

ANALIZA SYGNAŁU ŚWIETLNEGO ODBITEGO OD POWIERZCHNI W DIAGNOSTYCE OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Mariusz BOGDAN*, Józef BŁACHNIO**

*Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, Katedra Automatyki i Robotyki
ul. Wiejska 45c, 15-351 Białystok, marbog@pb.edu.pl

**Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, Katedra Automatyki i Robotyki
ul. Wiejska 45c, 15-351 Białystok

Streszczenie

W artykule przedstawiono warunki badań dotyczące oddziaływania obciążeń cieplnych o wysokiej temperaturze na próbki ze stali 2H13. Starano się powiązać temperaturę wygrzewania (zmianę barwy badanych powierzchni) ze zmianami mikrostruktury warstwy wierzchniej badanych próbek. Zatem z punktu widzenia diagnostyki obiektów technicznych, w sposób bezinwazyjny starano się uzyskać ważną informację diagnostyczną, która w praktyce może posłużyć do oceny zmian mikrostruktury lub też stanu przegrzania materiału w eksploatacji elementów maszyn.

Słowa kluczowe: łopátka turbiny gazowej, rozkład widmowy RGB, stali 2H13, akwizycja obrazów, przegrzanie struktury.

ANALYSIS OF LIGHT SIGNAL REFLECTED OF A SURFACE IN TECHNICAL SYSTEM DIAGNOSTICS

Summary

In this article, main emphasis was put on determining the influence of high temperature on steel 2H13 samples. Attempted was linking the high temperature of heating with change of tested surface color and changes in microstructure of sample's surface layer. In terms of technical system diagnostics, in a non-invasive manner obtaining important diagnostic information was attempted, which in practice can be used for evaluation of microstructure changes as well as the state of overheating in machine elements operation.

Keywords: gas turbine scoop, RGB spectrum distribution, steel 2H13, canvassing and image analysis, structure overheating.

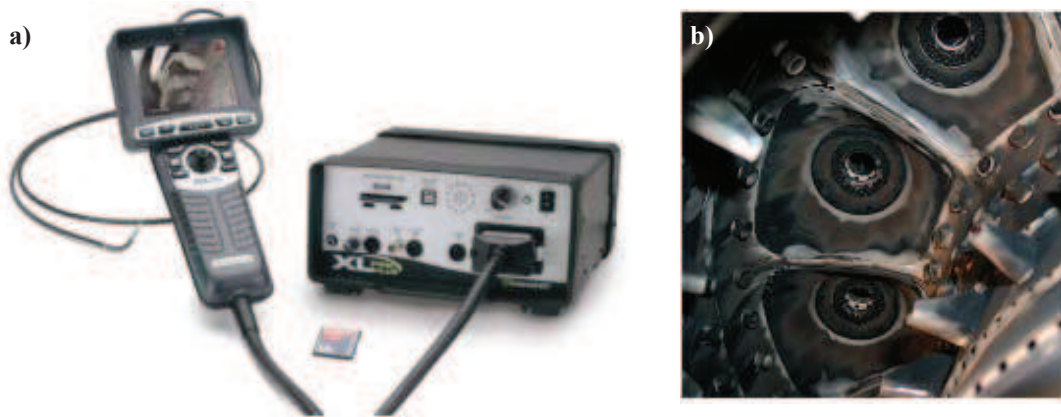
1. ISTOTA PODJĘTEGO PROBLEMU DIAGNOSTYCZNEGO

Badania diagnostyczne, w dużym uogólnieniu, mają na celu określenie (weryfikację) stanu technicznego badanego obiektu. W przypadku złożonych systemów (struktur) diagnostyka odgrywa znaczącą rolę w ocenie rzeczywistego czasu bezawaryjnej pracy. Bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na parametry eksploatacyjne są zmiennie-skrajne warunki pracy poszczególnych elementów i podzespołów obiektów technicznych. To one w głównej mierze przyczyniają się do zużycia poszczególnych elementów i podzespołów obiektów technicznych. Zwiększenie niezawodności, określane mianem trwałości eksploatacyjnej lub żywotności, zależy od wielu czynników ale podstawowym jest kryterium materiałowe [1][2].

W procesie eksploatacji silników turbinowych tak lotniczych, trakcyjnych jak i morskich występują

różnego rodzaju uszkodzenia ich zespołów turbinowych. Najczęstszymi przypadkami uszkodzeń są przegrzania materiału, a także zmęczenie cieplne łopatek aparatu dyszowego jak i wirnika. Uszkodzenia tego typu prowadzą do wadliwej pracy silnika, a niekiedy jak w przypadku silników lotniczych do tragicznego w skutkach wypadku. Usunięcie tego typu uszkodzeń zawsze realizowane jest przez naprawę główną silnika, co skutkuje ogromnymi kosztami, w lotnictwie rzędu 5-10 mln zł w zależności od typu silnika. Zatem koszty naprawy głównej silnika w porównaniu z wartością np. łopátki wirnika turbiny są od 500-1000 razy wyższe.

Decyzję o konieczności naprawy silnika podejmuje diagnosta, który posługując się metodą wizualną mając do dyspozycji np. wideoskop (rys. 1) może diagnozować stan elementów trudnodostępnych silnika w tym również turbiny.



Rys. 1. a) wideoskop przemysłowy [3], b) komora spalania silnika odrzutowego na ekranie wideoskopu [4]

Ocenę stanu dokonuje się na podstawie zarejestrowanego obrazu powierzchni diagnozowanego elementu i porównanie tego obrazu z wzorcowymi obrazami powierzchni zdalnych i niezdatnych analogicznych elementów np. łopatek turbiny tabela 1.

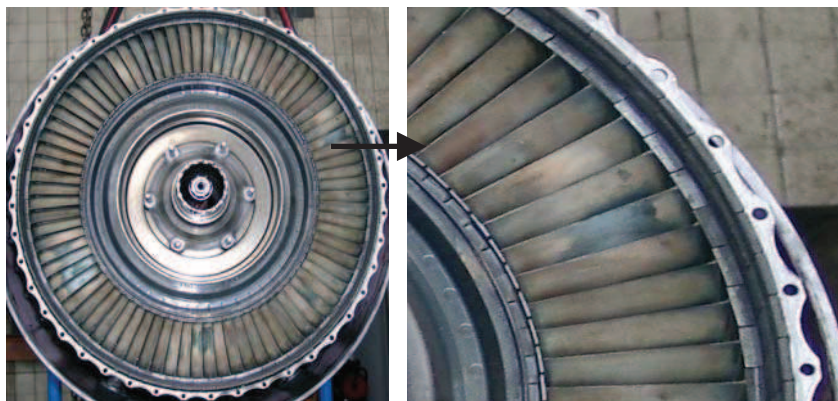
Takie kryteria oceny stanu są bardzo subiektywne gdyż zależą od wiedzy i stanu wzroku diagnosty. Weryfikację decyzji diagnosty realizuje się metodą niszczącą. Badany element poddawany jest analizie mikrostruktury na zglądzie metalograficznym. Pomyłki subiektywnej oceny diagnosty prowadzić mogą do uznania przegrzanej łopatki za zdaną lub nieprzegrzanej za niezdatną.

Wynikiem tego w pierwszym przypadku dochodzi w krótkim czasie pracy silnika do wypadku lotniczego, w drugim przypadku zaś do niepotrzebnych kosztów naprawy głównej silnika.

W dalszym ciągu brakuje obiektywnych kryteriów umożliwiających jednoznaczną ocenę stopnia przegrzania materiału łopatek. W przypadku przedstawionym na rys. 2 nie można jednoznacznie ocenić czy powierzchnia chociażby jednej z przedstawionych łopatek wykazuje przegrzanie materiału, a już w ogóle według dotychczasowych kryteriów nie można się wypowiedzieć o stopniu

Tabela 1. Kolory warstwy tlenków i odpowiadające im temperatury na przelomie łopatki w przypadku chłodzenia na powietrzu [5]

Temperatura w °C	Kolor warstwy tlenków na przelomie łopatki
400	jasno szary
500	jasno szary ze słabym żółtym kolorem
600	jasno żółty
650	żółty, ciemno żółty
700	żółto brązowy
750	żółto brązowy z odcieniem fioletowym
800	ciemno fioletowy
850	błękitny, granatowy



Rys. 2. Silnik turbinowy z uwidocznionymi zmianami barwy na powierzchniach łopatek [4]

przegrzania. Jak dotąd nie opracowano nieniszczącej metody badań stopnia przegrzania materiału łopatek opartej na obiektywnych kryteriach [5].

W związku z powyższym istnieje konieczność opracowania nieniszczącej metody obiektywnej oceny stopnia przegrzania materiału łopatek turbiny, zapewniającej odpowiednią wiarygodność rozumianą jako odpowiednią czułość wykrywania zmian struktury materiału oraz niezawodność zapewniającą minimalny błąd diagnozowania.

2. METODY ANALIZY SYGNAŁÓW ŚWIETLNYCH ODBITYCH OD POWIERZCHNI OBIEKTU METALOWEGO

Ludzkie oko postrzega mały wycinek widma elektromagnetycznego, jednak mimo to jest w stanie rozróżnić całą tęczę barw (kolory w zakresie od 400 do 700 nanometrów, od fioletu do głębokiej czerwieni). Światło padające zostaje reemitowane z powierzchni dzięki czemu możemy obserwować i rozróżniać kształty i barwy badanych powierzchni obiektów metalowych [6][7]. Współczesny rozwój techniki akwizycji obrazów zarówno monochromatycznych jak i kolorowych umożliwia coraz to szersze i prostsze wykorzystywanie informacji zawartych w rejestrowanych obrazach w szeroko pojętej diagnostyce. Istotnym zagadnieniem z punktu widzenia diagnosty w wielu przypadkach jest prawidłowa ocena barwy [8][9][10]. Jest ona często wykorzystywana w wielu procedurach diagnostycznych w takich obszarach jak przemysł: spożywczy, włókienniczy, chemiczny, czy też lotnictwo. Decyzja podejmowana jest na podstawie porównania barwy wzorca z zarejestrowanymi obrazami. W pracy [8] zaproponowano budowę systemu doradczego wspomagającego zobiektywizowanie oceny barwy, jako metody służącej do określenia produktów naftowych na korozję metali. Zaproponowany system wykorzystuje metody logiki rozmytej w celu oceny i klasyfikacji barw [9][10]. Autor przedstawia także metody wyliczenia funkcji przynależności analizowanego punktu obrazu barwnego do określenia barwy (obszaru) z przyjętą klasyfikacją barw opartą na trójkącie chromatyczności CIE.

Na potrzeby współczesnej diagnostyki w coraz to w większym stopniu wykorzystuje się scalone analizatory obrazu (matryce obrazowe) do różnych technik rejestracji i analizy obrazów w aspekcie pozyskiwania informacji ilościowej i jakościowej o badanych stanach i zjawiskach odwzorowanych za pomocą obrazów. Do tych metod wspomagających należy w szczególności zaliczyć morfologiczne metody przekształcenia obrazu. Są one jednymi z najważniejszych operacji w komputerowej analizie obrazu ponieważ są punktem wyjściowym do tworzenia bardziej złożonych operacji, związanych z analizą kształtu obiektów i ich wzajemnego rozmieszczenia [12].

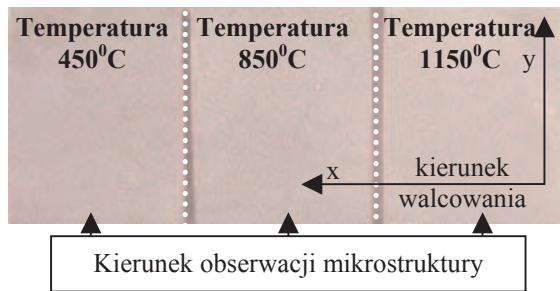
Charakterystyczną grupę stanowią obrazy o jednolitej strukturze nazywane potocznie teksturami. Mają one duże znaczenie w wielu dziedzinach nauki i techniki jak choćby: metalografia, krystalografia i tribologia (obrazy powierzchni trących i cząstek zużyciowych) [13]. Ekstrakcja ich cech (np. parametrów statystycznych, parametrów Haralick'a) pozwala klasyfikować je i na ich podstawie wnioskować o cechach materiałów, obiektów i procesów odwzorowanych obrazami teksturowymi [14].

Interesującą nieniszczącą metodą oceny (diagnozowania) stanu niewirujących łopatek wirnikowych jest metoda wykorzystująca technikę laserową. Promieniowanie laserowe charakteryzuje się wysoką spójnością, monochromatycznością i kierunkowością rozchodzenia się wiązki („źródło światła” - wielka koncentracja energii w wiązce o małej rozbieżności). W badaniach wykorzystuje się przedstawione powyżej własności jako parametry opisujące źródło promieniowania, w dużym uproszczeniu bada się różnice pomiędzy promieniowaniem padającym (energiją źródła) a promieniowaniem odbitym (strata energii wywołana pewnym rozproszeniem wiązki na badanej powierzchni). Przy czym należy wspomnieć, że różne typy laserów emitują promieniowanie o określonej spójności (mniejszej lub większej) ponad to, o zróżnicowanych parametrach wiązek (długości fal i energii). Badania diagnostyczne z zastosowaniem techniki laserowej pozwalają na zobrazowanie pól przemieszczeń i deformacji przy różnych wymuszeniach statycznych, jak i dynamicznych. Pomiar deformacji łopatek przy wymuszeniu statycznym pozwalają oszacować wady łopatek w postaci pęknięć łopatek na krawędziach (kilkumilimetrowych). Natomiast badania przy wymuszeniu dynamicznym pozwalają uzyskać interferogramy dla określenia postaci drgań łopatek przy różnych częstotliwościach rezonansowych, co stanowi źródło informacji o dynamice łopatki, a zatem o jej własnościach mechanicznych, stanie konstrukcyjnym itp. [15].

3. OPIS EKSPERYMENTU

3.1. Opis próbek wykorzystywanych w doświadczeniu

Eksperyment badawczy przeprowadzono z wykorzystaniem trzech próbek wykonanych ze stali 2H13 (rys. 3). Próbkę wycięto wzdłuż wyrobu hutniczego i powierzchnię szlifowano w kierunku wzdłużnym z chłodzeniem w celu uniknięcia przypaleń szlifierskich. Dodatkowo w celu zwiększenia parametrów eksploatacyjnych badanego materiału jego warstwa wierzchnia została poddana technologii kulowania.



Rys. 3. Schemat próbek ze stali 2H13; x - kierunek walcowania, y - kierunek obserwacji mikrostruktury

3.2 Metodyka akwizycji obrazów – rejestracji luminacji (jasności) i chrominancji (barwy) powierzchni badanych próbek

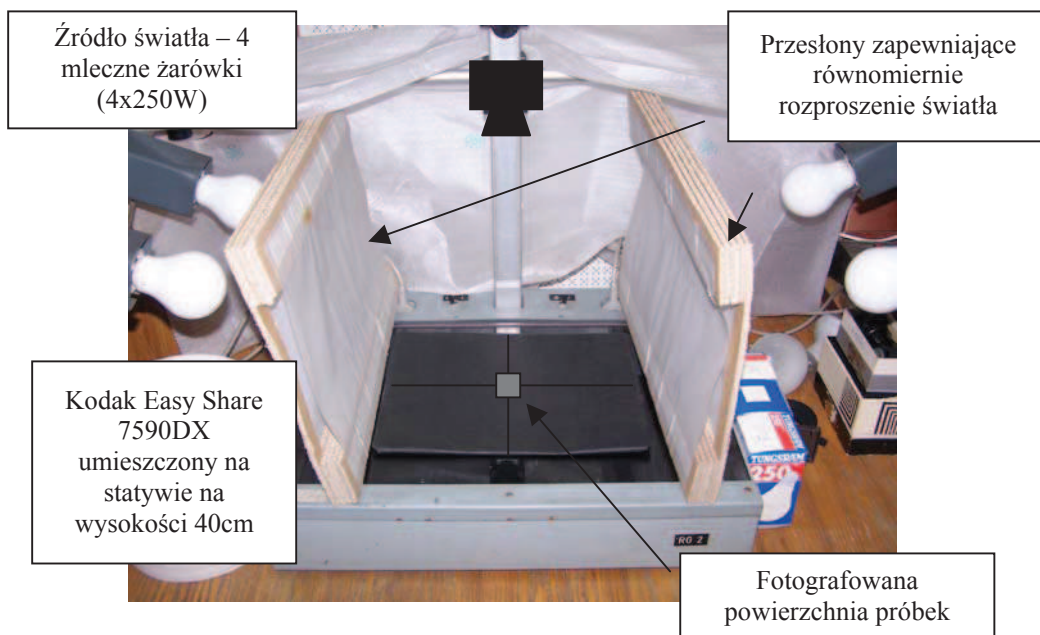
Barwa i natężenie to cechy światła – promieniowania widzialnego (część widma elektromagnetycznego), które są rejestrowane przez nasz zmysł wzroku. W przypadku aparatu cyfrowego rolę „narządu wzroku” pełni wbudowana optyka skupiająca promienie świetlne oraz elektronika będąca światłoczułym sensorem. Obraz znajdujący się przed obiektywem aparatem zostaje odwzorowany na powierzchni matrycy zaopatrzonej w detektory wyposażone w trój kolorowe filtry RGB (trzy główne składowe barwy, kolor czerwony – R, zielony - G i niebieski - B) – umożliwia to detekcję określonych barw. W dużym uproszczeniu, pozyskana informacja o intensywności rozkładu barw w przypadku obrazów kolorowych lub odcieni szarości w przypadku obrazów monochromatycznych jest zapisywana na nośnik pamięci w postaci punktów zwanych pikselami które tworzą obraz [7].

Współczesne metody analizy obrazów znalazły szerokie zastosowanie w szeroko pojętej diagnostyce technicznej [8][9][10][13][15]. Do podstawowych zalet tego typu diagnozowania należy wymienić bezinwazyjną metodę pozyskiwania informacji o stanie technicznym danego obiektu.

Obraz w naszym przypadku opisuje stan danej powierzchni - warstwy wierzchniej. Postrzeganej jako luminację (jasność) i chrominancję (barwę) docierającą do urządzenia rejestrującego – aparatu fotograficznego i sposobie zapisu tego zjawiska jako reprezentacji danych w postaci „cyfrowego obrazu”.

Zdjęć powierzchni próbek dokonano przed i po wygrzaniu ich w piecu. Rejestrację realizowano na stanowisku badawczym - rys. 4 za pomocą aparatu cyfrowego Kodak Easy Share 7590DX. Powtarzalność otrzymywanych wyników zapewniono poprzez fotografię próbek w tych samych warunkach przy manualnym ustawieniu wartości parametrów cyfrowego aparatu fotograficznego. Zapewniono, także równomierne odbicie światła od powierzchni metalu poprzez zastosowanie przesłon dzięki czemu fotografowana powierzchnia próbek pozbawiona została odbić światła powodującego prześwietlenie uzyskanych obrazów. Identyczne warunki fotografowania pozwalają na porównanie zmian wywołanych oddziaływaniem określonej temperatury na barwę powierzchni.

Formatem zapisu zdjęć był format JPEG, dostosowany do potrzeb kompresji obrazu bazujący na standardach Exif 2.2. W celu zachowania jak największej ilości informacji o rejestrowanym obrazie kompresję ustawiono na poziomie najniższym z możliwych.

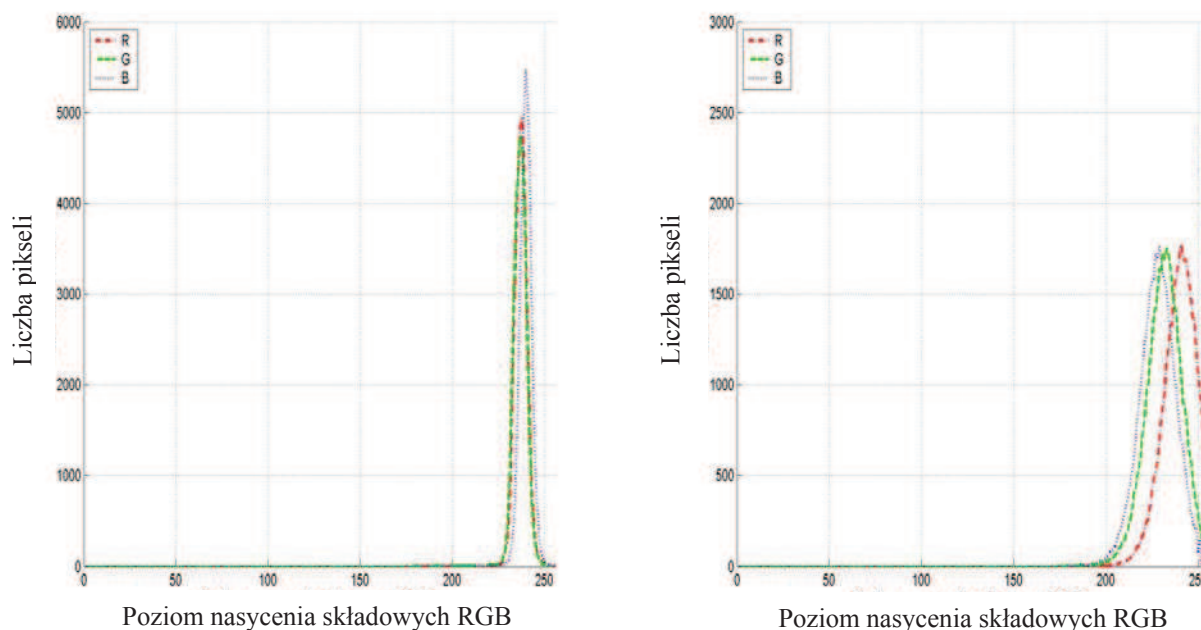


Rys. 4. Stanowisko do akwizycji obrazów powierzchni obiektów badanych (próbek)

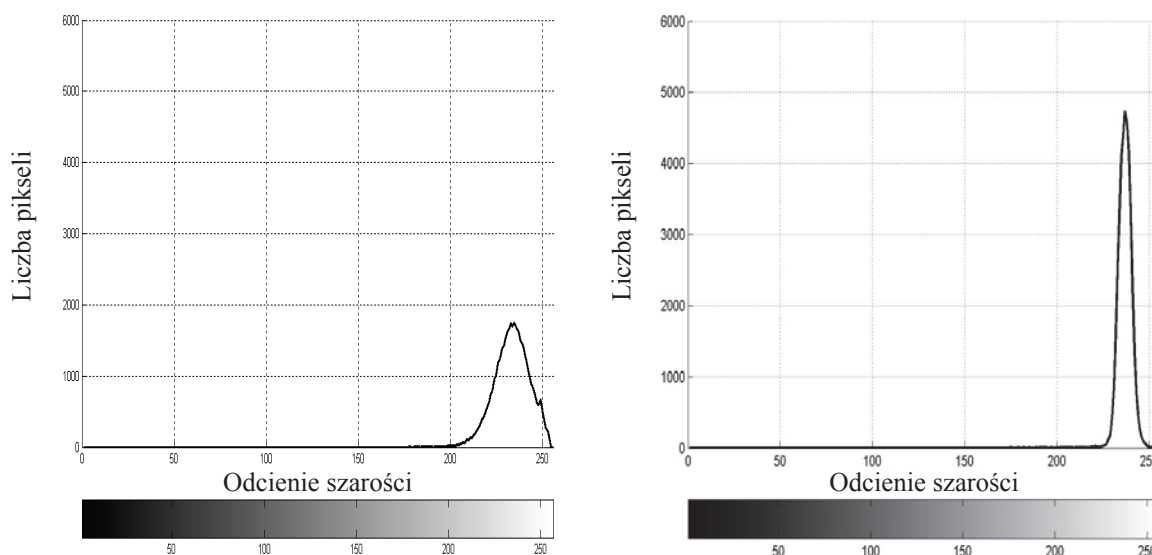
4. WYNIKI ANALIZY OBRAZÓW POWIERZCHNI PRÓBEK

W wyniku wygrzewania próbek w piecu zaobserwowano zmianę barw ich powierzchni. Z czterech fotografii powierzchni próbek ze stali 2H13 wykonanych przed i po wygrzaniu wyodrębniono obszary zainteresowania (Region of Interest - ROI) z 24 bitową głębokością koloru o wielkości 200x200 pikseli. W celu ustalenia

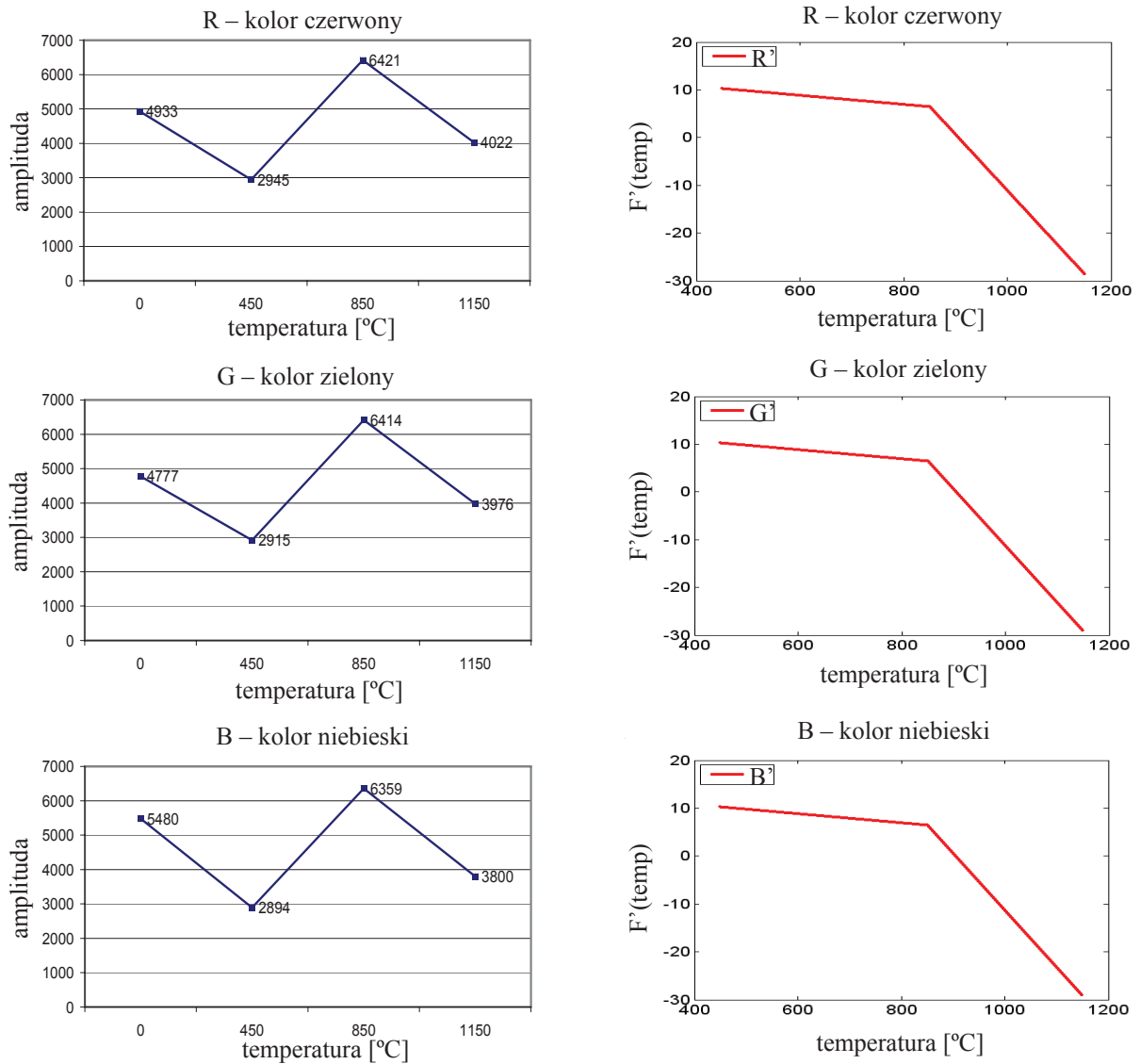
parametrów umożliwiających opisanie stopnia przegrzania badanych powierzchni, posłużono się analizą obrazu w zakresie rozkładu barw podstawowych tzn. czerwonej (Red), zielonej (Green) i niebieskiej (Blue) - RGB (rys. 5, 7, 9) oraz od stopnia szarości (rys. 6, 8) poszczególnych powierzchni (parametry statystyczne pierwszego rzędu - składowe RGB, odcienie szarości - opis parametryczny histogramów).



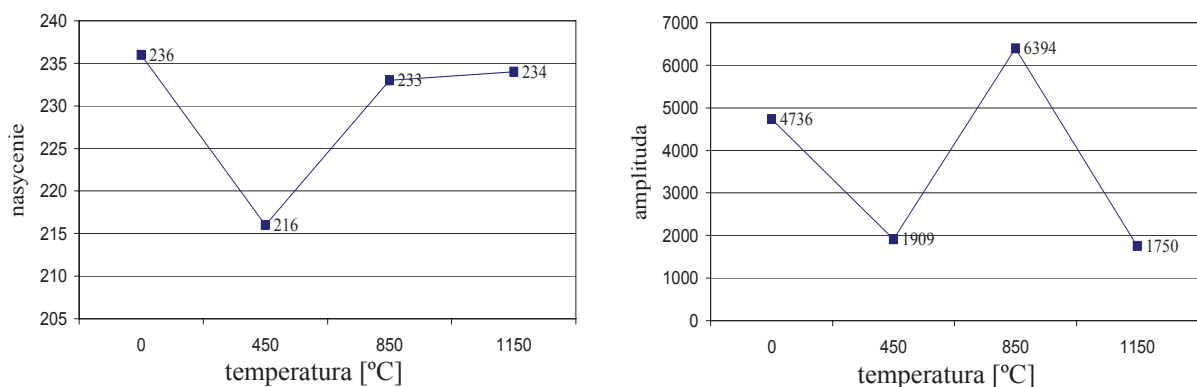
Rys. 5. Poziom nasycenia składowych RGB obrazu powierzchni próbki ze stali 2H13
a) przed piecem; b) po wygrzewaniu w temperaturze 1150°C



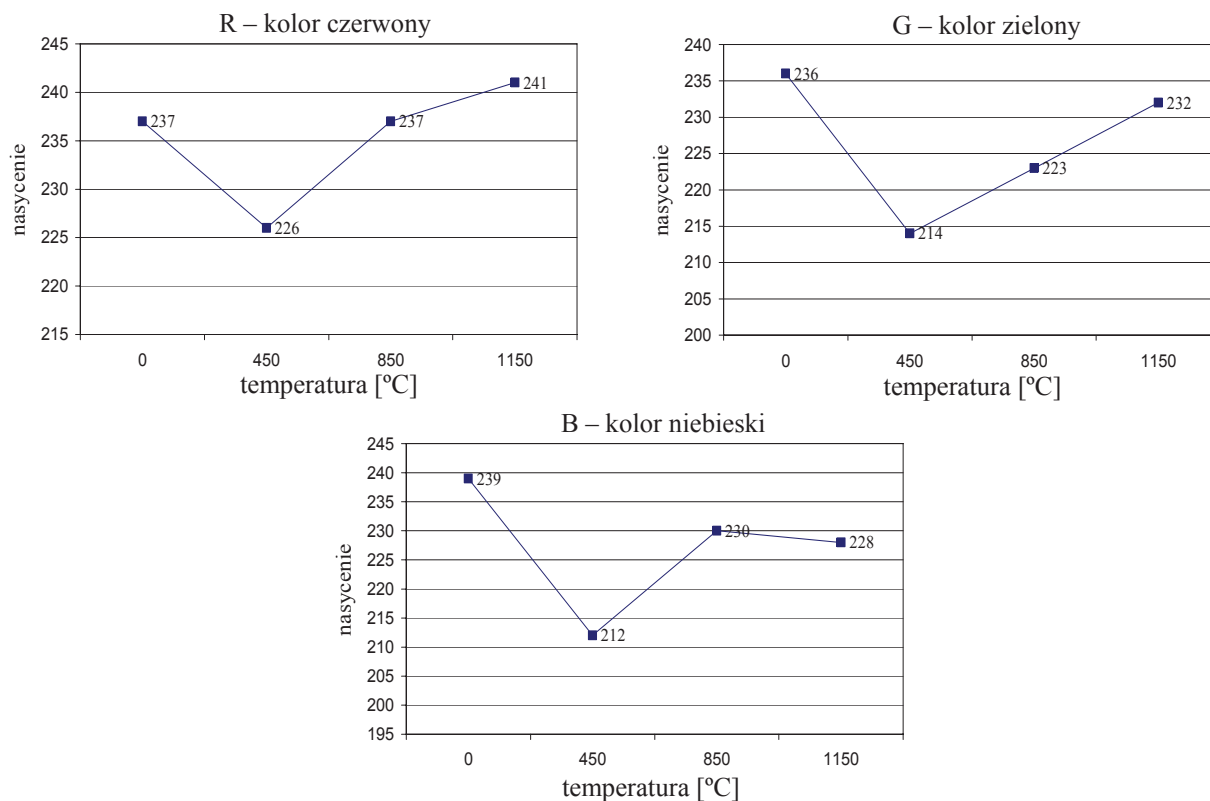
Rys. 6. Odcienie szarości obrazu monochromatycznego obrazu powierzchni próbki ze stali 2H13 a) przed piecem; b) po wygrzewaniu w temp. 1150°C



Rys. 7. Zmiany wartości maksymalnej amplitudy (ilość pikseli) nasycenia obrazu składowymi RGB dla różnych temperatur wygrzewania próbek oraz pochodna liczona w punktach temperaturowych



Rys. 8. Odcienie szarości w obrazie monochromatycznym w zależności od temperatury wygrzewania: a) wartość maksymalnej amplitudy, b) wartość nasycenia (odcienie szarości)

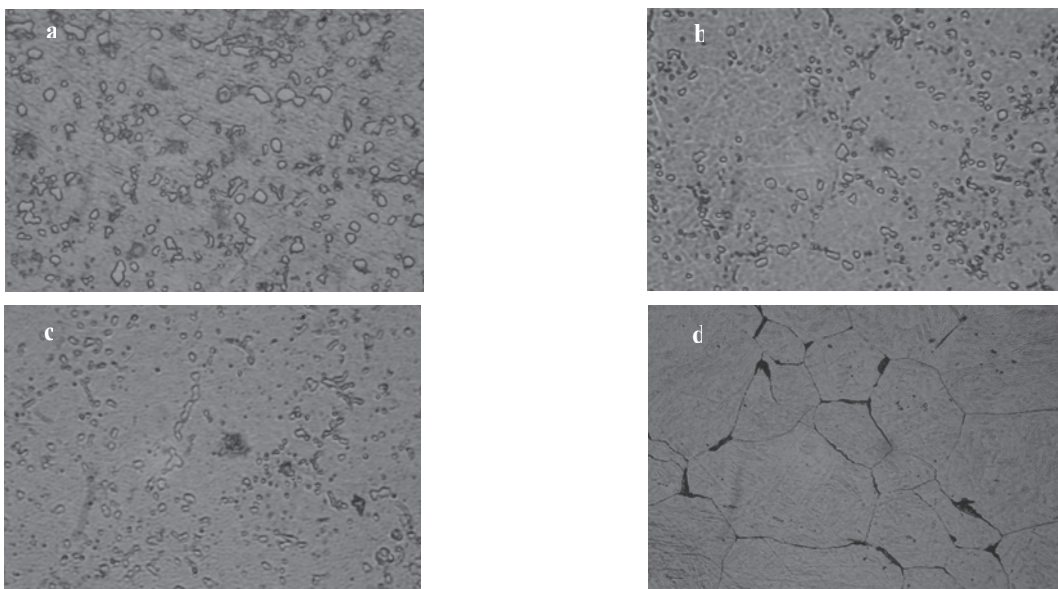


Rys. 9. Zmiany wartości położenie środka maksymalnej amplitudy nasycenia obrazu składowymi RGB dla różnych temperatur wygrzewania próbek

5. STRUKTURA METALOGRAFICZNA PRÓBEK ZE STALI 2H13 PRZED I PO ODDZIAŁYWANIU CIEPŁA O WYSOKIEJ TEMPERATURZE

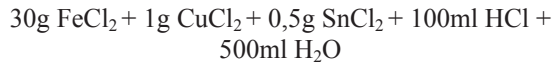
Właściwości wytrzymałościowe i technologiczne stali związane są z jej mikrostrukturą zależną w dużym stopniu od rodzaju obróbki cieplnej [17][18]. Pod wpływem wielokrotnych zmian

temperatury ulega ona zmęczeniu cieplnemu [2]. W czasie nagrzewania następuje całkowita przemiana ferrytu w austenit dzięki czemu możliwe jest hartowanie i powstawanie struktury martenzytycznej. Stal ta hartuje się nawet w czasie chłodzenia na powietrzu [19]. Na rysunku 10 pokazano mikrostrukturę badanych próbek ze stali 2H13 przed i po wygrzewaniu w różnej temperaturze.



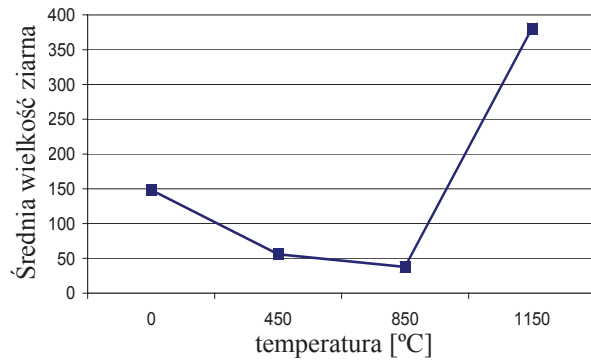
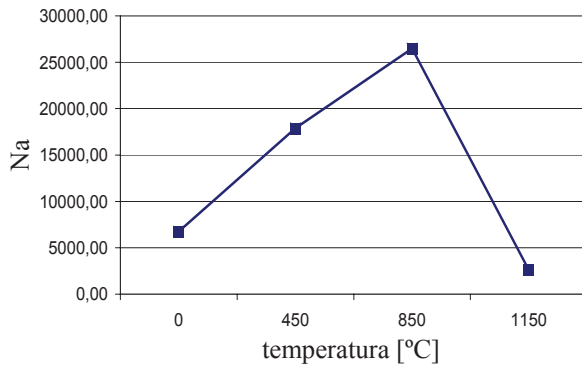
Rys. 10. Struktura metalograficzna, próbka ze stali 2H13 poddana działaniu ciepła: a) temp. otoczenia 21 °C, b) temp. 450 °C, c) temp. 850 °C,; powiększenie x 800, d) temp. 1150 °C, powiększenie x 400

Zgłady metalograficzne próbek przygotowano metodami standartowymi i następnie trawiono odczynnikiem o składzie chemicznym:



Mikrostrukturę obserwowano na mikroskopie optycznym w powiększeniu 800x (rys. 10) w kierunku równoległym do walcowania hutniczego (rys. 1). W wyniku wygrzewania uzyskano zmianę wielkości ziarna (rys. 11). Początkowo średnia

wielkość ziarna wynosiła $148 \mu\text{m}^2$, po wygrzewaniu osiągnięto następujące średnie wielkości ziarna: po 450°C – $55,91 \mu\text{m}^2$, po 850°C – $37,76 \mu\text{m}^2$, po 1150°C – $380,74 \mu\text{m}^2$. Jak wynika z badań mikrostruktury wielkość ziarna zmienia się pod wpływem działania temperatury, co przedstawiona wykresie na rysunku 11. Średnią wielkość ziarna wyznaczono na podstawie obliczeń największych powierzchni ziaren uwidocznionych na fotografiach rys. 11. Zmiany strukturalne najlepiej uwidacznia rysunek 10a, przedstawiający zmianę wielkości ziarna – wyraźne granice ziaren.



Rys. 11. Wpływ działania temperatury na mikrostrukturę próbek ze stali 2H13

- a) Zmiana ilości ziaren (Na) przypadająca na elementarną jednostkę powierzchni - $\frac{\text{szt.}}{\text{mm}^2}$
 b) Średnia wielkość ziarna (μm^2)

6. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań i obserwacji w fazie akwizycji obrazów - „danych pomiarowych” zauważono, że szczególną uwagę należy zwrócić na wartość natężenia oświetlenia, a także na jego rodzaj i charakter. Jest to parametr określający warunki obserwacji, a tym samym ma duży wpływ na jakość uzyskiwanych wyników pomiaru. Decyduje w głównej mierze o jakości otrzymywanych zdjęć - z punktu widzenia przeprowadzonych badań o rzeczywistym rozkładzie barw (światło białe rzetelniej oddaje barwę fotografowanego obiektu).

W poniższym artykule skupiono się głównie na określeniu wpływu oddziaływania wysokiej temperatury na materiał. W tym celu przeprowadzono badania w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem próbek ze stali 2H13. Zaobserwowana zmiana barwy powierzchni próbek była pretekstem do analizy barwnej sfotografowanych powierzchni próbek. Posłużono się analizą statystyczną pierwszego rzędu (składowe RGB, odcienie szarości - opis parametryczny histogramów). Wykazano korelację pomiędzy temperaturą wygrzewania (zmiana barwy badanych powierzchni) a zmianami mikrostruktury warstwy wierzchniej badanych próbek. Zatem z punktu widzenia diagnostyki obiektów technicznych

w sposób bezinwazyjny starano się uzyskać ważną informację eksploatacyjną, która w praktyce może posłużyć do oceny zmian mikrostruktury, stanu przegrzania, a także zmęczenia cieplnego elementów i podzespołów obiektów technicznych poddanych zmiennym obciążeniom cieplnym o wysokiej temperaturze.

LITERATURA

- [1] Lewińska - Romicka A.: *Badania nieniszczące: badania defektoskopowe*, WNT, Warszawa 2001.
- [2] Chodorowski J., Ciszewski A., Radomski T.: *Materiałoznawstwo lotnicze*, Warszawa Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1996.
- [3] http://www.wme.pwr.wroc.pl/pl_badnieni.htm.
- [4] Błachnio J.: *Sprawozdanie z pracy - Nr 15/34/2002, ITWL*, Warszawa, 2002.
- [5] Andruszkiewicz S., Borgoń J.: *Metody określenia zakresu pracy silników typu 37F stosowane podczas badania wypadków lotniczych*, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, 1982.
- [6] Kolek Z.: *Właściwości optyczne a wrażenia barwne*, Materiały VII Krajowego Sympozjum Kolorymetrycznego, Wyd. Politechnika Białostocka, Kielce-Amelinówka, 2005.
- [7] Long B.: *Fotografia cyfrowa*, Wydawnictwo Helion, Gliwice, 2002.

- [8] Wojutyński J., Wiaderek K.: *Komputerowe diagnozowanie stopnia skorodowania na podstawie oceny barwy*, Materiały IV Krajowej Konferencji Diagnostyka Techniczna Urządzeń i Systemów Diag '98, Gdańsk, 1998.
- [9] Wiaderek K., Wojutyński J.: *Sposoby fuzyfikacji określić barw na diagramie C.I.E.* Problemy Eksploatacji 1'99, s. 117-128.
- [10] Wiaderek K.: *Wykorzystanie trójkąta chromatyczności CIE do ograniczenia liczby barw w cyfrowym obrazie barwnym.* Problemy Eksploatacji, Nr 2, ITE, Radom, 2002, s. 213-225.
- [11] Wiaderek K.: *Badanie funkcji przynależności w analizie obszarów barwnych.* Problemy Eksploatacji, Nr 1, ITE, Radom, 2000, s. 207-219.
- [12] Tadeusiewicz, R., *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów.* Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków, 1997.
- [13] Rudnicki Z., Oleksiak Z.: *Próba oceny zmiany filmu nanoszonego podczas tarcia ślizgowego kompozytów PFe przy pomocy analizy sekwencji obrazów*, Materiały z X Seminarium „Tworzywa Sztucznych w Budowie Maszyn”, Kraków 2003.
- [14] Rudnicki Z.: *Wybrane metody przetwarzania i analizy obrazów teksturowych*, Sprawozdanie z grantu KBN nr T07C 03318.
- [15] Lewitowicz J., Borgoń J., Ząbkowicz W.: *Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej*, tom 2, Wyd. ITWL, Warszawa, 1993.
- [16] www.kodak.com – oficjalna strona producenta.
- [17] Rudnik S.: *Metaloznawstwo*, Wydaw. Naukowe PWN, Warszawa 1996.
- [18] Przybyłowicz K.: *Metaloznawstwo*. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2003.
- [19] Przybyłowicz K., Przybyłowicz J.: *Obróbki cieplne i powierzchniowe*, Kielce, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2004.



Mgr inż. Mariusz BOGDAN Asystent na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej. Reprezentowane dziedziny, dyscypliny i specjalności: analiza i przetwarzanie obrazów, diagnostyka techniczna. W przygotowaniu do otwarcia przewodu doktorskiego z zakresu budowy i eksploatacji, temat rozprawy doktorskiej: „Diagnozowanie stanu łopatek turbiny gazowej metodą cyfrowego przetwarzania obrazów powierzchni w świetle widzialnym”.



Dr hab. inż. Józef BŁACHNIO profesor nadzwyczajny na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej. Reprezentowane dziedziny, dyscypliny i specjalności: nauki techniczne, budowa eksploatacja i diagnostyki maszyn: samoloty i śmigłowce, silniki lotnicze, inżynieria materiałowa, inżynieria powierzchni.