

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Nowoczesne pokrycia barierowe na krytyczne części silnika

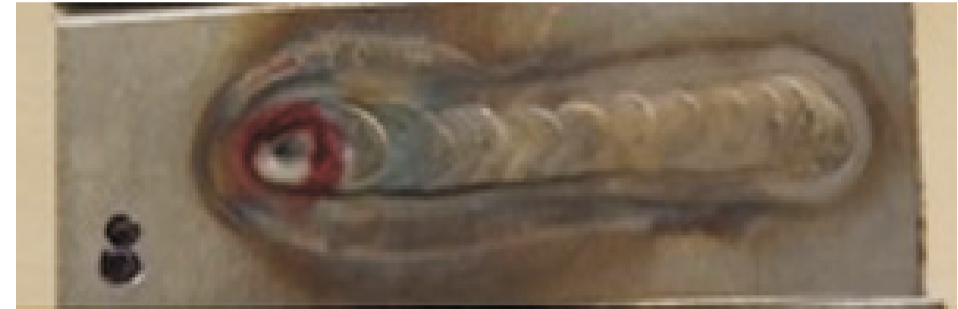
Modern barrier covers on critical engine parts

Uniwersytet Rzeszowski, Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska

Wyniki badań Results

Cel i zakres badań

Celem prowadzonych badań było wykrycie i zlokalizowanie nieciągłości materiałowych (defektów) w połączeniach spawanych i w warstwach napawanych za pomocą trzech metod badań nieniszczących tj. badań penetracyjnych (metoda fluorescencyjna), badań radiologicznych oraz badań termograficznych (metoda impulsowa). Badaniom zostały poddane następujące próbki napawane:



Rys. 1. Próbkę nr 8 (wykonana ze stopu Inconel 718); Fig. 1. Sample No. 8 (made of Inconel 718)



Rys. 2. Próbkę nr 19 (wykonana ze stali nierdzewnej 321); Fig. 2. Sample No. 19 (made of stainless steel 321)



Rys. 3. Próbkę nr 23 (wykonana ze stali nierdzewnej 410); Fig. 3. Sample No. 23 (made of stainless steel 410)

Wyniki badań metodą penetracyjną



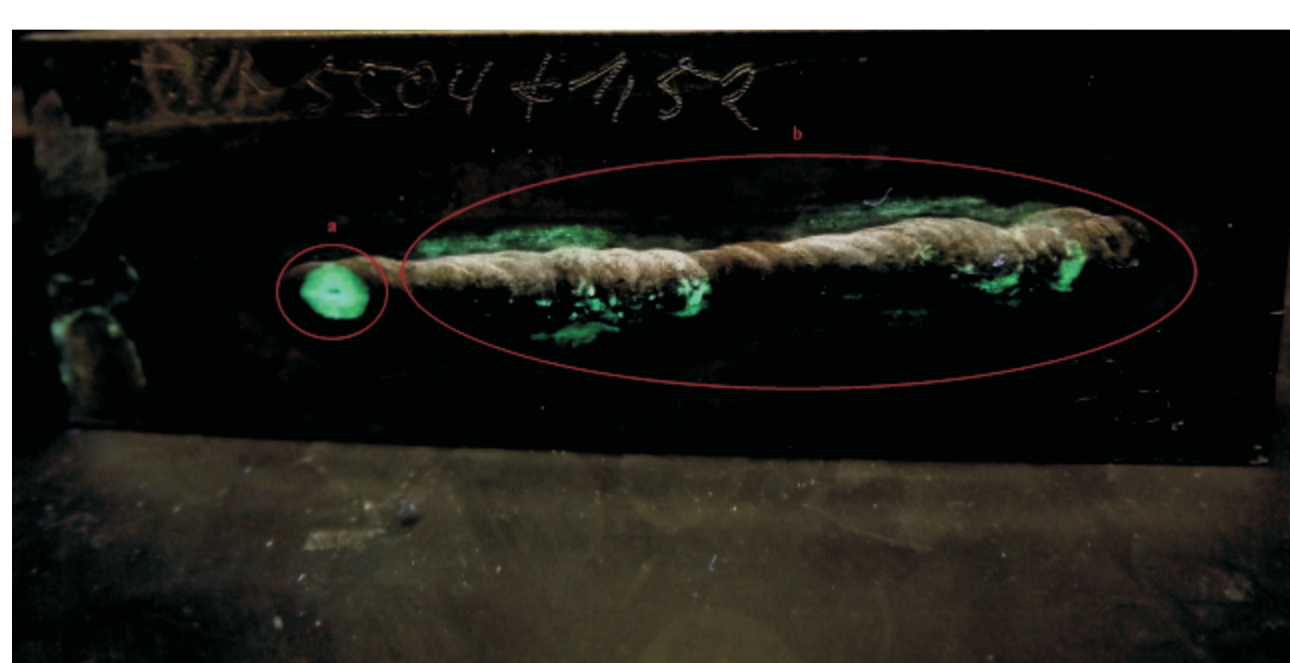
Rys. 4. Próbkę nr 8 z warstwą napawaną wykonaną ze stopu Inconel 718. Fig. 4. Welding layer sample no. 8 made of Inconel 718

Rysunek 4 przedstawia wyniki badania penetracyjnego uzyskanego na próbce nr 8, gdzie zauważono dwa obszary świecące: obszar „a” i obszar „b”. W miejscu „a” świecenie jest wyraźniejsze czego powodem może być głębsza nieciągłość, z której wydostała się większa ilość penetranta niż z nieciągłości „b”, gdzie świecenie ma charakter punktowy.



Rys. 5. Próbkę nr 19 z warstwą napawaną wykonaną ze stali nierdzewnej 321. Fig. 5. Welding layer sample no. 19 made of stainless steel 321

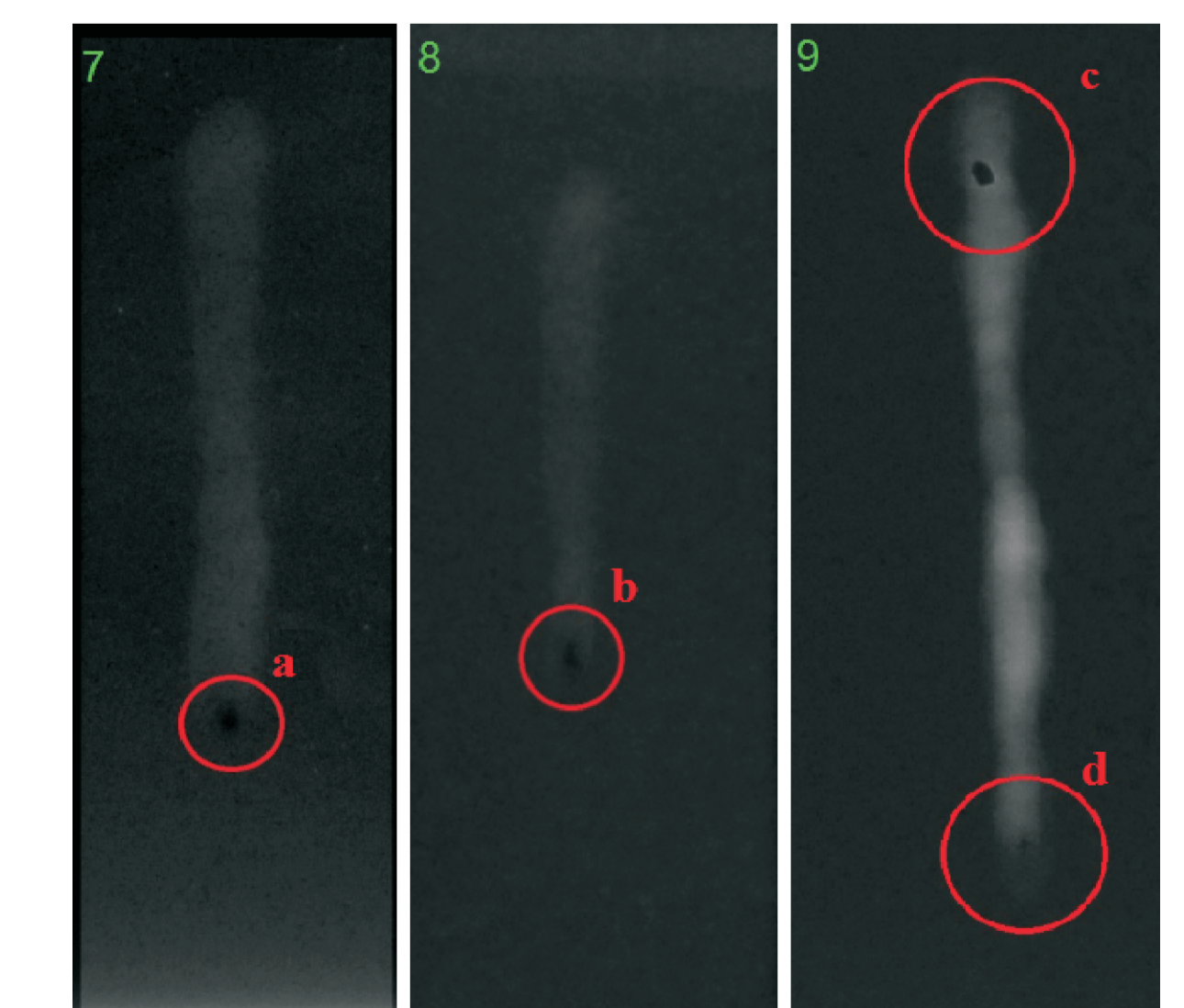
Próbka nr 19 przedstawiona na rysunku 5, jest przykładem płytki z kraterem na zakończeniu warstwy napawanej z lewej strony. Jasnofioletowy kolor świecenia pochodzi od zanieczyszczeń.



Rys. 6. Próbkę nr 23 z warstwą napawaną wykonaną ze stali nierdzewnej 410. Fig. 6. Welding layer sample no. 23 made of stainless steel 410

Na powierzchni warstwy napawanej na próbce 23, przedstawionej na rysunku 6, z lewej strony zaobserwowano krater o czym świadczy zielono-żółte świecenie o kształcie okrągłym (obszar oznaczony na rysunku literą „a”). Pozostałe miejsca świecące mają nieregularne kształty. Wynikają one z nierówności i chropowatości powierzchni.

Wyniki badań metodą radiograficzną



Rys. 7, 8, 9. Radiogramy próbek warstw napawanych z numerami 8, 19 oraz 23. Fig. 7, 8, 9. Radiographs of pad welding samples number 8, 19 and 23.

Na rysunkach 7, 8, 9 przedstawiono radiogramy próbek o numeracjach: 8, 19, 23. Analiza wyników, pozwoliła na zaobserwowanie następujących niezgodności:

- w próbce nr 8 obszar „a” wskazuje wystąpienie krateru wraz z pęknięciami wewnątrz nich (rozgałęziony kształt zaciemnień),
- w próbce nr 19 w obszarze „b” zaznaczonym na rysunku zauważono wystąpienie krateru, o czym świadczy ciemniejszy punkt na jaśniejszym tle warstwy,
- w próbce nr 23 w obszarze „d” wystąpił krater z pęknięciami wewnątrz niego, natomiast w obszarze „c” zarejestrowano pęcherz gazowy wewnątrz warstwy. Za pomocą tej metody udało się zaobserwować pora niewidocznego podczas badań metodą penetracyjną (wada ta należy do defektów wewnętrznych tzn. nie ma ujścia na powierzchnię).

Metodyka badań termograficznych

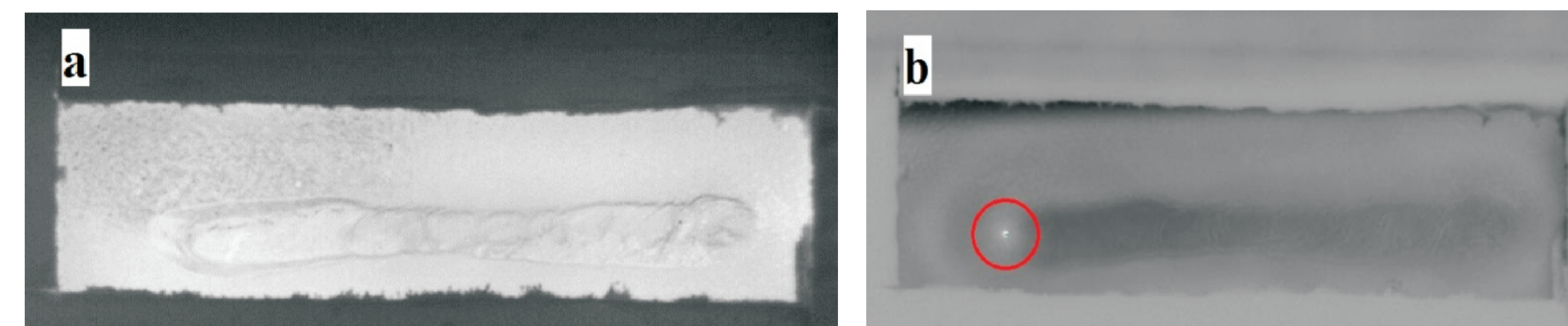
W celu wykrycia wad przy użyciu badań termograficznych zastosowano metodę impulsową (ang. pulsed thermography). Schemat pomiaru badania przedstawia rysunek 10. Impuls ciepła, o określonym czasie trwania (w tym przypadku 100 milisekund) wysyłany przez źródło pada na badany obiekt (próbka z wadą). Impuls nagrzewa materiał, a rozkład temperatury na powierzchni badanego obiektu rejestrowany jest przez detektor (kamera termowizyjna).



Rys. 10. Stanowisko badawcze do wykrywania nieciągłości metodą termograficzną. Fig. 10. Measuring installation for detecting discontinuities by thermographic method.

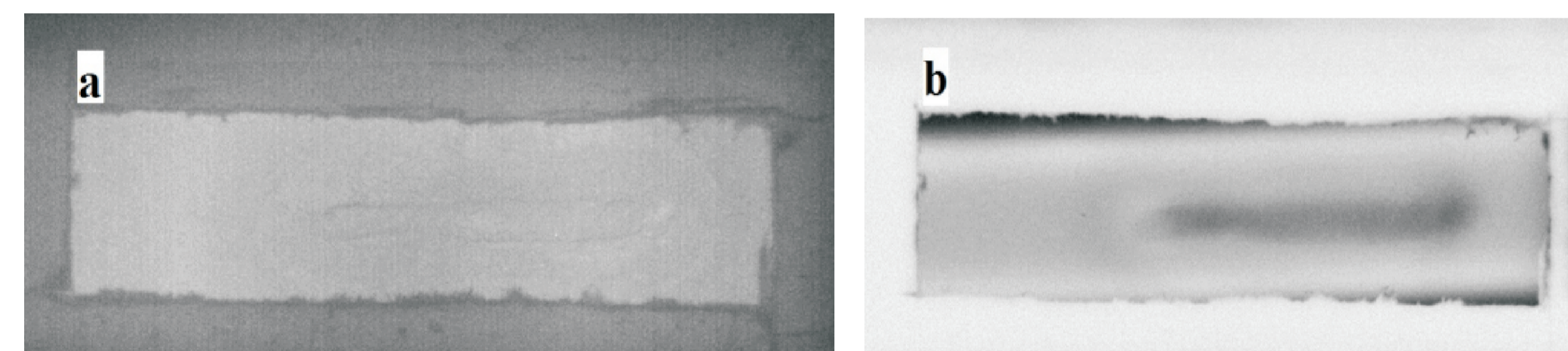
Wyniki badań termograficznych

Badaniom zostały poddane trzy próbki z warstwami napawanymi: próbka nr 8, próbka nr 19 i próbka nr 23. Defekty zarejestrowane metodą termograficzną oznaczono na zdjęciach czerwonym okręgiem.



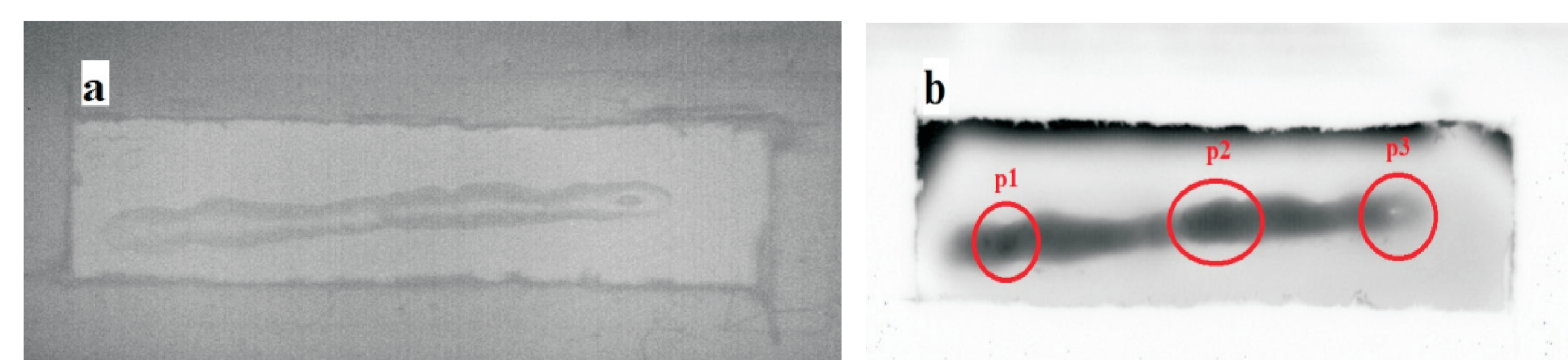
Rys. 11 a), b). Termogramy próbki nr 8 z napoiną; a- termogram bezpośrednio zarejestrowany kamerą termowizyjną, b- termogram uzyskany po obróbce matemat. w programie IrNDT. Fig. 11 a), b). Thermograms of welding layer sample no. 8, a-thermogram directly registered by thermal imaging camera, b - thermogram obtained after computer treatment in IrNDT program.

Rysunek 11 przedstawia termogram próbki nr 8, z warstwą napawaną, podczas rejestracji zmian temperatury na powierzchni próbki w trakcie przenikania impulsu ciepła w czasie 30 milisekund. Z obrazu termograficznego 11a, uzyskanego bezpośrednio kamerą termowizyjną, nie udało się jednoznacznie określić miejsc występowania defektów. Możliwe było jedynie zaobserwowanie nierówności powierzchni warstwy napawanej. Natomiast po analizie termogramu 11b, uzyskanego po obróbce matematycznej dokonanej w programie IrNDT, stwierdzono, iż w bardzo krótkim czasie (30 milisekunda) wysoka temperatura wystąpiła w obszarze oznaczonym czerwonym okręgiem. Powodem tego było wystąpienie w tym miejscu nieciągłości przelotowej. Porównując z wynikami radiologicznymi stwierdzono, że jest to miejsce pęknięcia występującego w kraterze.



Rys. 12 a), b). Termogramy próbki nr 19 z napoiną; a- termogram bezpośrednio zarejestrowany kamerą termowizyjną, b- termogram uzyskany po obróbce matemat. w programie IrNDT. Fig. 12 a), b). Thermograms of welding layer sample no. 19, a-thermogram directly registered by thermal imaging camera, b - thermogram obtained after computer treatment in IrNDT program.

Obraz termograficzny przedstawiony na rysunku 12a, uzyskany bezpośrednio kamerą termowizyjną, nie wnosi informacji dotyczących defektów występujących w napoinie. Stwierdzono jedynie, że powierzchnia warstwy napawanej pozbawiona jest nierówności. Na termogramie zobrazowanym na rysunku 12b nie zlokalizowano defektu, który według wyników badań radiologicznych powinien pojawić się na zakończeniu napoiny z prawej strony. Termogram 12a i termogram 12b zarejestrowano w 50 milisekundzie rozchodzenia się impulsu cieplnego.



Rys. 13 a), b). Termogramy próbki nr 23 z napoiną; a- termogram bezpośrednio zarejestrowany kamerą termowizyjną, b- termogram uzyskany po obróbce matemat. w programie IrNDT. Fig. 13 a), b). Thermograms of welding layer sample no. 23, a-thermogram directly registered by thermal imaging camera, b - thermogram obtained after computer treatment in IrNDT program.

Rysunek 13 przedstawia termogramy próbki nr 23 uzyskane podczas 70 milisekund nagrzewania próbki impulsem ciepła. Termogram zamieszczony na rysunku 13a ukazuje wgłębienie na zakończeniu powierzchni warstwy napawanej z prawej strony. Na rysunku 13b przedstawiono obraz termograficzny po obróbce matematycznej dokonanej w programie IrNDT. Rozkład temperatury wyraźnie wskazuje występowanie defektów w napoinie.

Podczas obserwacji zarejestrowano następujące obszary występowania wad:

· Obszar „p1” to miejsce zimniejsze na napoinie (ciemniejszy stopień szarości), w którym temperatura była niższa niż w obszarze „p3”. Zauważono kontur defektu o charakterze kołowym. Po porównaniu wyników termograficznych z wynikami badań radiologicznych próbki nr 23 stwierdzono, że w miejscu „p1” znajdował się pęcherz wypełniony powietrzem. Powietrze znajdujące się wewnątrz pęcherza izolowało przejście impulsu cieplnego, stąd niższa temperatura w tym miejscu.

· Obszar „p2” to również miejsce, w którym temperatura była niższa niż temperatura w miejscu „p3”. Jest to rozległy obszar o ciemniejszym stopniu szarości. Po dokonaniu wizualnych obserwacji próbki oraz powierzchni napoiny, zaobserwowano, iż warstwa napawana w miejscu „p2” miała większą grubość niż w miejscu „p1”, dlatego materiał w tym miejscu wolniej ulegał nagrzewaniu.

· Obszar „p3” jest miejscem, wystąpienia wysokiej temperatury w porównaniu z obszarami „p1” i „p2”. Stwierdzono, że grubość napoiny w obszarze „p3” musiała być mniejsza z powodu obecności defektu. Impuls cieplny szybciej nagrzwał materiał w tym miejscu stąd wyższa temperatura (jaśniejszy stopień szarości).

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

Przedstawiony cykl badań termograficznych wykonany został na napawanych próbkach, wykonanych z następujących materiałów: Inconel 718, stal nierdzewna 410 oraz stal nierdzewna 321. Próbkę spawów zostały wykonane na WSK „PZL Rzeszów”. Przedstawiona metoda kontroli defektów jest wynikiem współpracy Uniwersytetu Rzeszowskiego i WSK „PZL Rzeszów”.

Thermography measurement was performed on the welding samples made of materials such as: Inconel 718, stainless steel 410 and stainless steel 321. Welding samples were made in WSK "PZL-Rzeszów". The presented method of control defects is the result of co-operation the University of Rzeszow and WSK "PZL-Rzeszow".

Wnioski Conclusions

1. Stosowane badania radiograficzne i penetracyjne (fluorescencyjne) pozwoliły na wykrycie defektów znajdujących się wewnątrz badanych próbek oraz potwierdzić lokalizację wad wykrytych na powierzchni złączy spawanych i warstw napawanych.
2. Za pomocą termogramów, będących wynikami badań termograficznych, udaje się zlokalizować defekty oraz określić ich rodzaj
3. Przy odpowiednim opracowaniu metoda termograficzna może zastąpić dwie powyższe metody: penetracyjną oraz radiograficzną
4. Stosowanie termografii, opartej na detekcji promieniowania podczerwonego, do wykrywania defektów jest dziedziną stosunkowo nową, dającą nowe możliwości rozwoju oraz kontroli połączeń spawanych, napoin, zgrzewów oraz innych konstrukcji lotniczych w celu eliminacji wadliwych wyrobów.

- 1 The radiographic and fluorescent method allow to detect the defects inside the tested samples as well as to determine the location of defects detected on the surface of the welded joints and the welding layers.
- 2 Thermograms, which are results of the thermographic measurement enable us to determine the localization defects as well as determine kind of defects.
- 3 The thermographic method can replace two above mention methods (fluorescent and radiographic) after corresponding working.
- 4 Thermography measurement, based on the detection of infrared radiation, is a method, giving new opportunities for elaborating the control of the welded joint quality. This method can be used to controlling details of the aircraft industry.

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

Zaproponowana metoda termograficzna kontroli jakości spawów może być zastosowana w przemyśle lotniczym jako metoda NDT przy wykrywaniu defektów oraz nieciągłości spawów. Metoda ta może być zastosowana również do analizy jakości połączeń zgrzewanych w poszyciach lotniczych.

Thermographic method inspection quality of welds can be used in the aerospace industry as NDT method for detecting defects and discontinuities. This method can also be used for analysis quality of welded joints in aircraft construction.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referat

1. K. Maś, M. Woźny, M. Marchewka, D. Ploch and E.M. Sheregii, **Thermal Stresses for Turbine Blades calculated on base of measured Temperature Distributions**, 8th International Conference "Supply on the Wings", Frankfurt/Main, Germany, November 5-7, 2013

Planowane tematy wystąpień na konferencjach w 2014r.

1. Thermal stresses of the blades with and without TBC based on temperature distributions using thermal imaging camera.
2. The infrared analysis of the defects between joined part materials by TIG welding based on thermal imaging camera and FEM calculations are analyzed.
3. Thermographic detection of surface incorporate hidden defects using a hot air scanning nozzle system.

Prace mgr, dr, hab.

prace inżynierskie:

- Syty Piotr - **Mikroskopia AFM jako instrument badania topologii nanostrukturyzowanych stopów metalicznych.**
Promotor: prof. dr hab. Eugeniusz Szeregij
- Pieczykolan Wioletta - **Rozkład termoprężności określany na podstawie rozkładu temperatury w strukturach z barierami (pokrycia ochronne).**
Promotor: prof. dr hab. Eugeniusz Szeregij
- Ciszek Maria - **Rozkład temperatury w strukturach z barierami (pokrycia ochronne) określone metodą termografii.**
Promotor: prof. dr hab. Eugeniusz Szeregij

Zgłoszenie patentowe

K. Maś, M. Woźny, S. Prochorenko, Kataryna Kashpor, Eugeniusz Szeregij, **Sposób bezdotykowej kontroli jednorodności ochronnych powłok powierzchniowych**, nr P. 403346