

ZESZYTY NAUKOWE
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

SCIENTIFIC LETTERS
OF RZESZOW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

NR 288

(e-ISSN 2300-5211)

MECHANIKA

Kwartalnik

tom XXX

zeszyt 85 (nr 1/2013)

styczeń-marzec



WYDZIAŁ
BUDOWY MASZYN
I LOTNICTWA
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Wydano za zgodą Rektora

Redaktor naczelny
Wydawnictw Politechniki Rzeszowskiej
prof. dr hab. inż. Leonard ZIEMIAŃSKI

Rada Naukowa ZN PRz Mechanika

Sergei ALEXANDROV (Rosja), Józef GAWLIK, Rudolf KAWALLA (Niemcy),
Krzysztof KUBIAK, Thomas G. MATHIA (Francja), Tadeusz MARKOWSKI,
Pavlo MARUSCHAK (Ukraina), Paweł PAWLUS, Andrea PICCOLROAZ (Włochy),
Marderos Ara SAYEGH (Syria), Jarosław SĘP, Emil SPISÁK (Słowacja),
Feliks STACHOWICZ, Marian SZCZEREK, Nicolae UNGUREANU (Rumunia)

Komitet Redakcyjny

redaktor naczelny
prof. dr hab. inż. Feliks STACHOWICZ

redaktorzy tematyczni (naukowi)
dr hab. inż. Krzysztof KUBIAK, prof. PRz
dr hab. inż. Jarosław SĘP, prof. PRz
prof. dr hab. inż. Andrzej TOMCZYK

redaktor statystyczny
prof. dr hab. inż. Paweł PAWLUS

sekretarz redakcji
dr inż. Tomasz TRZEPIECIŃSKI

członkowie
dr hab. inż. Grzegorz BUDZIK, prof. PRz
dr inż. Tadeusz BALAWENDER

Redaktorzy językowi

Marta JAGIEŁOWICZ
Natalia TRZEPIECIŃSKA

Przygotowanie matryc

Mariusz TENDERA

p-ISSN 0209-2689

e-ISSN 2300-5211

Wersja drukowana Kwartalnika jest wersją pierwotną.

Redakcja czasopisma: Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa,
al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów (e-mail: tomtrz@prz.edu.pl)
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/mechanika>

Wydawca: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów (e-mail: oficyna1@prz.edu.pl)
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl>

Informacje dodatkowe i stopka – str. 89

SPIS TREŚCI

Piotr CZAJKA, Jordan MEŻYK, Wojciech MIZAK: Zastosowanie inspekcji termowizyjnej do oceny poprawności montażu połączeń rurowych	5
Roman KIELEC, Jarosław NOWACZYK: Analiza i ocena jakości procesu spawania urządzeń grzewczych	19
Stanisław KOZIOŁ, Andrzej ZBROWSKI: System testowania odporności dokumentów na dwustronne zginanie	31
Aleksander NIEOCZYM: Prototypowe zrobotyzowane gniazdo technologiczne	41
Anna RUDAWSKA, Łukasz SOSNOWSKI: Wybrane zagadnienia wytrzymałości połączeń spawanych i klejowych stali konstrukcyjnej S235JR	49
Tomasz SAMBORSKI, Andrzej ZBROWSKI: Stanowisko do badania odporności paszportów na przeglądanie	57
Aleksander STREUBEL, Marek KURAN, Rafał SUBBOTKO: Problemy technologiczne wykonania otworów cylindrycznych wynikające z ich zastosowania	67
Andrzej ZBROWSKI, Krzysztof JANKOWSKI: Test rozłaczania w kontroli jakości tulei polimerowych	79
Informacje dodatkowe	89

Piotr CZAJKA¹
Jordan MEŻYK²
Wojciech MIZAK³

ZASTOSOWANIE INSPEKCJI TERMOWIZYJNEJ DO OCENY POPRAWNOŚCI MONTAŻU POŁĄCZEŃ RUROWYCH

W pracy przedstawiono metodę kontroli jakości połączeń rur strukturalnych, wykonanych z tworzywa sztucznego, z kielichami. Połączenie to jest realizowane metodą zgrzewania tarciowego. Do oceny poprawności montażu połączeń rurowych zastosowano inspekcję termowizyjną polegającą na analizie rozkładu temperatur na powierzchni materiału. Przed operacją zgrzewania wykonano symulowane wady w postaci uszkodzeń karbów rury. W celu sprawdzenia czułości metody wykonano cztery wady różniące się powierzchnią i głębokością uszkodzeń. Badania eksperymentalne przeprowadzono bezpośrednio w zakładzie produkcyjnym z zastosowaniem metody termografii pasywnej, jak również w warunkach laboratoryjnych za pomocą metody termografii aktywnej. W metodzie termografii pasywnej energia cieplna pochodzi wyłącznie z badanego obiektu, bez dodatkowej stymulacji zewnętrznym źródłem energii. W tym przypadku jest wykorzystywane ciepło pozostałe po procesie formowania rury oraz dodatkowo ciepło wygenerowane w procesie zgrzewania. W metodzie termografii aktywnej jest analizowana odpowiedź materiału na stymulację zewnętrznym źródłem energii. Głównym elementem systemu inspekcji jest kamera termowizyjna wyposażona w niechłodzony sensor mikrobolometryczny pracujący w długofalowym zakresie promieniowania podczerwonego. Podczas badań rura była obracana względem kamery IR w celu umożliwienia kontroli obszaru połączenia na całym obwodzie. Na zarejestrowanych termogramach obserwowano zmianę temperatury w obszarze uszkodzeń poprzez analizę rozkładu temperatur wzdłuż wybranych profili. Na potrzeby badań laboratoryjnych utworzono stanowisko eksperymentalne z napędem elektrycznym, umożliwiające precyzyjny obrót fragmentu rury z wykonaną zgrzeiną względem kamery termowizyjnej.

Słowa kluczowe: pasywna i aktywna termografia, detekcja wad, zgrzewanie tarciove

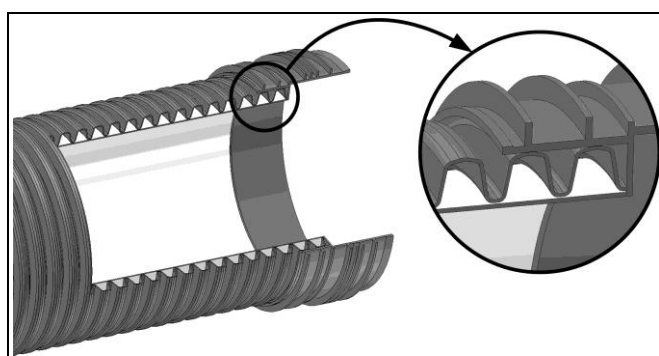
¹ Autor do korespondencji, corresponding author: Piotr Czajka, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom.

² Jordan Meżyk, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom.

³ Wojciech Mizak, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom.

1. Wprowadzenie

Celem badań jest inspekcja połączeń rur z kielichami, które to są realizowane metodą zgrzewania tarcowego. Według producenta metoda zapewnia dużą stabilność połączenia oraz wysoką szczelność w porównaniu z rurami bezkielichowymi, tzw. bosymi łączonymi za pomocą kształtek dwukielichowych. Na rysunku 1. przedstawiono przekrój poprzeczny modelu rury połączonej z kielichem. Obszar zgrzeiny obejmuje dwa karby rury. Metoda zgrzewania tarcowego należy do kategorii połączeń nierozłącznych.



Rys. 1. Prezentacja obszaru połączenia rury karbowanej z kielichem

Fig. 1. Presentation of the joint area of the crimp pipe with faucet

Do kontroli jakości połączeń rur z kielichami zaproponowano metodę termowizyjną, polegającą na pomiarze promieniowania cieplnego wysyłanego przez obiekt i wyznaczeniu na tej podstawie rozkładu temperatury na jego powierzchni. Umożliwia to monitorowanie temperatury obiektów, a także wykrywanie defektów powierzchniowych i podpowierzchniowych w materiałach [1-7]. Zaletą stosowania metod wizyjnych jest bezkontaktowy oraz nieniszczący charakter badań (ang. *non-destructive testing* – NDT), co pozwala na wykrywanie wad bez obniżania parametrów badanego wyrobu [1, 3, 5, 7].

Inspekcja w podczerwieni może być realizowana z zastosowaniem tzw. termografii pasywnej (ang. *passive infrared thermography*) lub termografii aktywnej (ang. *active infrared thermography*) [2-6]. W pierwszej metodzie jest wykorzystywane ciepło emitowane przez badany obiekt, który został „naturalnie” ogrzany w wyniku poddawania go różnym procesom technologicznym (tak jak podczas formowania elementów z tworzywa) lub w wyniku pracy obiektu (tak jak np. w przypadku elementów elektronicznych). W drugiej metodzie podczas prowadzenia badań obiekt jest ogrzewany „sztucznie” zewnętrznym źródłem energii, np. za pomocą lampy halogenowej, lasera, ultradźwięków lub promienników podczerwieni. W obu przypadkach temperatura obserwowanego obiektu powinna różnić się znacząco od temperatury otoczenia, tak aby była

możliwa obserwacja zachodzących zjawisk za pomocą kamery termowizyjnej. Wykrywanie defektów podpowierzchniowych jest możliwe, kiedy mają one inne właściwości termiczne niż badany obiekt. Energia cieplna dyfunduje wewnątrz materiału z szybkością zależną od jego właściwości; natrafiając na defekt, powoduje zmianę szybkości tej dyfuzji, która objawia się zmianą temperatury na powierzchni obiektu [1, 3, 5-7]. W przypadku propagacji energii cieplnej od powierzchni w głąb materiału defekt zmniejszający szybkość dyfuzji w stosunku do otaczającego materiału ujawni się w postaci lokalnego wzrostu temperatury na powierzchni, natomiast defekt zwiększający szybkość dyfuzji – w postaci lokalnego spadku temperatury [3, 5, 6]. W przypadku propagacji ciepła z głębi materiału na powierzchnię przedstawione zależności są odwrotne.

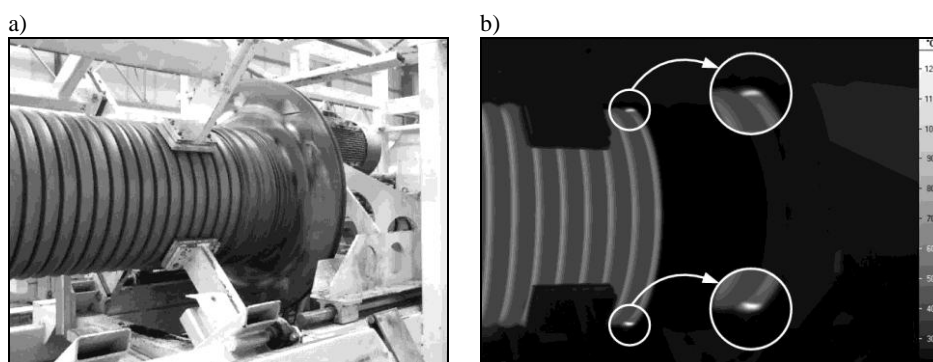
W opisywanych badaniach zastosowano zarówno metodę termografii pasywnej, jak i termografii aktywnej. W pomiarach wykonanych u producenta wykorzystano energię cieplną pozostałą po uformowaniu rury w korugatorze, natomiast w testach prowadzonych w laboratorium rurę ogrzewano od strony wewnętrznej, jak i zewnętrznej za pomocą promienników podczerwieni, uzyskując różne konfiguracje układów pomiarowych. Pozwoliło to na identyfikację symulowanych wad w zgrzewanym połączeniu rury z kielichem.

2. Badania eksperymentalne w zakładzie produkcyjnym

W przypadku badań *in situ* przedmiotem eksperymentów były rury o średnicy zewnętrznej 600 mm z zamontowanym kielichem, pochodzące z linii produkcyjnej. Rura po wyjściu z korugatora ma temperaturę około 60°C. Po zakielichowaniu i przetransportowaniu do stanowiska paletyzacji, na którym wykonano pomiary, powierzchnia zewnętrzna rury jest ochłodzona do około 40°C, podczas gdy powierzchnia pomiędzy karbami w dalszym ciągu utrzymuje temperaturę około 60°C. Do realizacji badań eksperymentalnych zastosowano kamerę termowizyjną z niechłodzonym sensorem mikrobolometrycznym o rozdzielczości 640 x 480 pikseli. Sensor kamery pracuje w długofalowym zakresie promieniowania podczerwonego 7,5÷14 μm [5, 6, 8]. Początkowo kamera została ustawiona tak, aby monitorować bezpośrednio proces zgrzewania tarcowego (rys. 2a). W procesie tym rura jest unieruchamiana, a kielich wprowadzany w ruch obrotowy. Następnie obracający się kielich jest nasuwany na rurę. W trzecim etapie następuje zwolnienie kielicha z uchwytu wrzeciona oraz wycofanie podpór i wrzeciona.

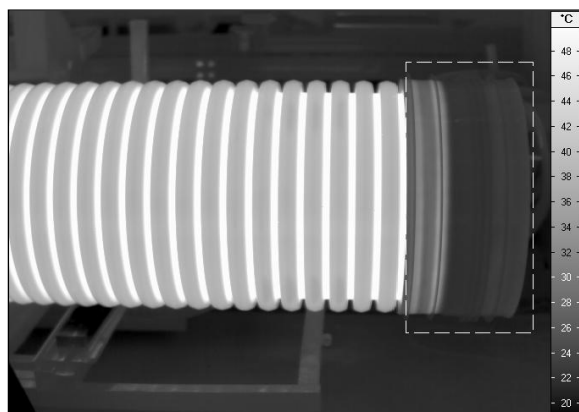
Na termogramie (rys. 2b) jest widoczny duży kontrast temperaturowy pomiędzy kielichem pozostającym w temperaturze otoczenia a rurą emitującą energię cieplną pozostałą po procesie formowania. W wyniku procesu zgrzewania tarcowego jest generowana dodatkowa energia cieplna, która jest rejestrowana na termogramie w postaci lokalnego wzrostu temperatury na styku rury z kielichem. Ze względu na niską przewodność cieplną tworzywa sztucznego bezpośrednio po procesie zgrzewania zewnętrzna powierzchnia kielicha w ob-

szarze zgrzeiny nie wykazuje kontrastu temperaturowego względem pozostałych obszarów kielicha. Następnie kamera termowizyjna została ustawiona w rejonie pola odkładczego celem obserwacji procesów cieplnych zachodzących w rurze i kielichu podczas swobodnego chłodzenia. Początkowo kielich pozostawał zimny, lecz w miarę upływu czasu jego część mająca kontakt z rurą ogrzewała się, co pozwoliło na obserwację wykonanej zgrzeiny za pomocą kamery termowizyjnej. Po upływie około 5 min od momentu wykonania zgrzewania tarcowego na powierzchni kielicha ujawnia się lokalny wzrost temperatury w obszarze zgrzeiny (rys. 3.), obejmujący dwa karby rury.



Rys. 2. Proces zgrzewania tarcowego: a) fotografia w paśmie widzialnym, b) termogram w podczerwieni

Fig. 2. Friction welding process: a) photography in the visible band, b) infrared photography

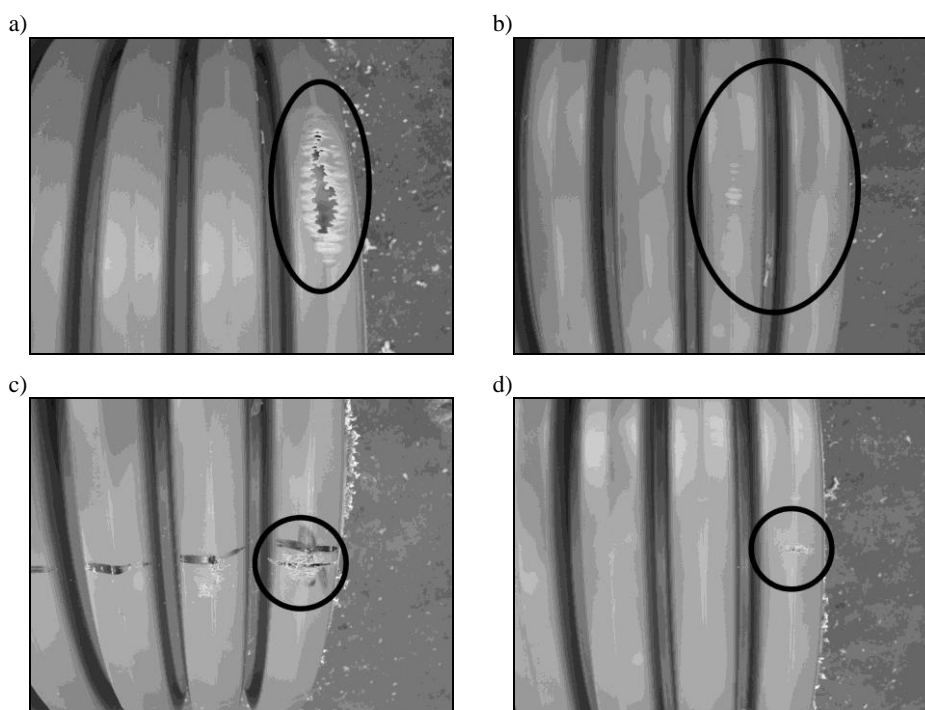


Rys. 3. Obraz termowizyjny rury z kielichem uzyskany po upływie około 5 minut od momentu wykonania zgrzewania

Fig. 3. Thermovision image of the pipe with the faucet obtained about 5 minutes after welding

Po przeprowadzeniu wstępnych badań, których celem było ustalenie warunków pomiaru, przed operacją zgrzewania wykonano symulowane wady w postaci uszkodzeń karbów rury. W celu sprawdzenia czułości metody wykonano cztery wady różniące się powierzchnią i głębokością uszkodzeń (rys. 4.).

Wada nr 1 (rys. 4a) charakteryzuje się uszkodzeniem karbu rury na dużym obszarze i głębokości. Wymiary powierzchniowe defektu wynoszą ok. 127 x 40 mm. Wada nr 2 (rys. 4b) to rozległe powierzchniowe uszkodzenie karbów. Przybliżone wymiary większego defektu wynoszą 140 x 20 mm. Wada nr 3 (rys. 4c) polega na wykonanym przecięciu poprzecznym karbu rury. Powstała szczelina ma szerokość około 3 mm, natomiast całkowity wymiar powierzchni uszkodzenia wynosi 23 x 50 mm. Wada nr 4 (rys. 4d) to małe uszkodzenie powierzchniowe o wymiarach około 8 x 23 mm. Rzeczywiste wady pojawiają się w sposób losowy i występują głównie w przypadku, gdy rura i kielich pochodzą ze skrajnych zakresów tolerancji. Powstające wady wpływają negatywnie na wytrzymałość mechaniczną połączenia, brak jest jednak informacji o częstotliwości występowania tego typu defektów.

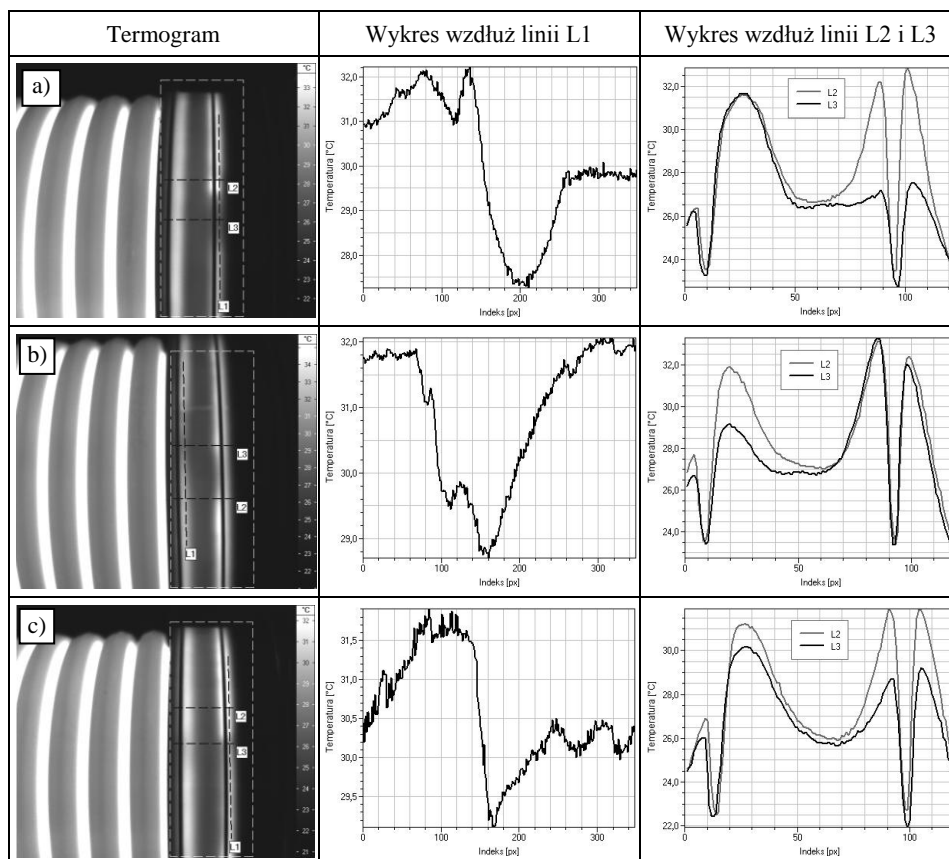


Rys. 4. Symulowane wady wykonane przed operacją zgrzewania: a) wada nr 1 (rozległa, głęboka), b) wada nr 2 (rozległa, powierzchniowa), c) wada nr 3 (przecięcie), d) wada nr 4 (małe uszkodzenie)

Fig. 4. Simulated defects made before welding operation: a) defect no. 1 (extensive, deep), b) defect no. 2 (extensive, superficial), c) defect no. 3 (cut), d) defect no. 4 (little damage)

Następnie po wykonaniu zgrzewiny zarejestrowano serię obrazów termowizyjnych obszaru połączenia. Kamera IR została ustawiona na statywie nad rurą i skierowana pionowo w dół. Rura była obracana względem kamery termowi-

zyjnej w celu umożliwienia kontroli obszaru połączenia na całym obwodzie. Na tym etapie badań eksperymentalnych obrót był realizowany w sposób nieautomatyzowany. Na termogramach zaobserwowano zmianę temperatury w obszarze uszkodzeń nr 1, 2 i 3 (rys. 5.). Nie udało się natomiast zlokalizować najmniejszego uszkodzenia (wada nr 4).



Rys. 5. Uzyskane przykładowe wyniki badań eksperymentalnych w rzeczywistych warunkach pracy: a) wada nr 1 (rozległa, głęboka), b) wada nr 2 (rozległa, powierzchniowa), c) wada nr 3 (przecięcie)

Fig. 5. Examples of experimental tests results determined in real operating conditions: a) defect no. 1 (extensive, deep), b) defect no. 2 (extensive, superficial), c) defect no. 3 (cut)

Przeprowadzono analizę rozkładu temperatur wzdłuż wybranych linii na termogramie. Zaproponowano kierunek analizy wzdłuż zgrzeiny (linia L1) oraz dodatkowo w kierunku prostopadłym (linie L2 i L3). Uzyskane wykresy profili temperaturowych wzdłuż linii L1 wskazują lokalne obniżenie temperatury w obrębie zasymulowanych wad. Występujące defekty mają charakter ubytków

w materiale w postaci pustych przestrzeni, które powodują brak kontaktu między rurą a kielichem. Utrudnione w tym przypadku przenikanie energii ku powierzchni powoduje powstanie obszarów o niższej temperaturze [3, 5, 6]. W przypadku wykresów profilowych w kierunku prostopadłym do zgrzeiny (wzdłuż linii L2 i L3) długość linii obejmuje dwa karby, które są widoczne w postaci obszarów o wyższej temperaturze. Na zewnątrz kielicha występują kołnierze (rys. 1.), które powodują, że rozkład temperatury zgrzewu w tym obszarze jest zaburzony (powtarzające się na wykresach obszary o niższej temperaturze). Obszarów tych nie należy uwzględniać w analizie. Wykresy wzdłuż linii L2 zostały wykonane dla fragmentów niewykazujących wad, natomiast wykresy wzdłuż linii L3 prezentują rozkład temperatury w obrębie defektów. Porównując oba wykresy, jest widoczne lokalne obniżenie temperatury uszkodzonych obszarów.

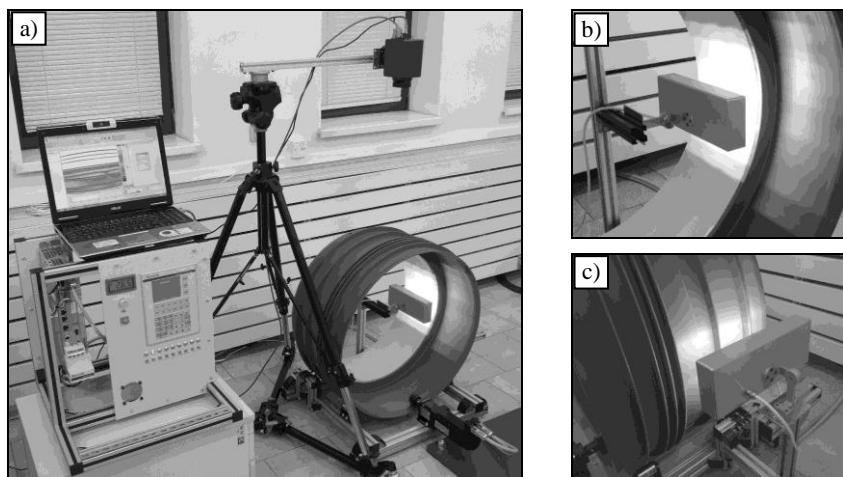
Po wykonaniu przedstawionego eksperymentu stwierdzono, że konieczne jest zapewnienie stabilnego obrotu rury względem systemu wizyjnego. Kielich z fragmentem rury zawierającym wady połączenia został przekazany przez producenta do przeprowadzenia dalszych badań w Instytucie Technologii Eksploatacji PIB.

3. Badania w warunkach laboratoryjnych

Badania laboratoryjne wykonano na opracowanym stanowisku eksperymentalnym pozwalającym na pomiary z wykorzystaniem metody termografii aktywnej (rys. 6.). Konstrukcja stanowiska pozwala na ogrzewanie, za pomocą promienników podczerwieni, zarówno wewnętrznej, jak i zewnętrznej powierzchni rury. Moduł promiennika IR zawiera dwie lampy podczerwieni, każda o mocy jednostkowej 500 W [6]. Odpowiedź obiektu na pobudzenie cieplne może być rejestrowana bezpośrednio na pobudzonej powierzchni (przednia projekcja, ang. *forward projection*) lub też na powierzchni przeciwnej, po przejściu fali cieplnej przez obiekt (projekcja tylna, ang. *back projection*) [5, 7]. W celu zapewnienia precyzyjnego obrotu fragmentu rury z kielichem została opracowana konstrukcja stanowiska, w skład której wchodzi: rama nośna, zestaw czterech rolek podpierających, dwa zestawy rolek prowadzących, serwonapęd (rys. 7.).

Rama jest wykonana z profili aluminiowych, zapewniających małą masę oraz dużą sztywność całego układu. Dodatkową zaletą takiego rozwiązania jest łatwa rekonfiguracja stanowiska. Badany fragment rury z kielichem jest posadowiony na rolkach podpierających, które ustalają jej pozycję względem płaszczyzny XZ oraz umożliwiają obrót względem własnej osi. Rolki pozycjonujące z dwóch stron stycznie przylegają do kołnierza na kielichu, przez co ograniczają możliwości przemieszczania się rury względem osi X. Rozwiązanie takie pozwala precyzyjnie pozycjonować badany obiekt, co umożliwia uzyskanie stabilnego obrazu z kamery termowizyjnej. Moduł napędu jest posadowiony na wsporniku, który umożliwia pozycjonowanie wzdłuż osi X oraz Z. Na wałku

przekładni jest osadzona rolka napędowa, której powierzchnia zewnętrzna stycznie współpracuje z powierzchnią wewnętrzną kielicha, dzięki czemu ruch obrotowy z przekładni jest przekazywany na badany obiekt. Powierzchnia zewnętrzna rolki napędowej w celu zwiększenia siły tarcia oraz zabezpieczenia rolki przed zjawiskiem poślizgu została poddana procesowi radełkowania. Przed przystąpieniem do badania napęd jest przesuwany w skrajne prawe położenie wzdłuż osi X, co umożliwia łatwe osadzenie rury na rolkach, następnie po ustaleniu pozycji rury napęd jest przesuwany w skrajne lewe położenie. W dalszej kolejności moduł napędu jest przemieszczany wzdłuż osi Z do momentu uzyskania styku rolki napędowej z powierzchnią wewnętrzną kielicha, po czym jego pozycja jest ustalana za pomocą śrub dociskowych. Układ sterowania umożliwia płynną regulację prędkości obrotowej badanego obiektu. Dla rury o średnicy zewnętrznej 600 mm uzyskano możliwość zmiany prędkości obrotowej rury w zakresie 0÷6 obr/min. Konstrukcja ramy umożliwia przeprowadzanie pomiarów w warunkach laboratoryjnych dla fragmentów rur o średnicy 150÷1000 mm i długości do 800 mm.

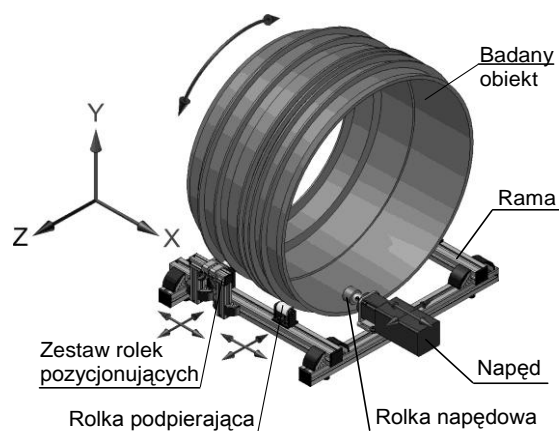


Rys. 6. Eksperymentalne stanowisko badawcze do kontroli jakości połączeń rur z kielichami metodą termografii aktywnej: a) widok ogólny stanowiska, b) promiennik IR do ogrzewania wewnętrznej powierzchni rury, c) promiennik IR do ogrzewania zewnętrznej powierzchni rury

Fig. 6. Experimental test stand for quality inspection of the joint of the pipe with faucets using active thermography method: a) general view of the stand, b) IR radiator for heating of inner surface of pipe, c) IR radiator for heating of outer surface of the pipe

Program badań obejmował przeprowadzenie doświadczeń z zastosowaniem projekcji przedniej oraz tylnej. Kielich z fragmentem rury był obracany ze stałą prędkością wokół swojej osi. Kamera termowizyjna była ustawiona tak, że obserwowała powierzchnię zewnętrzną kielicha pionowo od góry, natomiast pro-

mienniki podczerwieni zamontowano po wewnętrznej i zewnętrznej stronie powierzchni rury. Wykonano eksperymenty z różnymi czasami nagrzewania rury i różnym okresem rejestracji obrazów termowizyjnych. Ostatecznie ustalono czas ogrzewania badanego obiektu równy 10 min, następnie promienniki wyłączano i dokonywano rejestracji termogramów przez kolejne 10 min. Najlepsze wyniki uzyskano podczas rejestracji obrazów natychmiast po wyłączeniu promiennika w przypadku projekcji tylnej i po odczekaniu około 2 min w przypadku projekcji przedniej. Prędkość obrotowa rury podczas badań została ustawiona na 2 obr/min.

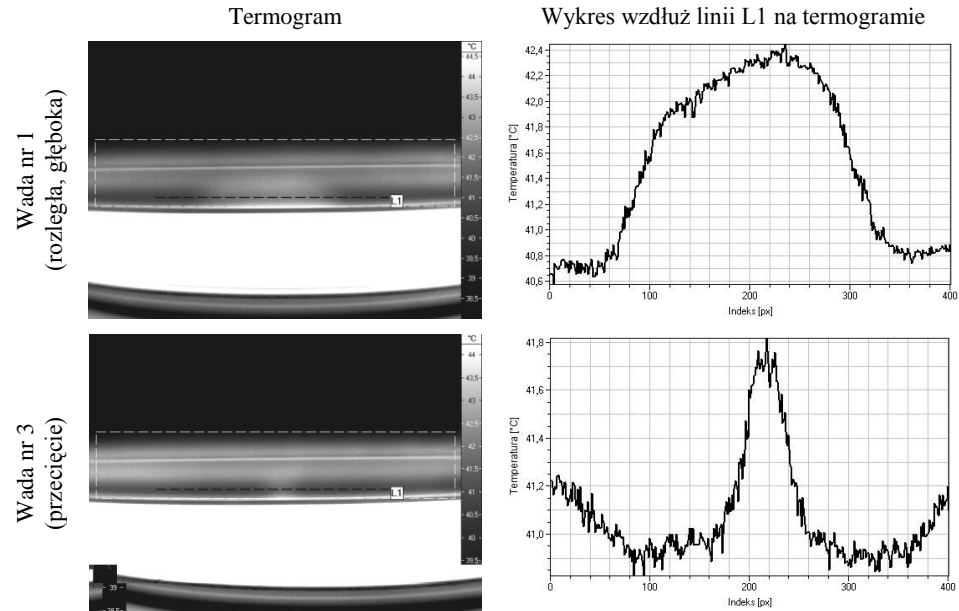


Rys. 7. Model stanowiska do obrotu fragmentu rury z kielichem

Fig. 7. Stand model for turn of a fragment of the pipe with faucet

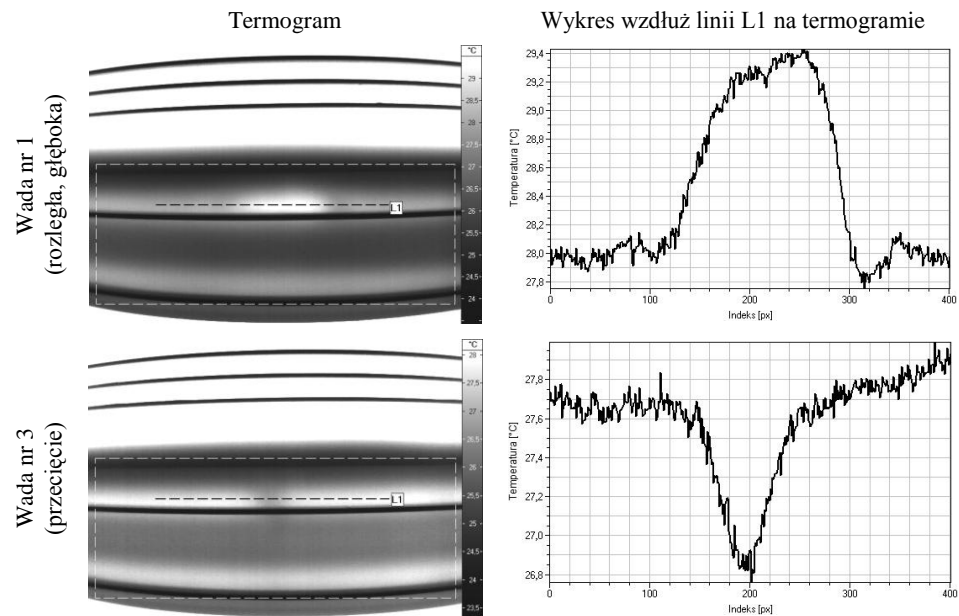
Analizując zarejestrowane sekwencje termogramów, poszukiwano odchyleń temperatury na powierzchni kielicha, a następnie, wykorzystując narzędzia dostępne w oprogramowaniu kamery, wyznaczono profile temperaturowe w wytypowanych obszarach wzdłuż zgrzeiny. Na uzyskanych wykresach pojawiają się wahania temperatury (przykłady na rys. 8. i 9.), wskazujące na występujące pod powierzchnią anomalie w postaci defektów. Analizy te pozwoliły na jednoznaczne wykrycie wad nr 1 i 3. Wada nr 4 pozostała niewidoczna, podobnie jak w badaniach w zakładzie produkcyjnym, natomiast wada nr 2 ujawniała się jedynie w postaci niewielkich odchyłek temperatury na poziomie szumu pomiarowego, co nie pozwoliło na jednoznaczną jej identyfikację zastosowaną metodą. W przypadku projekcji przedniej można zaobserwować, że na powierzchni kielicha występują obszary o podwyższonej temperaturze w miejscu występowania defektów (rys. 8.).

Energia cieplna wygenerowana za pomocą promienników IR wnika w głąb materiału. W miejscu, gdzie fala cieplna napotyka defekt o mniejszej przewodności temperaturowej niż otaczający go materiał, następuje akumulacja energii i w konsekwencji utrzymanie temperatury danego obszaru, podczas gdy materiał wokół obniża swoją temperaturę, ponieważ energia cieplna przenika w głębsze warstwy materiału [3, 5, 6].



Rys. 8. Uzyskane przykładowe wyniki badań w warunkach laboratoryjnych (projekcja przednia)

Fig. 8. Examples of results of laboratory investigations (front projection)



Rys. 9. Uzyskane przykładowe wyniki badań w warunkach laboratoryjnych (projekcja tylna)

Fig. 9. Examples of results of laboratory investigations (back projection)

Odwrotnego efektu należy się spodziewać w przypadku projekcji tylnej (rys. 9.), tj. obecność defektów podpowierzchniowych powinna objawić się w tym przypadku w postaci obszarów o temperaturze obniżonej względem otaczającej powierzchni. Rzeczywiście efekt ten występuje w przypadku wady nr 3, jednak w odniesieniu do wady nr 1 jest on przeciwny do oczekiwanego, tj. występuje obszar o podwyższonej temperaturze względem otoczenia. Dzieje się tak dlatego, że wada nr 1 jest spowodowana uszkodzeniem o dużym rozmiarze i głębokości – na znacznym odcinku całkowicie usunięto materiał na powierzchni zewnętrznej rury, wskutek czego powierzchnia kielicha w tym obszarze jest bezpośrednio ogrzewana.

4. Planowane dalsze badania

Po wykonaniu badań wstępnych *in situ* oraz dokładniejszych analiz na pół-automatycznym stanowisku badawczym, kolejnym etapem będzie ponowne przeprowadzenie badań w siedzibie producenta rur z wykorzystaniem odpowiednio przystosowanego stanowiska badawczego. Stanowisko wykorzystane w laboratorium zostało rozbudowane i wyposażone w dodatkową podporę pozwalającą na obrót rur o dowolnej długości (rys. 10.) oraz w automatykę do realizacji sprzężenia zwrotnego, które pozwoli na synchronizację rejestracji obrazów z obrotem rury. Dzięki tym modyfikacjom możliwe będzie utworzenie obrazu termicznego złącza w rozwinięciu w postaci tzw. widoku panoramicznego [9].

Istotnym celem do osiągnięcia w następnym etapie jest zebranie dużej ilości materiału do wykonania statystyk i obserwacji zmienności parametrów poprawnie wykonywanych zgrzein w normalnym cyklu produkcyjnym. Ponadto planuje się określenie zmian obrazu termowizyjnego złącza rura-kielich w czasie. Badanie obejmą długoczasową rejestrację obrazów termowizyjnych wykonanych na kilku lub kilkunastu egzemplarzach produktu. Zebrane dane posłużą do opracowania algorytmów oraz oprogramowania, które pozwoli na automatyczną inspekcję połączeń rur z kielichami.



Rys. 10. Model stanowiska do obrotu rury o dowolnej długości z połączeniem kielichowym

Fig. 10. Stand model for turn of the pipe of any length with bell-shaped joint

5. Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały potencjalną możliwość zastosowania metod termograficznych do inspekcji połączeń rur z kielichami. Wykonane symulowane defekty w postaci ubytków, w formie pustej przestrzeni między rurą a kielichem, wykazują inne właściwości termiczne niż badany materiał. Pomiary potwierdziły przydatność zarówno metod termografii pasywnej, jak i termografii aktywnej, przy czym wyższy kontrast temperaturowy oraz większą liczbę wykrytych defektów zapewniają termogramy zarejestrowane w badaniach *in situ* z wykorzystaniem ciepła pochodzącego z procesu wytwarzania. Umożliwia to rezygnację z układu zewnętrznej stymulacji cieplnej badanych obiektów. Istnieje możliwość zastosowania opracowanej metody w praktyce przemysłowej, gdzie istotny jest brak potrzeby wstępnego przygotowania badanego obiektu do inspekcji wizyjnej oraz miejsce wykonania kontroli jakości, które nie powinny zaburzyć istniejącego procesu produkcyjnego. Równie istotny jest koszt wykonania stanowiska do inspekcji, który w przypadku metod korzystających z kamer termowizyjnych jest wysoki. Dalsze etapy prac wykażą, czy do realizacji tego zadania możliwe jest zastosowanie tańszej aparatury pomiarowej w postaci czujników punktowych. Opracowane stanowisko do precyzyjnego obrotu rury z kielichem zapewnia możliwość uzyskania powtarzalnych wyników pomiarowych i obserwację zmienności parametrów samego procesu zgrzewania tarcioowego, przy jednoczesnej minimalizacji zakłóceń pomiarowych.

Literatura

1. Więcek B., De Mey G.: Termowizja w podczerwieni. Podstawy i zastosowania. Wydawnictwo PAK, Warszawa 2011.
2. Minkina W.: Pomiary termowizyjne – przyrządy i metody. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004.
3. Oliferuk W.: Termografia podczerwieni w nieniszczących badaniach materiałów i urządzeń. Biuro Gamma, Warszawa 2008.
4. Szczepanik M., Stabik J., Wróbel G., Wierzbicki Ł.: Wykorzystanie systemów termowizyjnych do badań materiałów polimerowych. Modelowanie Inżynierskie, t. 5, z. 36, 2008 s. 279-286.
5. Czajka P., Giesko T., Mizak W.: Modelowanie procesu inspekcji materiałów w paśmie widzialnym i podczerwieni. Problemy Eksploatacji, nr 2/2012, s. 21-35.
6. Czajka P., Mizak W.: Modułowa struktura głowicy wizyjnej do hybrydowej kontroli jakości w paśmie widzialnym i podczerwieni. Technologia i Automatyzacja Montażu, nr 2(76), 2012, s. 42-47.
7. Projekt Badawczy Zamawiany PW-004/ITE/02/2004: „Budowa systemu pomiarowego do badań nieniszczących techniką termografii aktywnej”. Sprawozdanie końcowe, Centralny Instytut Ochrony Pracy – PIB, Warszawa 2005.
8. VarioCAM hr head User's Manual, InfraTec, <http://www.infratec.de>.

9. Ahuja N., Barkan C.: Machine vision for railroad equipment undercarriage inspection using multi-spectral imaging. Final Report for High-Speed Rail IDEA Project 49, USA 2007.

Praca naukowa wykonana w ramach realizacji Programu Strategicznego pn. „Innowacyjne systemy wspomaganie technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki” w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka.

THE USE OF THERMOVISUAL INSPECTION FOR ASSESSMENT OF CORRECTNESS OF ASSEMBLY OF PIPE COUPLERS

Abstract

The article presents the method for quality inspection of structural pipes, made of plastics, with couplers. The connection is made with the friction welding method. For the assessment of correctness of assembly of couplers the method of thermovision inspection is applied, which consists in analysis of the distribution of temperatures on the surface of the material. Before welding several faults were simulated by intentional damaging of the notches of the pipe. To test the sensitivity of the method four different faults were produced that differ in their area and depth. The experimental research was conducted in situ using the passive thermography and in the laboratory conditions using active thermography. In the method of passive thermography the thermal energy comes only from the object under test, without additional stimulation with external heat source. In such case the heat remaining after the pipe forming process is used as well as the heat generated during the welding process. In the method of active thermography the response of the material to the stimulation with external heat source is analysed. The main element of the inspection system is an infrared camera, equipped with non-cooled microbolometric sensor working in long-wave band of the infrared radiation. During tests the pipe was turned in relation to the IR camera to allow measurements of the weld along the whole circumference of the coupler. The variation of the temperature along selected profiles was observed on the recorded thermograms and analysed. To make the laboratory research possible, a special experimental test stand with electric motor was made, that allows precise rotation of the part of the pipe with welded coupler in relation to the infrared camera.

Keywords: passive and active thermography, defect detection, friction welding

DOI: 10.7862/rm.2013.1

Otrzymano/received: 25.02.2013

Zaakceptowano/accepted: 2.04.2013

Roman KIELEC¹
Jarosław NOWACZYK²

ANALIZA I OCENA JAKOŚCI PROCESU SPAWANIA URZĄDZEŃ GRZEWCZYCH

W pracy przeprowadzono analizę nieciągłości połączeń spawanych i ich wpływu na nieszczelność urządzeń grzewczych. Prawidłowy wymiar i szczelność są najważniejszymi cechami zarówno w przypadku sprzęgła hydraulicznego, kolektora, rozdzielacza kotłowego, jak i dla każdego innego produktu wytwarzanego przez przedsiębiorstwo, ze względu na ich zastosowanie w instalacjach grzewczych. Mimo że produkty firmy charakteryzują się wysoką jakością, to pod względem realizacji procesu wytwórczego pewne obowiązki zostały zlekceważone. Brak odpowiedniego systemu kontroli między operacjami technologicznymi oraz wadliwe wyroby są najczęściej identyfikowane na końcu procesu, podczas kontroli oraz testów szczelności. Konsekwencją tego jest wykonywanie dodatkowej pracy, a co za tym idzie ograniczenie zdolności produkcyjnej firmy. Dzięki wykorzystaniu wybranych narzędzi badawczych zidentyfikowano wady złączy spawanych oraz oszacowano ich wpływ na jakość produktu. Defekty zaobserwowane w ciągu okresów badawczych poddano analizie mapowania procesu produkcyjnego oraz FMEA. Przeprowadzono szacunkową kalkulację strat przedsiębiorstwa. Na podstawie wyników badań podano propozycje działań naprawczych oraz sformułowano wnioski końcowe pracy.

Słowa kluczowe: FMEA, proces spawania, reorganizacja

1. Wprowadzenie

We współczesnym świecie istnieje wiele technologii, które wymagają trwałego łączenia elementów konstrukcyjnych. Jedną z podstawowych metod łączenia elementów metalowych jest spawanie. Proces ten jest powszechnie stosowany do produkcji wielu wyrobów i w niektórych przedsiębiorstwach stanowi główny proces wytwarzania. Jakość złącza powstałego w procesie spawania można zazwyczaj ocenić dopiero po jego wykonaniu [1]. Poziomą jakość danego wyrobu jest ustalany na podstawie norm na etapie jego projektowania, zgodnie z jego późniejszym zastosowaniem. Istotnym elementem wyboru poziomu jako-

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Roman Kielec, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, ul. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra, tel.: 504070243, e-mail: r.kielec@iizp.uz.zgora.pl.

² Jarosław Nowaczyk, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, ul. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra, tel.: 504070243.

ści złącza spawanego są czynniki ekonomiczne, uwzględniające koszty spawania, kontroli oraz ewentualnych napraw wyrobu. Jedną z grup wyrobów, gdzie połączenia spawane odgrywają istotną rolę, są urządzenia grzewcze. Jakość złączy spawanych wiąże się głównie z koniecznością zachowania szczelności, ponieważ konsekwencje ewentualnej awarii mogą powodować ogromne straty [2]. Aby temu zapobiec, gotowe urządzenia są poddawane odpowiednim testom szczelności, podczas których są określane niezgodności złączy spawanych. Testy te pozwalają ocenić także straty, jakie dla przedsiębiorstwa może powodować brak odpowiedniej kontroli podczas procesu spawania. Mając do dyspozycji wiele współczesnych narzędzi identyfikacji potrzeb udoskonalania oraz posiadając odpowiednią wiedzę odnośnie wyboru metod i celu ich użycia, można efektywnie dążyć do usprawnienia przebiegu procesów produkcyjnych [3].

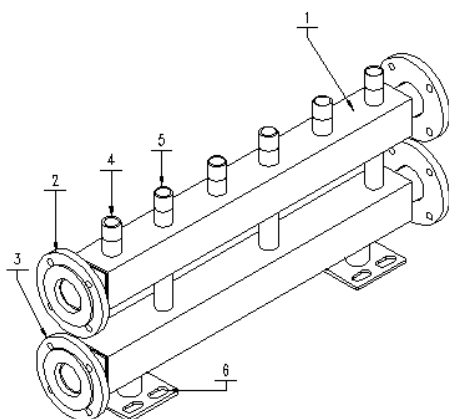
W pracy analizowano możliwy wpływ na proces produkcyjny urządzeń grzewczych nieszczelność ich połączeń spawanych.

2. Charakterystyka wybranego produktu – kolektora

Kolektory mają zastosowanie w układach grzewczych. Układy te składają się z kilku obiegów, w których następuje rozdzielenie czynnika grzewczego do wymaganej ich liczby. Cechy szczególne kolektora:

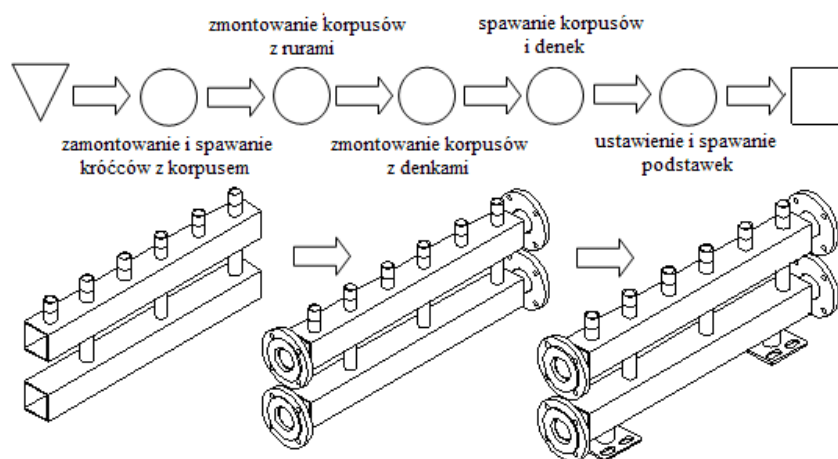
- możliwość przyłączenia dowolnej liczby obiegów,
- możliwość wykonania według indywidualnych rozwiązań,
- łatwy i szybki montaż oraz wygodne podłączenie do instalacji,
- małe gabaryty.

Kolektor (rys. 1.) jest skonstruowany z dwóch profili (1) o przekroju prostokątnym, zakończonych kołnierzami zasilającymi (2) i powrotnymi (3). Użycie przyłączy kołnierzowych umożliwia szeregowe łączenie kolektorów w celu podłączenia dowolnej liczby obiegów grzewczych. Przyłącza obiegów grzewczych (4) i (5) są wyprowadzone pionowo do góry i zakończone gwintem. Całość jest oparta na podstawkach wsporczych (6). Rysunek 2. ilustruje strukturę



Rys. 1. Kolektor

Fig. 1. Collector



Rys. 2. Mapa procesu montażu kolektora

Fig. 2. Collector assembly process map

montażu i spawania kolektora za pomocą mapy procesu. W tabeli 1. przedstawiono kartę technologiczną wykonania kolektora z wykazem operacji montażu i spawania, stanowisk roboczych oraz norm czasowych.

Tabela 1. Karta technologiczna montażu kolektora

Table 1. Collector assembly operation sheet

Karta technologiczna						
Nazwa artykułu: kolektor						logo firmy
Nr artykułu	montaż		suma czasu: 92,50			data
Nr operacji	treść operacji	narzędzie/ /urządzenie/maszyna	te	tr	T	liczba sztuk na zmianę
10	zmontować króćce i korpusy, wykonać spoiny szczepne	stanowisko spawalnicze	22,00		22,00	22
20	zespawać korpusy i króćce	stanowisko spawalnicze	22,00		22,00	22
30	zmontować korpusy i denka, wykonać spoiny szczepne	stanowisko spawalnicze	20,00		20,00	24
40	zespawać korpusy i denka	stanowisko spawalnicze	20,00		20,00	24
50	ustawić i zespawać podstawki z korpusem	stanowisko spawalnicze	8,50		8,50	56

3. Przebieg kontroli szczelności produktów w przedsiębiorstwie

Kontrola szczelności odbywa się na gotowych wyrobach, które pozytywnie zaopiniowano podczas kontroli jakości. Obejmuje ona dwa testy wykonywane przez dwóch pracowników. Na rysunku 3. przedstawiono algorytm przebiegu kontroli. Główne wady, które zostały zaobserwowane w procesie wytwarzania, stanowią problem dla większości asortymentu produkowanego w przedsiębiorstwie, w tym dla badanych urządzeń, jakimi są: sprzęgło hydrauliczne, kolektor i rozdzielacz kotłowy. Do najważniejszych wad należą:

- nieszczelność gotowych wyrobów,
- wady połączeń spawanych,
- niezgodność wymiarów produktów.

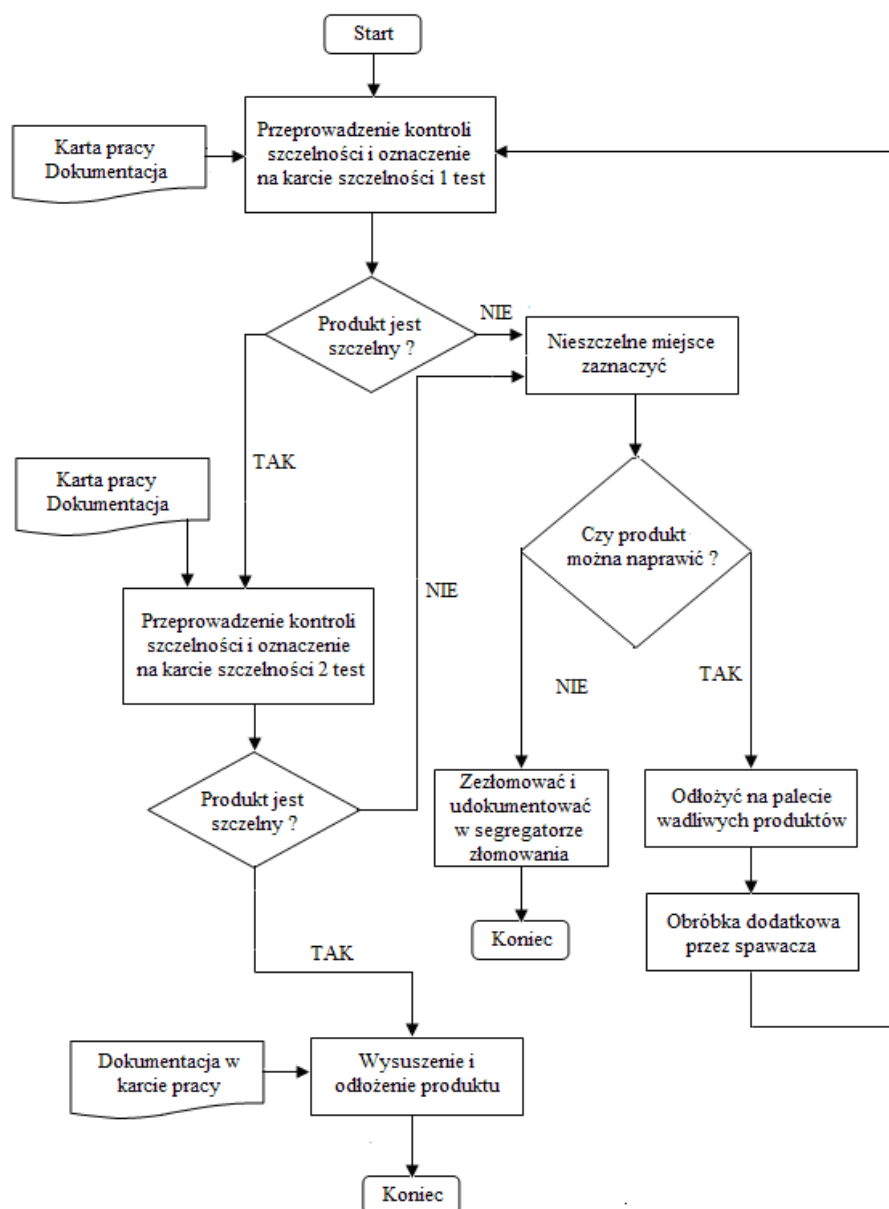
Analiza nieszczelności produktów oraz klasyfikacja niezgodności spawalniczych

Z przeprowadzonych w przedsiębiorstwie badań wynika, że nieszczelność gotowych wyrobów jest ściśle związana z nieciągłościami złączy spawanych i stanowi poważny problem w procesie wytwarzania. Nieszczelne produkty są poddawane dodatkowej obróbce oraz ponownej kontroli szczelności. Sprężenie to podwaja czas wykonania operacji, powoduje zwiększenie kosztów produkcji oraz zaburza terminowość realizacji zlecenia. Przykładowo, sprawdzenie szczelności układu wymaga 6 min, jeżeli założy się, że w pewnym czasie wykryto 1000 nieszczelnych sztuk, po dodatkowych dwóch próbach firma traci 100 godzin plus czas przeznaczony na dodatkową obróbkę. Zaobserwowano również, że wady te wynikają bezpośrednio z przyczyn poddanych w analizie niezgodności wymiarów. Brak odpowiedniego systemu kontroli i przyzwyczajenie się pracowników do takiego stanu powoduje lekceważenie obowiązków, co ma duży wpływ na jakość ich pracy oraz na jakość wykonywanych przez spawaczy połączeń spawanych. Dlatego też przedmiotem badań problemu będą złącza spawane i ich wady, jakie zostały zaobserwowane podczas okresów badawczych.

Nieciągłości złączy spawowych zaobserwowane podczas okresów badawczych oraz możliwe ich przyczyny sklasyfikowano na podstawie normy PN-EN ISO 6520-1:

- pęknięcia podłużne – pęknięcia wzdłuż osi lica spoiny spowodowane dużą zawartością węgla w materiale oraz dużą szybkością spawania i chłodzenia,
- przyklejenia i brak przetopu – wady, które charakteryzuje brak połączenia między spoiną a materiałem rodzimym, spowodowane nieodpowiednią techniką spawania i zbyt małą energią liniową,
- pory – pęcherze gazowe i rzadziny wychodzące na powierzchnię w skutek zanieczyszczenia materiału (rdza, tłuszcz),
- pęcherze kanalikowe – rurkowe pęcherze w spoinie spowodowane zanieczyszczeniem materiału i zbyt szybkim stygnięciem złącza spawanego,

- nawisy, podtopienia, nadmierne nadlewy lica – charakteryzujące się niewłaściwym kształtem spoiny lub niewłaściwą geometrią złącza, spowodowane nieumiejętnością spawania, nieodpowiednią pozycją lub złymi parametrami spawania.



Rys. 3. Algorytm przebiegu kontroli szczelności w przedsiębiorstwie

Fig. 3. Algorithm of leakproofness control course in the enterprise

Analiza nieszczelności wyrobów oraz defektów złączy spawanych metodą FMEA

Metodę FMEA wykorzystano do analizy nieszczelności wyrobów podczas wykonywania połączeń spawanych. Dzięki zastosowaniu tej metody można zidentyfikować i oszacować ryzyko wystąpienia wad, określając [4]:

- szacunkową liczbę wystąpienia wady (LPW),
- szacunkową liczbę ryzyka, znaczenia następstw dla klienta (LPZ),
- szacunkową liczbę prawdopodobieństwa wykrycia wady (LPO),
- priorytetową liczbę ryzyka (LPR) będącą iloczynem trzech liczb (LPW, LPZ i LPO).

W przedsiębiorstwie uzgodniono, że defekty, dla których wartość priorytetowej liczby ryzyka przekracza 80, należy zlikwidować w pierwszej kolejności. Z przeprowadzonych badań wynika (tab. 2.), że wartość uzgodniona przez firmę została przekroczona przez następujące wady spoin: przyklejenia, brak przetopu oraz pęknięcia podłużne.

Tabela 2. Analiza FMEA dla defektów złączy spawanych

Table 2. FMEA analysis for welded joints defects

Symbol przyczyny	Rodzaj nieciągłości	Ocena				Działania naprawcze
		LPW	LPZ	LPO	LPR	
W1	pęknięcia podłużne	6	7	2	84	- lepsza jakość materiału - mniejsza prędkość spawania i stygnięcia
W2	przyklejenia	8	9	2	144	- polepszenie techniki spawania - zwiększenie energii liniowej
W3	brak przetopu	7	8	2	112	- polepszenie techniki spawania - zwiększenie energii liniowej łuku elektrycznego
W4	pory	5	6	3	60	- dokładniejsze czyszczenie materiału - zwiększenie natężenia prądu i zmniejszenie prędkości spawania
W5	pęcherze kanalikowe	4	5	3	60	- dokładniejsze czyszczenie materiału - zwiększenie natężenia prądu i zmniejszenie prędkości spawania
W6	nawisy	2	3	4	24	- polepszenie techniki spawania - zmiana pozycji spawania - odpowiednie parametry spawania
W7	podtopienia	3	4	3	36	- polepszenie techniki spawania - zmiana pozycji spawania - odpowiednie parametry spawania
W8	nadmierny nadlew lica	1	2	5	10	- polepszenie techniki spawania - zmiana pozycji spawania - odpowiednie parametry spawania

Analiza wpływu nieszczelności wyrobów za pomocą mapowania procesu

W analizie problemu nieszczelności wyrobów i jego wpływu na przebieg procesu wykorzystano mapę dla części procesu, w której on występuje. Mapowanie ma na celu przedstawienie zasady funkcjonowania kontroli szczelności oraz wskazanie miejsc, w których przedsiębiorstwo może zidentyfikować źródła potencjalnego marnotrawstwa. W tabeli 3. oprócz mapy procesu przedstawiono także opis operacji wykonywanych podczas próby szczelności oraz czas wyznaczony na ich wykonanie. Zaobserwowano trzy przypadki, które występują w tej części procesu produkcyjnego:

- przypadek nr 1 – obydwie testy pozytywne,
- przypadek nr 2 – jeden test negatywny, drugi pozytywny,
- przypadek nr 3 – obydwie testy negatywne.

Tabela 3. Mapa procesu kontroli szczelności wybranych produktów

Table 3. Process map of selected products leakproofness control

Nr	Symbol	Opis	Czas [min]		
			sprzęgło	kolektor	rozdzielacz
1		prostowanie i kontrola jakości	–	–	–
2		pierwszy test szczelności	3	12	3,75
3		naprawa wyrobu	5	5	5
4		drugi test szczelności	3	12	3,75
5		naprawa wyrobu	5	5	5
6		pakowanie wyrobu	–	–	–

W przypadku nr 1 ma się do czynienia z prawidłowym przebiegiem procesu, który polega na wykonaniu tylko dwóch testów szczelności. W przypadku nr 2 czas kontroli wydłuża się o naprawę wyrobu przez spawacza oraz dodatkowy test szczelności. Przypadek nr 3 jest najmniej korzystnym rozwiązaniem z powodu znacznego przedłużenia się kontroli poprzez dwie naprawy wyrobów oraz aż trzy dodatkowe próby. Ponieważ jednak przypadek nr 3 występuje bardzo rzadko, został pominięty w dalszych obliczeniach, a przedstawiany jest tylko dla porównania.

Na podstawie analizy mapy oraz zaobserwowanych przypadków dokonano następujących obliczeń odnoszących się do badanych produktów. W pierwszej kolejności odniesiono je do sprzęgła hydraulicznego:

- przypadek nr 1: $3 + 3 = 6$ min,
- przypadek nr 2: $3 + 5 + 3 + 3 = 14$ min, tj. 8 min więcej,
- przypadek nr 3: $3 + 5 + 3 + 3 + 5 + 3 + 3 = 25$ min, tj. 19 min więcej.

Podczas trzymiesięcznych badań sprawdzono 3000 szt., z czego 1000 szt. negatywnie przeszło pierwszy test szczelności:

$$3000 \cdot 6 \text{ min} = 1800 \text{ min} = 300 \text{ h},$$

$$3000 \cdot 6 \text{ min} + 1000 \cdot 8 \text{ min} = 18000 + 8000 = 26000 \text{ min} = 433 \text{ h}.$$

W tym przypadku firma traci 133 h na naprawę wyrobu oraz dodatkowy test szczelności, co daje 8,3 dni roboczych w systemie dwuzmianowym. Na podstawie tych danych można obliczyć wskaźnik szczelności:

$$Q = 1000/3000 = 0,33.$$

Następnie dokonano obliczeń dla kolektora:

- przypadek nr 1: $12 + 12 = 24 \text{ min}$,
- przypadek nr 2: $12 + 5 + 12 + 12 = 41$, tj. 17 min więcej,
- przypadek nr 3: $12 + 5 + 12 + 12 + 5 + 12 + 12 = 70 \text{ min}$, tj. 46 min więcej.

Podczas trzymiesięcznych badań sprawdzono 500 szt., z czego 200 negatywnie przeszło pierwszy test szczelności:

$$500 \cdot 24 = 12000 \text{ min} = 200 \text{ h},$$

$$500 \cdot 24 + 200 \cdot 17 = 12000 + 3400 = 15400 = 256 \text{ h}.$$

Firma traci 56 h, czyli 3,5 dnia roboczego. Wskaźnik szczelności wynosi: $200/300 = 0,4$.

Na końcu wykonano obliczenia dla rozdzielacza kotłowego:

- przypadek nr 1: $3,75 + 3,75 = 7,5 \text{ min}$,
- przypadek nr 2: $3,75 + 5 + 3,75 + 3,75 = 16,25 \text{ min}$, tj. 8,75 min więcej,
- przypadek nr 3: $3,75 + 5 + 3,75 + 3,75 + 5 + 3,75 + 3,75 = 28,75 \text{ min}$, tj. 21,25 min więcej.

Podczas okresu badawczego sprawdzono 3000 szt., z czego 1200 negatywnie przeszło pierwszy test szczelności:

$$3000 \cdot 7,5 = 22500 \text{ min} = 375 \text{ h},$$

$$3000 \cdot 7,5 + 1200 \cdot 8,75 = 22500 + 10500 = 33000 \text{ min} = 550 \text{ h}.$$

Czas, jaki straciła firma, wynosi 175 h, czyli 11 dni roboczych. Wskaźnik szczelności wynosi $1200/3000 = 0,4$.

Na podstawie wcześniejszych wyników można obliczyć szacunkową stratę finansową, jaką firma poniosła poprzez produkcję nieszczelnych wyrobów. Przy założeniu, że stawka godzinowa pracowników wykonujących testy szczelności

wynosi 12 zł/h, a stawka spawaczy naprawiających wyroby 14 zł/h wykonano następujące obliczenia:

- strata w przypadku sprzęgieł – 133 h, z czego 83 h na naprawę przez spawaczy oraz 50 h na dodatkowy test, co daje

$$83 \cdot 14 + 50 \cdot 12 = 1766 \text{ zł},$$

- w przypadku kolektorów – 56 h, 16 h na naprawę i 40 na dodatkowy test, czyli

$$16 \cdot 14 + 40 \cdot 12 = 704 \text{ zł},$$

- w przypadku rozdzielaczy – 175 h, odpowiednio 100 i 75 h, co daje

$$100 \cdot 14 + 75 \cdot 12 = 2300 \text{ zł}.$$

Szacunkowo firma przez trzy miesiące straciła **4770** zł na trzech produkowanych asortymentach.

4. Podsumowanie i proponowane działania naprawcze

W wyniku przeprowadzonej analizy wad złączy spawanych i ich wpływu na nieszczelność wyrobów oraz zastosowania wybranych narzędzi badawczych zidentyfikowano wady połączeń spawanych mające największy udział na zaistniały problem. Wady, jakie zaobserwowano podczas okresów badawczych, poddano analizie FMEA, która wykazała, że największy udział w problemie mają trzy ich rodzaje: przyklejenia, brak przetopu oraz pęknięcia podłużne, stanowiące około 74% wszystkich wad. Za pomocą mapy procesu zbadano również wpływ nieszczelnych wyrobów na przebieg procesu produkcyjnego. Rozważono trzy przypadki występujące podczas testów szczelności, w tym dwa, które poprzez powtarzanie określonych operacji znacznie wydłużają realizację zamówienia. Obliczono, że w ciągu trzech miesięcy na trzech badanych produktach firma straciła około 22 dni na dodatkowej obróbce i testach szczelności oraz szacunkowo prawie 5 000 zł tylko na samej pracy wykonanej przez pracowników. Aby wyeliminować te wady, należy podjąć natychmiastowe i zdecydowane działania. W pierwszej kolejności należy stopniowo zwiększyć dyscyplinę oraz przeprowadzać kontrole nie tylko na stanowiskach montażowych, ale głównie na stanowiskach spawalniczych. Z czasem okaże się, czy wady złączy spawanych są spowodowane tylko nieodpowiednim podejściem do wykonywanej pracy czy też brakiem umiejętności spawalniczych. Dużym minusem jest również brak odpowiedniego eksperta, w tym przypadku powinien nim być inżynier lub instruktor spawalnik, który nadzorowałby roboty spawalnicze, jakość połączeń spawanych oraz kontrolował stosowanie sprzętu spawalniczego i zarządzał pracą spawaczy.

5. Wnioski końcowe

W pracy przedstawiono analizę procesu produkcyjnego kolektora oraz wad zaobserwowanych podczas jego przebiegu. Na podstawie obserwacji stwierdzono, że najważniejszymi wadami są: nieszczelność układu, defekty połączeń spawanych oraz niezgodności wymiarowe. Stwierdzone wady mają bardzo niekorzystny wpływ na przebieg procesu produkcyjnego, ponieważ powodują znaczne jego wydłużenie poprzez iteracje określonych operacji [5]. Wykorzystując wybrane narzędzia analizy, zidentyfikowano przyczyny problemów i stwierdzono, że głównym źródłem ich występowania jest brak odpowiedniego systemu kontroli, co prowadzi do lekceważenia obowiązków przez pracowników.

Prawidłowy wymiar i szczelność są najważniejszymi cechami w przypadku sprzęgła hydraulicznego, kolektora, rozdzielacza kotłowego, jak i dla każdego innego produktu wytwarzanego przez przedsiębiorstwo, ze względu na ich zastosowanie w instalacjach grzewczych. Mimo że produkty firmy ostatecznie charakteryzują się wysoką jakością, pod względem realizacji procesu wytwórczego pewne obowiązki zostały zlekceważone. Brak odpowiedniego systemu kontroli między operacjami technologicznymi oraz wadliwe wyroby są najczęściej identyfikowane na końcu procesu, podczas kontroli oraz testów szczelności. Konsekwencją tego jest wykonywanie dodatkowej pracy, a co za tym idzie ograniczenie zdolności produkcyjnej firmy. Zważywszy na to, że analizy dokonano tylko dla jednego wybranego produktu z asortymentu liczącego około 30 różnych urządzeń, można wyciągnąć wniosek że badane wady miałyby ogromny wpływ na procesy wytwórcze w przeciągu całego roku. Dzięki znajomości współczesnych narzędzi do analizy danych i procesów produkcyjnych oraz umiejętności ich wykorzystania inżynier ma możliwość skutecznego eliminowania wszelkich niezgodności, jakie wynikają ze złej organizacji systemu wytwarzania, oraz minimalizowania strat z nimi związanych.

Literatura

1. Jędrusyna A., Tomczuk K.: *Mechatronics and control systems handbook*. Wrocław University of Technology, Wrocław 2011.
2. Durlik I.: *Inżynieria zarządzania, cz. I*. Placet, Warszawa 1996.
3. Durlik I.: *Inżynieria zarządzania, cz. II*. Placet, Warszawa 1996.
4. Huber Z.: *Analiza FMEA procesu*, wyd. II. *Złote myśli.pl*, 2007.
5. Kielec R.: *Planowanie procesów produkcyjnych o charakterze iteracyjnym*. *Przegląd Mechaniczny*, nr 68, 11 (2009), s. 22-26.

QUALITY ANALYSIS AND EVALUATION OF HEATING DEVICES ACTUAL WELDING PROCESS

Abstract

Analysis of welded connections defects and their influence on heating devices leakage is presented in this paper. The correct size and leaktightness are the most important characteristics of a hydraulic clutch, a collector, a boiler distributor and of any other product manufactured by the company, due to their use in heating systems. Although the products of the company are characterized by high quality, in terms of the realization of manufacturing process, certain obligations were neglected. Lack of the proper control system between technological operations and defective products are most often identified at the end of the process, during the inspection and leaktightness testing. The consequence of this is to perform additional work, and thereby to reduce the production capacity of the firm. Due to the application of selected research tools, joints defects have been identified and their influence on the product quality has been evaluated. The defects observed during the research periods have been analysed with the use of production process mapping and FMEA method. Estimated loss calculation in the company has been prepared and carried out. On the basis of the obtained results repair actions have been proposed and final conclusions have been formulated.

Keywords: FMEA, welding process, reorganization

DOI: 10.7862/rm.2013.2

Otrzymano/received: 25.02.2013

Zaakceptowano/accepted: 17.04.2013

Stanisław KOZIOL¹
Andrzej ZBROWSKI²

SYSTEM TESTOWANIA ODPORNOŚCI DOKUMENTÓW NA DWUSTRONNE ZGINANIE

System służy do sprawdzania odporności dokumentów z wbudowanym zabezpieczeniem w postaci układu RFID na wielokrotne naprzemienne dwustronne zginanie. Za jego pomocą jest realizowana metoda testowa zalecana przez Międzynarodową Organizację Lotnictwa Cywilnego (ICAO). Badanie powoduje przyspieszone zużycie zmęczeniowe, głównie w obszarze, w którym znajduje się antena układu RFID i jej połączenia. Do realizacji testu są wykorzystywane dwa specjalne urządzenia: przyrząd kalibrujący do wyznaczania strzałki ugięcia badanego dokumentu pod działaniem obciążenia równego 40 N oraz tester do realizacji określonej liczby cykli zginających. Są one wyposażone w układy pomiaru strzałki ugięcia badanego dokumentu, regulację ugięcia i programowalny licznik cykli. Badany dokument jest zamocowany jedną krawędzią w uchwycie obrotowym, a przeciwległa krawędź znajduje się pomiędzy rolkami podtrzymującymi. Rolki zginające przemieszczają się w obie strony tak, że zginają cały dokument, symulując obciążenia występujące podczas użytkowania. Plan testu ICAO przewiduje wykonanie 1000 cykli obustronnego przegięcia, a następnie kontrolę działania układu RFID. W celu umożliwienia badania dokumentów o różnym formacie i sztywności przewidziano zmianę parametrów geometrycznych i dynamicznych urządzeń testujących. Są one dostosowane do różnych wymiarów dokumentów, konstrukcji, sztywności i miejsca umieszczenia zabezpieczenia elektronicznego. Metoda testowania odporności na wielokrotne naprzemienne dwustronne zginanie może być również stosowana do badania innych wyrobów poddawanych w trakcie użytkowania podobnym obciążeniom, np. różnego rodzaju połączeń klejonych, wyrobów wielowarstwowych, laminatów czy powłok ochronnych.

Słowa kluczowe: RFID, trwałość dokumentów, zginanie dwustronne, test trwałościowy

1. Wprowadzenie

Różnorodność negatywnych czynników oddziałujących na dokumenty osobiste w czasie ich użytkowania stanowi podstawę do definiowania niezbędnych

¹ Stanisław Kozioł, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom

² Autor do korespondencji/corresponding author: Andrzej Zbrowski, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom tel.: (48) 3649243, fax: (48) 3644760, e-mail: andrzej.zbrowski@itee.radom.pl

metod testowania trwałości i odporności na fałszowanie, podrabianie, dokonywanie nieautoryzowanych zmian w zapisanych danych [1-3]. System testowania powinien kompleksowo uwzględniać następujące elementy:

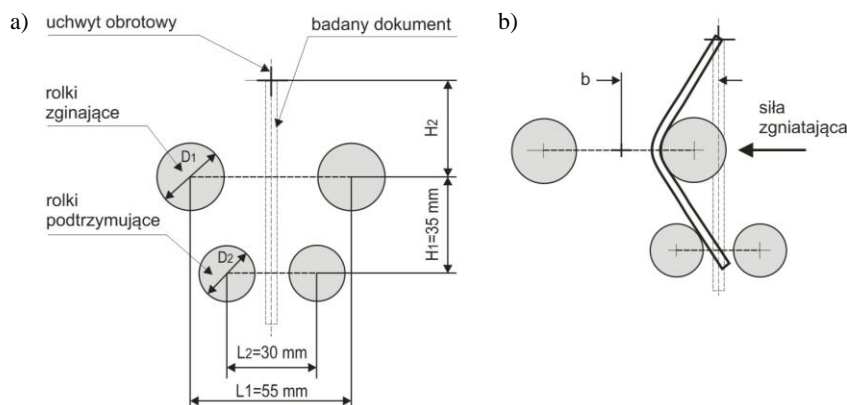
- standardowe metody wywierania określonych oddziaływań symulujących obciążenia użytkowe o zdefiniowanych parametrach, takich jak siła oddziaływania, odkształcenie, czas działania, częstotliwość, miejsce oddziaływania itp.,
- standardowe metody sprawdzania wpływu oddziaływań użytkowych na możliwość odczytu danych zawartych w dokumencie metodą optyczną i elektroniczną, na wytrzymałość i kształt dokumentu, trwałość barw itp.,
- procedury testowania określające sekwencje wywierania obciążeń na badane obiekty i sposób oceny ich skutków oraz kryteria oceny,
- plany badań określające liczbę dokumentów poddawanych badaniom, zastosowanie odpowiednich procedur badawczych w zależności od celu badań i rodzaju badanych dokumentów.

Przykładem takiego systemu jest testowanie paszportów przystosowanych do automatycznego odczytu danych, wdrożone przez ICAO [4, 5], w którym zostały zdefiniowane następujące elementy:

- 15 metod wywierania wymuszeń imitujących oddziaływania użytkowe,
- 6 metod sprawdzania wpływu tych wymuszeń na stan techniczny dokumentu i możliwość odczytu zawartych w nim danych,
- 14 procedur testowania odpowiadających różnego rodzaju obciążeniom użytkowym możliwym do wystąpienia podczas eksploatacji.

Jedną z metod badania trwałości dokumentów przyjętych przez ICAO jest testowanie odporności na wielokrotne dwustronne naprzemienne zginanie. Metoda powoduje przyspieszone zużycie zmęczeniowe przez wymuszone odkształcenie, głównie w obszarze, w którym znajduje się antena układu RFID i jej połączenia. Badany dokument (zazwyczaj paszport) jest zamocowany w uchwycie obrotowym stroną grzbietową lub krótszą krawędzią książeczki tak, że jego dolna część znajduje się pomiędzy rolkami podtrzymującymi (rys. 1.).

Rolki zginające umieszczone w odległości H2 od uchwytu obrotowego zależnej od pozycji dokumentu i jego formatu przemieszczają się poziomo w obie strony (tak jak to pokazano na rys. 1b) i zginają cały dokument. Przesunięcie b rolek odpowiada założonej sile zginającej dokument lub określonej strzałce ugięcia. Plan testu określa liczbę cykli obustronnego przegięcia oraz amplitudę odkształcenia. Wielokrotne poprzeczne zginanie badanego dokumentu może być realizowane w dwóch pozycjach: równoległe do dłuższego i krótszego boku. W Instytucie Technologii Eksploatacji PIB w Radomiu zostały opracowane i wykonane dwa specjalne urządzenia niezbędne do realizacji testu: przyrząd kalibrujący do wyznaczania strzałki ugięcia badanego dokumentu pod działaniem obciążenia równego 40 N oraz tester do realizacji określonej liczby cykli zginających [6].

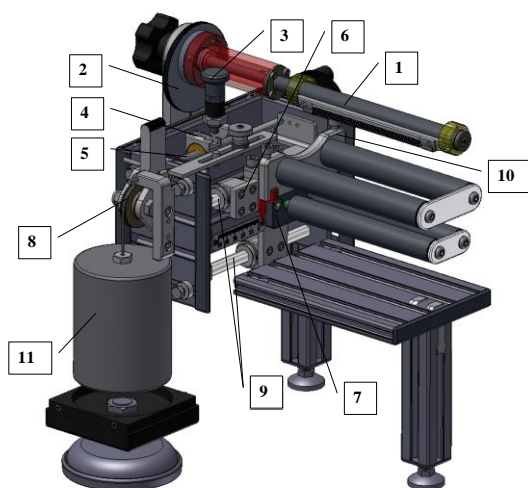


Rys. 1. Schemat testu dynamicznego naprzemiennego zginania paszportu: a) geometria układu testowego, b) sposób obciążenia dokumentu

Fig. 1. Diagram of the test of the dynamic alternating bending of a passport: a) geometry of the testing system, b) a way of document load

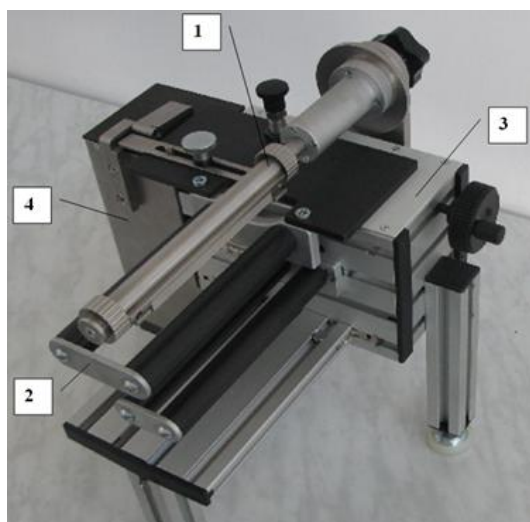
2. Przyrząd kalibracyjny do wyznaczania ugięcia dokumentu

Przyrząd kalibracyjny, którego wirtualny model przedstawiono w postaci wydruku na rys. 2., służy do wyznaczania strzałki ugięcia dokumentu pod działaniem określonej siły. Jest on urządzeniem mechanicznym, wykorzystującym grawitacyjny system zadawania obciążenia. Stanowi instrumentarium uzupełniające, niezbędne do wyznaczenia parametrów testu określającego odporność dokumentów na wielokrotne, cykliczne, dwustronne zginanie. Wszystkie mechanizmy przyrządu są zabudowane w korpusie wykonanym ze standardowych profili aluminiowych. Testowany dokument jest mocowany w uchwycie tak, aby znajdował się pomiędzy pojedynczymi rolkami ruchomymi i stałymi. Zgodnie z procedurą badania odległość H_2 ustawia się (rys. 1.) pomiędzy uchwytem i osiami rolek ruchomych za pomocą tarczy regulacyjnej. Przesunięcie rolek ruchomych (zginających) w prawo powoduje zazębienie zaczepu i zatrzasku oraz uniesienie obciążnika. Śruba pociągowa służy do wykonania precyzyjnych ruchów ustawczych pomiędzy rolkami a dokumentem zamocowanym w uchwycie obrotowym. Zderzak odchylny i listwa zderzaka ograniczają skok układu do wartości odpowiadającej maksymalnemu dopuszczalnemu ugięciu dokumentu równemu 20 mm. Wskaźnik rolek ruchomych pokazuje na skali wartość przesunięcia ustawczego (bez obciążenia) oraz wartość ugięcia próbki pod wpływem siły ciężkości obciążnika. Sumaryczna wartość tych wielkości stanowi parametr wejściowy drugiej części testu przeprowadzanego za pomocą urządzenia przeznaczanego do realizacji cykli zginających. Na fotografii (rys. 3.) przedstawiono prototyp przyrządu kalibrującego.



Rys. 2. Model przyrządu kalibrującego do wyznaczania strzałki ugięcia dokumentu (widok bez osłon): 1 – uchwyt dokumentu, 2 – tarcza regulacji położenia uchwytu, 3 – zatrzask, 4 – zaczep zatrzasku, 5 – śruba pociągowa zatrzasku, 6 – suwak, 7 – mocowanie rolek stałych, 8 – linka obciążnika, 9 – prowadnice toczne, 10 – mocowanie rolek ruchomych do suwaka, 11 – obciążnik

Fig. 2. The model of a calibrating instrument for the determination of a document deflection value (view without covers): 1 – document grip, 2 – grip positioning disc, 3 – latch, 4 – latch fastener, 5 – lead-screw of a latch, 6 – slide, 7 – permanent roller binding, 8 – weight cable, 9 – rolling guides, 10 – moveable roller adjustment to the slide, 11 – weight

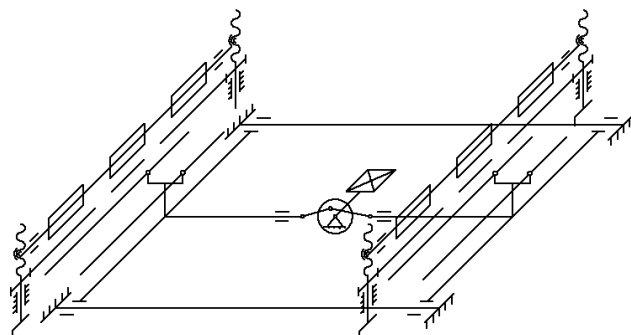


Rys. 3. Prototypowy przyrząd kalibrujący do wyznaczania strzałki ugięcia dokumentu: 1 – moduł uchwytu obrotowego, 2 – zespół rolek zginających, 3 – korpus, 4 – moduł obciążnika

Fig. 3. Prototype calibrating instrument for the determination of the document deflection value: 1 – rotational grip module, 2 – unit of bending rollers, 3 – body, 4 – weight module

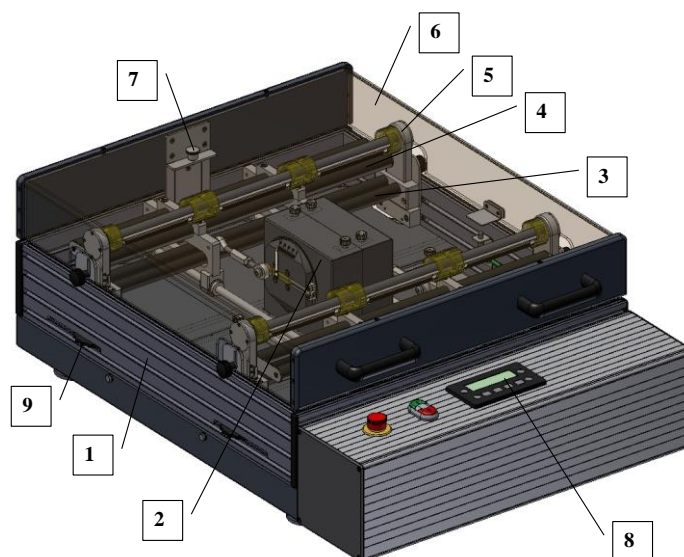
3. Tester do badania odporności na dwustronne zginanie

Tester jest przeznaczony do realizacji określonej liczby cykli dwustronnego zginania badanego dokumentu z zastosowaniem parametrów wyznaczonych za pomocą urządzenia kalibrującego. W układzie kinematycznym urządzenia zastosowano mechanizmy mimośrodowe, korbowodowe i suwakowe (rys. 4.). Urządzenie służy do jednoczesnego badania sześciu dokumentów. Jego budowę przedstawiono na wydruku modelu wirtualnego (rys. 5.). W korpusie wykona-



Rys. 4. Schemat kinematyczny układu napędowego

Fig. 4. Kinematic diagram of the drive unit



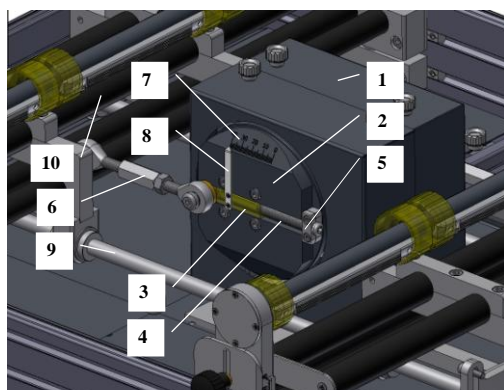
Rys. 5. Model urządzenia do badania odporności dokumentów na dwustronne zginanie: 1 – korpus, 2 – napęd ruchu posuwisto-zwrotnego rolek ruchomych, 3 – rolki stałe, 4 – rolki ruchome, 5 – uchwyty obrotowe dokumentów, 6 – osłona 7 – ogranicznik i blokada osłony 8 – moduł sterowania, 9 – pokrętko regulacji wysokości uchwytu

Fig. 5. Model of the test device for document endurance to two-sided bending: 1 – body, 2 – drive of the reciprocal motion of moveable rollers, 3 – permanent rollers, 4 – moveable rollers, 5 – document rotational grips, 6 – casing, 7 – limiter and casing blocking, 8 – control module, 9 – knob for grip height adjustment

nym z systemowych profili aluminiowych zostały wbudowane wszystkie moduły mechaniczne i sterujące pracą testera. Z centralnie umieszczonej przekładni

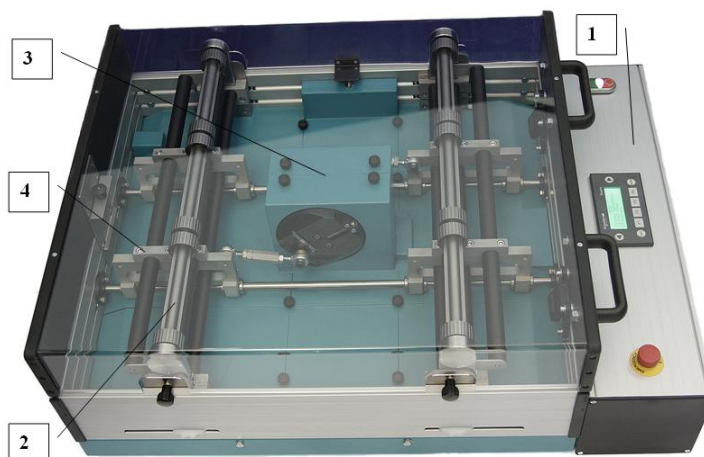
ślimakowej motoreduktora napęd jest przenoszony na dwie symetrycznie osadzone na wale wyjściowym tarcze mimośrodowe, które poprzez korbowody wprowadzają w ruch dwie sekcje rolek ruchomych (rys. 5.).

Napędzane przez motoreduktor tarcze mimośrodków mają naniesioną liniową skalę skoku rolek zginających. W wykonanym równoległe do skali rowku teowym znajduje się suwak, na którym jest ułożyskowany korbowód. Suwak ze wskaźnikiem jest przesuwany za pomocą śruby regulacyjnej (rys. 6.). Skala nacięta na tarczy mimośrodu służy do ustawienia wartości strzałki ugięcia dokumentu uzyskanej z pomiarów wykonanych za pomocą kalibratora. Obracające się tarcze mimośrodkowe nadają określony skok w ruchu posuwisto-zwrotnym dwu sekcjom rolek ruchomych przesuwającym się po liniowych prowadnicach tocznych. Badane próbki są mocowane w uchwytach (5, rys. 5.), których położenie może być regulowane za pomocą pokręteł (9) odpowiednio do formatu dokumentu. Odległość odpowiadająca wymiarowi H2 (rys. 1.) jest ustawiana z wykorzystaniem skali naniesionej na korpus. Elektroniczny układ sterowania urządzenia składa się ze sterownika PLC, zasilacza sieciowego, przemiennika częstotliwości motoreduktora, interfejsu operatorskiego, czujników indukcyjnych i filtra przeciwzakłóceń. Oprogramowanie sterujące umożliwia komunikację sterownika PLC z operatorem poprzez terminal operatorski, informując o stanie urządzenia i wyświetlając na właściwych panelach komunikaty. Dotyczą one wyboru rodzaju wykonywanego testu, stanu zaawansowania lub zakończenia testu i możliwych do wprowadzenia nastaw. Prototypowy tester do dwustronnego zginania dokumentów został przedstawiony na rys. 7.



Rys. 6. Napęd oscylacyjny rolek zginających urządzenia do badania odporności dokumentów na zginanie: 1 – motoreduktor, 2 – tarcza mimośrodu, 3 – suwak mimośrodu, 4 – śruba suwaka mimośrodu, 5 – jarzmo śruby mimośrodu, 6 – korbowód, 7 – skala nastawy skoku rolek, 8 – wskaźnik nastawy skoku, 9 – prowadnice liniowe, 10 – zespół rolek ruchomych

Fig. 6. Oscillatory drive of bending rollers of the test device for document endurance to two-sided bending: 1 – gear-motor, 2 – eccentric disc, 3 – eccentric slide, 4 – eccentric slide screw, 5 – eccentric screw yoke, 6 – connecting-rod, 7 – scale of roller stroke adjustment, 8 – stroke adjustment indicator, 9 – linear guides, 10 – unit of moveable rollers



Rys. 7. Tester do badania odporności dokumentów na wielokrotne dwustronne zginanie: 1 – pulpit sterowniczy, 2 – moduł uchwytów obrotowych z mechanizmem regulacji wysokości, 3 – moduł napędu, 4 – moduł rolek ruchomych

Fig. 7. The tester for document endurance to repeated two-sided bending: 1 – control panel, 2 – module of roller grips with a height adjustment mechanism, 3 – drive module, 4 – module of moveable rollers

4. Badania dokumentów z zastosowaniem systemu

Realizację testu rozpoczyna się od wyznaczenia wartości strzałki ugięcia badanej próbki za pomocą modułu kalibracyjnego (rys. 8.). Następnie przeprowadza się regulację skoku rolek zginających testera na wartości uzyskane z pomiarów za pomocą kalibratora. W tym celu są ustawiane i blokowane mimośrodowo w zespole napędowym. Następnie w uchwytach ustawionych na wymaganej wysokości odpowiednio do formatu próbki są mocowane badane dokumenty. Parametry te są ustawiane osobno dla dwóch grup po trzy dokumenty po lewej i prawej stronie urządzenia. Pozwala to na równoczesne badanie sześciu próbek z różnymi parametrami wymuszeń.

Z panelu sterującego wybiera się odpowiednią liczbę cykli obciążenia i uruchamia urządzenie. Zakończenie badania jest sygnalizowane dźwiękiem. Próbki poddane obciążeniom zginającym wyjmują się z układu testującego i sprawdza wpływ symulowanych oddziaływań użytkowych na możliwość odczytu danych, wytrzymałość i kształt dokumentu oraz inne cechy fizyczne. Zgodnie z wymaganiami ICAO [5] w paszporcie poddanym 1000 cyklom zginania układ RFID powinien pozostać sprawny i pozwalać na odczyt danych zawartych w jego pamięci. Nie powinny występować obszary delaminacji elementów wielowarstwowych ani jakiegokolwiek uszkodzenia strony zawierającej dane personalne przeznaczone do zautomatyzowanego odczytu.



Rys. 8. Wyznaczenie wartości strzałki ugięcia badanej próbki

Fig. 8. Determination of tested sample deflection value

Urządzenia wchodzące w skład systemu testowania odporności dokumentów na dwustronne zginanie zostały zaprojektowane i wykonane w sposób zapewniający możliwość elastycznej regulacji parametrów realizowanych testów. Badane próbki mogą osiągać wymiary do formatu ID-3 włącznie (125 x 88 mm) i grubość do 8 mm. Mogą być zmieniane parametry kinematyczne testu, takie jak wartość odkształcenia próbki i jego lokalizacja oraz częstotliwość i liczba cykli obciążeń. Moduł kalibracyjny pozwala na badania odkształcenia dokumentu pod działaniem różnych obciążeń. Umożliwia to wykorzystanie systemu do badań odporności na deformacje charakterystyczne dla warunków użytkowych wielu wyrobów i komponentów różniących się między sobą sztywnością, wytrzymałością i rozmiarami.

5. Podsumowanie

Postęp w dziedzinie doskonalenia zabezpieczeń dokumentów podróży, identyfikatorów, kart płatniczych i innych wysoko zabezpieczonych dokumentów polega m.in. na instalowaniu w nich coraz doskonalszych i bardziej zaawansowanych układów elektronicznych RFID. Rozwiązania tego rodzaju dzięki coraz większej pamięci wewnętrznej stanowią doskonałe zabezpieczenie i dodatkowy nośnik informacji wspomagający bezpieczeństwo ich wykorzystania. Oprócz funkcji zabezpieczającej dokumenty muszą charakteryzować się dużą odpornością na obciążenia mechaniczne wynikające z długotrwałego użytkowania. Opisany w pracy system testowania dokumentów na zginanie pozwala na badanie różnego rodzaju dokumentów pod względem odporności na najczęściej występujące wymuszenia użytkowe z dużymi możliwościami modelowania ich intensywności.

Wprowadzone w urządzeniach tworzących system regulacje parametrów przeprowadzanych testów pozwalają na wykorzystanie ich do badania próbek dokumentów lub ich części składowych różnych typów, formatów, sztywności i konstrukcji. Metoda testowania odporności na dwustronne zginanie może być

stosowana również do badania innych wyrobów poddawanych w trakcie użytkowania podobnym obciążeniom, np. różnego rodzaju połączeń klejonych, wyrobów wielowarstwowych, laminatów, powłok ochronnych.

Opracowane urządzenia są istotnym elementem składowym systemu przeznaczony do prowadzenia prac rozwojowych i badań dokumentów zabezpieczonych elektronicznie tworzonego w ramach prac realizowanych w Instytucie Technologii Eksploatacji PIB w Radomiu, przeznaczony do zastosowania w instytucjach zajmujących się opracowywaniem, wdrażaniem i wytwarzaniem tego rodzaju wyrobów.

Literatura

1. Neuby B.L., Rudin E.: Radio Frequency Identification: A panacea for governments? Public Organization Review, no 8 (2008), pp. 329-345.
2. Witschnig H., Merlin E.: About history, basics and applications of RFID technology. Elektrotechnik und Informationstechnik, nr 123, 3 (2006), s. 61-71.
3. RFID Smart Labels – A ‘how to’ guide to manufacturing and performance for the label converter. Tarsus E&L Publication, London 2007.
4. Doc. 9303 Machine Readable Travel Documents. ICAO Sixth Edition 2006.
5. Machine Readable Travel Documents. Technical Report: Durability of Machine Readable Passports Version 3.2, ICAO 2006.
6. Koziół S., Zbrowski A., Samborski T., Wiejak J.: Koncepcja systemu testowania połączeń montażowych w dokumentach z zabezpieczeniem elektronicznym. Technologia i Automatykacja Montażu, nr 4 (2010), s. 6-9.

Praca naukowa wykonana w ramach realizacji Projektu Badawczego Rozwojowego nr OR00003909 pn. „System i pilotowa implementacja zabezpieczeń elektronicznych zawierających układy RFID”.

THE SYSTEM FOR TESTING DOCUMENT ENDURANCE TO TWO-SIDED BENDING

Abstract

The system is intended for endurance tests for electronically tagged documents (with RFID inlets) to repeated two-sided bending, which are executed with the use of the ICAO method. As a result of tests, an increased fatigue wear, particularly in the area around the RFID tag, can be observed.

The tests are carried out with the use of two devices: a calibrating device for the determination of a document deflection value at the load of 40 N, and a tester for the execution of a given number of bending cycles. Both devices are equipped with a deflection value determination system, a deflection adjustment system, and a programmable cycle meter. One of the edges of the tested document is inserted into the roller grip, while the opposite edge is placed between support rollers. The bending rollers move both ways and as a result the document bends. The plan of the ICAO tests expects 1000 cycles of two-sided bending to be performed before the efficiency of the RFID inlet is verified. The system makes the testing of documents of different size possible, as it

allows for the change in geometrical and dynamic parameters of the testing devices, which can be adjusted to different document sizes, structures, and a different RFID inlet placement. The aforementioned test method can also be used in tests of different products, which are subject to two-sided bending during their operation, i.e.: glued joints, multilayered products, laminates or protective coatings.

Keywords: RFID, document durability, two-sided bending, endurance tests, passport

DOI: 10.7862/rm.2013.3

Otrzymano/received: 25.02.2013

Zaakceptowano/accepted: 2.04.2013

Aleksander NIEOCZYM¹

PROTOTYPOWE ZROBOTYZOWANE GNIAZDO TECHNOLOGICZNE

Przedstawiono koncepcję budowy stanowiska obróbczego zbudowanego z wykorzystaniem typowych elementów wykonawczych, które stanowi stół obrotowy z czterema gniazdami. Zespołami współpracującymi są: manipulator podający detale, urządzenie skrawające, moduł kontroli jakości wykonania, magazyn elementów gotowych. Szczegółowo opisano budowę, wewnętrzne urządzenia napędowe oraz chwytak manipulatora będącego oryginalną konstrukcją. Stanowisko technologiczne zostało zamodelowane za pomocą dwóch programów komputerowych: programu graficznego Solid Edge oraz modułu Simulink programu Matlab. Moduł Part programu Solid Edge umożliwia zamodelowanie elementów znormalizowanych wykorzystanych w konstrukcji stanowiska, a także projektowanych od podstaw jako oryginalne rozwiązania. Moduł Assembly służy do wykonania prototypu stanowiska roboczego i przeprowadzenia żądanych zmian położenia bądź zmian wymiarowych poszczególnych zespołów lub części. Przedstawiono szczegóły konstrukcyjne pozostałych zespołów oraz opisano cykl pracy stanowiska.

Słowa kluczowe: manipulator, moduł konstrukcyjny, moduł kontroli, moduł obróbki

1. Wprowadzenie

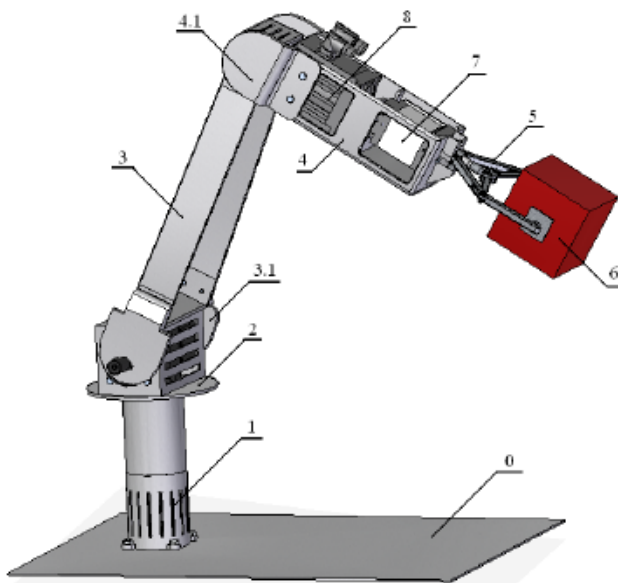
W ramach zleceń zewnętrznych w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Lubelskiej wykonano projekty stanowisk montażowych i obróbczych z wykorzystaniem stołu obrotowego [1] oraz urządzeń transportowych spokrewnionych z układnicami regałowymi [2]. Stanowiska technologiczne są zbudowane z typowych urządzeń zasilanych pneumatycznie. Struktura taka pozwala na rozbudowanie stanowiska, zastąpienie wybranych podzespołów nowymi lub poprzez zmianę elementów wykonawczych przeprowadzenie innego rodzaju obróbki. Dodatkową zaletą takiego stanowiska jest szybkość i łatwość wymiany modułów. Umożliwia to skrócenie czasu i pracochłonności projektowania oraz wykonania poprzez wysoki stopień unifikacji i normalizacji elementów zespołów konstrukcji. Zmianom takim uległo stanowisko stanowiące stół obrotowy, na którym zachodzi proces frezowania otworu w przedmiocie obra-

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Aleksander Nieoczym, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, tel.: 603 107 371, e-mail: a.nieoczym@pollub.pl

bianym [1]. Podajnik grawitacyjny detali zastąpiono manipulatorem dostarczającym elementy obrabiane do gniazd.

2. Konstrukcja manipulatora

Transport detali z zewnętrznego zasobnika jest realizowany za pomocą manipulatora (rys. 1.). Do napędu członów czynnych ramion manipulatora wykorzystuje się napęd elektryczny, co zapewnia uproszczenie konstrukcji mechanizmów i wysoką dokładność pozycjonowania. Zastosowane w projekcie silniki do napędu członów manipulatora są serwonapędami, w skład których wchodzi przekładnie planetarne oraz synchroniczne serwo silniki prądu przemiennego z magnesami trwałymi, pozwalającymi na uzyskanie relatywnie dużej wartości momentu obrotowego przy stosunkowo małym momencie bezwładności silnika. Dzięki wbudowanym enkoderom absolutnym pracującym w pętli sprzężenia zwrotnego można uzyskać powtarzalność pozycjonowania z dokładnością do 0,01 mm. Do ich rozruchu oraz regulacji prędkości konieczne jest stosowanie serwofalowników. Napęd mechanizmu chwytaka jest realizowany przez zespół

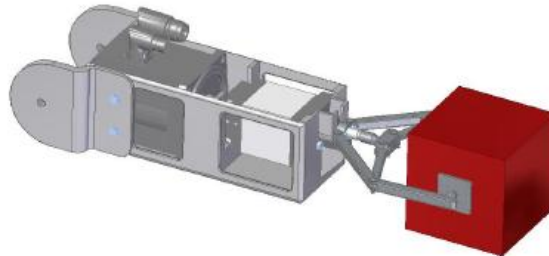


Rys. 1. Manipulator: 0 – podstawa, 1 – łącznik podstawy z obrotnicą, 2 – obrotnica, 3 – ramię, 3.1 – łapka ramienia, 4 – przedramię, 4.1 – przegub, 5 – chwytak, 6 – przenoszony ładunek, 7 – siłownik, 8 – silnik chwytaka

Fig. 1. Manipulator: 0 – base, 1 – connector of the base with turn-table, 2 – turn-table, 3 – arm, 3.1 – little arm of shoulder, 4 – forearm, 4.1 – joint, 5 – gripper, 6 – moving cargo, 7 – servo, 8 – engine of the gripper

Rys. 2. Przedramię manipulatora z silnikiem, chwytakiem i ładunkiem

Fig. 2. Forearm of the manipulator with the engine, the gripper and the cargo



silnik-siłownik składający się z siłownika mechanicznego RHT/K60A oraz serwowomotoru EZ401U (rys. 2.). Zespół został wbudowany w przedramię jednostki monolitycznej tak, że oś zespołu ma kierunek siły wzdłużnej przedramienia. Szttywne osadzenie zespołu napędowego jest możliwe przez odpowiednie wyprofilowanie wnętrza przedramienia i mocowanie za pomocą śrub. W ramię jednostki wbudowano silnik umożliwiający ruch przedramienia (serwonapęd P222_0350 ED212U firmy Stoeber). Serwonapęd został wbudowany w końcową część ramienia w taki sposób, że oś silnika jest jednocześnie osią obrotu pary kinematycznej ramię-przedramię. Wał silnika jest połączony za pomocą wpustu z przedramieniem. Równomierny rozkład obciążenia w rozważanej parze kinematycznej zapewnia węzeł łożyskowy przenoszący część momentu gnącego. Chwytnak, tj. płaska końcówka robocza ramienia manipulatora, został zaprojektowany jako płaski mechanizm dźwigniowy (rys. 3.). Dwa symetryczne ramiona, których końce są przyłączone przegubowo za pomocą sworzni do pierścienia mocującego. Pierścień mocujący jest przytwierdzony sztywno do przedramienia jednostki monolitycznej manipulatora. Ramiona chwytaka mają kształt wygiętych prętów. W miejscu wygięcia są one połączone przegubowo (za pomocą sworzni) z identycznymi łącznikami, które z kolei są połączone przegubowo z dwuczęściową oprawą. Ramiona są zakończone szczękami osadzonymi przegubowo (przeguby sferyczne), co pozwala na lepsze dopasowanie powierzchni szczęk do powierzchni podnoszonego ładunku. Zastosowanie przegubu kulistego w połączeniu kulka przegubu-opraw kulki ma na celu wyeliminowanie przenoszenia momentu gnącego na tłoczysko siłownika.

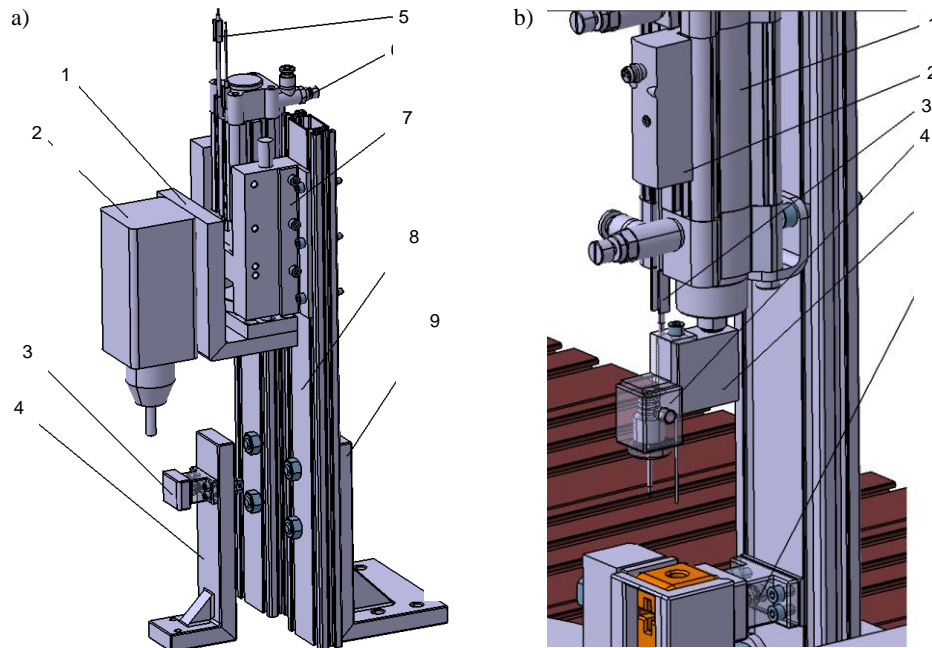
Rys. 3. Mechanizm chwytaka manipulatora

Fig. 3. Mechanism of the gripper of the manipulator



3. Zasada działania stanowiska

Transport przedmiotu obrabianego następuje w wyniku przemieszczenia go za pomocą manipulatora do pierwszego gniazda na stole obrotowym, na którym zostanie przeprowadzona obróbka frezowania (rys. 4a). Po umieszczeniu przedmiotu obrabianego w gnieździe obróbkowym następuje obrót stołu obrotowego DHTG-220-4-A, który jest wyposażony w czujniki położenia SIEN-M8B-PS-S-L, o 90° . W drugim etapie przedmiot obrabiany zostaje dociśnięty do tylnej ściany gniazda obróbkowego. Ruch obrotowy freza nadaje silnik, który jest sterowany cyfrowo. Po wykonaniu otworu w przedmiocie obrabianym i wycofaniu się siłownika z frezarką następuje obrót stołu o kolejne 90° . Podczas kontroli (rys. 4b) przedmiot obrabiany zostaje unieruchomiony przez docisk. Następnie jest wykonywany pomiar głębokości otworu. Siłownik DNCB-32-40-PPV-A

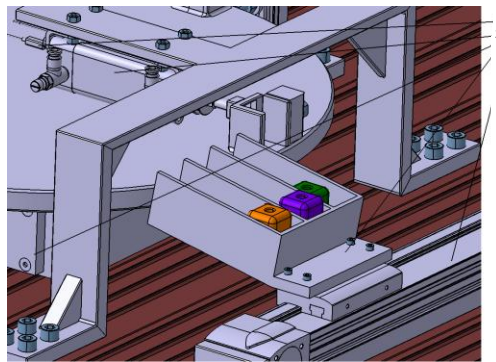


rys. 4. Elementy składowe stanowiska: a) zespół obróbczy; 1 – uchwyt frezarki, 2 – frezarka, 3 – docisk, 4 – mocowanie docisku, 5 – wyłącznik zbliżeniowy, 6 – zawór zwrotno-dławiący, 7 – kątownik do mocowania jednostki prowadzącej, 8 – profil aluminiowy, 9 – mocowanie profili aluminiowych, b) przedmiot obrabiany w gnieździe kontroli; 1 – silownik, 2 – nadajnik położenia, 3 – wyłącznik zbliżeniowy, 4 – czujnik materiału, 5 – głębokościomierz, 6 – docisk

Fig. 4. Elements of the stand: a) processing unit; 1 – fixture of the milling machine, 2 – milling machine, 3 – clamping device, 4 – clamping of the clamping device, 5 – proximity switch, 6 – throttle-non-return valve, 7 – square to clamping the guide unit, 8 – aluminium profile, 9 – clamping of aluminium profiles, b) object worked in the centre of the control; 1 – servomotor, 2 – transmitter of the position, 3 – proximity switch, 4 – sensor of material, 5 – depth gauge, 6 – clamp

dwustronnego działania wyposażony w nadajnik położenia SMAT-8E-S50-IU-M8 oraz wyłącznik zbliżeniowy SME-8M-DS-24V-K-2,5-OE wykonuje ruch posuwowy. Głębokościomierz mierzy głębokość otworu za pomocą nadajnika położenia SMAT-8E-S50-IU-M8. Po sprawdzeniu głębokości otworu siłownik z głębokościomierzem wraca do pozycji początkowej. Następnie stół obrotowy DHTG-220-4-A wykonuje obrót o kolejne 90° .

W ostatnim etapie – sortowaniu następuje transport przedmiotu obrabianego przez siłownik DNC-32-40-PPV-A dwustronnego działania do magazynu (rys. 5.), który jest umieszczony na napędzie liniowym EGC-7-500-TB-KF-30H-GK. Magazyn składa się z trzech kieszeni. W zależności od rezultatów kontroli głębokości przedmiot obrabiany jest transportowany do odpowiedniej kieszeni. W pierwszej i drugiej kieszeni zostaje umieszczony przedmiot obrabiany, w którym otwór został wykonany prawidłowo, natomiast w trzeciej kieszeni – przedmiot obrabiany, w którym otwór został wykonany nieprawidłowo.



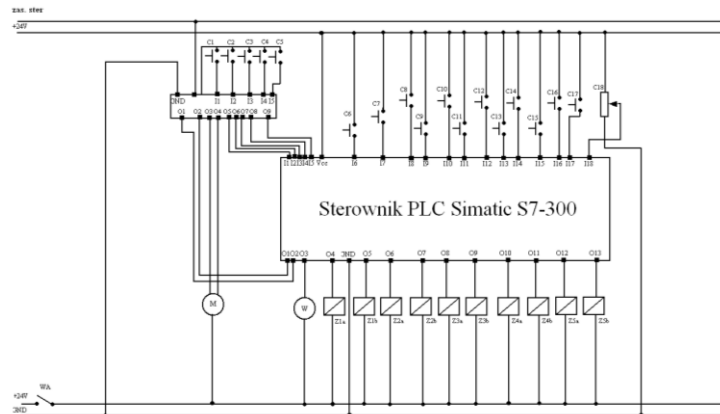
Rys. 5. Elementy składowe procesu sortowania: 1 – wyłącznik zbliżeniowy, 2 – siłownik, 3 – stół obrotowy, 4 – magazyn, 5 – napęd liniowy

Fig. 5. Elements of the process of the sorting: 1 – proximity switch, 2 – servo-motor, 3 – turntable, 4 – magazine, 5 – linear propulsion

4. Układ sterowania

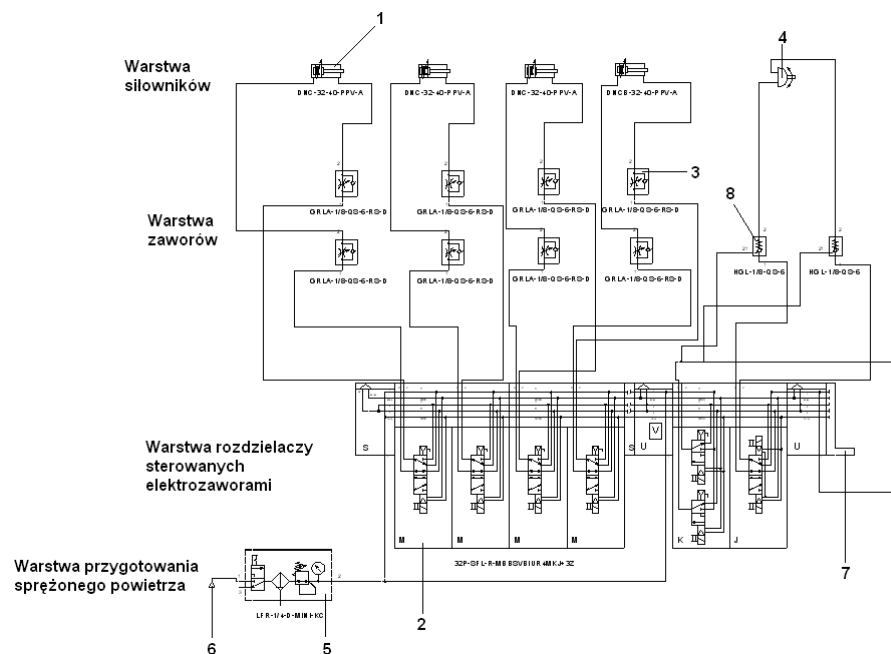
Funkcję sterowania elektrycznego przyjmuje sterownik logiczny PLC Simatic S7-300 firmy Siemens. Jest on sprzężony ze sterownikiem napędu liniowego CMMS-ST-C8-7 oraz wyspą zaworową MPA-MPM-VI 32E-MPM+GD 32P-SFL-R-MBBSVBIU-4MKJ+3Z. Sterownik napędu liniowego odbiera sygnały z pięciu wyłączników zbliżeniowych SIES-8M-PO-24V-K-7,5-OE, po czym przekazuje je do głównego sterownika logicznego PLC, którym jest Simatic S7-300, gdzie są dalej przetwarzane. Sterownik Simatic S7-300 otrzymuje sygnały na wejściu od wyłączników zbliżeniowych SME-8M-DS-24V-K-2,5-OE, nadajnika położenia SMAT-8E-S50-IU-M8, wyłączników zbliżeniowych SIEN-M8B-PS-S-L oraz specjalnie do tego celu zaprojektowanego czujnika materiału. Na wyjściu ze sterownika logicznego PLC Simatic S7-300 znajduje się dziesięć elektrozaworów jednocewkowych, które sterują medium roboczym, jakim jest sprężone powietrze. Sprężone powietrze jest doprowadzane przez sprężarkę do siłowników DNC-32-40-PPV-A dwustronnego działania oraz stołu

obrotowego DHTG-220-4-A, silnika wiertarki i napędu liniowego. Rysunek 6. przedstawia schemat układu sterowania elektronicznego.



Rys. 6. Schemat układu sterowania elektronicznego

Fig. 6. Scheme of the electronic control system



Rys. 7. Schemat sterowania pneumatycznego: 1 – silownik, 2 – elektrozawór, 3 – zawór zwrotno-dławiący, 4 – stół obrotowy, 5 – zespół przygotowania sprężonego powietrza, 6 – sprężarka, 7 – wyspa zaworów, 8 – zawór zwrotny

Fig. 7. Scheme of air control: 1 – servo-motor, 2 – solenoid valve, 3 – throttle – non-return valve, 4 – turntable, 5 – unit of preparing the compressed air, 6 – compressor, 7 – island of valves, 8 – non-return valve

Większość elementów wykonawczych wykorzystanych w projekcie stanowią elementy pneumatyczne. Do sterowania elementami pneumatycznymi w mechatronicznym systemie produkcyjnym została użyta wyspa zaworowa MPA-MPM-VI 32E-MPM+GD 32P-SFL-R-MBBSVBIU-4MKJ+3Z. Sprężone powietrze ze sprężarki trafia do zespołu przygotowania sprężonego powietrza. W zespole przygotowania sprężonego powietrza jest ono oczyszczane z zanieczyszczeń i dalej trafia do wyspy zaworowej, która za pomocą elektrozaworów rozdziela medium robocze, jakim jest powietrze, do wszystkich elementów wykonawczych układu pneumatycznego mechatronicznego systemu produkcyjnego. Każdym siłownikiem dwustronnego działania steruje elektrozawór, z którego powietrze poprzez dwa zawory zwrotno-dławiące trafia do komory siłownika. Wyspa zaworowa jest podłączona do sterownika logicznego PLC Simatic S7-300 firmy Siemens, który „czuwa” nad poprawnym przebiegiem procesu produkcyjnego.

Na rysunku 7. przedstawiono schemat sterowania pneumatycznego. Na schemacie występują symbole siłowników, zaworów zwrotno-dławiących, zaworów zwrotnych, elektrozaworów znajdujących się w wyspie zaworowej, stołu obrotowego, zespołu przygotowania sprężonego powietrza i sprężarki, która dostarcza medium robocze w postaci sprężonego powietrza.

5. Podsumowanie

Opisane stanowisko technologiczne zostało zamodelowane z wykorzystaniem dwóch programów komputerowych: graficznego Solid Edge oraz modułu Simulink programu MathLab. Moduł Part programu Solid Edge umożliwia zamodelowanie elementów znormalizowanych wykorzystanych w konstrukcji stanowiska, a także projektowanych od podstaw jako oryginalne rozwiązania. Moduł Assembly służy do wykonania prototypu stanowiska roboczego i przeprowadzenia żądanych zmian położenia bądź zmian wymiarowych poszczególnych zespołów lub części. W dalszej kolejności jest przeprowadzana symulacja pracy łącznie z analizą kolizji. Opisane narzędzia wraz ze stworzonymi bazami podzespołów umożliwiają szybkie prototypowanie oraz możliwość przekonstruowania stanowiska pod indywidualne zamówienie.

Literatura

1. Nieoczym A.: Modułowe stanowisko obróbcze. *Technologia i Automatykacja Montażu*, nr 3, 2010.
2. Nieoczym A.: Pionowy krzyżowy układ transportowy stanowiska roboczego. *Logistyka*, nr 6, 2010.

PROTOTYPE ROBOTIZED TECHNOLOGICAL CENTRE**Abstract**

The article presents the concept of building the machining stand using a typical actuator. It is based on a turntable with four slots. Collaborating teams are: the manipulator giving details, the cutting device, quality control module and the storage of finished elements. The construction, inside driving devices and the gripper of the manipulator being an original structure have been described in detail. The technological stand was modelled using two computer programs: the graphical program SolidEdge and the Simulink environment integrated with Matlab. The Part module of Solid Edge software allows to model standard elements applied in the stand construction and also in the design of original solutions of elements. The Assembly module allows to make the prototype of a work-stand and to perform required dimensional modifications of particular assemblies and parts. Structural details of remaining teams as well as a working cycle of the stand have been presented.

Keywords: manipulator, structural module, module of the control, module of processing

DOI: 10.7862/rm.2013.4

Otrzymano/received: 25.02.2013

Zaakceptowano/accepted: 17.04.2013

Anna RUDAWSKA¹
Łukasz SOSNOWSKI²

WYBRANE ZAGADNIENIA WYTRZYMAŁOŚCI POŁĄCZEŃ SPAWANYCH I KLEJOWYCH STALI KONSTRUKCYJNEJ S235JR

W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia wytrzymałości połączeń spawanych i klejowych stali konstrukcyjnej S235JR. Przedmiotem badań były zarówno połączenia spawane, jak i połączenia klejowe próbek wykonanych z blachy stalowej konstrukcyjnej St3S o grubości 2,5 oraz 3 mm. Do wykonania połączeń spawanych wykorzystano dwie metody spawania TIG oraz MIG/MAG, stosując śrutowanie jako sposób przygotowania powierzchni. Podczas spawania metodami TIG i MIG/MAG zmiennymi parametrami były: natężenie prądu, napięcie prądu, prędkość podawania drutu. W obydwu przypadkach gazem ochronnym był CO₂ podawany ze stałą prędkością. Do wykonania połączeń klejowych zastosowano klej epoksydowy dwuskładnikowy, a jako sposób przygotowania powierzchni – obróbkę mechaniczną za pomocą papieru ściernego KL381-320 oraz odtłuszczenie za pomocą acetonu. Badania wytrzymałościowe przeprowadzono zgodnie z normą EN DIN 1465. Uzyskane wyniki badań wskazały na różnice w otrzymanych wartościach wytrzymałości w zależności od zastosowanej metody łączenia, a także grubości łączonych materiałów.

Słowa kluczowe: połączenia spawane, połączenia klejowe, wytrzymałość

1. Wprowadzenie

Spajanie metali zaczęło rozwijać się już w XIX wieku [1, 2]. Opracowanie nowych metod spajania, do których zalicza się spawanie, zgrzewanie, lutowanie oraz klejenie, wynika m.in. z konieczności poszukiwania metod łączenia coraz to nowszych materiałów konstrukcyjnych, często o specyficznych właściwościach. W procesach montażu wykorzystuje się zarówno połączenia spawane, jak i klejowe, zwłaszcza w konstrukcjach, w których jest wymagane zastosowanie połączeń nierozłącznych, uwzględniając możliwości, korzyści oraz wymagania stawiane projektowanym połączeniom [3, 4].

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Anna Rudawska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, tel.: (81) 5384323, e-mail: a.rudawska@pollub.pl

² Łukasz Sosnowski, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, tel.: (81) 5384323.

Praca ma na celu określenie wpływu zmiennych parametrów spawania (natężenie prądu, napięcie prądu, prędkość podawania drutu) na wytrzymałość połączeń spawanych blach stalowych. Przedstawiono także wyniki badań połączeń klejowych, przy czym w obu rodzajach połączeń zastosowano dwie grubości łączonych materiałów. Wyniki badań połączeń klejowych zawierają informacje, które można wykorzystać podczas wyboru rodzaju połączenia, uwzględniając jako jedno z kryterium wyboru wymaganą wytrzymałość.

2. Metodyka badań

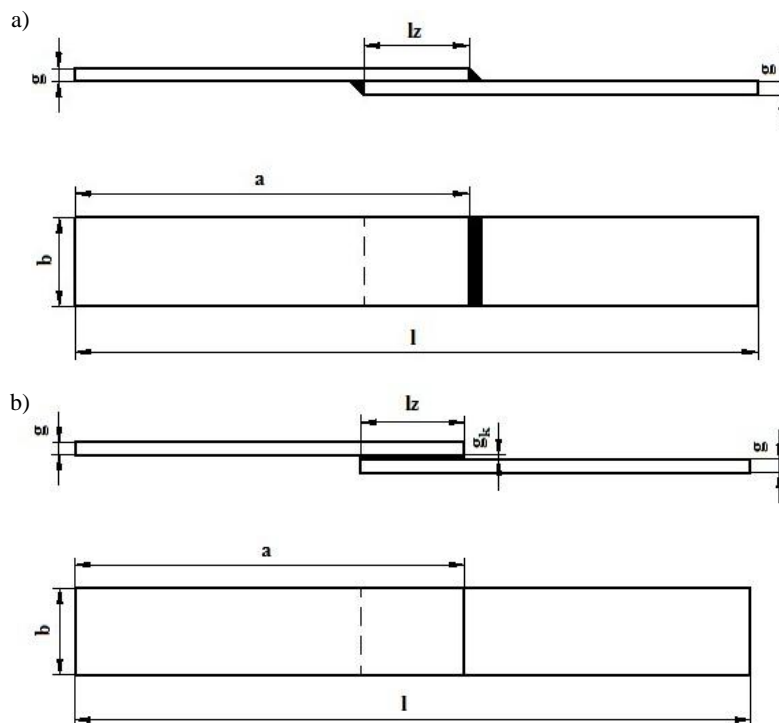
Materiałem wykorzystanym w badaniach była stal konstrukcyjna niestopowa S235JR (według PN-EN 10025-2:2007 [5]), której skład chemiczny zamieszczono w tab. 1. Dzięki swoim właściwościom ($R_e = 235$ MPa, $R_m = 375$ MPa, $A = 26\%$ [6]) stal ta znajduje zastosowanie m.in. w wytwarzaniu elementów narażonych na obciążenia dynamiczne i statyczne. Ze stali S235JR bardzo często wykonuje się konstrukcje spawane. Ponadto materiał ten charakteryzuje się dobrą skrawalnością. Przedmiotem badań były połączenia spawane i klejowe jednozakładkowe, których kształt i oznaczenia wymiarów łączonych próbek przedstawiono na rys. 1., a wymiary zestawiono w tab. 2. i 3. Połączenia spawane wykonano dwoma metodami spawania TIG oraz MIG/MAG, stosując wybrane zmienne parametry technologiczne, takie jak: natężenie prądu, napięcie prądu, prędkość podawania drutu wolframowego o średnicy 0,8 mm. W obydwu przypadkach gazem ochronnym był CO₂ podawany ze stałą prędkością. Wykonano po 7 połączeń dla każdego wariantu spawania, w zależności od grubości łączonych blach. Parametry technologiczne przyjęte podczas wykonywania połączeń spawanych metodą TIG zestawiono w tab. 4., a metodą MIG/MAG – w tab. 5. W przypadku powierzchni elementów, które zostały poddane procesowi spawania, jako sposób przygotowania powierzchni zastosowano śrutowanie śrutem stalowym o średnicy $d = 0,5$ mm w śrutownicy kabinowej DP14.

Tabela 1. Skład chemiczny stali S235JR

Table 1. S235JR chemical composition

C [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	N [%]	Cu [%]
0,17	1,40	0,04	0,04	0,012	0,55

Do wykonania połączeń klejowych użyto kleju dwuskładnikowego epoksydowego Loctite 9484 [7], charakteryzującego się średnią lepkością oraz średnim czasem przydatności do klejenia (40 min w temperaturze 22°C). Czas utwardzania kleju w temperaturze 22°C wynosi 180 min. W przypadku połączeń klejowych jako sposób przygotowania powierzchni zastosowano obróbkę mechaniczną za pomocą papieru ściernego KL381-320, po której nastąpiło odtłuszcza-



Rys. 1. Kształt i oznaczenie wymiarów połączeń: a) spawanych, b) klejowych
 Fig. 1. The shape and designation of joints dimensions: a) welded, b) adhesive

Tabela 2. Wymiary połączeń spawanych

Table 2. The welded joints dimensions

Oznaczenie wymiaru	a [mm]	b [mm]	g [mm]	l [mm]	l_z [mm]
Wymiar	90	20	2,5	156	24
			3		

Tabela 3. Wymiary połączeń klejowych

Table 3. The adhesive joints dimensions

Oznaczenie wymiaru	a [mm]	b [mm]	g_k [mm]	g [mm]	l [mm]	l_z [mm]
Wymiar	90	20	0,1	2,5	154	26
				3		

Tabela 4. Warunki techniczno-technologiczne wykonywania połączeń spawanych metodą TIG

Table 4. Technical and technological conditions of welded joints made of TIG method

Metoda/gaz	TIG / CO ₂ 9 l/min					
Natężenie prądu [A]	60	65	70	75	80	85
Wariant spawania	1	2	3	4	5	6
Materiał o grubości 2,5 mm	-	+	+	+	+	-
Materiał o grubości 3,0 mm	+	+	+	+	+	+

Tabela 5. Warunki techniczno-technologiczne wykonywania połączeń spawanych metodą MIG/MAG

Table 5. Technical and technological conditions of welded joints made of MIG/MAG method

Metoda/gaz	MIG/MAG – CO ₂ 12 l/min					
Materiał	<i>g</i> = 2,5 mm			<i>g</i> = 3,0 mm		
Wariant spawania	prędkość podawania drutu [m/min]	natężenie prądu [A]	napięcie prądu [V]	prędkość podawania drutu [m/min]	natężenie prądu [A]	napięcie prądu [V]
1.	5,0	104	15	5,5	101	17,0
2.	5,5	123	16	6,0	110	17,5
3.	6,0	125	17	7,5	130	19,5
4.	6,5	132	18	8,0	140	22,0

nie acetonem w celu usunięcia drobin materiału i innych zanieczyszczeń. Przygotowanie powierzchni oraz klejenie przeprowadzono w temperaturze $27\pm 2^{\circ}\text{C}$, przy wilgotności powietrza $36\pm 2\%$. Proces utwardzania kleju był realizowany pod naciskiem 0,01 MPa w czasie 168 h. Wykonano po 7 połączeń w każdej partii próbek. Badania wytrzymałościowe dla każdej partii próbek połączeń zarówno klejowych, jak i spawanych były przeprowadzane zgodnie z normą DIN EN 1465 na maszynie wytrzymałościowej Zwick Roell 150.

3. Wyniki badań

Wyniki badań zależności wytrzymałości połączonych elementów (o grubości 2,5 mm oraz 3,0 mm) od natężenia prądu, spawanych metodami TIG (tab. 6.) oraz MIG/MAG (tab. 7.), nie wykazują wpływu zmiany natężenia prądu w badanym obszarze zmienności parametrów technologicznych na wytrzymałość na ścinanie połączeń spawanych. Obserwacje te dotyczą także wyników badań przedstawiających wpływ prędkości podawania drutu oraz napięcia prądu pod-

czas spawania metodą MIG/MAG. Analizując rezultaty badań zaprezentowane w tab. 7., zauważono, że w przypadku zastosowania metody MIG/MAG większą wytrzymałością charakteryzowały się połączenia materiałów o większych grubościach. Obserwowany brak wpływu parametrów technologicznych na wytrzymałość na ścinanie połączeń spawanych (tab. 6. i 7.) dotyczy przyjętego obszaru zmienności tych parametrów.

Na podstawie przedstawionych wyników badań można zauważyć, że większą wytrzymałość na ścinanie uzyskały połączenia spawane metodą TIG, niższą zaś połączenia spawane metodą MIG/MAG. Dotyczy to połączeń blach zarówno o grubości 2,5 mm, jak i 3,0 mm. Należy jednak zauważyć, że niezależnie od zastosowanej metody spawania większą wytrzymałością (o około 13%) charakteryzowały się połączenia blach o większej grubości (tab. 6. i 7.). Analizując wpływ parametrów technologicznych wykonania połączeń spawanych, zauważono, że zmiana wartości natężenia prądu w badanym obszarze zmienności

Tabela 6. Wytrzymałość połączeń spawanych blach stalowych metodą TIG

Table 6. The welded joints strength of steel sheets made by TIG method

Wytrzymałość na ścinanie przy rozciąganiu [MPa]			
Metoda TIG			
Lp.	natężenie prądu [A]	grubość łączonych blach [mm]	
		$g = 2,5$	$g = 3,0$
1	60	-	39,3
2	65	34,3	39,5
3	70	34,3	39,4
4	75	34,2	39,5
5	80	33,8	39,3
6	85	-	39,2

Tabela 7. Wytrzymałość połączeń spawanych blach stalowych metodą MIG/MAG

Table 7. The welded joints strength of steel sheets made by MIG/MAG method

Wytrzymałość na ścinanie przy rozciąganiu [MPa]			
Metoda MIG/MAG			
Lp.	natężenie prądu [A]	grubość łączonych blach [mm]	
		$g = 2,5$	$g = 3,0$
1	101	-	33,5
2	104	29,6	-
3	110	-	33,4
4	123	28,8	-
5	125	29,1	-
6	130	-	33,6
7	132	29,4	-
8	140	-	33,5

parametrów technologicznych nie wpływa na wartość wytrzymałości na ścinanie (tab. 6. i 7.), przy czym spostrzeżenie to dotyczy przyjętego obszaru zmienności badanych parametrów. Zaobserwowano jedynie nieznaczne zmiany wartości uzyskanej wytrzymałości w zależności od przyjętego podczas spawania natężenia prądu, stosując zarówno metodę TIG, jak i MIG/MAG. Podobnych spostrzeżeń dokonano podczas analizy wpływu zmian prędkości podawania drutu oraz zmian napięcia prądu na wytrzymałość połączeń spawanych, wykonanych metodą MIG/MAG.

Wyniki wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych próbek o grubości blach 2,5 mm i 3,0 mm (tab. 8.) wskazują, że większą wytrzymałość połączeń klejowych uzyskano w przypadku połączeń elementów o większej grubości, dla których otrzymano także większą powtarzalność wyników wytrzymałości. Rozpatrując wytrzymałość połączeń klejowych zauważono, że większą wytrzymałością charakteryzowały się połączenia blach o większej grubości (3,0 mm), w przypadku których otrzymano także mniejsze odchylenie standardowe. Wytrzymałość połączeń klejowych blach o grubości 2,5 mm stanowiła 92% wytrzymałość połączeń elementów o grubości 3 mm. Porównując wytrzymałość połączeń spawanych i klejowych, stwierdzono większą wytrzymałość połączeń spawanych w porównaniu z połączeniami klejowymi. W przypadku połączeń blach o grubości 2,5 mm wytrzymałość połączeń klejowych stanowiła 21,8% wytrzymałości połączeń spawanych metodą TIG, a 25,5% wytrzymałości połączeń spawanych metodą MIG/MAG. Dla grubości blach 3 mm wytrzymałość połączeń klejowych stanowił 19,2% wytrzymałości połączeń spawanych metodą TIG, a 22,6% wytrzymałości połączeń spawanych metodą MIG/MAG.

Tabela 8. Wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych

Table 8. The adhesive joints strength of steel sheets

Lp.	Wytrzymałość na ścinanie przy rozciąganiu [MPa]		Wymiary			
			l_z [mm]	b [mm]	l_z [mm]	b [mm]
Grubość [mm]	$g = 2,5$	$g = 3,0$	$g = 2,5$		$g = 3,0$	
1	5,99	8,43	26,94	20,20	31,41	19,99
2	7,36	7,34	27,76	18,60	29,22	20,05
3	7,80	7,91	26,14	20,13	29,70	18,97
4	7,22	8,44	26,24	20,36	30,37	18,63
5	8,89	8,28	25,28	20,09	29,54	19,05
Średnia	7,45	8,08	26,47	19,88	30,05	19,34
Odchylenie standardowe	1,05	0,46	0,93	0,72	0,78	0,57

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy wyników badań można sformułować następujące wnioski:

1. Korzystne jest zastosowanie metody TIG do wykonania połączeń spawanych blach ze stali S235JR ze względu na większą wytrzymałość niż metody MIG/MAG.
2. Wytrzymałość połączeń spawanych blach o znaczniejszej grubości jest większa od wytrzymałości blach o mniejszej grubości o około 13%, niezależnie od zastosowanej metody.
3. Nie zauważono wpływu zmian rozpatrywanych parametrów technologicznych spawania w badanym obszarze zmienności (natężenia prądu, prędkości podawania drutu oraz napięcia prądu) na wytrzymałość połączeń spawanych w przyjętych zakresach zmian.
4. Wytrzymałość połączeń klejowych stanowi od 19 do 25% wytrzymałości połączeń spawanych w zależności od przyjętego wariantu spawania i grubości łączonych elementów.

Przedstawione wnioski dotyczą badań zrealizowanych przy określonych parametrach technologicznych wykonywanych połączeń spawanych i klejowych. Podsumowując, można zauważyć, że celowe jest prowadzenie dalszych badań analizowanych połączeń, uwzględniając zarówno czynniki konstrukcyjne, jak i technologiczne, wpływające na wytrzymałość połączeń spawanych i klejowych.

Literatura

1. Wojciechowski W.: Techniki wytwarzania. Tom III. Wybrane zagadnienia ze spawalnictwa. Politechnika Krakowska, Kraków 1990.
2. Ferenc K., Ferenc J.: Konstrukcje spawane. Połączenia. WNT, Warszawa 2000.
3. Mistur L., Czuchryj J.: Metody spawania oraz sposoby oceny jakości złączy spawanych. KaBe, Krosno 2005.
4. Godzimirski J., Kozakiewicz J., Łunarski J., Zielecki W.: Konstrukcyjne połączenia klejowe elementów metalowych w budowie maszyn. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1997.
5. PN-EN 10025:2007: Systemy oznaczania stali – Część 1: Znaki stali.
6. PN-90/B-03200: Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
7. Rudawska A., Trebik P.: Analiza porównawcza wytrzymałości połączeń klejowych i lutowanych blach stalowych. Technologia i Automatyzacja Montażu, nr 4/2012, s. 45-49.

THE SELECTED ISSUES OF WELDED AND BONDED JOINTS STRENGTH OF S235JR CONSTRUCTIONAL STEEL

Abstract

The article presents selected issues of welded joints and adhesive joints strength of constructional steel S235JR. Test subject were both welded joints and adhesive joints samples made of St3S sheet steel with a thickness of 2,5 mm and 3 mm. To implement welded joints two methods of welding TIG and MIG/MAG were applied. A shot peening was a method to prepare the surface. When welding by using TIG and MIG/MAG methods variables parameters were: current intensity, voltage, wire feed speed. In both cases, the protective gas CO₂ was injected at a constant speed. In the case of adhesive joints, two-component epoxy adhesive is used to make them, and as a way of preparing the surface machining has been applied by using the abrasive paper – 320 KL381 and degreasing with acetone. Strength tests were carried out according to EN DIN 1465. Obtained test results pointed out the differences in the strength values obtained depending on the method of joining, as well as the thickness of the joining materials.

Keywords: welded joints, adhesive joints, strength

DOI: 10.7862/rm.2013.5

Otrzymano/received: 25.02.2013

Zaakceptowano/accepted: 17.04.2013

Tomasz SAMBORSKI¹
Andrzej ZBROWSKI²

STANOWISKO DO BADANIA ODPORNOŚCI PASZPORTÓW NA PRZEGLĄDANIE

W pracy przedstawiono metodę i stanowisko do badania odporności wielostronicowego dokumentu (paszportu) na wyrwanie z grzbietu kartki wskutek wielokrotnego składania lub przeglądania. Metoda badania, zgodna z zaleceniami Międzynarodowej Organizacji Lotnictwa Cywilnego (ICAO) odnośnie wdrażania środków zabezpieczania paszportów i zawartych w nich danych, polega na cyklicznym obracaniu kartki lub dokumentu w trakcie testu wokół osi grzbietu dokumentu pomiędzy określonymi położeniami kątowymi. Obracaniu towarzyszy, odzwierciedlająca charakter warunków użytkowania, stała siła prostopadła do osi obrotu zależna od długości nieruchomej krawędzi kartki. Zaprezentowano rozwiązania konstrukcyjne podstawowych układów wykonawczych, istotnych z punktu widzenia poprawności realizowanych procedur oraz ergonomii użytkowania. Układ sterowania stanowiskiem oparty na programowalnym sterowniku PLC pozwala na realizację badań w szerokim zakresie zmienności podstawowych parametrów decydujących o końcowej ocenie wyrobu. Wprowadzanie parametrów badań (częstość, liczba cykli), prowadzenie testów kalibracji siły oraz położenia układów wykonawczych jest realizowane z wykorzystaniem wielofunkcyjnego panelu operatorского. Zakres parametrów użytkowych urządzenia, wykraczający poza wynikające z istniejących unormowań, pozwala na jego zastosowanie nie tylko do bieżącej kontroli procesu produkcji lub kontroli dostaw, ale również do prowadzenia prac rozwojowych związanych z prototypowaniem nowych rozwiązań w obszarze wytwarzania wielostronicowych dokumentów. Wykorzystanie opracowanego urządzenia w obszarze badań trwałości dokumentów, szczególnie paszportów, prowadzonych przez upoważnione służby państwowe przyczyni się do podniesienia poziomu bezpieczeństwa związanego m.in. z ruchem transgranicznym.

Słowa kluczowe: dokument, trwałość, badanie, kartkowanie

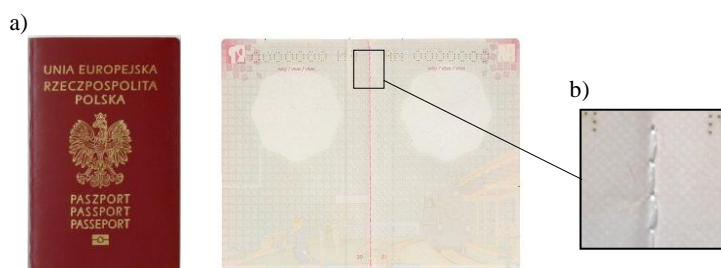
1. Wprowadzenie

Rosnąca nieustannie liczba osób przekraczających granice państw stawia przed narodowymi służbami zadanie prowadzenia szybkiej i skutecznej identy-

¹ Tomasz Samborski, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom

² Autor do korespondencji/corresponding author: Andrzej Zbrowski, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, tel.: (48) 3649243; fax: (48) 3644760, e-mail: andrzej.zbrowski @itee.radom.pl

fikacji [1]. Dokumentem, który umożliwia identyfikację podróżnych, jest odpowiednio zabezpieczony paszport. Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego (ICAO), współpracując z krajowymi instytucjami zajmującymi się emisją i produkcją paszportów, generuje zalecenia [2, 3] odnośnie wdrażania środków zabezpieczania paszportów i zawartych w nich danych oraz wprowadzania w tym zakresie odpowiedniego prawa i uregulowań normatywnych. Zgodnie z zaleceniami ICAO paszport musi być odporny m.in. na narażenia związane z użytkowaniem (noszenie w kieszeni, przeglądanie, stemplowanie, dokonywanie zapisów długopisem). Spełnienie tych wymagań wymusza na producentach posiadanie odpowiedniej aparatury badawczo-testowej przystosowanej do prowadzenia badań zgodnie z odpowiednimi metodami, według ustalonych procedur [4]. Paszport jest dokumentem w formie książeczki o wymiarach 125 x 88 mm, zawierającym kartę do personalizacji oraz kilkadziesiąt kart wizowych. Połączenie okładki z poszczególnymi kartkami (składkami) jest najczęściej zrealizowane w technologii szycia nitką introligatorską – lnianą, bawełnianą lub syntetyczną (rys. 1.). Zastosowana technologia oraz użyte materiały w bezpośredni sposób rzutują na odporność dokumentu na wyrwanie z grzbietu kartek wskutek wielokrotnego składania czy przeglądania.



Rys. 1. Książeczka paszportowa (a) wraz z widocznym szyciem (b)

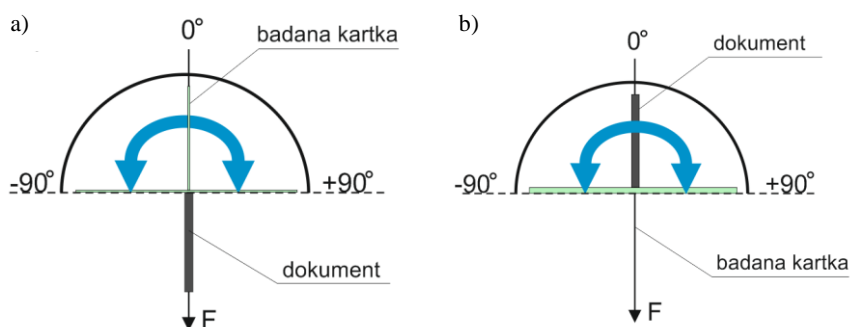
Fig. 1. Passport (a) with visible stitch (b)

2. Metoda badania

Testowi kartkowania poddaje się dokumenty utworzone z wielu kartek w postaci książeczki. Test symuluje obciążenie kartek książeczki paszportowej w trakcie kontroli związanej z przekraczaniem granic państw. Jest to czynność wykonywana często w pośpiechu, w warunkach polowych i niezbyt starannie. Zgodnie z procedurą badań dokument jest mocowany w uchwycie, a kartka poddawana testowi jest obciążana siłą rozciągającą – wrywającą oraz obracana cyklicznie o kąt 180° (rys. 2.). Urządzenie do testu kartkowania powinno posiadać uchwyt ściskający dokument oraz zacisk kartki wykonujący wahadłowy ruch roboczy, obciążający jednocześnie kartkę określoną siłą. Pionową osią obrotu jest wewnętrzna krawędź kartki, a wektor siły jest skierowany prostopadle

do osi. Parametrami zmiennymi badania są wartość siły i liczba cykli ruchu wahadłowego. Normatywna procedura zakłada badanie książeczki paszportowej w następujących warunkach [3]:

- częstość ruchu oscylacyjnego – 0,5 Hz,
- kąt obrotu – $\pm 90^\circ$,
- siła obciążająca – 1 N/cm \pm 25% (siła przypadająca na jednostkę długości kartki),
- liczba cykli przeginięcia – 1000 cykli.



Rys. 2. Sposób badania dokumentu: a) jest obracana badana kartka, b) jest obracany badany dokument

Fig. 2. A method of document test: a) a page is turned, b) a document is turned

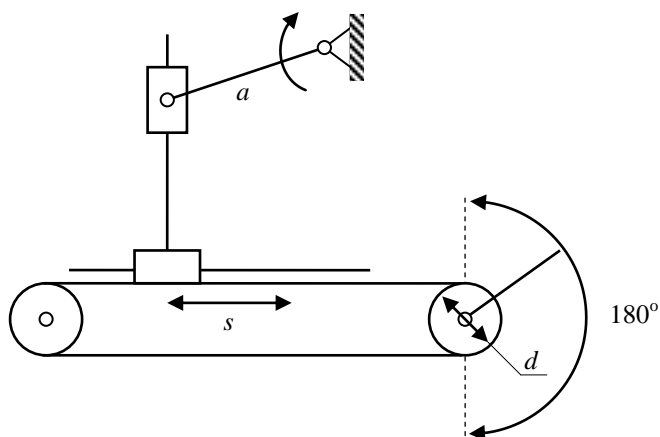
3. Budowa stanowiska

Opracowane metody i procedury badania odporności dokumentów na przeglądanie zostały wykorzystane do zdefiniowania wymagań konstrukcyjnych i funkcjonalnych urządzenia testowego. Określono funkcje, parametry techniczne oraz zasadę działania poszczególnych podzespołów urządzenia (rys. 3.). Przy ustalonej średnicy d kół przekładni pasowej zmiana długości a korbowodu decyduje o wielkości skoku s , a w konsekwencji o wartości wychylenia kąтового kartki połączonej z kołem pasowym. Przyjęte wymagania pozwoliły na zdefiniowanie podstawowych parametrów charakteryzujących urządzenie testowe:

- długość boku badanego dokumentu – $20 \div 186$ mm,
- zakres regulacji siły – $1 \div 40$ N,
- kąt obrotu badanej kartki – $0 \div \pm 90^\circ$,
- grubość testowanych elementów – $200 \div 6000$ μm ,
- częstość ruchu oscylacyjnego – $0,2 \div 1$ Hz,
- liczba cykli obciążania – do 10 000,
- zasilanie – 230 V, 50 Hz,
- liczba jednorazowo badanych dokumentów – 1.

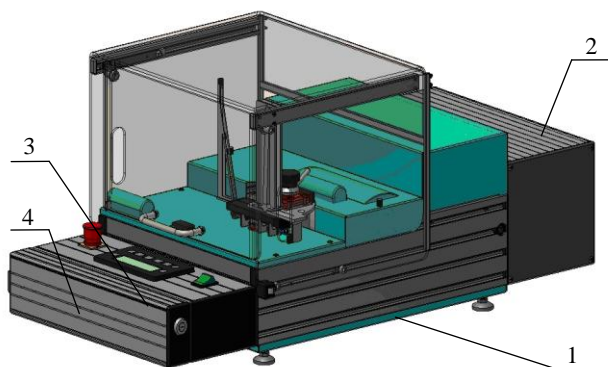
Na podstawie przyjętych założeń konstrukcyjnych opracowano model wirtualny testera z wykorzystaniem pakietu Autodesk Inventor Professional. Oprac-

cowany model pozwolił na przeprowadzenie szeregu analiz kinematyki układów ruchowych oraz obliczeń metodą MES naprężeń w wybranych węzłach konstrukcyjnych. Model 3D umożliwił również przeprowadzenie oceny zaproponowanego rozwiązania pod kątem ergonomii obsługi. Konstrukcje nośną testera (rys. 4.) tworzy system profili aluminiowych z wydzielonymi trzema modułami



Rys. 3. Schemat kinematyczny testera: d – średnica koła pasowego, s – skok, a – regulowana długość korbowodu

Fig. 3. Kinematic diagram of the tester: d – belt wheel diameter, s – stroke, a – adjustable length of a connecting rod



Rys. 4. Model urządzenia do testowania wytrzymałości kartek dokumentów na wyrwanie pod różnymi kątami: 1 – moduł układów wykonawczych, 2 – moduł systemu sterowania, 3 – panel operatorski, 4 – kasetka zespołu kalibracji siły

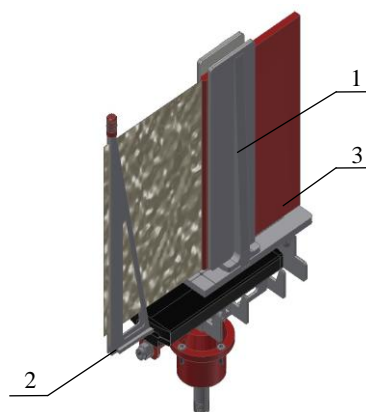
Fig. 4. Model of the device for tear-out endurance tests for document pages conducted at different angles: 1 – executive

system module, 2 – control system module, 3 – control panel,
4 – cassette of force calibration assembly

zawierającymi: układy wykonawcze (1), elementy systemu sterowania (2), panel operatorski (3), kasetę z czujnikiem kalibracji siły (4). Głównym zespołem, bezpośrednio odpowiedzialnym za realizację procedury badawczej, jest wielofunkcyjna głowica (rys. 5.) składająca się z dwóch zespołów szczęk: stałych (1) i obrotowych (2).

Rys. 5. Wielofunkcyjna głowica testera do badania kart dokumentu na wrywanie: 1 – zespół szczęk stałych (mocujących), 2 – zespół szczęk obrotowych, 3 – badany dokument

Fig. 5. Multifunctional tester head for testing pages endurance to tear-out: 1 – set of permanent jaws, 2 – set of rotating jaws, 3 – tested document



Zespół szczęk stałych (rys. 6.) służy do zamocowania paszportu (kartki) pomiędzy dwoma rozsuwającymi się symetrycznie, wyposażonymi w nakładki cienne (3), szczękami (2). Rozchylenie szczęk (2) jest realizowane przez obrót dźwigni (5) wprawiającej w ruch obrotowy dwa (niewidoczne na rys. 6.) przeciwbieżne mimośrodowo współpracujące ze szczękami (2) uchwyty. Unieruchomienie książeczki w zespole odbywa się poprzez obrót dźwigni (5), której bieżąca pozycja jest ustalana za pomocą umieszczonego powyżej pokrętła (6). Zespół szczęk ruchomych (rys. 7.) jest odpowiedzialny za unieruchomienie badanej kartki (dokumentu) celem nadania jej ruchu wahadłowego oraz wywarcie określonej siły wrywającej.

Rys. 6. Zespół szczęk stałych: 1 – stół uchwytu dokumentu, 2 – szczeka, 3 – nakładka cienna, 4 – prowadnica szczęk, 5 – dźwignia zaciskowa, 6 – pokrętło blokujące

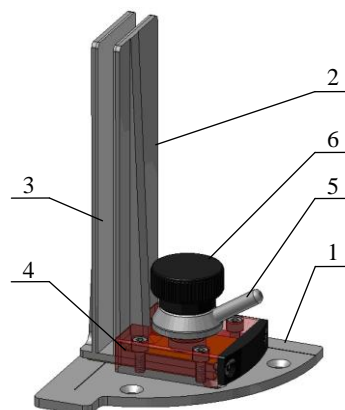
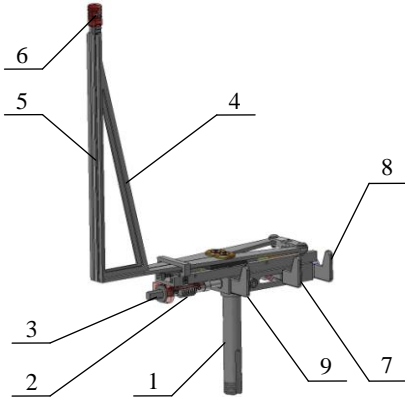


Fig. 6. Set of permanent jaws: 1 – document grip stand, 2 – jaw, 3 – friction strap, 4 – jaws slide, 5 – clamping lever, 6 – blocking knob

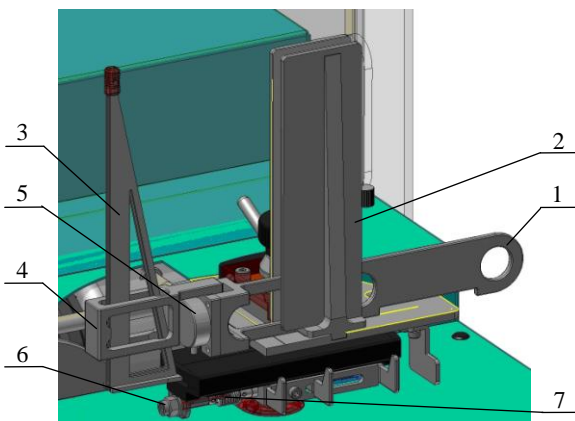


Rys. 7. Zespół szczęk ruchomych: 1 – wałek napędowy, 2 – sprężyna napinająca, 3 – nakrętka regulacyjna, 4 – szczęka, 5 – nakładka cierna, 6 – nasadka, 7 – dźwignia sterowania zaciskaniem karty, 8 – dźwignia zamocowania karty, 9 – dźwignia uwolnienia karty

Fig. 7. Set of moveable jaws: 1 – drive shaft, 2 – tension spring, 3 – regulation nut, 4 – jaw, 5 – friction strap, 6 – cap, 7 – lever controlling leaf clamp, 8 – leaf fixing lever, 9 – leaf release lever

Ustalenie poddawanej obciążeniu karty następuje pomiędzy dwiema szczękami nożycowymi (4) z nakładkami ciernymi (5), napędzanymi przesuwными dźwigniami powodującymi zamocowanie lub zwolnienie karty. Zacisk karty odbywa się przez ściągnięcie środkowej (7) i tylnej (8) dźwigni. Zwolnienie karty zapewnia względne przesunięcie dźwigni środkowej (7) i przedniej (9). W celu zapewnienia stałego zacisku, po zaciśnięciu kartki swobodne końce szczęk (4) są spinane specjalną nasadką (6). Ze względu na konieczność regulacji siły wrywającej zespół jest wyposażony w kalibrowaną sprężynę (2) służącą do elastycznego naciągnięcia karty podczas testu.

W celu przeprowadzenia nastaw obciążenia (rys. 8.) poprzez regulację napięcia sprężyny (7) należy w zespole szczęk stałych (2) zacisnąć korpus zespołu kalibrującego (1) z jednoczesnym umieszczeniem zaciśniętych szczęk obrotowych (3) w uchwycie pomiarowym (4). Przetworzony sygnał z przetwornika siły (5), umieszczonego w zespole kalibrującym (1), jest wyświetlany na ekranie panelu operatorskiego w postaci bieżącej siły, której wartość reguluje się za pomocą nakrętki (6) napinającej sprężynę (7). Ruch wahadłowy zespołu szczęk

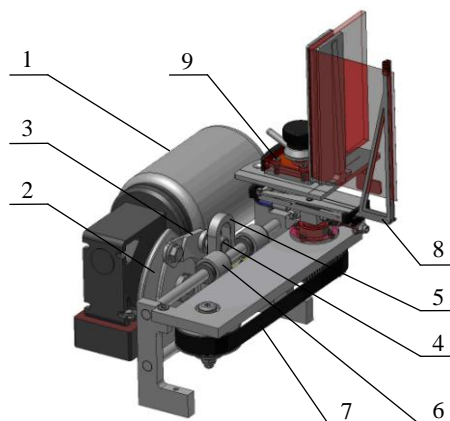


Rys. 8. Kalibracja sprężyny naciągowej: 1 – zespół kalibrujący, 2 – zespół szczęk stałych, 3 – zespół szczęk obrotowych, 4 – uchwyt pomiarowy, 5 – przetwornik siły, 6 – nakrętka, 7 – sprężyna napinająca

Fig. 8. Tension spring calibration: 1 – calibration set, 2 – set of permanent jaws, 3 – set of rotating

jaws, 4 – measurement holder, 5 – power transducer, 6 – nut, 7 – tension spring

obrotowych (9) wielofunkcyjnej głowicy badawczej jest realizowany za pomocą synchronicznej przekładni, której pas (7) jest połączony z wózkiem (6) poruszającym się rewersyjnie po prowadnicach toczy (rys. 9.). Ruch posuwisto-zwrotny wózka wymusza obracającą się tarcza mimośrodowa (2) z rolką (4), współpracująca z jarzmem (5) połączonym z wózkiem (6). Zmiana odległości osi rolki wodzącej (4) od osi obrotu, napędzanej silnikiem asynchronicznym (1) tarczy (2), umożliwia regulację wychyleń szczęk obrotowych (9) głowicy od wartości bliskiej zeru do wymaganych $\pm 90^\circ$.



Rys. 9. Model mechanizmu napędu: 1 – motor-reduktor, 2 – tarcza mimośrodowa, 3 – ramię mimośrodowa, 4 – rolka wodząca, 5 – jarzmo, 6 – wózek, 7 – pas zębata, 8 – zespół szczęk stałych, 9 – zespół szczęk obrotowych

Fig. 9. Model of the drive mechanism: 1 – gear-motor, 2 – eccentric disc, 3 – eccentric arm, 4 – crosshead roller, 5 – yoke, 6 – cart, 7 – cogbelt, 8 – permanent jaws set, 9 – rotating jaws set

4. Prototyp stanowiska

Na podstawie opracowanego modelu wirtualnego urządzenia zbudowano prototyp stanowiska do badania odporności paszportów na przeglądanie (rys. 10.). System kontrolno-pomiarowy urządzenia powstał z wykorzystaniem sterownika PLC rodziny Twido w wersji modułowej, programowany w środowisku TwidoSuite. Wizualizację oraz komunikację sterownika PLC z operato-



Rys. 10. Widok stanowiska (a) oraz dokumentu testowego (b)

Fig. 10. View of test stand (a) and the tested document (b)

rem zapewnia terminal operatorski (4, rys. 11.) rodziny Magelis, oprogramowany w środowisku Vijeo-Designer Lite. Informacje o stanie urządzenia są wyświetlane w formie komunikatów na odpowiednich panelach, dotyczących np.: wyboru rodzaju wykonywanego testu, stanu zaawansowania testu, możliwości wyboru nastaw.



Rys. 11. Widok urządzenia (bez osłon): 1 – zespół napędowy, 2 – głowica wielofunkcyjna, 3 – elementy systemu sterowania, 4 – panel operatorski

Fig. 11. View of the device (casing taken off): 1 – drive unit, 2 – multifunctional head, 3 – elements of the control system, 4 – control panel

W celu weryfikacji opracowanej aparatury badawczo-testowej próbom porównawczym poddano książeczki testowe (rys. 10b), na wykonanym egzemplarzu i urządzeniu komercyjnym znajdującym się w dyspozycji Polskiej Wytwórni Papierów Wartościowych. Za pomocą prototypu przebadano 14 książeczek paszportowych. Dla każdej książeczki przebadano jedną stronę, poddając ją oddziaływaniu 1000 cykli obciążeniowych. Wyniki testów nie wykazały różnic pomiędzy rezultatami uzyskanymi na dwóch różnych stanowiskach badawczych. W obu przypadkach wszystkie książeczki spełniły stawiane wymagania. Test nie spowodował uszkodzeń mechanicznych okładki ani stron wizowych.

5. Podsumowanie

Zbudowane w Instytucie Technologii Eksploatacji Państwowego Instytutu Badawczego w Radomiu stanowisko badawcze spełnia wszystkie wymagania stawiane urządzeniom przeznaczonym do prowadzenia badań testowych. Zakres parametrów użytkowych urządzenia, wykraczający poza wynikające z istniejących unormowań, pozwala na jego zastosowanie nie tylko do bieżącej kontroli procesu produkcji lub kontroli dostaw, ale również do prowadzenia prac rozwojowych związanych z prototypowaniem nowych rozwiązań w obszarze wytwarzania wielostronicowych dokumentów. Sprawny system badań trwałości dokumentów, szczególnie paszportów, z wykorzystaniem nowoczesnego instrumen-

tarium badawczego przyczyni się do podniesienia poziomu bezpieczeństwa związanego m.in. z ruchem transgranicznym.

Literatura

1. Neuby B.L., Rudin E.: Radio Frequency Identification: A panacea for governments? Public Organization Review, no. 8 (2008), pp. 329-345.
2. Doc. 9303 Machine Readable Travel Documents. ICAO, 6th ed., 2006.
3. Machine Readable Travel Documents. Technical Report: Durability of Machine Readable Passports Version 3.2, ICAO 2006.
4. Kozioł S., Zbrowski A., Samborski T., Wiejak J.: Koncepcja systemu testowania połączeń montażowych w dokumentach z zabezpieczeniem elektronicznym. Technologia i Automatykacja Montażu, nr 4 (2010) s. 6-9.

Praca naukowa wykonana w ramach realizacji Projektu Badawczego Rozwojowego nr OR00003909 pn. „System i pilotowa implementacja zabezpieczeń elektronicznych zawierających układy RFID”.

THE STAND FOR TESTING PASSPORT ENDURANCE TO THUMBING

Abstract

The article presents a method and a stand for testing the endurance of a passport's pages to tear-out resulting from their repeated thumbing and turning. The test method complies with the ICAO's requirements concerning the implementation of security measures for ID documents and data stored in them, and it consists in a repeated page or document turning around the axis of the document edge between predefined angular positions. The turning is accompanied by the presence of a constant force, perpendicular to the rotation axis and dependent on the length of the immovable page edge. The authors show structural solutions that are crucial from the point of view of proper execution of the test procedure, user ergonomics and basic executive systems. The stand control system, based on a programmable PLC controller, enables the tests to be conducted for a wide range of changeability of basic parameters deciding on the final assessment of the product. A multifunctional control panel enables the parameters to be set, the calibration tests to be performed and the executive systems to be adjusted. The parameter range of the device, significantly exceeding the current norms, allows for its application in R&D tasks concerning prototyping of new solutions in the area of multilayered electronically tagged document development. The practical application of the device in document endurance tests conducted by authorized institutions may increase the security level connected i.e. with transborder migration.

Keywords: document, endurance, test, thumbing

DOI: 10.7862/rm.2013.6

Otrzymano/received: 25.02.2013

Zaakceptowano/accepted: 2.04.2013

Aleksander STREUBEL¹

Marek KURAN²

Rafał SUBBOTKO³

PROBLEMY TECHNOLOGICZNE WYKONANIA OTWORÓW CYLINDRYCZNYCH WYNIKAJĄCE Z ICH ZASTOSOWANIA

W pracy omówiono problemy z przygotowaniem cylindrycznych otworów do montażu w przedmiotach stosowanych w układach sterujących, w hydraulice siłowej oraz przeznaczonych do prowadzenia reakcji chemicznych. Niekiedy wielu problemów nastęcza wykonanie oraz montaż prostej części. Pozornie błahe powierzchnie, jak np. prostopadłe do osi otworu dno czy fazy, decydują de facto o szczelności połączeń, a więc o poprawności pracy gotowego wyrobu. Części składowe hydrauliki siłowej należą do produktów wymagających specyficznego procesu technologicznego. Przykładowo, w procesie wytwarzania zaworu konieczne jest zastosowanie nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych narzędzi, co pozwala na ograniczenie liczby braków. Przedmioty wykonywane dla przemysłu chemicznego mają do spełnienia różne zadania. Wymaga to stosowania każdorazowo indywidualnych metod obróbki, często odbiegających od powszechnie wykorzystywanych i nie każdy zakład produkcyjny jest w stanie je spełnić. Zwrócono uwagę na wymagania technologiczne, które należy spełnić, by wykonane elementy działały poprawnie i zgodnie z oczekiwaniami.

Słowa kluczowe: obróbka skrawaniem, otwory cylindryczne, współosiowość

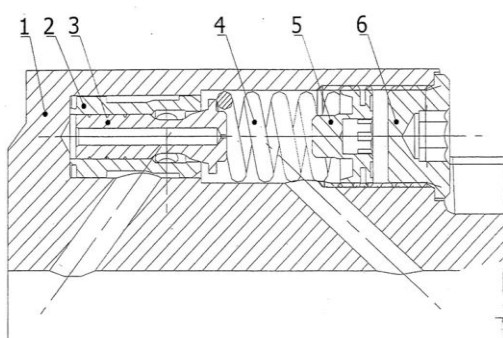
W wielu dziedzinach gospodarki, takich jak motoryzacja, górnictwo, budownictwo zastosowanie znalazły hydrauliczne układy napędowe oraz sterujące. Newralgiczną częścią tych napędów są cylindry z tłokiem, natomiast w układach sterujących są to różnego rodzaju zawory, w szczególności zawory bezpieczeństwa zapewniające odpowiednie ciśnienie czynnika. Poprawność działania takich zaworów ma wysoki priorytet i jest testowana na specjalnie do tego przeznaczonych stacjach prób pod ciśnieniem przekraczającym wartości robocze. Ma to na celu wyeliminowanie wszelkich przecieków, a także sprawdzenie po-

¹ Aleksander Streubel, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, ul. Sejmowa 5a, 59-220 Legnica

² Autor do korespondencji/corresponding author: Marek Kuran, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-371 Wrocław, tel.: (71) 3202728, fax: (71) 3280607, e-mail: marek.kuran@pwr.wroc.pl

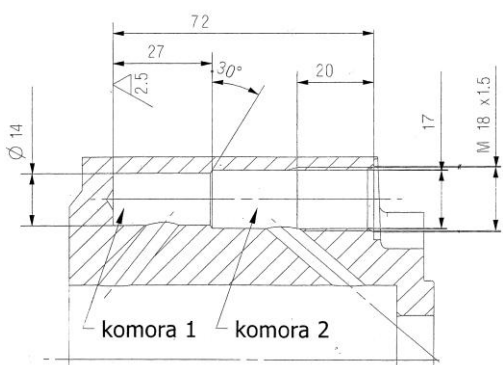
³ Rafał Subbotko, Gühring Polska, ul. Fabryczna 13, 58-100 Świdnica

prawności działania w warunkach ekstremalnych. Niepoprawne działanie takiego zaworu może doprowadzić do wypadku. Istotnym elementem układu sterowania jest zawór składający się z korpusu żeliwnego (rys. 1.), wykonanego z żeliwa sferoidalnego według EN-GJS-400-15, z osadzonym w nim cylindrem stalowym (2), w którym przesuwa się stalowy tłok (3). Tłok jest podparty sprężyną (4) ze specjalnym regulatorem (5). Wzajemne skojarzenie podczas montażu korpusu (1), cylindra (2) i tłoka (3) wymaga starannego wykonania wymienionych elementów, co wynika ze skojarzenia wymiarów tłoka i otworów (rys. 2.)



Rys. 1. Zawór i jego elementy składowe:
1 – korpus, 2 – cylinder, 3 – tłoczek,
4 – sprężyna, 5 – ustalacz, 6 – zaślepka

Fig. 1. Valve and its components: 1 – body, 2 – cylinder, 3 – piston, 4 – spring, 5 – retainer, 6 – end cap

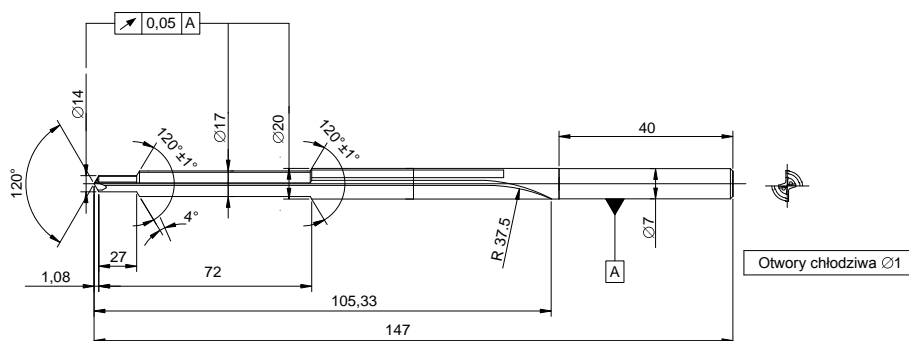


Rys. 2. Rysunek konstrukcyjny otworu

Fig. 2. Drawing of hole design

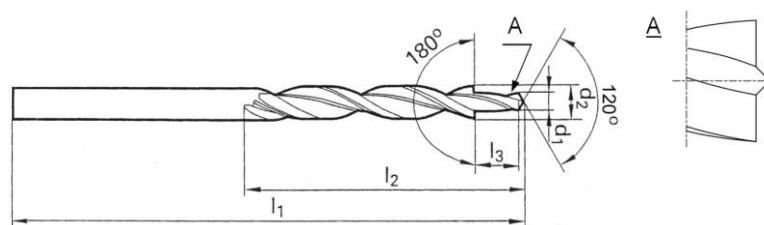
Proces technologiczny wykonania otworu w korpusie jest bardzo złożony, co wynika z wymagań eksploatacyjnych zaworu. Otwór w korpusie (komora 1., rys. 2.) o średnicy 14 mm musi posiadać dno prostopadłe do powierzchni cylindrowej, ponieważ od tego zależy poprawne osadzenie i szczelność cylindra stalowego (2, rys. 1.). Otwór końcowy (1) o średnicy 14 mm musi być również współosiowy z otworem komory (2) o średnicy 17 mm. Między tymi komorami znajdują się dwie powierzchnie kształtowe, stożkowe $0,5 \times 30^\circ$ (dla ułatwienia montażu cylindra (2)) oraz prostopadła do powierzchni cylindrycznej komory 1. Od poprawności wymiarowej oraz kształtowej wykonania otworu zależy poprawność osadzenia cylindra (2), a w efekcie poprawność działania całego zaworu. Dotychczas otwory takie wykonywano w kilku operacjach: od wiercenia

wiertłami o różnych średnicach, poprzez rozwiercanie i pogłębianie specjalnymi pogłębiaczami. Operacje te były czasochłonne i nie zapewniały wymaganej dokładności wymiarowej oraz chropowatości uzyskanych powierzchni otworów. Rozwój narzędzi pełnowęglkowych z kanałami doprowadzającymi chłodziwo do strefy skrawania znacznie przyspieszyło wykonanie otworów, również dzięki możliwości zwiększenia prędkości skrawania. Jedną z możliwości poprawienia jakości otworów była nowa konstrukcja stopniowych wiertel i pogłębiaczy, pozwalających na wykonanie kilku powierzchni jednym narzędziem (rys. 3. i 4.). Narzędzia zostały wykonane w całości z węgla spiekane K20 (według oznaczenia firmy Gühring: DK460UF). Istotnym problemem w wykonaniu tego typu narzędzi jest zmiana średnicy w określonej odległości od wierzchołka oraz kątów wierzchołkowych dla każdej średnicy (rys. 3. i 4.). Znaczącą rolę w procesie wykonywania otworu odgrywają dwa kanały w narzędziu o średnicy $\varnothing 1$ mm, służące do doprowadzania chłodziwa do strefy skrawania. Pozwala to nie tylko chłodzić i smarować pracujące wiertło, ale również wspomaga proces wyprowadzania wiórów na zewnątrz wykonywanego otworu. Jest oczywiste, że takie narzędzia muszą pracować na obrabiarce wyposażonej w system umożliwiający podawanie chłodziwa przez narzędzie oraz z systemem nadzorowania procesu skrawania. Osobnym zagadnieniem jest wykonanie cylindra (2, rys. 5.).



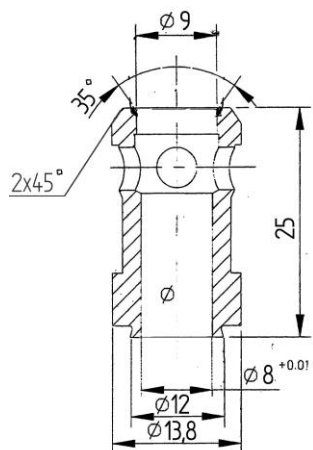
Rys. 3 Wiertło trzystopniowe $d = 14/17/20$ mm wykonane przez firmę Gühring

Fig. 3. Three-step drill $d = 14/17/20$ mm by Gühring



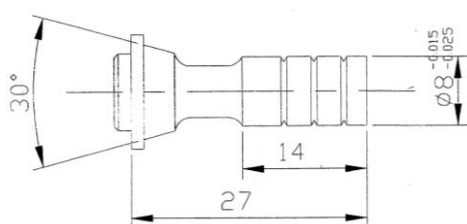
Rys. 4. Pogłębiacz

Fig. 4. Countersink



Rys. 5. Rysunek konstrukcyjny cylindra

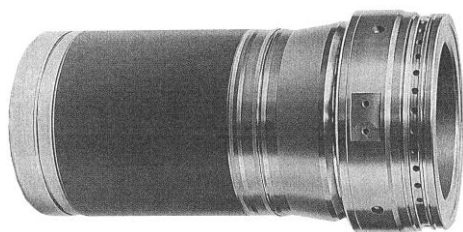
Fig. 5. Drawing of cylinder design



Rys. 6. Rysunek konstrukcyjny tłoczka do zaworu

Fig. 6. Drawing of valve's piston design

Problemem jest uzyskanie odpowiedniej współosiowości otworu $\varnothing 8$ mm, w którym pracuje tłoczek (rys. 6.), ze stożkiem wewnętrznym o kącie wierzchołkowym 35° oraz fazą $2 \times 45^\circ$ na średnicy zewnętrznej. Stożek wewnętrzny współpracuje ze stożkiem na tłoczku. Faza $2 \times 45^\circ$ jest konieczna do prawidłowego zagniecenia po montażu korpusu cylindra, co wykonuje się specjalnym narzędziem. Zagniecenie to eliminuje niekontrolowane przecieki pomiędzy komorami 1. i 2. Po upewnieniu się, że tłok płynnie porusza się w cylindrze przystępuje się do montażu sprężyny (4), ustalacza (5) i korka (6).



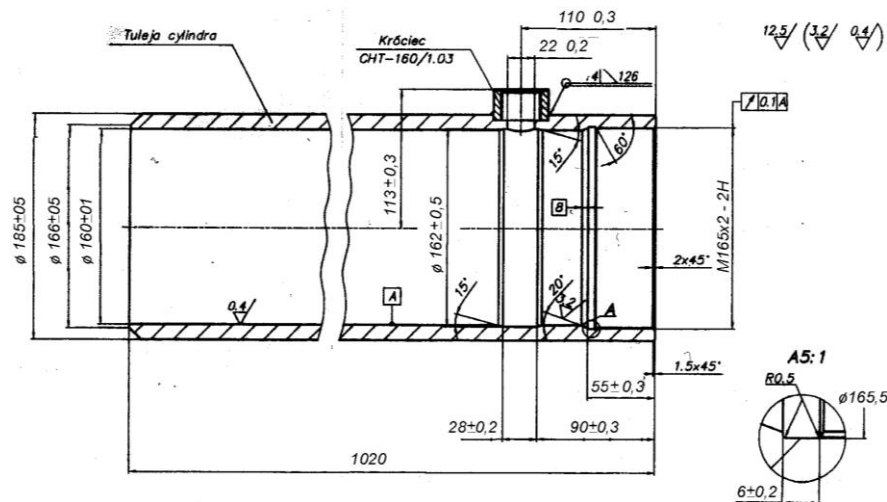
Rys. 7. Przykład tulei wielkogabarytowej silnika

Fig. 7. Example of large dimension engine's cylinder

W wielu dziedzinach gospodarki (motoryzacja, chemia, górnictwo) zastosowanie znajdują cylindry o średnicy do 600 mm i długościach przekraczających

10 średnic. Ze względu na wymagania jakościowe wykonanie takiego cylindra sprowadzało się do stosowania specjalnej technologii. Klasycznym przykładem takiego elementu jest wielkogabarytowa tuleja silnika spalinowego (rys. 7.).

W motoryzacji tuleje wielkogabarytowe mają średnice 250÷600 mm i długość 2÷3 średnic. Tuleje wykonuje się z żeliwa o specjalnych właściwościach mechanicznych: wytrzymałości na rozciąganie ~350 MPa i twardości ~300 HB. Muszą one mieć także specjalną strukturę metalograficzną, zapewniającą odporność na ścieranie. Metody wykonywania takich tulei oraz warunki ich technicznego odbioru są omówione w dostępnej literaturze [1]. W publikacjach tych są omówione również metody montażu tłoków z pierścieniami cylindrowymi. W budownictwie i górnictwie powszechnie stosuje się cylindry hydrauliki siłowej (np. rdzenniki). Klasyczną tuleją cylindrową hydrauliki siłowej pokazano na rys. 8.

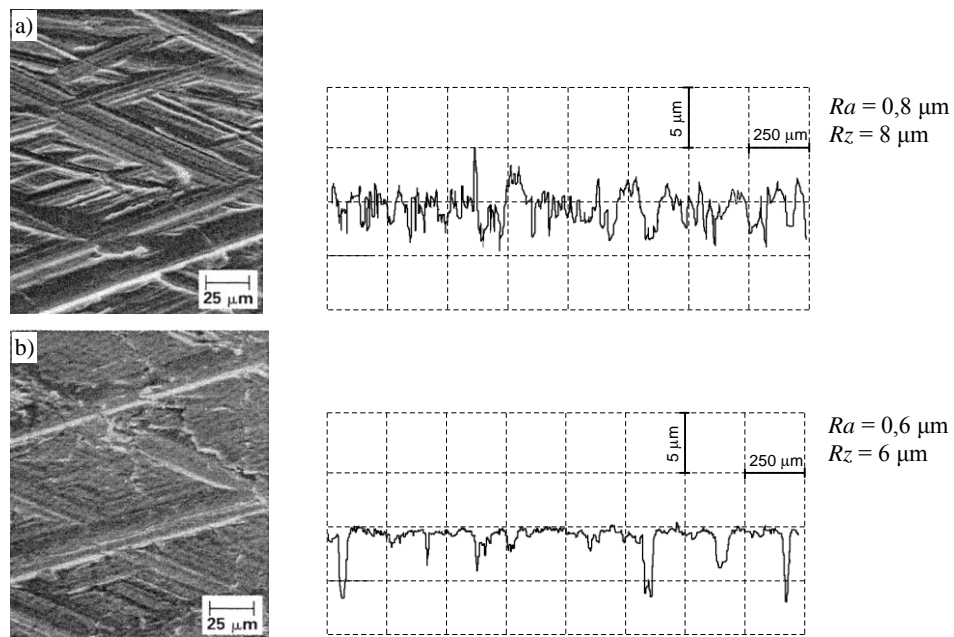


Rys. 8. Tuleja cylindrowa hydrauliki siłowej

Fig. 8. Cylinder of hydraulics actuator

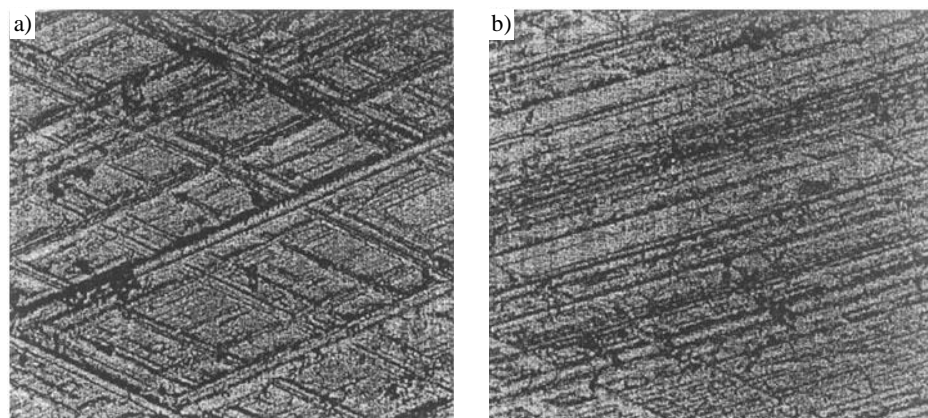
Trudnością technologiczną w tym przypadku jest uzyskanie wymaganych kształtów wewnątrz cylindra, jak np. cylindryczna powierzchnia z fazkami pod kątem 15° na głębokości 55 i 90 mm decydujących o równomiernym rozprzężeniu oleju w cylindrze, dostarczanego przez króciec oraz cylindryczne kształtowe wybranie z fazą na zakończeniu gwintu na głębokości 55 mm. Osobnym zagadnieniem jest uzyskanie odpowiedniej struktury geometrycznej powierzchni otworu, która może być płaskowierzchołkowa lub ostra (rys. 9.), o chropowatości powierzchni $R_z < 15 \mu\text{m}$, walcowości, kołowości i liniowości poniżej $4 \mu\text{m}$ (otwór wytoczony na specjalnym stanowisku musi być dodatkowo honowany). Kąt honowania, czyli przecinania się rys honowniczych, powinien zawierać się w przedziale $\pm 30^\circ$. Na rysunku 10a przedstawiono poprawnie wykończoną, a na

rys. 10b niepoprawnie wykończoną powierzchnię otworu. Poprawnie wykonany otwór dodatkowo obrabia się chemicznie dla uzyskania większej trwałości współpracującej ze sobą pary tłok-cylinder.



Rys. 9. Parametry honowania na ostro (a), parametry honowania na Plateau (b)

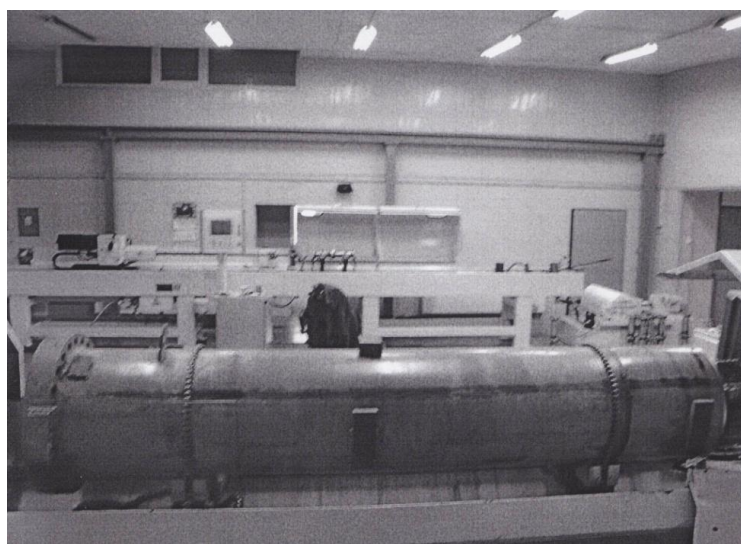
Fig. 9. Sharp honing parameters (a), plateau honing parameters (b)



Rys. 10. Przykład prawidłowego, obukierunkowego (a) oraz nieprawidłowego, jednostronnego (b) nacięcia rys holowniczych

Fig. 10. Example of (a) the proper, two-directional and (b) improper, one-directional honing scratches

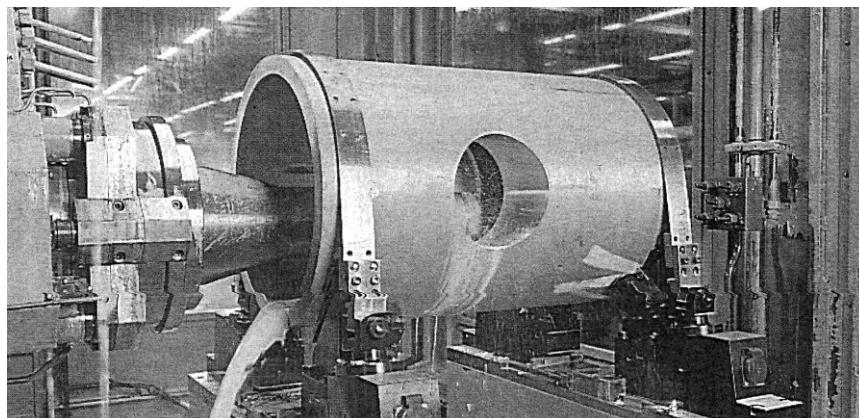
W przemyśle chemicznym występują dwa rodzaje cylindrów: współpracujące z tłokami lub ślimakami i przeznaczone do prowadzenia reakcji chemicznych. Drugi rodzaj cylindrów ma zazwyczaj średnicę rzędu 300÷500 mm i długość dochodzącą do kilku metrów (rys. 11.). Wykonanie takich tulei jest niezwykle skomplikowane ze względu na gabaryty obrabianego elementu (ciężar) i materiał, z którego są wykonane (stale stopowe lub staliwa stopowe). Szczególną trudność stanowi wytoczenie otworu i tzw. zamka na czole cylindra. Operację taką prowadzi się na specjalnie wyposażonych tokarkach typu TR lub obrabiarkach do obróbki długich otworów TBT (*TiefBohrTechnik*). Cechą charakterystyczną tych obrabiarek jest to, że narzędzie wykonuje ruch obrotowy, a przedmiot z otworem lub tuleją są bazowane i mocowane w specjalnym uchwycie (rys. 12.).



Rys. 11. Wytaczanie tulei stosowanej w przemyśle chemicznym

Fig. 11. Boring of cylinder used in chemical industry

Jest oczywiste, że proces wytaczania jest prowadzony w kilku przejściach. Szczególnie ważne jest końcowe przejście kształtujące, które musi zapewnić spełnienie w ostatniej operacji honowania stawianych otworowi wymagań. Wytoczony otwór musi mieć kształt geometryczny w dopuszczalnej tolerancji, minimalne i równomierne utwardzenie warstwy wierzchniej, właściwą strukturę warstwy wierzchniej. Na kształt geometryczny – dokładność otworu ma wpływ kilka czynników towarzyszących procesowi skrawania. Intensywność ich oddziaływania zależy od gabarytów otworu. Największy problem stanowi trwałość narzędzia, które z przedmiotem styka się na drodze dochodzącej nawet do kilku kilometrów. W efekcie styku ma miejsce starcie promienia wierzchołka ostrza,



Rys. 12. Wytaczanie tulei wielkogabarytowej

Fig. 12. Boring of large dimension cylinder

co z kolei wpływa na wzrost oporów skrawania i temperaturę procesu, utwardzanie warstwy wierzchniej oraz zmianę średnicy otworu. Wymiana ostrza noża według własnych doświadczeń autorów nie może mieć miejsca. Duże utrudnienie stanowią opory skrawania towarzyszące procesowi, mimo że dzięki doborowi optymalnych dla danego materiału parametrów skrawania i stereometrii ostrza mają minimalną wartość rzędu $F_z \sim 500$ N i $F_y \sim 300$ N. Mając na uwadze ich umiejscowienie względem osi otworu mogą one mieć wpływ na efekt obróbki. Kolejny problem to uzyskanie stałego utwardzenia warstwy wierzchniej otworu, co jest szczególnie ważne w wytwarzaniu otworów w stalach ferrytycznych i austenitycznych. Według badań autorów utwardzenie warstwy wierzchniej może wzrosnąć nawet do 50%, a głębokość zmian w niektórych materiałach – do 0,5 mm. Wielkościami tymi można w pewnym zakresie sterować przez zmianę promienia i kąta natarcia noża oraz zmiany parametrów skrawania. Czynności te mają jednak wpływ na trwałość ostrza; możliwości zmian są więc ograniczone.

Obróbka wykończająca otworu najczęściej sprowadza się do jego honowania lub docierania [2]. Honowanie nie może uszkodzić powierzchni czół wykonanych podczas wytaczania oraz musi zapewnić zachowanie prostopadłości powierzchni otworu i czół. Do obróbki tulei cylindrowych małych średnic stosuje się honownice dawnej firmy WMW (NRD) oraz nowszej konstrukcji firm Kadia, Sunnen, Nagel. Te nowoczesne obrabiarki mają możliwość honowania głowicami dwustopniowymi z pomiarem aktywnym, z możliwością programowania wielkości nacisków jednostkowych oślejki na powierzchnię, zmiany kierunku obrotu wrzeciona, automatycznego dostosowania punktów nawrotu głowicy honowniczej celem poprawienia istniejących błędów kształtu otworu. Tuleje wielkogabarytowe honuje się najczęściej na obrabiarkach firmy Gehring

i Sunnen pracujących w układzie poziomym. Przykład honowania tulei wielkogabarytowej przedstawia rys. 13.



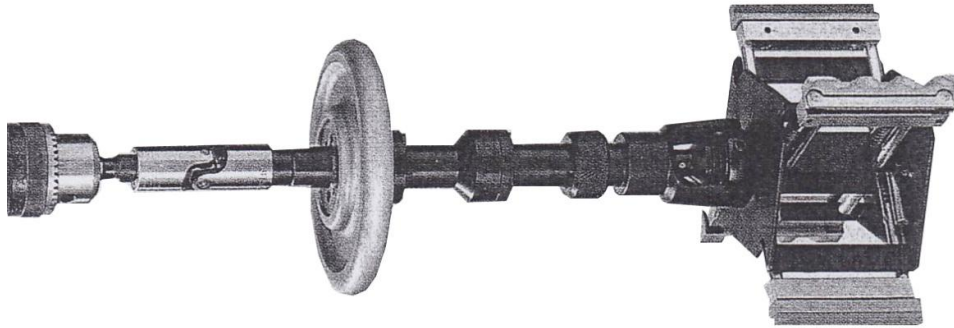
Rys. 13. Honowanie tulei wielkogabarytowej

Fig. 13. Honing of large dimension cylinder

Do honowania tulei cylindrowych używa się narzędzi: osełek z nasypem diamentowym, borazonowym, osełek ceramicznych, a do docierania – docieraków żeliwnych i luźnego ścierniwa [3-5]. Osełki diamentowe są stosowane niemal wyłącznie w operacji honowania wstępnego, mającej na celu przygotowanie otworu pod honowanie końcowe. Najczęściej do tej operacji używa się osełek diamentowych o ziarnistości D-356 o spoiwie brązowym i koncentracji 75%.

Wykonanie honowania płaskowierzchołkowego Plateau wymaga stosowania osełek ceramicznych o różnych ziarnistościach: gruboziarnistych do nacinania głębokich rys podstawowych i drobnoziarnistych do ścięcia wierzchołków nierówności, z pozostawieniem rys wgłębnych. Do nacinania rys podstawowych są stosowane narzędzia o ziarnistości od 100 do 150 (najczęściej 120), miękkim spoiwie, otwartej, porowatej strukturze, nasączone siarką, oraz drobnoziarnistych do ścięcia wierzchołków o ziarnistości od 320 do 500, wyjątkowo do 1000. Bardzo istotne w honowaniu długich otworów jest właściwe połączenie głowicy z wrzecionem obrabiarki. Do tego celu służą specjalne żerdzie z przegubami na obu końcach (rys. 14.) oraz urządzeniem do regulacji nacisków osełek na obrabianą powierzchnię (rys. 15.).

Ze względu na charakter pracy, zmienne cykliczne obciążenie wzdłużne, jak i znaczny moment skręcający, żerdzie mają specjalną konstrukcję. Żerdź jest wykonana z cienkościennej rury stalowej lub grubościennej rury ze stopów aluminium. Każda obrabiarka jest wyposażona w typoszereg żerdzi i instrukcję ich stosowania. Wadliwy dobór powoduje pogorszenie jakości obrabianej powierzchni i może spowodować uszkodzenie głowicy. Istotnym zagadnieniem jest temperatura procesu skrawania. Z badań prowadzonych przez autorów w firmie JURGAŁ wynika, że wzrost temperatury przedmiotu o kilkanaście stopni utrudnia uzyskanie wymaganej dokładności.



Rys. 14. Żerdź do mocowania głowicy

Fig. 14. Perch for head mount



Rys. 15. Żerdź z przegubami do mocowania głowicy honowniczej na wrzecionie obrabiarki

Fig. 15. Perch with cardings for head mount on the tool machine

Płyny chłodząco-smarujące mają za zadanie wypłukiwanie startych cząstek materiału obrabianego, wykruszonych i zużytych ziaren ściernych z ośki, smarowanie podczas procesu oraz bardzo często intensywne chłodzenie honowanego przedmiotu. Obecnie każdy producent obrabiarek do honowania preferuje oleje lub inne płyny od określonego producenta, które bardzo często różnią się tylko ceną. Podstawowy olej honowniczy ma lepkość rzędu $6,4 \text{ mm}^2/\text{s}$ przy 20°C oraz gęstość $0,82 \text{ g/cm}^3$ przy 15°C . Ilość podawanego płynu zależy od kilku czynników, tj. gatunku honowanego materiału, narzędzia, kinematyki honowania, wielkości przedmiotu. Zalecana przez producentów ilość to około $80\div 100 \text{ l/min}$ przy ciśnieniu $0,15 \text{ MPa}$. Dla poziomego układu honowania wartości te muszą być często wyższe. W przypadku elementów dla chemii (materiały kwasoodporne), ze względu na silne nagrzewanie się przedmiotu w procesie obróbki, wydajności chłodzenia muszą być kilkakrotnie wyższe. Osobne zagadnienie stanowi filtracja płynu chłodząco-smarującego. W starszych rozwiązaniach maszyn stosowano głównie magnetyczne separatory. Obecnie obrabiarka

jest wyposażona w specjalny agregat stabilizujący temperaturę, jak i filtrujący płyn.

Podsumowanie

Zawór, pomimo prostej budowy, nastęcza problemów podczas jego wykonywania oraz montażu. Pozornie błahe powierzchnie, jak np. prostopadłe do osi otworu dno czy fazy, decydują de facto o szczelności połączeń, a więc o poprawności pracy gotowego wyrobu. Osadzenie stalowego cylindra w żeliwnym korpusie i uszczelnienie go przez dogniecenie stanowi interesujące rozwiązanie tego zagadnienia. W procesie wytwarzania zaworu konieczne jest zastosowanie nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych narzędzi, co pozwala na organicznie liczby braków. Tuleje cylindrowe hydrauliki siłowej należą do produktów wymagających specyficznego procesu technologicznego. Należy zapewnić dobrą współpracę pomiędzy tłokiem i cylindrem, trwałość, a jednocześnie umożliwić poprawny i łatwy montaż współpracujących części. Istotną rolę odgrywa stożek przejściowy pomiędzy częścią roboczą (cylindryczną) a częścią gwintowaną, który musi być współosiowy. Jego zadanie to ułatwienie montażu tłoka w cylindrze. Elementy wykonywane dla przemysłu chemicznego mają do spełnienia różne zadania. Wymaga to stosowania każdorazowo indywidualnych metod obróbki, często odbiegających od powszechnie stosowanych. Jednak nie każdy zakład produkcyjny jest w stanie je spełnić.

Literatura

1. Kleparski B.: Honowanie żeliwnych tulei cylindrowych Mahle Krotoszyn. Referat przygotowany na 66 posiedzenie Sekcji Podstaw Technologii PAN Krotoszyn 2001. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001.
2. Streubel A., Kuran M., Uchman M.: Wykonanie i regeneracja otworu w cylindrze hydrauliki siłowej. Obróbka skrawaniem, t. 2. Innowacje, J. Stós (red.). Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków 2008.
3. Sunnen. Materiały informacyjne firmy.
4. Gehring. Materiały informacyjne firmy.
5. Streubel A., Kuran M., Uchman M.: Kształtowanie powierzchni wewnętrznej w wielkogabarytowych tulejach. Wydawnictwo Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz 2009.

MACHINING OF CYLINDRICAL HOLES TECHNOLOGICAL PROBLEMS IN DEPENDENCE OF THEIR APPLICATION

Abstract

The paper discusses the problems of the preparation of cylindrical holes for montage in objects used in control systems, hydraulics and intended to chemical reactions. Sometimes producing the simple part presents difficulties in the manufacturing and assembling. Seemingly trivial

surfaces as bottom perpendicular to the axis of the hole or chamfers decide de facto about leak-tightness of connections and therefore about the correct operation of the final product. Hydraulic components are products that require a specific manufacturing process. For example, in the manufacture of the valve it is necessary to use the modern design solutions of tools, which allow to limit the number of faulty products. Parts manufactured for the chemical industry have to fulfill different tasks. This requires the application of individual treatment methods each time, often different from those commonly used, and not every production plant is able to fulfill them. The aim of this paper is to draw attention to the technological requirements that must be fulfilled in order to manufactured elements operate correctly and as expected.

Keywords: machining, cylindrical holes, coaxiality

DOI: 10.7862/rm.2013.7

Otrzymano/received: 25.02.2013

Zaakceptowano/accepted: 22.04.2013

Andrzej ZBROWSKI¹
Krzysztof JANKOWSKI²

TEST ROZTŁACZANIA W KONTROLI JAKOŚCI TULEI POLIMEROWYCH

W pracy zaprezentowano zastosowanie w procesie kontroli jakości wyrobów gotowych metody roztłaczania tulei polimerowych wykonywanych z nylonu. Przedstawiono problemy związane z technologią montażu tulei, na podstawie których są określane wymagania jakościowe w zakresie parametrów wymiarowych i wytrzymałościowych. Podkreślono fakt, że podstawowym problemem technologicznym występującym podczas wtłaczania polimerowej tulei w metalową obudowę jest pękanie polimeru spowodowane oddziaływaniem siłowych obciążeń technologicznych. Sformułowano podstawowe wymagania dotyczące reprezentatywnego testu kontrolnego odtwarzającego wymuszenia zbliżone do warunków rzeczywistych. Badania tulei przeprowadzono metodą roztłaczania, polegającą na statycznym wciskaniu w badany element zgłębnika w postaci stalowego stożka o kącie 30°. Proces badań prowadzono, aż do zniszczenia każdej badanej tulei. Zastosowanie prezentowanej metody przedstawiono na przykładzie dwóch typów tulei polimerowych formowanych w technologii wtrysku ciśnieniowego z tworzywa Zytel 79G13. Badane tuleje stanowią komponent składowy łącznika elastycznego stosowanego w budowie układów zawieszenia samochodów osobowych. Pierwszym rodzajem były tuleje kołnierzone z kształtowym pogrubieniem kołnierza występującym na fragmencie obwodu, drugim zaś tuleje kołnierzone z kołnierzem osłabionym poprzez wybranie pełniące rolę gniazda ustawczego. Zarejestrowane charakterystyki obciążenia badanych próbek cechują się stabilnością wyników określających siłę niszczącą, przemieszczenie niszczące i sztywność statyczną badanego układu. Charakter wywołanego uszkodzenia jest bardzo podobny do uszkodzeń powstających w rzeczywistych warunkach wymuszeń siłowych. Zarejestrowane charakterystyki obciążania wykazują jednak znaczną różnicę w przebiegu procesu dla obu grup badawczych, spowodowaną odmienną w obu badanych przypadkach sztywnością statyczną układu badawczego. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań sformułowano stwierdzenie, że metodę można stosować w bieżącej kontroli jakości gotowych wyrobów występujących w postaci tulei, otrzymywanych z nylonu w technologii wtrysku ciśnieniowego.

Słowa kluczowe: nylon, technologia montażu, pękanie, stożek roztłaczający

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Andrzej Zbrowski, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, tel.: (48) 3644118, fax: (48) 3644760, e-mail: andrzej.zbrowski@itee.radom.pl

² Krzysztof Jankowski, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom

1. Wprowadzenie

Tuleje polimerowe wykonane z nylonu, ze względu na bardzo dobre właściwości ślizgowe i tłumiące, są często wykorzystywane jako panewki łożyskowe lub komponenty łączników elastycznych stosowanych w układach kierowniczych i układach zawieszenia samochodów [1, 2]. Montaż tulei jest realizowany poprzez wciskanie łącznika w piastę stanowiącą element korpusu. Ze względu na wymaganą dużą precyzję wymiarową zespolenia otrzymanego po wciśnięciu tuleje muszą charakteryzować się powtarzalnymi i stabilnymi w czasie wymiarami, które zapewnią możliwość uzyskaniażądanego pasowania po siłowym osadzeniu w obudowie. Niezwykle istotna jest także wytrzymałość mechaniczna tulei, niezbędna do prawidłowego montażu w korpusie. Pasowania pomiędzy tuleją a piastą, ze względu na występowanie znacznych obciążeń użytkowych, charakteryzują się dużą wartością wcisku montażowego. Podczas procesu wciskania na tuleję oddziałują obciążenia, które w przypadku małej wytrzymałości polimeru mogą prowadzić do niedopuszczalnych deformacji lub mechanicznego uszkodzenia osadzanego elementu.

Zastosowanie nylonu jako materiału konstrukcyjnego, oprócz niewątpliwych zalet użytkowych, wywołuje jednak szereg problemów technologicznych. Nylon charakteryzuje się zdecydowanie większą higroskopijnością niż inne tworzywa sztuczne [3-5]. W przypadku nylonu zawartość wilgoci zarówno w materiale surowca, jak i gotowym wyrobie skutkuje znacznym pogorszeniem właściwości mechanicznych oraz zwiększeniem wymiarów gabarytowych. Dla nylonu wzmacnianego włóknem szklanym dodatkowym utrudnieniem jest możliwość znacznego pogorszenia właściwości wyrobu, w zależności od udziału materiału wtórnego w całej masie tworzywa doprowadzonego do wtryskarki. Przyczyną tego zjawiska jest przede wszystkim pękanie włókien podczas mielenia tworzywa wtórnego [6]. Wymienione czynniki w znacznym stopniu mogą powodować utrudnienia w montażu tulejek nylonowych, spowodowane utratą wymaganej wytrzymałości lub niekontrolowanym zwiększeniem wymiarów. Ze względu na przekroczenie dopuszczalnych naprężeń elementy takie ulegają uszkodzeniu w procesie montażu, znacznie zakłócając proces produkcji (rys. 1.). Innym negatywnym skutkiem nieprzebrzegania wymagań technologicznych w produkcji tulei nylonowych jest duże prawdopodobieństwo otrzymania wyrobu wadliwego wykonanego poza dopuszczalnym polem tolerancji. Tuleje ponadwymiarowe osadzone wciskowo w piastę charakteryzują się zbyt ciasnym pasowaniem otworu wewnętrznego, co jakościowo wyklucza otrzymane zespolenie i klasyfikuje gotowy produkt jako brak.

Przebrzeganie wymagań technologicznych w produkcji elementów wykonywanych z nylonu za pomocą technologii wtrysku ciśnieniowego jest działaniem podstawowym i obligatoryjnym [7-9]. W systemie zarządzania jakością istnieje jednak bezwzględna konieczność prowadzenia bieżącej kontroli produktów. Głównym zadaniem kontroli jest zapewnienie szybkiego sprzężenia zwrot-



Rys. 1. Tuleja uszkodzona podczas montażu

Fig. 1. The bushing damaged during assembly

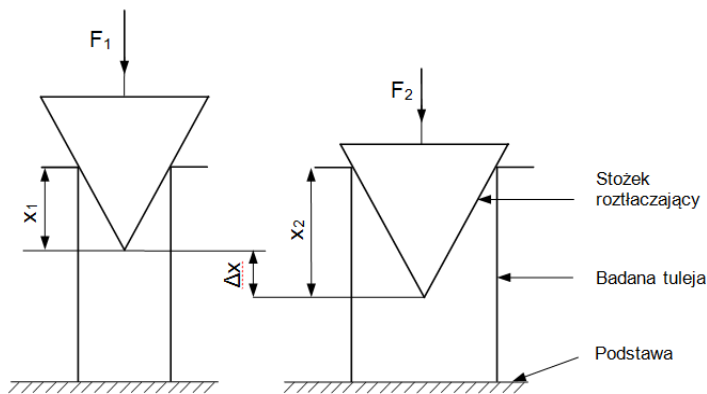
nego w procesie wytwarzania elementów formowanych ciśnieniowo oraz zapobieganie uwolnieniu partii wyrobów o parametrach niezgodnych z wymaganiami konstrukcyjnymi. Najtrudniejszym etapem w procesie wytwarzania tulei jest prawidłowa ocena wyrobu gotowego. Pomiar wilgotności tworzywa oraz kontrola metrologiczna nie dostarczają wszystkich niezbędnych informacji do przeprowadzenia wiarygodnej końcowej oceny jakościowej. Konieczne jest zatem przeprowadzanie prób wytrzymałościowych, których wyniki zapewnią ostateczną weryfikację produktu. Podstawowym zadaniem kontrolnego testu wytrzymałościowego przeprowadzanego na wyrobie gotowym jest odzwierciedlenie wymuszeń w sposób zbliżony do rzeczywistych warunków użytkowania. W przypadku tulei nylonowych procesem określającym wymaganą ich wytrzymałość jest operacja wciskania w piastę łącznika elastycznego.

2. Metoda badań

Metodą badań wytrzymałościowych odzwierciedlających warunki zbliżone do rzeczywistych warunków obciążania jest rozłaczanie tulei polimerowej. Metoda badawcza polega na statycznym zagłębieniu stalowego stożka w otworze tulei, aż do wywołania mechanicznego uszkodzenia badanego obiektu. W czasie testu jest rejestrowana wartość siły wzdłużnej oddziałującej na stożek oraz przemieszczenie stożka (rys. 2.). W celu skasowania luzów rejestracja parametrów rozpoczyna się po osiągnięciu wymaganej wartości obciążenia wstępnego. W przyjętej metodzie badawczej oddziaływanie stożka rozłaczającego na czoło tulei jest podobne do oddziaływania narzędzia montażowego wykorzystywanego w operacji wtlaczania tulei w gniazdo osadcze.

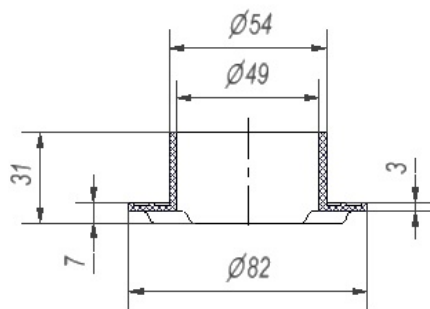
Badania przeprowadzono dla dwóch rodzajów tulei wykonanych z tworzywa Zytel 79G13 firmy DuPont. Zytel 79G13 to tworzywo konstrukcyjne z grupy poliamidów (nylon) wzmocnione 13% dodatkiem włókien szklanych [10]. Tuleje są formowane w technologii wtrysku ciśnieniowego. Tuleje posiadają kołnierz oporowy, który konstrukcyjnie pełni rolę elementu osadczego. Ponadto spełnia on także funkcję technologiczną, ponieważ dzięki zwiększeniu pola przekroju poprzecznego tuleja może przenosić większe obciążenia montażowe

pochodzące od narzędzia oddziałującego bezpośrednio na kołnierz. W przeprowadzonych testach pierwszym rodzajem obiektu badań były tuleje kołnierzowe z kształtowym pogrubieniem kołnierza występującym na fragmencie obwodu (rys. 3.). Wysokość pogrubienia wynosi 4 mm. Drugim rodzajem obiektu badań były tuleje kołnierzowe z kołnierzem osłabionym poprzez wybranie pełniące rolę gniazda ustawczego (rys. 4.). Promień kołowego wybrania wynosi 3 mm i całkowicie przerywa zarys kołnierza. Obie tuleje wykonano z nowego granulatu o wilgotności 10%. W celu wyeliminowania skutków higroskopijności nylonu tuleje przechowywano w hermetycznym opakowaniu chroniącym przed oddziaływaniem wilgoci z powietrza atmosferycznego.



Rys. 2. Schemat metody badań

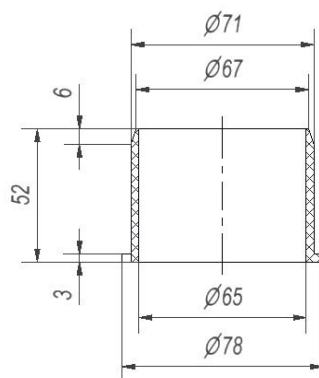
Fig. 2. The scheme of the research method



Rys. 3. Tuleja z kołnierzem pogrubionym

Fig. 3. The thickened head-type bushing

W badaniach zastosowano maszynę wytrzymałościową Instron 5582 wyposażoną w oprogramowanie Bluehill przeznaczone do realizacji testów statycznych. W maszynie wykorzystano przetwornik siły o zakresie pomiarowym 100 kN i dokładności pomiarowej wynoszącej 0,5% wartości mierzonej siły. Stożek rozciągający przymocowano do uchwyty przegubowego stanowiącego element belki ruchomej, podstawę zaś do belki nieruchomej (rys. 5.). Badania przeprowadzono za pomocą stożka rozciągającego (rys. 6.) wykonanego z hartowanej stali, posiadającego szlifowaną boczną powierzchnię roboczą. Kąt zbieżności stożka wynosił 30° (rys. 6.). Chwyty stożka dopasowano do standardowego mocowania znajdującego się na ruchomej belce maszyny Instron 5582.



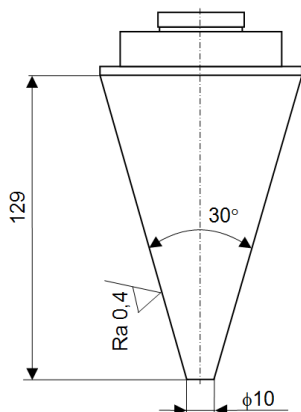
Rys. 4. Tuleja z kołnierzem osłabionym

Fig. 4. The weakened head-type bushing



Rys. 5. Stanowisko badawcze

Fig. 5. The test stand



Rys. 6. Stożek rozłaczający

Fig. 6. The expanding cone

3. Wyniki badań

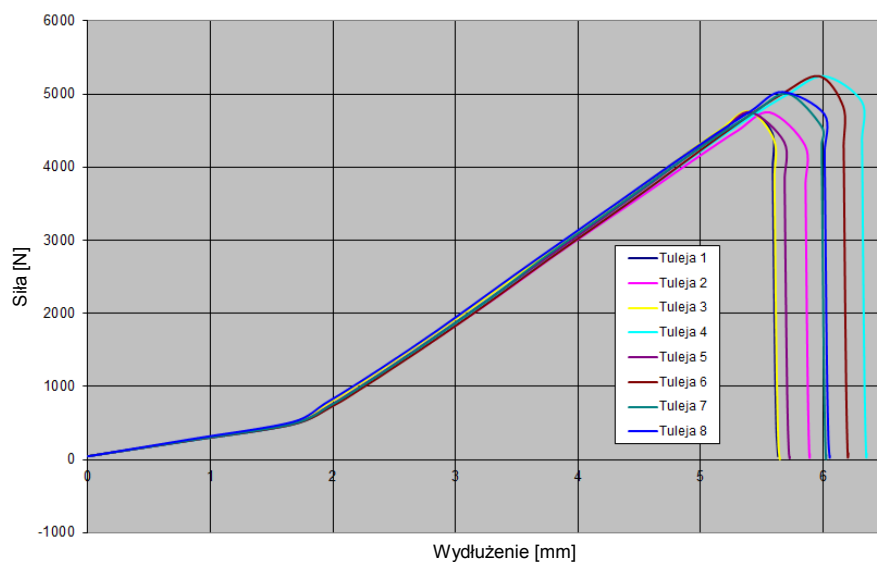
Badania przeprowadzono na grupie reprezentowanej przez osiem tulei każdego typu. Obciążanie próbek realizowano z prędkością 50 mm/min. Wstępne obciążenie wywoływane w celu skasowania luzów wynosiło 100 N. Badania prowadzono do zniszczenia każdej badanej tulei. Charakter uszkodzenia tulei z kołnierzem pogrubionym był zawsze ten sam dla każdego reprezentanta w odpowiedniej grupie badawczej. W każdej tulei wystąpiło jednakowe pęknięcie inicjowane w miejscu zmiany przekroju kołnierza. Dalsza propagacja pęknięcia przebiegała dwukierunkowo w taki sposób, że w jej wyniku w ścianie tulei powstawał trójkątny ubytek o wierzchołu znajdującym się na wysokości kołnierza (rys. 7.). Krzywe obciążenia [11] zarejestrowano dla zestawu ośmiu próbek z kołnierzem pogrubionym (rys. 8.).



Rys. 7. Pęknięcie tulei z kołnierzem pogrubionym

Fig. 7. The crack of thickened head-type bushing

W przypadku tulei z kołnierzem osłabionym charakter uszkodzenia był również taki sam dla wszystkich reprezentantów w rozpatrywanej grupie badawczej. W każdej tulei wystąpiło jednakowe pęknięcie inicjowane w miejscu największego osłabienia przekroju kołnierza. Dalsza propagacja pęknięcia przebiegała dwukierunkowo, a w jej wyniku w ścianie tulei powstawał trójkątny



Rys. 8. Wykres obciążenia tulei z kołnierzem pogrubionym

Fig. 8. The load chart for the thickened head-type bushing

ubytek o wierzchołku znajdującym się na wysokości kołnierza (rys. 9.). Krzywe obciążenia zarejestrowano dla zestawu ośmiu próbek z kołnierzem osłabionym (rys. 10.).

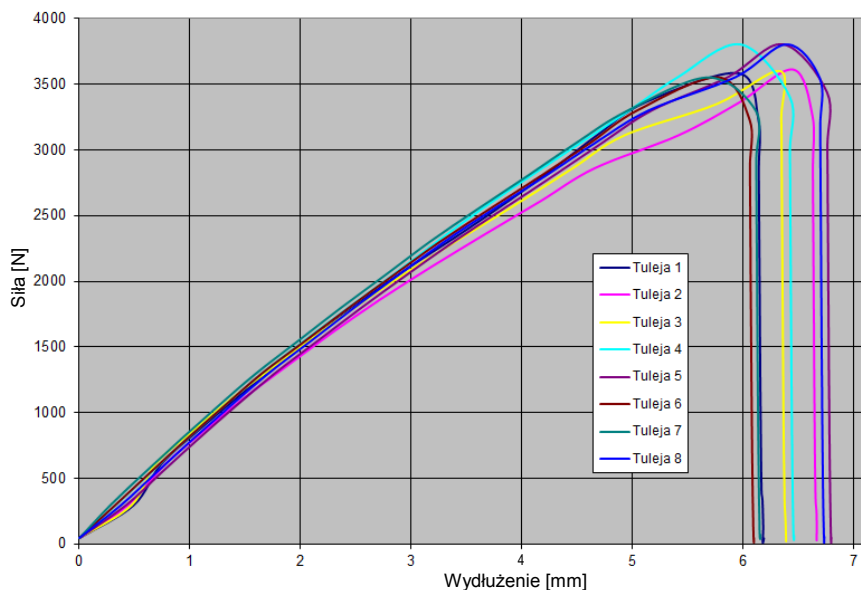
Rys. 9. Pęknięcie tulei z kołnierzem osłabionym

Fig. 9. The crack of weakened head-type bushing



Zarejestrowane charakterystyki obciążenia badanych próbek cechują się stabilnością wyników określających siłę niszczącą, przemieszczenie niszczące i sztywność statyczną badanego układu. Każda z próbek ma jednak swoją indywidualną charakterystykę różniącą się od innych reprezentantów grupy badawczej. Charakter wywołanego uszkodzenia jest bardzo podobny do uszkodzeń powstających w rzeczywistych warunkach wymuszeń siłowych. Tuleje pękają w miejscach najbardziej podatnych na wystąpienie uszkodzenia. W przypadku tulei z kołnierzem pogrubionym jest to miejsce gwałtownej zmiany przekroju znajdujące się na granicy pogrubienia, w przypadku zaś tulei z kołnierzem osła-

bionym jest to miejsce o najmniejszym polu powierzchni przekroju poprzecznego związane z położeniem gniazda ustawczego. Zarejestrowane charakterystyki obciążania wykazują jednak znaczną różnicę w przebiegu procesu dla obu grup badawczych.



Rys. 10. Wykres obciążenia tulei z kołnierzem osłabionym

Fig. 10. The load chart for the weakened head-type bushing

W przypadku tulei z kołnierzem osłabionym przebieg charakterystyki obciążenia ma charakter jednostajny – zbliżony do liniowego. Dla tulei z kołnierzem pogrubionym charakterystyka ma zdecydowanie charakter nieliniowy. Występują na niej dwa przedziały zmienności gradientu zarejestrowanej funkcji. W pierwszym przedziale sztywność statyczna badanego układu jest wyraźnie mniejsza. Dopiero po przekroczeniu określonej wartości przemieszczenia następuje umocnienie charakteryzujące się znacznym przyrostem sztywności statycznej. Efekt ten jest spowodowany oddziaływaniem pogrubienia znajdującego się na kołnierzu. W pierwszej fazie badań stożek penetracyjny oddziałuje jedynie na pogrubienie, co jest zarejestrowane w postaci przedziału o małej sztywności. W kolejnym etapie zostaje nawiązany kontakt z pełnym obwodem pierścienia, co dokumentuje pojawienie się przedziału o znacznie większej sztywności.

4. Wnioski

Zaprezentowana metoda badań charakteryzuje się właściwą odtwarzalnością rzeczywistych warunków wymuszeń mechanicznych pojawiających się

w procesie montażu analizowanych tulei. Zarejestrowane przebiegi mają stabilny charakter i umożliwiają prowadzenie analizy statystycznej wykonywanej na potrzeby kontroli jakości wytwarzanych elementów. Czulość metody jest na tyle duża, że pozwala na precyzyjne wnioskowanie o rodzaju badanej tulei na podstawie zarejestrowanej charakterystyki obciążenia. Opierając się na wynikach przeprowadzonych badań, stwierdzono, że metodę można stosować w bieżącej kontroli jakości gotowych wyrobów występujących w postaci tulei, otrzymywanych z nylonu w technologii wtrysku ciśnieniowego.

Literatura

1. Osiński Z.: Tłumienie drgań. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.
2. Reński A.: Budowa samochodów. Układy hamulcowe i kierownicze oraz zawieszania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
3. Zawistowski H.: Wytłaczanie tworzyw sztucznych. PLASTECH Wydaw. Poradników i Książek Technicznych, Warszawa 1999.
4. Frącz W., Krywult B.: Projektowanie i wytwarzanie elementów z tworzyw sztucznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005.
5. Wilczyński K.: Przetwórstwo tworzyw sztucznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
6. Leda H.: Kompozyty polimerowe z włóknami ciągłymi. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2000.
7. Krywult B., Frącz W.: Wsparcie projektanta. *Plastics Review*, no 35 (2004), pp. 96-100.
8. Stasiak J.: Wytłaczanie tworzyw polimerowych. Zagadnienia wybrane. Wydaw. Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz 2007.
9. Frącz W., Trzepieciński T.: Optymalizacja i prognozowanie deformacji wyrobów wtryskowych. *Przetwórstwo Tworzyw*, nr 16 (2010), s. 292-301.
10. DuPont: Poradnik przetwórstwa wtryskowego tworzyw Minlon i Zytel. Wydanie 11/1999.
11. Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłoś Z.: Wytrzymałość materiałów. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne WNT, Warszawa 2007.

Praca naukowa sfinansowana w ramach badań zleconych przez podmioty gospodarcze.

AN EXPANDING TEST IN THE QUALITY CONTROL OF POLYMER BUSHINGS

Abstract

The paper presents the use of the expanding method for polymer bushings made of nylon in the process of quality control of finished products and describes problems related to the assembly technology for the bushings which set the standards for qualitative requirements of dimension and fatigue strength parameters. The authors underline the fact, that the main technological problem, which occurs when forcing a bushing into a metal casing is the polymer cracking, which appears

due to the impact of the technology power load. The requirements towards the representative control test, which reproduces the input forces similar to those that occur in real-life conditions are also described. The tests were conducted with the use of the expanding method consisting in the pressing of a sampler into a tested element. The used sampler was a steel cone with a 30° angle. The tests were conducted until each tested bushing got damaged. The use of the described method is presented based on two types of polymer bushings, which are made via pressure injection molding technology for Zytel 79G13 plastics. The tested bushings are an element of flexible joints used in car suspension systems. The first object of the research was a head bushing with a thickened flange that occurs on a fragment of a rim. The second tested object was a head bushing with a flange weakened by a recess playing a role of a jack actuator. The registered characteristics of loads put on samplers show stability of results related to the value of the damaging force, the damaging shift and the stiffness of the tested system. The characteristics of the imposed damage to a great extent resemble casualties, which occur in real-life conditions of forced induction. However, the registered characteristics of loads put on samplers demonstrate a significant difference in the process flow for the two types of the tested head bushings, which is caused by the contrary static stiffness of the tested system for each case under investigation. Based on the results of the undertaken research, the thesis statement was formulated, saying that the method is to be used in the current quality control of finished products, namely the bushings made of nylon via pressure injection molding technology.

Keywords: nylon, assembly technology, cracking, expanding cone

DOI: 10.7862/rm.2013.8

Otrzymano/received: 25.02.2013

Zaakceptowano/accepted: 22.04.2013

Informacje dodatkowe

1. Lista recenzentów współpracujących będzie opublikowana w czwartym numerze Zeszytów Naukowych Politechniki Rzeszowskiej, Mechanika 85(4/13) oraz na stronie internetowej:
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/mechanika/>
2. Zasady recenzowania są udostępnione na stronie internetowej:
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/zasady-recenzowania/>
3. Informacje dla autorów artykułów są udostępnione na stronie internetowej:
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/informacje-dla-autorow/>
4. Formularz recenzji jest udostępniony na stronie internetowej:
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/mechanika/>
5. Instrukcja dla autorów omawiająca szczegółowo strukturę artykułu, jego układ, sposób przygotowywania materiału ilustracyjnego i piśmiennictwa jest zamieszczona na stronach internetowych:
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/instrukcja-dla-autorow/> oraz
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/mechanika/>
w zakładce „Instrukcja dla autorów”.
6. Dane kontaktowe do redakcji czasopisma, adresy pocztowe i e-mail do przesłania artykułów oraz dane kontaktowe do wydawcy są podane na stronie internetowej (Komitet Redakcyjny):
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/mechanika/>