

Analiza przyczyn niskiej trwałości złącza spawanego wału inspektomatu

The causes analysis of short life of the shaft in the car-wheel balancing device

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę zastosowanego sposobu modernizacji wykonania wału inspektomatu, który uległ szybkiemu zużyciu. Modernizacja polegała na zastąpieniu połączenia skręcanego połączeniem spawanym. Miejsce i sposób wykonania spoiny łączącej końcówkę wału z rurą spowodowały podhartowanie strefy wpływu ciepła (SWC) sięgające w obszar karbu geometrycznego związanego ze stopniem wałka. Podhartowanie było bezpośrednią przyczyną powstania licznych ognisk pęknięcia zmęczeniowego, które doprowadziło do zniszczenia po rocznej eksploatacji.

Abstract

This paper presents an analysis of the method used for regeneration of the shaft in car-wheel balancing device which has rapid wear in the short period of time. Modernization contained the screw connection replacement by welded joint. The weld placement and heat input caused local hardening of heat affected zone (HAZ) and the area of geometrical notch effect from diameter change in the shaft. Local hardening caused directly by numerous fatigue cracks, which propagation resulted damage after one year use.

Wstęp

Często zdarza się, że rozwiązanie konstrukcyjne zastosowane w urządzeniu nie sprawdza się w eksploatacji, prowadząc do przedwczesnego zużycia części. Niezbędna staje się wtedy naprawa lub modernizacja, w której wykorzystuje się również metody spawalnicze. O ile zakłady specjalizujące się w produkcji spawalniczej posiadają doświadczenie, kadre, funkcjonujące systemy jakości i kwalifikowane procedury spawalnicze, o tyle firmy mechaniczne sporadycznie realizujące prace spawalnicze nie mają w tym zakresie dostatecznych kompetencji.

Do przykładowych błędów popełnianych w pracach naprawczych można zaliczyć stosowanie rozwiązań nietechnologicznych pod względem spawalniczym, np. spawanie elementów o małej grubości z elementami masywnymi bez dopasowania grubości ścianek, spawanie elementów masywnych lub części maszyn ulepszanych cieplnie bez podgrzewania wstępnego. Można mnożyć przypadki przedwczesnego, awaryjnego zniszczenia zespołów, które zostały w taki sposób naprawione lub zmodernizowane. Pierwotną przyczyną

zniszczenia nie jest niska jakość złącza spawanego, lecz błędy konstrukcyjne i technologiczne popełnione przez kadre, która na bieżąco nie aktualizuje swojej wiedzy spawalniczej. Prace naprawcze prowadzi się bez opracowania instrukcji technologicznej spawania, bez wykonywania badań złączy czy upewnienia się co do spawalności materiałów zastosowanych w konstrukcji naprawianej części.

Części maszyn wykonywane są ze stali konstrukcyjnych wyższej jakości lub stali do ulepszenia cieplnego. Stale te charakteryzują się zwykle podwyższoną zawartością węgla i chromu, a niekiedy molibdenu. To sprawia, że ich spawalność jest znacznie ograniczona. Przydatność tych stali na wyroby spawane powinna być określona w pierwszej kolejności na podstawie równoważnika węgla Ce [1]. Zależnie od wartości Ce podejmuje się decyzję o wyborze danego gatunku stali oraz o środkach technologicznych zapobiegających niebezpiecznemu utwardzeniu. Zawartość węgla i równoważnik CE wskazują na konieczność podgrzewania wstępnego, utrzymywania temperatury międzyścigowej, a nawet obróbki cieplnej po spawaniu [2]. Spawanie stali do ulepszenia cieplnego o zawartości węgla przekraczającej 0,4% stosowane jest bardzo rzadko, zgodnie z opracowaną technologią i przy zastosowaniu specjalnego nadzoru. Temperatura podgrzewania wstępnego zależy od grubości elementu i mogą wynosić nawet 300°C przy grubości 50 mm [3].

Dr inż. Krzysztof Dutka, dr inż. Jan Stabryła
– Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie.

Opis przedmiotu badań

Do badań dostarczono uszkodzony wałek rolki napędowej inspektomatu, który służył do wizualnej kontroli opon po zakończeniu procesu wulkanizacji. Istotnym elementem urządzenia jest rolka, na której obraca się kontrolowana opona. Rolka nałożona jest na wałek jednostronnie ułożyskowany w napędzie rozwieracza. Na wałek działa złożony moment zginający i obrotowy (rys. 1). Wałek wykonany był jako konstrukcja zmontowana z rury o średnicy zewnętrznej 56x5,5 mm, w którą włożona była kilkustopniowa końcówka napędowa.

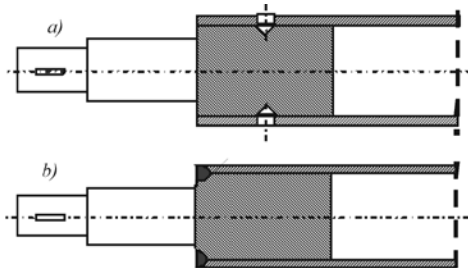
W ścianie rury w strefie połączenia wykonane są gwintowane otwory służące do zabezpieczenia rury i końcówki napędowej przed obrotem za pomocą wkrętów ustalających (rys. 2a). Rozwiązanie takie nie sprawdzało się w eksploatacji (ścinanie wkrętów i rozluźnianie połączenia). Uszkodzenie połączenia mogło spowodować opadnięcie kontrolowanej dużej opony rolniczej na osobę obsługującą inspektomat. Zagrożenie postanowiono wyeliminować przez zesparanie końcówki wałka z czołem rury spoiną obwodową (rys. 2b). Według dokumentacji technicznej końcówka wałka powinna być wykonana z ulepszonej ciepłnie stali 40H. Wałek po modernizacji eksploatowany był przez okres 1 roku, po czym uległ pęknięciu.

W dostarczonym do badań pękniętym wałku połączenie końcówki wałka z krawędzią rury wykonano



Końcówka napędowa miejsce pęknięcia część rurowa

Rys. 1. Uszkodzony wałek rolki napędowej inspektomatu
Fig. 1. Damage shaft of motive roller in the car-wheel balancing device



Rys. 2. Schemat rozwiązań konstrukcyjnych inspektomatu: a) oryginalne, b) zastosowane podczas naprawy
Fig. 2. Constructional solutions scheme: a) original, b) proposed for regeneration



Rys. 3. Płaszczyzna pęknięcia oraz nierówności krawędzi wywołane pracami spawalniczymi
Fig. 3. Fracture surface and edge damages caused by the welding process

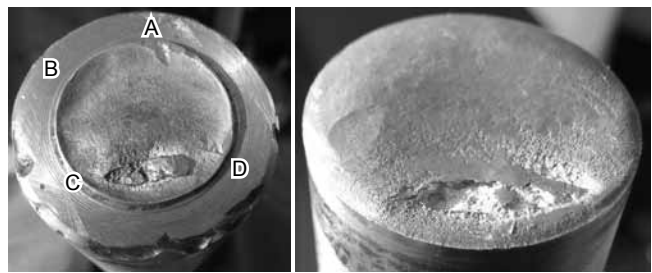
metodą 135. Awaria nastąpiła w wyniku pęknięcia w płaszczyźnie ostatniego stopnia wałka (rys. 3).

Krawędź i powierzchnia czołowa wałka w płaszczyźnie przełomu wykazują znaczne nierówności i wgłębienia powstałe w wyniku spawania. Przełom ma charakter zmęczeniowy powstały w wyniku obciążenia wału momentem skręcającym i zginającym. Na powierzchni przełomu widoczne są liczne uszkodzenia mechaniczne powstałe już po awarii. Źródła pęknięcia (4 na obwodzie) zlokalizowane są w promieniu przejścia ze średnicy 35 mm na średnicę 56 mm (rys. 4). Mała powierzchnia strefy dołomowej wskazuje na niski poziom naprężeń podczas pracy inspektomatu bezpośrednio przed zniszczeniem. Oznacza to, że powodem awarii nie było przeciążenie elementu.

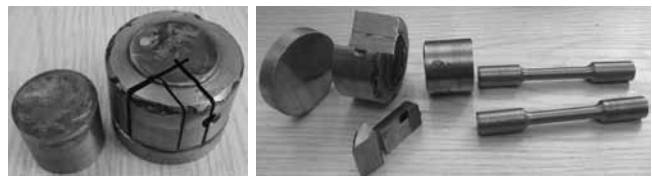
W celu określenia przyczyn przedwczesnego zniszczenia wału z uszkodzonego elementu pobrano próbki do dalszych badań laboratoryjnych (rys. 5). Postanowiono wykonać badania makro i mikroskopowe, pomiary twardości, statyczną próbę rozciągania oraz analizę składu chemicznego. Z części wału o średnicy 56 mm pobrano próbki do badań metalograficznych oraz odcinek o grubości 15 mm na badania składu chemicznego. Z części o średnicy 35 mm odcięto próbkę obejmującą przełom do oceny jego przebiegu. Pozostałą część wykorzystano do wytoczenia próbek wytrzymałościowych.

Widok makrostruktury złącza końcówki wałka z rurą przedstawiono na rysunku 6a. Miejsce wykonania zdjęć mikrostruktury pokazano na rysunku 6b. Na promieniu przejścia widoczne są liczne pęknięcia (rys. 7). W grani spoiny na styku rury i wałka widoczne są pęknięcia eksploatacyjne, które powstały na brakach przetopu, których długość wynosi ok. 2÷3 mm. Strefa wpływu ciepła złącza rozciąga się aż w okolice stopnia wału (rys. 8).

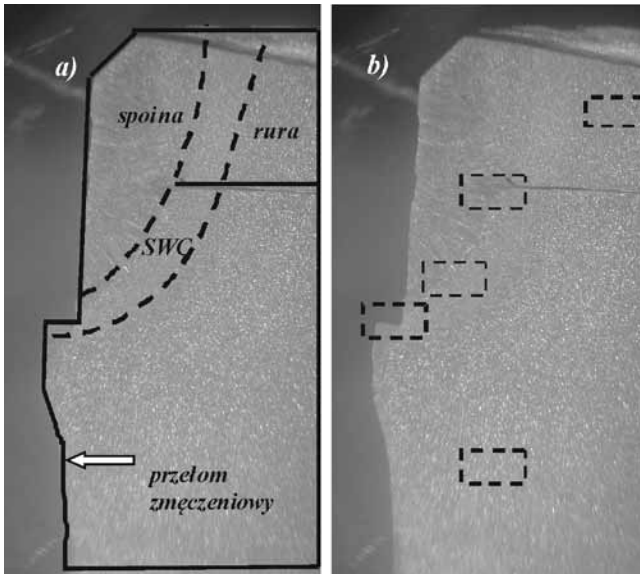
Badania mikroskopowe wykonane na zglądzie trawionym Nital'em wykazały, że materiał rury i wałka mają budowę ferrytyczno-perlityczną ze zdecydowaną przewagą ferrytu (rys. 9). Stal końcówki wałka nie jest więc



Rys. 4. Powierzchnie przełomu. Literami A, B, C i D oznaczono ogniska pęknięcia
Fig. 4. Both fractures surfaces. A, B, C and D letters shows the cracks beginning

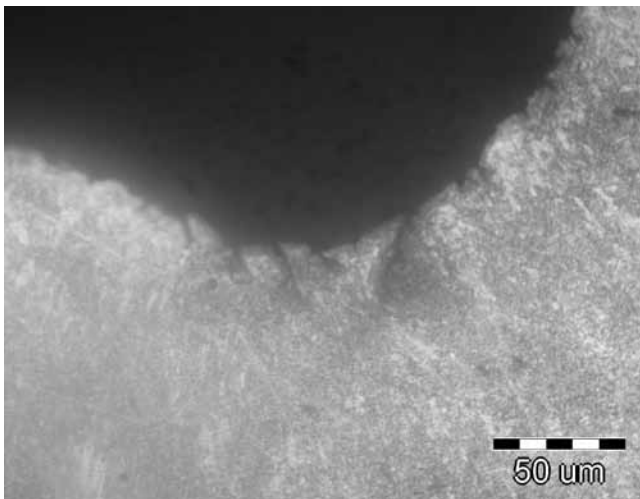


Rys. 5. Próbkę do badań laboratoryjnych, twardości, struktury, składu chemicznego i wytrzymałości
Fig. 5. Samples for laboratory testing: hardness, microrstructure, chemical composition and strength



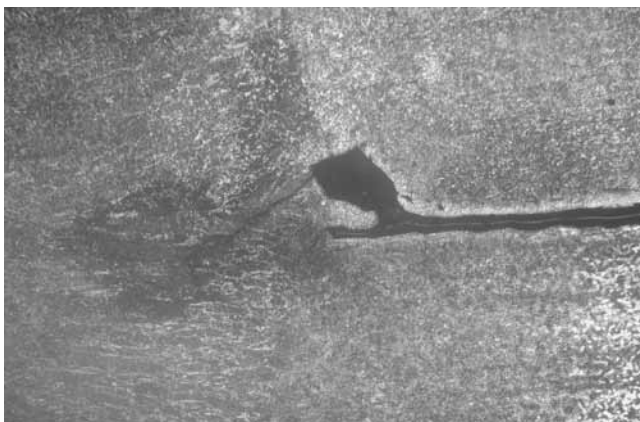
Rys. 6. Budowa makroskopowa strefy spawania (a), miejsca wykonania zdjęć mikrostruktury (b). Mikroskop MBS-9. Pow. 6x

Fig. 6. Macrostructure of weld zone (a) and the placement of microstructure evaluation (b). MBS-9 microscope, magn, 6x



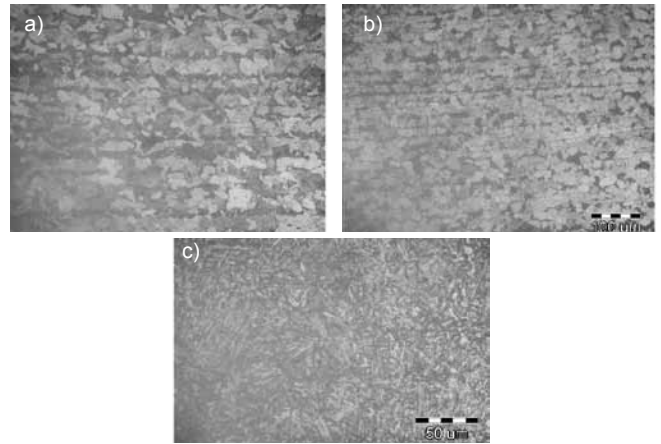
Rys. 7. Powierzchniowe nieciągłości materiału wałka w miejscu promienia przejścia. Trawiono Nitałem. Mikroskop OLYMPUS

Fig. 7. Shaft surface discontinuity in the place of diameter change. Etch.: nital, Olympus microscope



Rys. 8. Strefa połączenia rury z końcówką wałka. Widoczny brak przetopu i pęknięcia eksploatacyjne w spoinie. Trawiono Nitałem. Mikroskop OLYMPUS

Fig. 8. Pipe and shaft ending joint zone. Lack of fusion and fatigue cracks in the weld. Etch.: nital, Olympus microscope



Rys. 9. Mikrostruktura złącza: a) rura- ferryt i perlit, pow. 200x, b) wałek poza strefą wpływu ciepła ferryt i perlit, pow. 200x, c) SWC wałka, bainit pow. 500x. Mikroskop OLYMPUS

Fig. 9. Microstructure of the joint: a) pipe: ferrite and pearlite, magn. 200x; b) shaft, out of HAZ: ferrite and pearlite, magn. 200x; c) HAZ in the shaft: bainite, magn. 500x; Olympus microscope

ulepszoną cieplnie stalą 40H. W strefie wpływu ciepła wałka stwierdzono występowanie struktury iglastego bainitu wskazującego na podhartowanie (rys. 9c).

Pomiary twardości HV 10 wykonane na twardościomierzu HPO-250 w poszczególnych strefach złącza potwierdziły obecność utwardzenia w SWC. Wyniki badania twardości zestawiono w tabelicy I.

Twardości zarówno rury, jak i końcówki wałka wskazują, że stal obu łączonych elementów jest niskowęglowa i powinna charakteryzować się dobrą spawalnością. Podwyższona twardość strefy wpływu ciepła (SWC) wałka świadczy o podhartowaniu, które może się wiązać z brakiem podgrzewania wstępnego do spawania przy znacznym przekroju wałka. Wyniki statycznej próby rozciągania stali wałka zestawiono w tabelicy II a porównanie właściwości mechanicznych podstawowych stali konstrukcyjnych w tabelicy III.

Tabela I. Wyniki pomiaru twardości

Table I. Hardness measurement results

Miejsce pomiaru	Twardość HV 10
Materiał rury	150
SWC rury	160
Materiał wałka	220
SWC wałka	330
Spoina	220

Tabela II. Wyniki badania wytrzymałości materiału wałka

Table II. Mechanical properties of the shaft metal results

Próbka	R_e MPa	R_m MPa	A_5 %
R1	405	647	15
R2	357	647	17

Tabela III. Porównanie normatywnych właściwości gatunków stali i materiału wałka

Table III. Comparison of nominal mechanical properties of steel and shaft metal

Stal	R_e MPa	R_m MPa	A_5 %
40H	780	min. 980	14
18G2A	335	490÷625	22
S355J0	335	470÷630	22
Wałek	376	647	16

Tablica IV. Skład chemiczny stali 18G2A i S355J0 wg norm oraz wyniki badania materiału wałka, % wag
Table. IV. Chemical composition of 18G2A and S355J0 steel acc. to standards and own test results, % mas.

Gatunek	C _{max}	Si	Mn	P _{max}	S _{max}
18G2A	0,20	0,20÷0,55	1,00÷1,50	0,040	0,040
S355J0	0,20	max 0,55	max 1,60	0,030	0,030
Wałek	0,16	0,31	1,47	0,011	0,004

Pod względem właściwości mechanicznych (R_e , R_m) próbki materiału rodzimego wałka spełniają wymagania odpowiadające stali 18G2A lub S355J0 i są ponad dwukrotnie niższe od właściwości stali 40H przewidzianej jako materiał oryginalny.

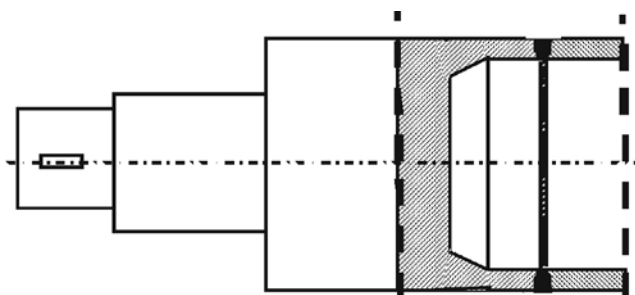
Przeprowadzone badania składu chemicznego stali wałka wraz z wymaganiami dla stali 18G2A i S355J0 zestawiono w tablicy IV.

Pod względem składu chemicznego materiał wałka spełnia wymagania dla stali 18G2A lub jej zamiennika S355J0.

Podsumowanie wyników badań

Podczas modernizacji dokonano zamiany ulepszonej cieplnie stali 40H na stal konstrukcyjną spawalną o podwyższonej wytrzymałości C-Mn. Wykonano spawanie jednościgowe, stosując spoinę obwodową na styku wałka i rury, w którym powstały braki przetopu. Podczas eksploatacji braki przetopu stały się źródłem pęknięć, które uzyskały długość kilku milimetrów. Dla zniszczenia zmęczeniowego wałka w wyniku rocznej eksploatacji bardziej krytyczne okazało się utwardzenie strefy wpływu ciepła. Co prawda poziom utwardzenia 330 HV można uznać za dopuszczalny w świetle wymagań normy [4], jednak o niskiej trwałości złącza przesądziło pokrycie się strefy wpływu ciepła z miejscem wystąpienia karbu geometrycznego

na uskoku wału. Na promieniu przejścia stwierdzono liczne pęknięcia powierzchniowe. Od kilku z nich zaczęły się pęknięcia w płaszczyźnie stopnia wałka. Mała powierzchnia strefy dołomowej na powierzchni pęknięcia zmęczeniowego wskazuje, że naprężenia eksploatacyjne miały niewielką wartość. Przyjąć można, że zastosowanie stali 18G2A było prawidłowym wyborem z uwagi na lepszą spawalność, chociaż jej parametry wytrzymałościowe są ponad dwukrotnie niższe od wytrzymałości stali 40H. Prawidłowym rozwiązaniem z uwagi na technologiczność konstrukcji i wytrzymałość dla połączenia końcówki wałka z rurą byłoby rozwiązanie przedstawione na rysunku 10.



Rys. 10. Proponowane poprawne technologicznie rozwiązanie dla połączenia rury z końcówką wałka inspektomatu
Fig. 10. Proposal of the technological solution for pipe and shaft joint

Wnioski

Analiza rozwiązania konstrukcyjnego uszkodzonego elementu wykazała, że podczas naprawy firma serwisowa zmieniła sposób połączenia końcówki wału z rurą.

Połączenie wkrętami zabezpieczającymi zostało zastąpione złączem spawanym, a materiał końcówki wałka zmieniono ze stali 40H na stal 18G2A.

Zastosowana stal 18G2A jest dobrze spawalna przy cienkich ściankach, lecz po przekroczeniu grubości 25 mm wymaga przed spawaniem podgrzewania wstępnego.

Brak podgrzewania wstępnego spowodował utwardzenie strefy wpływu ciepła wałka do poziomu 330 HV, a dodatkowo strefa ta pokryła się z karbem geometrycznym wałka.

Bezpośrednią przyczyną uszkodzenia wałka inspektomatu był proces zmęczenia materiału zainicjowany w wyniku zastosowania błędnego rozwiązania technologiczno-konstrukcyjnego.

Literatura

- [1] Ferenc K.: Spawalnictwo. WNT, Warszawa 2007.
 [2] Tasak E., Ziewiec A.: Spawalność stali T1. Wyd. JAK Kraków 2009.

- [3] Tasak E.: Metalurgia spawania. Wyd. JAK Kraków 2008.
 [4] PN-EN ISO 15614-1. Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali. Badanie technologii spawania.