

MIKROSKOPIA WYSOKOTEMPERATUROWA WSPOMAGANA ANALIZĄ OBRAZU W BADANIACH ROZSZERZALNOŚCI TERMICZNEJ MATERIAŁÓW

Radosław Madej, Wojciech Panna

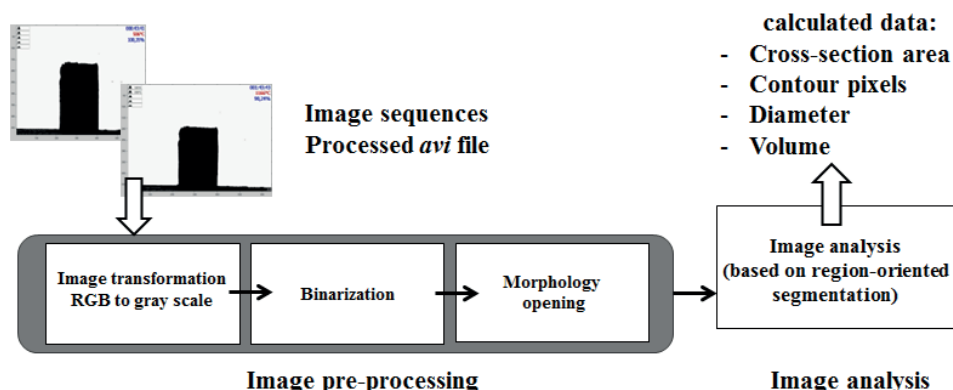
radek118madej@gmail.com

Akademia Tarnowska, ul. Mickiewicza 8 33-100 Tarnów

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę przemian termicznych zachodzących w surowcach ilastych z wykorzystaniem mikroskopii wysokotemperaturowej (HSM) wspomaganej zaawansowaną analizą obrazu. Zastosowana metodyka umożliwia ciągłą obserwację zmian morfologii próbek w trakcie ich nagrzewania, co pozwala na precyzyjne wyznaczenie charakterystycznych temperatur technologicznych, takich jak spiekanie, mięknienie, rozszerzalność termiczna, topnienie oraz płynięcie.

Kluczowym elementem pracy jest implementacja autorskiego podejścia obliczeniowego opartego na cyfrowym przetwarzaniu obrazu w środowisku Matlab, które umożliwia ilościowe określenie zmian pola przekroju próbki, a w konsekwencji jej objętości podczas obróbki termicznej. Schemat opracowanego algorytmu przetwarzania i analizy obrazu, obejmujący etapy konwersji, binaryzacji, filtracji morfologicznej oraz ekstrakcji cech geometrycznych, przedstawiono na rys. 1.



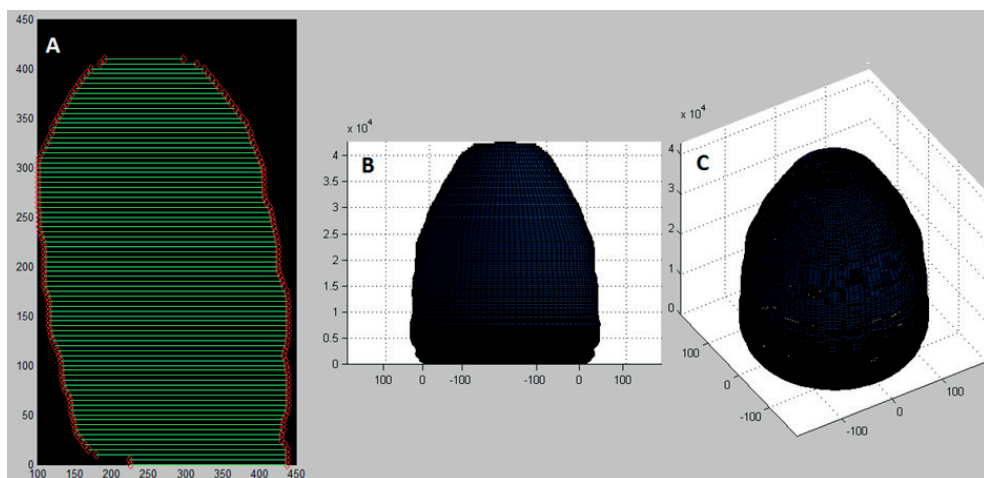
Rys. 1. Operacje wykonywane za pomocą opracowanego algorytmu [1].

Fig. 1. The operations enclosed in the algorithms developed [1].

Uzyskane wyniki wskazują, że ewolucja morfologii próbki w trakcie nagrzewania odgrywa kluczową rolę w interpretacji zjawisk rozszerzalności. W szczególności materiały wykazujące tendencję do przyjmowania formy zbliżonej do sferycznej generują istotne rozbieżności pomiędzy obliczeniami opartymi na polu powierzchni a analizą objętościową, sięgające kilku-kilkunastu procent [1]. Zaproponowana metoda skutecznie minimalizuje te nieścisłości poprzez rekonstrukcję

zmian objętości na podstawie parametrów geometrycznych wyznaczonych z obrazu.

Istotnym elementem procedury jest również wizualizacja procesu wyznaczania objętości próbki na podstawie analizy średnic oraz rekonstrukcji geometrycznej, co przedstawiono na rys. 2 [2]. Ilustracja ta ukazuje zarówno sposób wyznaczania średnic w kolejnych przekrojach próbki, jak i trójwymiarową rekonstrukcję jej objętości, stanowiącą podstawę dalszych obliczeń.



Rys. 2. Wyznaczanie objętości próbki w wybranej klatce filmu – wizualizacja. A – obraz wyznaczania średnic próbki; B – wizualizacja próbki – rzut XY; C – wizualizacja próbki – trójwymiarowy obraz w układzie XYZ [1].

Fig. 2. Determination of the sample volume in a selected frame of the film – a visualization. A – an image of counting the sample diameters; B – sample visualization – XY projection, C – sample visualization – a 3D sample image in XYZ projection [1].

Badania potwierdzają, że mikroskopia wysokotemperaturowa, w połączeniu z automatyczną analizą obrazu, stanowi efektywne i uniwersalne narzędzie badawcze do oceny przydatności surowców

ilastych w technologii wytwarzania lekkich kruszyw ceramicznych. Otrzymane wyniki wykazują dobrą zgodność z pomiarami wykonanymi metodą piknometrii piaskowej, co stanowi potwierdzenie popraw-

ności zaproponowanego podejścia oraz jego potencjału aplikacyjnego zarówno w badaniach naukowych, jak i w praktyce przemysłowej.

W ujęciu ogólnym zaprezentowane podejście rozszerza możliwości analityczne mikroskopii wysokotemperaturowej z poziomu obserwacji jakościowej do ilościowej charakterystyki przemian zachodzących w trakcie nagrzewania. Umożliwia ono nie tylko wyznacza-

nie parametrów technologicznych, ale również dostarcza informacji na temat mechanizmów odpowiedzialnych za rozszerzalność termiczną oraz ewolucję struktury materiałów ilastych. W konsekwencji metoda ta może stanowić istotne narzędzie wspomagające optymalizację procesów technologicznych w ceramice oraz ocenę jakości surowców mineralnych.

Słowa kluczowe: mikroskopia wysokotemperaturowa; analiza obrazu; surowce ilaste; rozszerzalność termiczna.

Keywords: hot-stage microscopy; image analysis; clay raw materials; thermal expansion.

Bibliografia/References

[1] Panna W., Wyszomirski P., Kohut P. 2016. Application of hot-stage microscopy to evaluating sample morphology changes on heating. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 125 (3): 1053-1059.

[2] Kohut P. Mechatronics systems supported by vision techniques, *Solid State Phenomena* 2013;196:62-73.

HOT-STAGE MICROSCOPY SUPPORTED BY IMAGE ANALYSIS IN THE STUDY OF THERMAL EXPANSION OF MATERIALS

Abstract

This study presents an analysis of thermal transformations occurring in clay raw materials using hot-stage microscopy (HSM) supported by advanced image analysis. The applied methodology enables continuous observation of changes in sample morphology during heating, allowing for precise determination of characteristic technological temperatures, such as sintering, softening, thermal expansion, melting, and flowing.

A key element of the study is the implementation of an original computational approach based on digital image processing in the Matlab environment, which enables quantitative determination of changes in the sample cross-sectional area and, consequently, its volume during thermal treatment. The scheme of the developed image processing and analysis algorithm, including stages of conversion, binarization, morphological filtering, and extraction of geometric features, is presented in Fig. 1.

The obtained results indicate that the evolution of sample morphology during heating plays

a crucial role in the interpretation of thermal expansion phenomena. In particular, materials exhibiting a tendency to assume a near-spherical shape generate significant discrepancies between calculations based on cross-sectional area and volumetric analysis, reaching several to over a dozen percent [1]. The proposed method effectively minimizes these inaccuracies by reconstructing volume changes based on geometric parameters derived from image analysis.

An important element of the procedure is also the visualization of the process of determining sample volume based on diameter analysis and geometric reconstruction, as shown in Fig. 2 [2]. This illustration presents both the method of determining diameters in successive cross-sections of the sample and the three-dimensional reconstruction of its volume, which forms the basis for further calculations.

The study confirms that hot-stage microscopy, combined with automated image analysis, constitutes an effective and versatile research

tool for assessing the suitability of clay raw materials in the production of lightweight ceramic aggregates. The obtained results show good agreement with measurements performed using sand pycnometry, which confirms the validity of the proposed approach and its application potential in both scientific research and industrial practice.

From a broader perspective, the presented approach extends the analytical capabilities of hot-stage microscopy from qualitative ob-

servation to quantitative characterization of transformations occurring during heating. It enables not only the determination of technological parameters but also provides insight into the mechanisms responsible for thermal expansion and the structural evolution of clay-based materials. Consequently, this method can serve as a valuable tool supporting the optimization of ceramic processing technologies and the evaluation of mineral raw material quality.