

# Badania nad odnawialnością polimerowych spoiw odlewniczych

B. Grabowska<sup>a,\*</sup>, K. Kaczmarek<sup>a</sup>, A. Bobrowski<sup>a</sup>

<sup>a</sup>AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Inżynierii Procesów Odlewniczych,

Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków,

\*Kontakt korespondencyjny: e-mail: [beata.grabowska@agh.edu.pl](mailto:beata.grabowska@agh.edu.pl)

Otrzymano 16.04.2012; zaakceptowano do druku 02.07.2012

## Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiono wycinek badań nowych polimerowych spoiw odlewniczych na przykładzie spoiwa BioCo2 z uwzględnieniem problemu jego odnawialności. Omówiono wyniki badań strukturalnych (FT-IR) dla spoiwa BioCo2 przed i po usieciowaniu oraz badań wytrzymałości na zginanie  $R_g^u$  utwardzonej masy formierskiej świeżej, jak i odnowionej związanej spoiwem BioCo2. Sieciowanie spoiwa, jak też utwardzanie masy przeprowadzono na drodze fizycznej (promieniowanie mikrofalowe, temperatura). Na podstawie otrzymanych wyników badań wykazano, że istnieje możliwość przywrócenia pierwotnych właściwości wiążących spoiwa BioCo2. Po usieciowaniu spoiwa, jak też po jego utwardzeniu w masie formierskiej właściwości pierwotne można uzyskać poprzez uzupełnienie składu masy o odpowiednią wyznaczoną stechiometrycznie ilość wody. Stwierdzono, że po procesie odnowienia spoiwo BioCo2 nie traci swojej mocy wiązania.

**Słowa kluczowe:** innowacyjne materiały i technologie odlewnicze, masy formierskie, spoiwa polimerowe, sieciowanie, odnawialność.

## 1. Wprowadzenie

Perspektywa zaostrzenia przepisów dotyczących ochrony środowiska stawianych przemysłowi odlewniczemu skłania do wprowadzania nowych materiałów wiążących przyjaznych dla środowiska, które w warunkach działania czynników naturalnych ulegałyby biorozpadowi. Najczęściej są to nietoksyczne ekologiczne materiały pochodzące z odtwarzalnych źródeł naturalnych, co wiąże się z obniżeniem kosztów produkcji przy jednoczesnym zachowaniu dobrej jakości odlewów [1-10]. W literaturze można też odnaleźć dane dotyczące stosowania spoiw zawierających w swoim składzie biopolimery (polipeptydy, polisacharydy), które można wykorzystać jako środki wiążące w przemyśle odlewniczym. Dodatkowo ważnym zagadnieniem jest recykling używanych mas formierskich, dlatego cenione są spoiwa, które cechuje odnawialność ich właściwości wiążących po odpowiedniej obróbce.

Znaną i stosowaną w przemyśle alternatywą dla spoiw z żywicami syntetycznymi jest wprowadzone przez General Motors spoiwo proteinowe GMBOND, które stanowi mieszaninę pochodzących z odnawialnych źródeł naturalnych polipeptydów [8]. Wiązanie masy zachodzi w wyniku procesu odparowywania wody fizycznie związanej. Podczas procesu utwardzania masy nie przebiega reakcja chemiczna. Jedną z największych zalet spoiwa jest jego zdolność do rozpuszczania się w wodzie, a proces wiązania odwodnionego spoiwa może być odwrócony przez ponowne wprowadzenie wody do masy [8]. Spoiwo to zaliczane jest do spoiw odnawialnych.

Opracowane w University of North Iowa w USA biouretany powstają w wyniku reakcji polisacharydów, czy też kwasów humusowych z izocyjanianem.

Tak otrzymane spoiwo biouretanowe może zastąpić w konwencjonalnym spoiwie fenolowo - uretanowym szkodliwe związki np. fenol reagujący z izocyjanianem, które w obecności aminy trzeciorzędowej wytwarzają poliuretan.

Zaletą stosowania biouretanów jest łatwa dostępność jego składników polimerowych i brak negatywnego wpływu na środowisko. Ich termiczna degradacja następuje już przy ok. 250°C, co ułatwia wybijanie rdzeni. Przy czym jakość powierzchni odlewów jest porównywalna z uzyskaną przy stosowaniu konwencjonalnych rdzeni poliuretanowych [9].

W Dalian University of Technology w Chinach otrzymano spoiwo, w którego skład wchodzi głównie modyfikowany polisacharyd: karboksymetyloskrobia (CMS). CMS o różnym stopniu podstawienia grup karboksylowych charakteryzują różnicowane właściwości, np. rozpuszczalność w zimnej wodzie, absorpcja wody. Daje to duże możliwości poszerzenia zastosowań skrobi jako spoiwa.

Dowiedziano, że masy rdzeniowe wiązane karboksymetyloskrobią z powrotem mogą zastąpić masy wiązane żywicą furanową. Jakość powierzchni wewnętrznych odlewów jest bardzo dobra przy znacznie zredukowanych kosztach ich produkcji [10].

W Pracowni Ochrony Środowiska Katedry Inżynierii Procesów Odlewniczych Wydziału Odlewnictwa AGH również prowadzi się badania nad opracowaniem „przyjaznych środowisku” spoiw polimerowych, w których skład wchodzi polimery naturalne z grupy polisacharydów oraz polimery syntetyczne z grupy poliakrylanów.

Wynikiem prowadzonych prac badawczych [11-13] są nowe spoiwa polimerowe typu BioCo w postaci dwuskładnikowych wodnych kompozycji polimerowych. Ze względu na ich odpowiednie właściwości technologiczne [14-15], łatwą dostępność, niskie koszty pozyskania składników oraz ich podatność na biodegradację mogą stanowić interesujący, przyjazny dla środowiska środek wiążący w masach formierskich i rdzeniowych. Sieciowane spoiwo BioCo można prowadzić czynnikami fizycznymi (promieniowanie mikrofalowe, UV) lub chemicznymi (aldehid glutarowy  $\text{OHC}-(\text{CH}_2)_3\text{-CHO}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2$ ).

Fizyczne sieciowanie spoiwa BioCo w masie odbywa się głównie na drodze odparowywania wody fizycznie związanej, jak też w procesie dehydratacji w masie wilgotnej, dlatego w procesie odwrotnym - uwodnieniu - możliwe jest odzyskanie spoiwa z nieprzepsalanej masy [11-13], co może w warunkach przemysłowych uprościć proces odświeżania tych mas i obniżyć koszty produkcji form lub rdzeni.

## 2. Metodyka badań

### 2.1. Materiały

W badaniach wykorzystano następujące materiały:

- spoiwo polimerowe BioCo2 - kompozycja polimerowa poli(kwasu akrylowego) i dekstryny w postaci roztworu wodnego [13];
- osnowa piaskowa - piasek kwarcowy o ziarnistości 0,2/0,16/0,32 z Kopalni Piasku „Szcakowa” SA.

### 2.2. Sieciowanie próbek spoiwa

Sieciowanie próbek spoiwa przeprowadzono przy użyciu czynników fizycznych:

- promieniowania mikrofalowego o mocy 800 W. Proces sieciowania prowadzono w urządzeniu mikrofalowym INOTEC MD 10940 z możliwością ustawienia mocy i czasu działania mikrofal. Czas napromieniowania próbek spoiwa wynosił 90 s, a temperatura w urządzeniu mikrofalowym 100°C;
- temperatury. Proces sieciowania prowadzono w suszarce laboratoryjnej typu SUP-65 przez 1 h w temperaturze 100°C.

### 2.3. Sporządzanie masy formierskiej

Sporządzanie masy formierskiej przeprowadzono w następujący sposób: do mieszarki wstępowej (LM-R1) wprowadzono piasek kwarcowy, następnie dodano spoiwo polimerowe BioCo2 w ilości 3% wag. i całość mieszano 3 minuty.

Masę do badań odnawialności spoiwa BioCo2 przygotowano przy zachowaniu stałej proporcji spoiwa do osnowy (3:100 w częściach wagowych). Masę formierską wykonano przy wilgotności powietrza 25,5% i temperaturze otoczenia 19°C.

Z przygotowanych mas formierskich wiązanych spoiwem BioCo2 wykonano kształtki podłużne przeznaczone do badania wytrzymałości masy na zginanie  $R_g^u$ .

### 2.4. Utwardzanie masy formierskiej

Wykonane kształtki z mas formierskich utwardzono termicznie poprzez napromieniowanie ich mikrofalami lub poddanie działaniu temperatury w taki sam sposób jak w przypadku sieciowania samego spoiwa i przy użyciu tych samych urządzeń.

### 2.5. Badania strukturalne

Badania strukturalne przeprowadzono z wykorzystaniem spektrometru FTIR Excalibur ze standardowym detektorem DTGS i zdolnością rozdzielczą 4  $\text{cm}^{-1}$ . Widma badanych próbek w temperaturze pokojowej wykonano techniką transmisyjną (pastylki z KBr).

### 2.6. Badania wytrzymałości na zginanie $R_g^u$ utwardzonych mas odlewniczych

Wytrzymałość na zginanie utwardzonych mas  $R_g^u$  oceniono za pomocą uniwersalnego aparatu LRu-2e produkcji firmy Multiserw-Morek, przy zakresie pomiarowym 0-870N/cm<sup>2</sup>. Serię pomiarów wytrzymałości na zginanie  $R_g^u$  wykonano dla znormalizowanych kształtek podłużnych przygotowanych z masy świeżej i odnowionej po 1h i 24 h składowania w eksykatorze.

## 2.7. Badania mikroskopowe

Obserwacje mikrostruktury utwardzonej promieniowaniem mikrofalowym masy wiązanej spoiwem BioCo2 wykonano przy użyciu mikroskopu optycznego Nikon Eclipse LV 100 z oprogramowaniem: NIS-elements AR 2.10.

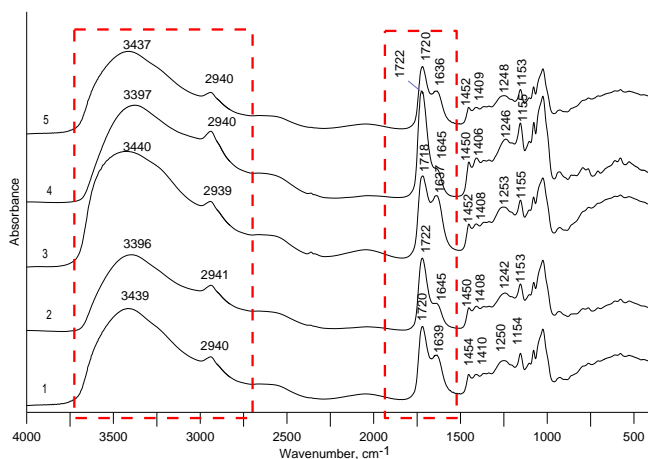
## 3. Wyniki badań i ich omówienie

### 3.1. Badania strukturalne FT-IR

W pierwszym etapie badań przeprowadzono analizę strukturalną spoiwa BioCo2 przed i po usieciowaniu czynnikami fizycznymi (promieniowanie mikrofalowe i temperatura) przy zastosowaniu spektroskopii w podczerwieni FT-IR.

W celu określenia możliwości odnawialności spoiwa usieciowane na drodze fizycznej spoiwo BioCo2 poddano kolejno czynnościom rozpuszczania w wodzie i sieciowania fizycznego. Dla każdego stanu spoiwa przed i po usieciowaniu wykonano serie widm FT-IR (Rys 1 i 2). Przy czym termin odnawialności spoiwa został w wprowadzony w kontekście zdolności środka wiążącego do odtworzenia jego pierwotnych właściwości wiążących w procesie rozpuszczenia w wodzie.

Na rysunku 1 przedstawiono widma FT-IR dla próbek spoiwa BioCo2 poddanego kolejnym procesom sieciowania mikrofalami i rozpuszczania w wodzie.



Rys. 1. Widma FT-IR spoiwa BioCo2 – sieciowanie mikrofalami: 1-próbka spoiwa nieusieciowanego, 2-próbka spoiwa usieciowanego, 3-rozpuszczona w wodzie próbka spoiwa usieciowanego, 4-usieciowana próbka rozpuszczonego w wodzie spoiwa, 5 – ponownie rozpuszczona w wodzie próbka spoiwa usieciowanego

W tabeli 1 dokonano analizy charakterystycznych pasm absorpcyjnych dla otrzymanych widm FT-IR spoiwa BioCo2.

Tabela 1. Charakterystyczne pasma absorpcyjne w widmach FT-IR nieusieciowanego i usieciowanego działaniem mikrofal spoiwa BioCo2

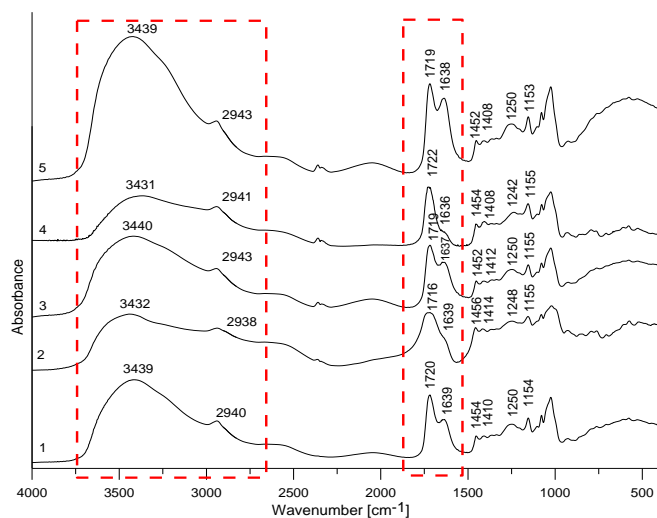
Liczba falowa [cm <sup>-1</sup> ]					Przypisanie	Charakterystyka
Widmo 1	Widmo 2	Widmo 3	Widmo 4	Widmo 5		
3439	3396	3440	3397	3437	v-OH O-H...O-H O-H...O=H	pasmo wolnej grupy -OH (woda) wiązania wodorowe
2940	2941	2939	2939	2940	v-C-H	pasma drgań rozciągających asymetrycznych i symetrycznych
1720	1722	1718	1722	1720	v <sub>s</sub> -C=O	drżania rozciągające gr. karboksylowej w kwasach karboksylowych
1639	1645	1637	1645	1636	δ-C-OH C=O	drżania deformujące i rozciągające grupy karboksylowej
1454	1450	1452	1450	1454	δ(CH <sub>2</sub> )n	symetryczne drżania nożycowe
1409	1408	1408	1406	1409		
1250	1242	1253	1236	1248	C-O C-OH	drżania rozciągające i deformujące
1154	1153	1155	1155	1153	C-CH <sub>2</sub>	deformujące drżania skręcające

W zakresie liczb falowych 3800 – 3000 cm<sup>-1</sup> szerokie pasmo odpowiadające drżaniom wolnej grupy – OH (H<sub>2</sub>O) i wiązań wodorowych nie zanika po sieciowaniu (widmo 2). Następuje natomiast widoczne zmniejszenie jego intensywności oraz przesunięcie maksimum w kierunku niższych liczb falowych. Zmiany te związane są z procesem odparowywania wody rozpuszczalnikowej. Przy czym obecność tego pasma wynika najprawdopodobniej z obecności wiązań wodorowych w usieciowanym spoiwie BioCo2 oraz wody związanej. Pasma adsorpcyjne odpowiadające drżaniom C=O (1720 cm<sup>-1</sup>) pozostaje bez zmian przed i po usieciowaniu, a pojawiające nieznaczne przesunięcia liczb falowych mieszczą się w granicach błędów pomiarowego (+/- 4 cm<sup>-1</sup>). Natomiast pasmo w zakresie liczby falowej 1639 cm<sup>-1</sup> (drżania C-OH) zmniejsza swoją intensywność. Ponadto widoczna jest po usieciowaniu zmiana kształtu pasma 1250 cm<sup>-1</sup> i jego przesunięcie w kierunku niższych liczb falowych. Zmiany strukturalne w tym zakresie związane są z udziałem grup C-OH i C=O w procesie sieciowania. Pasma związane z drżaniem wiązań C-H (grupy -CH<sub>2</sub> i -C-H) nie ulegają zmianom i przesunięciu.

Po ponownym rozpuszczeniu usieciowanego spoiwa BioCo2 w odpowiedniej stechiometrycznej ilości wody zarejestrowano kolejne widmo FT-IR (Rys. 1, widmo 3). Porównując widma 1 i 3 można stwierdzić, że spoiwo BioCo2 zachowuje swoją strukturę wyjściową.

Powtórne poddanie działaniu mikrofal próbek spoiwa BioCo2 prowadzi do zmian w strukturze analogicznych jak na widmie 2 (rys. widmo 2 i 4).

Na rysunku 2 przedstawiono widma FT-IR dla próbek spoiwa BioCo2 poddanego kolejnym procesom sieciowania termicznego i rozpuszczania w wodzie.



Rys. 2. Widma FT-IR spoiwa BioCo2 - sieciowanie termiczne: 1-próbka spoiwa nieusieciowanego, 2-próbka spoiwa usieciowanego, 3-rozpuszczona w wodzie próbka spoiwa usieciowanego, 4-usieciowana próbka rozpuszczonego w wodzie spoiwa, 5 – ponownie rozpuszczona w wodzie próbka spoiwa usieciowanego.

W tabeli 2 dokonano analizy charakterystycznych pasm absorpcyjnych dla otrzymanych widm FT-IR spoiwa BioCo2.

Tabela 2. Charakterystyczne pasma absorpcyjne w widmach FT-IR nieusieciowanego i usieciowanego termicznie spoiwa BioCo2

Widmo 1	Liczba falowa				Przypisanie	Charakterystyka
	Widmo 2	Widmo 3	Widmo 4	Widmo 5		
3439	3432	3440	3431	3439	v-OH O-H...O-H O-H...O=H	pasmo wolnej grupy OH (woda) wiązania wodorowe
2940	2938	2943	2941	2943	v-C-H	drgań rozciągających asymetrycznych i symetrycznych
1720	1716	1719	1722	1719	$\nu_s$ -C=O	drgania rozciągające gr. karboksylowej w kwasach karboksylowych
1639	1639	1637	1636	1638	$\delta$ -C-OH C=O	drgania deformujące i rozciągające grupy karboksylowej
1454	1456	1452	1454	1452	$\delta$ (CH <sub>2</sub> )n	symetryczne drgania nożycowe
1410	1414	1412	1408	1408		
1250	1248	1250	1242	1250	C-O C-OH	drgania rozciągające i deformujące
1154	1155	1155	1155	1153	C-CH <sub>2</sub>	deformujące drgania skrecające

Analogicznie jak w przypadku spoiwa sieciowanego promieniowaniem mikrofalowym, tak po sieciowaniu termicznym,

w zakresie liczb falowych 3800 – 2900 cm<sup>-1</sup> widoczne jest zmniejszenie absorbancji pasma odpowiadającego drganiom rozciągającym grup –OH (Rys. 2, widmo 2). Jest to spowodowane odparowaniem wody podczas poddawaniu spoiwa BioCo2 działaniu temperatury. Odpowiadające drganiom –C=O pasmo 1720 cm<sup>-1</sup> (przesunięcia liczb falowych mieszczą się w granicach czułości metody) występuje na wszystkich widmach FT-IR sieciowanej termicznie próbki, jednak pod wpływem czynnika sieciującego zauważalne jest zmniejszenie jego intensywności. Pasma w obszarze liczby falowej 1639 cm<sup>-1</sup> odpowiadające drganiom –C-O-H po usieciowaniu niemal zupełnie zanika (rys. 2, widmo 2). W obszarze liczby falowej 1250 cm<sup>-1</sup> widoczne jest zmniejszenie absorbancji pasma oraz przesunięcie maksimum pasma w kierunku niższych liczb falowych.

Efekt przekształcenia struktury (w porównaniu ze stanem wyjściowym – rys. 2, widmo 1) polimeru obserwuje się każdorazowo podczas sieciowania rozpuszczonych w wodzie próbek (rys.2, widmo 2 i 4), jednakże po ponownym rozpuszczeniu w wodzie usieciowanego spoiwa przebieg linii bazowej widma powraca do stanu przed sieciowaniem (rys. 2, widmo 3 i 5). Świadczy to o tym, że proces sieciowania zachodzi odwracalnie na drodze fizycznej, a po ponownym wprowadzeniu wody spoiwo BioCo2 zachowuje właściwości wiążące [13].

Spoivo BioCo2 można więc zaliczyć, podobnie jak spoiwo GMBOND [8], do grupy spoiw odnawialnych. W dalszym etapie badań określono możliwość odnawialności spoiwa w masie formierskiej poddanej procesowi utwardzania.

### 3.2. Badanie wytrzymałości masy formierskiej związanej spoiwem BioCo2

Badanie wytrzymałości na zginanie ( $R_g^u$ ) masy świeżej i odnowionej przeprowadzono po czasie składowania przez 1 h i 24 h, z uwzględnieniem zastosowanego czynnika sieciującego (mikrofała, temperatura).

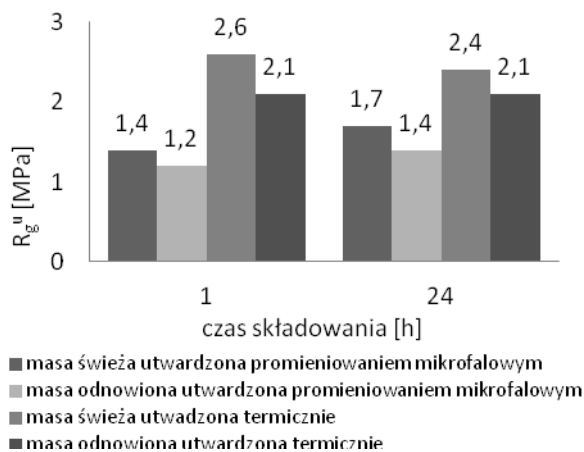
Termin *masa odnowiona* został użyty w pracy dla oznaczenia masy utwardzonej, której skład uzupełniono o odpowiednią ilość wody doprowadzając do rozpuszczenia znajdującego się w niej spoiwa BioCo2 i przywróceniu mu pierwotnych właściwości.

Wyniki wytrzymałości  $R_g^u$  masy świeżej i odnowionej związanej spoiwem BioCo2 zostały przedstawione na rysunku 3.

Podane wartości wytrzymałości na zginanie jako wartości rzeczywiste dla sześciu próbek z każdej serii oszacowano na

podstawie obliczenia średniej arytmetycznej  $\bar{X}$ .

Wyniki prowadzonych wcześniej badań wytrzymałości masy związanej spoiwami na bazie poliakrylanów i polisacharydów [11-13] wykazały, że warunki sporządzania masy oraz sposób składowania masy (wilgotność, temperatura otoczenia) mają istotny wpływ na właściwości wytrzymałościowe. Ponadto parametry termicznego utwardzania próbek mas (mikrofała, temperatura) rzutowały na wartości wytrzymałości na zginanie. Wartość  $R_g^u$  dla próbek ze świeżej masy utwardzonej termicznie wynosił ok. 2,6 MPa, a po utwardzeniu mikrofalami  $R_g^u$  osiągał wartość rzędu ok. 1,5 MPa. Czas napromieniowania próbek mas wynosił 90 s i pozwolił na uzyskanie wartości  $R_g^u$  wystarczającą do przygotowania prawidłowej formy. Wydłużenie czasu działania mikrofal przy utwardzaniu próbek mas nie wpływało znacząco na wartości ich wytrzymałości.



Rys. 3. Wytrzymałość na zginanie  $R_g^u$  masy świeżej i odnowionej utwardzonej promieniowaniem mikrofalowym i działaniem temperatury

Wytrzymałość na zginanie masy odnowionej utrzymywała się na poziomie 2,1 MPa po utwardzaniu termicznym i ok. 1,4 MPa po utwardzaniu mikrofalami. Różnica w uzyskanych wartościach wytrzymałości  $R_g^u$  utwardzonej masy świeżej i odnowionej, (niezależnie od zastosowanego czynnika sieciującego) mieściła się w granicy błędu pomiarowego urządzenia do badania wytrzymałości na zginanie mas. Tak więc można uznać, że po procesie odnowienia spoiwo BioCo2 nie straciło swojej mocy wiązania.

### 3.3. Morfologia masy wiązanej BioCo2

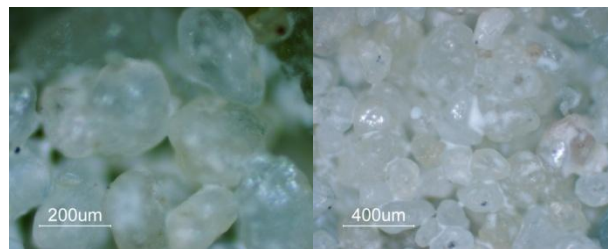
Celem przeprowadzonych badań mikroskopowych było ustalenie morfologii oraz sposobu wiązania powierzchni ziarn osnowy utwardzonej masy.

Na rysunku 4 przedstawiono morfologię utwardzonej promieniowaniem mikrofalowym masy ze spoiwem BioCo2 sporządzonej na osnowie kwarcowej. Na zdjęcia mikroskopowych widoczne są ziarna piasku przylegające do siebie, otoczone warstewką spoiwa, które tworząc mostki wiążą ziarna osnowy.

## 4. Podsumowanie

Badania strukturalne potwierdzają odnawialność spoiwa BioCo2. Uzyskane wyniki badań spektroskopowych dowodzą, że sieciowanie spoiwa BioCo2 za pomocą czynników fizycznych jest procesem odwracalnym, a rozpuszczenie usieciowanego spoiwa w wodzie powoduje cofnięcie zmian zachodzących w strukturze spoiwa w wyniku odparowania wody.

Rodzaj zastosowanego czynnika sieciującego (mikrofale, temperatura), przebieg oraz warunki prowadzenia procesu wywierają wpływ na wytrzymałość na zginanie masy utwardzonej ze spoiwem BioCo2.



Rys. 4. Morfologia utwardzonej promieniowaniem mikrofalowym masy ze spoiwem BioCo2 na osnowie piasku kwarcowego

Na podstawie otrzymanych wyników badania wytrzymałości masy na zginanie  $R_g^u$  określono efektywność czynników sieciujących fizycznie spoiwo BioCo2 w masie. Masa odnowiona charakteryzuje wytrzymałością na zginanie porównywalną do utwardzonej masy świeżej i z technologicznego punktu widzenia osiągnięte wyniki  $R_g^u$  dla masy odnowionej są wystarczające do prawidłowego wykonania formy.

Zawarte w artykule wyniki badań odnoszące się do odnawialności spoiwa BioCo2 stanowią punkt wyjścia w dalszych doświadczeniach dotyczących charakterystyki mas formierskich wiązanych spoiwami polimerowymi typu BioCo.

## Literatura

- [1] Holtzer, M. (2003). Trends in sand moulds and cores with organic binder. *Archives of Foundry*. 3. No 9. 189-196 (In Polish).
- [2] Giese, S.R. & Thiel, G.R (2002). Influence of Protein-Based Biopolymer-Coated Olivine Core Sands on Olivine Green Sand Molding Properties. *AFS Transactions*, v. 110, 595-601.
- [3] Serghini, A. (2011). The future of organic foundry binders in Europe. *Przegląd Odlewnictwa*. Nr 11-12. 548-553 (in Polish).
- [4] Burian, A. (2009). New ecological binder systems. *Slévárenstvi LVII*. Ieden-únor. Nr 1-2 . 6 (in Czech).
- [5] Tackes, G. (2001). Core Binders: A Look into the Future. *Modern Casting* . No 10. 24 – 27 .
- [6] Archibald, James A. (1994). Benchmarking the Nobake Binder Systems. *Modern Castings*.
- [7] Ireland, E., Chang, K. & Kroker. J. (2002). New Horizon in Nobake Binder Technology. *AFS Transaction*. 110. 623-629.
- [8] Eastman, J. (2000). Protein – based binder update: Performance put to the Test. *Modern Casting*. No 10. 32-34.
- [9] Patterson, M. & Thiel, J. (2010). Developing Bio-Urethanes for No-Bake. *Foundry Management&Technology*.
- [10] Zhou, X., Yang, J. & Guohiu, Q. (2007). Study on synthesis and properties of modified starch binder for foundry. *Journal of Materials Processing Technology*. 18. 407-411. DOI: 10.1016/j.jmatprot.2006.11.001.
- [11] Grabowska, B. (2009). Cross-linking of polyacrylam compositions with biopolymers with use of selected

- chemical and physical agents. *Polimery*. 54. 7-8. 19-20 (in Polish).
- [12] Grabowska, B. (2009). The cross-linking influence of electromagnetic radiation on water-soluble polyacrylan compositions with biopolymers. *Archives of Foundry Engineering*. 9. 41–44.
- [13] Grabowska, B., Holtzer, M., Dańko, R. & Bobrowski, A. (2011). New BioCo binders with biopolymers for foundries. Obchody Jubileuszu 60-lecia Wydziału Odlewnictwa : Kraków 10- 11 czerwca 2011 (in Polish).
- [14] Huppenenthal, L. (2008). *Roztwory Polimerów*, Toruń, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika (in Polish).
- [15] Gołębiowski, J., Gibas, E. & Malinowski R.. (2009). Selected biodegradable polymers – preparation, properties, applications, *Polimery*. 53. 11 – 12, s. 799 (in Polish).

## Studies on the renewability of polymeric binders for foundry

### Abstract

In this paper the results of studies of polymeric binders on the example of the new BioCo2 binder, including the problem of its renewability, are presented. The results of structural studies (FT-IR) for the BioCo2 binder before and after crosslinking, and bending strength tests  $R_g^u$  fresh and renewed cured moulding sands with BioCo2 binder are discussed. The cross-linking binder and curing of moulding sand was carried out by physical agents (microwave radiation, temperature). On the basis of obtained results was shown that it is possible to restore the initial properties of the adhesive of BioCo2 binder. The initial properties of moulding sand can be achieved, after the cross-linking binders and after curing in the moulding sands with bioCo2 binder, by supplementing the moulding sand composition by the appropriate amount of water.

**Key words:** innovative foundry materials and technologies, moulding sands, polymeric binders, crosslinking, renewability.