

Wykrywanie niejednorodności materiału i lokalnych zmian mikrostruktury metodą prądów wirowych

Detection of heterogeneity and local microstructure changes using eddy current method

Streszczenie

Celem badań było określenie możliwości wykrywania lokalnych różnic we właściwościach części wykonanych ze stali 40HNMA, spowodowanych obróbką cieplną, obróbką powierzchniową oraz miejscowymi przypaleniami szlifierskimi. Zmiany te mają istotny wpływ na trwałość wyrobów, zwłaszcza kół zębatych.

Zastosowano układ pomiarowy nowej generacji: Wirotest 302 oraz sondy o zróżnicowanej częstotliwości nominalnej od 250 kHz do 2 MHz.

Dokonano oceny wpływu zmian strukturalnych, stanu powierzchni, a także obecności pęknięć na charakterystyki wiropądowe. Badania potwierdziły także skuteczność wykrywania lokalnych zmian mikrostruktury spowodowanych przypaleniami szlifierskimi. Wyniki badań zweryfikowano przez pomiar mikrotwardości i chropowatości

Abstract

Numerical simulations play an increasingly important role in nondestructive testing. They are widely used for the development of testing methods to confirm their effectiveness. Their main purpose is to support the analysis and interpretation of the research results. The paper shows the possibilities of ultrasonic testing modeling on immersion testing of composite test piece example. In the component made of carbon-epoxy composite, intentionally created defects are located. The defects were made by lamination of thin, flat, rectangular teflon inserts of known dimensions. The ultrasonic immersion tests of the component are compared with the results of simulations carried out for the created numerical model. The results showed the high value of the numerical simulation.

Wstęp

Wskazania Wirotestu sygnalizują miejsca wadliwe w dwojaki sposób: albo jako impuls wskazań w miejscu uszkodzenia (pęknięcia), albo odchylenie wskazań od wartości przyjętej za prawidłową, np. od odczytu dla sąsiednich powierzchni (metoda porównawcza).

W przypadku materiałów magnetycznych struktura i twardość wpływają silniej na przenikalność magne-

tyczną niż na przewodność, toteż dla celów kontroli struktury i twardości Wirotest 302 jest szczególnie przydatny. O możliwości uzyskiwania pożądanego głębokości wnikania decydują tu nie tylko właściwości badanego materiału i zastosowana częstotliwość pomiarowa, ale także konstrukcja miernika i sond pomiarowych [1, 2].

Celem pomiarów było wykrycie lokalnych różnic właściwości części wykonanych ze stali niskostopowej, spowodowanych obróbką cieplną, wadami chropowatości powierzchni oraz miejscowymi przypaleniami szlifierskimi, które mają istotne znaczenie dla trwałości wyrobów, zwłaszcza kół zębatych [3, 4].

Zakres badań

Przedmiotem badań była ocena wpływu zmian strukturalnych, chropowatości powierzchni i przypaleń szlifierskich, a także obecności pęknięć na charakterystyki wiroprowadowe. Wykonano również pomiary mikro-twardości i chropowatości badanych próbek.

Jako materiały do badań zostały wykorzystane walce ze stali 40HNMA o wymiarach $\varnothing 44 \times 500$ mm. Po hartowaniu zostały one poddane odpuszczaniu w czasie 2 h w temperaturze:

- 430°C – twardość po odpuszczaniu 45 HRC,
- 490°C – twardość po odpuszczaniu 40 HRC,
- 540°C – twardość po odpuszczaniu 35 HRC.

Z walców tych wycięto próbki o średnicy 44 mm, wysokości 30 mm, po 4 próbki dla każdej temperatury odpuszczania.

Próbki oznaczano symbolem temperatury odpuszczania: A 430, B 450, C 540.

Przedmiotem prac było oznaczanie:

- zależności wielkości sygnału Wirotestu od temperatury odpuszczania,
- zależności wielkości sygnału Wirotestu od twardości,
- zależności wielkości sygnału Wirotestu od chropowatości powierzchni,
- wpływu lokalnych zmian mikrostruktury spowodowanych przypaleniami szlifierskimi na wykrywalność pęknięć.

Wyniki badań

Metodyka badań

Zastosowano układ pomiarowy: Wirotest 302 oraz sondy o zróżnicowanej częstotliwości nominalnej od 250 kHz do 2 MHz. Konstrukcja sond i uchwytów umożliwiała utrzymanie stałej odległości 0,05 mm od powierzchni badanej.

Zależność sygnału Wirotestu od temperatury odpuszczania i twardości materiału

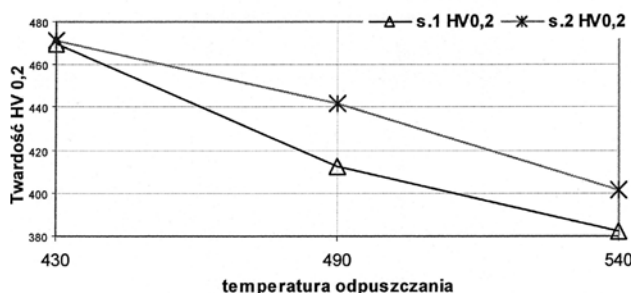
Jak wiadomo, procesy odpuszczania powodują obniżenie twardości materiału. W tym celu wykonano oznaczenia mikro-twardości badanych próbek kontrolnych. Pomiary wykonywano twardościomierzem Struers DuraScan 70 – metodą Vickersa HV0,2.

Pomiar HV0,2 metodą S1 wykonywano w odległości od 0,075 mm do 3,0 mm od krawędzi zewnętrznej. W pomiarze HV0,2 metodą S2 punkty pomiarowe rozmieszczono na całej powierzchni próbki badanej. Wyniki pomiarów przedstawiono na wykresie (rys. 1).

Twardość badanych próbek w obszarze od 0,075 mm do 3,0 mm od krawędzi (metoda S1) jest wyższa, niż średnia z siedmiu pomiarów wykonanych na całej powierzchni próbek (met. S2).

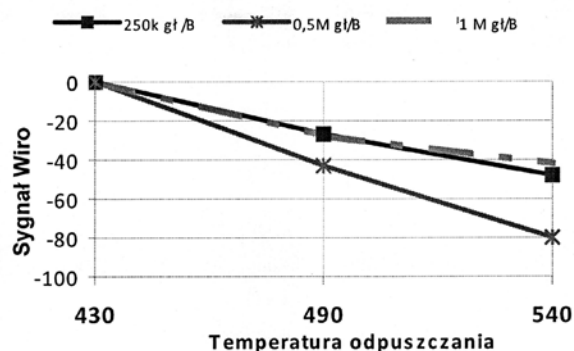
Na rysunku 2 przedstawiono wyniki oznaczeń zależności sygnału Wirotestu od temperatury odpuszczania próbek kontrolnych.

Zależność twardości od temp.odpuszczania



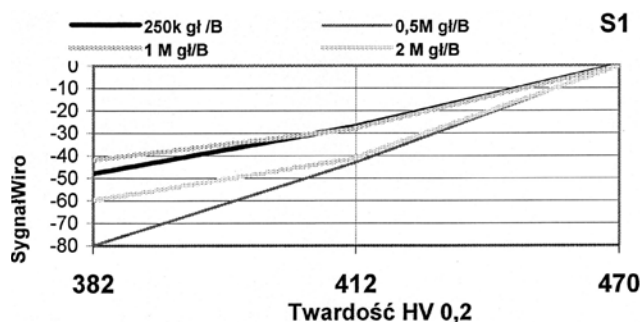
Rys. 1. Zależność twardości badanych próbek od temperatury odpuszczania

Rys.1. Dependency of the hardness of measured samples from the tempering temperature



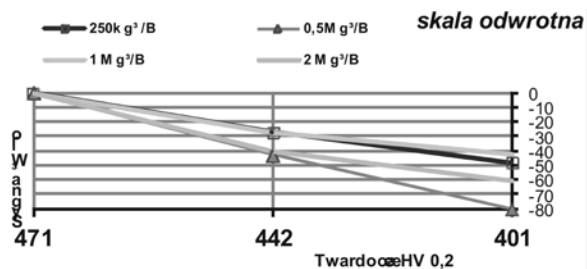
Rys. 2. Zależność sygnału Wirotestu od temperatury odpuszczania próbek kontrolnych

Fig. 2. Dependency of the signal of Wirotest from the tempering temperature



Rys. 3. Zależność sygnałów Wirotestu od mikro-twardości (met.S1)

Fig. 3. Dependency of the signal of Wirotest from the microhardness



Rys. 4. Zależność sygnałów Wirotestu od mikro-twardości (metoda S2) - skala odwrotna.

Fig. 4. Dependency of the signal of Wirotest from the microhardness

Ze wzrostem temperatury odpuszczania sygnał Wirotestu maleje od 0 do -80.

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono zależność sygnałów Wirotestu od mikrotwardości próbek kontrolnych. Pomiary wykonywano sondami o różnej częstotliwości nominalnej. Ze wzrostem twardości od 382 do 470 HV0,2 sygnał Wirotestu rośnie od -80 do 0.

W obu seriach pomiarowych dla sondy 0,5 MHz ta zależność ma charakter prostoliniowy.

We wszystkich pomiarach sygnał Wirotestu jest odwrotnie proporcjonalny do temperatury odpuszczania i wprost proporcjonalny do wzrostu twardości.

Stwierdzono, że sonda 250 kHz ma najkorzystniejszą charakterystykę. Zależność sygnału wiroprowodowego od temperatury odpuszczania ma tu charakter prostoliniowy. Również sygnały od zmiany twardości są najwyraźniejsze.

Zależność sygnałów Wirotestu od chropowatości powierzchni

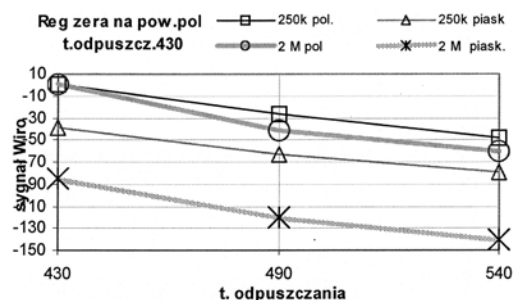
Pomiary chropowatości wykonano na próbkach kontrolnych: po 1 szt. z każdego walca. Próbki kontrolne oznaczano symbolem temperatury odpuszczania: 430°C, 480°C, 540°C. Przed pomiarem powierzchnie tzw. awers – polerowano, powierzchnie tzw. rewers – piaskowano. Pomiary chropowatości wykonano miernikiem chropowatości Mitutoyo SJ 201.

Tablica I. Wyniki pomiarów chropowatości próbek kontrolnych
Table I. The roughness measurement results of control samples

Oznaczenie rodzaju powierzchni i temperatury odpuszczania	Parametr, μm		
	R_a	R_{y5}	R_q
Polerowana – 430°C	0,04	0,74	0,07
Piaskowana – 430°C	4,42	28,55	5,62
Polerowana – 490°C	0,05	0,76	0,07
Piaskowana – 490°C	4,62	28,77	6,00
Polerowana – 540°C	0,05	0,42	0,06
Piaskowana – 540°C	5,75	33,51	7,19

Tablica II. Wyniki pomiarów wiroprowodowych na powierzchniach próbek z nacięciami 2,0 mm
Table II. Effect of roughness change and tempering temperature on the signal of Wirotest

Nr próbki	Częstotliwość nominalna sondy	Głębokość nacięcia 2 mm			
		miejsce 1	miejsce 2	miejsce 4	miejsce 3
		wzorc.	przypalenie	nacięcie 2 mm	przypalenie
A 430°C	250 kHz	0	-27	+116	-30
	0,5 MHz	0	-17	> +127	-8
	1,0 MHz	0	-16	> +127	-4
B 490°C	250 kHz	0	-20	> +127	-21
	0,5 MHz	0	-13	> +127	-7
	1,0 MHz	0	-23	> +127	-5
C 540°C	250 kHz	0	-49	> +127	-35
	0,5 MHz	0	-31	-66	-22
	1,0 MHz	0	-7	>+127	7



Rys. 5. Wpływ zmiany chropowatości i temperatury odpuszczania na sygnał Wirotestu.

Fig. 5. Effect of roughness change and tempering temperature on the signal of Wirotest

W tablicy I zamieszczono wyniki pomiarów twardości próbek kontrolnych.

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki średnie (5 serii, rozrzut rzędu 1-2 jednostek) pomiarów wiroprowodowych próbek o różnej temperaturze odpuszczania i różnym stanie powierzchni. Sygnał wiroprowodowy w pomiarach sondami o różnej częstotliwości nominalnej ze wzrostem chropowatości bardzo wyraźnie maleje.

Dla wszystkich trzech temperatur odpuszczania różnice sygnałów między powierzchnią polerowaną a piaskowaną są wyraźne i dla danej sondy takie same. Największe różnice stwierdzono w pomiarach sondą 2 MHz.: 80 jednostek dla każdej temperatury odpuszczania.

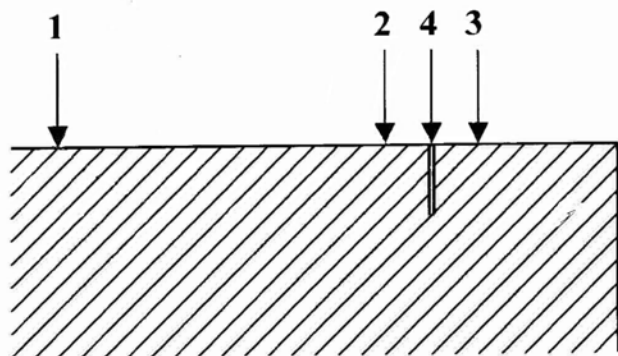
Badanie lokalnych zmian mikrostruktury spowodowanych przypaleniami szlifierskimi

Pomiary prowadzono na próbkach z nacięciami wykonanymi metodą elektroiskrową. Głębokość nacięcia – 2 mm, szerokość – 0,25 mm, długość – 3 mm. Pomiary wykonywano sondami o różnej częstotliwości znamionowej. Położenie miejsc pomiarowych pokazano na rysunku 6. W tablicy II zestawiono przykładowe wyniki pomiarów.

Z porównania wyników pomiarów dla miejsc oznaczonych symbolem 1 oraz symbolami 2 i 3

Tablica III. Wyniki pomiarów mikrotwardości próbki B 490°C z nacięciem 2,0 mm
Table III. The microhardness measurement results of the sample B 490°C with 2.0 mm incision

Odległość od nacięcia, mm	0,039	0,060	0,011	0,180	0,999	1,999	2,990	3,999	4,997
Twardość, HV0,2	386	405	409	421	426	442	433	446	431



Rys. 6. Rozmieszczenie miejsc pomiarowych na powierzchni próbki z nacięciem: 1 – powierzchnia wzorcowa – bez zmian, 2, 3 – powierzchnie z przypaleniami, 4 – nacięcie

Fig. 6. The arrangement of measuring points on the surface of the sample with incision. 1 – surface without changes, 2, 3 – surfaces with burns, 4 – incision

wyraźnie widoczne jest obniżenie sygnału wiroprowadowego w porównaniu z powierzchnią odniesienia- wzorcową (sygnał Wiro = 0) spowodowane obniżeniem twardości (rys. 3), efektem przypaleń szlifierskich. Sygnały od nacięć (miejsca nr 4) są dodatnie, jak w pomiarach bez przypaleń. Różnica jest znacząca, co pozwala wnioskować o możliwości równoczesnej wykrywalności przypaleń i pęknięć.

Potwierdzeniem tego jest zmiana mikrotwardości w pobliżu nacięcia.

W tablicy III przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów mikrotwardości próbki B 490°C. Pomiary wykonywano punktowo, w odległości od 0,029 mm do 4,997 m od krawędzi nacięcia.

Oznaczone zmiany mikrotwardości od 386 HV0,2 przy krawędzi do 442-431 HV0,2 w odległości 4,99 mm potwierdzają zmiany mikrostruktury wykryte metodą wiroprowadową, sondą o ograniczonym polu widzenia.

Podsumowanie

1. Zastosowano układ pomiarowy: Wirotest 302 oraz sondy o zróżnicowanej częstotliwości nominalnej od 250 kHz do 2 MHz.
2. Stwierdzono możliwość oceny wpływu temperatury odpuszczania, zmian twardości i zmian chropowatości na sygnały wiroprowadowe.
3. Powyższe zależności zweryfikowano pomiarami mikrotwardości i chropowatości.
4. Stwierdzono możliwość jednoznacznego wykrywania lokalnych zmian mikrostruktury spowodowanych przypaleniami szlifierskimi przy równoczesnej wykrywalności pęknięć.

Literatura

- [1] Babul T., Jończyk S.: Wybrane aspekty badania kół zębatych metodą prądów wirowych. Przegląd Spawalnictwa, vol.LXXXIV, nr 13/12, s.12-15, 2012.
- [2] Babul T., Jończyk S., Samborski T., Włodarczyk S.: Zastosowanie Wirotestów do kontroli kół zębatych. Mat. 40 KKBN. Warszawa 2011.
- [3] Zaborowski T.: Zjawiska fizyczne wpływające na naprężenia własne w technologicznej warstwie wierzchniej. Mat. Konf. WW 11, Warszawa 2011 s. 204.
- [4] Dybiec M., Dybiec Cz., Włodarczyk S., Kozłowska A.: Control effects by shot peening with application of the eddy current method. 15th WCNDT, Roma 2000.

Badania realizowano w ramach projektów: PO IG 1.1.2 „Opracowanie techniki kontroli wiroprowadami struktury, naprężeń i wad w lotniczych kołach zębatych zahartowanych indukcyjnie oraz NCBiR INNOTECH165/12012, LOWIR: Zastosowanie i wdrożenie prądów wirowych do badania i wykrywania wad materiałowych na częściach lotniczych wirujących.