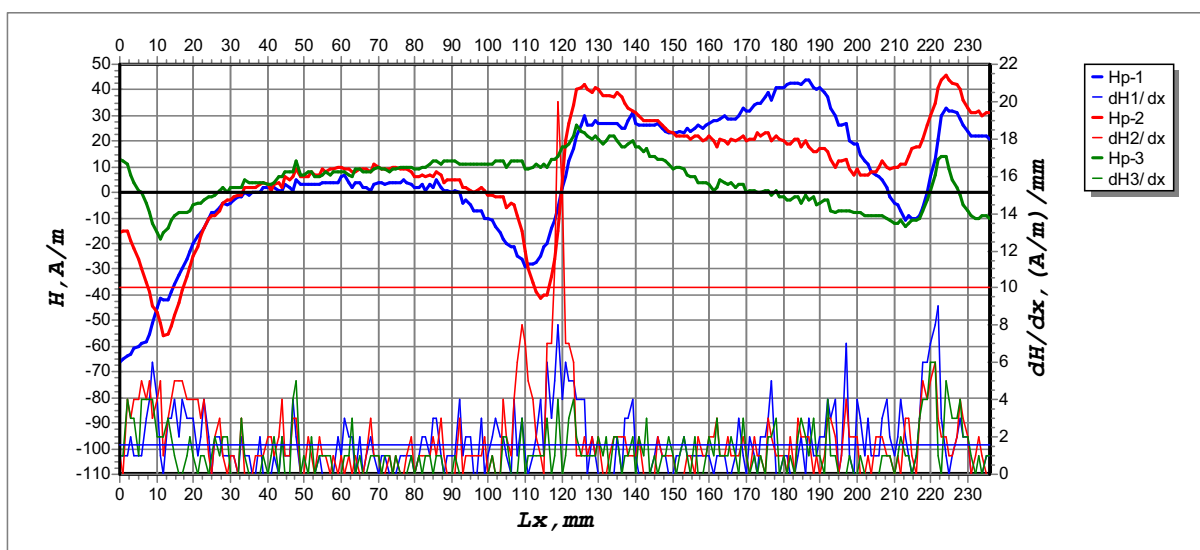


## BADANIA METODĄ PAMIĘCI MAGNETYCZNEJ JAKOŚCI POŁĄCZEŃ SPAWANYCH

*W artykule przedstawiono możliwość wykrywania wad materiałowych w połączeniach spawanych metodą pamięci magnetycznej metalu.*

### 1. Rozkład pola magnetycznego nad badanym połączeniem spawanym



**Rys. 1. Widoczna anomalia magnetyczna w obszarze 110 – 120mm.**

Powyższa anomalia rozkładu pola magnetycznego nad skanowanym odcinkiem połączenia spawanego charakteryzuje się „przejściem” przez wartość zerową pomierzonych przez wszystkie trzy czujniki wielkości natężenia pola magnetycznego: od wartości  $-40$  do wartości  $+40$  A/m oraz znaczną intensywnością jego zmiany, dla czujnika środkowego (kolor czerwony) wynosi ona  $20$  (A/m)/mm.

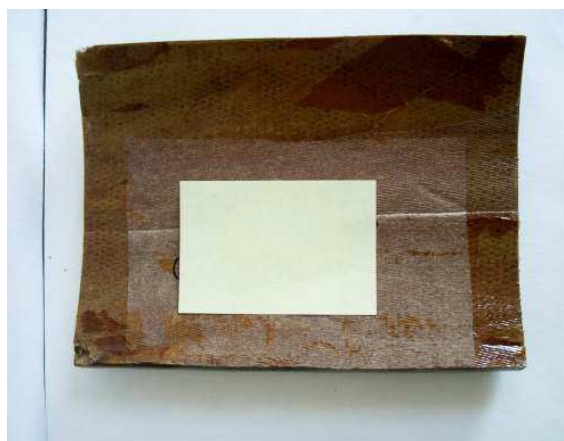
## 2. Badania materiałowe

### 2.1. Badania makroskopowe

Widok wycinka 1 od strony zewnętrznej przedstawia Rys.2. Strona wewnętrzna widoczna jest na Rys.3. Natomiast Rys.4 przedstawia przekrój poprzeczny przez ściankę wycinka.



**Rys. 2. Widok wycinka od strony zewnętrznej. Strzałką zaznaczono miejsce na spoinie z ewentualnymi defektami, na obecność których wskazały badania magnetyczne. Pow. 0,52x.**



**Rys. 3. Widok od strony wewnętrznej. Widoczna wykładzina termoizolacyjna koloru brązowego. Pow. 0,51x.**



**Rys. 4. Przekrój poprzeczny przez ściankę wycinka z warstwą termoizolacyjną wzmocnioną kilkoma warstwami tkaniny szklanej. Pow. 3,4x.**

Od strony zewnętrznej wycinek pokryty jest powłoką lakierniczą koloru zielonego. Przez środek wycinka, poziomo, biegnie szew spawalniczy, łączący obie jego części 1a i 1b. W miejscu zaznaczonym na Rys.2 pionową strzałką stwierdzono, za pomocą badań magnetycznych, występowanie anomalii wskazujących na obecność wewnętrznych defektów w materiale ścianki w rejonie spoiny.

Strona wewnętrzna wycinka pokryta jest warstwą termoizolacyjną koloru brązowego, Rys.3. Przekrój poprzeczny wykonany przez ściankę wycinka, widoczny na Rys.4, pokazuje, że warstwa termoizolacyjna wykonana jest z kompozytu polimerowego wzmocnionego kilkoma warstwami tkaniny szklanej. Pomiędzy metalową ścianką i warstwą izolacyjną znajduje się warstwa klejąca.

## 2.2. Identyfikacja materiału metalowej ścianki wycinka metodą analizy spektralnej

Wyniki analizy składu chemicznego materiału stalowej ścianki wycinka 1 zamieszczone są w tablicy 1. Analizę wykonano przy użyciu emisyjnego spektrometru optycznego Metorex-MET 930.

Tablica 1

Wycinek 1	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Al	V	W
Odcinek 1a	94,75	0,15	0,30	0,55	2,00	0,95	0,039	0,013	0,235	1,06
Odcinek 1b	94,93	0,13	0,31	0,55	1,93	0,91	0,036	0,014	0,25	1,11

Skład chemiczny materiału obu części wycinka jest najbardziej zbliżony do stali EJ712 (12H2WVA wg GOST).

## 2.3. Pomiary twardości

Pomiary twardości stalowej ścianki (płaszcz) wycinka wykonano metodą Rockwella przy wykorzystaniu skali C (HRC). Twardość mierzono dla obu odcinków – 1a i 1b po obu stronach spoiny. Wyniki pomiarów zamieszczone są w tablicy 2.

W tablicy podano również przeliczone wartości twardości HRC na HBW.

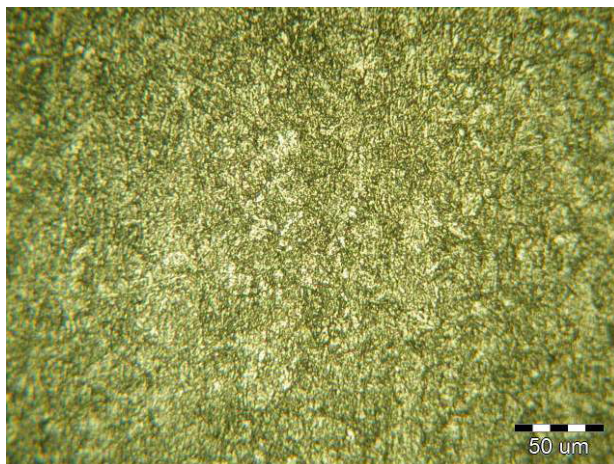
Tablica 2

Wycinek 1	HRC	HRC śr.	HBW
Odcinek 1a	35	35	321
	35		
	34		
Odcinek 1b	37	36	332
	36		
	35		

Twardość obu odcinków jest prawie taka sama, co wskazuje, że poddane one były takiej samej obróbce cieplnej. Twardość ta jest charakterystyczna dla stali hartowanej i odpuszczonej.

#### **2.4. Badania mikroskopowe mikrostruktury stalowej ścianki wycinka.**

W celu określenia mikrostruktury stalowej ścianki wycinka wykonano szlif metalograficzny na przekroju poprzecznym, który wytrawiono Nitałem. Materiał ścianki ma mikrostrukturę sorbityczną (Rys.5), świadczącą o tym, że element konstrukcyjny, z którego pobrano wycinek, był poddany obróbce cieplnej polegającej na hartowaniu i odpuszczaniu.



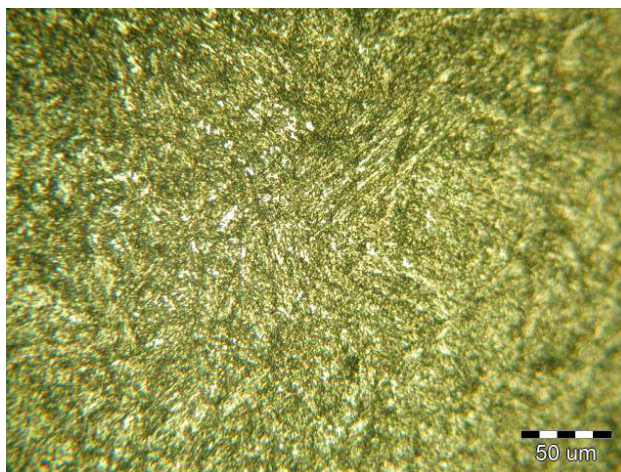
**Rys. 5. Mikrostruktura stalowej ścianki. Sorbit. Szlif trawiony Nitałem.**

#### **2.5. Ocena jakości złącza spawanego ścianki stalowej wycinka.**

Wycinek (Rys.3) stanowi fragment elementu konstrukcyjnego, który w miejscu pobrania wycinka ma spoinę łączącą dwie części 1a i 1b. W celu oceny jakości spoiny wykonano przekrój poprzeczny prostopadły do jej osi, wykonano szlif i poddano go trawieniu. (Rys.6) przedstawia ten przekrój po trawieniu. Spoina ma prawidłowy kształt geometryczny i jest wolna od wad spawalniczych. Lico spoiny jest płaskie, natomiast grań spoiny, od strony wewnętrznej ścianki, jest lekko wypukła.



**Rys. 6. Widok spoiny na przekroju poprzecznym wykonanym prostopadłe do jej osi. Szlif trawiony . Pow. 6x.**



**Rys.7. Wycinek 1. Mikrostruktura spoiny. Sorbit. Szlif poprzeczny trawiony Nitałem.**

Badania metalograficzne spoiny wykazały, że ma ona mikrostrukturę sorbityczną (Rys.7), tj. taka sama, jaka ma spawana ścianka. Wskazuje to, że obróbkę cieplną wykonano po spawaniu.

## **2.6. Pomiary twardości spoiny.**

Pomiary twardości spoiny wykonano metodą Rockwella przy wykorzystaniu skali C (HRC). Wyniki pomiarów zamieszczone są w Tablicy 3.

W tablicy podano również przeliczone wartości twardości HRC na HBW.

Tablica 3

<b>Próbka</b>	<b>HRC</b>	<b>HRC śr.</b>	<b>HBW</b>
Spoina w wycinku 1	37	37	340
	37		
	36		

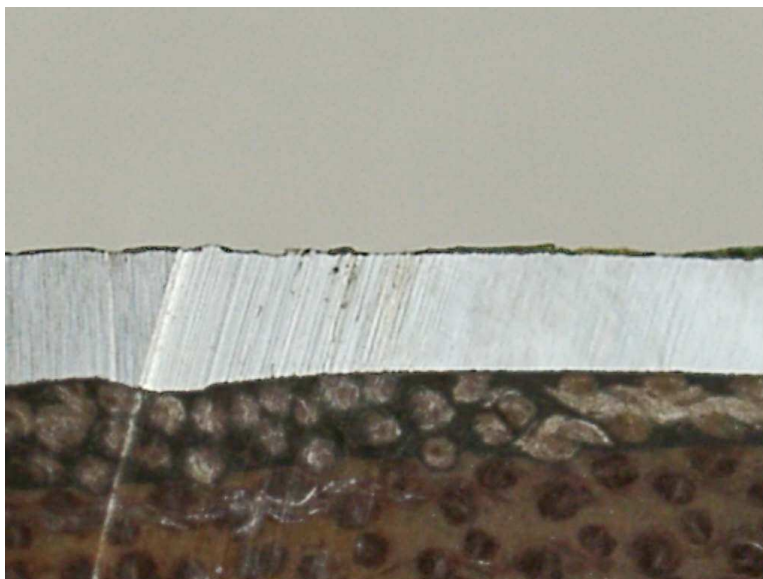
Z tablicy 3 wynika, że twardość spoiny nie odbiega od twardości materiału spawanych ścianek, co – podobnie jak wyniki badań metalograficznych – wskazuje, że hartowanie i odpuszczanie badanego elementu było wykonane po spawaniu.

## **2.7. Badania metalograficzne w obszarze o odmiennej przenikalności magnetycznej**

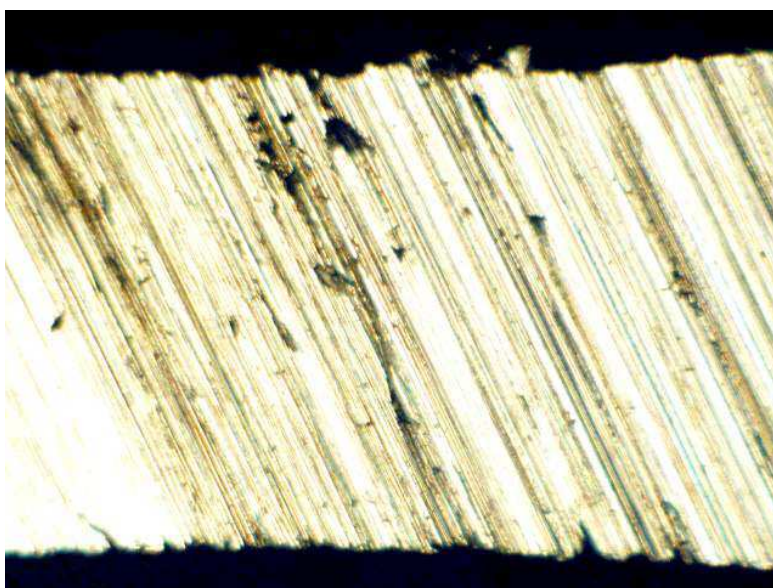
W celu zbadania przyczyny występowania anomalii magnetycznych w spawanym złączu wycinka, w miejscu zaznaczonym strzałką na Rys. 2 wykonano przekrój poprzeczny do osi spoiny.

Stwierdzono, że w pobliżu granicy spoiny ze ścianką występuje grupa wtrąceń niemetalicznych znacznych rozmiarów, widoczna na nietrawionej powierzchni przekroju już pod małym powiększeniem (Rys.8). Z kolei Rys. 9, 10 i 11 przedstawiają widok tych wtrąceń przy większych powiększeniach.. Wtrącenia te tworzą skupisko na granicy spoiny i materiału spawanego. Skupiska takich wtrąceń, a także pojedyncze wtrącenia większych rozmiarów, mogą być przyczyną anomalii obserwowanych w czasie badań magnetycznych.





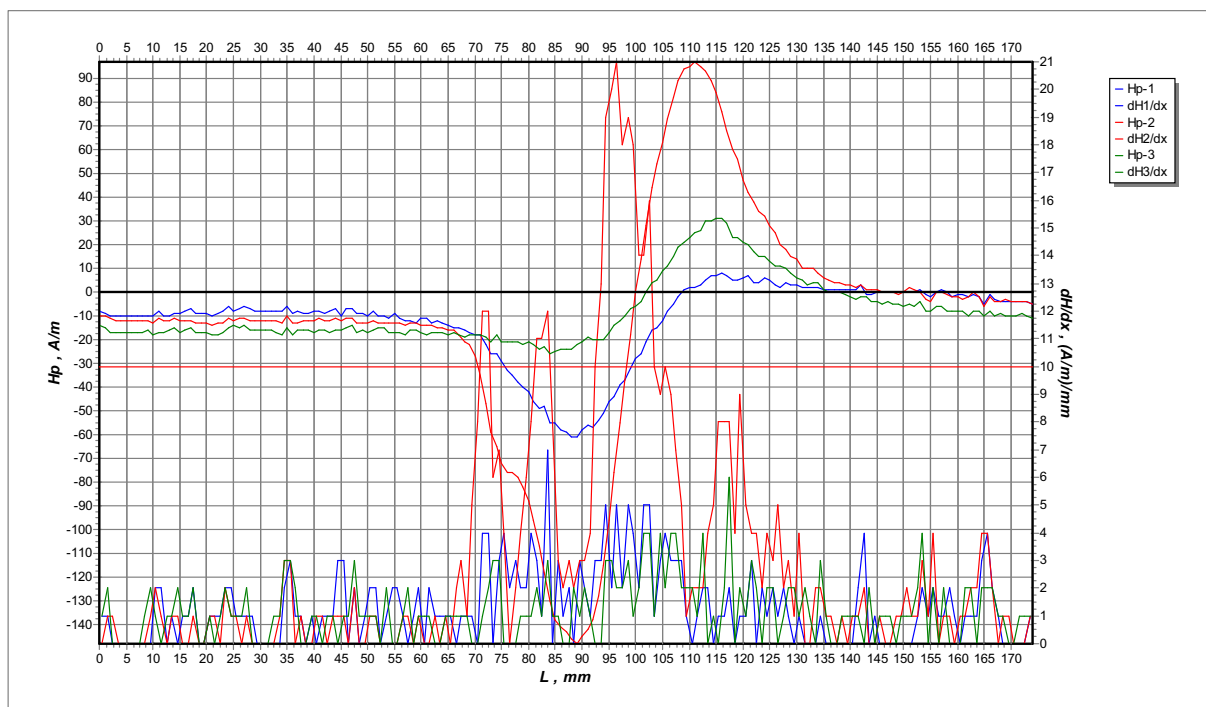
**Rys. 8. Przekrój poprzeczny ścianki wycinka, wykonany prostopadle do osi spoiny, w miejscu zaznaczonym na Rys.1 strzałką. Widoczne skupisko wtrąceń niemetalicznych w pobliżu granicy spoiny ze ścianką. Próbką nietrawiona. Pow. 8x.**



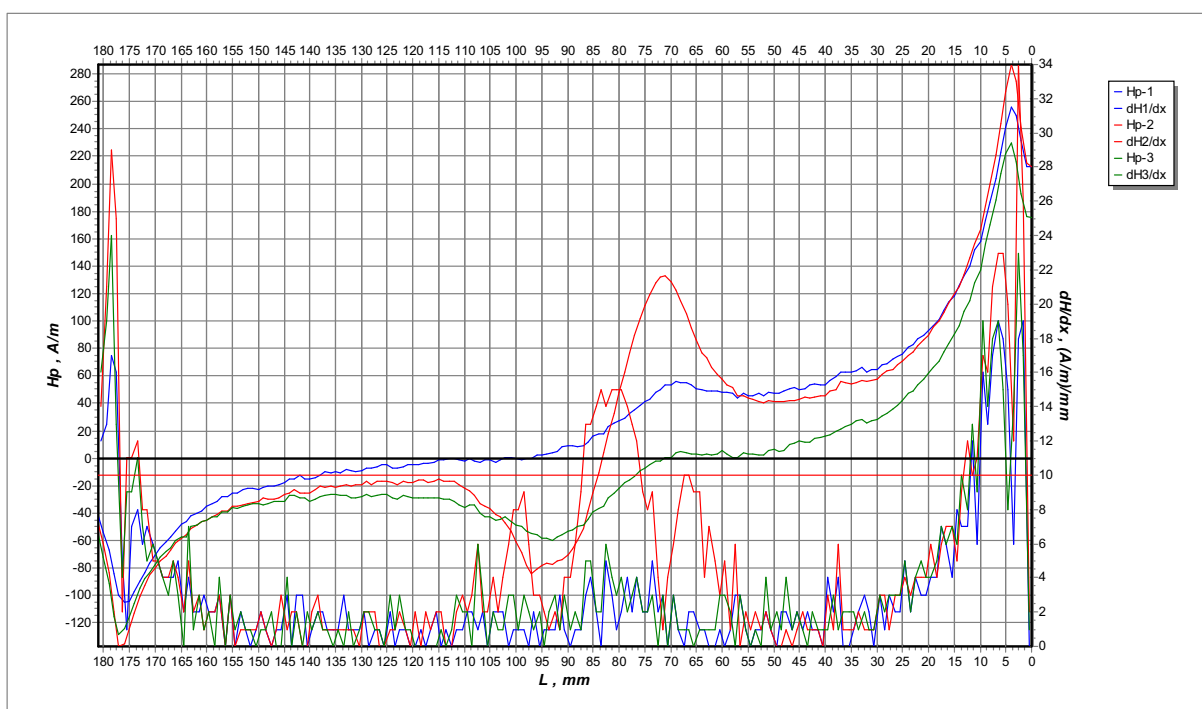
**Rys. 9. Skupisko wtrąceń niemetalicznych widoczne na przekroju poprzecznym spawanej ścianki wycinka, wykonanym w miejscu zaznaczonym strzałką widoczną na Rys.1. Pow. 24x.**

### **3. Badania metodą pamięci magnetycznej metalu**

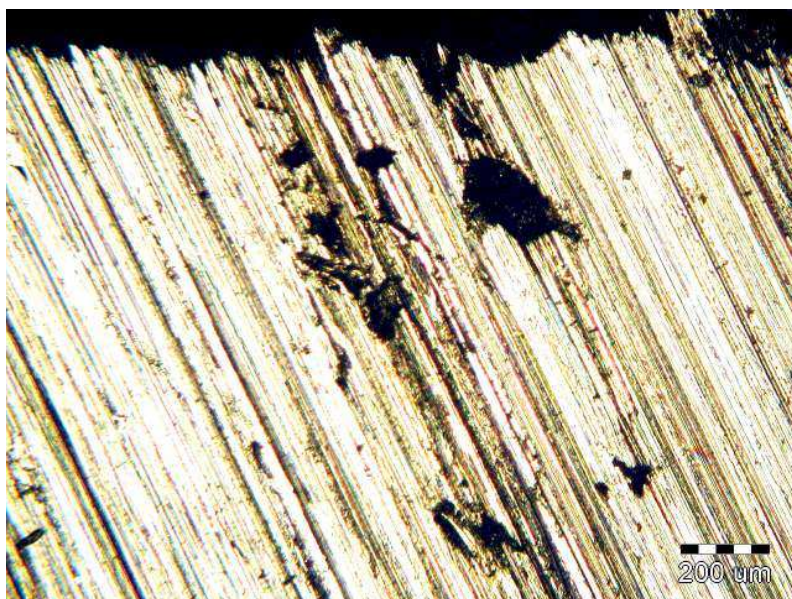
## Analiza rozkładu pola magnetycznego nad obszarem anomalii magnetycznej.



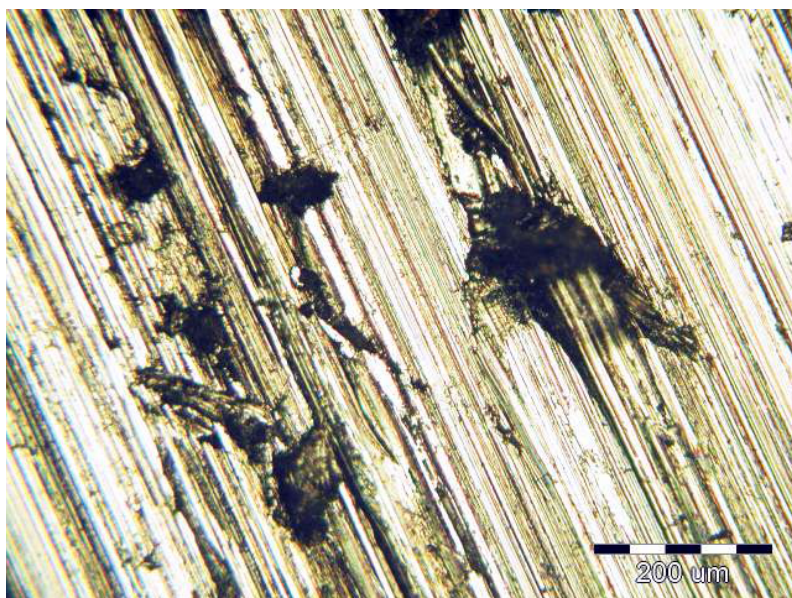
**Rys.10. Próbka przed wycięciem**



**Rys.11. Próbka po wycięciu**



Rys.12. Jak na Rys.9. Pow. 60 x



Rys.13. Jak na Rys.9. Pow. 120 x

#### 4. Wnioski

1. Badane połączenie spawane pochodziło z komory spalania silnika raketowego. Łączone części wykonane były z materiału zbliżonego do stali EJ 712. Stwierdzona anomalia magnetyczna (rys.1 i 10) w postaci „przejścia” przez „0” wartości wskazań czujników skanujących lico spoiny i strefę wpływu ciepła, przy zmianach od – 40 do +40 A/m i  $dH/dx$  rzędu 20(A/m)/mm uwidoczniła w badanym obszarze skupisko wtrąceń niemetalicznych, widocznych gołym okiem na przekroju poprzecznym spoiny (rys.8, 9, 12 i 13).



2. Przedstawiona w niniejszym opracowaniu Metoda Pamięci Magnetycznej Metalu jest bardzo czułym, skutecznym i nieniszczącym narzędziem diagnostycznym, pozwalającym na wykrywanie nawet niewielkich wad materiałowych. Z uwagi na jej dużą czułość i zależność od wielu czynników zewnętrznych, opracowanie wzorców wad jest mocno utrudnione. Z tego powodu szybkim, przeglądowym badaniom ww metodą winny towarzyszyć, w odniesieniu do określonych obszarów, badania ultradźwiękowe lub inne, nieniszczące, np. metody magnetyczne.
3. Niewątpliwą zaletą metody pamięci magnetycznej jest fakt identyfikacji i lokalizacji obszarów koncentracji naprężeń.

## **Literatura**

- [1] J.Deputat. „Podstawy metody magnetycznej pamięci metalu.” Dozór Techniczny nr 5;2002
- [2] A.Dubov. „Physical base of the method of metal magnetic memory.” Nondestructive Testing of Materials and Structures. 2002.
- [3] .Sprawozdanie nt. „Badania materiałowe wycinków materiałów konstrukcyjnych. P.W. Wydział Inżynierii Materiałowej. 2006.
- [4] Z.Łapiński; J.Korzeniowski; P.Oniszk. „Application of metal magnetic memory method for examination of welded joints.” Nondestructive Testing of Materials and Structures. 2002.