usług, zadowolenie klienta, uwzględnienie ryzyka i zapewnienie zgodności z przytoczonymi wymaganiami. Obszernie omówiono zastosowanie podejścia procesowego w QMS, opartego na schemacie PDCA oraz na identyfikacji możliwego ryzyka i jego konsekwencji, z uwidocznieniem ewentualnych szans sukcesu. Uwzględnianie ryzyka ma na celu zwiększenie szans osiągnięcia pożądanых celów, zapobiegania niepożądanym skutkom oraz uwzględnianie go we wszelkich planowanych działaniach.

W normie wskazano zasady budowy skutecznego QMS przez zrozumienie organizacji i jej kontekstu (zewnętrznego i wewnętrznego), zrozumienie potrzeb i oczekiwań stron zainteresowanych, zdefiniowanie zakresu QMS i jego procesów. Wśród głównych wymagań uszczegółowiono wymagania dotyczące: przywództwa i jego zaangażowania (orientacja na klienta, polityka jakości, odpowiedzialność i uprawnienia), planowania uwzględniającego ryzyko, postulowane cele jakości oraz właściwe wprowadzanie zmian, których procedury powinny zawierać:

- konkretyzację tego co ma być zmienione,
- opracowanie planu zmiany (zadania, harmonogram, odpowiedzialność, budżet, zasoby, potrzeby informacyjne),
- zaangażowanie osób wspierających,
- opracowanie planu komunikacji z innymi zainteresowanymi,
- wykorzystanie zespołów międzyfunkcyjnych do przeglądów i dostarczania informacji,
- szkolenie personelu realizującego plan,
- ocena wyników i skuteczności realizowania planu.

Konieczność planowania i wprowadzania zmian może być uruchamiana na podstawie:

- informacji zwrotnych od klientów, reklamacji lub służb serwisowych,

- braków wewnętrznych i informacji od pracowników lub interesariuszy,
- wyników auditów, przeglądów oraz realizowanych działań korygujących i zapobiegawczych.

Ważnym elementem QMS, oprócz przywództwa i planowania jest również tzw. wsparcie systemu realizowane z pomocą zasobów (ludzie, infrastruktura, środowisko procesów, monitorowanie i pomiary, wiedza organizacyjna), kompetencji i świadomości organizacji, komunikacji i dokumentowania.

W normie szczegółowo omówiono wymagania związane z działaniami operacyjnymi, do których zaliczono:

- planowanie i nadzór nad działaniami operacyjnymi dotyczące procesów, wyrobów, usług, kryteriów ocen,
- wymagania dotyczące wyrobów i usług (komunikacja z klientem, określanie, przeglądy wymagań, zmiany itp.),
- projektowanie wyrobów i usług (planowanie, projektowanie, nadzór nad projektowaniem, zmiany wprowadzone, nadzorowanie procesów zewnętrznych i informacji),
- wymagania dotyczące produkcji i dostarczania usług (nadzór, identyfikacja i identyfikowalność, zabezpieczanie, zmiany, działania poprodukcyjne, zwalnianie do użytkowania),
- oceny efektów działalności (monitorowanie, analiza, ocena, zadowolenie klienta, audyty wewnętrzne, przeglądy zarządzania),
- działania doskonalące (identyfikacja niezgodności, działania korygujące, dokumentowanie, ciągłe doskonalenie).

W załącznikach normy podano wyjaśnienie nowej struktury, terminologii i koncepcji normy (załącznik A) oraz przytoczono pozostałe Normy Międzynarodowe dotyczące zarządzania jakością i systemów zarządzania opracowane przez ISO/TC 176 (załącznik B).

Reasumując – nowe normy EN ISO 9000 i EN ISO 9001 zwracają uwagę użytkowników na konieczność uwzględniania procesów biznesowych w strategii organizacji, ukierunkowują jej działalność na wyniki, a nie cele, podkreślają znaczenie klienta i stron zainteresowanych, promują podejście procesowe oparte na schemacie PDCA oraz szacowaniu ryzyka i skutecznego zarządzania nim.

Sformułowane wymagania ułatwiają integrowanie tworzonych na ich podstawie systemów zarządzania z innymi normatywnymi systemami zarządzania.

Te ogólne wytyczne i wymagania mają za zadanie zwiększenie konkurencyjności organizacji i jej uelastycznienie we wprowadzaniu koniecznych zmian, co powinno być również uwzględniane we wszelkich działaniach związanych z zarządzaniem jakością w procesach wytwarzania, automatyzacji i montażu wyrobów maszynowych i elektromaszynowych.

SPECIFICITY OF DIMENSIONAL CHAINS SYNTHESIS AND ANALYSIS FOR ASSEMBLED PCM CONSTRUCTIONS ACCURACY EVALUATE

Специфика синтеза и анализа размерных цепей для обеспечения точности сборных конструкций из композитных материалов

Specyfika syntezy i analizy łańcuchów wymiarowych dla zapewnienia dokładności konstrukcji montowanych z materiałów kompozytowych

Vitaliy PASICHNYK, Aleksey KHMURENKO

Abstract: Approaches of size and accuracy analysis are relevant and universal for complex of ensure constructions at their assembly accuracy and interchangeability tasks decisions. Such approaches are usually based on dimensional chains (DC) theory apparatus, which is sufficiently developed, but, has a number of unsolved problems, such as polymer composites materials (PCM) geometrical parameters accuracy calculation.

Difficulty arises applying above theory, both on DC formation and synthesis stage and on analysis and calculation subsequent stage. There is also a number of assumptions, which simplifies analysis of metallic constructions, but makes significant errors for PCM settlement.

This paper presents an analysis of formation and synthesis procedures for spatial DC (SDC) and all kinds of heterogeneous materials (including PCM), which showed unreasonableness of using "classical" methods and needs to clarify, on issue of taking into account PCM parts constructive-technological specifics parameters.

Different approaches in composite constructions SDC model representation, among which the best approach has been defined, in which geometry of model is a structure of related coordinate systems of constructions parts. This approach allows to take into account the complex PCM structure as possible representation of their subsystems individual structures. Also take into account specific technological factors on PCM production stages and construction assembly stages.

Proposed approach involves the use of general structure model decomposition, which simplifies construction, and makes SDC model universal. Proposed method allows to build effective PCM structures models, designs to perform SDC formation and synthesis procedures, as well as further SDC analysis.

Keywords: size and accuracy analysis, spatial dimensional chain, PCM construction

Резюме: Подходы размерно-точностного анализа являются актуальными и универсальными для решения комплексных задач обеспечения точности и взаимозаменяемости конструкций при их сборке. Такие подходы, как правило, основываются на аппарате теории размерных цепей (РЦ), который в свою очередь является достаточно развитым, но несмотря на это, имеет ряд нерешенных задач, например, связанных с расчетом точности геометрических параметров сборных конструкций из полимерно-композитных материалов (ПКМ).

Сложности применения вышеупомянутой теории возникают, как на этапах формирования и синтеза РЦ конструкции, так и на последующих этапах их анализа и расчета. Также имеется ряд допущений, который упрощает анализ металлических конструкций, но для ПКМ вносит значительные погрешности расчетов.

В настоящей работе представлены результаты анализа актуального состояния процедур формирования и синтеза пространственных РЦ (ПРЦ) для сборных конструкций из неоднородных материалов (в т.ч. ПКМ), которые показали нецелесообразность применения «классической» методологии и необходимость ее уточнения, в вопросе учета специфики конструктивно-технологических параметров составных частей конструкции (СЧ) из ПКМ.

Рассмотрены различные подходы в представлении модели ПРЦ сборных конструкций, оптимальным среди которых был определен подход, при котором модель геометрии представляется в виде структур связанных систем координат ее СЧ. Такой подход позволяет учесть сложную структуру ПКМ, т.к. возможно представление отдельных структур их подсистем. Также учитываются специфические технологические факторы, которые возникают на этапах изготовления СЧ из ПКМ и сборки конструкции в целом.

Предложенный подход подразумевает использование декомпозиции общей структуры модели, что упрощает процедуры построения, а саму модель ПРЦ делает универсальной. Предложенная методика позволяет строить эффективные модели структур ПРЦ конструкций из ПКМ для выполнения процедур как формирования и синтеза, так и дальнейшего анализа ПРЦ.

Ключевые слова: Размерно-точностный анализ, пространственная размерная цепь, конструкция из композитных материалов

Streszczenie: Aktualnym i uniwersalnym podejściem do analiz wymiarowo-dokładnościowych i kompleksowych zadań, zapewnienia dokładności i zamienności konstrukcyjnej w montażu jest teoria łańcuchów wymiarowych. Podejście to oparte o aparat teorii łańcuchów wymiarowych (ŁW) jest wystarczająco dopracowane, mimo iż istnieje szereg nierozwiązanych zadań, np. związanych z obliczaniem dokładności parametrów geometrycznych konstrukcji składanych z polimerowo-kompozycyjnych materiałów (PKM). Złożoność zastosowania ww. teorii pojawia się w etapach formowania i syntezy ŁW konstrukcji oraz na kolejnych etapach ich analizy i obliczeń. Istnieje szereg założeń, które upraszczają analizę metalowych konstrukcji, lecz dla PKM są obciążone znacznymi błędami. W pracy przedstawiono wyniki analizy aktualnego stanu procedur kształtowania i syntezy przestrzennych ŁW (PŁW) dla konstrukcji montowanych z niejednorodnych materiałów (w tym PKM), które wykazały

niecelowość stosowania „klasycznej” metodologii i konieczność jej uściślenia w zagadnieniach uwzględnienia specyfiki konstrukcyjno-technologicznych parametrów elementów składowych (ES) konstrukcji z PKM.

Rozpatrzono różne podejścia w przedstawianiu modelu PŁW montowanych konstrukcji, optymalnym wśród których było wyznaczone podejście, przy którym model geometrii przedstawiono w postaci struktur powiązanych systemem współrzędnych z ES. Takie podejście pozwala uwzględnić złożoną strukturę PKM, ponieważ możliwe jest przedstawienie oddzielnych struktur ich podsystemów. Uwzględnia to także specyficzne, technologiczne czynniki, które pojawiają się na etapach wytworzenia ES z PKM oraz montażu całej konstrukcji.

Zaproponowane podejście przewiduje wykorzystanie dekompozycji ogólnej struktury modelu, co upraszcza procedury budowy, a sam model PŁW czyni uniwersalnym. Zaproponowana metoda pozwala budować efektywne modele PŁW konstrukcji z PKM dla wytwarzania procedur oraz formowania i syntezy, jak i dla dalszej analizy PŁW.

Słowa kluczowe: analiza wymiarowo-dokładnościowa, przestrzenne łańcuch wymiarowy, konstrukcje z materiałów kompozytowych

Introduction

With the extension of the polymeric composite materials (PCM) application in various mechanical engineering sectors, is gaining more and more relevance of the issue of their geometrical parameters accuracy ensuring. Particularly acute, this problem becomes for assembled constructions, since in addition to manufacturing step is necessary to ensure accuracy at the stage of assembling such constructions, namely, in coherences and joints.

The main problem in assembled constructions accuracy evaluating and ensuring is a need to take account non-uniform and non-structural constructive and technological PCM characteristics, which will form the components of the overall accuracy of the construction.

The specific structural and technological parameters of PCM components consideration that affect on assembled construction accuracy.

The question of forming the specific requirements methods designing in constructions from the PCM modeling to solve which is necessary to analyze the structural and technological parameters and characteristics of modern aircraft constructions (the example of caisson construction offered (CC)) and perform their systematization, classification and typing. As such, the specific parameters of PCM CC will be available for consideration in solving common tasks of constructive and technological modeling.

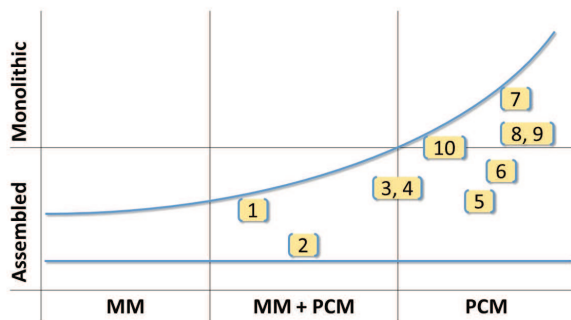


Fig. 1. Connectivity of CC design features and construction materials MM – metal material, PCM – polymeric composite material, 1-10 – according to references in [1]

To understand the place of different technical solutions is necessary to present it in coordinates system “The use of PCM – components CC” (fig. 1).

After analyzing the advantages and disadvantages of the main methods of classification [2], the choice was made in favor of facet method. For the determination of CC facets is necessary to determine specific parameters classification features, which requires a number of assumptions. A typical CC consists of panels (upper – UP and lower LP), spars (front – FS, rear – RS and ordinary – OS) and ribs (root – RR, final – FR, power – PR and typical – TR) (fig. 2).

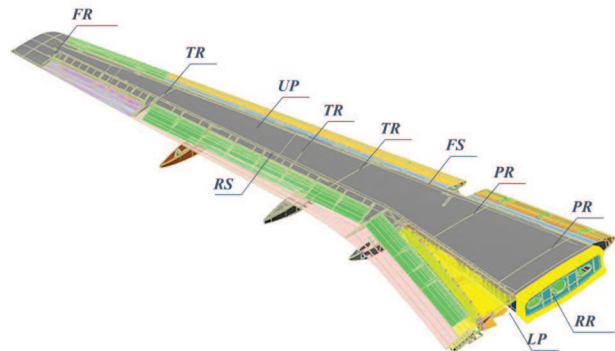


Fig. 2. Typical CC consists of panels (upper – UP and lower LP), spars (front – FS, rear – RS and ordinary – OS) and ribs (root – RR, final – FR, power – PR and typical – TR)

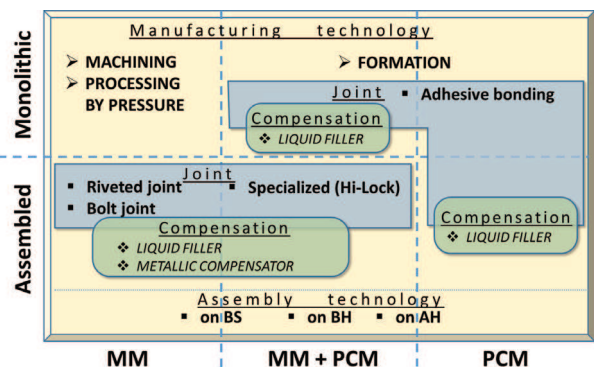


Fig. 3. Facets of PCM CC technology options MM – metal material, PCM – polymeric composite material

Table 1. Facets of PCM CC technological operations of joints

Process operation	Material			Note
	MM	MM+PCM	PCM	
Hole Machining				
Drilling	true	true	true	
Drilling-Out	true	true	true	
Reaming	true	true	true	
Broaching	true	true	true	
Countersinking	true	true	true	
Strengthening	true	false	false	
Mounting process				
Clearance mounting	true	true	true	
Clogging	true	false	false	
Pressing	true	false	false	with sleeve only
Pulling	true	false	false	with sleeve only
Fixing Process				
Impact	true	false	false	only riveted joints
Impulse	true	false	false	only riveted joints
Press	true	true	true	only riveted joints
Reeling out	true	true	true	only riveted joints
Screwing	true	true	true	torque-limiting
Washer fixing	true	true	true	
Additional Process				
Machining	true	false	false	

The use of technology options joints and compensate for deviations for different CC and their components materials is shown in fig. 3.

For the above-mentioned technological parameters of PCM CC special coding system was offered [1].

Technological operations of joints execution, that can be used for different CC components materials is shown in Table. 1, where 1 – the operation applies; 0 – not applicable.

In solving the aforementioned problems also necessary to analyze joints of considered PCM CC components each other. It is necessary to construct the truth interfaces matrices (fig. 4), which will help to reduce the task by eliminating those that cannot take place in real CC. In truth constructed matrix also adopted coding system is used, where 1 – the combination is present; 0 – no connection.

Influence of specific parameters on the spatial dimension chains synthesis and analysis method for PCM assembly constructions.

Today topical tool for determining the parameters of the accuracy assembled construction is dimensionally-precision analysis, which is based on the apparatus of the dimension chains (DC) theory. This theory, in general representation, is universal and simplified enough.

A significant number of assumptions in the individual positions of DC theory, as a rule, concern the presentation of the assembly facilities components and directly connections between them, as units of the DC. Considering complex PCM construction, above assumptions makes sufficiently high uncertainty at the stage of DC formation and the synthesis.

	UP	LP	FS	RS	OS	RR	FR	PR	TR
UP	0	0	1	1	1	1	1	1	1
LP	0	0	1	1	1	1	1	1	1
FS	1	1	0	0	0	1	1	1	1
RS	1	1	0	0	0	1	1	1	1
OS	1	1	0	0	0	1	1	1	1
RR	1	1	1	1	1	0	0	0	0
FR	1	1	1	1	1	0	0	0	0
PR	1	1	1	1	1	0	0	0	0
TR	1	1	1	1	1	0	0	0	0

Fig. 4. Truth interfaces matrices for PCM CC components

Thus, the binding components and the closing DC link in assembled construction systems (CS) should take place with the help of related coordinate systems (CS). For further description of the DC synthesis techniques for the PCM constructions, consider the problem of related component CS and construction in general formation and description.

Methods of related PCM component CS and construction in general forming

In the task of DC synthesis, the related CS – is a structure of separately specific each construction component CS. Such structure should be formed taking into account the requirement of strict compliance of these relations in the actual physical model of relations in the actual design. Non-compliance with this requirement will result in an error and greatly complicate the correct DC synthesis.

Analysis of the related CS structure should be based on technological factors too. Particular influence on the related CS structure for PCM assembly constructions will provide specifics components manufacturing technology and construction assembly technology. Such specificity is caused by the impossibility of applying the standard “classical” technology solutions that have been used previously for metal constructions [3].

For the PCM components manufacturing stage, the most important:

- basic CS purpose, which will determine the main assembly base for component mounting during final construction assembly and depend on the type of formation technology;
- forming CS subsystems in which each monolayer has a separate CS, depending on the PCM structure.

Relations in such subsystems will perform functions, variables, which depend on the material properties and formation technology modes. [4]

For the PCM construction assembly stage, the most important:

- consideration of connections between construction components and compensating elements (brackets, compensators, liquid fillers, etc.);
- jig CS formation, as a part of the general related CS structure.

For the PCM constructions assembly appropriate to apply modular jigs, consisting of basic elements, frame and foundation. Last is forms a “zero” base in the general related structure.

For such jigs it is introducing the following CS notation: $CS_{J_0}^i$ – CC assembly jig, which consists of a frame ($CS_{CC_FR}^i$) and basic elements ($CS_{CC_BE}^i$). A hierarchical system of relations in the revised structure is shown in fig. 5.

The above CS structure is quite complicated, due to additional jig elements, but displays the actual structure of construction in production and visualizes technological gaps between the upper panel and the CC frame.

The proposed approach takes into account the assembly construction mounting tension in the future construction and technological modeling the structure under consideration. It is possible to realize due to the description and analysis of the jig elements, as well as basing methods, taking into account real technology solutions in the workplace.

At the same time, current is still the main task of ensuring the geometrical parameters accuracy, for the solution of which is necessary to develop a method for the PCM construction DC formation.

Methods of the PCM construction DC model formation.

Assembled construction DC designing is due to the performance of its geometry model as its components CS. At the same time, the greater its components number

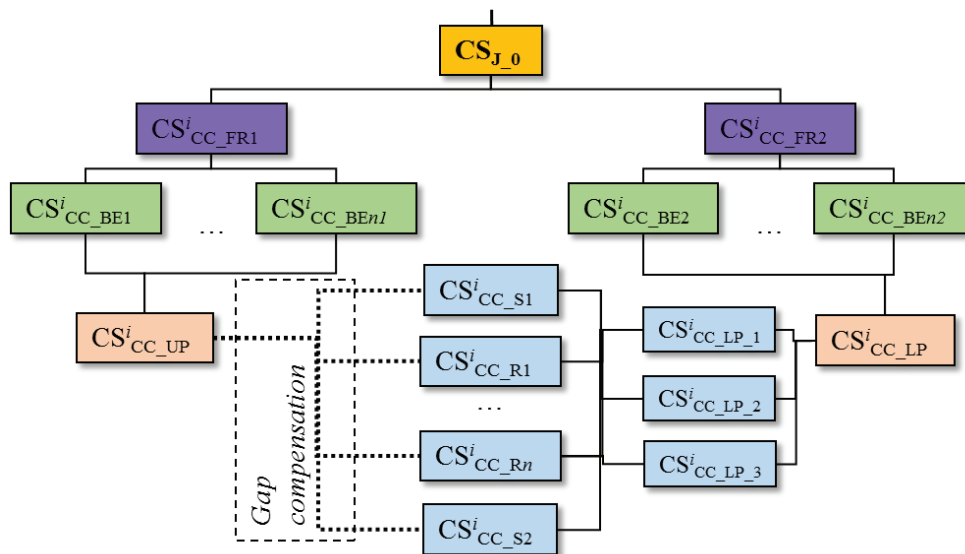


Fig. 5. Hierarchical system of PCM construction in jig relations CS

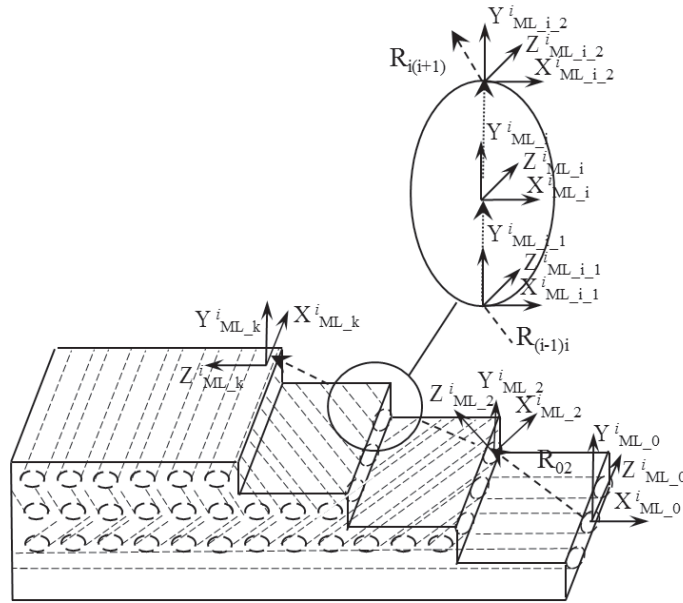


Fig. 6. Typical model of the PCM component DC structure: XYZ_{ML_0} – basic CS, $R_{02} = f(a, b, \dots m)$ – constitutional unit as “m” process parameters function, k – monolayers number

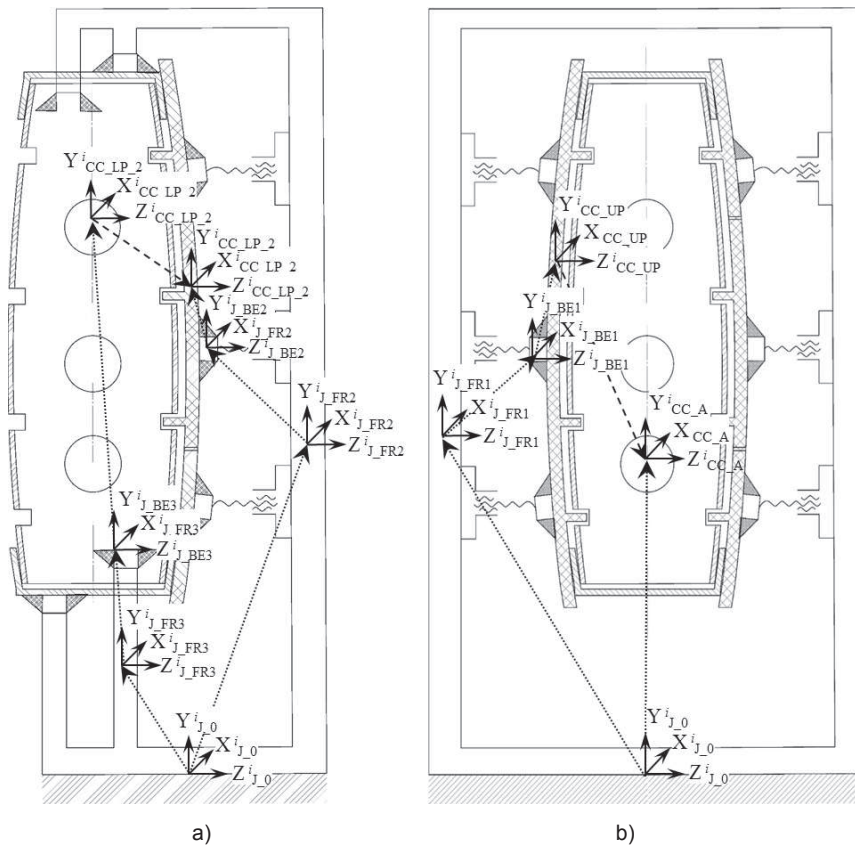


Fig. 7. DC structure model: a) PCM CC subassembly “A” in jig, b) PCM CC in jig

and the more complex their structure and geometry, the more difficult will be its structure as a whole.

To solve this problem, consider the approach of the general DC structure decomposition. At the lowest level it is necessary to analyze the details of construction and, accordingly, take into account the technological features

at the stage of their manufacture. For construction discussed above, the most complex structure has PCM components (upper and lower panels). A typical model of the PCM component DC structure shown in fig. 6.

After PCM component DC synthesis, it is expedient present it in a short form (fig. 7a).

At the highest structure decomposition level of the is necessary to analyze directly up construction. It is possible to simplify this analysis using construction division circuit. So for PCM CC can be distinguished phase "A" – the frame subassembly and lower panels (fig. 7a), and then the mountain of the upper panel and the final CC assembly (fig. 7b).

The proposed model (fig. 7) is universal, what allows adjustments at different levels of its decomposition without destructing the overall model. It is expedient to use such a model in automated systems, not only for the DC formation and synthesis, further for its analysis.

PCM construction DC structure model adequacy assessing

For PCM CC in jig DC structure model synthetic consideration of using possibility for these assessing the adequacy methods of its will be a rational [5]:

- on basis of the tolerance field for the variations in the plan matrix;
- on basis of equivalence radius;
- on basis of stochastic modeling (Monte-Carlo method).

From the above PCM construction DC structure model adequacy assessing methods, stochastic modeling will be preferred, because along with the relative simplicity of task solving assessment procedures, the results will be displayed, as close as possible to the production, the character of the previously synthesized model adequacy.

To implement the evaluation procedures using the Monte-Carlo method is necessary to solve the task of converting a synthetic model in vector-matrix form. To do this, it is also advisable to apply the decomposition approach discussed earlier. So at the lowest level denote the model equations system:

$$\mathbf{R}_{(k-1)k} = \mathbf{f}(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \dots \mathbf{m}), \quad (1)$$

where Y_{PCM} – closing unit, which characterize the deviation in general, as a function of the components: X_0, X_1, \dots, X_k – characterized filler deflection (fiber material), $R_{01}, \dots, R_{(k-1)k}$ – characterized binder material deflection as a function of "a, b, ... m" structural and technological parameters.

The following parameters will be considered for further analysis to binder material:

- structural: μ – viscosity, β – expansion,
- technological: t – temperature, P – pressure.

Thus the system (1) will have the following form:

$$\mathbf{R}_{(k-1)k} = \mathbf{f}(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\beta}, \mathbf{t}, \mathbf{P}). \quad (2)$$

To model evaluate, using the Monte-Carlo method, form the tolerance of the closing values on the basis of the model equations:

$$\mathbf{Y}(\Delta \mathbf{X}_k^T, \mathbf{R}_{(k-1)k}^T) = \mathbf{R}_{(k-1)k} + \boldsymbol{\Sigma} \Delta \mathbf{X}_k, \mathbf{i} = \mathbf{0}, \mathbf{k} \quad (3)$$

where Δ – deviation, T – tolerance.

Thus, the nominal tolerance value field is equal to

$$\mathbf{Y}(\Delta \mathbf{X}_k^T, \mathbf{R}_{(k-1)k}^T) = \mathbf{R}_{(k-1)k}, \quad (4)$$

and tolerance is one of the equations:

$$\mathbf{T}\mathbf{Y} = \boldsymbol{\Sigma} \left| \mathbf{R}_{(k-1)k} \right| \mathbf{T}\mathbf{X}_i$$

- to ensure full interchangeability requirements;
- to provide partial interchangeability requirements.

Thus the tolerance will be the following:

$$\mathbf{Y}_{\min}, \mathbf{Y}_{\max} = \mathbf{R}_{(k-1)k} \pm \mathbf{T}\mathbf{Y}. \quad (5)$$

Referring to the equations model system:

$$\mathbf{R}_{(k-1)k} = \mathbf{f}(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\beta}, \mathbf{t}, \mathbf{P}). \quad (6)$$

where $X_i, R_{(i-1)i}$ – nominal amounts values; $\Delta X_i, \Delta R_{(i-1)i}$ – deviation amounts to the nominal values.

Let these deviations are random variables $\Delta X_i, \Delta R_{(i-1)i}$, $i = 0, k$. The parameters values of random variables distribution laws we choose such that the condition

$$\begin{aligned} \mathbf{P}(\Delta \mathbf{X}_i, \Delta \mathbf{R}_{(i-1)i} \in [\Delta \mathbf{X}_{i \min}, \Delta \mathbf{R}_{(i-1)i \min}, \Delta \mathbf{X}_{i \max}, \Delta \mathbf{R}_{(i-1)i \max}]) \\ = 1 - \varepsilon, \varepsilon \ll 1, \end{aligned} \quad (7)$$

where $[\Delta X_{i \min}, \Delta R_{(i-1)i \min}, \Delta X_{i \max}, \Delta R_{(i-1)i \max}]$ – component value tolerance field $X_i, R_{(i-1)i}$.

Model system of equations in this case will have the form:

$$\begin{aligned} Y_{PCM}(X_0 + \Delta X_0, R_{01} + \Delta R_{01}, X_1 + \Delta X_1, \dots, R_{(k-1)k} + \\ + \Delta R_{(k-1)k}, X_k + \Delta X_k) = Y_{PCM}(X_0, R_{01}, X_1, \dots, R_{(k-1)k}, X_k) = Y \end{aligned} \quad (8)$$

where $X_i = X_i + \Delta X_i, R_{(i-1)i} = R_{(i-1)i} + \Delta R_{(i-1)i}$ – occasional arguments equation model.

Equation (8) with random arguments causes the closing value as a random variable Y . Now the condition of the adequacy of the model can be defined as the ratio of

$$\mathbf{P}\left(\mathbf{Y} \in \mathbf{R}_{(k-1)k} \pm \frac{1}{2} \mathbf{T}\mathbf{Y}\right) \geq 1 - \varepsilon \mathbf{Y}, \varepsilon \mathbf{Y} \ll 1. \quad (9)$$

Checking the adequacy of conditions (9) is realized on the basis of stochastic modeling, taking into account the total additional factor accounting for the PCM component deviations.

After solving the model for estimating the current (at the lowest decomposition level) can be solved a complex task structure model assessment as a whole, according to the method described above. For modern assembled PCM constructions automation algorithm requires a large amount of cases settlement.

Conclusions

In the issues considering of formation and synthesis as well as analysis and evaluation of the DC for the PCM assembled construction, the main problem is account specific structural and technological parameters defined anisotropy and heterogeneity of the PCM properties. To solve this problem a method for implies a representation of the model in the form of systems and subsystems related assembled construction CS, connections in which describes specific PCM structural and technological parameters. At the same time, taking into account features of the manufacturing technology and assembly technology of PCM constructions as a whole.

Issues of above-mentioned models analysis and evaluation have been described using a method based on stochastic modeling, which showed its relevance and usefulness for PCM assembled construction. The proposed methodology appropriate to apply construction stages using CAD-systems, to allow further use of automated equipment for the PCM assembled construction production as a whole.

REFERENCES

- [1] Abibov A.L. 1982. "Aircraft manufacturing technology". *Mechanical Engineering*, p. 551.
- [2] Hastie T., R. Tibshirani, J. Friedman. 2009. "The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction". Springer-Verlag, p. 746 .
- [3] Pasichnyk V.A., O.O. Khmurenko. 2015. "Classification of constructive and technological parameters of caisson structures made of carbon fiber reinforced plastic". *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 2, Issue 2. pp. A 14–A 20.
- [4] Pasichnyk V.A., O.O. Khmurenko. 2016. "Method of dimension chains analysis and evaluation for PCM assembly constructions". *Technological systems* (1): 23–29.
- [5] Pasichnyk V.A., O.O. Khmurenko. 2016. "The influence of composite structures constructive and technological parameters on dimensional chains synthesis". *Technologia i Automatyizacja Montażu* (1): 5–12.

Pasichnyk Vitaliy – Doctor of Sciences in Technical, Professor, Head of the Department of Integrated Manufacturing Engineering of the Institute of Mechanical Engineering National Technical University of Ukraine Kyiv Polytechnic Institute, e-mail: pasichnyk@ukr.net

Khmurenko Aleksey – PhD student, Integrated Manufacturing Engineering Department of the Institute of Mechanical Engineering National Technical University of Ukraine Kyiv Polytechnic Institute, e-mail: hmu_jr@ukr.net

CECHY POŁĄCZEŃ MODUŁÓW KONSTRUKCYJNYCH OBRABIAREK REKONFIGUROWALNYCH

Features of connection modules constructions of reconfigurable machine tools

Tadeusz KOWALSKI, Grzegorz DUBIEL

Streszczenie: W artykule zostaną omówione takie zagadnienia jak:

- wymagania stawiane połączeniom konstrukcyjnym obrabiarek rekonfigurowanych,
- wpływ modułowości konstrukcji na dalszą możliwość rozbudowy obrabiarek już pracujących, w warunkach niewyspecjalizowanego montażu u odbiorcy,
- zakres rozbudowy funkcjonalnej obrabiarek na przykładzie centrum tokarskiego Osa,
- przykład rozbudowy o: podajniki przedmiotów obrabianych, podajniki rur, magazyny przedmiotów obrabianych, wrzecienniki przechwytyjące i platformy narzędziowe.

Słowa kluczowe: modułowość konstrukcji, podajnik, rekonfiguracja obrabiarek

Abstract: The paper presents:

- requirements for structural connections reconfigurable machine tools,
- the impact of modular design further upgradeable machine already working under conditions of non-specialist installation at the customer,
- the scope of the expansion of functional machine for example turning center Osa,
- example of an expansion of: feeders workpieces, trays pipes, feeder workpiece, headstocks capture platform and tooling.

Key words: modular construction, feeder, reconfiguration of machine tool

Wstęp

Budowa modułowa charakteryzuje się tym, że wymagana konstrukcja maszyny zawiera przygotowane wcześniej części, zespoły i mechanizmy, które w sposób jednoznaczny dają się zmontować. Budowa modułowa w porównaniu z indywidualnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi jest korzystniejsza ze względów techniczno-ekonomicznych, gdy wymagane warianty rozwiązań przewidziane w programie produkcyjnym zakładu mogą być dostarczone do odbiorcy w określonych ilościach, a wymagane zamówienia mogą być zrealizowane jednym lub kilkoma podstawowymi modułami, uzupełnionymi kilkoma modułami funkcjonalnymi.

Budowa modułowa zapewnia możliwość przebudowy i rozbudowy odpowiedniego podsystemu konstrukcyjnego oraz daje możliwość współpracy z innymi podsystemami konstrukcyjnymi. Każdą konstrukcję modułową można ocenić ze względu na jej rozdzielczość. Dla każdego modułu wyznacza się stopień rozdrobnienia na części podstawowe, uwarunkowane funkcjonalnością i wykonawstwem. Dla całego systemu modułowego wyznacza się liczbę modułów i możliwości ich kombinacji, czyli warianty.

W budowie modułowej możemy rozróżnić dwa rodzaje systemów [1]:

- skończony, który da się przedstawić ze skończoną liczbą wariantów oraz nieskończony, który charakteryzuje się dużą różnorodnością możliwych kombinacji, których nie można zaplanować.

Współczesne obrabiarki i podsystemy automatyzujące składają się w 50 do 70% z typowych zespołów (zwanych komponentami), co pozwala na [1]:

- skrócenie fazy projektowania i konstruowania maszyn,
- skrócenie czasu budowy i uruchamiania maszyn,
- zmniejszenie udziału części konstrukcyjnych specjalnych oraz zwiększenie elastyczności rozbudowy,
- dostępność do części zamiennych, co zwiększa dyspozycyjność maszyn i ich systemów,
- znaczne ułatwienie planowania i realizacji automatyzacji produkcji o różnym stopniu elastyczności, dzięki dysponowaniu znanym zestawem modułowych konstrukcji,
- możliwość zaoferowania odbiorcy ekonomicznych i tańszych rozwiązań z możliwością ich rozwijania, poczynając od pojedynczej, podstawowej obrabiarki, przez autonomiczną stację obróbkową, aż po złożony system obróbkowy.

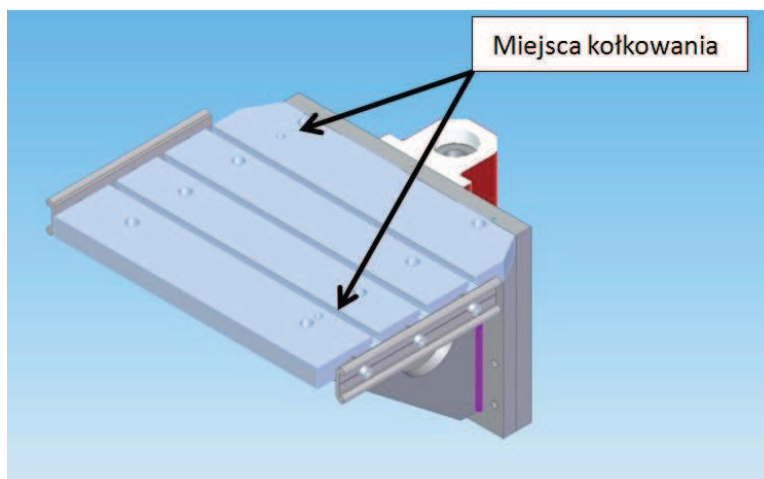
Modułowość jest warunkiem koniecznym dalszej rozbudowy istniejących już maszyn i urządzeń [3]. Dotyczy to szczególnie wszystkich środków transportu i magazynowania przedmiotów. Przykładem modułowości są manipulatory i urządzenia podające oraz magazyny sterowane centralnie. Bardzo ważnym zagadnieniem oprócz układów mechanicznych jest standaryzacja w zakresie przepływu informacji i sterowania. Przepływ informacji zapewniają programy sterujące maszyn i obrabiarek, w których zawarte jest centralne sterowanie magazynowaniem, manipulacją i transportem.

Wymagania stawiane połączeniom konstrukcyjnym obrabiarek rekonfigurowalnych

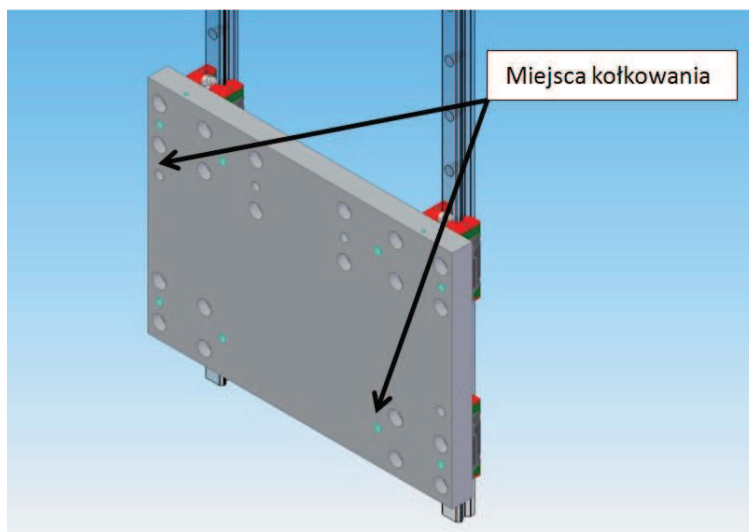
Podstawowe wymagania stawiane układom mechanicznym to powtarzalność położenia i wysoka dokładność połączeń. Czynniki te są ważne ze względu na dokładność obróbki, która musi pozostać tak samo wysoka przy różnych konfiguracjach konstrukcyjnych obrabiarki. Dodatkowym czynnikiem jest szybkość i łatwość wymiany modułów konstrukcyjnych. W przypadku obrabiarek rekonfigurowanych należy uwzględnić pewną cechę nadrzędną, oprócz powtarzalności i dokładności połączeń, jaką jest demontowalność [6]. Zapewnia to szybką zmianę struktury obrabiarki, zgodnie ze zmieniającą się produkcją. W przypadku obrabiarek tę połączoną cechę nazywa się również rekonfiguralnością, tzn. łatwość, trwałość, dokładność i powtarzalność [4,5,7]. Takie połączenia powinny być stosunkowo proste i szybkie w zastosowaniu.

Rozpatrując pewien zbiór kryteriów oceny takich jak: szybkość łączenia, trwałość, uzyskana siła zamocowania, rozkład nacisków na powierzchnie łączone, złożoność konstrukcji i koszt wykonania stwierdzono w pracy [6], że połączenie śrubowe uzyskuje najwyższą ocenę, chociaż miało niską ocenę pod względem szybkości łączenia. Należy rozpatrzyć również inne metody. Proponowaną metodą jest kombinacja metody połączenia śrubowego z połączeniem kołkowym. W tej kombinacji następuje zwiększenie szybkości połączenia.

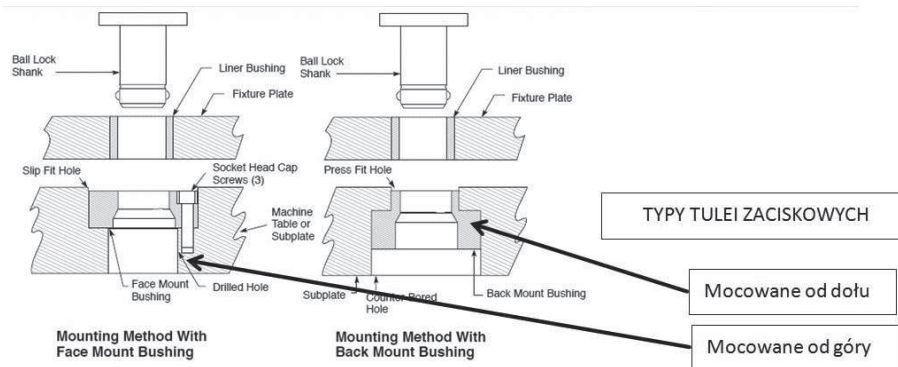
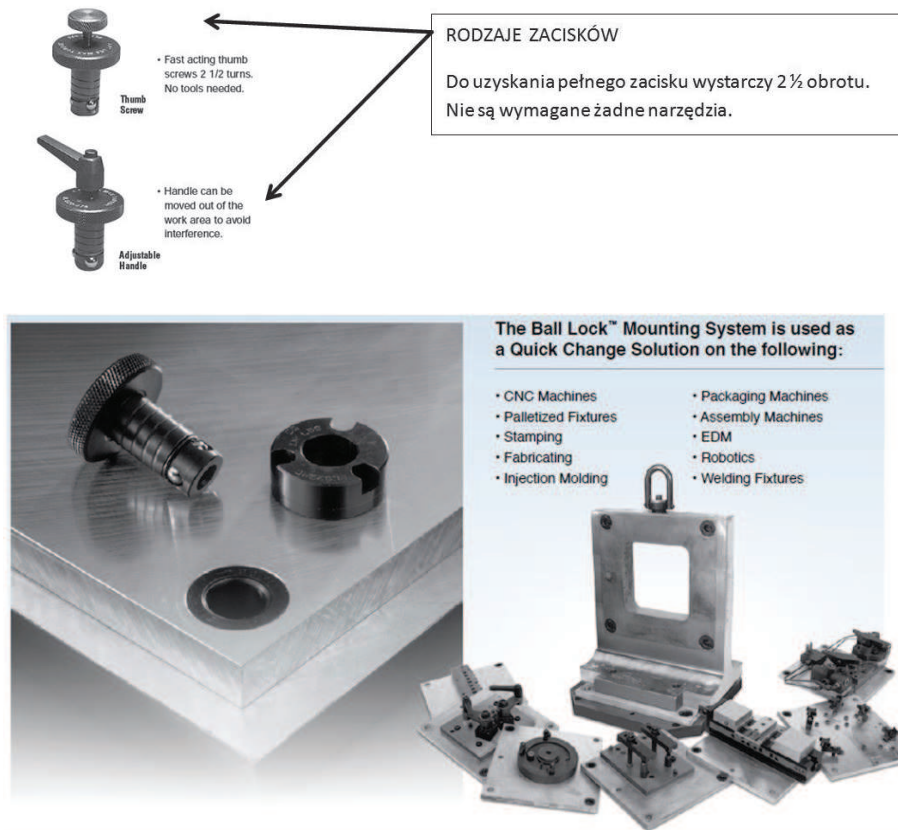
Przykładem rozwiązań konstrukcyjnych jest stół obrabiarki BAK (rys. 1), który jest kołkowany do płyty pośredniej (rys. 2) i przykręcany śrubami. Takie połączenie umożliwia szybką wymianę stołów, np. na stół o osi obrotowej poziomej lub pionowej. W ten sposób następuje zwiększenie funkcjonalności frezarki.



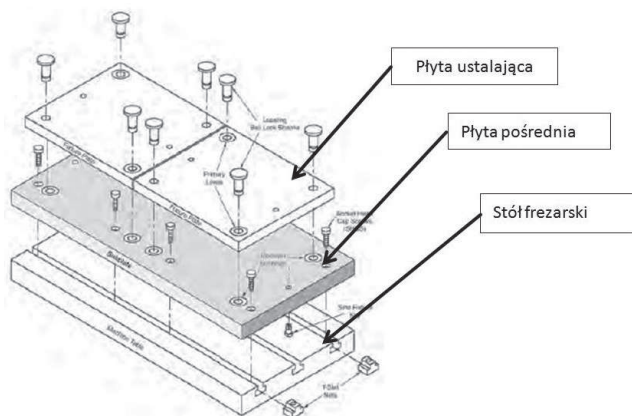
Rys. 1. Stół obrabiarki BAK
Fig. 1. Table of machine tool BAK



Rys. 2. Płyta obrabiarki BAK
Fig. 2. Plate of machine tool BAK



Rys. 3. System połączeń BALL-LOCK [2]
Fig. 3. BALL-LOCK mounting system [2]



Rys. 4. System połączeń BALL-LOCK [2]
Fig. 4. BALL-LOCK mounting system [2]

Metodą szybkich połączeń jest opatentowany system połączeń BALL-LOCK (rys. 3), który umożliwia szybką i powtarzalną wymianę palet z zamocowanymi przedmiotami obrabianymi. Pozwala to wyeliminować konieczność każdorazowego dokonywania pomiarów ustawienia części w przestrzeni technologicznej. Czas przebrojenia palety i stołu obrabiarki może spaść nawet poniżej jednej minuty. W ten sposób uzyskuje się wysoką powtarzalność pozycjonowania, która sięga +/- 0,013 mm.

Wpływ modułowości konstrukcji na dalszą możliwość rozbudowy obrabiarek

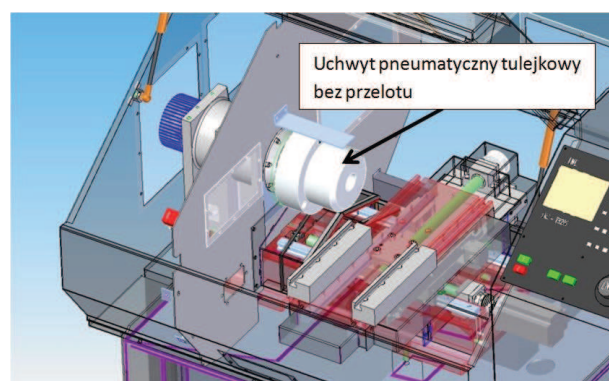
Możliwości konfiguracyjne i rekonfiguracyjne obrabiarki OSA są bardzo szerokie. Można np. założyć, że w zależności od zasobności portfela i wymagań klienta, zastosuje się różne uchwyty wrzeciona. Oto przykład kilku z nich (rys. 5–7), które różnią się zakresem możliwych zamocowań i ceną uchwytów.

Obrabiarkę OSA można również wyposażyć w hamulec wrzecionowy (rys. 8), co w przypadku zastosowania na suporcie elektrowrzecion umożliwi klientowi obróbkę wiertarsko-frezarską przedmiotów.

Obok obróbki z pręta, maszynę można dostosować do seryjnej obróbki przedmiotów w postaci wcześniej

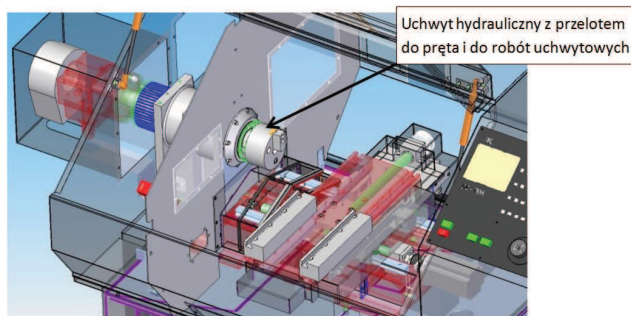
przygotowanych półfabrykatów (rys. 9). Do magazynu grawitacyjnego od tyłu maszyny ładowane są przedmioty. Pneumatyczny chwytak odbiera je i za pomocą ruchu suportu umieszcza w uchwycie (rys. 10). Istnieje możliwość obustronnej obróbki przedmiotu przez obrót chwytaka.

W tak zautomatyzowanej i wydajnej obróbce konieczny staje się szybki odbiór przedmiotów. Taką możliwość oferuje OSA w opcji z rynną do odbioru przedmiotów



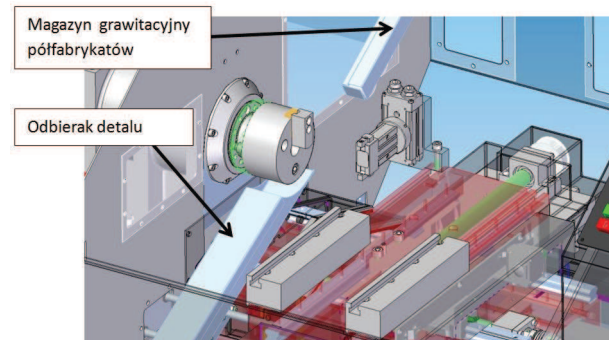
Rys. 7. Uchwyt pneumatyczny nieprzelotowy do prac uchwytowych obrabiarki OSA

Fig. 7. Pneumatic power chuck non-through for the work of the gripping machine tool OSA



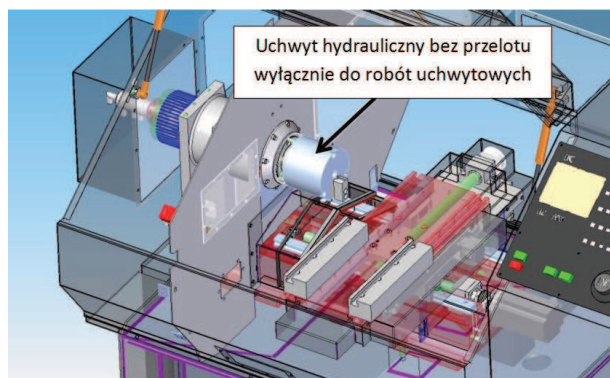
Rys. 5. Uchwyt hydrauliczny przelotowy do obróbki z pręta i robót uchwytowych obrabiarki OSA

Fig. 5. Through-hole hydraulic cylinder for bar machining OSA



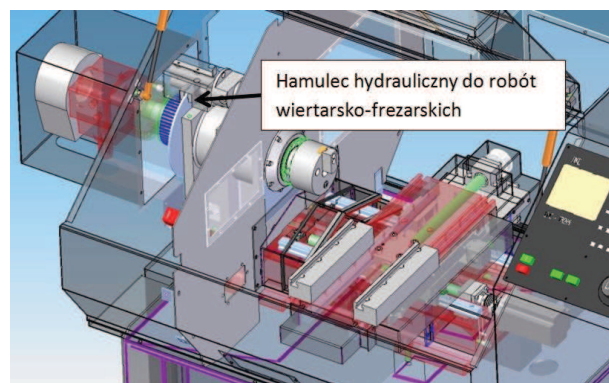
Rys. 8. Hamulec wrzecionowy obrabiarki OSA

Fig. 8. Brake spindle of machine tool OSA



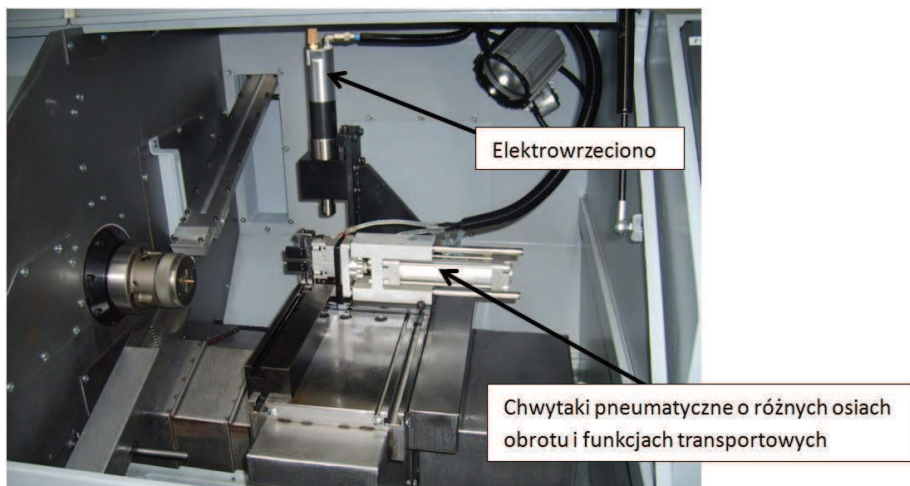
Rys. 6. Uchwyt hydrauliczny nieprzelotowy do obróbki z pręta i robót uchwytowych obrabiarki OSA

Fig. 6. Hydraulic cylinder non-through hole for machining of the rod and the gripping machine tool OSA

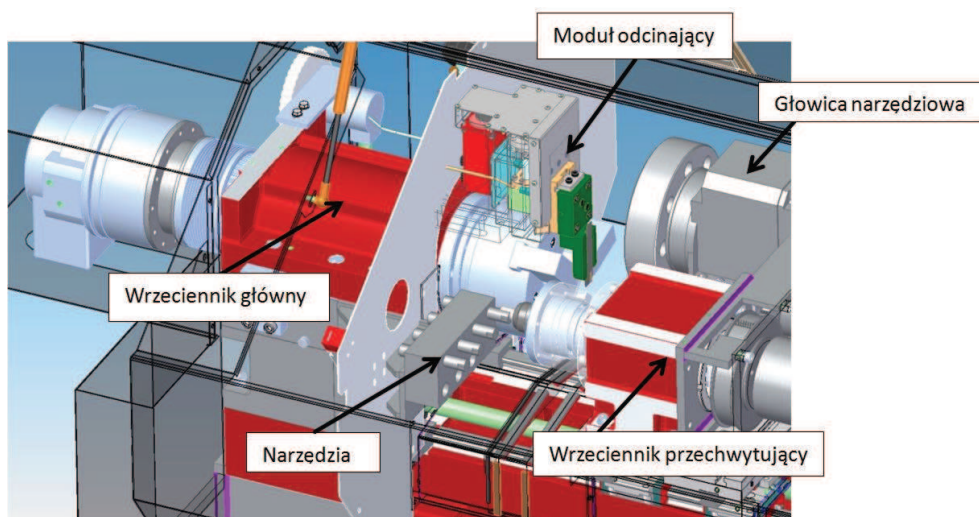


Rys. 9. Obrabiarka OSA przystosowana do obróbki półfabrykatów

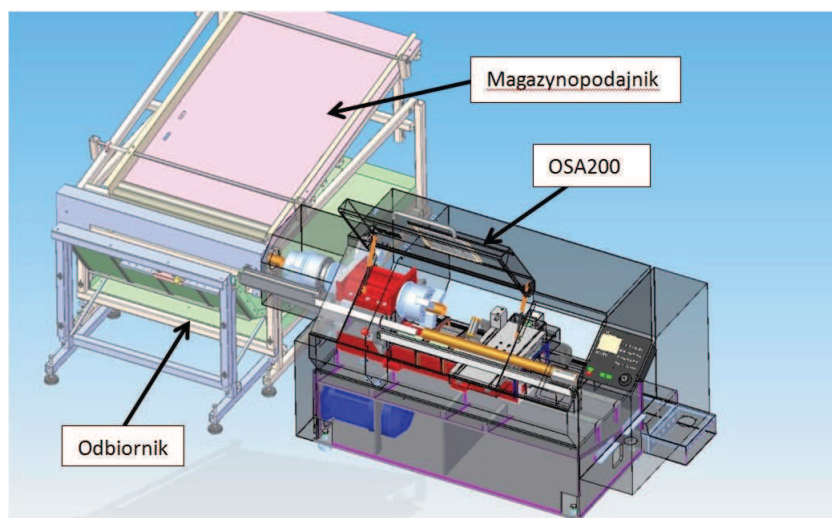
Fig. 9. Machine tool OSA adapted for the processing of semi-finished product



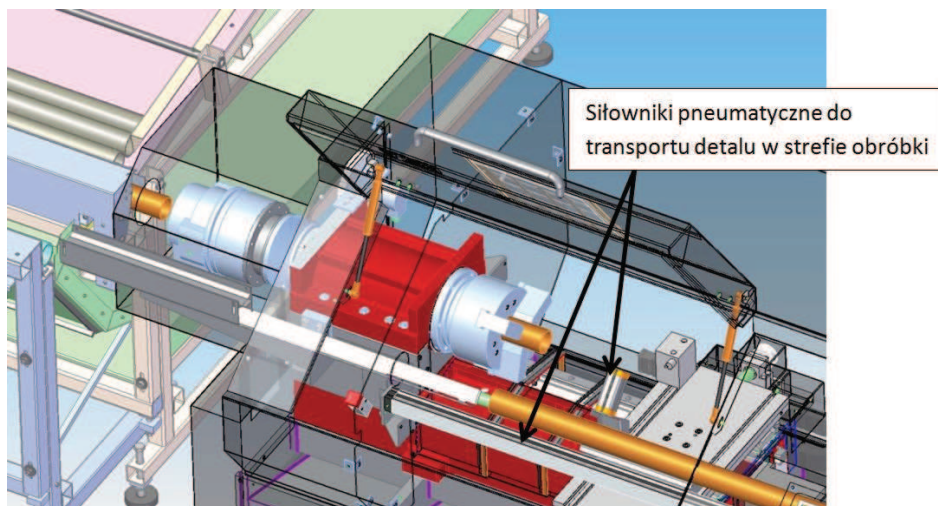
Rys. 10. Obrabiarka OSA przystosowana do obróbki półfabrykatów
 Fig. 10. Machine tool OSA adapted for the processing of semi-finished product



Rys. 11. Wrzeciennik przechwytyjący obrabiarki OSA
 Fig. 11. Opposed Fixed headstock of machine tool OSA



Rys. 12. Obrabiarka OSA w wersji do obróbki końcówek gwintowanych rur z magazyno-podajnikiem i odbiornikiem
 Fig. 12. Machine tool OSA version machining threaded ends of pipes with the store-feeder and receiver



Rys. 13. Obrabiarka OSA w wersji do obróbki końcówek gwintowanych rur z transportem w strefie obróbki
 Fig. 13. Machine tool OSA version machining threaded ends of pipes with the transport in the treatment zone

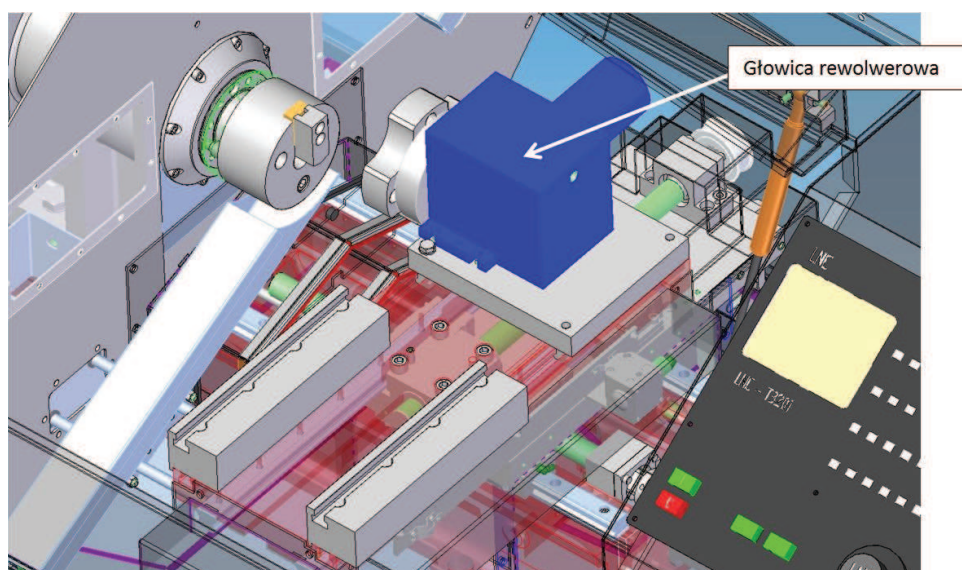
również o napędzie pneumatycznym. W trakcie obróbki odbierak jest schowany. Po odcięciu przedmiotu rynna podejżdża pod przedmiot, który stacza się do odpowiedniej szufladki.

Przewidziano również możliwość rozbudowy OSY o wrzeciennik przechwytyjący (rys. 11). Na suporcie poprzecznym istnieje możliwość umieszczenia wrzeciennika przechwytyjącego. Narzędzia do obróbki pozostają nieruchome i umiejscowione po stronie wrzeciennika głównego. Po zakończeniu obróbki w zamocowaniu we wrzecienniku głównym, drugi wrzeciennik przechwytuje przedmiot przy włączonych i szybkich obrotach. Następnie przedmiot jest odcinany i następuje obróbka z drugiej strony przedmiotu.

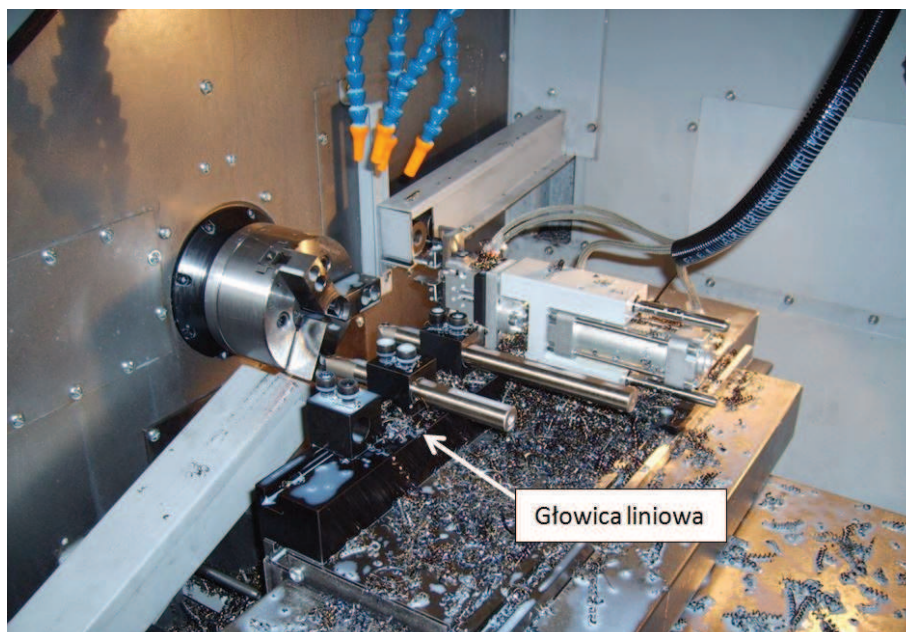
Kolejną stosowaną adaptacją obrabiarki OSA jest wersja do obróbki końcówek gwintowanych rur (rys.

12–13). W tym wariantcie wyposażenie dodatkowe maszyny składa się z magazynu-podajnika półfabrykatów rur, siłowników do trzymania i wypychania przedmiotów ze strefy obróbki oraz odbiornika przedmiotów z magazynem. Obróbka każdej końcówki rury wykonywana jest cyklicznie. Po zakończeniu cyklu następuje ręczne przeładowanie przedmiotów w magazynie i cykl obróbki powtarza się.

Kolejnym ważnym modułem konstrukcyjnym obrabiarek są platformy narzędziowe. OSA to typowa maszyna do zastosowań głowicy narzędziowej liniowej (gang tooling). Na jednej listwie umieszcza się w szeregu narzędzia (rys. 14), a do zmiany narzędzia wykorzystywany jest ruch suportu. Główną zaletą tego rozwiązania jest szybkość, zaś mankamentem jest stosunkowo duża przestrzeń obrabiarki, którą zajmuje głowica.



Rys. 14. Głowica narzędziowa liniowa obrabiarki OSA
 Fig. 14. Linear toolhead of machine tool OSA



Rys. 15. Głowica rewolwerowa obrabiarki OSA
Fig. 15. Tool turrets of machine tool OSA

W OSIE można również zastosować głowicę rewolwerową z osią poziomą (rys. 15), nie eliminując głowicy liniowej. Znacznie rozszerza to możliwości obróbcze OSY.

Podsumowanie

Konstruowanie maszyn modułowych o cechach rekonfiguracji jest opłacalne i konieczne. Zapewnia to użytkownikowi maszyn stosunkowo tanich, z możliwością ciągłej rozbudowy. Dzięki temu klientowi pozostawia się szerokie pole manewru w postaci możliwości zmiany oprzyrządowania w zależności od potrzeb produkcyjnych. Daje to firmom elastyczność, co w połączeniu ze zwiększeniem wydajności (dzięki automatyzacji), bezpośrednio przekłada się na zysk firmy.

Budowa modułowa daje korzyści producentowi oraz użytkownikowi maszyn. Modułowy skład systemu daje możliwości wprowadzania zmian konstrukcyjnych w użytkowanym systemie oraz jego rozbudowę o dalsze funkcje wykonawcze lub zwiększenie stopnia automatyzacji wytwarzania. Możliwości modernizacyjne takich maszyn są wpisane w ich konstrukcję. Należy ciągle poszukiwać nowych rozwiązań, aby poprawić szybkość łączenia, trwałość, uzyskaną siłę zamocowania, rozkład nacisków na powierzchnie łączone, złożoność konstrukcji i koszt wykonania. Należy poszukiwać nowych złączy obrabiarek rekonfigurowanych o coraz doskonalszych cechach.

LITERATURA

- [1] Honczarenko J. 2000. „Elastyczna automatyzacja wytwarzania. Obrabiarki i systemy wytwarzania”. Warszawa: WNT.
- [2] Jergens Workholding Solutions Catalog: System szybkiego mocowania „Ball – Lock”.
- [3] Kosmol J. 2000. „Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem”. Warszawa: WNT.
- [4] Musiał J., M. Styp-Rekowski. 2006. „Technologiczne uwarunkowania modułowej budowy obrabiarek skrawających”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (2): 26–29.
- [5] Styp-Rekowski M., J. Musiał. 2006. „Zagadnienia konstrukcyjne obrabiarek skrawających o strukturze modułowej”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (2): 22–25.
- [6] Styp-Rekowski M., J. Musiał. 2007. „Czynniki determinujące użytkowe cechy połączeń w obrabiarkach modułowych”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (2-3): 36–39.
- [7] Szafarczyk M. i in. 2003. „Obrabiarki modułowe, przestawialne, kształkujące”. *Mechanik* (1): 719–721.

Dr inż. Tadeusz Kowalski – Instytut Techniki Wytwarzania – Zakład Automatyzacji Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem Politechniki Warszawskiej, ul. Narbutta 86, 02-524 Warszawa, e-mail: kowalski.tad@gmail.com

Mgr inż. Grzegorz Dubiel – Centrum Badawczo-Konstrukcyjne Obrabiarek Sp. z o.o., ul. Staszica 1, 05-800 Pruszków, e-mail: grzegorz.dubiel@cbko.pl

KONCEPCJA TECHNOLOGICZNEGO WYBORU URZĄDZEŃ DLA ELASTYCZNYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH (ESP) Z WYKORZYSTANIEM ZALECEŃ STANDARDU ISO 10303 STEP

The concept of the technological choice of equipment for flexible manufacturing systems (FMS) using the recommendations of the standard ISO 10303 STEP

Jerzy STAMIROWSKI

S t r e s z c z e n i e: Ważnym etapem projektowania ESP jest wybór obrabiarek i urządzeń technologicznych. W procedurach wyboru stosuje się: punktację wagową, wnioskowanie rozmyte, systemy ekspertowe oraz eliminację opartą o kryteria krytyczne i zdolności technologiczne. Zastosowanie w procedurach zaleceń standardu ISO 10303 STEP i koncepcji elementarnych obiektów obróbkowych pokazuje możliwości włączenia procedury wyboru obrabiarek do jednolitej przestrzeni informacyjnej cyklu życia wyrobu.

S ł o w a k l u c z o w e: elastyczne systemy produkcyjne (ESP), komputerowe projektowanie, wybór, obrabiarki, urządzenia technologiczne, standard ISO 10303 STEP

A b s t r a c t: An important step in designing FMS is the choice of machine tools and technological devices. The selection procedures are used: scoring weight, fuzzy inference, expert systems and elimination based on criteria critical and technological capabilities. Application procedures recommendations of the standard ISO 10303 STEP and the concept of elementary objects of machining shows the possibility of including the selection procedure of machine tools to a uniform information space of the product life cycle.

K e y w o r d s: flexible manufacturing systems (FMS), computer design, choice, machine tools, technological devices, standard ISO 10303 STEP

Wprowadzenie do procesu projektowania ESP

W większości przypadków praca twórcza nie sprowadza się do całkowicie nowych pomysłów. Osoba kreatywna często tworzy coś nowego w wyniku kombinacji i syntezy istniejących procesów, obiektów materialnych i pomysłów. Taką syntezą (w całości opartą o różne kombinacje istniejących elementów) jest proces projektowania ESP. Wynikiem syntezy jest nowy lub ulepszony system, zestaw elementów struktury systemu, właściwości i związki elementów systemu.

Elastyczny system produkcyjny jest dla projektantów systemem o strukturze będącej wynikiem syntezy trzech podstawowych podsystemów [8]:

1. Technologicznego (urządzenia technologiczne),
2. Transportowo-magazynowego (urządzenia transportu międzyoperacyjnego, manipulowania i magazynowania),
3. Sterująco-diagnostycznego (system sterowania, urządzenia pomiarowe, urządzenia blokujące itp.).

Zadanie projektowania ESP można najprościej opisać następująco:

- w ESP jest wytwarzana rodzina detali,
- stanowiska robocze powinny zapewniać pełny cykl produkcyjny,
- dostępne są dane o rodzinie detali, programie produkcyjnym, czasie wytwarzania, a także dane

o urządzeniach technologicznych, narzędziach i powierzchni zajmowanej przez ESP. W procesie projektowania należy określić [8]:

1. zestaw maszyn technologicznych,
2. przyporządkowanie operacji do stanowisk roboczych,
3. kolejność i sposoby wykonania operacji,
4. optymalne koszty wytwarzania.

Wykonany zgodnie z projektem system powinien zagwarantować funkcjonowanie zgodne z przyjętym zadaniem projektowym. ESP można scharakteryzować najprościej trójką zbiorów

$$ESP = \langle W, O, Z \rangle$$

gdzie:

W – system wytwarzania,

O – zbiór operacji technologicznych,

Z – zbiór powiązań. Na zbiór W składają się: maszyny i urządzenia technologiczne M oraz urządzenia sterowania S.

$$W = \langle M, S \rangle$$

Proces projektowania ESP należy zaliczyć do zadań złożonych. Najbardziej złożonym z punktu widzenia formalizacji jest zagadnienie syntezy strukturalnej. Jest

to często problem NP-trudny. Złożoność tego zagadnienia stała się przyczyną podejścia hierarchicznego, zakładającego syntezę podsystemów ESP. Trudne jest również zadanie poszukiwania wśród wielu wariantów takiego, który najlepiej spełni wymagania zadania projektowego.

Skrócenie czasu projektowania, poprawa jakości projektów, poprawa komfortu pracy projektantów, wymusza w coraz większym zakresie stosowanie komputerowego wspomaganie procesu projektowania ESP, a w dalszej perspektywie budowę systemu CAD ESP.

Przy opracowaniu technologii komputerowego wspomaganie procesu projektowania ESP, stosowane są następujące zasady [8].

1. Wyodrębnienie związków funkcjonalnych i strukturalnych w oparciu o analizę systemową, prowadzące do opracowania optymalnej struktury ESP.
2. Hierarchiczny opis funkcji i modułów systemu maszyn wchodzących w strukturę ESP.
3. Modelowanie elementów systemu maszyn na różnych poziomach hierarchii przy uwzględnieniu sekwencji: część – powierzchnia – mechanizm – maszyna – system maszyn.
4. Opracowanie technologii projektowania, uwzględniającej następstwo etapów syntezy ESP, z możliwością wprowadzania zmian i oceny podejmowanych decyzji.

Rozwój systemów CAD ESP powinien uwzględniać w dużym zakresie stosowanie funkcji inteligentnych, metod heurystycznych i systemów ekspertowych.

Podstawowym celem procesu projektowania ESP jest poszukiwanie efektywnych wariantów procesu technologicznego i operacji technologicznych dla rodziny detali, przewidzianej do obróbki w ESP oraz synteza optymalnej struktury ESP.

Istniejące podejścia do wyboru urządzeń technologicznych dla elastycznych systemów produkcyjnych (ESP)

Ważnym etapem projektowania ESP jest wybór obrabiarek i urządzeń technologicznych. Metodologii projektowania zautomatyzowanych systemów produkcyjnych poświęcono wiele prac, w wyniku których powstały algorytmy i zalecenia wspomagające proces projektowania ESP [3, 8]. Duża ich część poświęcona jest metodologii wyboru obrabiarek i urządzeń dla podsystemu technologicznego [3, 8].

Przy tradycyjnym podejściu do procesu projektowania, dane niezbędne do projektowania ESP pochodzą z baz danych, katalogów, materiałów normalizacyjnych, opracowań projektowych itp. Dane te opisują dostępne zbiory obrabiarek i urządzeń technologicznych, zbiory technologii, zbiory rodzin detali, scenariusze produkcji i używane są zgodnie z wymaganiami bieżącego zadania projektowego.

Przy wyborze obrabiarek i urządzeń technologicznych brana jest pod uwagę duża liczba kryteriów, które można podzielić na trzy grupy [4]:

1. Cechy ogólne (gabaryty detali, masa detali, możliwość wyboru sterowania, poziom automatyzacji, interfejsy itp.),
2. Cechy technologiczne (możliwości technologiczne, elastyczność, wyposażenie, wymiana narzędzi, prędkości obrotowe, posuwy itp.),
3. Cechy użytkowe (kompletność, jakość, montaż, konserwacja, trwałość, efektywność ekonomiczna itp.).

Spośród wielu metod oceny i doboru cech obiektów, stosowanych w różnych dziedzinach techniki, dla oceny doboru obrabiarek i urządzeń technologicznych mogą być przydatne następujące metody: punktacja wagowa, wnioskowanie rozmyte i systemy ekspertowe [4]. Godne uwagi są również metody, których podstawą są algorytmy eliminacji urządzeń w oparciu o kryteria krytyczne i algorytmy oceny zdolności technologicznej urządzeń – wybór technologiczny [3].

Algorytm eliminacji obrabiarek i urządzeń w oparciu o kryteria „krytyczne” uwzględnia kryteria związane z wymiarami i masą obrabianych detali takie jak:

- ogólne możliwości realizacji obróbki wymaganego rodzaju detali,
- położenie osi narzędzia i charakterystyka stołu do mocowania,
- zakres przesuwu narzędzia, umożliwiający obróbkę obiektu będącego przedmiotem zabiegu.

Algorytm wyboru technologicznego ocenia możliwość wykonania określonego zabiegu przy uwzględnieniu takich kryteriów jak:

1. ocena zdolności do wykonania wymaganych zabiegów technologicznych,
2. możliwość obróbki obiektów związanych z określoną stroną obróbki,
3. możliwość przemieszczenia narzędzia do miejsca położenia obrabianego obiektu,
4. dokładności pozycjonowania narzędzia i palety obróbkowej, umożliwiających zachowanie dokładności położenia obiektu będącego przedmiotem obróbki.

O zdolności urządzenia do realizacji zabiegu decyduje jednoczesne spełnienie wszystkich powyższych warunków. Przy wyborze obrabiarek i urządzeń technologicznych najistotniejszym kryterium wyboru wydaje się być ocena zdolności do wykonania wymaganych zabiegów technologicznych. Jedną z metod realizacji tej oceny jest analiza zdolności technologicznych obrabiarek i urządzeń przy pomocy macierzy zdolności technologicznych [3].

Macierz zdolności technologicznych jest macierzą dwuwymiarową, która budowana jest w oparciu o technologię opracowaną dla wyrobu syntetycznego [2, 3, 8]. W wierszach umieszczone są kolejne zabiegi procesu technologicznego wyrobu syntetycznego, a w kolumnach możliwości wykonania zabiegów przez obrabiarki i urządzenia z wyznaczonego zbioru. Algorytm konfrontuje wymagania technologiczne z możliwościami obrabiarek i urządzeń. Wynikiem jest zbiór obrabiarek i urządzeń pozwalających zrealizować wymagane zabiegi technologiczne. Może on ulec zmianie w procesie generowania

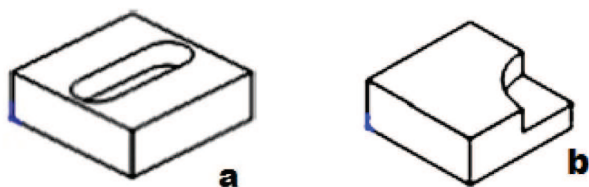
i redukcji ścieżek przepływu wyrobów przez system oraz w wyniku optymalizacji [3]. Algorytm redukcji wariantów wprowadza się dlatego, że przy dużej liczbie zabiegów oraz obrabiarek i urządzeń, wygenerowanie wszystkich możliwych ścieżek technologicznych może być zagadnieniem NP-trudnym.

Technologiczny wybór urządzeń dla elastycznych systemów produkcyjnych (ESP) z wykorzystaniem zaleceń standardu ISO 10303 STEP

Tradycyjny sposób postępowania, uwzględniający ograniczony opis detali w istniejących systemach CAD, może być przeszkodą w tworzeniu zintegrowanych systemów konstrukcyjno-technologicznych. Modele wyrobów traktowane są jak modele geometryczne, podczas gdy do grupowania i automatyzacji projektowania procesów technologicznych w warunkach produkcji elastycznej lepsze, a nawet czasami konieczne, są modele bazujące na pojęciu elementarnych obiektów konstrukcyjno-technologicznych. Taki obiekt częściowo realizuje funkcję konstrukcyjną, np. bazowanie części w mechanizmie, a złożoność detali określona jest przez takie parametry jak: rodzaj i liczba elementów konstrukcyjnych, rodzaj i liczba powierzchni, chropowatość, dokładność itp. Przykłady elementarnych obiektów konstrukcyjnych przedstawia rys. 1.

W oparciu o zalecenia normy ISO 10303 STEP, tworzone są hierarchie elementarnych obiektów konstrukcyjnych, przy pomocy których złożone powierzchnie detali można przedstawić jako zbiory elementarnych obiektów i powierzchni konstrukcyjnych [1, 6, 7, 10].

Wyniki przetwarzania zbiorów elementarnych obiektów i powierzchni konstrukcyjnych można użyć w procesie technologicznego wyboru obrabiarek i urządzeń technologicznych dla projektowanego ESP. Elementarne obiekty i powierzchnie konstrukcyjne rozpoznawane są przez przetworzenie plików wchodzących w potok informacyjny zintegrowanego modelu danych, opartego o zalecenia standardu STEP.



Rys. 1. Przykłady elementarnych obiektów konstrukcyjnych a) kieszeń owalna, b) narożnik o promieniu r
Fig. 1. Examples of elementary structural objects a) oval pocket, b) corner with a radius r

Zintegrowane środowisko i model danych tworzone są dla informacyjnej integracji wszystkich etapów cyklu życia wyrobu. Budowa zintegrowanego środowiska informacyjnego jest procesem rozwojowym i ciągłym.

Docelowo dąży się do zbudowania jednolitej przestrzeni informacyjnej, sprzyjającej automatyzacji procesów tworzących wszystkie etapy cyklu życia wyrobu.

Pokazanie możliwości włączenia do jednolitej przestrzeni informacyjnej procedury wyboru obrabiarek i urządzeń technologicznych zwiększa zakres integracji w obszarze jednolitej przestrzeni informacyjnej (JPI) cyklu życia wyrobu. Charakterystyczne cechy JPI to: otwarta architektura, wspólne przechowywanie danych (repozytoria) i oprogramowanie, akceptowane przez wszystkich uczestników cyklu życia wyrobu.

Baza standardów technologii informacyjnego wsparcia cyklu życia wyrobu

Można wyróżnić pięć grup standardów informacyjnego wsparcia cyklu życia wyrobu [5, 9]. Największe znaczenie z punktu widzenia procesów projektowania i technicznego przygotowania produkcji mają standardy ISO 10303 (Product data representation and exchange – przedstawienie danych o wyrobie i ich wymiana), nazywane również STEP (standard for the exchange of product data – standard dla wymiany danych o wyrobie). Pięć podstawowych komponentów STEP to: metody opisu, metody realizacji, zintegrowane zasoby, metody testowania zgodności oraz protokoły zastosowań.

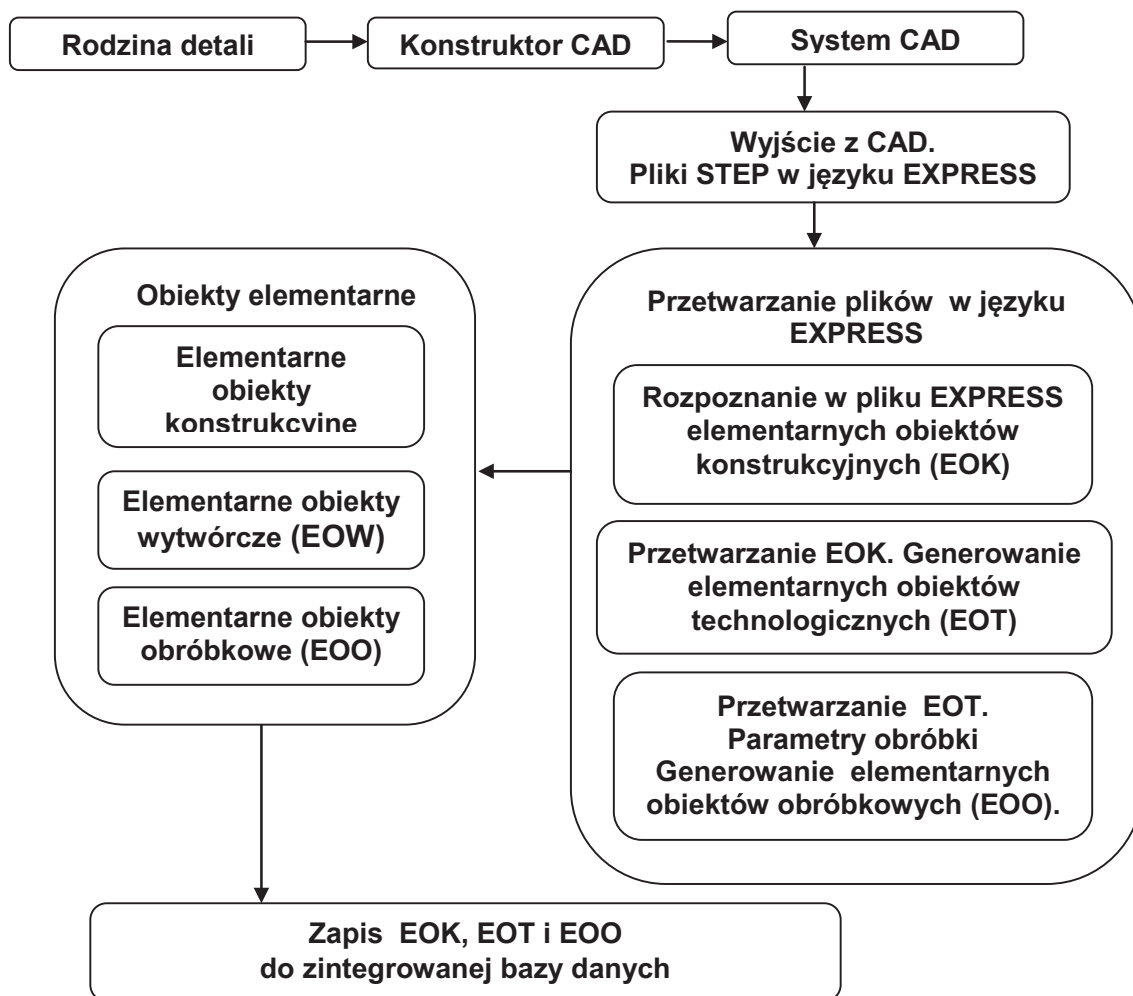
Metody opisu

Podstawowym narzędziem opisu danych w standardzie STEP jest język EXPRESS (ISO 10303-11) [5], nazywany często językiem modelowania informacji. Nie jest to język programowania. Pliki wymiany danych standardu STEP w języku EXPRESS generowane są na wyjściu współczesnych systemów CAD/CAM, tj. CATIA, Solid Works. Należą one do podstawowego strumienia danych, biorącego udział w procesie integracji informacyjnej procesów cyklu życia wyrobu. Pliki te są plikami tekstowymi i zawierają wszystkie informacje służące do identyfikacji wyrobu, opisu struktury i geometrii wyrobu [5, 9]. Mogą być przetwarzane i przesyłane przez inne różne procedury użytkowe, zgodnie z potrzebami i wymaganiami użytkownika, tj.: procedury automatyzacji projektowania procesów technologicznych czy procedury wyboru obrabiarek i urządzeń. Z założenia język EXPRESS operuje niezależnymi obiektami.

Dane o procesach technologicznych

Można wyróżnić dwie podstawowe metody projektowania procesów technologicznych dla rodziny detali – projektowanie wariantowe i generacyjne. Dla potrzeb wyboru obrabiarek i urządzeń dla ESP mogą być wykorzystywane obie metody [2, 4].

Projektowanie generacyjne wyróżnia się tym, że jest oparte na koncepcji obiektów elementarnych w wariacie konstrukcyjnym i obróbkowym.



Rys. 2. Generowanie elementarnych obiektów z plików w języku EXPRESS
 Fig. 2. Generating elementary objects from files in EXPRESS

Przetworzenie plików w języku EXPRESS przez odpowiedni program użytkownika pozwala wygenerować z plików danych, opisujących detale w języku EXPRESS, elementarne obiekty obróbkowe [1, 6, 10]. Pliki EXPRESS z opisem detali i pliki opisu elementarnych obiektów obróbkowych zapisywane są w zintegrowanej bazie danych. Schemat przetwarzania i przepływu danych w procesie generowania elementarnych obiektów przedstawiono na rys. 2.

Wygenerowane i przechowywane w bazie danych obiekty są w następnym kroku grupowane w sposób pozwalający zestawić operacje i zabiegi obróbki dla wszystkich detali rodziny przewidzianej do obróbki w ESP. Należy podkreślić, że przy projektowaniu procesu technologicznego, opracowanego na podstawie obiektów elementarnych, uwzględniane są wszystkie detale rodziny przewidzianej do obróbki w ESP. Obiekty elementarne generowane są dla wszystkich detali rodziny.

Przyporządkowanie wygenerowanym operacjom i zabiegom parametrów maszyn i urządzeń zapisanych

w bazie danych, pozwala wybrać maszyny i urządzenia spełniające wymagania technologiczne projektowanego ESP. W kolejnym kroku uzyskane wyniki poddawane są redukcji i optymalizacji.

Użycie wyników projektowania generacyjnego, oparte o koncepcję elementarnych obiektów generowanych z plików EXPRESS do procedury wyboru urządzeń technologicznych, zwiększa zasięg integracji środowiska automatyzacji cyklu życia wyrobu – jednolitej przestrzeni informacyjnej (JPI).

Pokazanie możliwości opracowania procedury wyboru obrabiarek i urządzeń technologicznych dla projektowanego ESP, której wejściem są opisy detali w języku EXPRESS, wygenerowane z systemu CAD, a wyjściem lista obrabiarek i urządzeń technologicznych, wpisuje się w procesy automatyzacji i integracji cyklu życia wyrobu.

Proces wyboru jest sekwencją następujących kroków: uzyskanie danych o detalach w postaci plików w języku EXPRESS (CAD) – przetwarzanie plików w języku EXPRESS – uzyskanie listy elementarnych obiektów

obróbkowych – zapis do bazy danych – przetwarzanie listy elementarnych obiektów obróbkowych – uzyskanie listy operacji, zabiegów, parametrów obróbki – przetwarzanie operacji i zabiegów (grupowanie) – konfrontacja grup z możliwościami obrabiarek i urządzeń – uzyskanie listy obrabiarek i urządzeń technologicznych – optymalizacja – uzyskanie końcowej listy wybranych obrabiarek i urządzeń.

Standard STEP zawiera również obiekty służące do opisu struktury wyrobu. Zalecenia te można wykorzystać do projektowania procesów montażowych i wyboru urządzeń technologicznych dla procesów montażu.

LITERATURA

- [1] Ashok G., S.S. Hebbal, R. Scachhidanand. 2015. "Recognition of Hole Feature and Stock Details of a Prismatic Part from Its STEP AP224 Neutral File". *International Journal on Emerging Technologies* 6 (1): 118–124.
- [2] Feld M. 2009. „Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [3] Gola A. 2010. „Metodyka doboru podsystemu obrabiarek w elastycznym systemie produkcyjnym klasy korpus”. Politechnika Lubelska, rozprawa doktorska.
- [4] Honczarenko J. 2008. „Obrabiarki sterowane numerycznie”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [5] Kołczin A.F. et. al. 2002. “Upravljenije žizniennym cikłom produkcji”. M: Ancharsis p. 304.
- [6] Malleswaria V.N. et. al. 2013. “Automatic Recognition of Machining Features using STEP Files”. *International Journal of Engineering Research&Technology*, vol. 2, Issue 3.
- [7] Nawara G. et. al. 2010. “Parts Classification Based on Solid Model and Neutral Networks”. *Contemporary Engineering Sciences*, vol. 3 (8): 395–417.
- [8] Palczewskij B. i in. 2015. Komputerowo zintegrowane projektowanie elastycznych systemów produkcyjnych”. Politechnika Lubelska.
- [9] PN-ISO 10303-11. Systemy integracji i automatyzacji przemysłowej. Reprezentacja i wymiana danych o produktach. Metody opisu. Język EXPRESS.
- [10] Sreeramulu D., C.S.P. Rao. 2011. “A new methodology for recognizing features in rotational parts using STEP data exchange standard”. *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 3 (6).

Dr hab. inż. prof. Jerzy Stamirowski – Katedra Automatyki i Robotyki Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: j.stamirowski@tu.kielce.pl

ANALIZA NOŚNOŚCI POŁĄCZEŃ HYBRYDOWYCH, STOSOWANYCH W BUDOWIE STATKÓW POWIETRZNYCH

Analysis of load capacity of hybrid joints used in the construction of aircraft

Marek ROŚKOWICZ, Piotr LESZCZYŃSKI, Justyna CHUDOWOLSKA

Streszczenie: W pracy zaprezentowano rezultaty badań własnych, których celem było porównanie nośności połączeń nakładkowych, stosowanych w budowie płatowców statków powietrznych, wykonywanych z polimerowych materiałów kompozytowych. Elementy były łączone metodą klejenia (połączenia adhezyjne), metodą mechaniczną i hybrydową (adhezyjno-mechaniczną). W badaniach wykorzystano elementy przygotowane na bazie prepregów węglowych techniką autoklawową oraz elementy przygotowane z tkanin węglowych i syciwa MGS L285. Stwierdzono, że nośność połączeń hybrydowych w sposób istotny zależy od geometrii montażu elementów mechanicznych w połączeniu nakładkowym oraz że zastosowanie połączeń mechanicznych z jednej strony obniża nośność połączenia, ale z drugiej strony zabezpiecza konstrukcję przed jej gwałtownym zniszczeniem w przypadku dekohezji połączenia adhezyjnego.

Słowa kluczowe: połączenia klejowe, połączenia hybrydowe, nośność połączeń

Abstract: The paper presents the results of its own studies, which aim was to compare the load capacity of the overlay joints used in the construction of aircraft airframe made of polymer composite materials. The elements were connected by adhesive joints and mechanical and hybrid (adhesive – mechanical) joints. The study used items prepared on the basis of prepreg carbon technology autoclaves and elements prepared from carbon fabric and saturant MGS L285. It has been found that the load capacity of the hybrid connection greatly depends on the mounting geometry of the mechanical elements in cover joint, and that the use of mechanical fasteners with one hand reduces the load capacity of the joints, but on the other hand protects the structure against rapid destruction in the case of the decohesion of the adhesive joints.

Keywords: adhesive joints, hybrid joints, load capacity

Wstęp

Połączenia hybrydowe powstają w wyniku zastosowania kombinacji połączeń mechanicznych (nity, śruby) oraz połączeń adhezyjnych. Tworzenie połączenia hybrydowego przez zastosowanie kombinacji dwóch rodzajów połączeń: adhezyjnego i mechanicznego powoduje, że mogą być eliminowane ograniczenia poszczególnych połączeń składowych oraz wzmacniane ich pozytywne cechy [1, 3, 5]. Sumaryczne właściwości połączeń hybrydowych są nie tylko funkcją właściwości połączeń adhezyjnych, ale istotnie zależą od rodzaju stosowanego połączenia mechanicznego, jego konstrukcji czy warunków realizacji połączenia hybrydowego [2, 4, 6].

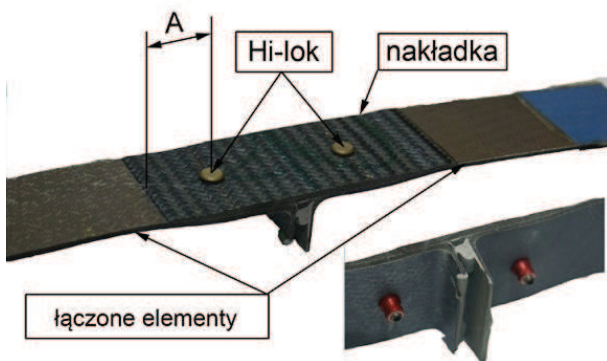
Połączenia hybrydowe mogą być z powodzeniem stosowane w budowie maszyn, które wykonane są z polimerowych materiałów kompozytowych. Ponieważ w ostatnich latach udział materiałów kompozytowych w budowie statków powietrznych jest coraz większy, to również połączenia hybrydowe stanowią interesującą alternatywę dla połączeń adhezyjnych i mechanicznych, stosowanych w przemyśle lotniczym.

Celem przeprowadzonych badań eksperymentalnych było porównanie nośności połączeń adhezyjnych, mechanicznych i hybrydowych w kontekście możliwości łączenia elementów pierwszorzędowych struktury płatowca statku powietrzego, wykonanego z polimerowych materiałów kompozytowych. W połączeniach hybrydowych

dotąd zmieniano geometrię montażu łączników mechanicznych, tworząc w ten sposób dwa warianty połączeń hybrydowych.

Metodyka badań

W badaniach eksperymentalnych wykorzystano dwa rodzaje połączeń nakładkowych. Pierwszy rodzaj połączeń został przygotowany na bazie panelu wyciętego ze struktury płatowca statku powietrzego. Elementy klejone w postaci laminatu o grubości 2,2 mm były wytworzone metodą autoklawową z 7 warstw prepregu węglowego EHKF420C-C20-45, tworzącego rdzeń laminatu i dwóch skrajnych warstw prepregu szklanego EHG250-44-55. Po między skrajną warstwą prepregu szklanego a rdzeniem właminowana została siatka miedziana ABS 5083-01. Nakładka w połączeniu o długości 100 mm została przygotowana z 12 warstw prepregu naprawczego KGBX 2508. Każde kolejne dwie warstwy w nakładce były krótsze o 10 mm – w ten sposób nakładka była symetrycznie stopniowana i miała największą grubość w części środkowej, natomiast najmniejszą na krawędziach. W szczelinę utworzoną między łączonymi elementami został zaaplikowany klej Loctite EA 9394 AERO. Do badań zostały przygotowane próbki o szerokości 40 mm i długości 300 mm. Do przygotowania połączeń hybrydowych wykorzystano system połączeń mechanicznych typu Hi-lok (HL 1012), który jest dedykowany do łączenia

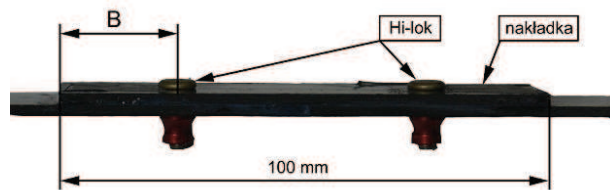


Rys. 1. Widok próbki pierwszej serii przygotowanej do badań, A – zmienna odległość montażu Hi-loków od krawędzi nakładki (A = 25 mm dla wariantu I oraz A = 10 mm dla wariantu II)
Fig. 1. View first series of sample prepared for testing, A – variable mounting distance of Hi-loks from edge cover (A = 25 mm for I variant and A = 10 mm for II variant)

materiałów kompozytowych. Otwory wiercone pod Hi-loki miały średnicę 4,1 mm. Montaż Hi-loków został przeprowadzony po procesie klejenia. Otwory pod łączniki mechaniczne wykonano w dwóch różnych odległościach od krawędzi nakładki: 25 mm (wariant I) oraz 10 mm (wariant II).

Widok próbki przygotowanej do badań zaprezentowano na rys. 1.

Drugi rodzaj połączeń nakładkowych został przygotowany z laminatu wykonanego techniką „na mokro”. Jako materiał wzmacniający zastosowano tkaninę węglową firmy KDL o gramaturze 200 g/m², która była przesykana syciwem firmy MGS w postaci żywicy L 285 i utwardzaczem H 285. Laminat był wytwarzany pod naciskiem ok. 4 N/cm² w temperaturze pokojowej przez 24 godz. Po tym czasie laminat był dodatkowo wygrzewany w komorze pieca w temperaturze 80°C przez 15 godz. Ze względu na dobre właściwości adhezyjne w łączeniu materiałów kompozytowych do wykonania połączeń nakładkowych zastosowano klej epoksydowy Epidian 57/Z1 (10:1)



Rys. 2. Widok próbki drugiej serii przygotowanej do badań, B – zmienna odległość montażu Hi-loków od krawędzi nakładki (B = 25 mm dla wariantu I oraz B = 8 mm dla wariantu II)
Fig. 2. View second series of sample prepared for testing, B – variable mounting distance of Hi-loks from edge cover (B = 25 mm for I variant and B = 8 mm for II variant)

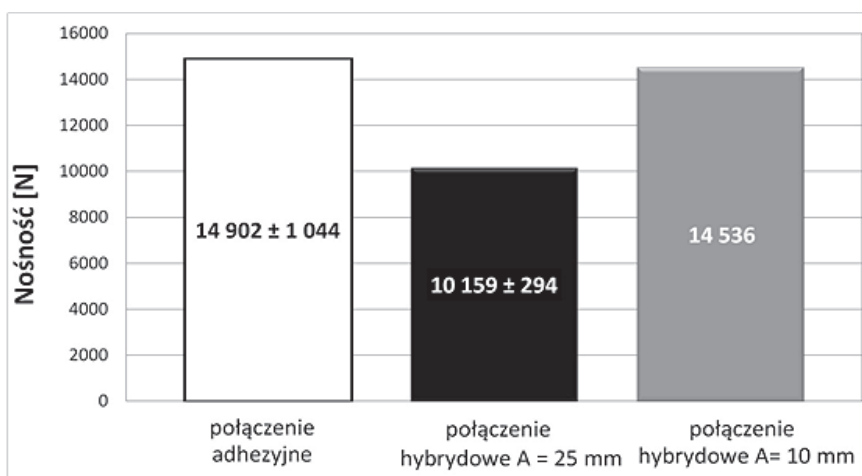
utwardzany przez 24 godz. w temperaturze 20°C, a następnie dotwardzany przez 6 godz. w temperaturze 80°C. Grubość spoiny klejowej wynosiła ok. 0,1 mm. Łączono elementy kompozytowe o wymiarach 135×25×2,35 mm z wykorzystaniem nakładki o długości 100 mm. Podobnie jak dla poprzedniego rodzaju próbek do wykonania połączeń mechanicznych wykorzystano system typu Hi-lok.

Elementy mocujące systemu Hi-lok zostały rozmieszczone również w dwóch wariantach geometrycznych, tzn. w odległości 25 mm od krawędzi nakładki (wariant I) oraz 8 mm od krawędzi (wariant II). Widok próbki drugiego rodzaju przygotowanej do badań zaprezentowano na rys. 2.

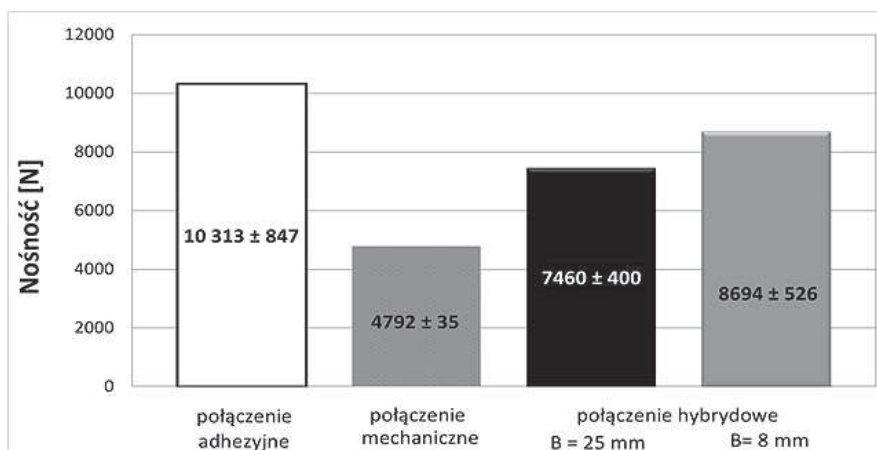
Przygotowane do badań próbki połączeń poddano badaniom nośności w temperaturze pokojowej za pomocą uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej firmy Hung-Ta, o numerze katalogowym HT-2402.

Wyniki badań

Wyniki uzyskane w badaniach eksperymentalnych wskazują, że zmodyfikowanie połączeń adhezyjnych za pomocą łączników mechanicznych (Hi-loków) powoduje spadek nośności połączenia (rys. 3). Poziom zmian nośności tak przygotowanych połączeń hybrydowych



Rys. 3. Porównanie nośności połączeń adhezyjnych i hybrydowych (dla dwóch wariantów wielkości A)
Fig. 3. Comparison of load capacity in adhesive and hybrid joints (for two variants size A)



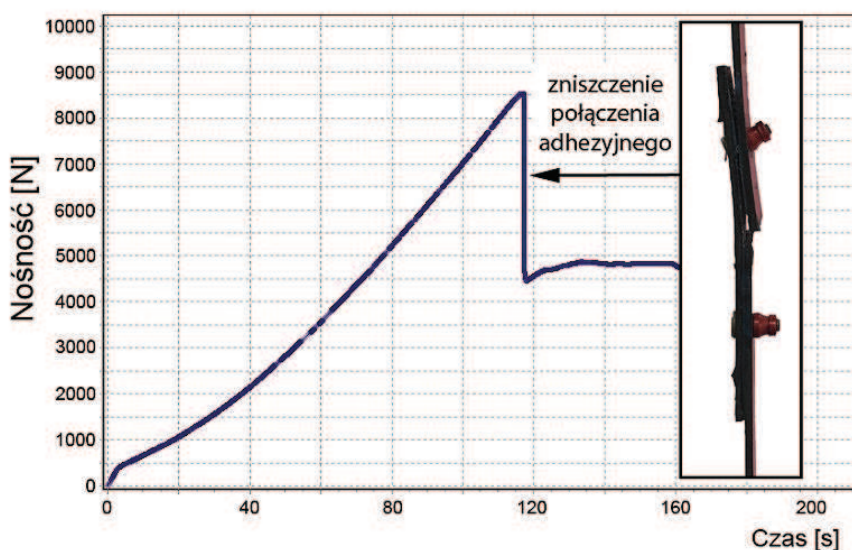
Rys. 4. Porównanie nośności połączeń adhezyjnych, mechanicznych i hybrydowych (dla dwóch wariantów wielkości B)
 Fig. 4. Comparison of load capacity in the adhesive, mechanical and hybrid joints (for two variants size B)

istotnie zależał od sposobu montażu Hi-loków. Z dwóch przebadanych wariantów połączeń hybrydowych większa nośność cechowała połączenia z łącznikami montowanymi bliżej krawędzi nakładki (wariant II). Wartość przenieszonego obciążenia przez próbki w wariacie I była mniejsza aż o ok. 32% w odniesieniu do połączeń adhezyjnych, natomiast w wariacie II była porównywalna do wartości siły niszczonej połączenia adhezyjne. Należy jednak zaznaczyć, że zniszczenie próbek w wariacie II polegało nie na zniszczeniu połączenia, lecz na zniszczeniu materiału elementu łączonego w przekroju krytycznym (tzn. osłabionym otworem wykonanym pod montaż Hi-loka).

Wydaje się, że większa nośność połączeń hybrydowych z elementami montowanymi bliżej krawędzi nakładki wynika z istotnego zredukowania występujących

w spoinie klejowej negatywnych naprężeń prostopadłych do powierzchni warstwy adhezyjnej, powodujących zjawisko oddzierania nakładki od spajanych elementów.

Podobną prawidłowość, związaną ze spadkiem nośności połączeń po montażu łączników mechanicznych, obserwowano również w badaniach drugiego rodzaju połączeń (rys. 4). Zmniejszenie nośności jest naturalną konsekwencją zmniejszenia powierzchni spoiny klejowej po wykonaniu otworów pod łączniki mechaniczne, a zakres zmian, podobnie jak w pierwszym przypadku, zależał od położenia Hi-loka w odniesieniu do końca nakładki. Połączenia hybrydowe z łącznikami bliżej krawędzi nakładki charakteryzowała większa nośność. Badając połączenia hybrydowe nie otrzymano wartości obciążeń zbliżonych do nośności połączeń adhezyjnych, jak miało to miejsce w badaniu pierwszej serii próbek. Prawdopodobnie



Rys. 5. Zmiana nośności połączenia hybrydowego w procesie jego niszczenia
 Fig. 5. Changing of the load capacity of the hybrid joints in its destruction

było to spowodowane brakiem schodkowania nakładek, a przez to większym poziomem naprężeń powodujących oddzieranie nakładki.

Najmniejsza nośność cechowała połączenia mechaniczne – nośność tych połączeń była ok. dwa razy mniejsza od nośności połączeń adhezyjnych. W przeciwieństwie do łączenia materiałów metalowych – zniszczenie połączeń mechanicznych, w których łączone są materiały kompozytowe nie polegało na ścinaniu łączników, ale na „wbijaniu się” ich w mniej twardy materiał kompozytowy. Dzięki temu proces degradacji połączenia był wydłużony w czasie, co jest istotne z punktu widzenia eksploatacji struktur lotniczych, w tym również diagnozowania ich połączeń.

W przypadku połączeń adhezyjno-mechanicznych, po zniszczeniu składowego połączenia adhezyjnego, nośność połączenia hybrydowego gwałtownie spadała do wartości charakteryzującej połączenia mechaniczne (rys. 5). Połączenie jednak nie ulegało całkowitemu zniszczeniu, a proces jego dalszej degradacji przebiegał podobnie jak w połączeniach mechanicznych.

Wnioski

Na podstawie wykonanych badań eksperymentalnych stwierdzono, że:

- połączenia hybrydowe stosowane do łączenia polimerowych materiałów kompozytowych cechuje niższa nośność w porównaniu do nośności połączeń adhezyjnych i wyższa w odniesieniu do połączeń mechanicznych,
- nośność nakładkowych połączeń hybrydowych jest istotnie zależna od geometrii montażu łączników mechanicznych – łączniki umieszczone bliżej krawędzi nakładki powodują wyższą nośność połączenia, co może być spowodowane istotnym ograniczeniem zjawiska oddzierania nakładki na jej końcach,
- wadą połączeń hybrydowych jest konieczność wykonywania w elementach otworów pod łączniki (co

osłabia węzeł konstrukcyjny), natomiast zaletą jest bardziej przewidywalna nośność połączenia w porównaniu do połączeń adhezyjnych (których właściwości wytrzymałościowe istotnie zmieniają się w wyniku procesów starzeniowych i reologicznych) oraz bardziej bezpieczny proces jego eksploatacji – połączenie nie „traci” całkowicie nośności po zniszczeniu składowego połączenia adhezyjnego.

LITERATURA

- [1] Adams R.D., W.C. Wake. 1986. “Structural adhesive joints in engineering”. London/New York: *Publishers*.
- [2] Darwish S.M., A. Al-Samhan. 2004. “Design rationale of weld-bonded joints”. *International Journal Adhesion Adhesives* (24): 367–77.
- [3] Irning B. 1994. “Applications widen for structural adhesives in metal to metal bonding”. *Welding Journal*.
- [4] Maofeng Fu., P.K. Mallick. 2001. “Fatigue of hybrid (adhesive/bolted) joints in SRIM composites”. *International Journal Adhesion Adhesives* (21): 145–159.
- [5] Pocius A.V. 1997. “Adhesion and adhesives technology”. New York: Hanser.
- [6] Rośkowicz M., M. Rożek. 2012. “Fatigue life of hybrid joints”. X. International Conference New trends in aviation development, Košice, ISBN: 978-80-553-1083-1, Electronic proceeding.

Dr hab. inż. Marek Rośkowicz – Instytut Techniki Lotniczej Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: marek.roskowicz@wat.edu.pl

Dr inż. Piotr Leszczyński – Instytut Techniki Lotniczej Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: piotr.leszczyński@wat.edu.pl

Mgr inż. Justyna Chudowolska – PZL Mielec, doktorantka ITL WAT, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: chudowolska.justyna@gmail.com

ДИНАМИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ ДЛЯ СБОРКИ

Dynamic stabilization of the tool during the deep holes production for assembling

Dynamiczna stabilizacja przy obróbce głębokich otworów do montażu

Ася Юрьевна ГОРЕЛОВА, Марк Григорьевич КРИСТАЛЬ, Артем Игоревич ПОПОВ

Аннотация: Предложен способ обработки глубоких отверстий. Описана конструктивная схема гироскопического стабилизатора расточного инструмента. Разработана и изготовлена экспериментальная установка для исследования процесса гашения колебаний инструмента по предложенному методу, приведены результаты исследования.

Ключевые слова: стабилизация инструмента, расточка глубоких отверстий

Summary: The paper covers the proposed method of deep holes manufacturing. Presents a structure of gyroscopic stabilizer for boring bars with a large length-to-diameter ratio. It describes the experimental stand for the study of the process of damping by the proposed method and gives the experimental data.

Keywords: tool stabilization, deep holes manufacturing

Streszczenie: W pracy przedstawiono sposób obróbki głębokich otworów. Opisano schemat konstrukcyjny żyroskopowego stabilizatora głowicy roztaczającej. Opracowano i wykonano eksperymentalne urządzenie do badania procesu tłumienia drgań narzędzia w zaproponowanej metodzie i przytoczono wyniki badań.

Słowa kluczowe: stabilizacja narzędzia, roztaczanie głębokich otworów

Гидроцилиндры широко используют в качестве приводов грузоподъемных машин и механизированных шахтных крепей. От качества обработки гильз гидроцилиндров зависят эксплуатационные характеристики указанного оборудования. При соотношении длины гильзы к её диаметру, превышающем 10, их относят к изделиям с глубокими отверстиями. Технологический процесс их производства сопровождается образованием характерных погрешностей продольного профиля отверстия: увод, отклонение от прямолинейности, бочкообразность, седлообразность, конусообразность, и поперечного профиля: огранка, овальность отверстия. На безопасность эксплуатации гидроцилиндров наибольшее влияние оказывают погрешности продольного профиля отверстия гильзы, общей причиной которых являются автоколебания инструмента и вибрации в системе «инструмент-заготовка» вследствие наличия: межлюнетного прогиба заготовки, биения в люнетах, погрешности обработки заходного участка, разностенности, неоднородности твердости материала заготовки, технологической наследственности.

При обработке гильз гидроцилиндров кранового и шахтного оборудования используют две схемы обработки: инструмент совершает движение подачи вглубь вращающейся заготовки; инструмент, вращаясь, совершает движение подачи вглубь

невращающейся заготовки. В обоих случаях операции растачивания предшествует обработка заходного участка и шеек для установки заготовки в люнет станка. Для схемы с вращающейся заготовкой и инструментом, имеющим движение подачи, погрешности этого этапа x_{ei} (рис. 1) приводят к радиальному смещению головки расточного инструмента во время её работы, отклонению глубины резания от заданной и к изменению сил резания для каждого резца. Направляющие колодки инструмента при этом препятствуют радиальному смещению инструмента и испытывают неравномерное нагружение из-за чего оказывают различную реакцию опоры N_i и сила трения F_i каждой из колодок вносит свою переменную составляющую в силу резания P_x в направлении противоположном подаче инструмента, и в P_z по направлению вращения заготовки. Переменная величина силы трения в направлении P_z приводит к возникновению результирующего крутящего момента в плоскости резца, крутильных колебаний и, как следствие, к огранке отверстия.

Возникает техническое противоречие: большая жесткость направляющих колодок обеспечивает сохранение заданного радиального положения расточной головки, однако приводит к возникновению разноразмерных сил трения сравнимых с силами резания и колебаниям инструмента.

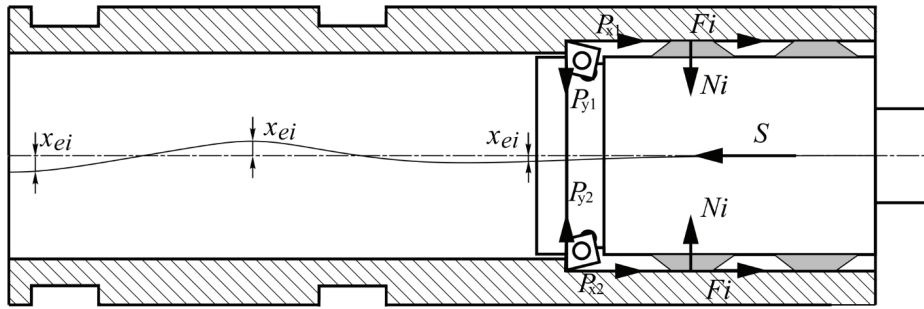


Рис. 1. Расположение сил при резании невращающимся инструментом вращающейся заготовки
 Fig. 1. Cutting forces layouts for the cases of rotating and non-rotating tool

Жесткость направляющих колодок, как правило, обеспечивают наборы тарельчатых пружин, деформация которых нелинейно зависит от приложенной силы, вместе с тем силы трения нелинейно зависят от силы нормальной реакции опоры. Наличие постоянного воздействия на нелинейные составляющие системы обеспечения жесткости инструментальной головки на ряду с непрямолинейностью оси отверстия создают предпосылки для возникновения поперечных автоколебаний инструмента.

Для уменьшения амплитуды колебаний инструмента при обработке глубоких отверстий известны методы и инструменты, разработанные Боринг энд Трипэнинг Ассошиэйшн (БТА). В работах [1, 2] приведены исследования подтверждающие наличие огранки при обработке этими инструментами глубоких отверстий с диаметрами до 50 мм, что свидетельствует о наличии поперечных колебаний инструмента. Недостаточно данных по обработке отверстий с большими диаметрами.

Исследованиям в области динамики процесса растачивания и, в частности, влиянию динамических характеристик технологической системы на амплитуду ее вынужденных колебаний посвящены работы известных ученых М. П. Козочкина, Ф. С. Сабирова [3]. Исследованиям динамики формообразования посвящены работы И. Б. Шендерова, С. В. Кирсанова [4]. Предложено осуществлять выверку установки заготовки на станке исходя из предварительно замеренной непрямолинейности оси. Это условие требует дополнительных технических приспособлений для измерений, так как значение непрямолинейности оси невозможно получить при базировании измерителя по отверстию.

В работе А. И. Ушакова установлены качественные взаимосвязи основных параметров процесса растачивания глубокого отверстия и погрешностей его продольного и поперечного сечений. Ученым установлено, что погрешности глубокого отверстия огранка и непрямолинейность отверстия являются связанными: погрешности присутствуют совместно.

Вопросам синтеза активных, использующих внешний источник энергии, и пассивных, расходующих

запасенную энергию, динамических гасителей посвящены работы Ю. Алтинтас (Y Altintas), А. Матсубара (A. Matsubara), Л. Рубио (L. Rubio) [5, 6]. Однако, вопросы применения гасителей для растачивания массивных длинномерных заготовок недостаточно изучены.

Известны системы автоматического управления положением инструмента, в которых в качестве чувствительных элементов используют гироскоп. Исследования Е. Л. Николаи, А. Фелпья, Э. Сперри, М. Шлика посвящены расчету конструктивных параметров силового двухстепенного гироскопа в кардановом подвесе, позволяющим снизить амплитуду вынужденных колебаний систем, склонных к потере устойчивости, но не рассматривают его применение для стабилизации положения расточного инструмента.

Для схемы с вращающейся заготовкой и невращающимся инструментом предложена конструктивная схема гироскопического демпфера (рис. 2), содержащего два силовых двухстепенных гироскопа, рамы которых расположены на общем валу, который соединен с корпусом резцовой головки. Оси вращения роторов гироскопов расположены взаимно перпендикулярно, что позволяет демпфировать вибрации во всех направлениях, т.е. обе проекции вектора колебаний на оси вращения роторов гироскопов, каждый из которых имеет две степени свободы: вращение ротора, и качание рамы около положения равновесия.

Предложена расчетная схема гироскопического демпфера для каждого из гироскопов (рис. 3). При возникновении колебаний системы «инструмент-заготовка» происходит отклонение горизонтальной оси инструмента на угол φ . Вращающийся ротор гироскопа стремится сохранить положение оси своего вращения, что приводит к возникновению момента сопротивления в плоскости, перпендикулярной отклонению оси инструмента. Последний заставляет отклониться на угол ϑ раму гироскопа, которая оснащена дестабилизирующим грузом E , что заставляет ее колебаться. Гироскоп оказывает силовое воздействие в противофазе вынужденным колебаниям и снижает их амплитуду. Предложено математическое описание процесса стабилизации (1).

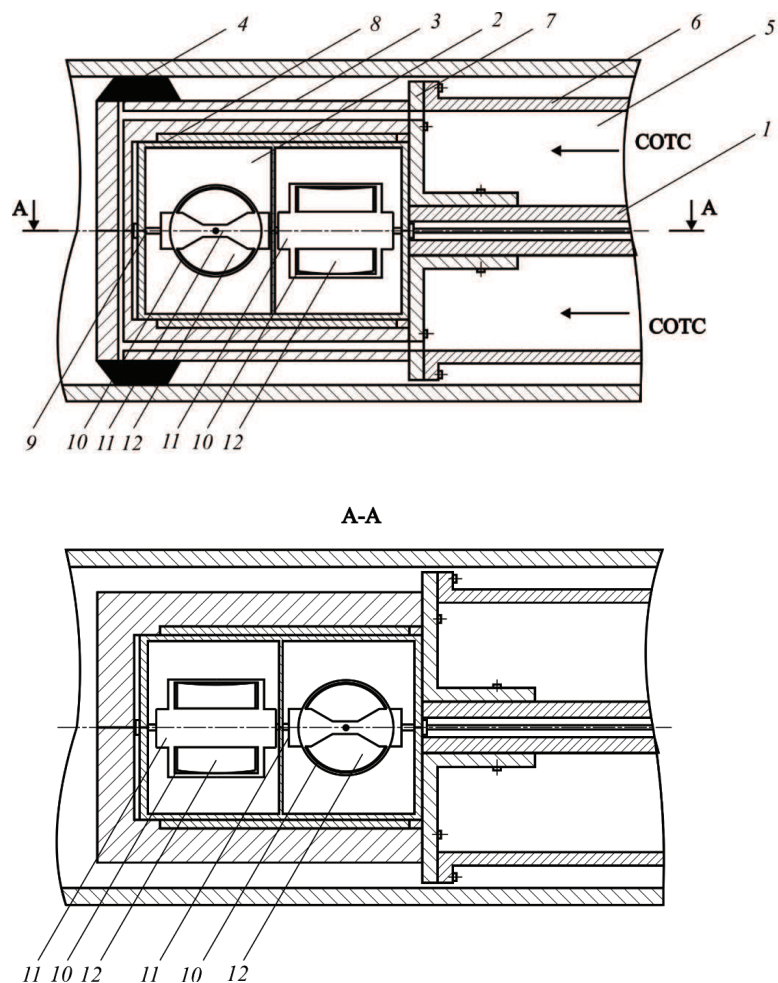


Рис. 2. Расточной инструмент, содержащий гироскопический демпфер на основе двух силовых двухстепенных гироскопов: 1 – борштанга, 2 – гироскопический демпфер, 3 – инструментальная головка, 4 – расточной резец, 5, 6, 7 – узел для подачи СОТС, 8 – рама для крепления гироскопов, 9 – общий вал гироскопов, 10 – силовой двухстепенной гироскоп, 11 – рама гироскопа, 12 – ротор гироскопа

Fig. 2. Boring tool equipped with gyroscopic damper based on two power gyros: 1 – boring bar, 2 – gyroscopic damper, 3 – boring head, 4 – cutter, 5, 6, 7 – lubricant-cooling agent delivery system, 8 – gyros' fixture, 9 – gyros' shared shaft, 10 – power gyro, 11 – gyro's frame, 12 – gyro's rotor

$$\begin{cases} J_0 \ddot{\varphi} - C\omega \dot{\vartheta} + Pce\varphi = H \sin \mu t; \\ A\ddot{\vartheta} + C\omega \dot{\varphi} = -pb\vartheta - k_1 \dot{\vartheta} - k_2 \vartheta, \end{cases} \quad (1)$$

где J_0 – осевой момент инерции инструмента; $C\omega$ – мощность гироскопа; A – сумма центрального осевого момента инерции ротора и рамы; k_1 – сопротивление воздушного демпфера, k_2 – коэффициент сопротивление пружин.

$$A_1 = \frac{HPce \cdot \sin(\mu t) + C\omega \dot{\vartheta}(-Pce + \mu^2 J_0)}{Pce(-Pce + \mu^2 J_0)}$$

$$A_0 = \frac{HPce \cdot \sin(\mu t)}{Pce(-Pce + \mu^2 J_0)}$$

Для количественной оценки стабилизации положения инструмента введен коэффициент демпфирования $\alpha = A_1/A_0$, где A_1 – амплитуда колебаний с вращающимся ротором гироскопа (с демпфированием); A_0 – амплитуда вынужденных колебаний без демпфирования ($\omega = 0$).

На основе результатов численного моделирования системы уравнений (1) установлено наличие трёх зон устойчивого демпфирования, которые определяются соотношением частот вынужденных и собственных колебаний межлюнетного участка системы «инструмент-заготовка»: $\mu/\omega_0 = 0,45..0,8$, $\mu/\omega_0 = 3,75..5,75$, $\mu/\omega_0 = 6,5..10,25$ (рис. 4).

Экспериментальная модель демпфера (рис. 5) содержит ротор 1, установленный с возможностью вращения в раме 2, которая соединена с возможностью поворота с корпусом модели, воздушным демпфером 3 и парой пружин (на рисунке не показаны).

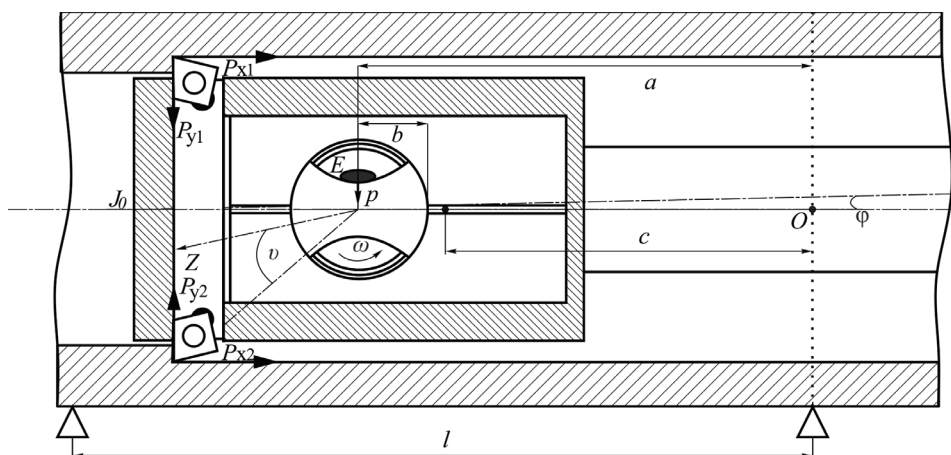


Рис. 3. Расточной инструмент, содержащий гироскопический демпфер: J_0 – осевой момент инерции инструмента, P_{x1} , P_{x2} , P_{y1} , P_{y2} – составляющие силы резания, Z – ось вращения ротора гироскопа, v – угол отклонения оси Z при возникновении поперечных колебаний инструмента, ω – угловая скорость вращения ротора гироскопа, b – половина ширины рамы гироскопа, E – дестабилизирующий груз, p – вес груза E , l – длина межлюнетного участка, O – точка опоры борштанги инструмента (центр колебаний), c – расстояние от центра колебаний до центра масс межлюнетного участка инструмента, a – расстояние от центра колебаний до центра масс ротора гироскопа, φ – угол отклонения осевого положения инструмента при возникновении поперечных колебаний

Fig. 3. Boring tool equipped with gyroscopic damper: J_0 – centroidal moment of inertia, P_x , P_y – cutting force components, Z – gyro's rotor axis, v – tilt angle of the Z axis due to transverse oscillation of the tool, ω – gyro's rotor angular rate, b – half the width of the gyro's frame, E – destabilizing load, p – weight of the load E , l – distance between the work rest devices, O – fulcrum of the boring bar (the center of oscillations), c – of the tool piece contained between the work rest devices, a – distance from the fulcrum to the gyro's rotor's center of gravity, φ – tilt angle of the tool axis due to transverse oscillation

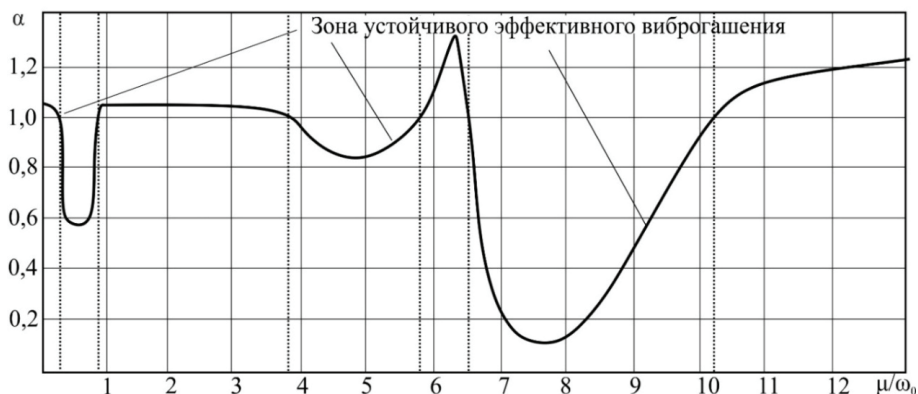


Рис.4. Зависимость величины α демпфирования в диапазоне отношения частот $\mu/\omega_0 \in [0,1...13]$

Fig. 4. Damping factor α in the frequency ratio interval $\mu/\omega_0 \in [0,1...13]$

Такое соединение обеспечивает две степени свободы для гироскопа, третью степень свободы обеспечивает корпус модели, подвешенный на упругих подвесах (не показаны). При этом угол и скорость поворота рамы 2 конструктивно ограничены демпфером и пружинами. Модель демпфера содержит шкив 4 и экран 5 в виде куба. Шкив 4 соединен ремнем с установленным с эксцентриситетом шкивом шагового двигателя ДШИ, скорость вращения которого определяет частоту μ вынужденных колебаний, задается программно через микроконтроллер (МК) MSP430G2.

Таким образом, модель демпфера совершает колебания, экран перемещается, изменяя величину

зазора z , что регистрирует индукционный датчик перемещений ДПА-М18-76У-1110-Н. Аналоговый сигнал от ДПА поступает в модуль АЦП/ЦАП Zetlab Z 210, обработку сигнала производят посредством программного обеспечения Zetlab на стационарном компьютере. По показанию виртуальных приборов, входящих с состав указанной программы определены значения напряжения, соответствующие расстоянию z от датчика до экрана. Для определения эффективности демпфирования $\alpha = A_1/A_0$ измеряют A_1 – амплитуду колебаний с вращающимся ротором гироскопа (с демпфированием) и A_0 – амплитуду вынужденных колебаний без демпфирования (рис. 6).

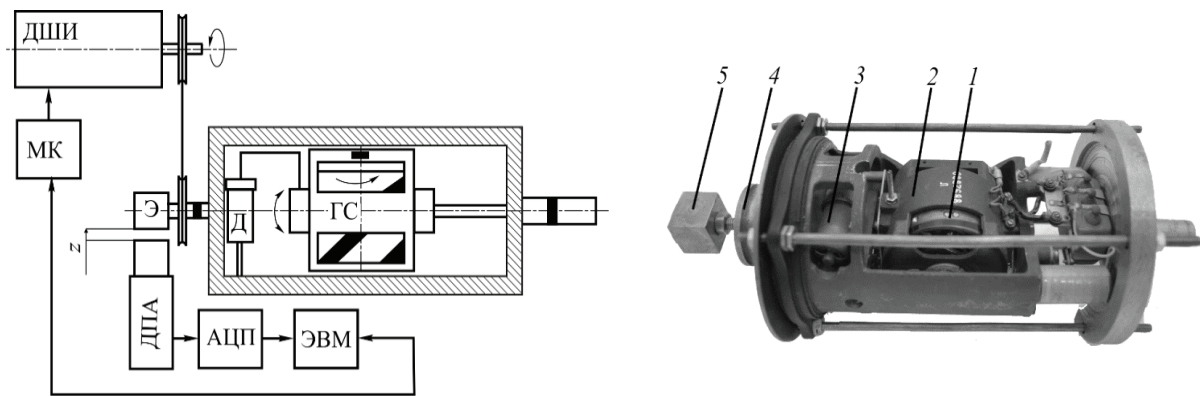


Рис.5. Установка для регистрации величины α демпфирования
 Fig. 5. Damping factor α measuring unit

Для анализа адекватности математического описания экспериментально полученным данным для каждого эксперимента записан, сохранен в память ПК сигнал датчика ДПА и рассчитан коэффициент α эффективности демпфирования для амплитуды основной гармоники. На рис. 7 показано сравнение данных экспериментальной и теоретической зависимостей.

Заключение

1. Обоснована возможность снижения амплитуды колебаний расточного инструмента, оснащенного гироскопическим демпфером, при частотной настройке системы «инструмент-заготовка», исходя из соотношений μ/ω_0 , обеспечивающих зоны

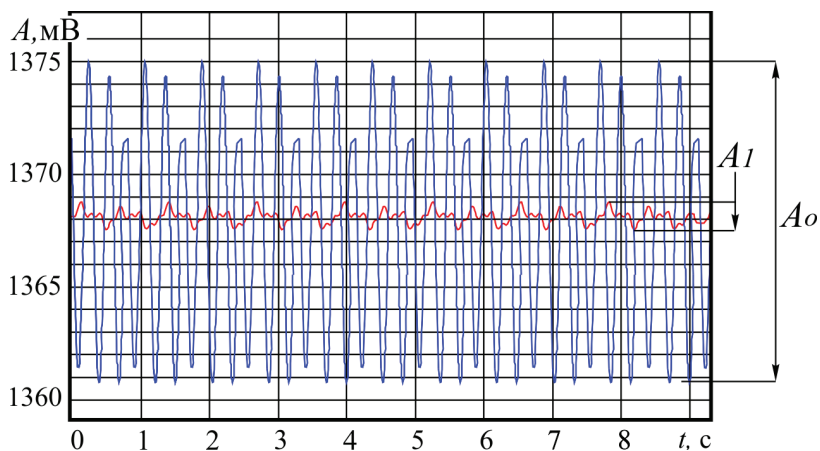


Рис. 6. Демпфирование колебаний модели при отношении $\mu/\omega_0 = 0,5$
 Fig. 6. Damping in the model with $\mu/\omega_0 = 0,5$

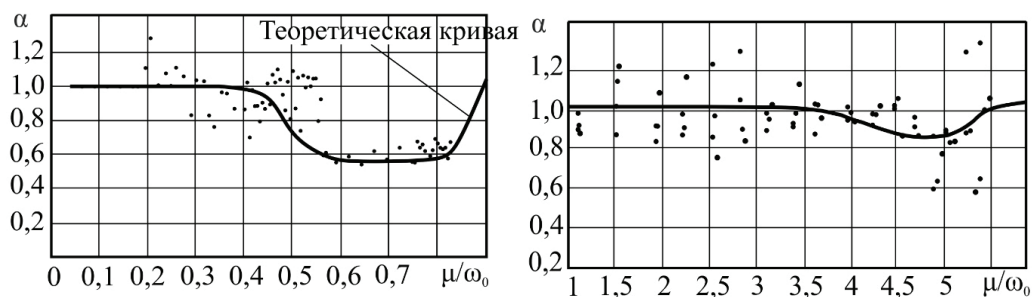


Рис. 7. Зависимость демпфирования α от отношения μ/ω на диапазоне $\mu/\omega \in [0,05, 6]$
 Fig. 7. Damping factor α as a μ/ω ratio function in the interval $\mu/\omega \in [0,05, 6]$

- устойчивого демпфирования: $\mu/\omega_0 = 0,45..0,8$,
 $\mu/\omega_0 = 3,75..5,75$, $\mu/\omega_0 = 6,5..10,25$.
2. На основе предложенной математической модели демпфирования инструмента, оснащенного гироскопическим демпфером, устанавливающей зависимость демпфирования α от рабочих и конструктивных параметров демпфера, установлено, что:
 - при угловых скоростях вращения ротора гироскопического демпфера $\omega > 150$ рад/с наиболее эффективного демпфирования ($\alpha < 0,2$) достигают при $\omega > 450$ рад/с;
 - при угловых скоростях вращения ротора демпфера $\omega = 450$ рад/с, $\omega = 530$ рад/с $\omega = 628$ рад/с наиболее эффективного демпфирования ($\alpha = 0,2..0,4$) достигают при массе дополнительного груза p в диапазоне $m = 0,1..0,3$;
 - при угловых скоростях вращения ротора демпфера $\omega = 628$ рад/с, $\omega = 700$ рад/с $\omega = 850$ рад/с наиболее эффективного демпфирования ($\alpha < 0,1$) достигают $m/M = 0,012..0,2$;
 3. Для дальнейшего повышения точности обработки глубоких отверстий необходимо провести исследования процесса возникновения автоколебаний инструмента и способов их устранения

Список литературы

1. Messaoud A., Weihs C., Hering F. Detection of chatter vibration in drilling process using multivariate control charts // *Computational Statistics & Data Analysis*. 2008. P. 3208–3219.
2. Chin D., Yoon M., Sim S. Roundness modeling in BTA deep hole drilling // *Precision Engineering*. 2005. P. 176–188.
3. Козочкин М. П., Сабиров Ф. С. Оценка состояния заготовок в автоматизированном производстве виброакустическими методами // *Вестник РУДН, серия Инженерные исследования*. 2008. №2. С. 56–61.
4. Шендеров И. Б. Управление качеством при растачивании глубоких отверстий в интерактивном технологическом процессе изготовления трубных заготовок // *Вестник ИжГТУ*. 2012. №1. С. 30–33.
5. Lu X., Chen F., Altintas Y. Magnetic actuator for active damping of boring bars // *CIRP Annals–Manufacturing Technology*. 2014. P. 369–372.
6. Matsubara A, Maeda M, Yamaji I. Vibration suppression of boring bar by piezoelectric actuators and LR circuit // *CIRP Annals–Manufacturing Technology*. 2014. P. 373–376.
7. Горелова А. Ю., Кристаль М. Г. Гироскопическая стабилизация инструмента при обработке глубоких отверстий // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2015. № 5. С. 81–86.
8. Горелова А. Ю., Кристаль М. Г. Инструмент для обработки гильз гидростоек, оснащённый стабилизатором // *Горный информационно-аналитический бюллетень (науч.-техн. журнал)*. 2015. № 9. С. 131–135.

Горелова Ася Юрьевна, аспирант каф. АПП, forasyoo@gmail.com, Россия, 400005 Волгоград пр. им. Ленина 28, Волгоградский государственный технический университет,

Кристаль Марк Григорьевич, д-р техн. наук, проф. каф. АПП, cгusmar@mail.ru, Россия, 400005 Волгоград пр. им. Ленина 28 Волгоград, Волгоградский государственный технический университет.

Попов Артем Игоревич, магистрант каф. АПП, popov.artem93@yandex.ru, Россия, 400050 Волгоград, ул. Рокоссовского 50 Волгоград, Волгоградский государственный технический университет.

POŁĄCZENIA KONSTRUKCYJNE W NARZĘDZIACH TARCZOWYCH DO SZLIFOWANIA NA DOCIERARKACH

Structural connections in disc tools for grinding on lapping machines

Adam BARYLSKI

Streszczenie: Przedstawiono przykłady projektów konstrukcji narzędzi tarczowych do szlifowania powierzchni płaskich na docierarkach jednotarczowych. Zastosowano zróżnicowane sposoby łączenia wkładek ściernych z korpusem narzędzia. Przeprowadzono analizę punktową technologiczności konstrukcji czterech opracowanych wariantów narzędzi.

Słowa kluczowe: narzędzia tarczowe, budowa składana, szlifowanie, docierarka jednotarczowa

Abstract: Examples of the construction of disc tools for grinding flat surfaces on single-disk lapping machines were presented. Diversified manners of the join of abrasive fillers were applied with the corps of the tool. Technological analysis was conducted for structure of four variants of the tools.

Key words: disc tools, structure folded up, grinding, single-disk lapping tool

Wstęp

W standardowym docieraniu jednotarczowym powierzchni płaskich, zawiesina ścierna podawana jest w strefę obróbki kropłowo w sposób ciągły. Możliwe jest też dawkowanie odpowiedniej porcji pasty ścierniej ręcznie na docierak – pomiędzy poszczególnymi wypełnieniami separatorów przedmiotami obrabianymi. W takich przypadkach, w dowolnym momencie docierania, na sumę cząstek ściernych w strefie obróbki składają się (rys. 1) [1]:

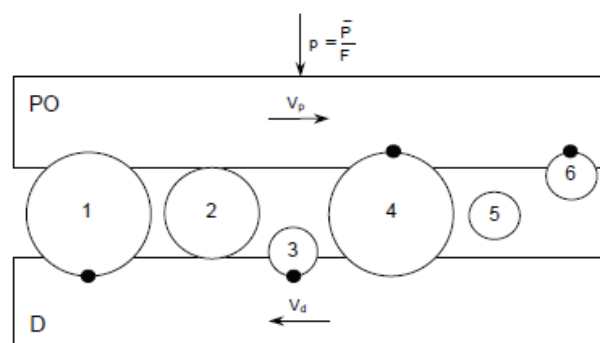
- 1 – mikroziarna wgniezione w powierzchnię docieraka D, powodujące mikroskrawanie i odkształcenie materiału obrabianego PO,
- 2 – mikroziarna toczące się, powodujące mikroskrawanie lub odkształcanie materiału obrabianego i docieraka,
- 3 – mikroziarna osadzone w docieraku, nieoddziałujące na przedmiot obrabiany,
- 4 – mikroziarna wgniezione w powierzchnie docieraną, powodujące mikroskrawanie lub odkształcanie materiału docieraka,
- 5 – mikroziarna bierne, nieuczestniczące w procesie skrawania,
- 6 – mikroziarna wgniezione w powierzchnię obrabianą, nieoddziałujące na docierak.

W praktyce, dawkowanie zawiesiny ścierniej (cząstek ściernych) jest zbyt obfite, co powoduje, że część mikroziaren w ogóle nie bierze udziału w skrawaniu i zostają usunięte przez poruszające się w układzie kinematycznym docierarki pierścienie prowadzące (rys. 2). Wprowadzone na rys. 2a oznaczenia to: 1 – pierścienie

prowadzące, 2 – docierak, 3 – dozownik zawiesiny ścierniej, 4 – rolka prowadząca, 5 – czujniki odbiciowe SCOO-1002P obrotomierza.

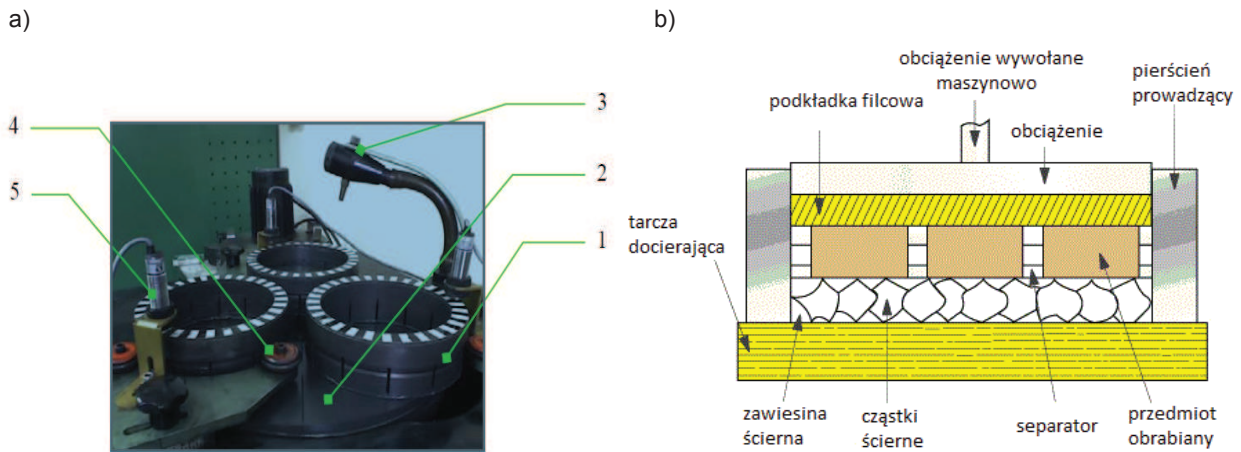
Wada ta nie wystąpi, gdy zamiast metalowej (najczęściej żeliwnej) tarczy docierającej (rys. 3a) zastosujemy narzędzia składane, zbudowane ze stalowego korpusu i odpowiednich wkładek ściernych (rys. 3b).

Ścierne narzędzia segmentowe umożliwiają szlifowanie powierzchni płaskich na docierarkach, zapewniając nie tylko zmniejszenie wydatku zawiesiny, ale i minimalizację skażenia powierzchni ścierniwem, ułatwiając przy tym mycie elementów po obróbce. Podczas operacji podawany jest jedynie kropłowo płyn roboczy.

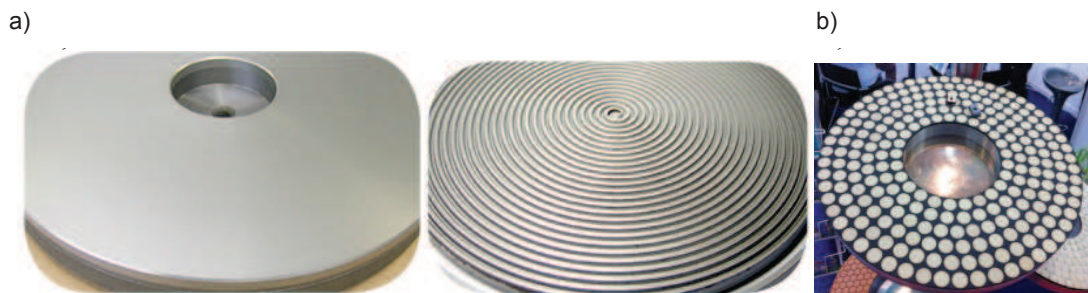


Rys. 1. Położenie mikroziaren ściernych podczas docierania (v_p – prędkość przedmiotu obrabianego, v_d – prędkość docieraka, p – nacisk jednostkowy)

Fig. 1. Location of abrasive micrograins during lapping (v_p – speed of the lapping tool v_d – speed of lapping tool, p – unit pressure)



Rys. 2. Zasada docierania jednotarczowego powierzchni płaskich: a) układ wykonawczy docierarki ABRALAP 380 [2], b) schemat wypełnienia pierścienia prowadzącego [6]
 Fig. 2. Principle of single-disk machining of flat surfaces: a) execution unit of lapping tool ABRALAP 380 [2], b) outline of filling the leading ring [6]



Rys. 3. Przykłady konstrukcji: a) tarczy docierającej gładkiej i rowkowanej spiralnie [5], b) narzędzia ścierno-metalowego [3]
 Fig. 3. Examples of the construction: a) of reaching smooth and grooved spirally shield [5], b) of abrasive-metal tool [3]

Budowa narzędzi

Opracowane projekty narzędzi ścierno-metalowych [7] mogą być przeznaczone do szlifowania powierzchni płytek z ceramiki Al_2O_3 (o wymiarach $60 \times 60 \times 10$ mm) na docierarce Kemet 24 OPEN FACE (średnica tarczy 610 mm, liczba pierścieni prowadzących 3, średnica wewnętrzna pierścienia 248 mm, prędkość obrotowa narzędzia 58 min^{-1} , moc silnika głównego 1,5 kW), co obrazuje rys. 4.

Opracowano cztery warianty konstrukcyjne narzędzi, które po ocenie ich technologiczności będą przedmiotem dalszych prac. Po wyborze najwyższej ocenionej koncepcji, opracowana zostanie dokumentacja konstrukcyjna i technologiczna, zaś po wykonaniu prototypu – przeprowadzone badania, które będą miały na celu wyznaczenie charakterystyki techniczno-eksploatacyjnej oraz wniesienie ewentualnych zmian konstrukcyjnych w tym innowacyjnym narzędziu ściernym. Ważnym zadaniem jest m.in. określenie pasowań pomiędzy elementami, w tym wkładka ścierna – korpus, mając na uwadze możliwości producentów segmentów ściernych. Należy też rozpatrzyć zasadę indywidualnego

dopasowania elementów w montażu narzędzia i późniejszą jego eksploatację w warunkach obecności produktów obróbki (szlamu).



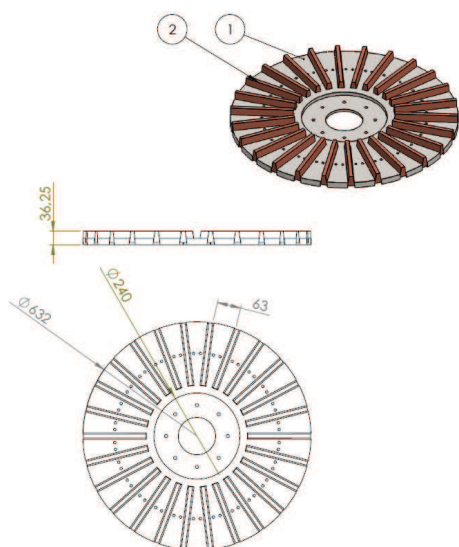
Rys. 4. Docierarka jednotarczowa Kemet 24 OPEN FACE [4]
 Fig. 4. Single-disk lapping tool Kemet 24 OPEN FACE [4]

Wariant I

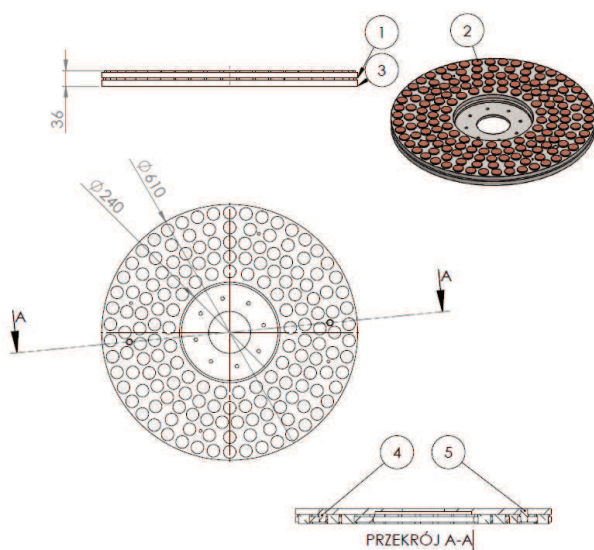
Narzędzie składane nie umożliwia regulacji wysunięcia wkładek ściernych z korpusu (rys. 5). Elementy robocze 2 (26 wkładek) mocowane są na metalowej tarczy 1 (ze stali S275) za pomocą rozdzielających je żeliwnych segmentów (dwoma śrubami M8 każdy).

Wariant II

W tym rozwiązaniu zastosowano kołowe pastylki ścierne 2, umieszczone w otworach tarczy 1 (rys. 6).



Rys. 5. Narzędzie składane – wariant I
Fig. 5. Folding tool – variant I

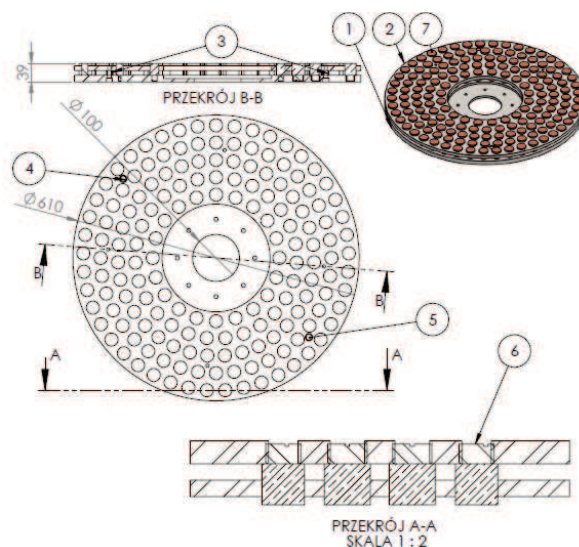


Rys. 6. Narzędzie składane – wariant II
Fig. 6. Folding tool – variant II

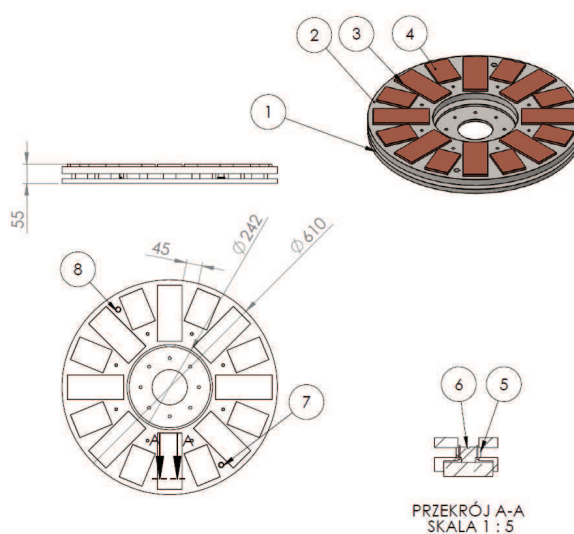
Tarcza otworowa 1 połączona jest z tarczą nośną 3 czterema śrubami 4, zaś ustalona kołkami 5. W tym przykładzie można rozmieścić 166 pastylek roboczych.

Wariant III

Konstrukcja pokazana na rys. 7 różni się od poprzednich tym, że możliwa jest regulacja wysunięcia wkładek ściernych 7 wkrętami 6, po odwróceniu tarczy 1. Tarcza górna 2 zapewnia odpowiednie prowadzenie i dystans pomiędzy wkładkami. Elementy 3, 4 i 5 umożliwiają wzajemne ustalenie tarcz 1 i 2.



Rys. 7. Narzędzie składane – wariant III
Fig. 7. Folding tool – variant III



Rys. 8. Narzędzie składane – wariant IV
Fig. 8. Folding tool – variant IV

Wariant IV

W tym rozwiązaniu konstrukcyjnym (podobnie jak w wariantcie III) możliwa jest regulacja wysunięcia wkładki ściernych 3 i 4 za pomocą śrub 6 (umieszczonych w tulejkach 5) ponad tarczę 2. Tarczę nośną 1 i górną 2 ustalają kołki 7 i 8, zaś skręca osiem śrub M8.

Analiza technologiczności konstrukcji

W tab. 1-4 zawarto wyniki analizy punktowej opracowanych narzędzi składanych. W ocenie przyjęto następującą skalę ocen: 5 – bardzo dobra, 4 – dobra, 3 – zadawalająca, 2 – zła, 1 – bardzo zła, 0 – dyskwalifikująca. Kryteria oceny przyjęto na podstawie wieloletnich doświadczeń własnych w projektowaniu narzędzi do obróbek bardzo dokładnych.

Jak wynika z przeprowadzonej analizy, najwyższą ocenę spośród opracowanych wariantów uzyskało narzędzie IV. Zdecydowała o tym stosunkowo mała liczba elementów składowych, względnie krótki czas montażu i możliwość regulacji wysunięcia elementów roboczych.

Podsumowanie

Konstruując narzędzie składane do szlifowania na docierakach należy mieć na uwadze wymiary i kształt obrabianych elementów. Uwaga ta jest szczególnie zasadną w przypadku przyjęcia rozwiązania, umożliwiającego wysuwanie wkładek ściernych ponad tarczę nośną.

Wymiana wkładek ściernych i możliwość ich indywidualnego rozmieszczenia na tarczy, jak i sama regulacja wysunięcia, to podstawowe zalety tego typu narzędzi do szlifowania na docierarkach. Dalsze prace nad rozwojem

Tabela 1. Ocena punktowa wariantu I konstrukcji narzędzia
Table 1. Point evaluation of variant I of tool construction

Lp.	Kryterium oceny	Liczba punktów P	Wskaźnik ważności Q	Iloczyn P*Q
1	Spełnienie założeń związanych z obrabianym przedmiotem	0	1	0
2	Koszt	5	0,5	2,5
3	Łatwość montażu	5	0,25	1,25
4	Stopień złożoności konstrukcji	4	0,25	1
5	Łatwość i prędkość obróbki mechanicznej	3	0,75	2,25
6	Dostępność zastosowanych materiałów	4	0,25	1
7	Niezawodność i trwałość (ocena z punktu widzenia rozwiązań konstrukcyjnych i użytych materiałów)	5	1	5
8	Wygoda i łatwość obsługi	4	0,75	3
9	Łatwość konserwacji i remontów (montaż i demontaż, dostęp do elementów nastawnych i punktów smarowania oraz oczyszczanie)	3	0,5	1,5
10	Łatwość naprawy i wymiany zużytych elementów	4	0,75	3
Suma				20,5

Tabela 2. Ocena punktowa wariantu II konstrukcji narzędzia
Table 2. Point evaluation of variant II of tool construction

Lp.	Kryterium oceny	Liczba punktów P	Wskaźnik ważności Q	Iloczyn P*Q
1	Spełnienie założeń związanych z obrabianym przedmiotem	5	1	5
2	Koszt	3	0,5	1,5
3	Łatwość montażu	3	0,25	0,75
4	Stopień złożoności konstrukcji	3	0,25	0,75
5	Łatwość i prędkość obróbki mechanicznej	3	0,75	2,25
6	Dostępność zastosowanych materiałów	4	0,25	1
7	Niezawodność i trwałość (ocena z punktu widzenia rozwiązań konstrukcyjnych i użytych materiałów)	5	1	5
8	Wygoda i łatwość obsługi	4	0,75	3
9	Łatwość konserwacji i remontów (montaż i demontaż, dostęp do elementów nastawnych i punktów smarowania oraz oczyszczanie)	3	0,5	1,5
10	Łatwość naprawy i wymiany zużytych elementów	4	0,75	3
Suma				23,75

Tabela 3. Ocena punktowa wariantu III konstrukcji narzędzia

Table 3. Point evaluation of variant III of tool construction

Lp.	Kryterium oceny	Liczba punktów P	Wskaźnik ważności Q	Iloczyn P*Q
1	Spełnienie założeń związanych z obrabianym przedmiotem	5	1	5
2	Koszt	3	0,5	1,5
3	Łatwość montażu	3	0,25	0,75
4	Stopień złożoności konstrukcji	3	0,25	0,75
5	Łatwość i prędkość obróbki mechanicznej	3	0,75	2,25
6	Dostępność zastosowanych materiałów	4	0,25	1
7	Niezawodność i trwałość (ocena z punktu widzenia rozwiązań konstrukcyjnych i użytych materiałów)	5	1	5
8	Wygoda i łatwość obsługi	3	0,75	2,25
9	Łatwość konserwacji i remontów (montaż i demontaż, dostęp do elementów nastawnych i punktów smarowania oraz oczyszczanie)	3	0,5	1,5
10	Łatwość naprawy i wymiany zużytych elementów	4	0,75	3
Suma				23

Tabela 4. Ocena punktowa wariantu IV konstrukcji narzędzia

Table 4. Point evaluation of variant IV of tool construction

Lp.	Kryterium oceny	Liczba punktów P	Wskaźnik ważności Q	Iloczyn P*Q
1	Spełnienie założeń związanych z obrabianym przedmiotem	5	1	5
2	Koszt	4	0,5	2
3	Łatwość montażu	4	0,25	1
4	Stopień złożoności konstrukcji	4	0,25	1
5	Łatwość i prędkość obróbki mechanicznej	5	0,75	3,75
6	Dostępność zastosowanych materiałów	4	0,25	1
7	Niezawodność i trwałość (ocena z punktu widzenia rozwiązań konstrukcyjnych i użytych materiałów)	5	1	5
8	Wygoda i łatwość obsługi	4	0,75	3
9	Łatwość konserwacji i remontów (montaż i demontaż, dostęp do elementów nastawnych i punktów smarowania oraz oczyszczanie)	4	0,5	2
10	Łatwość naprawy i wymiany zużytych elementów	4	0,75	3
Suma				26,75

ich konstrukcji powinny dotyczyć wyeliminowania demontażu narzędzia z obrabiarki w przypadku potrzeby wymiany wkładek ściernych na inne, m.in. z uwagi na rodzaj lub wielkość ziarna ściernego.

Oczywistym jest, iż dla takich zastosowań omawianych narzędzi, w których wymiana wkładek nie jest opłacalna lub konieczna, dobrym sposobem ich łączenia z metalowym korpusem jest klejenie.

Przedstawione koncepcje narzędzi są rozwiązaniami innowacyjnymi i będą dalej rozwijane.

LITERATURA

- [1] Barylski A. 1992. „Podstawy docierania jednotarczowego powierzchni płaskich”. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej (491), Mechanika (67).
- [2] Barylski A. 2013. „Obróbka powierzchni płaskich na docierarkach”. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- [3] <http://www.bjkshs.com/en/List.asp?n=50>, dostęp 05.01.2015 r.
- [4] <http://www.kemet.co.uk/products/flatlapping/kemet-24-diamond-lapping-machine>, dostęp 05.01.2015 r.
- [5] <http://www.kemet.co.uk/products/flatlapping/kemet-lapping-plates>, dostęp 05.01.2015 r.
- [6] http://www.lapping-polish.com/profile_001.htm, dostęp 05.01.2015 r.
- [7] Marciński M. 2015. „Projekt docieraka składanego do obróbki powierzchni płaskich”. Praca dyplomowa, Politechnika Gdańska.

Prof. dr hab. inż. Adam Barylski – kierownik Katedry Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, e-mail: abarylsk@pg.gda.pl

ЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ МИКРОСВЁРЛ ДЛЯ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ ПАКЕТА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

*Effective designs of hardmetall microdrills for deep drilling
of the package of printed-circuit boards*

*Efektywne konstrukcje mikrowiertel z węglików spiekanych
do głębokiego wiercenia pakietów płytek drukowanych*

Raul TURMANIDZE, Vasili BACHANADZE, Giorgi POPKHADZE

Резюме: В представленной работе даются результаты исследования силовых характеристик процесса глубокого сверления пакета печатных плат для микроэлектронной аппаратуры, в том числе для изготовления отдельных узлов управления мехатронных систем твердосплавными микросвёрлами в зависимости от глубины сверления, режимов резания и геометрии сверла. В частности изучены характер изменения показателей осевого усилия и крутящего момента в зависимости от глубины сверления для свёрл с разными углами наклона спиральной канавки с помощью специально сконструированных высокочувствительных приборов, дающих возможность измерения прямым методом. На основе анализа результатов исследования внесены изменения в геометрии существующих стандартных сверл. Предложена новая конструкция микросвёрл с переменным углом наклона спиральной канавки, таким образом, что величина угла имеет максимальное значение у вершины сверла и равномерно уменьшается в сторону конца рабочей части. Изготовлены свёрла такой конструкции с разными углами наклона спиральной канавки. На основе экспериментов из них выбран более близкий по своим силовым показателям к стандартному сверлу и проведено его сравнительное испытание со стандартным сверлом, доводя их до поломки, благодаря чему доказано преимущество свёрл новой конструкции. Учитывая результаты экспериментов предложены свёрла удлиненной конструкции с целью повышения производительности обработки путем увеличения глубины сверления и соответственно количества пластин в обрабатываемом пакете печатных плат.

Ключевые слова: Печатная плата, глубокое сверление, сверло, переменный угол наклона.

Summary: In this work are given the results of the study of power characteristics of the process of deep drilling printed circuit boards package for microelectronic devices, including for the production of individual control units mechanistic systems carbide micro drills depending on the depth of drilling, cutting conditions and the geometry of the drill. In particular, we studied the behavior of the indicators of axial force and torque, depending on the drilling depth for drill bits with different angles of inclination of the spiral groove with the help of specially designed high-sensitivity instrumentation, enabling the direct method of measurement. Based on the analysis results of the study changes in the geometry of the existing standard drills. A new design micro drills variable angle of the spiral groove, so that the angle has a maximum value at the tip of the drill, and decreases uniformly towards the end of the working part. Drill bits made this design with different angles of inclination of the spiral grooves. On the basis of these experiments is selected over near standing on their athletic performance to a standard drill and held it a comparative test with a standard drill, bringing them to failure, because of what proved drills Advantages of the new design. Considering the results of the experiments proposed drills elongated structures to improve processing performance by increasing the drilling depth and number of plates, respectively, in the processed packet of printed circuit boards.

Keywords: Printed circuit board, deep drilling, drill, variable angle of inclination

Streszczenie: W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań charakterystyk siłowych procesu głębokiego wiercenia pakietów płytek drukowanych do aparatury mikroelektronicznej, w tym również dla wykonywania odrębnych zespołów sterowania systemami mechatronicznymi spiekanyimi mikrowiertłami w zależności od głębokości wiercenia warunków skrawania i geometrii wiertła. W szczególności zbadano charakter zmian wskaźników siły osiowej i momentu skrętnego w zależności od głębokości wiercenia dla wiertel o różnych kątach nachylenia rowka spiralnego, za pomocą specjalnie skonstruowanych wysokoczułych przyrządów, umożliwiających pomiary bezpośrednie. Na podstawie analizy wyników badań wprowadzono zmiany w geometrii istniejących standardowych wiertel. Zaproponowano nową konstrukcję mikrowiertel ze zmiennym kątem pochylenia rowka spiralnego w taki sposób, że wielkość kąta ma maksymalną wartość przy wierzchołku wiertła i równomiernie zmniejsza się w stronę końca części roboczej. Wiertła wykonano o takiej konstrukcji z różnymi kątami nachylenia spiralnego rowka. Na podstawie badań wybrano wariant najbliższy pod względem wytrzymałościowym do wiertel standardowych i przeprowadzono procentowe badania porównawcze ze standardowym wiertłem, doprowadzając do ich zniszczenia (złamania), co wykazało przewagę nowej konstrukcji. Uwzględniając wyniki badań zaproponowano wiertło o wydłużonej konstrukcji w celu zwiększenia wydajności obróbki przez zwiększenie głębokości wiercenia i odpowiednio liczby płytek w obrabianym pakiecie płytek drukowanych.

Słowa kluczowe: płytka drukowana, głębokie wiercenie, wiertło, zmienny kąt nachylenia (rowka specjalnego)

Введение и постановка задачи

Современную технику, начиная от бытовой и заканчивая космической аппаратурой, невозможно представить без электронных узлов. Производство базовых деталей электронной аппаратуры – печатных плат, связано с процессом сверления огромного количества отверстий малого диаметра (около 1 мм и меньше). Сверление осуществляют разными методами, но самым эффективным является сверление микросвёрлами из твёрдого сплава, геометрические параметры которого установлены исследователями разных стран на основе многократных экспериментов в соответствующих лабораториях и предприятиях. В частности установлено, что оптимальный передний угол и соответственно угол наклона спиральной канавки составляет примерно 30° , а задний угол 18° . Их перетачивают через каждое 1000 отверстие и рассчитаны на 3–4 переточку.

Производство печатных плат это массовое производство, где с целью увеличения производительности осуществляется сверление пакета, составленной из несколько пластин, то есть имеет место глубокое сверление, где глубина сверления превышает размера диаметра 8÷10 раз.

В производстве печатных плат простой дорогостоящего технологического оборудования связан не только с предусмотренной заменой инструмента с целью их переточки, но и с непредусмотренной, вызванной хрупким разрушением даже до первой переточки, что связаны со значительными экономическими потерями. Вероятность хрупкого разрушения значительно растет при глубоком сверлении пакета печатных плат. При этом зона разрушения находится в близости конца спиральной канавки.

Учитывая массовость производственных процессов изготовления печатных плат, можно сказать, что хотя бы незначительное повышение стойкости

и хрупкой прочности микросвёрл и соответственно производительности процессов сверления, может дать существенный экономический эффект.

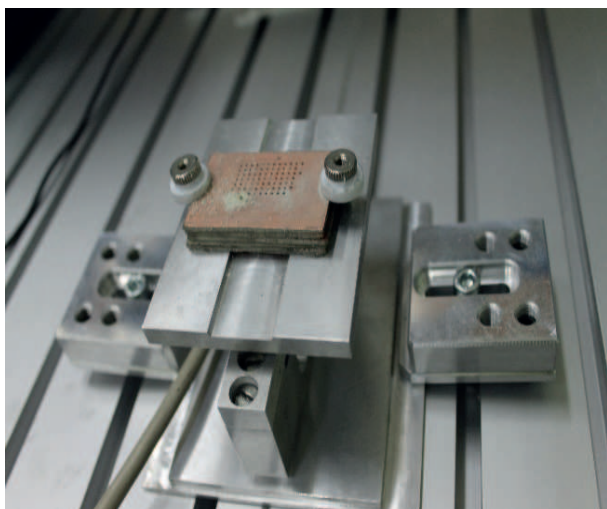
Методика и результаты исследования

Исследовательские работы с целью повышения стойкости твердосплавных микросверл и производительности процесса глубокого сверления пакета печатных плат были проведены в лаборатории прецизионных микроинструментов департамента «Производственные технологий инженерии механики» Грузинского технического университета в тесном сотрудничестве со специалистами Магдебургского технического университета им. Отто Фон Гурике (Германия) в рамках совместного международного проекта.

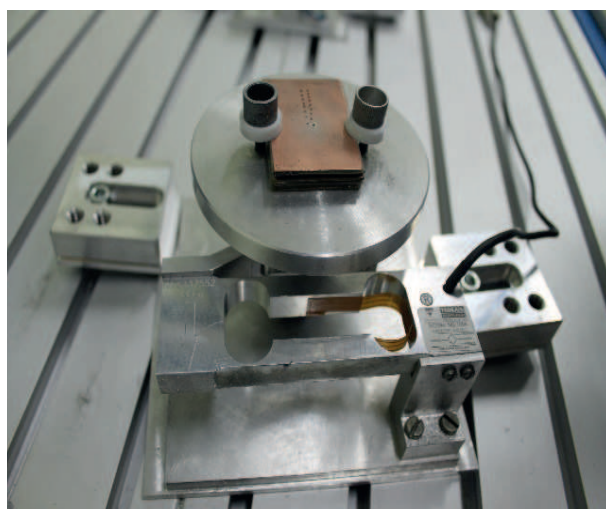
Исследования были начаты изучением характера изменения силовых показателей – крутящего момента и осевого усилия в зависимости от глубины и режимов резания сверления пакета печатных плат из стеклотекстолита.

Для измерения осевого усилия был изготовлен прибор на основе известных методов и существующих аналогов, измеряющим элементом, которого является система тензодатчиков, смонтированная на упругом корпусе (см. фиг. 1).

Что касается измерения крутящего момента, то в нашем случае существующие разные методы, в том числе и косвенный метод при котором измерение осуществляют с помощью измерения мощности процесса резания непригоден, так как дело имеем с очень низкими величинами показателей. Поэтому нужно использовать такой метод, который даст возможность измерить непосредственно крутящий момент, при этом с высокой точностью. С этой целью нами был спроектирован и изготовлен специальный прибор (см. фиг. 2), в котором стол заготовок для сверления оснащен вращающим высокоточным и высокочувствительным



Фиг. 1. Прибор для измерения осевого усилия
Fig. 1. Instrument for measuring axial efforts



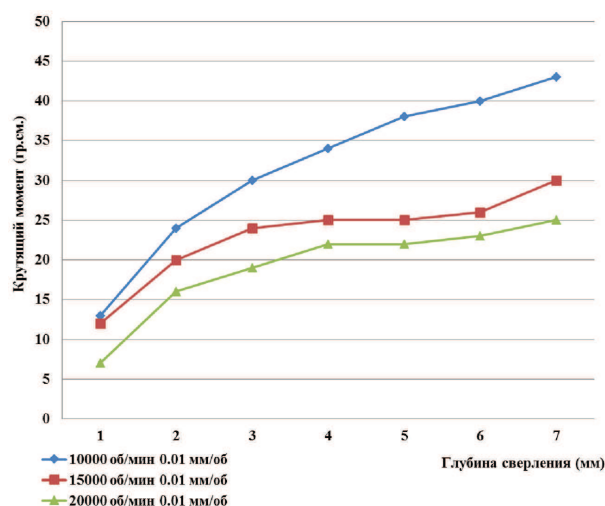
Фиг. 2. Прибор для измерения крутящего момента
Fig. 2. The device for measurement of torque

рычажным механизмом. В качестве измерительного элемента здесь тоже применяется упругий элемент с системой тензодатчиков, только более высокой точности измерения (0,12 грамм).

Эксперименты проводились сверлами из твердого сплава марки ВК60М диаметром ϕ 0,9 мм длиной спиральной канавки $l = 10$ мм. Передний угол и соответственно угол наклона спиральной канавки $\omega = 30^\circ$, задний угол составлял 18° .

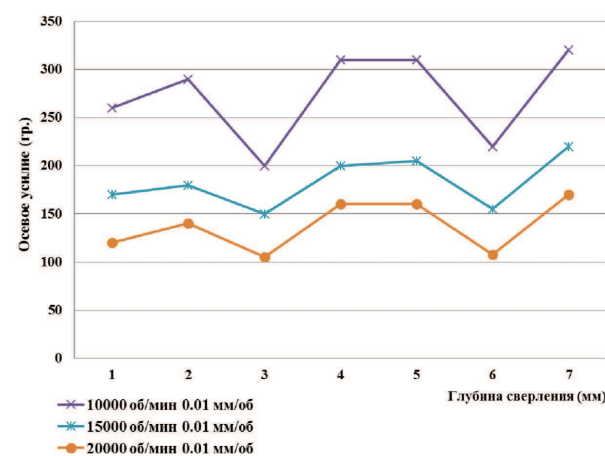
Осуществлялось сверление пакета печатных плат из стеклотекстолита толщиной 1,6 мм составленной из 5 пластин с общей толщиной 8 мм.

Сверление заготовок осуществлялось при разных режимах резания глубиной до 7 мм и через каждый 1 мм глубины фиксировались показания измерительных приборов. Для получения каждого показателя эксперименты повторялись 8 раз. Усредненные результаты экспериментов показаны на фиг. 3 и 4.



Фиг. 3. График крутящего момента для стандартных сверл $\omega = 30^\circ$

Fig. 3. The chart for standard drills $\omega = 30^\circ$



Фиг. 4. График осевого усилия для стандартных сверл $\omega = 30^\circ$

Fig. 4. The chart of axial efforts for standard drill $\omega = 30^\circ$

Из этих результатов явно видно, что, как и ожидалось, силовые нагрузки с увеличением глубины прогрессивно растут. При этом если осевое усилие растет приблизительно 1,5 раза, то величина крутящего момента увеличивается 3÷4 раза.

Ставится вопрос, чем вызван такой рост силовых показателей? Условия резания у режущей кромки сверла с увеличением глубины не меняется. Единственной причиной этого может быть увеличение площади контакта абразивной стружки с поверхностью обработанного отверстия и возникшего от него сил трения.

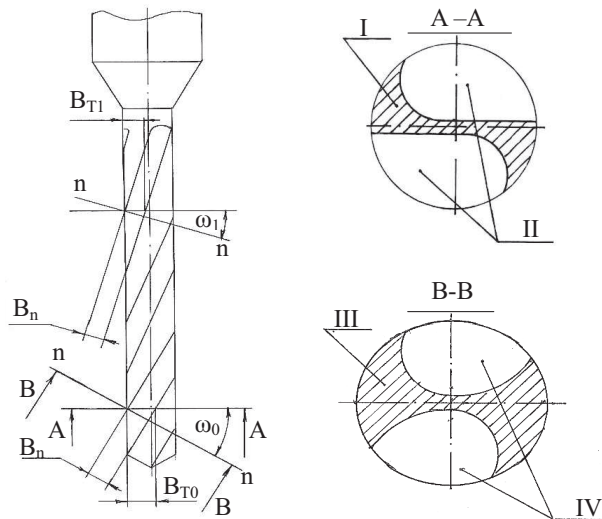
Нужно отметить, что резкое падение осевого усилия на участках глубины 2–3 и 5–6 (см. фиг. 4) обусловлено отсутствием на этих участках обрабатываемой заготовки медного слоя.

Главным фактором повышения вероятности хрупкого разрушения режущего инструмента из этих двух силовых показателей может стать не рост осевого усилия, а более прогрессивное увеличение крутящего момента, так как прочностные показатели твердосплавных материалов на сжатие значительно превышают показателей на кручение.

Улучшение процесса стружкоудаления из зоны резания способствовало бы уменьшению сил трения и соответственно повышению надежности процесса сверления. Проблему удаления стружки при сверлении глубоких отверстий в разных случаях решают разными путями. Например, при сверлении сверлами крупных размеров это осуществляют методом вымывания с помощью смазочно-охлаждающей жидкости, который подается в отверстие через каналы, выполненной в самом теле сверла. В других случаях, когда размеры сверл не дают возможность подачи охлаждающей жидкости вышеуказанным методом, с целью удаления стружки применяют прерывистый метод сверления, при котором после просверления определенной глубины периодически осуществляется отвод сверла из отверстия быстрым ходом.

Применение этих методов в нашем случае невозможно т.к. во первых дело имеем с микросверлами, во вторых применение смазочно-охлаждающей жидкости в производстве печатных плат не допустимо. Нецелесообразен и метод прерывистого сверления, так как это привело бы сильному падению производительности процесса. При обработке глубоких отверстий микросверлами ускоряющим фактором удаления стружки может стать увеличение шага спиральной канавки, то есть уменьшение угла наклона, но это привело бы к ухудшению условий резания, так – как уменьшится передний угол сверла.

Если конструкцию сверла выполнять таким образом, что у вершины сохранить нужный передний угол, а в направлении конца спиральной канавки постепенно уменьшить его угол наклона, то есть спиральную канавку нарезать с переменным углом и постепенно увеличить его шаг, это привело бы к ускорению процесса стружкоудаления и облегчило бы условия сверления [1, 2, 3, 4].



Фиг. 5.

Fig. 5. Drill scheme with vari-angle spiral grooves, I – The useful mechanical section of the drill, II – Face section of the groove, III – Useful normal section of the drill, IV – Normal section of the groove.

На фиг. 5 показана схема сверла с переменным углом наклона спиральной канавки, где угол наклона канавки у вершины сверла ω_0 , а в конце рабочей части ω_1 . Ширина канавки в нормальном сечении B_n по всей длине не меняется, но меняется в торцевом

сечении и у вершины составляет: $B_{T0} = \frac{B_n}{\cos \omega_0}$,

а в конце рабочей части – $B_{T1} = \frac{B_n}{\cos \omega_1}$.

Меняется и полезное торцевое сечение сверла.

Полезное сечение у вершины – $S_o = \frac{\Pi d^2}{4} - \frac{2S_n}{\cos \omega_0}$,

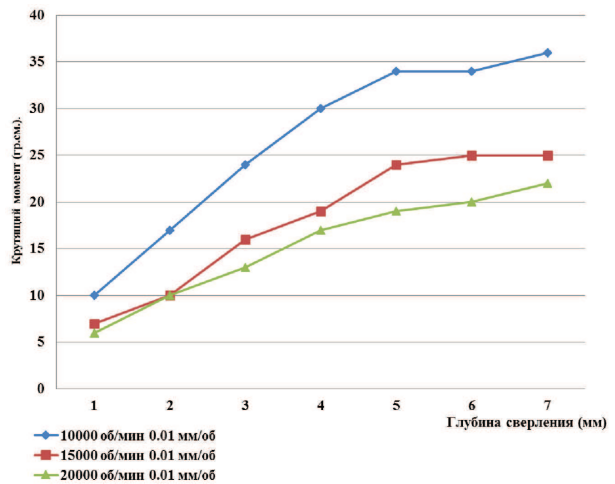
а в конце рабочей части – $S_1 = \frac{\Pi d^2}{4} - \frac{2S_n}{\cos \omega_1}$,

где B_n – площадь канавки в нормальном сечении, d – диаметр сверла.

Если учтём, что $\omega_0 > \omega_1$, то получается, что в направлении конца рабочей части полезное сечение сверла увеличивается. То есть такие сверла по сравнению с стандартными должны выдержать повышенные нагрузки.

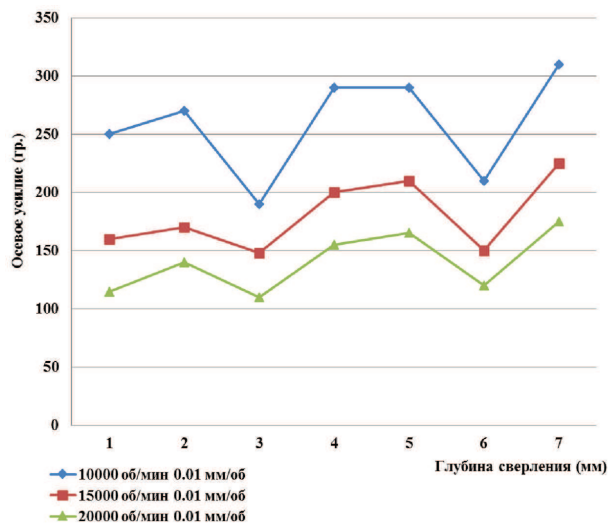
Нами были сконструированы и изготовлены опытные образцы сверл с переменным углом наклона $\omega = 30 - 17^\circ$, $\omega = 35 - 20^\circ$, $\omega = 40 - 22^\circ$ и $\omega = 43 - 23^\circ$.

На всех этих свёрлах были проведены такие же эксперименты, как на стандартных свёрлах. Из



Фиг. 6. График изменения крутящего момента для свёрл $\omega = 30 - 17^\circ$

Fig. 6. The chart of change of a torque for drills $\omega = 30 - 17^\circ$



Фиг. 7. График изменения осевого усилия для свёрл $\omega = 30 - 17^\circ$

Fig. 7. The chart of changes of axial efforts for drills $\omega = 30 - 17^\circ$

них самые лучшие результаты показали свёрла $\omega = 30 - 17^\circ$ (см. фиг. 6–7).

Анализ результатов

Анализ этих графиков показывает что: для свёрл $\omega = 30 - 17^\circ$ показатели осевого усилия почти не отличаются от стандартного сверла $\omega = 30^\circ$, что так и ожидалось, так как у этих сверл одинаковый передний угол и соответственно, условия резания у режущей кромки. Что касается показателей крутящего момента, они на сверле $\omega = 30 - 17^\circ$ в зависимости от режимов резания занижены на 12–16%-ов.

С целью сравнения стандартных свёрл $\omega = 30^\circ$ и свёрл с переменным углом наклона спиральной

канавки $\omega = 30 - 17^\circ$ эксперименты продолжались до их поломки.

Статистика показала, что поломка стандартных свёрл $\omega = 30^\circ$ происходит в диапазоне от 1150 до 1300 отверстий, а свёрл с переменным углом $\omega = 30 - 17^\circ$ от – 1400 до – 1600.

Выводы

1. Твердосплавные микросверла с переменным углом наклона спиральной канавки при глубоком сверлении пакета печатных плат обеспечивают улучшение интенсивности процесса стружкоудаления из обработанного отверстия, способствуя этим занижению сил трения и соответственно крутящего момента на оси сверла.
2. Выполнение спиральных канавок с постепенным занижением угла наклона ω – от вершины сверла в сторону конца рабочей части, обеспечивает увеличение полезного сечения сверла, занижая этим вероятность хрупкого разрушения.
3. Исходя из вышесказанного, появляется возможность изготовить сверла с удлинённой рабочей частью на 2–2,5 мм и в обрабатываемом пакете печатных плат добавить еще одну пластину, что даст возможность увеличить количество одновременно обрабатываемых плат и соответственно количество просверленных отверстий между переточками на 20%-ов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Turmanidze, D. Adamia, M. Amiridze. Influence of the Gradient Angle of the Screw Groove on Wear-Resistant of Fine-Sized Spiral Drills. Transactions of the Academy of Sciences of Georgia «Science and Technologies». Tbilisi, №10–12, 2002, 2 pages.
2. D. Adamia, V. Bachanadze, Z. Gviniashvili. Peculiarities of formation of shavings grooves of spiral drill of alloy with variable inclination. Transport and Machinebuilding. Tbilisi, #3(15), 2009.
3. R. Turmanidze, O. Kushnarenko, D. Adamia, Z. Gviniashvili. Fine-sized hardmetal spiral drills with variable setting angle of chip grooves. 10th International scientific conference “New Ways in Manufacturing Technologies”. NWMT-2010. 17–19 June 2010. Prešov, Slovak Republic. Pages 217–226.
4. R. Turmanidze, Z. Gviniashvili. Peculiarities of manufacture of fine-sized spiral drills with variable inclination angle of chip grooves and results of their tests. The 66th International Congress of Precision Machining ICPM 2011. Liverpool John Moores University, 13th–15th September 2011. Day 1. Liverpool. Pages 253–258.

Raul Turmanidze – Doctor of science, Prof., Head of the Department, Production Technologies of Mechanical Engineering department, Georgian Technical University, Tbilisi 0175, Georgia, e-mail: inform@gtu.ge

Vasili Bachanadze – Senior laboratory, Production Technologies of Mechanical Engineering department, Georgian Technical University

Giorgi Popkhadze – Undergraduate student, Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, Georgian Technical University

WPLÝW WYBRANYCH CZYNNIKÓW TECHNOLOGICZNYCH I EKSPLOATACYJNYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH BLACH TYTANOWYCH

The influence of chosen technological and operational factors on the bonded joints strength of titanium sheets

Anna RUDAWSKA, Anna WOLIŃSKA, Tomasz WARDA, Izabela MITURSKA

Streszczenie: Przedstawione w pracy badania doświadczalne dotyczyły wpływu wybranych czynników technologicznych oraz eksploatacyjnych na wytrzymałość połączeń klejowych blachy tytanowej. Przedmiotem badań były połączenia klejowe jendozakładkowe blachy tytanowej CP2 o grubości 0,64 mm, obciążone na ścinanie. Rozważanym czynnikiem technologicznym był rodzaj kleju, natomiast czynnikiem eksploatacyjnym – czas sezonowania połączeń klejowych w warunkach otoczenia. Zastosowano dwa rodzaje klejów epoksydowych dwuskładnikowych: Epidian 57/PAC/100:100 oraz Epidian 57/Z1/100:10. Przyjęto trzy warianty czasu sezonowania: 14, 21 i 28 dni oraz przygotowano próbki referencyjne, dla których czas utwardzania wynosił 7 dni. Utwardzanie przeprowadzono w temperaturze otoczenia $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Analizowane połączenia klejowe poddano badaniom niszczącym – wytrzymałościowym, w których określono wytrzymałość na ścinanie, zgodnie z normą DIN EN 1465, na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z150. Na podstawie wyników badań zauważono, że największą wytrzymałość na ścinanie charakteryzowały się połączenia blachy tytanowej CP2 wykonane za pomocą Epidianu 57/PAC/1:1. Ponadto w obu przypadkach wykonanych połączeń klejowych blachy tytanowej CP2 z wykorzystaniem klejów epoksydowych Epidian 57/PAC/100:100 oraz Epidian 57/Z1/100:10, najwyższą wartość wytrzymałości tych połączeń osiągnięto po 7 dniach utwardzania.

Słowa kluczowe: połączenia klejowe, wytrzymałość, blachy tytanowe, klej, czas sezonowania

Abstract: The paper presents the experimental research focused on the impact of selected technological and operational factors on the strength of adhesive joints of titanium sheet. The single-lap joints of titanium sheet of 0.64 mm thickness were tested, which were subjected to shear. The type of adhesive as technological factor and seasoning time in ambient conditions as operational factor were considered. Two types of two-component epoxy adhesives: Epidian 57/PAC/100:100 and Epidian 57/Z1/100:10 were used. Three variants of the seasoning time: 14, 21 and 28 days and prepared reference samples, for which the curing time was 7 days, were tested. Curing is carried out at an ambient temperature of $25 \pm 2^\circ\text{C}$. The adhesive joints were destructive tested. The shear strength, in accordance with DIN EN 1465, were tested in Zwick/Roell Z150 strength machine. On the basis of the results of research it has been noted that the largest shear strength of CP2 titanium sheet adhesive joints preparing by Epidianu 57/PAC/1:1 was obtained. In addition, in both cases of tested CP2 titanium sheet adhesive joints making by epoxy adhesives Epidian 57/PAC/100:100 and Epidian 57/Z1/100:10, the highest values of the strength of these joints were achieved after 7 days of curing.

Keywords: adhesive joints, strength, epoxy adhesives, seasoning time

Wprowadzenie

Kleje odgrywają coraz większą rolę w nowoczesnym przemyśle i stają się niezbędne podczas wykonywania połączeń montażowych w wielu gałęziach przemysłu: maszynowego, motoryzacyjnego, lotniczego oraz budowlanego [1-4].

Istotną zaletą połączeń klejowych jest możliwość uzyskania połączenia o konstrukcji lekkiej, sztywnej, wytrzymałej oraz bezpiecznej. Dodatkowo, połączenia klejowe mają właściwości pozwalające na tłumienie drgań oraz zapewniające dobrą szczelność (co nie zapobiega powstawaniu korozji). Ponadto warstwa kleju jest dobrym izolatorem elektrycznym, a także pozwala na wykluczenie dostępu wilgoci do wnętrza połączenia. Kolejną zaletą jest możliwość łączenia różnego rodzaju materiałów – za pomocą klejów można połączyć niemal wszystkie materiały (tworzywa, metale, szkło, drewno,

kamień, gumę i inne) i praktycznie w dowolnych układach [4].

Połączenia klejowe oprócz zalet mają również wady, do których należy zaliczyć m.in. brak kleju uniwersalnego, który w równie dobry sposób łączyłby wszystkie materiały [5-6]. Inną niekorzystną cechą jest skomplikowana technologia klejenia, która wpływa na wytrzymałość połączeń klejowych. Ponadto należy zauważyć, że połączenie powinno być tak skonstruowane, aby naprężenia występujące w spoinie klejowej przyczyniły się do uzyskania jak największej wytrzymałości. Podczas przedstawiania wad nie należy zapominać również o okresie użytkowania elementów klejonych, który jest związany z procesem starzenia spoin klejowych [6-8]. Na wymienione czynniki wpływa m.in. proces utwardzania i sezonowania spoiny klejowej, a różnorodne zagadnienia związane z tą problematyką zaprezentowano m.in. w pracach [9-13], podkreślając konieczność prowadzenia dalszych prac

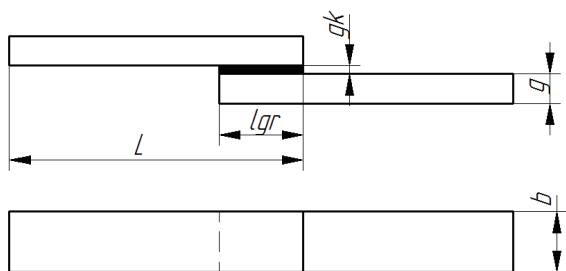
badawczych ze względu na specyfikę połączeń klejowych różnych materiałów konstrukcyjnych utwardzanych i sezonowanych w różnych warunkach.

W artykule dokonano porównania wytrzymałości połączeń klejowych blachy tytanowej CP2, wykonanych przy użyciu dwóch rodzajów klejów epoksydowych, złożonych z żywicy Epidian 57 oraz dwóch różnych utwardzaczy: Z1 i PAC, sezonowanych w czasie 14, 21 i 28 dni.

Metodyka badań

Łączony materiał i połączenie klejowe

W badaniach wykorzystano próbki wykonane z blachy tytanowej o oznaczeniu CP2 (Grade 2 – wg ASTM B265 [14]) i grubości $g = 0,64$ mm oraz pozostałych wymiarach: $b=25$ mm oraz $L=100$ mm. Analizie wytrzymałościowej poddano połączenia klejowe jednozakładkowe blachy tytanowej CP2 obciążone na ścinanie (rys. 1).



Rys. 1. Połączenie klejowe blachy tytanowej CP2
Fig. 1. The bonded joint of CP2 titanium sheet

Długość zakładki obliczono ze wzoru na graniczną długość połączenia zakładkowego przedstawionego w pracy [1]. Przyjęto długość zakładki połączenia klejowego o wymiarze 12 mm.

Przygotowanie powierzchni blach tytanowych do klejenia

Jako sposób przygotowania powierzchni próbek blach tytanowych do klejenia zastosowano odtłuszczenie, do którego wykorzystano środek odtłuszczający Loctite 7063 [6]. Proces odtłuszczenia polegał na 3-krotnym nałożeniu odtłuszczacza metodą spryskiwania na łączone powierzchnie i przetarcia ich ręcznikiem papierowym. Po ostatnim etapie nałożenia środka, odtłuszczacz pozostawiono do samoistnego wyschnięcia i odparowania. Czas od momentu odtłuszczenia do momentu nałożenia kleju wyniósł 10 min. Odtłuszczenie przeprowadzono w temperaturze $25\pm 2^\circ\text{C}$, przy wilgotności powietrza wynoszącej 21–23%.

Kleje, warunki utwardzania oraz warianty sezonowania

Do wykonania połączeń klejowych wykorzystano dwa rodzaje klejów epoksydowych, których skład

zamieszczono w tab. 1. Kompozycję klejową żywicy epoksydowej Epidian 57 oraz utwardzacza PAC połączono w stosunku stechiometrycznym 1:1, natomiast z utwardzaczem Z1 w stosunku 10:1 [8].

Tabela 1. Rodzaje klejów epoksydowych
Table 1. Type of epoxy adhesives

Żywica epoksydowa	Utwardzacz	Stosunek stechiometryczny składników	Oznaczenie
Epidian 57	PAC	100:100	Epidian 57/ PAC/1:1
Epidian 57	Z1	100:10	Epidian 57/ Z1/10:1

Do odmierzenia składników posłużono się wagą typu TP-2/1 (producent FAWAG S.A. Lubelskie Fabryki WAG) z certyfikatem ISO9001 o dokładności 0,1 g.

Połączenia klejowe były utwardzane jednostopniowo w temperaturze otoczenia $25\pm 2^\circ\text{C}$, przy wilgotności powietrza 21–23% w czasie 7 dni. Kompozycja klejowa użyta do połączenia blachy tytanowej CP2 sporządzana była tuż przed nakładaniem na jedną z łączonych powierzchni. Masę klejową nakładano jednym pociągnięciem pędzla, co pozwoliło znacząco uniknąć wprowadzenia pęcherzyków powietrza do spoiny klejowej. Starannie połączono obie płytki, ustalając stosowną długość zakładki (wykorzystując do tego celu przyrząd ustalający [15]) i obciążono próbki obciążnikiem o masie ok. 0,5 kg na 4 dni.

Zastosowane w badaniach warianty czasu sezonowania połączeń klejowych opisano w tab. 2. Połączenia klejowe utwardzane przez 7 dni stanowiły próbki referencyjne. W każdym wariantie sezonowania oraz w odniesieniu do próbek referencyjnych wykonano po 10 połączeń klejowych.

Tabela 2. Warianty sezonowania połączeń klejowych blachy tytanowej CP2
Table 2. Seasoning variants of CP2 titanium sheet bonded joints

Wariant sezonowania	Temperatura [°C]	Wilgotność powietrza [%]	Nacisk, Pa	Czas sezonowania, dni
Wariant I	25±2	22±1	637	14
Wariant II				21
Wariant III				28

Po utwardzeniu (próbki referencyjne) oraz sezonowaniu (uwzględniając 3 analizowane warianty) połączenia klejowe blachy tytanowej CP2 poddano próbie niszczącej na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z150, zgodnie z normą DIN EN 1465 [16], przy prędkości badania 5 mm/min. Wykonanie tych badań miało na celu określenie wytrzymałości połączeń klejowych na ścinanie.

Wyniki badań

Wytrzymałość połączeń klejowych wykonanych za pomocą kleju Epidian 57/PAC/1:1

Na rys. 2 przedstawiono wpływ czasu utwardzania oraz sezonowania na wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych blachy tytanowej CP2, wykonanych przy użyciu kleju Epidian 57/PAC/1:1. Średnie wartości wytrzymałości na ścinanie zostały wyliczone na podstawie od 8 do 10 wyników pomiarów.

Analizując wyniki badań zestawione na rys. 2 można zauważyć, że najwyższą maksymalną wytrzymałość osiągnięto po 7 dniach utwardzania – 13,8 MPa. Natomiast najmniejsza wytrzymałość połączeń klejowych blachy tytanowej CP2 na ścinanie połączeń klejowych została otrzymana po 28 dniach sezonowania, która stanowi 78% najwyższej wartości wytrzymałości osiągniętej po 7 dniach utwardzania. Nieco wyższą wartość wytrzymałości na ścinanie badanych połączeń z wynikiem 12,3 MPa osiągnięto po 14 dniach sezonowania, stanowiącą 89 % wartości najwyższej wytrzymałości na ścinanie. Natomiast po 21 dniach sezonowania osiągnięto średnią wartość wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych blachy tytanowej CP2 na poziomie 13,0 MPa, co stanowi 94% wytrzymałości połączeń klejowych utwardzanych przez 7 dni.

Wytrzymałość połączeń klejowych wykonanych klejem Epidian 57/Z1/10:1

Na rys. 3 zestawiono wyniki wytrzymałości połączeń klejowych blachy tytanowej CP2, wykonanych przy użyciu kleju Epidian 57/Z1/10:1.

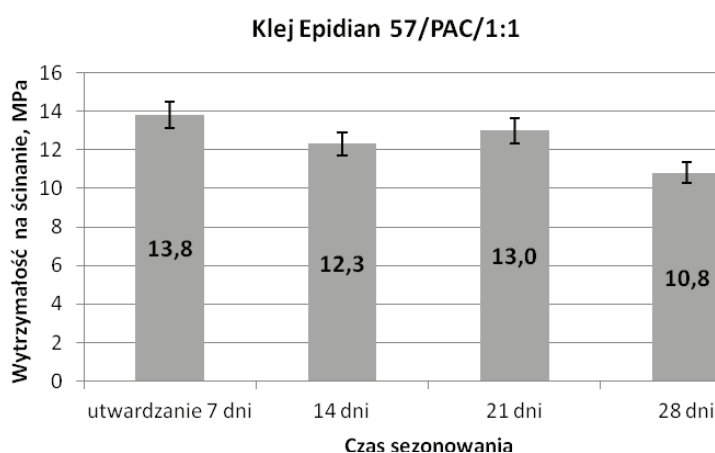
Na podstawie wyników badań wytrzymałości na ścinanie analizowanych połączeń uwzględniających czas utwardzania oraz sezonowania (rys. 3) zaobserwowano, że także w przypadku zastosowania kleju Epidian 57/Z1/10:1 najwyższą wytrzymałość osiągnięto po 7 dniach utwardzania i wynosi ona 12,4 MPa. Natomiast najmniejszą wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych blachy tytanowej CP2 osiągnięto po 14 dniach sezonowania, co stanowi 52% wartości najwyższej wartości wytrzymałości, osiągniętej po 7 dniach utwardzania.

Porównanie wyników badań

Na rys. 4 zaprezentowano porównanie wyników wpływu czasu utwardzania i sezonowania połączeń klejowych, uwzględniając wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych blachy tytanowej CP2, wykonanych za pomocą dwóch rodzajów klejów epoksydowych.

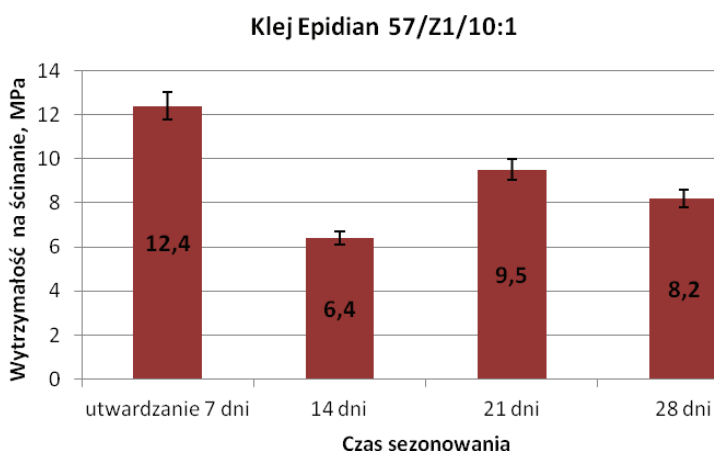
Porównując uzyskane wyniki przedstawione na wykresie (rys. 4) wytrzymałości połączeń klejowych, obciążonych na ścinanie blachy tytanowej CP2 za pomocą dwóch rodzajów klejów epoksydowych, można zauważyć (stosując wariant utwardzania jednostopniowego oraz różne czasy sezonowania), że:

- po 7 dniach utwardzania, wytrzymałość połączeń klejowych blachy tytanowej CP2, wykonanych klejem Epidian 57/Z1/10:1 stanowi 90% wytrzymałości połączeń klejowych przygotowanych z użyciem kleju Epidian 57/PAC/1:1,
- wytrzymałość połączeń klejowych blachy tytanowej CP2 wykonanych klejem Epidian 57/Z1/10:1,



Rys. 2. Wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych blachy tytanowej CP2, wykonanych przy użyciu kleju Epidian 57/PAC/1:1, uwzględniając czas utwardzania i sezonowania

Fig. 2. Shear strength of CP2 titanium sheet bonded joints preparing by Epidian 57/PAC/1:1 adhesive, hardening and seasoning time considering



Rys. 3. Wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych blachy tytanowej CP2 wykonanych przy użyciu kleju Epidian 57/Z1/10:1, uwzględniając czas utwardzania i sezonowania

Fig. 3. Shear strength of CP2 titanium sheet bonded joints preparing by Epidian 57/Z1/10:1 adhesive, hardening and seasoning time considering

określona po 14 dniach sezonowania, stanowi 52% wytrzymałości połączeń klejowych przygotowanych z użyciem kleju Epidian 57/PAC/1:1,

- wytrzymałość połączeń klejowych blachy tytanowej CP2 wykonanych klejem Epidian 57/Z1/10:1, sezonowanych w ciągu 21 dni, stanowi 73% wytrzymałości połączeń klejowych przygotowanych z użyciem kleju Epidian 57/PAC/1:1,
- po 28 dniach sezonowania, wytrzymałość połączeń klejowych blachy tytanowej CP2 wykonanych klejem Epidian 57/Z1/10:1 stanowi 76% wytrzymałości połączeń klejowych przygotowanych z użyciem kleju Epidian 57/PAC/1:1.

Odnosząc się ogółem do przedstawionych na wykresie (rys. 4) wyników wytrzymałości na ścinanie analizowanych połączeń klejowych można stwierdzić, że:

- połączenia przygotowane za pomocą kleju epoksydowego Epidian 57/PAC/1:1 wykazują wyższą wytrzymałość,
- wytrzymałość połączeń klejowych maleje wraz ze wzrostem czasu sezonowania połączeń klejowych.

Na podstawie otrzymanych wyników badań (rys. 3 i rys. 4), związanych z wpływem czasu sezonowania na wytrzymałość połączeń zauważono, że w przypadku połączeń klejowych wykonanych z zastosowaniem obu rodzajów klejów, czas sezonowania 14 dni przyczynia się do uzyskania mniejszej wytrzymałości połączeń klejowych niż próbek referencyjnych (utwardzanych 7 dni) oraz połączeń klejowych sezonowanych 21 dni. Być może jest to związane z procesami chemicznymi zachodzącymi podczas procesu utwardzania i sezonowania. Otrzymane rezultaty stały się podstawą do zaplanowania dalszych badań związanych z czasem sezonowania,

zarówno w czasie do 21 dni po procesie utwardzania, jak i dłuższym.

Podsumowanie i wnioski

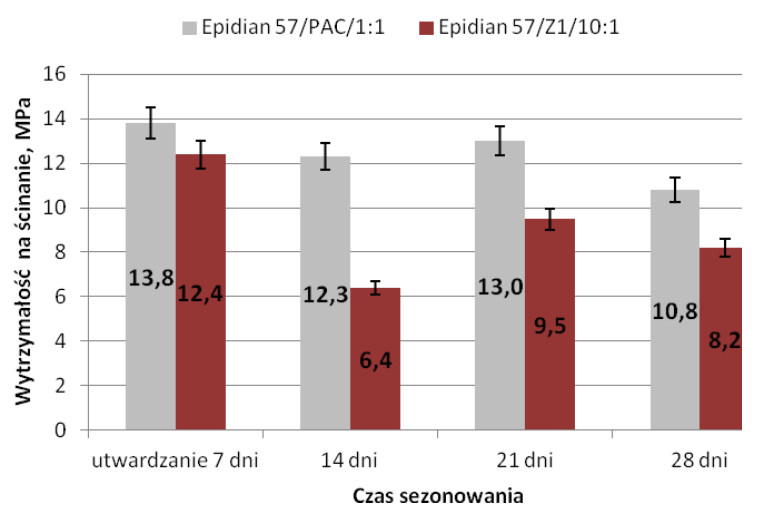
Przedmiotem przeprowadzonych badań były połączenia klejowe blachy tytanowej CP2, wykonane klejami epoksydowymi dwuskładnikowymi – Epidian 57/PAC/1:1 i Epidian 57/Z1/10:1. Przeprowadzone badania dotyczyły wytrzymałości połączeń klejowych, poddanych różnym czasom sezonowania w warunkach laboratoryjnych.

Czas sezonowania połączeń klejowych oraz rodzaj utwardzacza były czynnikami zmiennymi w badaniach, natomiast czynniki takie jak: rodzaj żywicy, przygotowanie powierzchni oraz inne warunki wykonywania połączeń pozostały niezmiennie.

Na podstawie otrzymanych wyników badań wytrzymałościowych oraz ich analizy można sformułować następujące wnioski:

- wytrzymałość połączeń klejowych zmniejsza się wraz z upływem czasu sezonowania połączeń w warunkach laboratoryjnych,
- największą wytrzymałością charakteryzowały się połączenia klejowe blachy tytanowej CP2, wykonane za pomocą Epidianu 57/PAC/1:1, utwardzanego w czasie 7 dni w temperaturze otoczenia,
- rozpatrując rodzaj zastosowanego kleju (a zwłaszcza rodzaj utwardzacza), połączenia klejowe blachy tytanowej CP2 wykonane za pomocą kleju Epidian 57/Z1/10:1, utwardzane w ciągu 7 dni, charakteryzują się mniejszą wytrzymałością na ścinanie w porównaniu do badanych połączeń klejowych wykonanych przy użyciu kleju Epidian 57/PAC/1:1, czyli w rozważanych przypadkach korzystnie jest zastosować klej epoksydowy zawierający utwardzacz PAC,
 - w przypadku połączeń blachy tytanowej CP2 wykonanych za pomocą dwóch rodzajów klejów epoksydowych – Epidian 57/PAC/1:1 oraz Epidian 57/Z1/10:1, najwyższą ich wytrzymałość osiągnięto po 7 dniach utwardzania.

Podsumowując, można stwierdzić, że na wytrzymałość połączenia klejowego istotny wpływ ma m.in. odpowiedni dobór kleju oraz czynniki związane z utwardzaniem i sezonowaniem połączeń klejowych. Znajomość czynników wpływających na wytrzymałość połączeń klejowych pozwala zaprojektować połączenia klejowe w taki sposób, aby charakteryzowały się jak najwyższą wytrzymałością. Przewiduje się uzupełnienie przedstawionych badań sezonowania połączeń klejowych, zarówno w warunkach otoczenia, jak i w warunkach podwyższonej temperatury, uwzględniając różne czasy sezonowania.



Rys. 4. Porównanie wytrzymałości na ścinanie połączeń blachy tytanowej CP2 wykonanych za pomocą dwóch rodzajów klejów epoksydowych, uwzględniając czas utwardzania i sezonowania

Fig. 4. Comparison of shear strength of CP2 titanium sheet bonded joints preparing by epoxy adhesives, hardening and seasoning time considering

LITERATURA

- [1] Czaplicki J. i in. 1987. „Klejenie tworzyw konstrukcyjnych”. Warszawa: WKiŁ.
- [2] Godzimirski J. 1993. „Wpływ czynników konstrukcyjnych i technologicznych na wytrzymałość połączeń klejowych”. *Przegląd Mechaniczny* (13): 18–21.
- [3] „Kleje i klejenie. Poradnik inżyniera i technika” red. Charles V. Cagle. 1977. Warszawa: WNT.
- [4] Brockmann W. et. al. 2009. “Adhesive Bonding. Materials, Applications and Technology”. Weinheim: Wiley-VCH.
- [5] Kuczmazewski J. 1995. „Podstawy konstrukcyjne i technologiczne oceny wytrzymałości adhezyjnych połączeń metali”. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej.
- [6] Rudawska A. 2013. „Wybrane zagadnienia konstytuowania połączeń adhezyjnych jednorodnych i hybrydowych”. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej.
- [7] Rudawska A. 2009. „Wytrzymałość połączeń klejowych blach tytanowych po różnych sposobach przygotowania powierzchni”. *Inżyniera Materiałowa* (5): 341–345.
- [8] Brojer Z., Z. Hertz, P. Pęczek. 1982. „Żywice epoksydowe”. Warszawa: WNT.
- [9] Ellis B. 1993. “Chemistry and Technology of Epoxy Resins”. Dordrecht: *Springer Science+Business Media*.
- [10] Tsuchida K., J.P. Bell. 2000. “A new epoxy/episulfide resin system for coating applications: curing mechanism and properties”. *International Journal of Adhesion and Adhesives* (20): 449–456.
- [11] Lapique F., K. Redford. 2002. “Curing effects on viscosity and mechanical properties of a commercial epoxy resin adhesive”. *International Journal of Adhesion and Adhesives* (22): 337–346.
- [12] Du S. et. al. 2004. “Cure kinetics of epoxy resin used for advanced composites”. *Polymer International* (53): 1343–1347.
- [13] Rudawska A., M. Czarnota. 2013. “Selected aspects of epoxy adhesive compositions curing process”. *Journal Adhesion Science and Technology* (27): 1933–1950.
- [14] ASTM B265-15 Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Strip, Sheet, and Plate.
- [15] Rudawska A., Ł. Dzwonkowski. „Przyrząd do ustalania próbek połączeń klejowych, zwłaszcza powierzchni płaskich”. Zgłoszenie patentowe P403112.
- [16] DIN EN 1465. Adhesives. Determination of tensile lap-shear strength of bonded joints.

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

Inż. Anna Wolińska – absolwentka Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej

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

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

ANALIZA STANU POWIERZCHNI PO CIĘCIU HYDROABRAZYWNYM METALOWYCH KOSTRUKCJI PRZEKŁADKOWYCH

Analysis of the surface after hydro-abrasive cutting of metal sandwich structure

Mariusz KŁONICA, Józef KUCZMASZEWSKI, Paweł PIEŚKO

Streszczenie: W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań jakości powierzchni po cięciu próbek klejonych różnymi klejami epoksydowymi. Z punktu widzenia efektywności procesów montażowych ważne jest, aby powierzchnie te nie wymagały dodatkowych operacji, takich jak usuwanie zadziorów czy operacji o charakterze wykończeniowym. Materiałami klejonymi była stal 316L oraz stop tytanu Ti6Al4V. Badane materiały klejono w układzie klasycznej zakładki oraz w układzie „sandwich” w różnych wariantach. Proces cięcia realizowano z użyciem technologii „waterjet” ze zmiennym parametrem pracy v_f . W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące wartości swobodnej energii powierzchniowej oraz wybranych parametrów chropowatości powierzchni klejonych materiałów. Przedstawiono także topografię powierzchni powstałej w wyniku przecięcia łączonych materiałów oraz kąt ukosowania powierzchni po cięciu strugą wodno-ścierną. Pracę zakończono wnioskami.

Słowa kluczowe: technologia „waterjet”, połączenia klejowe, warstwa wierzchnia

Abstract: The paper presents selected results of the surface quality measurements after cutting the samples bonded using different epoxy adhesives. From the point of view of efficiency of assembly processes, it is important that these surfaces do not require additional operations such as deburring or finishing operations. Materials were adhesive disc: 316L steel and Ti6Al4V titanium alloy. The test materials were bonded in conventional lap joint and in a “sandwich” in the different variants. The cutting process was realized with the use of “waterjet” technology under variable speed v_f . The article presents the results of research on the value of surface free energy and selected parameters of surface roughness of bonded materials, shows the topography of the surface created by the intersection of the materials to be joined, and the angle of the bevel surface after cutting by jet of water and abrasive. Conclusions from the tests are presented at the final stage of the paper.

Key words: “waterjet” technology, adhesive joints, surface layer

Wstęp

W nowoczesnych konstrukcjach często projektuje się struktury ściśle ukierunkowane na oczekiwane właściwości. W konsekwencji prowadzi to do łączenia ze sobą (łącznikowo bądź bezłącznikowo), materiałów istotnie różniących się cechami fizycznymi i technologicznymi. Konstrukcje warstwowe często są kłopotliwe w obróbce – różne materiały składające się na takie elementy wymagają doboru technologicznych parametrów obróbki oraz narzędzi i ich cech geometrycznych, które zapewnią w największym stopniu realizację oczekiwań jakościowych i ekonomicznych.

Nowoczesne metody rozdzielania materiałów, zarówno na etapie przygotowania półfabrykatów, jak i w niektórych przypadkach jako operacje kształtujące, w wielu przypadkach zapewniają jakość i dokładność powierzchni, spełniając ostateczne wymagania [5, 8, 9]. Dlatego też istotna jest znajomość takich warunków obróbki, które zapewniają uzyskanie standardów na etapie obróbki lub montażu, akceptowalnych jako standardy ostateczne.

W technologii montażu maszyn i urządzeń, połączenia klejowe zyskują coraz większe znaczenie spośród różnych rodzajów wykonywanych w przemyśle połączeń materiałów konstrukcyjnych [2, 3, 4, 6, 7, 12, 13]. Jest to spowodowane przede wszystkim szybkim rozwojem materiałów adhezyjnych, stosowanych w przemyśle.

Obecnie stosunkowo dużo elementów konstrukcji poddawanych jest cięciu wiązką laserową bądź strumieniem wodno-ściernym [11]. Operacje te mogą być operacjami końcowymi w procesie technologicznym, co ma decydujące znaczenie podczas eksploatacji danego elementu.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono na próbkach klejonych ze stali 316L (grubość 2 mm) oraz stopu tytanu Ti6Al4V (grubość 1,6 mm). Wymiary próbek to 20 × 100 mm. Przed wykonaniem połączenia klejowego próbki ze stali 316L oraz ze stopu tytanu poddano obróbce mechanicznej (szlifierka oscylacyjna) narzędziem nasypowym o ziarnistości P320 w czasie 30 s. Wszystkie próbki oczyszczono i odtłuszczono trzykrotnie środkiem odtłuszczającym Loctite 7063, a następnie sklejono w następujących wariantach: 316L – 316L, 316L – 316L – 316L, 316L – Ti6Al4V – 316L, 316L – Ti6Al4V, Ti6Al4V – 316L – Ti6Al4V, Ti6Al4V – Ti6Al4V oraz Ti6Al4V – Ti6Al4V – Ti6Al4V. Utworzono więc struktury przekładkowe w których elementami były dwa materiały trudnoobrabialne i różniące się cechami fizycznymi. W badaniach wykorzystano żywicę epoksydową Epidian 5 z utwardzaczem PAC (w ilości 80% masowo w stosunku do żywicy) oraz klej Hysol 9484 firmy Loctite. Proces sieciowania kleju przebiegał

w temperaturze otoczenia wynoszącej 21–24°C, przy wilgotności względnej (40–55%). Wartość ciśnienia jednostkowego, wywieranego na powierzchnię próbek w procesie klejenia wynosiła 0,2 MPa. Czas utwardzania ustalono na stałym poziomie 168 godz.

Przed wykonaniem połączeń klejowych przeprowadzono analizę stanu energetycznego warstwy wierzchniej materiałów klejonych. Wartość swobodnej energii powierzchniowej określono w sposób pośredni, wykorzystując pomiary kątów zwilżania. Do tego celu wykorzystano goniometr PGX. Użyte ciecze do pomiarów kąta zwilżania наносzono na badaną powierzchnię w sposób automatyczny, w postaci kropli o stałej objętości 4 µl. Pomiar kąta zwilżania wodą destylowaną i diiodometanem był wykonany minimum dziesięć razy na każdej z badanych próbek.

Pomiary wybranych parametrów chropowatości powierzchni przeprowadzono na urządzeniu do pomiaru konturu, chropowatości i topografii 3D T8000 RC-120-400 firmy Hommel-Étamic. Urządzenie to było wyposażone w końcówkę pomiarową o promieniu 2 µm, natomiast długość odcinka elementarnego dobrano na podstawie literatury [1]. Analizie poddano następujące parametry chropowatości powierzchni: R_a – średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości, R_p – maksymalna wysokość piku profilu chropowatości, R_q – odchylenie średnie kwadratowe profilu chropowatości, R_t – całkowita wysokość profilu chropowatości, R_z – maksymalna wysokość profilu chropowatości. Przedstawione w artykule parametry z badań są zgodnie z normą PN-EN ISO 4287:1999/A1:2010P [10].

Cięcie próbek klejonych zrealizowano z wykorzystaniem technologii „waterjet” na urządzeniu firmy Eckert o nazwie Opal Waterjet Combo, wyposażonej w sterownik CNC ECS 872. Prędkość posuwu podczas badań wynosiła 200 oraz 350 mm/min.

W badaniach wykorzystano również mikroskop Keyence VHX-5000 w celu obrazowania i pomiarów kąta ukosowania powierzchni powstałej wskutek cięcia strugą wodno-ścierną.

Wyniki

W tab. 1 przedstawiono uśrednione wyniki wartości swobodnej energii powierzchniowej SEP wykorzystanych materiałów konstrukcyjnych po procesie obróbki mechanicznej narzędziem nasypowym o ziarnistości P320. W tab. zestawiono również składowe SEP – polarną oraz dyspersyjną. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie, podając odchylenie standardowe jako miarę rozrzutu uzyskanych wyników. Przed wykonaniem pomiarów kąta zwilżania cieczami pomiarowymi (wodą destylowaną i diiodometanem), na podstawie których wyznaczono wartość SEP, powierzchnie próbek oczyszczono oraz odtłuszczono trzykrotnie środkiem odtłuszczającym Loctite 7063. Wyznaczenie SEP wykonano w celu określenia poprawności przygotowania warstwy wierzchniej do operacji klejenia.

W tab. 2 przedstawiono uśrednione wartości wybranych parametrów chropowatości powierzchni stali 316L oraz stopu tytanu po obróbce mechanicznej narzędziem nasypowym o ziarnistości P320. Przeprowadzona obróbka mechaniczna narzędziami nasypowymi o ziarnistości P320, za pomocą szlifierki oscylacyjnej, skutecznie rozwija analizowaną powierzchnię materiałów konstrukcyjnych w znaczeniu geometrycznym oraz usuwa warstwę fizy-sorbcyjną.

Na rys. 1 przedstawiono powierzchnię po cięciu próbki strugą wodno-ścierną z widoczną spoiną klejową.

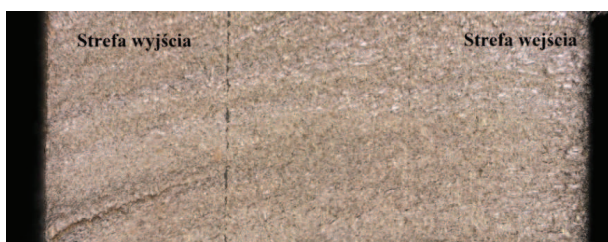
Na prezentowanym rysunku można dostrzec wyraźne różnice w topografii w strefie wejścia oraz wyjścia strugi wodno-ścierniej. Rys. 1 stanowi przykład powstałej

Tabela 1. Swobodna energia powierzchniowa oraz jej składowe materiałów klejonych
Table 1. Surface free energy and its components for adherends

Materiał		SEP [mJ/m ²]	Składowa polarna SEP [mJ/m ²]	Składowa dyspersyjna SEP [mJ/m ²]
316L	Wartość średnia	61,2	15,1	46,1
	Odchylenie standardowe	1,1	1,9	2,2
Ti6Al4V	Wartość średnia	68,6	20,7	47,9
	Odchylenie standardowe	1,2	1,3	1,5

Tabela 2. Parametry chropowatości powierzchni materiałów klejonych
Table 2. Parameters of surface roughness of adherends

Materiał		R_p [µm]	R_z [µm]	R_t [µm]	R_a [µm]	R_q [µm]
316L	Wartość średnia	0,33	1,24	1,95	0,10	0,14
	Odchylenie standardowe	0,014	0,112	0,159	0,015	0,023
Ti6Al4V	Wartość średnia	0,49	0,94	1,25	0,11	0,15
	Odchylenie standardowe	0,039	0,102	0,124	0,015	0,022

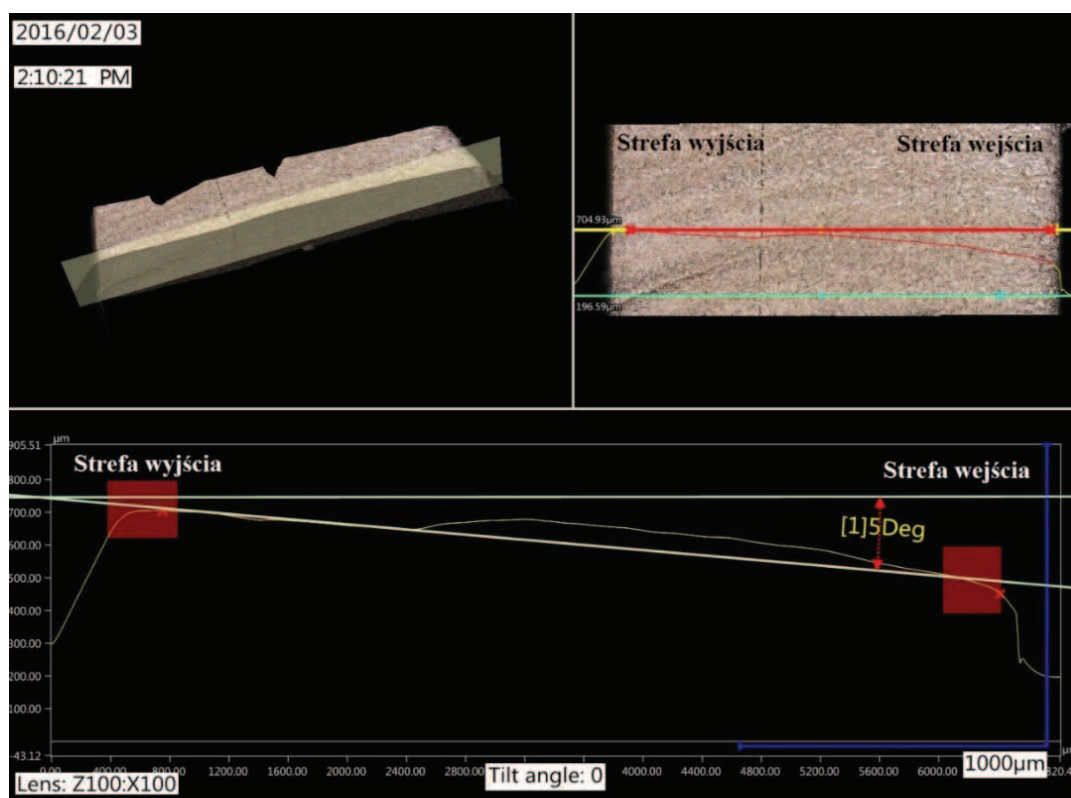


Rys. 1. Powierzchnia próbki 316L – 316L – 316L sklejonej klejem Hysol 9484 po cięciu strugą wodno-ścierną z $v_f = 350$ mm/min
Fig. 1. The surface of samples 316L – 316L – 316L bonded using adhesive Hysol 9484 after cutting jet of water and abrasive at $v_f = 350$ mm / min

powierzchni po cięciu. Próbkę została wykonana ze stali 316L, sklejonej klejem Hysol 9484. Nie widać istotnych zmian cech geometrycznych w obszarze sklejania, a jedynie różnice cech geometrycznych w obszarze wejścia i wyjścia strugi.

Rys. 2 przedstawia przykład pomiaru kąta ukosowania powierzchni po cięciu strugą wodno-ścierną. Jako przykład przedstawiono próbkę wykonaną ze stali 316L, sklejoną klejem Hysol 9484.

Rozszerzenie strugi w strefie wyjścia jest typowym błędem kształtu elementów po cięciu strugą wodno-ścierną. Może to być istotnym elementem oceny jakości jednostek montażowych.



Rys. 2. Kąt ukosowania powierzchni próbki wykonanej ze stali 316L klejonej klejem Hysol 9484 po cięciu strugą wodno-ścierną – posuw 350 mm/min

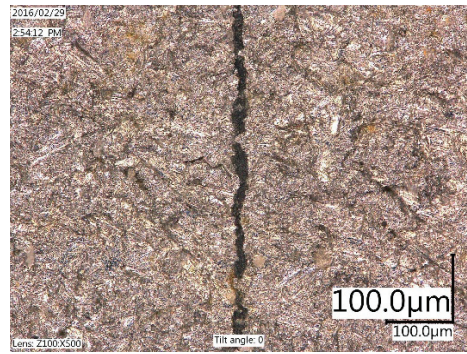
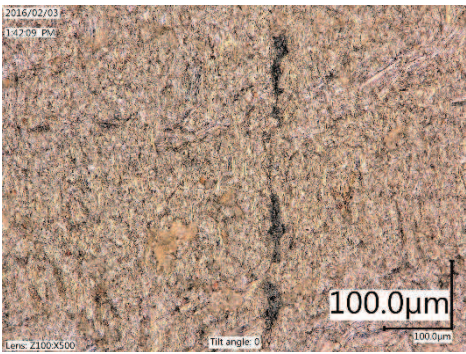
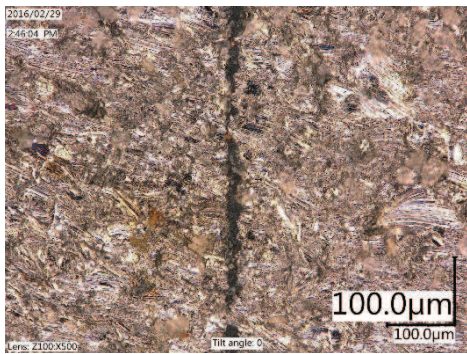
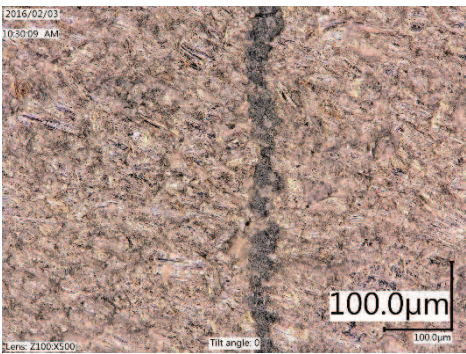
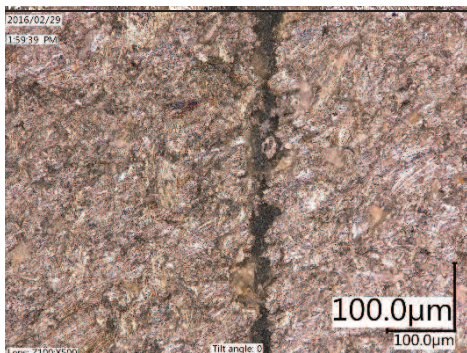
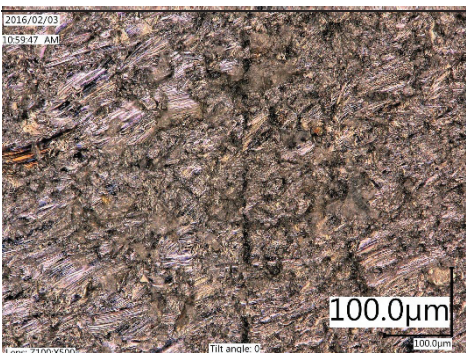
Fig. 2. The angle of the bevel of the sample surface made of steel 316L bonded using adhesive Hysol 9484 after cutting jet of water and abrasive – feed rate of 350 mm/min

Tabela 3. Kąt ukosowania próbek po cięciu strugą wodno-ścierną

Table 3. The angle of the bevel of samples after cutting jet of water and abrasive

Material	Klej	Posuw 200 mm/min		Posuw 350 mm/min	
		Hysol 9484	E5+PAC_80%	Hysol 9484	E5+PAC_80%
316L – 316L		6°	9°	9°	5°
316L – 316L – 316L		3°	2°	5°	5°
316L – Ti6Al4V – 316L		2°	0°	10°	9°
316L – Ti6Al4V		0°	7°	5°	8°
Ti6Al4V – 316L – Ti6Al4V		6°	3°	8°	11°
Ti6Al4V – Ti6Al4V		6°	5°	8°	6°
Ti6Al4V – Ti6Al4V – Ti6Al4V		3°	3°	3°	3°

Tabela 4. Fotografie powierzchni powstałej po cięciu strugą wodno-ścierną – klej Hysol 9484
 Table 4. Photographs of surface formed after cutting jet of water and abrasive – adhesive Hysol 9484

Material / Posuw	200 mm/min	350 mm/min
316L – 316L		
Ti6Al4V – Ti6Al4V		
316L – Ti6Al4V		

W tab. 3 przedstawiono wyniki pomiarów kąta ukosowania próbek po cięciu strugą wodno-ścierną. Największą wartość tego kąta zaobserwowano dla próbek przecinanych z prędkością posuwu 350 mm/min dla wariantu Ti6Al4V – 316L – Ti6Al4V, próbki klejono kompozycją klejową (Epidian 5 + PAC_80%). Wartość tego kąta wynosiła 11°. Dla próbek wykonanych ze stopu tytanu (wariant Ti6Al4V – Ti6Al4V – Ti6Al4V), klejonych klejem Hysol 9484 i kompozycją klejową na bazie żywicy epoksydowej (Epidian 5 + PAC_80%), bez względu na prędkość posuwu (200 mm/min oraz 350 mm/min) zaobserwowano stały kąt ukosowania powierzchni na poziomie 3°. Wynika stąd, że stal 316L hamuje i rozprasza strugę w stopniu większym od stopu tytanu.

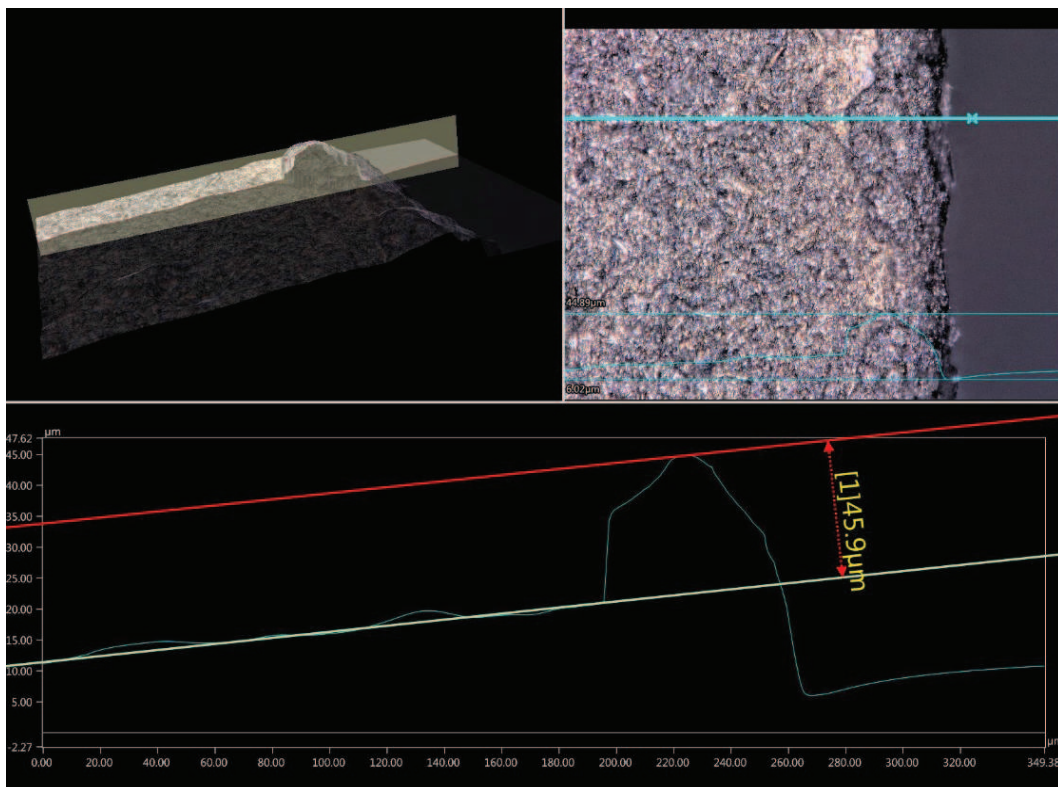
Po analizie uzyskanych wyników kąta ukosowania powierzchni powstałej po cięciu strugą wodno-ścierną można zaobserwować istotny wpływ prędkości posuwu

na wartość tego kąta. Dla wszystkich próbek przecinanych z prędkością posuwu 200 mm/min stwierdzono mniejsze wartości kąta ukosowania powstałej powierzchni w stosunku do próbek przecinanych z prędkością posuwu 350 mm/min.

W tab. 4 zestawiono wybrane rysunki powierzchni uzyskanych po cięciu strugą wodno-ścierną dla użytych materiałów. Fotografie przedstawione w tab. 4 zostały wykonane przy powiększeniu 500x. Można dostrzec wyraźną granicę między materiałem próbki a spoiną klejową.

Po przeprowadzonej analizie fotografii nie stwierdzono rozwarstwienia próbek po cięciu strugą wodno-ścierną (z różnymi prędkościami posuwu), co jest korzystne ze względów montażowych i eksploatacyjnych.

Na rys. 3 przedstawiono przykładowy pomiar wysokości zadziora powstałego w strefie wyjścia strugi wodno-ściernej, po przecięciu próbki klejonej klejem Hysol 9484



Rys. 3. Pomiar wysokości zadziora: Próbką klejona klejem Hysol 9484 przecinana z prędkością posuwu 200 mm/min – materiał 316L-Ti6Al4V-316L

Fig. 3. Measurement of the height burb of sample bonded using adhesive Hysol 9484 cut at a feed rate of 200 mm / min – material 316L-Ti6Al4V-316L

w wariantcie 316L-Ti6Al4V-316L. Proces cięcia realizowano z prędkością posuwu 200 mm/min.

Występowanie zadziora na stali 316 L potwierdza wcześniejsze ustalenia, że jest to materiał trudny do przecinania strugą wodno-ścierną, dlatego należy szczególnie starannie dobierać wartości technologicznych parametrów obróbki.

W tab. 5 przedstawiono wyniki pomiaru wysokości powstałych zadziorów po cięciu strugą wodno-ścierną wybranych wariantów z różnymi prędkościami posuwu. Przedstawione wyniki dotyczą próbek klejonych tylko klejem Hysol 9484.

Tabela 5. Wymiary zadziorów próbek klejonych klejem Hysol 9484

Table 5. Dimensions of burr for samples bonded with adhesive Hysol 9484

	Posuw 200 mm/min	Posuw 350 mm/min
316L-Ti-316L	45,9 μm	78,9 μm
Ti6Al4V-Ti6Al4V-Ti6Al4V	38,8 μm	56,2 μm

Po analizie uzyskanych wyników stwierdzono, że dla próbek wykonanych ze stopu tytanu (wariant Ti6Al4V-Ti6Al4V-Ti6Al4V) klejonych klejem Hysol 9484, przecinanych z prędkością posuwu 200 mm/min i 350 mm/min, wysokość powstałych zadziorów jest mniejsza od

wysokości zadziorów na próbkach wykonanych z udziałem stali 316L (wariant 316L-Ti6Al4V-316L). Ponadto stwierdzono, że wraz ze wzrostem prędkości posuwu wzrasta wysokość powstałych zadziorów na krawędzi w strefie wyjścia strugi wodno-ścierniej. Powstawanie zadziorów na krawędziach po cięciu strugą wodno-ścierną ma kluczowe znaczenie w montażu elementów maszyn.

Wnioski

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

1. Po przeprowadzonej analizie fotografii powstałych powierzchni po przecinaniu strugą wodno-ścierną nie stwierdzono rozwarstwień lub innych uszkodzeń w strefie złącza klejowego, co rekomenduje tę technologię do przecinania klejowych struktur przekładkowych.
2. Największą wartość kąta ukosowania zaobserwowano dla próbek przecinanych z prędkością posuwu 350 mm/min dla wariantu Ti6Al4V-316L-Ti6Al4V. Próbki klejono kompozycją klejową (E5/PAC_80%), a kąt ukosowania wynosił 11°. Fakt ten powinien być uwzględniany przy projektowaniu technologii.
3. Po przeprowadzonych badaniach jednoznacznie stwierdzono istotny wpływ prędkości posuwu strugi wodno-ścierniej na wartość wysokości powstałych zadziorów na krawędzi w strefie wyjścia.

4. Z przeprowadzonych badań wynika, że stal 316L jest materiałem trudniej poddającym się procesowi cięcia hydroabrazywnego niż stop tytanu.
5. Badania wskazują, że warstwa kleju nie ulega istotnej degradacji w procesie cięcia analizowanych struktur warstwowych.
6. Wykonane analizy dokładności kształtu oraz chropowatości powierzchni wskazują, że w niektórych sytuacjach obróbka strugą wodno-ścierną może być obróbką ostateczną.

LITERATURA

- [1] „Specyfikacje Geometrii Wyrobów (GPS) – wykład dla uczelni technicznych” red. Humienny Z. 2001. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej s. 540.
- [2] Blicharski M. 2009. „Inżynieria powierzchni”. Warszawa: WNT.
- [3] Ciecińska B., R. Perłowski. 2013. „Swobodna energia powierzchniowa wybranych materiałów lotniczych po obróbce laserowej”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (1): 56–62.
- [4] Jańczuk B., T. Białopiotrowicz. 1987. „Swobodna energia powierzchniowa niektórych polimerów”. *Polimery* (32): 269–271.
- [5] Kłonica M. et. al. 2016. „Polyamide 6 surface layer following ozone treatment”. *International Journal of Adhesion and Adhesives* (64): 179–187.
- [6] Kłonica M. 2015. “Impact of thermal fatigue on young’s modulus of epoxy adhesives”. *Advances in Science and Technology Research Journal* 9 (29): 103–106.
- [7] Kubit A., T. Mączka. 2012. „Zastosowanie techniki wizyjnej w pomiarze odkształcenia bezwzględnego warstwy kleju w spoinie”. *Pomiary Automatyka Robotyka* (5): 91–97.
- [8] Kuczmaszewski J. 2006. “Fundamentals of metal-metal adhesive joint design”. Politechnika Lubelska, Oddział PAN w Lublinie.
- [9] Kwiatkowski M. et. al. 2013. “Comparative analysis of energetic properties of Ti6Al4V titanium and EN-AW-2017A (PA6) aluminum alloy surface layers for an adhesive bonding application”. *Ozone-Science & Engineering* 35 (3): 220–228.
- [10] PN-EN ISO 4287:1999/A1:2010P: Specyfikacje geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
- [11] Skoczył A. 2011. „Analiza porównawcza procesu cięcia wiązką laserową i strumieniem wodno-ściernym”. *Advances in Science and Technology* (8): 121–128.
- [12] Zielecki W. et. al. 2013. “Surface topography effect on strength of lap adhesive joints after mechanical pretreatment”. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 13 (2): 175–185.
- [13] Żenkiewicz M. 2000. „Adhezja i modyfikowanie warstw wierzchniej tworzyw wielkocząsteczkowych”. Warszawa: WNT.

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

Prof. dr hab. inż. Józef Kuczmaszewski – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-640 Lublin, e-mail: j.kuczmaszewski@pollub.pl

Dr inż. Paweł Pieško – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-640 Lublin, e-mail: p.piesko@pollub.pl

BADANIE UDAROWE POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH Z WYKORZYSTANIEM DEDYKOWANEGO MŁOTA WAHADŁOWEGO

Impact testing of adhesive joints with a dedicated pendulum hammer

Andrzej KOMOREK, Paweł PRZYBYŁEK

S t r e s z c z e n i e: Badania udarności połączeń klejowych prowadzone są zazwyczaj z wykorzystaniem modyfikowanych urządzeń, przeznaczonych do realizacji innych badań wytrzymałościowych. Wyjątkiem jest badanie udarności próbek klejonych na rozczepienie, prowadzone z wykorzystaniem młota spadowego. Realizacja badań na urządzeniach modyfikowanych jest ograniczona ze względu na wynikającą z przeznaczenia specyfikę ich budowy. Zajmujący się problematyką udarności połączeń klejowych autorzy artykułu przeprowadzili konsultacje techniczne i zlecieli wykonanie dedykowanego urządzenia do badania udarności połączeń klejowych blokowych i zakładkowych. Urządzenie zostało wykonane w Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu. Artykuł prezentuje wyniki wstępnych badań udarności połączeń klejowych, zrealizowanych przy wykorzystaniu dostarczonego urządzenia.

Badano połączenia zakładkowe i blokowe, wykonane przy użyciu kompozycji klejowej Epidian 57/Z1. Elementy klejone przygotowano ze stopu aluminium – 2017A. Próby połączeń blokowych prowadzono zgodnie z PN-ISO 9653, natomiast próby połączeń zakładkowych wg własnej metodyki. Uzyskane wyniki wskazują na przydatność wykonanego urządzenia do prowadzenia badań udarności połączeń klejowych. Rozrzut wyników udarności próbek blokowych jest podobny do uzyskanych podczas wykonywania badań realizowanych z wykorzystaniem modyfikowanego młota wahadłowego. Mocowanie próbek w uchwytach jest łatwe i pewne, co potwierdzono podczas analizy nagrań prób, zrealizowanych ultraszybką kamerą wideo. Konstrukcja uchwytu do badania próbek blokowych pozwala na precyzyjne ustawienie odległości impaktora od spoiny klejowej, mające istotne znaczenie dla jakości uzyskiwanych wyników.

S ł o w a k l u c z o w e: klej, połączenie klejowe, udarność, młot wahadłowy

A b s t r a c t: Impact test of adhesive joints are usually conducted using modified equipment for the implementation of other strength tests. The exception is the impact test of samples subjected to cleavage loading carried out using the drop hammer. Execution of tests on the modified device is limited due to the specificity arising from their construction. Authors of the article who deal with the issues of impact strength have conducted technical consultations and commissioned the execution of a dedicated device for testing the impact strength of adhesive joints in the block and single lap samples. The device was made at the Institute for Sustainable Technologies – National Research Institute in Radom. The article presents the preliminary results of impact strength of adhesive joints tests executed using the supplied device. In the tests were tested the block and single lap joints made using the adhesive composition Epidian 57/Z1. The adherends were made of aluminum alloy 2017A. Tests of block samples were carried out according to the Standard ISO 9653, while tests of lap joints according to our own technique. The results indicate the usefulness of the device for research impact strength of adhesive joints. Dispersion of impact strength results for block samples is similar to that achieved during tests performed using the modified pendulum. Fixing of sample in a holder is easy and secure, as confirmed by the analysis of the recordings of tests completed ultrahigh speed video camera. Design of the handle for testing of block sample allows for precise adjustment of the distance of the impactor from the adhesive layer, which is essential for the quality of the results.

K e y w o r d s: adhesive, adhesive joint, impact strength, pendulum hammer

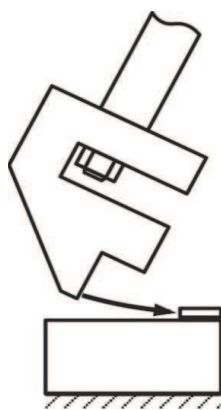
W aktualnie projektowanych i stosowanych konstrukcjach połączenia klejowe, oprócz obciążeń statycznych i zmęczeniowych, mogą być również obciążane udarowo. Przykładem tego typu konstrukcji są współczesne samochody, w których wiele elementów, np.: panele drzwiowe, maski i różne elementy z tworzyw sztucznych, są wykonywane z zastosowaniem technologii klejenia [6]. Podczas kolizji lub wypadku drogowego, zastosowane w konstrukcji połączenia klejowe są często obciążane udarowo. W celu odpowiedniego zaprojektowania i zapewnienia odporności zderzeniowej struktur klejonych prowadzi się badania i szacowania wytrzymałości udarowej stosowanych połączeń. Jak dotąd opracowano pewną, niezbyt dużą liczbę procedur szacowania parametrów udarnościowych połączeń klejowych, uwzględniających różne obszary zastosowań, a kilka z nich zostało zaadaptowanych jako

procedury normatywne. Techniki wykorzystujące młoty wahadłowe są najczęściej stosowanymi metodami dla stosunkowo niskich prędkości działania obciążenia. Normatywna metodyka, zawarta w PN-ISO 9653, jest odmianą takiego badania, wykorzystującego młot wahadłowy, zmodyfikowany do prowadzenia badań połączeń klejowych – jest to najbardziej popularna metodyka. Używając tej technologii, energię traconą podczas niszczenia próbki – czyli wytrzymałość udarową połączenia [7] można wyznaczyć na podstawie różnicy wysokości wahadła przed i po uderzeniu. Badania tą metodą są trudne do powtórnej realizacji ze względu na konieczność bardzo dokładnego zachowania parametrów próbek i warunków badań [1, 4].

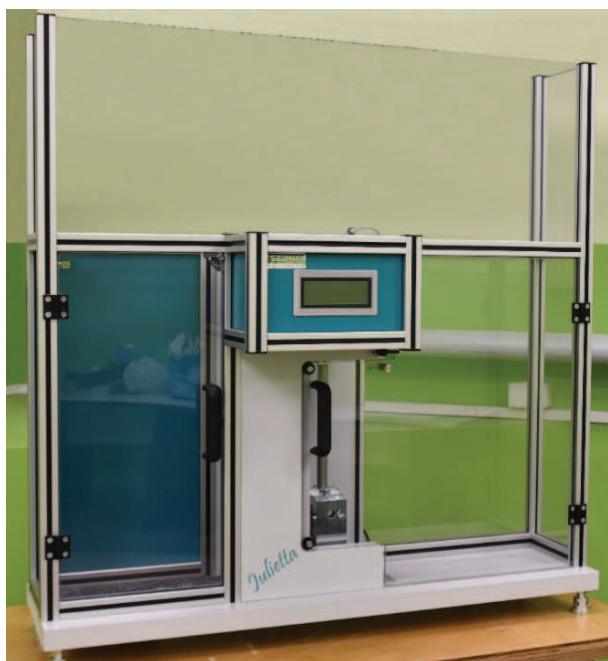
Próbki do badań zbudowane są z dwóch elementów. Dolnym elementem jest prostopadłościan o wymiarach

umożliwiających umieszczenie go w uchwycie maszyny w taki sposób, aby nie miał możliwości przemieszczenia się w momencie przyłożenia obciążenia. Drugi element to metalowa płytko o szerokości prostokątnościanu i wysokości 3-5 mm. Badanie prowadzone jest przy pomocy młota wahadłowego, którego impaktor, zgodnie z PN-ISO 9653 [5], powinien uderzać w górny element próbki w sposób przedstawiony na rys. 1.

Metoda badania udarowego połączeń klejowych blokowych, przy zapewnieniu powtarzalności warunków prowadzenia testów, pozwala uzyskać wyniki udarności połączeń wykonanych różnymi kompozycjami klejowymi, jednak trudno jest zastosować otrzymane wyniki w praktyce [3]. W celu uzyskania wyników, mogących znaleźć szersze zastosowanie w projektowaniu i wykonywaniu



Rys. 1. Schemat badania udarności w metodzie ścinania udarowego próbki blokowej
Fig. 1. A scheme of the block impact test



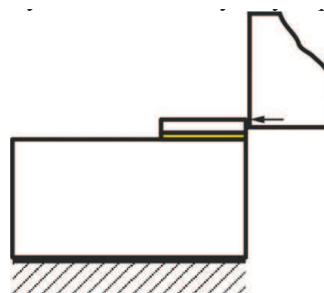
Rys. 2. Urządzenie do badań udarności połączeń klejowych „Julietta”
Figure. 2. The device for impact tests of adhesive bonds

konstrukcji klejonych prowadzi się badania udarowe połączeń klejowych zakładkowych [2, 3]. Badania te również mogą być prowadzone z wykorzystaniem zmodyfikowanego młota wahadłowego i specjalnie przygotowanych próbek.

W celu realizacji badań udarowych połączeń klejowych blokowych i zakładkowych zlecono zaprojektowanie i wykonanie dedykowanego do tego typu badań młota wahadłowego. Realizacji zadania podjął się Instytut Technologii Eksploatacji PIB z Radomia i tak powstał młot wahadłowy „Julietta” (rys. 2), którego możliwości badawcze zaprezentowano w artykule.

Metodyka prowadzenia badań

Wszystkie badania eksperymentalne przeprowadzono przy użyciu młota wahadłowego „Julietta”, który zapewnia wykonywanie testów udarowych próbek blokowych dwiema metodami. Pierwsza z nich to metoda bazująca na PN-EN-ISO 9653, której schemat przedstawiono na rys. 1. Aby wyniki testu były miarodajne, ważne jest utrzymanie warunków przedstawionych w normie, z których wynika m.in., że część młota, która uderza w próbkę, powinna być płaska, szersza od elementu w który uderza oraz ustawiona równoległe do niego. Dolna krawędź młota powinna uderzyć w górny element próbki w obrębie 0,80 mm (1/32 in) nad spoiną [5]. Utrzymanie tych warunków jest w pełni zabezpieczone w wykonanym urządzeniu badawczym, które dzięki dostarczonym przez wykonawcę wkładkom umożliwia regulację wysokości przyłożenia obciążenia. Jednak stały uchwyt próbki stanowi pewien problem, jeżeli badającemu zależy na prowadzeniu testów z połączeniami klejowymi o różnych powierzchniach, ponieważ regulacja pola powierzchni spoiny odbywa się przez zmianę długości górnego elementu próbki, co skutkuje zmianą geometrii próbki. Przy takim sposobie przyłożenia obciążenia (rys. 1) i zabudowanym na stałe uchwycie próbki, niemożliwe staje się uderzenie impaktora w element próbki wtedy, kiedy znajduje się on w najniższym położeniu, a jego energia kinetyczna jest maksymalna. W celu rozwiązania tego problemu zaproponowano, aby impaktor uderzał od czoła próbki (rys. 3), co uniezależni miejsce przyłożenia obciążenia od wybranej długości spoiny. W efekcie konsultacji,



Rys. 3. Schemat badania w metodzie przyłożenia obciążenia od czoła próbki
Fig. 3. The scheme of impact loading from the front of the sample

wykonawca dostarczył uchwyt, który umożliwił prowadzenie prób dwiema metodami.

Normatywna metodyka badań udarowych połączeń klejowych zakładkowych nie istnieje, dlatego zaproponowano, aby wykonane urządzenie umożliwiała prowadzenie badań z wykorzystaniem próbek stosowanych do badań statycznych połączeń klejowych.

Normatywna metodyka badań udarowych połączeń klejowych zakładkowych nie istnieje, dlatego zaproponowano, aby wykonane urządzenie umożliwiała prowadzenie badań z wykorzystaniem próbek stosowanych do badań statycznych połączeń klejowych. Podczas prowadzenia badań połączeń zakładkowych zwracano szczególną uwagę na pewność mocowania elementów próbki w uchwytach, umożliwiających realizację badania oraz na sposób mocowania próbek w uchwytach.

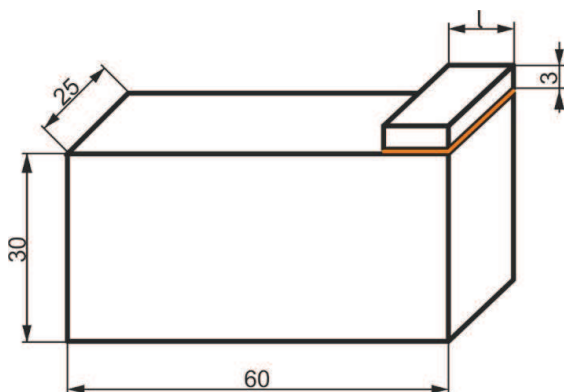
Warto również zwrócić uwagę na dwie cechy urządzenia badawczego:

- możliwość płynnej zmiany maksymalnej wartości energii stosowanej w badaniach, czego nie oferują tradycyjne młoty wahadłowe. Zmiana maksymalnej energii odbywa się przez zmianę wysokości zrzutu wahadła, co skutkuje także zmianą wartości prędkości wahadła – ten parametr może mieć istotne znaczenie dla udarności połączeń wykonywanych z użyciem kleju, który jest materiałem lepkosprężystym,
- realizacja badania w cyklu półautomatycznym, co pozwala na prosty, programowy wybór prędkości działania obciążenia.

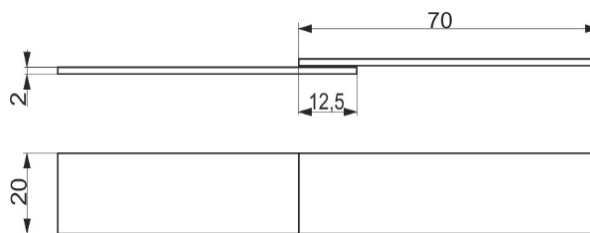
Próbki do badań

W celu przeprowadzenia badań przygotowano próbki klejone blokowe i zakładkowe. Elementy próbek blokowych wykonano ze stali S235 lub ze stopu aluminium 2017A. Wymiary próbek blokowych stosowanych w badaniach przedstawiono na rys. 4. Na podstawie wyników badań [4] długość / górnego elementu ustalono na 10 mm.

Próbki zakładkowe wykonano ze stopu aluminium 2017A, a ich wymiary przedstawiono na rys. 5.



Rys. 4. Próбка blokowa
Fig. 4. A block joint sample



Rys. 5. Próбка zakładkowa
Fig. 5. A single lap joint sample

Powierzchnie przeznaczone do klejenia przygotowano z wykorzystaniem obróbki strumieniowo-ściernej, a jako medium ściernie wykorzystano żużel pomiedziowy. Przed naniesieniem kleju, elementy próbek przemyto benzyną ekstrakcyjną, a następnie ułożono na podstawkach i umieszczono w komorze suszarki laboratoryjnej w celu odparowania benzyny.

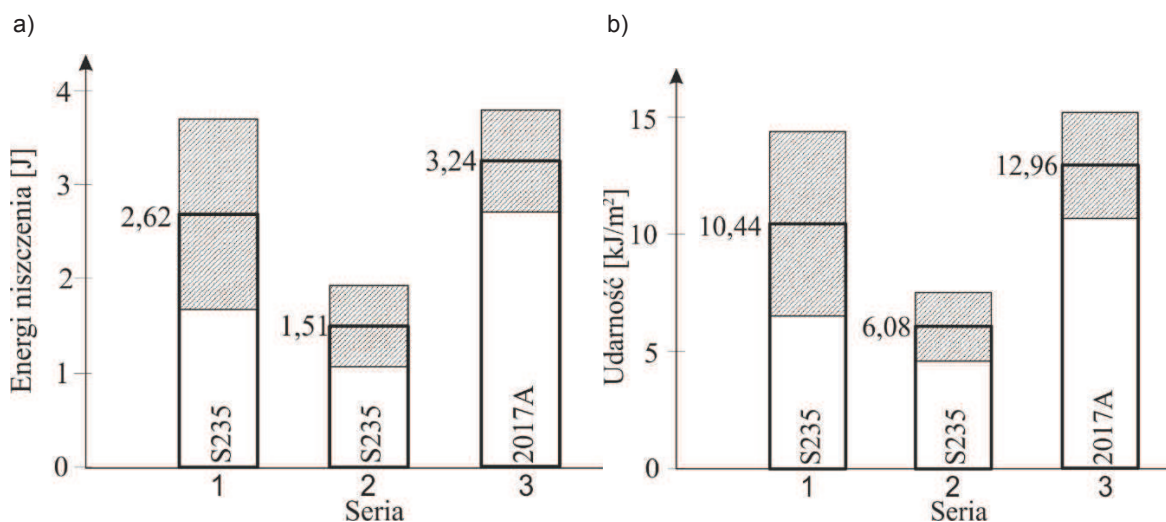
Do klejenia próbek wykorzystano kompozycję klejową Epidian 57 z utwardzaczem Z1 w stosunku 10:1. Serie próbek klejono jednocześnie w tych samych warunkach, a liczność każdej serii wynosiła 10. Po nasieniu kleju na powierzchnie elementów klejonych składano je do klejenia, zwracając szczególną uwagę na odpowiednie wzajemne położenie obydwu części próbki. Tak przygotowane próbki blokowe utwardzono pod stałym naciskiem przez okres 7 dni w temperaturze pokojowej (21°C). Próbki zakładkowe składano do klejenia w uchwycie wydrukowanym w technologii 3D. Próbki zakładkowe podzielono na dwie serie. Pierwszą z nich utwardzono przez 14 dni, a drugą 7 dni w temperaturze pokojowej (21°C).

Po utwardzeniu spoin klejowych przeprowadzono obróbkę wykańczającą, polegającą na usunięciu wypływek nadmiaru kleju spomiędzy powierzchni łączy. Zwracano także uwagę (szczególnie w próbkach blokowych) na poprawność położenia obydwu elementów próbki. Uzyskane grubości spoin we wszystkich próbkach były jednakowe i wynosiły 0,05 mm.

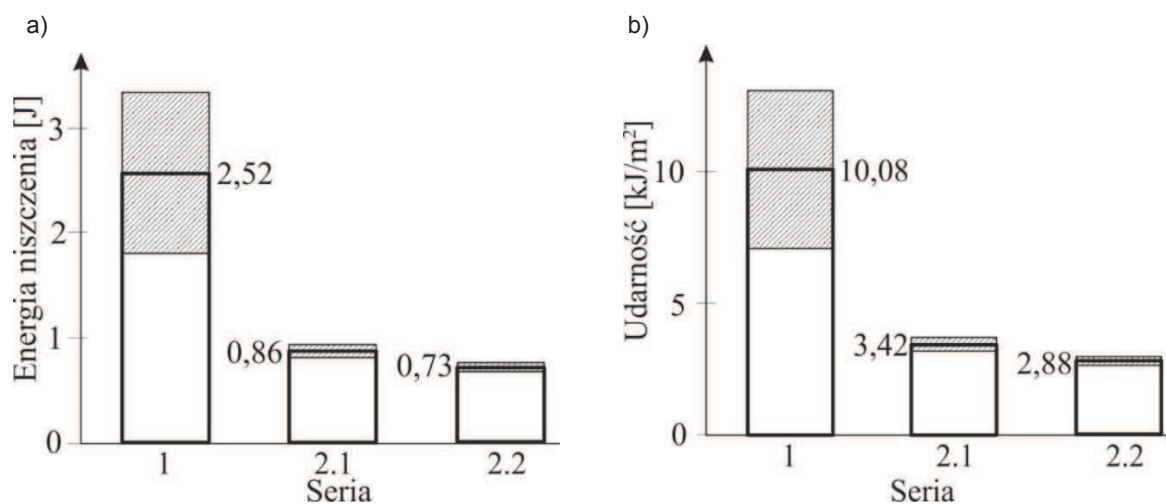
Badania eksperymentalne i dyskusja wyników

Badania próbek blokowych prowadzono wg schematu przedstawionego na rys. 3. Maksymalna energia możliwa do uzyskania w badaniach próbek blokowych wynosiła 10 J, a prędkość badania 2,42 m/s. Odległość impaktora od dolnego elementu próbki wynosiła 0,85 mm. Zbadano trzy serie próbek, z których dwie wykonano ze stali S235, a jedną ze stopu aluminium. Realizacja badań próbek blokowych jest prosta i intuicyjna. Wyniki badań próbek blokowych przedstawiono na rys. 6.

Analizując stan powierzchni przelomów po badaniach dostrzeżono, że połączenia, które cechowały się wyraźnie większymi wartościami wytrzymałości udarowej uległy zniszczeniu kohezijnemu, natomiast zniszczenia pozostałych połączeń miały charakter kohezynno-adhezyjny. W przyszłych badaniach należy zwrócić uwagę na



Rys. 6. Energia niszczenia (a) i udarność próbek blokowych (b)
Fig. 6. The energy of failure (a), and impact strength of block joints (b)



Rys. 7. Energia niszczenia (a) i udarność próbek zakładkowych (b)
Fig. 7. The energy of failure (a), and impact strength of lap joints (b)

charakter zniszczenia połączenia w odniesieniu do wytrzymałości udarowej połączenia. Ten wniosek jest zbieżny z obserwacjami [7] o związku rodzaju zniszczenia połączenia z uzyskiwanymi wynikami badań.

Podczas kontroli elementów klejonych po przeprowadzonych testach nie stwierdzono plastycznego odkształcenia nakładek do których było przykładane obciążenie, bez względu na materiał z jakiego były wykonane.

Badania próbek zakładkowych wymagały wymiany uchwytów próbek i impaktora zabudowanego w wahadle, co jest procesem dość czasochłonnym. Maksymalna energia możliwa do uzyskania w badaniach próbek zakładkowych wynosiła 10 J. W trakcie prowadzonych testów zbadano dwie serie próbek. Wszystkie próbki zakładkowe uległy zniszczeniu. Obsługa urządzenia podczas badania próbek zakładkowych jest bardziej czasochłonna niż podczas badania połączeń blokowych. Mocowanie próbek zakładkowych w uchwycie jest

możliwe do zrealizowania dwiema metodami, w których różnica polega na tym, że impaktor uderza w element dolny lub górny próbki. Drugą serię próbek rozdzielono i pięć próbek przebadano dla przypadku przyłożenia obciążenia do górnego elementu (seria 2.1), a w pozostałych próbkach obciążenie przykładano do dolnego elementu (seria 2.2) (rys. 7).

Analizując wyniki można zauważyć bardzo dużą różnicę udarności próbek z serii 1 i 2, co jednak w analizie metodyki badawczej nie jest najistotniejsze. Najważniejszy jest bardzo mały rozrzut wyników dla próbek serii 2.1 i 2.2, niespotykany w dotychczas przeprowadzonych przez autorów badaniach. Przyczyny uzyskania tak rozbieżnych wyników, zarówno co do wartości jak i rozrzutu, na obecnym etapie badań są trudne do wyjaśnienia. Można wiązać je wyłącznie z długością czasu sieciowania spoin klejowych, lecz to przypuszczenie wymaga potwierdzenia w dalszych badaniach.

Wnioski

Analiza wyników i przebiegu badań pozwoliła wyciągnąć następujące wnioski:

1. Urządzenie umożliwia prowadzenie badań udarowych próbek blokowych i zakładkowych oraz zabezpieczenia potrzeby w zakresie prowadzenia tego typu badań z zastosowaniem młota wahadłowego.
2. Mocowanie próbki blokowej w uchwycie jest pewne. Mocowanie próbki zakładkowej również wydaje się być pewne, jednak w celu potwierdzenia tego niezbędne jest wykonanie rejestracji przebiegu badania ultraszybką kamerą, co zostanie przeprowadzone podczas prowadzenia kolejnych testów.
3. Wykonywanie testów próbek blokowych może być realizowane dla różnych powierzchni spoiny klejowej (zmiennej długości nakładki), bez konieczności stosowania dodatkowych elementów mocujących.
4. Mocowanie próbek zakładkowych pozwala na badanie próbek o różnych wartościach powierzchni klejonych, co umożliwia konstrukcja uchwytów mocujących.
5. Uchwyt mocujące ograniczają szerokość badanych próbek zakładkowych do 20 mm.
6. Wyniki badań połączeń blokowych cechują się bardzo dużym rozrzutem, co może ograniczać możliwość porównania wyników różnych testów. Odchylenie standardowe wyników dla próbek wykonanych ze stopu aluminium jest znacznie mniejsze niż dla próbek stalowych, co może stanowić cenną wskazówkę do dalszych badań.
7. Badania wskazują, że połączenia zakładkowe mogą być bardziej obiecujące w badaniach udarności połączeń klejowych, ze względu na mały rozrzut wyników, co prawdopodobnie pozwoli na zmniejszenie liczności serii.
8. Badania zaprezentowane w artykule miały charakter badań wstępnych. Podczas analizy ich wyników zaobserwowano wiele interesujących zjawisk, które jednak trudno scharakteryzować na podstawie tak małej liczby przeprowadzonych testów. W celu wyjaśnienia problemów związanych z metodyką badawczą i jakością uzyskiwanych wyników, przeprowadzone zostaną dalsze badania eksperymentalne i numeryczne.

9. Wstępne badania wskazują, że udarność połączeń elementów wykonanych ze stopu aluminium jest wyższa niż udarność połączeń elementów stalowych.
10. Wydaje się, że warto rozważyć modyfikację urządzenia badawczego tak, aby możliwa była rejestracja siły i przemieszczenia podczas przebiegu niszczenia połączenia klejowego oraz lepsza możliwość rejestracji przebiegu badania ultraszybką kamerą (zmiana kształtu wahadła).
11. W celu określenia charakteru zniszczenia spoiny klejowej, muszą być stosowane obserwacje mikroskopowe lub inne metody wykrywania pozostałości kleju na powierzchniach klejonych.

LITERATURA

- [1] Adams R.D., J.A. Harris. 1996. "A critical assessment of the block impact test for measuring the impact strength of adhesive bonds". *International Journal of Adhesion and Adhesives* (16): 61–71.
- [2] Belingardi G., L. Goglio, M. Rossetto. 2005. "Impact behaviour of bonded built-up beams: experimental results". *International Journal of Adhesion and Adhesives* (25): 173–180.
- [3] Harris J.A., R.D. Adams. 1985. "An assessment of the impact performance of bonded joints for use in high energy absorbing structures". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 199, C2, 121–131.
- [4] Komorek A., P. Przybyłek. 2015. "Initial research of impact strength in adhesive joints". *Solid State Phenomena*, Vol. 237: 160–165.
- [5] PN-ISO 9653 – Kleje. Metody badania wytrzymałości na ścinanie udarowe połączeń klejowych 2000.
- [6] Sato C. 2005. "Impact behavior of adhesively bonded joints" [in:] *Adhesive Bonding: Science, Technology and Applications*, red. Adams R.D. WPL, Cambridge, p. 164–188.
- [7] Taylor A. 1996. "Impact Testing of Adhesive Joints". *MTS Adhesive Project 2 AEA Technology* (2).

Dr inż. Andrzej Komorek – Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, ul. Dywizjonu 303 nr 35, 08-521 Dęblin, e-mail: komman@op.pl

Mgr inż. Paweł Przybyłek – Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych ul. Dywizjonu 303 nr 35, 08-521 Dęblin, e-mail: sqcdr@wp.pl

ANALIZA ZDOLNOŚCI KLEJU DO ZWILŻANIA POWIERZCHNI O OKREŚLONYCH WŁAŚCIWOŚCIACH ENERGETYCZNYCH

Analysis of the ability of the adhesive to wet the surface with the specified energy properties

Jacek DOMIŃCZUK, Anna KRAWCZUK

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę zdolności zwilżania przez klej, o znanych właściwościach energetycznych, warstwy wierzchniej materiału o określonym stanie energetycznym. Na podstawie otrzymanych wyników wyznaczono krzywe zwilżania, które przedstawiają graniczną wartość składowych swobodnej energii powierzchniowej cieczy zwilżającej, zapewniającej uzyskanie dobrego zwilżania. W ramach badań przeprowadzono również analizę możliwości osiągnięcia maksymalnej pracy adhezji między ciałem stałym a cieczą w przypadku zmian kąta zwilżania. Analiza ta pozwoliła na określenie na ile parametry badanego kleju odbiegają od idealnych, czyli takich, dla których napięcie powierzchniowe na granicy faz osiąga wartość minimalną. W oparciu o uzyskane wyniki badań stwierdzono, że znajomość stanu energetycznego warstwy wierzchniej oraz swobodnej energii powierzchniowej kompozycji klejowej, pozwala przeprowadzić szybką analizę poprawności doboru środka adhezyjnego do łączenia materiałów w celu uzyskania optymalnych właściwości adhezyjnych.

Słowa kluczowe: krzywe zwilżania, zwilżalność, praca adhezji, swobodna energia powierzchniowa

Abstract: The article presents an analysis of the ability of wetting the surface layer of material with a specific energy state by the adhesive with known energy properties. On the basis of the results wetting envelopes were determined, which present the maximum values of the components of surface free energy of the liquid ensuring a good wetting. The study also analyzes possibility of achieving maximum work of adhesion between the solid and liquid in the case of changes in the contact angle. This analysis allows to determine how the parameters of the tested adhesive deviate from the ideal, meaning those for which the surface tension at the interface reaches a minimum value. Based on the obtained results, it was found that knowledge of the energy state of the surface layer and the surface free energy of the adhesive composition allows to quickly analyze the correctness of the choice of adhesive for connecting the materials in order to obtain optimum adhesion properties.

Keywords: wetting envelopes, wettability, work of adhesion, surface free energy

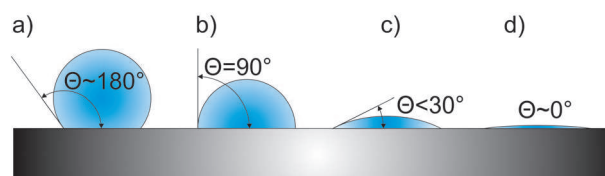
Wprowadzenie

Połączenia klejowe ze względu na swoje zalety są obecnie jedną z częściej stosowanych technik łączenia materiałów. Umożliwia ona łączenie materiałów o różnych właściwościach chemicznych i fizycznych z utworzeniem złącza, które charakteryzuje się lepszymi właściwościami w porównaniu do konwencjonalnych technik łączenia [1, 9, 10].

W procesie klejenia bardzo ważną rolę odgrywa zjawisko powierzchniowego szczipania się ciał w wyniku oddziaływania pola sił między atomami, z których zbudowana jest warstwa wierzchnia łączonych elementów. Aby uzyskać silną więź adhezyjną w połączeniu klejowym istotne jest zapewnienie dobrej zwilżalności materiału łączonego przez nanoszoną kompozycję łączącą [4].

Zwilżanie określane jest na podstawie analizy kąta utworzonego między styczną do zarysu powierzchni kropki a powierzchnią ciała stałego. W idealnym przypadku, gdy kąt zwilżania jest równy 0° i kropla cieczy całkowicie rozplywa się na powierzchni ciała stałego, utworzona więź adhezyjna umożliwia uzyskanie bardzo wytrzymałego połączenia klejowego (rys. 1). Najczęściej jednak dąży się do uzyskania zwilżalności zadowalającej, stosując odpowiednie przygotowanie powierzchni, zmieniające

składowe swobodnej energii powierzchniowej ciała stałego i zwiększające wysycenie siłą wiązań adhezyjnych. Zwilżalność dobra jest osiągana, gdy swobodna energia powierzchniowa cieczy zwilżającej jest mniejsza od energii ciała zwilżanego [2, 3, 5, 7, 8].



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

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

Sposób zachowania się cieczy na powierzchni ciała stałego jest istotny nie tylko w procesie klejenia, ale również w wielu innych dziedzinach, w których występują połączenia adhezyjne. Zdecydowana większość badań zwilżalności opiera się na analizie pomiarów kąta zwilżania,

przeprowadzonych typowymi cieczami takimi jak woda czy diiodometan [6]. W procesie klejenia powierzchnia zwilżana jest przez kompozycję klejową. Mając na uwadze złożoność procesów adhezyjnych [8] wydaje się, że najdokładniejsze wyniki jakościowe (związane z łączeniem materiałów) uzyska się stosując klej jako ciecz. Wyznaczenie składowych swobodnej energii powierzchniowej kompozycji kleju pozwala na przedstawienie krzywej zwilżania, stanowiącej podstawę do przeprowadzenia analizy zwilżalności. Na podstawie wyznaczonej krzywej można określić, jakimi składowymi swobodnej energii powierzchniowej powinien charakteryzować się materiał oraz jaką metodę przygotowania powierzchni zastosować, aby uzyskać połączenie o optymalnych właściwościach adhezyjnych dla konkretnego łączonego materiału przy zastosowaniu określonej kompozycji klejowej.

Metodyka badań

W celu przeprowadzenia analizy zdolności kleju do zwilżania powierzchni materiału o określonych właściwościach energetycznych, wyznaczono składowe swobodnej energii powierzchniowej wybranych kompozycji klejowych na podstawie pomiarów napięcia powierzchniowego metodą zwisającej kropli. Swobodna energia powierzchniowa została wyznaczona dla kompozycji żywicy epoksydowej Epidian 5 z utwardzaczami: PAC oraz Z1. Żywicę epoksydową Epidian 5 połączono z utwardzaczem PAC w stosunku masowym 1:1, natomiast z utwardzaczem Z1 w stosunku 10:1. Za pomocą strzykawki, dozowano krople kleju epoksydowego o objętości 20 μl i wykonywano po 20 pomiarów napięcia powierzchniowego. Określenia wartości składowych swobodnej energii powierzchniowej dokonano na podstawie przecięcia krzywych zwilżania, wyznaczonych na podstawie pomiarów kąta zwilżania analizowanych klejów epoksydowych ze stalą DC01 z prostą swobodnej energii powierzchniowej odpowiedniego kleju.

W celu wyznaczenia składowych swobodnej energii powierzchniowej środków adhezyjnych przeprowadzono pomiary kąta zwilżania kropli klejów epoksydowych na powierzchni stali DC01 o znanych właściwościach energetycznych. Za pomocą pipety automatycznej NICHIRYO Le-20 na powierzchni stali DC01 umieszczano krople kleju epoksydowego. Ustalono wielkość nanoszonej kropli na $5 \pm 0,02 \mu\text{l}$. Bezpośrednio po naniesieniu kropli przeprowadzano pomiary kąta zwilżania. Badana warstwa wierzchnia blach stalowych po odtłuszczeniu wykazuje całkowitą swobodną energię powierzchniową o wartości $30,3 \text{ mJ/m}^2$ przy składowej niepolarniej wynoszącej $28,3 \text{ mJ/m}^2$. Badanie stanu energetycznego warstwy wierzchniej stali przeprowadzono w oparciu o metodę Owens-Wendta [11]. Uwzględniając krótki czas życia mieszanek klejowych dla każdej z nich wykonano po 20 pomiarów kąta zwilżania na stali DC01. Do określenia składowych swobodnej energii powierzchniowej, niezbędnych do wyznaczenia krzywych zwilżalności, wykorzystano kąt średni obliczany na podstawie pomiarów

kąta zwilżania po lewej i prawej stronie zarysu kropli. Pomiary napięcia powierzchniowego oraz kątów zwilżania wykonano na urządzeniu DSA30 firmy KRÜSS.

Wyniki pomiarów

Wykonane pomiary napięcia powierzchniowego pozwoliły na wyznaczenie wartości swobodnej energii powierzchniowej wybranych klejów epoksydowych. Zmierzony kąt zwilżania dla wybranych kompozycji klejowych posłużył do wyznaczenia krzywej zwilżania. Składowe swobodnej energii powierzchniowej określono na podstawie punktu przecięcia krzywej zwilżania, wyznaczonej dla zmierzonego kąta zwilżania przez klej powierzchni materiału bazowego, z prostą reprezentującą wartość swobodnej energii powierzchniowej. Otrzymane wyniki składowych swobodnej energii powierzchniowej

Tabela 1. Zestawienie wyników swobodnej energii powierzchniowej oraz jej składowych dla wybranych klejów epoksydowych
Table 1. Summary of results of surface free energy and its components for selected epoxy adhesives

Kompozycja klejowa	Średni kąt zwilżania [°]	Całkowita swobodna energia powierzchniowa [mJ/m ²]	Część polarna [mJ/m ²]	Część niepolarna [mJ/m ²]
Epidian 5 + PAC 1:1	85,11	39,6	33,3	6,3
Epidian 5 + Z1 10:1	73,29	36,6	27,4	9,2

Tabela 2. Wartości swobodnej energii powierzchniowej oraz jej składowe poliamidu PA6
Table 2. Values of surface free energy and its components for PA6 polyimide

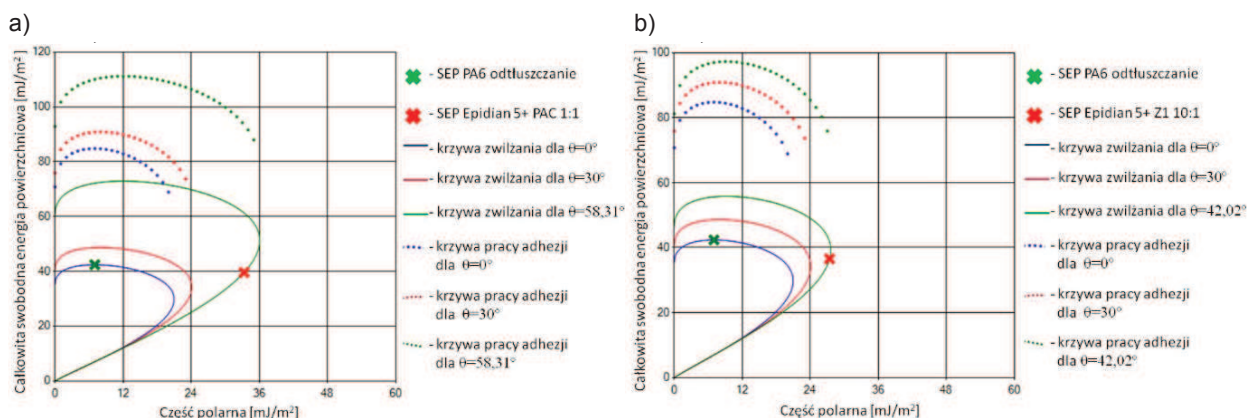
Przygotowanie powierzchni	Metoda Owens-Wendta		
	Swobodna energia powierzchniowa [mJ/m ²]	Część polarna [mJ/m ²]	Część niepolarna [mJ/m ²]
Odtłuszczenie LOCTITE 7063	42,4	7,0	35,4
Ozonowanie stężenie ozonu 7 g/m ³ czas – 30 min	48,9	15,0	33,9
Obróbka mechaniczna papier ścierny o ziarnistości 320	45,9	4,1	41,8

oraz wartość całkowitą dla kompozycji żywicy epoksydowej Epidian 5 z utwardzaczami PAC oraz Z1 przedstawiono w tab. 1.

Analizę zdolności zwilżania przez klej (o znanych właściwościach energetycznych) warstwy wierzchniej materiału o określonym stanie energetycznym przeprowadzono dla próbek poliamidu PA6, poddanego wybranym sposobom przygotowania warstwy wierzchniej. Wartości swobodnej energii powierzchniowej oraz składowych poliamidu PA6 przedstawiono w tab. 2.

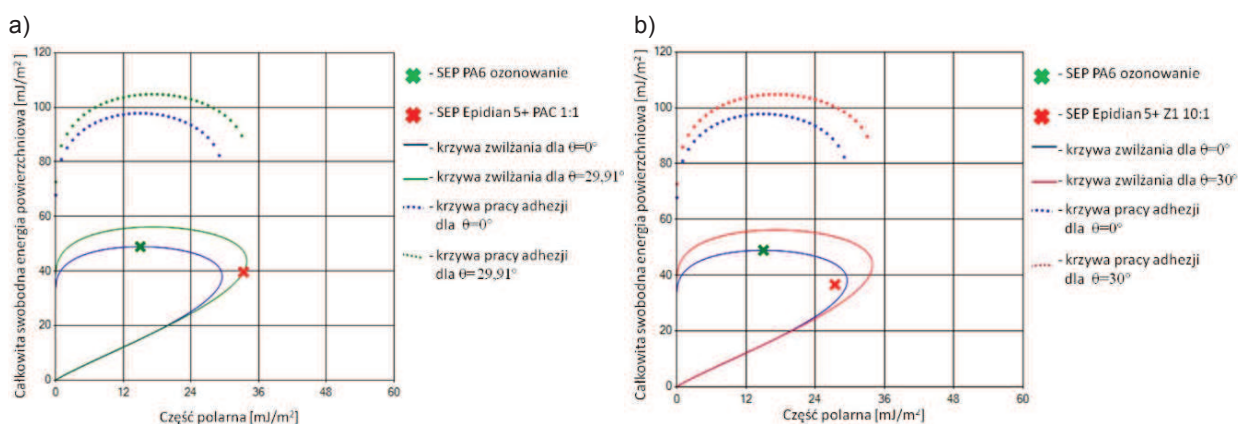
Na podstawie wyznaczonych wartości składowych swobodnej energii powierzchniowej klejów oraz przeprowadzonych badań stanu energetycznego poliamidu PA6 wyznaczono krzywe zwilżania odpowiadające badanym materiałom. Prezentowane na rys. 2, rys. 3 i rys. 4 krzywe zwilżania przedstawiają graniczne odwzorowanie składowych swobodnej energii powierzchniowej cieczy, zapewniającej uzyskanie dobrego zwilżania oraz krzywe zwilżania klejów epoksydowych użytych w badaniach.

Z zaprezentowanych wykresów wynika, że dla poliamidu poddanego trzem różnym sposobom przygotowania powierzchni, najlepsze warunki zwilżania uzyskano dla kompozycji mieszanki żywicy epoksydowej z utwardzaczem Z1. W przypadku odtłuszczenia, ozonowania i obróbki mechanicznej, wartość swobodnej energii powierzchniowej i składowa polarna tego kleju wyznaczają na wykresach punkt, który znajduje się bliżej krzywych, obrazujących zwilżanie bardzo dobre i idealne niż punkty wyznaczone dla kompozycji żywicy epoksydowej z utwardzaczem PAC. Ozonowanie to sposób przygotowania powierzchni, który pozwolił teoretycznie na uzyskanie najmniejszych kątów zwilżania, co rekomenduje tę metodę do zastosowań praktycznych. Dla kleju epoksydowego z utwardzaczem PAC po ozonowaniu kąt zwilżania przyjmuje wartość 29,9°, natomiast dla kleju z utwardzaczem Z1 przy założeniu braku hydrofobowości powierzchni możliwe jest osiągnięcie zwilżania idealnego.



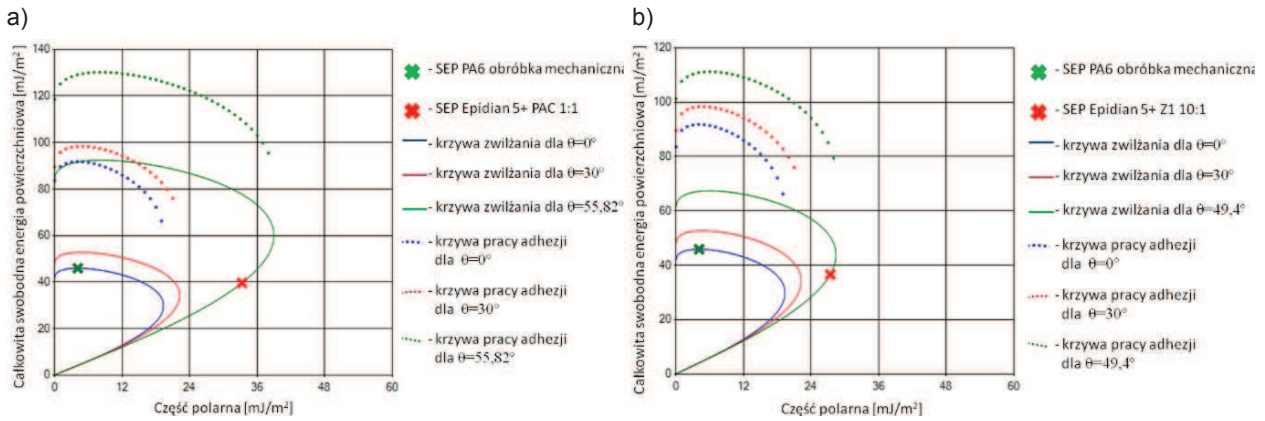
Rys. 2. Krzywe zwilżania oraz pracy adhezji wyznaczone dla poliamidu PA6 po odtłuszczeniu z zaznaczoną wartością swobodnej energii powierzchniowej kompozycji: a) żywicy epoksydowej Epidian 5 z utwardzaczem PAC, b) żywicy epoksydowej Epidian 5 z utwardzaczem Z1

Fig. 2. Wetting envelopes and curves of work of adhesion determined for polyamide PA6 after degreasing with marked value of surface free energy of the composition: a) Epidian 5 epoxy resin and PAC hardener, b) Epidian 5 epoxy resin and Z1 hardener



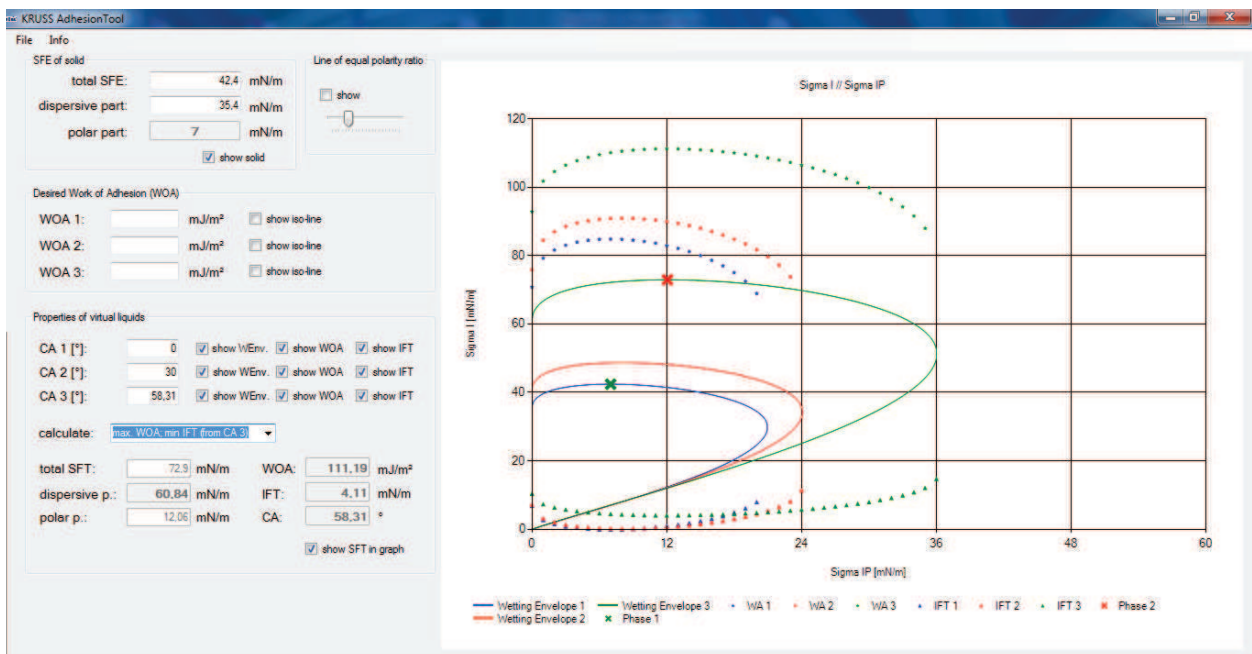
Rys. 3. Krzywe zwilżania oraz pracy adhezji wyznaczone dla poliamidu PA6 po ozonowaniu z zaznaczoną wartością swobodnej energii powierzchniowej kompozycji: a) żywicy epoksydowej Epidian 5 z utwardzaczem PAC, b) żywicy epoksydowej Epidian 5 z utwardzaczem Z1

Fig. 3. Wetting envelopes and curves of work of adhesion determined for polyamide PA6 after ozonation with marked value of surface free energy of the composition: a) Epidian 5 epoxy resin and PAC hardener, b) Epidian 5 epoxy resin and Z1 hardener



Rys. 4. Krzywe zwilżania oraz pracy adhezji wyznaczone dla poliamidu PA6 po obróbce mechanicznej z zaznaczoną wartością swobodnej energii powierzchniowej kompozycji: a) żywicy epoksydowej Epidian 5 z utwardzaczem PAC b) żywicy epoksydowej Epidian 5 z utwardzaczem Z1

Fig. 4. Wetting envelopes and curves of work of adhesion determined for polyamide PA6 after machining with marked value of surface free energy of the composition: a) Epidian 5 epoxy resin and PAC hardener, b) Epidian 5 epoxy resin and Z1 hardener



Rys. 5. Arkusz kalkulacyjny służący wyznaczeniu maksymalnej pracy adhezji między powierzchnią poliamidu poddaną odtłuszczeniu a cieczą tworzącą na jego powierzchni kąt $\theta = 58,31^\circ$

Fig. 5. The spreadsheet used for determining the maximum work of adhesion between the surface of the polyamide subjected to a degreasing and liquid forming on its surface an angle $\theta = 58,31^\circ$

Na podstawie wyznaczonych krzywych pracy adhezji określono również wartości maksymalnej pracy adhezji między ciałem stałym a cieczą, która tworzy na powierzchni materiału kąt zwilżania o określonej wartości (rys. 5). W tab. 3 przedstawiono zestawienie wyników obliczeń.

Prezentowane na rysunkach wykresy pozwalają na określenie czy istnieje możliwość modyfikacji kleju, służącej zwiększeniu wartości pracy adhezji tak, aby osiągała ona wartość maksymalną przy ustalonym kącie zwilżania. Przy maksymalnej wartości pracy adhezji

osiągana jest jednocześnie minimalna wartość napięcia międzyfazowego. W przypadku analizowanych sposobów przygotowania powierzchni wartości pracy adhezji wyznaczone dla kątów zwilżania utworzonych między materiałem a kroplami klejów, nie osiągają wartości odpowiadających maksymalnym, co daje możliwość modyfikacji składu kleju w kierunku osiągnięcia optymalnych właściwości adhezyjnych. W omawianych przypadkach modyfikacja powinna przebiegać w kierunku zmniejszenia składowej polarnej swobodnej energii powierzchniowej kleju.

Tabela 3. Wartości maksymalnej pracy adhezji między ciałem stałym a cieczą tworzącą na powierzchni materiału określony kąt zwilżania

Table 3. The maximum values of the work of adhesion between the solid and the liquid forming on the material surface a specified contact angle

Sposób przygotowania powierzchni	Kąt zwilżania [°]	Maksymalna praca adhezji [mJ]	Praca adhezji Epidian 5 + PAC [mJ]	Praca adhezji Epidian 5 + Z1 [mJ]
Odtłuszczenie LOCTITE 7063	58,31	111,19	60,4	-
	42,02	97,31	-	63,79
Ozonowanie stężenie ozonu 7 g/m ³ czas – 30 min	29,91	104,78	73,93	-
	0	97,8	-	75,87
Obróbka mechaniczna papier ścierny o ziarnistości 320	65,81	117,56	55,82	-
	49,4	111,2	-	60,4

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań zdolności zwilżania mieszanek żywicy epoksydowej Epidian 5 z utwardzaczem PAC oraz Z1 powierzchni materiałów konstrukcyjnych poddanych wybranym sposobom przygotowania powierzchni, określono kąty zwilżania, jakie wyznaczone byłyby po naniesieniu kropeł analizowanych klejów na analizowane powierzchnie. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że najbardziej odpowiednim klejem do łączenia poliamidu PA6, poddanego różnym sposobom przygotowania powierzchni jest klej epoksydowy na bazie żywicy Epidian 5 z utwardzaczem Z1. Punkty charakteryzujące ten klej leżą najbliżej krzywych zwilżania, odpowiadającym kątomu dobrego zwilżania. Dla żywicy z utwardzaczem PAC wykazano gorszą zwilżalność badanych powierzchni. Wykazano, że ozonowanie powierzchni najkorzystniej wpływa na zwilżalność, co powinno zapewnić najwyższą wytrzymałość połączenia z uwagi na największe wysycenie sił wiązań atomowych oraz dobrą zwilżalność. Z przeprowadzonej analizy wynika również, że w celu zapewnienia idealnej zwilżalności należy dążyć do zmniejszenia całkowitej swobodnej energii powierzchniowej kompozycji klejowych do wartości zbliżonych wartościom swobodnej energii powierzchniowej materiałów łączonych lub zastosować odpowiedni sposób przygotowania powierzchni, który spowoduje zwiększenie wartości składowych swobodnej energii powierzchniowej poliamidu. W przypadku odtłuszczenia, ozonowania i obróbki mechanicznej, w celu zapewnienia maksymalnej pracy adhezji, wymagana jest modyfikacja kleju w kierunku zmniejszenia jego składowej polarnej swobodnej energii powierzchniowej.

Analiza swobodnej energii powierzchniowej klejów epoksydowych dla materiału konstrukcyjnego, poddanego wybranym sposobom przygotowania powierzchni, pozwoliła na przeprowadzenie szybkiej analizy zdolności kleju do zwilżania powierzchni materiałów. Znając składowe swobodnej energii powierzchniowej kleju można określić (bez konieczności przeprowadzania badań niszczących), czy będzie on zdolny dobrze zwilżyć powierzchnię łączonego materiału oraz jaka wartość pracy adhezji zostanie osiągnięta. Prezentowana analiza pozwala na określenie konfiguracji klej-powierzchnia, pozwalających na osiągnięcie optymalnych właściwości adhezyjnych.

LITERATURA

- [1] Chomiak M., J. Stabik. 2014. „Badania kąta zwilżania napelnaczy węglowych żywicami epoksydowymi”. *Przetwórstwo Tworzyw* (2): 174–181.
- [2] Ciecierska B., R. Pełowski. 2013. „Swobodna energia powierzchniowa wybranych materiałów lotniczych po obróbce laserowej”. *Technologia i Automatyza Montażu* (1): 56–62.
- [3] Domińczuk J., A. Serwin. 2014. „Analiza stanu energetycznego warstwy wierzchniej stali OH18N9T i poliamidu PA6 po wybranych sposobach przygotowania powierzchni do klejenia”. *Technologia i Automatyza Montażu* (4): 42–46.
- [4] Domińczuk J. 2011. „Właściwości adhezyjne warstwy wierzchniej materiałów konstrukcyjnych”. *Postęp Nauki i Techniki* (9): 28–37.
- [5] Domińczuk J. 2012. „Wpływ stanu energetycznego warstwy wierzchniej na wytrzymałość połączenia adhezyjnego”. *Postępy Nauki i Techniki* (13): 30–36.
- [6] Janssen D. et al. 2006. „Static solvent contact angle measurements, surface free energy and wettability determination of various self-assembled monolayers on silicon dioxide”. *Thin Solid Films* (4): 1433–1438.
- [7] Kłonica M., J. Kuczmazewski. 2012. „Wpływ stężenia ozonu na stan energetyczny warstwy wierzchniej stopu tytanu Ti-6Al-4V”. *Inżynieria Materiałowa* (4): 328–332.
- [8] Krawczuk A., J. Domińczuk. 2015. „Analiza możliwości wykorzystania krzywych zwilżania do optymalizacji procesów adhezyjnych”. *Technologia i Automatyza Montażu* (4): 43–47.
- [9] Kuczmazewski J. 2006. „Fundamentals of metal-metal adhesive joint design”. Lublin University of Technology: Polish Academy of Sciences. Lublin Branch.
- [10] Mirski Z., T. Piwowarczyk. 2008. „Podstawy klejenia, kleje i ich właściwości”. *Przegląd Spawalnictwa* (8): 12–21.
- [11] Żenkiewicz M. 2007. „Analiza głównych metod badania swobodnej energii powierzchniowej materiałów polimerowych”. *Polimery* (52): 760–767.

Dr inż. Jacek Domińczuk – Wydział Mechaniczny, Instytut Technologicznych Systemów Informatycznych Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: j.dominczuk@pollub.pl

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

Aplikacje mobilne w służbie autogazu

Komputer pokładowy w samochodzie zasilanym benzyną to standard, do którego kierowcy przywykli i zwykle traktować go jako narzędzie niezbędne we współpracy. Kierowca oczekuje informacji o stanie swojego auta, stąd chętnie poddaje się informacji na temat spalania, szczegółów pokonywanej trasy czy sygnalizowanych błędów. Nasuwa się więc pytanie: czy kierowca samochodu z instalacją autogaz powinien mieć mniejsze oczekiwania i zrezygnować z uprzywilejowanej pozycji, zadowolając się w zamian niższym rachunkiem za paliwo?

Lider rynku – firma AC S.A. – zamyka ten rozdział definitywnie, prezentując przełomowe i bezpłatne aplikacje, będące odpowiedzią na oczekiwania użytkowników aut z instalacją gazową. Inżynierowie i specjaliści marki STAG oddali w ręce kierowców programy pod nazwą GasComputer, STAG w Trasie oraz STAG Mobile, będące pierwszymi aplikacjami,

przeznaczonymi wyłącznie do aut zasilanych gazem LPG.

Pierwsza, **STAG w Trasie**, spełni oczekiwania każdego kierowcy. Szybka lokalizacja najbliższego warsztatu naprawczego, rekomendowanego w przypadku awarii auta, zapewni komfort oraz bezpieczeństwo podróży. Z chwilą pobrania aplikacji to ona zatroszczy się też o wskazanie najbliższej stacji tankowania LPG, zwiększając wygodę podróży. Analogicznie (jak w przypadku warsztatów) aplikacja wyszczególni stację za pomocą mapy i listy, a wszystko dla wygody użytkownika. Trzecią istotną możliwością oferowaną przez aplikację STAG w Trasie jest tzw. Kalkulator LPG. Na końcu trasy kierowca zobaczy wymierne korzyści z użytkowania instalacji gazowej – ile konkretnie zaoszczędził, tankując właśnie ten rodzaj paliwa. Jest to miła dla oka informacja.

O krok dalej idzie **GasComputer** – gazowy komputer pokładowy, dający bardziej wnikliwemu kierowcy wgląd w parametry instalacji gazowej.

Aplikacja pomoże skontrolować bieżące i średnie zużycie LPG, podsumować koszty oraz długość trasy dzięki współpracy z GPS. Ponadto aplikacja ma zakładkę Panel OBD, przez którą można podglądać najważniejsze wskaźniki pracy konwertowanego silnika oraz ewentualne błędy. Co ważne, GasComputer nie pozwala wprowadzać zmian w ustawieniach sterownika LPG – aplikacja to tylko wyświetlacz danych. Podobnie jak STAG w Trasie, GasComputer można pobrać nieodpłatnie. Płatny jest jedynie interfejs Bluetooth Next – niezbędny do nawiązania komunikacji między sterownikiem systemu STAG i urządzeniem przenośnym, na którym zainstalowano aplikację.

Najwyższy stopień wtajemniczenia oferuje **STAG Mobile** – za pomocą tej (również bezpłatnej) aplikacji uzyskuje się dostęp do wszystkich opcji konfiguracyjnych sterownika. Jest to narzędzie stanowiące wsparcie w działalności warsztatowej, lecz dostępne także dla odbiorców niebędących zawodowymi mechanikami. Ponieważ wprowadzanie zmian przez osoby niewykwalifikowane w regulacji instalacji gazowych mogłoby się wiązać z utratą gwarancji na system LPG, możliwość użytkowania STAG Mobile zarezerwowano dla specjalistów. Pozwala na wprowadzanie korekt drogą bezprzewodową, bez otwierania maski i podłączania komputera do złącza diagnostycznego instalacji gazowej.

Faktem jest, że kierowcy i właściciele samochodów wzbogaconych w instalację LPG jeżdżą oszczędniej i z niewątpliwym poszanowaniem ekologii. Jednakże od dzisiaj mogą również podróżować wygodniej i bezpieczniej przy wsparciu nowatorskich rozwiązań, stworzonych przez firmę dyktującą trendy na rynku LPG przez 30 lat. To przyszłość.



dla podróżujących
lokalizacja warsztatów
i stacji tankowania LPG

dla montażystów
oprogramowanie
mobilne AcStag

dla kierowców
komputer pokładowy
autogaz

AC Spółka Akcyjna

ul. 42 Pułku Piechoty 50,
15-181 Białystok

tel. +48 85 743 81 00

e-mail: biuro@ac.com.pl

www.ac.com.pl, www.stag.pl

Apel Stowarzyszenia Wspierania Techniki Polskiej w sprawie Muzeum Techniki i Przemysłu

Drodzy inżynierowie, sympatycy polskiej techniki, specjaliści i eksperci,

Jesteśmy polskim społeczeństwem technicznym, wymieniamy się setkami informacji dotyczących problemów rozwiązywanych przez nasze branże, realizując między innymi usprawnienia obecnych rozwiązań. To dzięki wspólnemu wysiłkowi tworzymy dobre rozwiązania, wpływając na jakość polskiej techniki, stając się coraz bardziej innowacyjnymi. W naszych specjalistycznych, branżowych społecznościach niejednokrotnie doceniamy tych, którzy dzieląc się własnymi doświadczeniami i przemyśleniami, dają nam wszystkim wartość dodaną. Ta wartość dodana pozwala niejednokrotnie pokonywać przeszkody w dziedzinach technicznych, z którymi się niejednokrotnie mierzymy. Osiągnięcia polskiej techniki jeszcze dzisiaj można z powodzeniem oglądać w Muzeum Techniki i Przemysłu w Warszawie, miejscu, w którym ostatecznie doceniani są Ci,

którzy mieli lub mają swój wkład w rozwój polskiej techniki.

Wielu młodych Polaków swoją fascynację polską techniką rozpoczyna w Muzeum Techniki i Przemysłu. To tutaj budują pierwszy fundament dla własnego przekonania, że „my Polacy, jesteśmy w stanie osiągać sukcesy międzynarodowe tu w Polsce”. To między innymi można odczuć, oglądając maszynę szyfrującą Enigma, przypominając sobie, że to dzięki nam II wojna światowa została zakończona w 1945 roku, a nie później. Uważam, że wszyscy Polacy powinni mieć szansę zostać zauważonymi i być docenionymi za szczególne osiągnięcia.

Napisałem powinni, bo los tej jednostki muzealnej jest obecnie zagrożony. Jej istnienie zależy wyłącznie od naszej wspólnej świadomości, że my – Polacy potrzebujemy miejsca, w którym kolejne pokolenia będą budować swoją wiarę na sukcesach poprzednich.

Z tego powodu, w imieniu Stowarzyszenia Wspierania Techniki

Polskiej, zwracam się do Was, świadomych czytelników i specjalistów, o wsparcie Kampanii „Ratujemy Muzeum Techniki”.

Aby wesprzeć Kampanię, wystarczy wejść na stronę: <http://swtp.pl/nasze-inicjatywy/ratujemy-muzeum-techniki> i wypełnić deklarację poparcia.

Tylko wspólnie jesteśmy w stanie przypomnieć społeczeństwu i przekonąć ostatecznie decydentów, że Polska, jak wszystkie cywilizowane państwa, zasługuje, aby mieć własne Muzeum Techniki, w którym młode pokolenia będą mogły budować wiarę w swoje możliwości tworzenia fantastycznych rozwiązań, opartą na sukcesach poprzednich pokoleń Polaków.

Zadbajmy wspólnie o nasze polskie Muzeum Techniki i Przemysłu.

Kamil Wójcik
Prezes Stowarzyszenia
Wspierania Techniki Polskiej



SWTP

KAMPANIA SPOŁECZNA

**| Ratujemy
Muzeum Techniki**

FIRMA BOSCH REXROTH OBCHODZI 25-LECIE DZIAŁALNOŚCI W POLSCE

„Od 25 lat wprawiamy w ruch” to motto przewodnie firmy Bosch Rexroth Sp. z o.o., która w tym roku obchodzi 25-lecie działalności w Polsce. Wydajność, precyzja, bezpieczeństwo i energooszczędność to cechy napędów i sterowań firmy Bosch Rexroth, które wprawiają w ruch maszyny i urządzenia.

Produkty marki Rexroth dostępne były na rynku polskim już od lat 60. ub. wieku. Wysoka jakość produktów oraz nowoczesność oferowanych rozwiązań zyskały tak licznych klientów, że w 1991 r. została podjęta decyzja o utworzeniu polskiego oddziału z centralą w Warszawie.

W procesie rozwoju nowych produktów firma dba o wysoką jakość i efektywność energetyczną swoich rozwiązań, jak również o zrównoważony rozwój. Dzięki zebranym doświadczeniom z własnych zakładów produkcyjnych z całego świata oraz szerokiej ofercie systemowej, jest w stanie zaoferować wydajne, precyzyjne,

bezpieczne i energooszczędne rozwiązania z zakresu hydrauliki przemysłowej oraz hydrauliki w technice mobilnej, regulowanych napędów elektrycznych i sterowań oraz techniki przemieszczeń liniowych i montażu.

Zespół doświadczonych specjalistów firmy Bosch Rexroth świadczy kompleksowe usługi projektowe, wykonawcze, a także obsługę serwisową systemów napędu i sterowania przez cały cykl życia maszyny. Dzięki temu klienci firmy mogą ograniczyć własne zaangażowanie oraz czas jaki musieliby poświęcić na naprawę czy modernizację.

Jako The Drive & Control Company, firma Bosch Rexroth zaspokaja potrzebę rozwoju zawodowego oraz umożliwia podniesienie kwalifikacji specjalistów technicznych i przekazuje każdego dnia, w ramach Drive & Control Academy, wiedzę technologiczną w zakresie produktów, rozwiązań oraz ich stosowania z zakresu napędów i sterowań hydraulicznych i elektrycznych.





„MECHANICZNE POŁĄCZENIA ROZŁĄCZNE” Konferencja PSIiTM

Elementy złączne, wkręty samoformujące i chemiczne metody zabezpieczeń połączeń śrubowych – to tylko niektóre tematy Konferencji „**Mechaniczne połączenia rozłączne**”, organizowanej przez Polskie Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Montażu, która odbędzie się **23 listopada br. w Centrum Konferencyjnym Zielna w Warszawie**.

Konferencja ma na celu wygenerowanie interakcji między firmami produkującymi narzędzia, elementy złączne oraz ich użytkownikami w przedsiębiorstwach przemysłowych. Problematyka poruszanych zagadnień da szerokie spektrum wiedzy, którą podzielą się eksperci ze słuchaczami. Pomysł zorganizowania Konferencji jest wynikiem dużego rynkowego zainteresowania zagadnieniami technicznymi, związanymi z rodzajami elementów łącznych, ich trwałością, zastosowaniami oraz metodami zabezpieczeń. Do PSIiTM trafiają zapytania dotyczące nowości technologicznych w obrębie mechanicznych połączeń rozłącznych oraz możliwych rozwiązań alternatywnych względem powszechnie funkcjonujących, dlatego organizatorzy uznali, że to właściwy czas, aby rzetelnie skompensować praktyczną wiedzę i udostępnić ją zainteresowanym.

Połączenia rozłączne, tak często występujące w wielu branżach przemysłowych (motoryzacja, elektronika, budownictwo, AGD itd.), obecnie są jednymi z najważniejszych typów połączeń odwracalnych, które przy wykorzystaniu tych samych elementów można kilkukrotnie, a nawet wielokrotnie montować i demontować tak, aby za każdym razem spełniały swoje zadanie. Warto dodać, że asortyment elementów złącznych i sposób ich wykorzystania stale rośnie.

Konferencja będzie okazją do dyskusji o tak istotnych sprawach jak tematyka nazewnictwa, budząca wiele nieporozumień. Przedstawione będą również informacje o wkrętach samoformujących i problematyce z nimi związanej, a dzięki firmie AMB Technic oraz Milar będzie można dowiedzieć się o chemicznych metodach zabezpieczeń połączeń śrubowych, które nie wymagają dodatkowego elementu zabezpieczającego, dając jednocześnie wysokie zabezpieczenie procesu. Omówione zostaną także procesy i metody dozowania środków chemicznych.

Na Konferencji będzie można poznać też inne sposoby zabezpieczenia połączeń śrubowych przed samoczynnym odkręceniem oraz dowiedzieć się dużo o dokręcaniu i odkręcaniu połączeń gwintowych w kontekście narzędziowym. Prelekcję wygłosi prof. Zbigniew Dąbrowski z Politechniki Warszawskiej.

PSIiTM jest klastrem skupiającym innowacyjność, edukację i doświadczenie krajowych ekspertów, a jego głównym celem jest popularyzowanie i dostarczanie wiedzy z obszarów związanych z najnowszymi technologiami i metodami usprawniającymi procesy produkcji na etapie montażu – łączenia. PSIiTM tworzy przestrzeń wymiany doświadczeń i możliwości dla przedstawicieli procesów montażu – inżynierów produkcji, procesów, dyrektorów technicznych, designerów i technologów, ale również firm produkcyjnych i innych podmiotów, które będą chciały połączyć się w PSIiTM.

Konferencja „**Mechaniczne połączenia rozłączne**” to doskonała okazja do skorzystania z tworzonej przez PSIiTM przestrzeni, a także szansa na poszerzenie horyzontów i pogłębiony networking.

Więcej informacji oraz zapisy na www.psiitm.org.

Kontakt: Robert Pogorzelski Dyrektor PSIiTM: robert.pogorzelski@psiitm.org, tel. 503 750 459

Platynowy Partner Konferencji:

ambtechnic[®]
systemy dozujące - aktywacja powierzchni

PORTAL INFORMACJI TECHNICZNEJ

www.sigma-not.pl



ponad
90 000 e-publikacji
ponad
30 tytułów w jednym miejscu

PRASA FACHOWA

SIGMA-NOT
www.sigma-not.pl



WWW.SIGMA-NOT.PL