

BADANIA CPS ŚCIERNICY SUPERTWARDEJ W WIDMIE PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

Ryszard DĘBKOWSKI¹, Zbigniew KULESZA², Tomasz TORZEWICZ³

Streszczenie: Referat przedstawia koncepcję metody obrazowania struktury czynnej powierzchni ściernicy na podstawie badania wielkości mocy promieniowania podczerwonego jej składników. Na bazie teorii promieniowania ciał przyjęto, że różne materiały charakteryzują się sobie właściwą emisyjnością. Założono więc, że istnieje możliwość wyodrębniania na czynnej powierzchni ściernicy miejsc występowania ziaren ściernych poprzez wykonanie pomiaru mocy promieniowania podczerwonego. Przeprowadzono dwuetapowe badania, których przedmiotem były powierzchnie diamentowo-żywiczne. Badania wykonano na stanowisku wyposażonym w kamerę termowizyjną z obiektywem mikroskopowym. W pierwszym etapie, wykonując pomiary na modelu powierzchni ściernicy w powiększonej skali, weryfikowano zasadność przyjętego założenia oraz sposób prowadzenia pomiarów. W drugim etapie metodą termografii aktywnej dokonano pomiaru mocy promieniowania emitowanego przez nieużytkowaną powierzchnię ściernicy diamentowej o spoiwie żywicznym. Badano wpływ sposobu pomiaru oraz przetwarzania danych z kamery termowizyjnej na otrzymywane wyniki.

Słowa kluczowe: ściernica supertwarda, termografia, czynna powierzchnia ściernicy

Summary: The paper presents the conception of imaging the structure of grinding wheel's method on the basis of the investigation on quantity of infrared radiation power its components. On the grounds of body's radiation theory it was assumed that different materials are characterized by its own emissivity. The assumption was made that there is a possibility to stand apart the places of occurrence of abrasive grains on the grinding wheel's cutting surface by measuring the power of infrared radiation. There were conducted two-stage investigations on the diamond-resinous surfaces. Studies were carried out on the stand equipped with thermographic camera with microscopic lens. In the first stage, making measures on the model of the grinding wheel's surface in enlarged scale, the validity of presumed assumption as well as the measuring method were verified. At the second stage, with the use of active thermography method there was conducted a measurement on the power of radiation emitted by resinoid diamond grinding wheel surface. The influence of the measurement method and data processing from thermographic camera on results of research was investigated.

Key words: superhard grinding wheel, Thermography, Grinding wheel cutting surface

1. WPROWADZENIE

Narzędzia wykorzystywane w obróbce ściernej (ściernice, segmenty i osetki ścierne, płótna ścierne, obciążacze) zbudowane są jako kompozyty, w których rolę zbrojenia pełnią twarde i/lub bardzo twarde ziarna materiałów ściernych, a rolę osnowy spoiwa na bazie żywic, ceramiki, metali, itd. Ziarna w tych narzędziach nie mają zdefiniowanego położenia. O ich rozkładzie w całej objętości kompozytu decyduje proces mieszania składników oraz ich zachowanie w trakcie utwardzania.

Diagnostyka powierzchni roboczej kompozytów ściernych w zakresie rozkładu ziaren ścierniwa może być źródłem ważnych informacji, mogących przyczynić się do

¹ Politechnika Łódzka, Katedra Technologii Maszyn, 90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 1/15, ryszard.debkowski@p.lodz.pl

² Politechnika Łódzka, Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych, 90-924 Łódź, ul. Wólczańska 221/223, kulesza@dmcs.p.lodz.pl

³ Politechnika Łódzka, Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych, 90-924 Łódź, ul. Wólczańska 221/223, torzewicz@dmcs.p.lodz.pl

doskonalenia konstrukcji narzędzi, ich technologii oraz procesów obróbki. W diagnostyce najlepiej sprawdzają się metody dające szybkie i pewne wyniki, metody niewymagające styku z badaną powierzchnią (ogranicza się przez to zużycie urządzeń pomiarowych oraz ingerencję w badany obiekt) oraz metody możliwe do zastosowania dla obiektów o dowolnych gabarytach (nie ograniczonych przestrzenią pomiarową stosowanego urządzenia). Znamiona takie posiadają metody optyczne: czujnik pomiarowy nie styka się z obiektem, a rejestracja danych i ich obróbka jest szybka. Widmo promieniowania optycznego rozciąga się od dalekiego nadfioletu poprzez promieniowanie widzialne do dalekiej podczerwieni. Ocena rozkładu ziaren ściernych na powierzchni ściernicy jest szczególnie trudna w widmie promieniowania widzialnego, gdy barwa i jasność interesujących obiektów są podobne. Zastosowanie obserwacji w widmie promieniowania podczerwonego może, na skutek różnej emisyjności składników kompozytu, wyodrębnić ich położenie. Otrzymane w postaci termogramów zapisy mogą być dalej poddane szybkiej analizie komputerowej obrazu i wyznaczeniu przy jej pomocy wymaganych wskaźników ilościowych i jakościowych.

W niniejszym referacie zaprezentowano metodę oceny morfologii czynnej powierzchni ściernicy supertwardej o spoiwie żywicznym na podstawie obrazowania mocy promieniowania podczerwonego przy pomocy kamery termowizyjnej.

2. TERMOGRAFIA W PODCZERWIENI

Wszystkie ciała, których temperatura jest różna od zera bezwzględnego emitują promieniowanie w charakterystycznym, zależnym od tej temperatury zakresie długości fal. Wzór, pozwalający obliczyć wartość całkowitej mocy R_T wyemitowanej w temperaturze T przez ciało doskonale czarne (absorbujące całkowicie promieniowanie padające na jego powierzchnię) wskazuje zależność (1).

$$R_T = \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

gdzie: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ (stała Stefana-Boltzmana)

W ciałach rzeczywistych nie zachodzą tylko zjawiska emisji i absorpcji promieniowania, lecz także odbijania i transmisji. Padająca na powierzchnię ciała moc promienista P_o może zostać: odbita P_{odb} , pochłonięta P_{pocht} i przepuszczona P_{przep} , co można zapisać równaniem (2)

$$P_o = P_{odb} + P_{pocht} + P_{przep} \quad (2)$$

Dzieląc obie strony równania przez P_o otrzymuje się współczynniki udziałów poszczególnych form reakcji ciała na padającą na nie energię promienistą. Wielkości

te noszą miano odpowiednio: współczynnika odbicia (r), absorpcji (a) i transmisji (t), a wzór (2) przyjmuje postać:

$$1 = r + a + t \quad (3)$$

Dla ciał doskonale czarnych, pochłaniających całkowicie padającą energię, współczynnik absorpcji wynosi 1. W innych przypadkach jest on mniejszy od jedności. Współczynnik absorpcji promieniowania równy jest co do wartości współczynnikowi emisji dla tej samej temperatury i długości fali. W sensie fizycznym współczynnik emisji wskazuje jaką część mocy promieniowania ciała doskonale czarnego stanowi promieniowanie ciała rzeczywistego o tej samej temperaturze. Stąd wartość mocy promieniowania ciała rzeczywistego opisuje się zależnością (4):

$$R_T = e \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (4)$$

gdzie: e – współczynnik emisji

Wartość współczynnika emisji zależy od materiału emitującego promieniowanie i właściwości jego powierzchni (chropowatości, skorodowania) a także od długości fali promieniowania i kąta obserwacji. Wartości współczynników można znaleźć w materiałach poświęconych radiacyjnej wymianie ciepła np.[1] lub termograficznej ocenie temperatury powierzchni.

Możliwość zastosowania pomiaru mocy promieniowania podczerwonego do wyodrębniania granic położenia składników struktury CPS upatruje się w zróżnicowanych wartościach współczynników emisji „ e ” materiałów, z których są zbudowane. Przy tym założeniu, zgodnie ze wzorem (4), w określonej temperaturze moc promieniowania podczerwonego pochodząca od komponentów warstwy ściernej, występujących na CPS będzie różna.

Do rejestracji mocy promieniowania powierzchni obserwowanego obiektu służą kamery termowizyjne, wyposażone w detektory promieniowania podczerwonego (mikrobolometry), rozmieszczone na dwuwymiarowej matrycy. Sygnał pomiarowy z detektorów przetwarzany jest na barwny lub prezentowany w skali szarości obraz obserwowanego obiektu, odwzorowujący rozkład mocy promieniowania podczerwonego emitowanego przez badaną powierzchnię. Nowoczesna kamera termowizyjna pozwala identyfikować różnice w gradientach mocy z bardzo wysoką precyzją (w przeliczeniu na temperaturę: do setnych części stopnia).

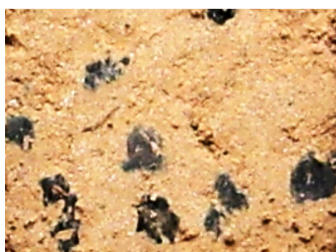
Badania termograficzne obiektów można prowadzić w sposób pasywny, oceniając aktualny stan naturalnego promieniowania obiektu oraz w sposób aktywny, wzbudzając obiekt przed pomiarami zewnętrznym impulsem ciepła. W metodach termografii aktywnej nagrzewanie obiektu może być realizowane za pomocą wewnętrznego (pobudzanie mechaniczne, przepływ prądu elektrycznego, ultradźwięki, mikrofałe, prądy wirowe) lub zewnętrznego źródła ciepła (promienniki podczerwieni, lasery, lampy błyskowe). Jedną z metod aktywnych jest termografia impulsowa, polega na wyznaczeniu i analizie rozkładu temperatury na badanej powierzchni w czasie jej stygnięcia po uprzednim równomiernym nagrzaniu

impulsem cieplnym [2].

3. EMISJA PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO PRZEZ POWIERZCHNIĘ DIAMENTOWO-ŻYWICZNA

3.1. PRZEDMIOT BADAŃ I STANOWISKO POMIAROWE

W ramach badań wstępnych wykonano pomiary promieniowania podczerwonego z powierzchni składającej się ziaren diamentowych i spoiwa żywicznego stosowanego do łączenia ścierniwa diamentowego w ściernicach supertwardych. Powierzchnię taką utworzono wykorzystując płytkę obciążacza wieloziarnistego, na którą naniesiono pył spoiwa żywicznego ściernicy diamentowej (rys.1). Pył



Rys. 1. Powierzchnia płytki obciążacza z pyłem żywicznym

ten uzyskano podczas zabiegu osełkowania ściernicy. Przygotowanie w taki sposób pierwszego obiektu badań miało na celu późniejszą łatwą interpretację otrzymywanych termogramów. Wielkość ziaren diamentowych obciążacza i sposób ich zużycia zapewniał łatwą ich detekcję na powierzchni w świetle widzialnym i możliwość ich porównania z obrazami termograficznymi. Sposobności takiej nie dawałby obraz powierzchni ściernicy, w której stosowana ziarnistość ścierniwa jest wielokrotnie mniejsza a położenie ścian kryształów diamentów dowolne.

Pomiary termograficzne wskazanej powierzchni wykonano na stanowisku znajdującym się w Pracowni Termografii Komputerowej Katedry Mikroelektroniki i Technik Informatycznych PŁ. Stanowisko wyposażone jest w kamerę termowizyjną SC1000 firmy Inframetrics. Jest to kamera z chłodzoną matrycą o wymiarach 256x256 pikseli i rozdzielczości termicznej ok. 0,05K. Zastosowany w kamerze obiektyw mikroskopowy umożliwia rejestrację wycinka powierzchni o wymiarach ok.6,5x6,5mm, co w odniesieniu do rozdzielczości matrycy daje możliwość rozróżniania szczegółów na obserwowanym obszarze o minimalnych wymiarach 25x25 μ m. Kamera umieszczona jest na statywie w komorze pomiarowej eliminującej wpływ zewnętrznych źródeł ciepła na pomiar termowizyjny. W celu minimalizacji wpływu drgań na wynik pomiarów mikroskopowych komora wyposażona jest w stabilną podstawę z bloku kamiennego o masie ok. 500kg.

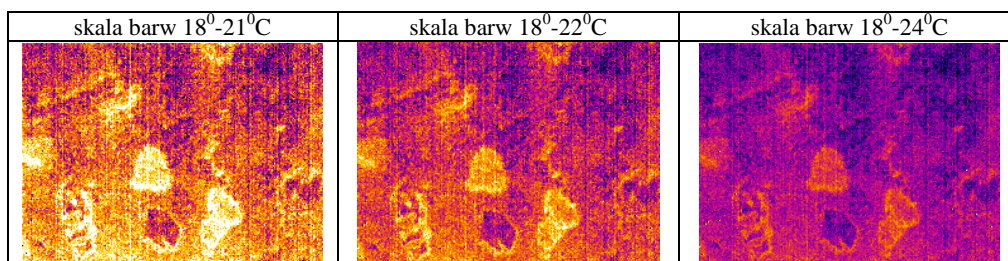
Ponieważ ograniczeniem stosowanego stanowiska pomiarowego jest jego rozdzielczość liniowa (25x25 μ m), do badań właściwych użyto ściernic ze ścierniwem o numerze 126, którego wymiar nominalny jest większy od wskazanej rozdzielczości i zawiera się w granicach 125–106 μ m. Badania prowadzono na powierzchniach ściernic walcowych typu 1A1 o średnicy zewnętrznej 25mm. Ściernice nie były wcześniej eksploatowane a ich powierzchnie pozostały w stanie dostarczonym przez producenta.

3.2. METODA I WYNIKI POMIARÓW

Badania wstępne (powierzchni płytki) składały się z dwóch rodzajów testów. Pierwszy polegał na rejestracji obrazów termowizyjnych powierzchni w temperaturze otoczenia, natomiast drugi na rejestracji kilku termogramów w równych odstępach czasu po nagrzaniu płytki zewnętrznym źródłem ciepła. Zrealizowano w ten sposób pasywną i aktywną metodę pomiarów termowizyjnych.

Tabela 1 zawiera przykładowe termogramy powierzchni płytki otrzymane w temperaturze otoczenia przedstawione w zróżnicowanej skali palety barw. Jak można zauważyć różnice mocy emitowanego promieniowania z powierzchni są niewielkie, jednak zauważalne. Obrazy nie mają wysokiego kontrastu. Wynik pomiaru

Tabela 1. Obrazy termowizyjne płytki obciążacza z pyłem żywicznym w temperaturze otoczenia



promieniowania IR jednoznacznie odzwierciedla układ ziaren widoczny na zdjęciu wykonanym w świetle widzialnym. Trudno jest jednak uznać wynik pomiaru jako wystarczający. Przy niewielkich zmianach jaskrawości składników znajdujących się na badanej powierzchni jednoznaczna interpretacja ich położenia, w przypadku braku obrazu wzorcowego, mogłaby następcza trudności. Czy kontrast można powiększyć?

Jak wynika ze wzoru (4) wielkość mocy promieniowania IR zależy w czwartej potęgze od temperatury obserwowanego ciała. Można więc przypuszczać, że zwiększenie różnicy mocy promieniowania poszczególnych składników struktury powierzchni, charakteryzujących się odmiennymi współczynnikami emisji, można osiągnąć poprzez podniesienie ich temperatury. Wskazuje to na celowość zastosowania metody aktywnej. Podjęcie takich działań poprzez nagrzanie płytki przyniosło oczekiwane rezultaty.

W tabeli 2 przedstawiono dwa przykładowe termogramy pochodzące z sekwencji pomiarów wykonywanych co 8 sekund w czasie stygnięcia płytki od momentu jej rozgrzania. Termogramy dotyczą momentów, w których najwyższa zarejestrowana temperatura (dla ustawionej w warunkach pomiaru kamery wartości współczynnika emisji 0,9) wynosiła 60⁰C i 35⁰C. Termogramy uwidaczniają wystarczające zróżnicowanie mocy promieniowania podczerwonego emitowanego przez ziarna diamentów i spoiwo żywiczne, by zapewnić kontrast wymagany do ich detekcji.

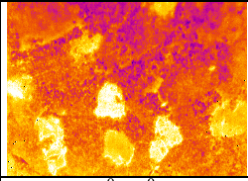
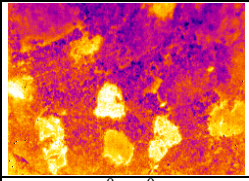
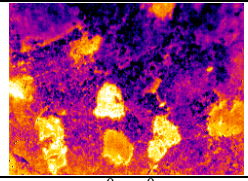
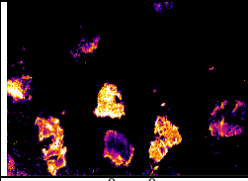
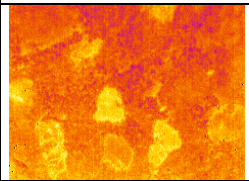
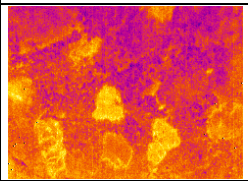
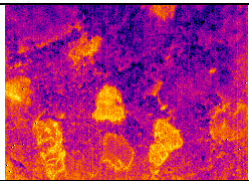
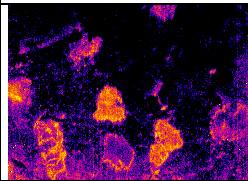
Wielkość kontrastu jest większa w wyższej temperaturze obserwowanych obiektów.

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ

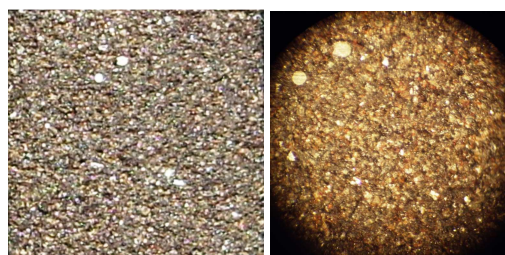
Dodatkowym narzędziem do zwiększania różnicy jaskrawości ziaren i spoiwa jest zawężanie skali palety barw temperatury podczas obróbki termogramów. Z metody tej należy jednak korzystać umiejętnie, by nie zgubić istotnych informacji niesionych przez termogram źródłowy. Nie wszystkie bowiem powierzchnie ziaren diamentowych charakteryzują się jednakową temperaturą, przez co, przy zawężeniu skali termogramu, niektóre z nich mogą nie zostać w nim odzwierciedlone. Przykładem jest termogram powierzchni płytki prezentujący zmiany temperatury w zakresie 58⁰-60⁰C.

Pozytywne efekty przeprowadzonych badań wstępnych skłoniły do próby zastosowania obserwacji w podczerwieni powierzchni czynnej rzeczywistych ściernic supertwardych, w celu detekcji położenia ziaren ścierniwa i oceny jego rozkładu.

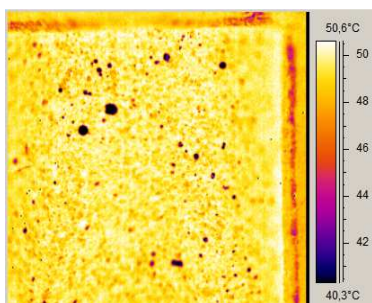
Tabela 2. Wygląd obrazów termowizyjnych płytki obciążacza z pyłem żywicznym w zależności od temperatury płytki i przyjętej skali barw

50 ⁰ -60 ⁰ C	52 ⁰ -60 ⁰ C	54 ⁰ -60 ⁰ C	58 ⁰ -60 ⁰ C
			
25 ⁰ -35 ⁰ C	27 ⁰ -35 ⁰ C	29 ⁰ -35 ⁰ C	31 ⁰ -35 ⁰ C
			

Na rys. 2 przedstawiono makro i mikrofotografie wycinka powierzchni ściernicy diamentowej, który w dalszym kroku został poddany pomiarom termograficznym. Na wskazanych zdjęciach widocznych jest kilka większych plamek oraz szereg drobnych, jasnych punktów, które można interpretować jako miejsca położenia ścierniwa. Rysunek 3 przedstawia jeden z termogramów otrzymanych w trakcie badań. Niewielki promień warstwy ścierniej utrudniał wykonanie dokładnych pomiarów z całej powierzchni, mieszczącej się w kadrze kamery. W prowadzonych



Rys. 2. Makro i mikrofotografia wycinka powierzchni ściernicy diamentowej



Rys. 3. Termogram wycinka powierzchni ściernicy diamentowej

W pomiarach istotne jest dokładne ustawienie ostrości układu optycznego kamery na obserwowanej powierzchni. Niestety głębia ostrości obiektywów mikroskopowych jest niewielka przez co w poddanych pomiarom ściernicach, z uwagi na duże zakrzywienie powierzchni czynnej, właściwy pomiar dotyczył tylko części widocznej w obiektywie powierzchni. Na rys. 3 strefę ostrego „widzenia” przez obiektyw powierzchni walcowej ściernicy oznaczono strzałką. Tę część termogramu można poddawać dalszej analizie. Pasy u góry i po prawej stronie obrazu są widokiem maski wskazującej pole obserwacji. Zgodnie z wnioskami

z badań wstępnych ściernicę przed pomiarami rozgrzano. W trakcie stygnięcia wykonano w stałych odstępach czasu sekwencję pomiarów termograficznych wycinka jej powierzchni. W otrzymanych termogramach stwierdzono występowanie punktowych obszarów o barwie ciemniejszej w stosunku do tła, które można interpretować jako miejsca występowania ścierniwa diamentowego. Jest to spostrzeżenie przeciwne do wyników badań płytki obciążacza, w których ziarna diamentowe widoczne były jako obszary o jasnej barwie. Może to świadczyć o innej emisyjności spoiwa zastosowanego w badaniach wstępnych oraz użytego do budowy ściernicy.

W tabeli 3 zaprezentowano termogramy badanego wycinka ściernicy, w których przyjęta paleta barw wskazuje zróżnicowanie temperatury w zakresie 1^oC. Dzięki temu zabiegowi na termogramach widoczne są tylko obszary, których temperatura nie przekracza górnej wartości przyjętego zakresu, a barwę czarną przyjmują obszary o temperaturze niższej od dolnego zakresu.

Tabela 3. Wyniki aktywnej metody badań termowizyjnych ściernicy diamentowej o spoiwie żywicznym

skala barw 46,5 ^o C–47,5 ^o C	skala barw 47 ^o C–48 ^o C	skala barw 47,5 ^o C–48,5 ^o C	skala barw 48 ^o C–49 ^o C

Kolory pośrednie to miejsca powierzchni ściernicy, których temperatura leży pomiędzy dolną a górną wartością przyjętego zakresu. Jak można zauważyć przesuwanie granic palety barw wzdłuż skali temperatury ujawnia coraz większą liczbę punktów uznanych za chłodniejsze. Dalsze przesuwanie zakresu doprowadziłoby do zaczernienia całej powierzchni termogramu.

Jak przedstawia rys.3, na powierzchni ściernicy występuje bardzo duże zróżnicowanie mocy promieniowania podczerwonego, którego zakres w warunkach prowadzonego pomiaru reprezentowany jest zmianą temperatury o wartości ok. 10^0C . Ograniczenie rozpiętości palety barw do 1^0C (tabela 3) uwidacznia na termogramach subtelne różnice mocy promieniowania drobnych elementów wchodzących w skład powierzchni ściernicy. Zmiany te są wystarczające do wyodrębnienia tych detali metodami komputerowej analizy obrazu w celu przeprowadzenia oceny licznosci i rozkładu. Z punktu widzenia celu założonego w temacie referatu, istotnym jest rozpoznanie zagadnienia, czy wyodrębnione punkty reprezentują powierzchnie kryształów diamentów, czy też wskazują miejsca na powierzchni ściernicy stygnące z różną dynamiką (choć w tym przypadku może być to także związane ze zmianą szybkości dyfuzji cieplnej, będącej następstwem znajdowania się bezpośrednio pod powierzchnią CPS diamentu, który charakteryzuje się bardzo wysokim współczynnikiem przewodzenia ciepła). Próbę odpowiedzi na wskazane zagadnienie podjęto w drugiej części referatu.

3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że ocena promieniowania podczerwonego emitowanego przez powierzchnię kompozytu diamentowo-żywicznego umożliwia wyodrębnienie jej składników. Prowadzenie badań metodą aktywną (rejestracja termogramów po ogrzaniu kompozytu zewnętrznym źródłem ciepła) zwiększa zróżnicowanie promieniowania emitowanego przez poszczególne składniki struktury, ułatwiając ich wyodrębnienie. Wyniki badań termograficznych w skali mikro wymagają weryfikacji. Należy sprawdzić, czy inne sposoby pomiarowe potwierdzają występowanie kryształów diamentu w miejscach wskazanych zmianami intensywności promieniowania podczerwonego.

LITERATURA

- [1] SALA A., *Radiacyjna wymiana ciepła*. Warszawa, WNT, 1982.
- [2] OLIFERUK W., *Termografia aktywna w badaniach materiałów*. XII Seminarium nieniszczących badań materiałów, Zakopane 2006, 10-25.