
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 28
(styczeń–marzec)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok X

Warszawa–Opole 2017

ROBERT KUSIOROWSKI*
ANDRZEJ ŚLIWA**

Badania wpływu topionego klinkieru magnezowego na właściwości magnezowych wyrobów ogniotrwałych

Słowa kluczowe: magnezowe wyroby ogniotrwałe, właściwości, klinkier topiony, mikrostruktura.

W artykule scharakteryzowano wybrane, komercyjnie dostępne topione klinkiery magnezowe i ich wpływ jako czynnika modyfikującego skład zasadowych materiałów ogniotrwałych. Przedstawiono właściwości i mikrostrukturę serii otrzymanych tworzyw, które różniły się zawartością topionego MgO (od 0 do 100%), wprowadzanego do masy ceramicznej. Stwierdzono wzrost wytrzymałości mechanicznej oraz spadek porowatości otwartej uzyskanych tworzyw na bazie topionej magnezji. Wykazano również poprawę odporności na wstrząsy cieplne przy częściowym zastępowaniu klinkieru spiekanego.

1. Wprowadzenie

Wyroby magnezowe stanowią jedną z grup zasadowych materiałów ogniotrwałych, które są znane i wytwarzane od wielu dziesięcioleci. Swoje korzystne właściwości materiały te zawdzięczają głównemu składnikowi tlenku magnezu (peryklaz – MgO). Tlenek ten, jako dominujący składnik fazowy, przyczynia się do uzyskania charakterystycznych właściwości całej grupy wyrobów magnezowych, gdyż charakteryzuje się niezwykle wysoką ogniotrwałością (temperatura topnienia ok. 2850°C) oraz odpornością na korozyjne działanie związków żelaza przy jednoczesnej stosunkowo małej (w porównaniu z tlenkiem wapnia) podatności na hydratację. Magnezowe wyroby zasadowe charakteryzują się bardzo dobrą odpornością chemiczną na działanie czynników alkalicznych, są odporne na działanie zasadowego żuźla, wapna oraz cementu. Jednocześnie szybko korodują w środowisku kwaśnym. Słabą ich stroną jest również mała odporność na

* Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach, r.kusiorowski@icimb.pl

** Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach, a.sliwa@icimb.pl

nagłe zmiany temperatury – wstrząsy cieplne, co wynika z dużej rozszerzalności i przewodności cieplnej [1–3].

Głównym surowcem stosowanym w produkcji zasadowych wyrobów ogniotrwałych są klinkiery magnezjowe, które – ze względu na sposób otrzymywania – można podzielić na dwie grupy:

- klinkiery spiekane – otrzymywane w procesie spiekania w odpowiednio wysokiej temperaturze naturalnych magnezytów bądź wodorotlenku magnezu uprzednio pozyskanego z wód morskich lub solanek;
- klinkiery topione – otrzymywane w wyniku stopienia surowców magnezjowych.

Generalnie w łącznej światowej produkcji ogniotrwałych klinkierów magnezjowych dominują ilościowo klinkiery spiekane, a nie topione [4]. Na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się jednak rosnące zainteresowanie użytkowników wyrobami opartymi na topionych surowcach, co powoduje wzrost ich podaży na rynku. Zwiększone zainteresowanie przemysłu surowcem topionym może wynikać z możliwości otrzymywania bardzo czystego materiału, gdyż w trakcie topienia może dojść do pożądanego zjawiska migracji domieszek w kierunku zewnętrznych warstw i wzbogacenia stopu w MgO. Tendencja do uzyskania jak największej zawartości MgO w wyrobie jest zrozumiała, gdyż produkt ten zbliża się do czystego peryklazu. Ponadto w wyniku topienia istnieje możliwość wytworzenia dużych kryształów peryklazu w klinkierze, co może przyczynić się do wzrostu odporności korozyjnej tworzywa ogniotrwałego, gdyż obok czynników związanych ze zawartością tworzywa (objętość porów, rozkład ich wielkości; wpływających na łatwość infiltracji materiału przez medium korozyjne), należy oczekiwać obniżonej reaktywności chemicznej dużych kryształów, co wynika z mniejszego rozwinięcia ich powierzchni. Obecność dużych kryształów peryklazu, np. w przypadku wyrobów magnezjowo-węglowych, jest pożądana, gdyż zmniejsza się wówczas podatność MgO na redukcję węglem [5]. Trzeba sobie jednak zdawać sprawę, że im większe kryształy MgO w finalnym wyrobie, tym można spodziewać się jego mniejszej odporności na wstrząsy cieplne [4], co wynika z charakterystycznej właściwości tlenku magnezu, a mianowicie z dużego współczynnika rozszerzalności cieplnej.

Celem niniejszego artykułu było określenie wpływu dodatku topionej magnezji w zestawie surowcowym na właściwości użytkowe zasadowej ceramiki ogniotrwałej.

2. Część doświadczalna

2.1. Przedmiot badań

W badaniach zastosowano trzy komercyjnie dostępne klinkiery magnezjowe, różniące się sposobem otrzymywania. Jeden z nich był w postaci spiekanej (próbka

S), otrzymywany w wyniku spiekania magnezytu, pozostałe dwa otrzymywane były w wyniku stopienia (próbki T1 i T2). Maksymalna wielkość ziarna stosowanych klinkierów magnezjowych wynosiła 6 mm. Klinkiery MgO zastosowane w badaniach zostały przebadane pod względem składu chemicznego oraz jakościowego składu fazowego. Określono gęstość pozorną oraz porowatość otwartą zastosowanych klinkierów metodą hydrostatyczną (w nafcie). Dokonano również obserwacji ich mikrostruktury w mikroskopie elektronowym.

2.2. Metodyka badań

Założeniem realizowanych prac było stopniowe zastępowanie klinkieru spiekanego klinkierem topionym w serii przygotowywanych mas ceramicznych. Sporządzono łącznie osiem zestawów surowcowych (tab. 1) o rosnącym udziale klinkierów topionych od 0 do 100%. Ze względu na swoje właściwości (podrozdz. 3.1.) klinkier topiony T2 wprowadzany był do mas w zastępstwie frakcji gruboziarnistych, klinkier topiony T1 był mielony do uziarnienia poniżej 0,06 mm i wprowadzany jedynie z frakcją pyłową, przy założeniu by stanowił ok. 1/3 łącznej masy przypadającej na surowce topione.

Tabela 1

Skład przygotowanych zestawów surowcowych

Oznaczenie masy	MgO spiekany – S	MgO topiony – T1	MgO topiony – T2
	zawartość [% mas.]		
0T	100	–	–
10T	90	3	7
20T	80	6	14
30T	70	8	22
40T	60	12	28
60T	40	16	44
80T	20	23	57
100T	–	26	74

Źródło: Opracowanie własne – tab. 1–4.

Do przygotowania mas ceramicznych założono skład ziarnowy, który odpowiadał krzywej kumulacyjnej według Andreassena: $P = 0,1 + 0,9(d_i/D)^{0,37}$, gdzie: P to zsumowany udział ziaren (w % mas.) o wymiarach nie większych niż $d \leq D$; d to dowolnie wybrany rozmiar ziaren (w mm), spełniających warunek $0 < d \leq D$; natomiast D to górna granica uziarnienia masy (w mm).

Proces otrzymywania tworzyw ceramicznych był jednakowy dla wszystkich mas. W momencie ich sporządzania, wraz z frakcją najgrubszą klinkieru magnezjowego, wprowadzano dodatek ługu posulfitowego w ilości 3,5% w stosunku do sumy suchych składników. Z tak przygotowanych mas metodą jednoosiowego prasowania zaformowano kształtki w postaci walców o średnicy i wysokości 50 mm. W celu odpowietrzenia masy stosowano dwustopniowy cykl prasowania.

Porcję masy ceramicznej umieszczano w formie, po czym zaprasowywano ją pod ciśnieniem wstępnym 60 MPa, a po usunięciu nacisku pod ciśnieniem właściwym 120 MPa. Po uformowaniu kształtki suszono i wypalano w piecu gazowym w maksymalnej temperaturze 1660°C z czterogodzinnym przetrzymaniem.

Po wypaleniu uzyskane tworzywa magnezjowe zbadano pod względem ich podstawowych właściwości użytkowych. Oznaczono: skurczliwość liniową, porowatość otwartą, gęstość pozorną, wytrzymałość na ściskanie, przepuszczalność gazową (zgodnie z odpowiednimi częściami normy serii PN-EN 993). Otrzymane tworzywa badano również pod kątem odporności na wstrząsy cieplne, co polegało na cyklicznym ogrzewaniu w piecu (950°C/25 min) i studzeniu próbek w wodzie (3 min) do momentu utraty przez próbkę 20% pierwotnej masy. Każdy określany parametr tworzywa oznaczano na minimum dwóch próbkach, uznając za wynik końcowy wartość średnią z wyników cząstkowych.

Dla wybranych tworzyw oznaczono również ogniotrwałość pod obciążeniem metodą różnicową w atmosferze powietrza zgodnie z PN-EN ISO 1893:2009, stosując pionowy piec rurowy Netzsch 421, przy zachowaniu szybkości ogrzewania 5°C/min.

Wykonano także badania porozymetryczne otrzymanych tworzyw. W tym celu wykorzystano porozymetr rtęciowy AUTOPORE 9500 produkcji firmy Micromeritics, który umożliwiał badania porowatości i rozkładu wielkości porów w zakresie od 0,006 do 450 µm.

Oznaczenie składu chemicznego surowców wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 12677:2011, stosując metodę rentgenowskiej spektroskopii fluorescencyjnej (XRF) przy wykorzystaniu spektrometru Panalitical Magix PW 2424. Identyfikację faz mineralnych wykonano metodą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD) z zastosowaniem dyfraktometru X'Pert PRO firmy Panalitical (promieniowanie CuK_α filtr Ni, 40 kV, 30 mA). Obserwację mikrostruktury wykonano techniką SEM przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego Mira III firmy Tescan, wyposażonego w system mikroanalizy rentgenowskiej EDS.

3. Wyniki badań i ich omówienie

3.1. Charakterystyka klinkierów magnezjowych

Wyniki badań składu chemicznego użytych klinkierów magnezjowych przedstawiono w tabeli 2. Zastosowany klinkier spiekany (próbka S) odznaczał się niską zawartością domieszek. Zawartość głównego składnika – tlenku magnezu – przekraczała 97% przy jednocześnie stosunkowo wysokim stosunku molowym C/S wynoszącym 2,5.

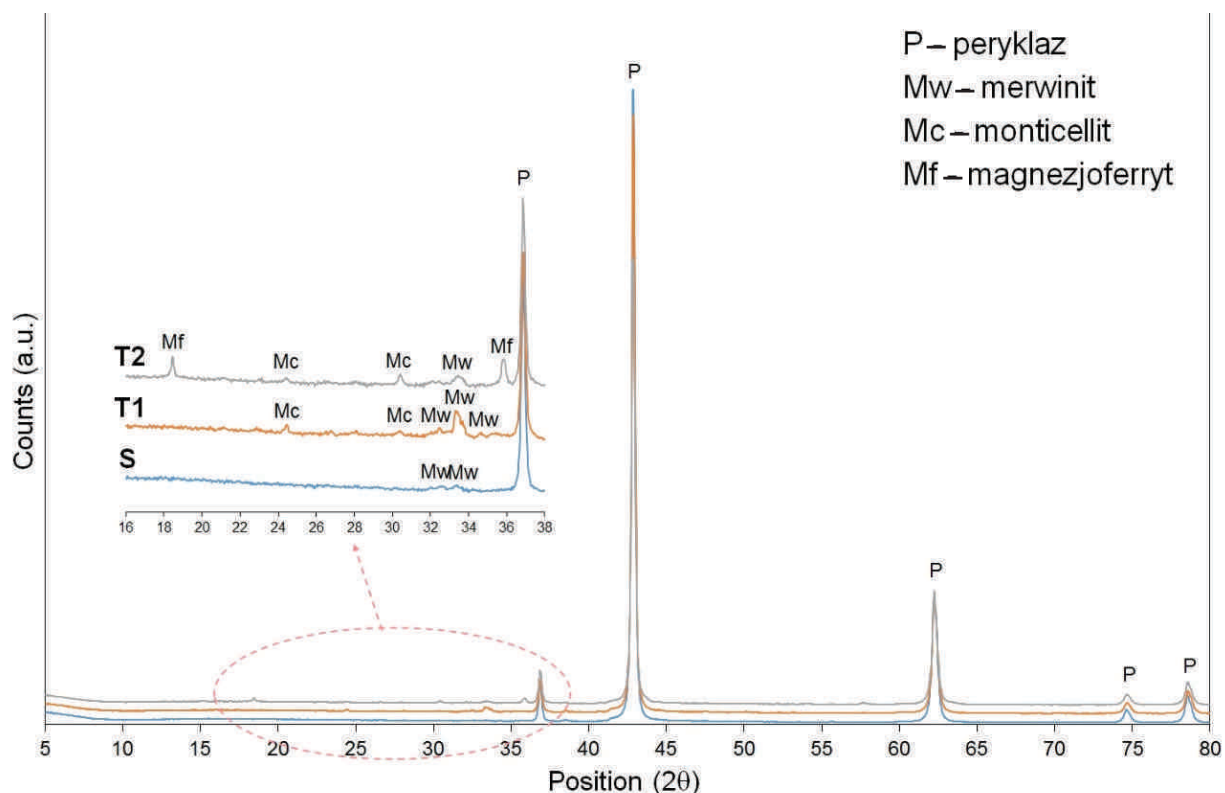
Tabela 2

Skład chemiczny oraz właściwości magnezjowych klinkierów ogniotrwałych zastosowanych w badaniach

Wyszczególnienie	MgO spiekany – S	MgO topiony – T1	MgO topiony – T2
	zawartość [% mas.]		
Strata prażenia	0,15	0,15	0,38
SiO ₂	0,37	1,43	0,92
Al ₂ O ₃	0,81	0,32	0,82
Fe ₂ O ₃	0,41	1,03	0,84
TiO ₂	0,01	0,01	0,01
CaO	0,87	2,19	1,55
MgO	97,65	94,15	94,98
K ₂ O	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Na ₂ O	< 0,01	< 0,01	< 0,01
MnO	0,09	0,08	0,04
P ₂ O ₅	0,05	0,18	0,05
C/S mol	2,5	1,6	1,8
Gęstość pozorna [g/cm ³]	3,14	3,06	3,30
Porowatość otwarta [%]	4,7	10,6	4,2

Badania składu fazowego przeprowadzone metodą XRD (ryc. 1) wykazały – poza peryklazem – obecność jedynie śladów merwinitu Ca₃MgSi₂O₈ (C₃MS₂). W przypadku klinkierów topionych stwierdzono mniejszą zawartość tlenku magnezu, która kształtowała się na poziomie 94–95% przy jednocześnie większej zawartości związków wapnia i krzemu w porównaniu do surowca spiekane go. Obydwa zastosowane klinkiery topione charakteryzowały się zbliżonym stosunkiem C/S (ok. 1,6–1,8), mniejszym w odniesieniu do materiału spiekane go. W przypadku próbki T1, poza peryklazem, zidentyfikowano merwinit i monticellit CaMgSiO₄ (CMS), a dla próbki T2 także magnezjoferryt domieszkowany glinem MgFe_{1,3}Al_{0,7}O₄.

Wyniki badań podstawowych właściwości stosowanych klinkierów wykazały różnice w przypadku zastosowanych surowców topionych. Dla próbki T1 stwierdzono wyraźnie mniejszą gęstość pozorną przy jednocześnie bardzo dużej porowatości otwartej surowca w porównaniu z próbką T2. Właściwości te były nietypowe w odniesieniu do oczekiwanych i mogą wskazywać na niedostateczne przetopienie bądź niewłaściwą selekcję jakościową, tj. niedokładne oddzielenie materiału nie w pełni stopionego. Potwierdzeniem tego były obserwacje makroskopowe obu topionych klinkierów, które w przypadku magnezji T1 wykazały dużą niejednorodność surowca (ryc. 2) – obok zwartych, litych kryształów można było znaleźć również ziarna o dużej porowatości. W związku z powyższym materiał T1 był stosowany w dalszych badaniach w ograniczonym zakresie. Był on mielony do frakcji poniżej 0,06 mm i wprowadzany do mas jedynie z frakcją pyłową.



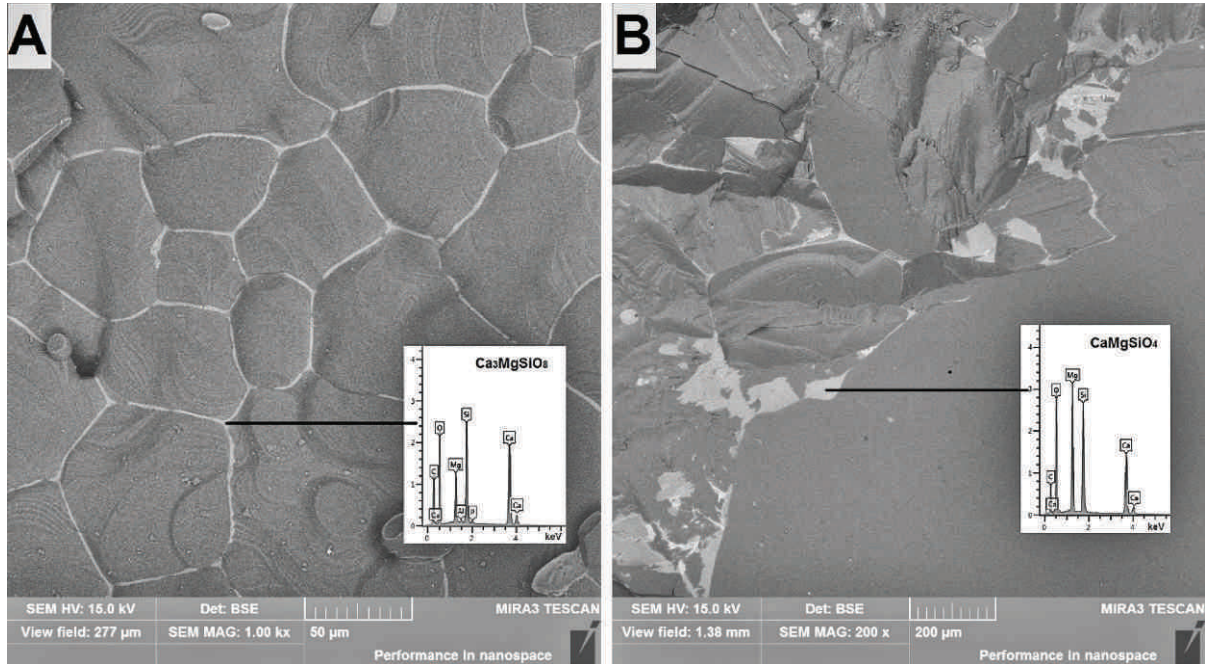
Z r ó d ł o: Opracowanie własne – ryc. 1–6.

Ryc. 1. Dyfraktogramy XRD zastosowanych magnezjowych klinkierów ogniotrwałych

Spiekany klinkier magnezjowy charakteryzował się budową grubokrystaliczną, o kryształach dochodzących rozmiarem do ok. 100 μm , średnio ok. 50–60 μm . Poszczególne kryształy peryklazu były w większości połączone ze sobą za pośrednictwem dobrze widocznej fazy krzemianowej, którą stanowił merwinit. W przypadku klinkierów topionych obserwowano znacznie większe kryształy, osiągające rozmiary kilkuset μm , które również były zrosnięte przez fazę krzemianową. Punktowe analizy składu wykonane metodą EDS potwierdziły obecność m.in. monticellitu (ryc. 3).



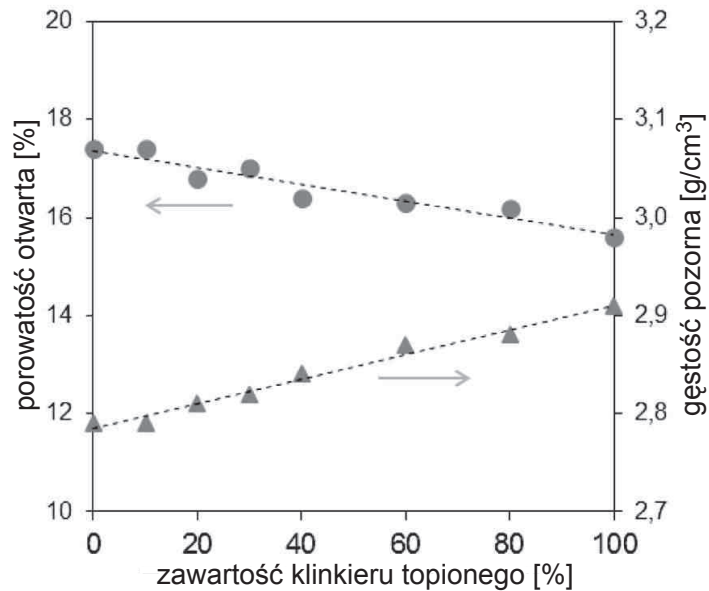
Ryc. 2. Zdjęcie makroskopowe topionych klinkierów



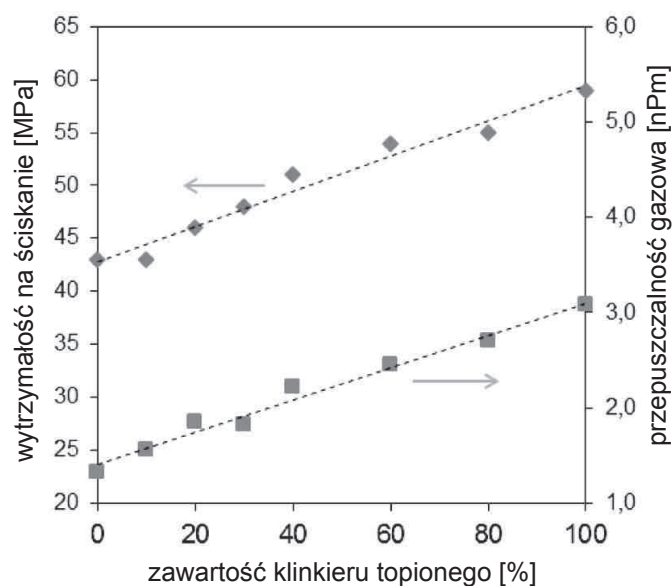
Ryc. 3. Obrazy SEM z analizą punktową EDS klinkierów magnezjowych: a) S, b) T2

3.2. Charakterystyka uzyskanych tworzyw

Wyniki badań właściwości uzyskanych tworzyw przedstawiono na rycinach 4–6 oraz w tabelach 3 i 4.



Ryc. 4. Zależność porowatości otwartej (●) oraz gęstości pozornej (▲) otrzymanych tworzyw w funkcji zawartości klinkieru topionego



Ryc. 5. Zależność wytrzymałości na ściskanie (◆) oraz przepuszczalności gazowej (■) otrzymanych tworzyw w funkcji zawartości klinkieru topionego

Tabela 3

Właściwości otrzymanych tworzyw po wypaleniu

Oznaczenie masy	Skurczliwość całkowita [%]		OWT [liczba cykli]	Objętość porów $\times 10^2$ [ml/g]	Mediana objętościowa średnicy porów [μm]	Krętość porów [-]	Ogniotrwałość pod obciążeniem T0.1/T0.5/T1 [°C]
	\emptyset	h					
0T	0,2	0,2	7	6,19	4,31	15,92	1474/1652/> 1700
10T	0,2	0,3	9	6,03	4,39	15,35	n.o.
20T	0,2	0,4	9	5,84	6,25	13,53	n.o.
30T	0,2	0,5	9	5,89	6,68	14,69	n.o.
40T	0,3	0,5	10	5,77	7,46	11,53	n.o.
60T	0,2	0,6	11	5,48	7,75	11,12	n.o.
80T	0,4	0,5	9	5,52	7,96	11,88	n.o.
100T	0,5	0,7	7	5,49	7,47	12,38	1481/1625/> 1700

n.o. – nie oznaczono.

Tabela 4

Rozkład wielkości porów w uzyskanych tworzywach

Przedział wielkości średnic [μm]	Udział porów z określonego przedziału wielkości średnic [%]							
	0T	10T	20T	30T	40T	60T	80T	100T
> 90	3,80	3,87	3,45	4,53	3,38	3,13	4,02	3,87
30-90	0,44	0,66	0,95	1,52	1,35	1,06	0,73	1,63
10-30	9,01	8,40	20,26	20,84	30,13	30,12	31,88	28,98
5-10	30,52	32,16	28,03	30,93	27,64	31,86	31,55	33,12
1-5	49,13	49,72	43,26	39,46	35,80	32,74	30,03	31,25
< 1	7,11	5,19	4,05	2,72	1,70	1,09	1,79	1,16

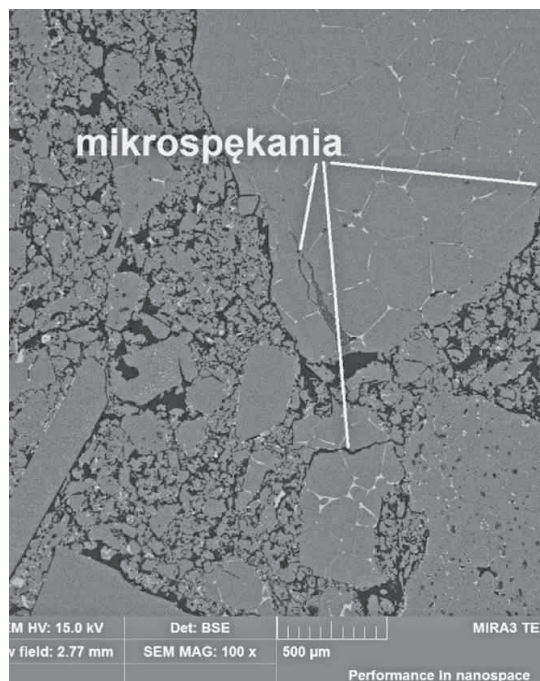
Wszystkie otrzymane tworzywa charakteryzowały się bardzo małą całkowitą skurczliwością wynoszącą wyraźnie poniżej 1% (tab. 3). Świadczyć to może o dużej stabilności wymiarowej takich wyrobów. Obserwowano jedynie nieznaczny wzrost tego parametru przy zwiększaniu zawartości topionego klinkieru w masach ceramicznych (z 0,2% dla próbki 0T do 0,7% w przypadku próbki 100T). Fakt ten można tłumaczyć podwyższeniem zawartości domieszek (związków Ca, Si, Fe) sprzyjających spiekaniu masy, w wyniku wprowadzania coraz to większej ilości surowca topionego o niższej zawartości MgO (tab. 2). Potwierdzeniem były wykonane w programie FactSage obliczenia składu równowagowego dla zastosowanych klinkierów magnezjowych, które wykazały – w porównaniu do klinkieru spiekanego S – ponad dwukrotnie większą zawartość fazy ciekłej po wypaleniu w założonej temperaturze.

Właściwości tworzyw magnezjowych na bazie topionych klinkierów kształtowały się praktycznie liniowo w funkcji ich udziału (ryc. 4 i 5). Wzrost udziału części topionej w masie ceramicznej przyczynił się do zwiększenia gęstości pozornej tworzyw (z 2,78 dla 0T do 2,91 g/cm³ dla 100T). Stwierdzono również liniowy wzrost wytrzymałości na ściskanie. W przypadku całkowitego zastąpienia klinkieru spiekanego materiałem topionym (próbka 100T), wytrzymałość wzrosła w przybliżeniu o ok. 35%, z 43 do ok. 59 MPa. Jednocześnie obserwowano spadek porowatości otwartej o ok. 2 punkty procentowe (odpowiednio z 17,4 do 15,6%). Obniżenie porowatości otwartej może przyczyniać się do dłuższego czasu eksploatacji materiałów z dodatkiem klinkierów topionych, gdyż przy obniżeniu porowatości należałoby oczekiwać zwiększenia odporności korozyjnej materiału, w wyniku utrudnionego dostępu czynników korozyjnych do wnętrza tworzywa. Nie jest to jednak parametr determinujący, gdyż należy także równocześnie rozpatrywać własności fizyczne związane ze zwartością tworzywa – dla uzyskanych materiałów jednocześnie stwierdzono wzrost przepuszczalności gazowej (z ok. 1,5 do 3 nPm).

Badania porozymetryczne wykazały przyczynę takiego wzrostu. O ile wprowadzenie surowca topionego przyczyniało się do nieznacznego spadku objętości

porów przypadających na jednostkę masy tworzywa (z ok. $6,2$ do $5,5 \cdot 10^{-2}$ ml/g – tab. 3), to wzrastały ich wymiary (prawie dwukrotny wzrost mediany objętościowej średnicy porów) i malała tzw. krętość, przyczyniając się do łatwiejszej i szybszej penetracji tworzywa przez medium gazowe. Potwierdzeniem tego były uzyskane wyniki rozkładu wielkości porów w wypalonych tworzywach magnezjowych na bazie surowca topionego (tab. 4). Największe zmiany stwierdzono w przypadku porów o średnicy $10\text{--}30\ \mu\text{m}$, których udział w znaczący sposób wzrósł (z ok. 10 do 30%) przy zwiększaniu udziału klinkieru topionego z 10 do 40%. Równolegle wyraźnemu zmniejszeniu podlegał udział porów drobnych, o wymiarach $1\text{--}5\ \mu\text{m}$ (spadek udziału z ok. 50 do 35%) oraz poniżej $1\ \mu\text{m}$ (z ok. 7 do 2%, porównując tworzywa 0T i 40T). W konsekwencji w rozpatrywanym przypadku czynniki korozyjne najprawdopodobniej łatwiej infiltrowałyby wewnątrz wyrobu o wysokim udziale klinkieru topionego. Poprawy tego niekorzystnego zjawiska należałoby spodziewać m.in. w wyniku optymalizacji doboru surowców i składu ziarnowego przygotowywanych mas ceramicznych.

Dla wszystkich otrzymanych tworzyw odporność na wstrząsy cieplne była bardzo dobra jak na wyroby magnezjowe i wynosiła co najmniej 7 cykli wodnych. Zwraca uwagę wzrost odporności na wstrząsy termiczne (OWT) w przypadku tworzyw z 40 bądź 60% udziałem klinkieru topionego, dla których odporność ta wynosiła ok. 10 cykli ogrzewania w 950°C i późniejszego chłodzenia w wodzie. Zwiększenie odporności na wstrząsy cieplne wynika najprawdopodobniej z ukształtowania się szczególnej mikrostruktury tworzywa, charakteryzującego się obecnością mikropęknięć, na których następuje rozładowanie naprężeń i za-



Ryc. 6. Obraz SEM mikrostruktury tworzywa 60T z charakterystycznymi mikrospeknięciami na ziarnach klinkieru topionego przed badaniem OWT

trzymanie postępującego pęknięcia w wyniku doznanego szoku termicznego [1]. Przesłanką ku temu były obserwacje SEM tworzywa 60T, dla którego widoczne były charakterystyczne spękania przebiegające przez ziarna topionego klinkieru (ryc. 6). W przypadku tworzywa powstałego wyłącznie na bazie topionego klinkieru (próbka 100T) ilość powstałych mikrospękań najprawdopodobniej przekroczyła już na tyle istotnie ich optymalny zakres, że następowało nadmierne osłabienie struktury tworzywa i spadek odporności na wstrząsy cieplne. Jest to jedna z możliwych hipotez, którą należałoby potwierdzić, rozszerzając zakres badań w przyszłości m.in. o obserwacje mikrostruktury tworzyw po różnej liczbie cykli zmian temperatury.

Wprowadzenie klinkieru topionego nie wpłynęło na obniżenie ogniotrwałości pod obciążeniem. W przypadku porównania tego parametru dla dwóch skrajnych przypadków, tj. tworzyw powstałych na bazie MgO wyłącznie spiekane go bądź topionego (tab. 3) nie stwierdzono istotnych różnic. Wartości wyznaczonych parametrów T różniły się nieznacznie i w przypadku $T_{0,5}$ uzyskana wartość 1620–1650°C jest typowa dla wyrobów magnezjowych, dla których literatura podaje przedział 1500–1750°C [1].

4. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały wpływ wprowadzenia topionego klinkieru MgO do mas ceramicznych przeznaczonych do wytwarzania magnezjowych materiałów ogniotrwałych. Przed wprowadzaniem surowca do mieszanek ceramicznych istotna jest kontrola jakości surowca – jeden z badanych surowców odznaczał się dużą niejednorodnością ziaren, w której poza ziarnami litymi stwierdzano obecność fragmentów silnie porowatych, o znacznej porowatości, a których zastosowanie rzutowałoby w konsekwencji na właściwości finalne tworzyw. Wprowadzanie klinkieru topionego przyczyniało się do wzrostu gęstości pozornej tworzywa i spadku porowatości otwartej. Równocześnie obserwowano poprawę wytrzymałości mechanicznej. W przypadku zastosowanych klinkierów magnezjowych stwierdzono również ich wyraźny wpływ na mikrostrukturę poprzez zmianę w rozkładzie wielkości porów. Wprowadzenie topionego klinkieru przyczyniło się do zwiększenia udziału porów średnich (10–30 μm) przy jednoczesnym zmniejszeniu udziału tych najmniejszych (poniżej 5 μm)*.

Literatura

[1] N a d a c h o w s k i F., *Zarys technologii materiałów ogniotrwałych*, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1995.

* Praca została sfinansowana ze środków na działalność statutową Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych.

- [2] P a w ł o w s k i S., S e r k o w s k i S., *Materiały ogniotrwałe – własności i zastosowanie w urządzeniach przemysłowych*, t. 1, Klub Producentów Materiałów Ogniotrwałych, SITPH, Oddział Materiały Ogniotrwałe, Gliwice 1996.
- [3] R o u t s c h k a G. (ed.), *Refractory Materials – Pocket Manual*, 2. ed., Vulkan-Verlag, Essen 2004.
- [4] G a l o s K., *Surowce importowane dla krajowego przemysłu materiałów ogniotrwałych w świetle obecnych potrzeb ilościowych i jakościowych*, cz. 1: *Magnezje ogniotrwałe*, „Ceramika, Materiały Ogniotrwałe” 1999, nr 4, s. 120–126.
- [5] B u c h e b n e r G., K r o n t h a l e r A., H a m m e r e r W., *Magnesia-carbon bricks made in Europe – challenges and solutions*, „RHI Bulletin” 2014, No. 1, s. 9–11.

ROBERT KUSIOROWSKI
ANDRZEJ ŚLIWA

INFLUENCE OF FUSED MGO ON THE PROPERTIES OF MAGNESIA REFRACTORIES

Keywords: magnesia refractories; properties; fused magnesia; microstructure.

Properties of two commercially available fused magnesia clinkers and the impact of this raw material as a modifying agent of magnesia refractories were studied. The basic properties and microstructure of the obtained materials with different amount of fused magnesia previously introduced to ceramic masses were presented. The amount of fused magnesia was at the level from 0 to 100 wt%. The increase of mechanical strength as well as the decrease of open porosity were observed for materials with fused magnesia. In the case of partial substitution of sintered magnesia, an improvement of thermal shock resistance was also noticed.