
PRACE

**Instytutu Szkła, Ceramiki
Materiałów Ogniotrwałych
i Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Glass, Ceramics
Refractory and Construction Materials

Nr 3

ISSN 1899-3230

Rok II

Warszawa–Opole 2009

*ALICJA PAWEŁEK**
*TERESA WALA***

Misy ceramiczne układu zalewowego form odlewniczych

Wymagania techniczne przy otrzymywaniu odlewów precyzyjnych, zmuszają producentów ceramiki do poszukiwań nowych asortymentów wyrobów, spełniających zastrzone wymagania pod względem czystości chemicznej. Jednym z takich elementów są misy ceramiczne układów zalewowych form odlewniczych. Przedstawiono wymagania stawiane tym wyrobom oraz podstawowe własności otrzymywanych – zgodnie z opracowaną w Oddziale Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach technologią – mis ceramicznych. Omówiono testy, jakim poddane są wyroby u użytkownika oraz szczegółowo zbadano mikrostrukturę wyrobów przed, jak i po pracy w kontakcie z ciekłymi stopami.

1. Wprowadzenie

Aktualne tendencje światowe i wymogi konkurencyjności wymuszają wprowadzenie automatyzacji przy produkcji form ceramicznych na odlewy precyzyjne wykonywane wielkoseryjnie dla przemysłu lotniczego i kosmicznego. Wymusza to z kolei stosowanie znormalizowanych elementów o wysokiej czystości i dokładności wykonania. Wynika stąd konieczność poszukiwania rozwiązań umożliwiających zastosowanie gotowych elementów ceramicznych dla układu wlewowego: mis wlewowych, ceramicznych elementów wzmacniających w postaci prętów pełnych i z otworami o przekroju kwadratowym, rurek oraz kształtek w postaci krążków lub trójkników, jak również pokrywek zabezpieczających misy przed osadzaniem pyłów podczas wygrzewania układu odlewniczego. Istotną rolę w procesie wytwarzania precyzyjnych odlewów odgrywają także materiały ceramiczne w postaci tygli do topienia, stanowiące również naczynia odlewnicze. Uwzględniając potrzeby procesów wytwarzania odlewów precyzyjnych, stosowane tworzywa ceramiczne winny charakteryzować się następującymi cechami:

*Dr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie, Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach.

**Mgr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie, Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach.

- dobrymi własnościami wytrzymałościowymi,
- wysoką odpornością na wstrząsy cieplne,
- odpornością erozyjną i korozyjną na działanie stopów metali,
- odpowiednio niską zawartością zanieczyszczeń, których przedostanie się do stopu powodowałoby dyskwalifikację odlewu.

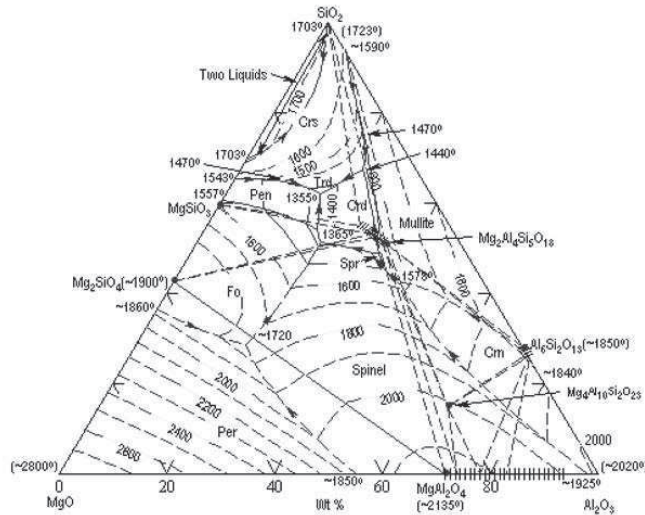
Zgodnie z wieloma doniesieniami literaturowymi, produkcją ceramiki dla układów wlewowych przy próżniowych odlewach precyzyjnych zajmują się następujące firmy: Brightcross Insulation Ltd., Industrial Ceramic Products Inc., Intermet Refractory Products Limited. Informacje przedstawione w niniejszym artykule dotyczą głównie asortymentów ceramicznych wyrobów ogniotrwałych, kształtów i formatów. Tylko materiały przedstawione przez firmę ICP podają ogólnikową charakterystykę ceramicznych mis wlewowych i ich podstawowy skład chemiczny. Stwierdzono w nich jedynie, że:

- można je stosować do odlewania stopów żeliwa i metali nieżelaznych,
- obniżają straty i koszty robocizny,
- eliminują wtrącenia,
- posiadają doskonałą odporność na wstrząsy cieplne.

Firma bazuje na dwóch rodzajach tworzyw ceramicznych, mianowicie: korundowym (zawartość Al_2O_3 – 95,3%) i mulitowym (zawartość Al_2O_3 – 50,0%, SiO_2 – 47%). Ostatnio wprowadzono na rynek tworzywo mulitowo-kordierytowe (zawartość Al_2O_3 – 35,5%, SiO_2 – 55,3%, MgO – 5%). Brak jest natomiast jakichkolwiek informacji na temat wymagań jakościowych wyżej wymienionych tworzyw.

W związku z powyższym w ramach Projektu rozwojowego nr 0802101 pt. „Ceramika do zastosowań w procesie próżniowego odlewania elementów ze stopów o specjalnych wymaganiach odnośnie do czystości metalurgicznej”, zakończonego w 2008 r., opracowano m.in. technologię produkcji mis zalewowych i pokrywek na bazie tworzyw z układu Al_2O_3 - MgO - SiO_2 .

Na rycinie 1 przedstawiono trójskładnikowy diagram równowag fazowych ilustrujący obszary trwałości i współwystępowania faz oraz charakterystyczne temperatury przemian w wymienionym uprzednio układzie.



Crd - kordieryt ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$), Cm - korund ($\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$), Spr - sapphiryn ($4\text{MgO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), Pen - protoenstatyt ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$), Crs - krystobalit (SiO_2), Fo - forsteryt ($\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$)

Ryc. 1. Układ trójskładnikowy $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (E.F. Osborn, A. Muan, 1960) [1].

2. Badania własne

W ramach wykonanej pracy skoncentrowano się na tworzywie z udziałem kordierytu, co powinno gwarantować odpowiednio wysoką odporność na wstrząsy cieplne z uwagi na niski współczynnik rozszerzalności cieplnej kordierytu, wynoszący $1 \div 3,8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ w zakresie temperatury do 1000°C . Ze względu na jednokrotne stosowanie misy w zestawie odlewniczym, należało uwzględnić jak najniższe koszty wytwarzania przy prostym sposobie produkcji, np. z mas plastycznych.

Do prób wytypowano, więc następujące surowce: andaluzyt, glina, kaolin, palonka szamotowa, tlenek glinu, korund, palonka kordierytowa, talk, plastyfikator (stosowano dostępny w handlu środek, będący mieszaniną węglowodorów).

W wyniku przeprowadzonych prób formowania, początkowo z wykorzystaniem istniejącej formy na tygiel, a następnie z wykorzystaniem formy właściwej, wykonanej zgodnie z rysunkiem dostarczonym przez użytkownika, opracowano składy mas w oparciu o:

- 100% palonki kordierytowej (K1),
- 50%/50% palonka kordierytowa i palonka szamotowa (SK1).

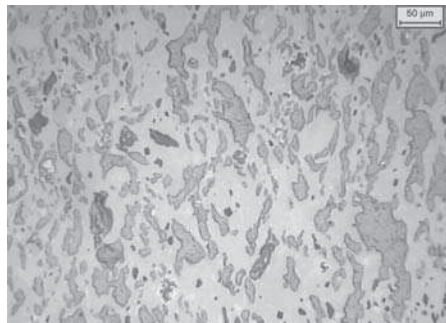
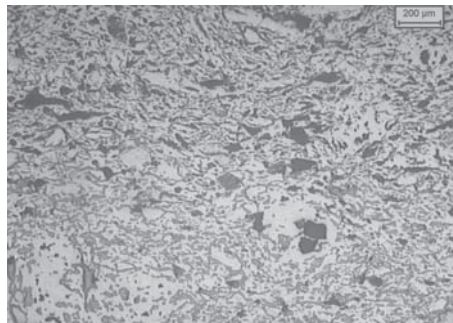
Każdorazowo stosowano 50% gliny plastycznej oraz odpowiedni dodatek talku i tlenku glinu. Uzyskano wyroby o własnościach podanych w tabeli 1 (temperatura wypalania $1350^\circ\text{C}/3 \text{ h}$).

Tabela 1

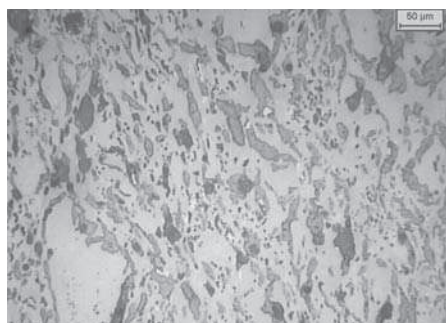
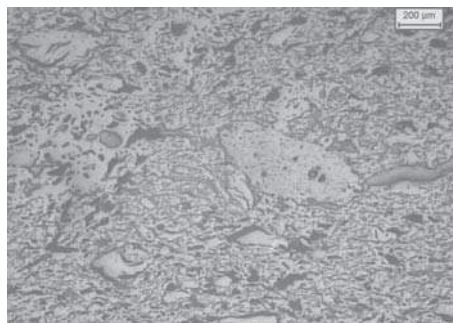
Własności mis zalewowych

Wskaźnik	Jednostka miary	Wartość wskaźnika w wyrobie	
		K1 (100% palonka kordierytowa)	SK1 (50% palonka kordierytowa + 50% palonka szamotowa)
Gęstość pozorna	g/cm ³	1,86	1,90
Porowatość otwarta	%	21,9	21,6
Nasiąkliwość	%	15,0	14,0
Skład fazowy	%		
faza amorficzna		34,6	33,7
kordieryt		49,7	44,3
mulit		13,5	19,9
kwarc		0,6	0,8
korund		1,6	1,3
Odporność na wstrząsy cieplne (950°C – woda)	ilość zmian	pow. 30	pow. 30

Wykonano również badania mikrostrukturalne obydwu wyrobów. Obrazy mikrostruktur wraz z opisami załączono na rycinach 2 i 3.



Ryc. 2. Mikrostruktura wyrobu kordierytowego (K1), światło odbite

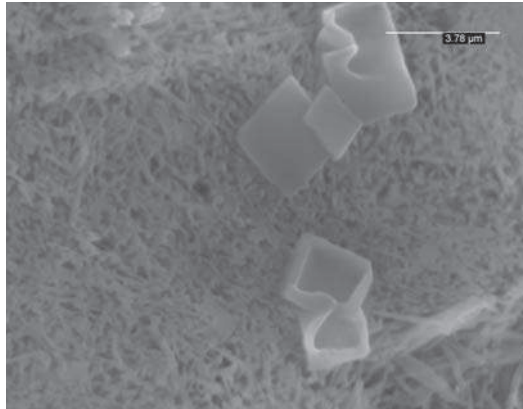


Ryc. 3. Mikrostruktura wyrobu kordierytowo-szamotowego (SK1), światło odbite

Mikrostruktura wyrobów K1 i SK1 była podobnie wykształcona. Charakteryzowała się budową złożoną z ziaren szkieletu ceramicznego i z drobnokrystalicznej, porowatej osnowy, słabo spieczonej z ziarnami szkieletu ceramicznego. Ziarna, z uwagi na swój pokrój anizometryczny, budowały teksturę równoległą podkreśloną wydłużonym charakterem porów otwartych (ryc. 2, 3).

Różnice w wykształceniu mikrostruktury dotyczyły ziaren szkieletu ceramicznego. W wyrobie SK1 dominowały ziarna palonki szamotowej, w skład których wchodził mulit ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$) i kwarc (SiO_2) reszkowy lub/i produkty jego przemiany termicznej: metakrystobalit i krystobalit. W wyrobie K1 szkielet ceramiczny budowały ziarna palonki kordierytowej złożone z kordierytu ($\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$) i z fazy szklistej.

W obydwu wyrobach osnowa była podobnie wykształcona. Reprezentowana była przez mikrokrystaliczne, spilśnione listewki mulitu o szerokości do $0,3\ \mu\text{m}$ i długości do $6\ \mu\text{m}$, oddzielone izolowanymi skupieniami fazy szklistej, występujące pomiędzy agregatami kordierytu i korundu ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) o wielkości do $60\ \mu\text{m}$. W wyrobie K1 miejscami występowały nierównomiernie rozmieszczone kryształy spineli typu MgAl_2O_4 o wielkości ok. $1\div 3\ \mu\text{m}$ z pasmową strukturą powstałą wskutek wzbogacenia w Fe (ryc. 4).



Ryc. 4. SEM – mikrostruktura osnowy wyrobu K1 przed pracą – trawiona 20% HF

Charakterystyczną cechą mikrostruktury były pory otwarte o zbliżonych rozmiarach w omawianych wyrobach. Średnia średnica porów wynosiła $D_{\text{sr}} \sim 6\ \mu\text{m}$, a mediana $D_{50} \sim 5\ \mu\text{m}$ (tab. 2).

Tabela 2

Rozmiary porów [w μm] i analiza statystyczna wyników

Rozmiar porów	Symbol wyrobu	
	K1	SK1
Średnia A	5,7	5,5
Odchylenie standardowe	4,4	2,7
Błąd standardowy	0,2	0,1
Max.	40,9	27,6
Min.	0,7	0,7
Mediana	4,5	5,1

Wprowadzenie palonki kordierytowej wpłynęło na wzrost ilości kordierytu w gotowym wyrobie (tab. 1).

Zgodnie z wymaganiami stawianymi przez użytkownika pod kątem czystości metalurgicznej odlewów, wykonano dodatkowe badania obecności Pb i Bi w zastosowanych surowcach, jak i w wytypowanym tworzywie. Uzyskano następujące wyniki:

– kordieryt	Bi < 1 ppm	Pb – 19 ppm,
– glina	Bi < 1 ppm	Pb – 23 ppm,
– talk	Bi < 1 ppm	Pb – 3 ppm,
– tlenek glinu	Bi < 1 ppm	Pb – 3 ppm,
– tworzywo kordierytowe	Bi < 1 ppm	Pb – 58 ppm.

Zarówno surowce wyjściowe, jak i otrzymane tworzywo kordierytowe wykazują wystarczającą czystość, zgodną z wymaganiami stawianymi przez użytkownika.

Wykonano również w Oddziale Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach w piecu elektrycznym test sprawdzający odporność mis na wstrząsy cieplne (zgodnie z danymi podanymi przez użytkownika), a mianowicie:

- nagrzanie pieca do 900°C, włożenie misy i przetrzymanie przez 3 h,
- podniesienie temperatury do 1050°C i wytrzymanie 3 h,
- podniesienie temperatury do 1200°C, wytrzymanie 3 h i wyjęcie misy z pieca.

Wyroby o symbolu K1 i SK1 wytrzymały test bez spękań i innych uszkodzeń. W związku z powyższym według składu K1 wykonano partię mis, które przekazano do prób eksploatacyjnych na stanowisko zalewania form u użytkownika.

3. Badania eksploatacyjne

Badania eksploatacyjne wykonano na Wydziale Odlewów Precyzyjnych Wytwórni Sprzętu Komunikacyjnego (WSK) Rzeszów. Najpierw misę poddano te-

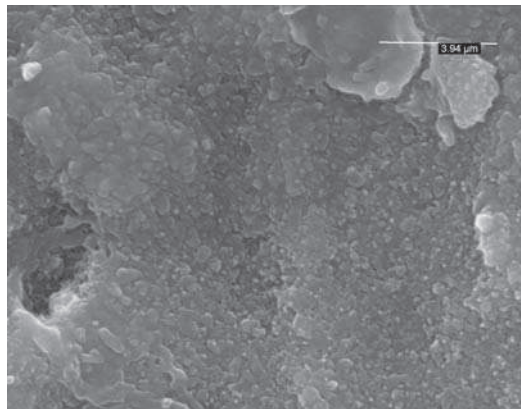
stowi odporności na wstrząsy ciepłe według procedury użytkownika, a mianowicie: włożono misę do pieca zimnego, włączono piec i po upływie 1 h osiągnięto temperaturę 1215°C, w której misa była przetrzymywana przez kolejnych 6 h, a następnie wyjęto misę z pieca. Nie stwierdzono żadnych pęknięć, ani też innych wad bezpośrednio po wyjęciu, jak i całkowitym wystudzeniu misy. Dlatego też przygotowano kilka kompletów mis do odlewania stopów i podobnie jak w teście wyżarzano je w temperaturze 1215°C przez ok. 6 h.

Misy zalano stopem, czas trwania odlewania wynosił od kilku do kilkunastu sekund w zależności od wielkości i kształtu odlewu. Misy sprawdziły się bardzo dobrze, nie zaobserwowano pęknięcia w trakcie zalewania stopem.

Po wystudzeniu pobrano do badań mikrostrukturalnych próbki mis z miejsc kontaktu ze stopem. Wykonana analiza mikrostrukturalna nie wykazała penetracji stopu w głąb tworzywa kordierytowego (K1).

Makroskopowe obserwacje ujawniły występowanie warstewki o brunatnym zabarwieniu i zmianę barwy pozostałej części wyrobu z żółtobezowej na jasnooliwkową. Lokalnie występowały pojedyncze pęknięcia. Mikroskopowe obserwacje przeprowadzono z zastosowaniem mikroskopu optycznego w świetle odbitym (OM) na zglądach jednostronnie polerowanych i w mikroskopie skaningowym (SEM) na przełamach po napyleniu Au, stosując napięcie przyspieszające 25 kV.

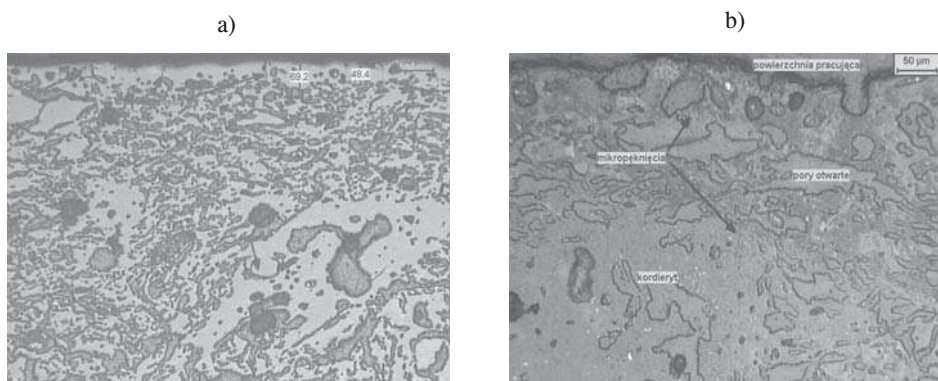
Badania mikrostruktury (SEM) brunatnej warstewki na powierzchni pracującej wyrobu wykazały stosunkowo jednorodną budowę złożoną z fazy szklistej (SiO_2) ulegającej wytrawianiu 20% HF, w której tkwiły płytkowe kryształy korundu ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) o zaokrąglonych brzegach i o wielkości najczęściej od ok. 0,1 do 1,0 μm (ryc. 5).



Ryc. 5. SEM – mikrostruktura powierzchni pracującej wyrobu K1

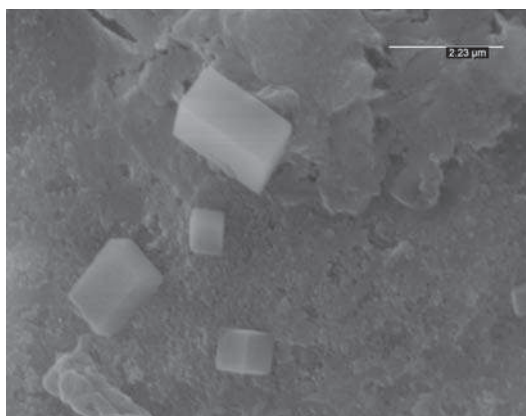
Badania mikrostruktury (OM) wyrobu na przekroju prostopadłym do powierzchni pracującej ujawniły zróżnicowanie strefowe mikrostruktury: zewnętrzną (1) – reakcyjnie zmienioną, środkową (2) – z częściowo zmienioną mikrostrukturą i strefę wewnętrzną (3) – najmniej zmienioną.

W strefie zewnętrznej (1), na styku ze stopem, wykształciła się warstewka zwarta, spieczona o grubości od ok. 10 do 70 μm z lokalnymi mikropełnięciami prostopadłymi do powierzchni pracującej (ryc. 6 a i b).



Ryc. 6. OM – mikrostruktura wyrobu K1 po pracy: a) warstewka zewnętrzna (1) i środkowa (2); b) powiększony obraz mikrostruktury – trawiony parami HF

Mikrostruktura osnowy w strefie zewnętrznej (1), pod powierzchnią warstewki kontaktowej, wykształcona była w postaci nanokrystalicznych struktur (0,04–0,07 μm) tkwiących w fazie amorficznej z wrostkami spineli automorficznych o rozmiarach od ok. 0,5 do 2,2 μm (ryc. 7).

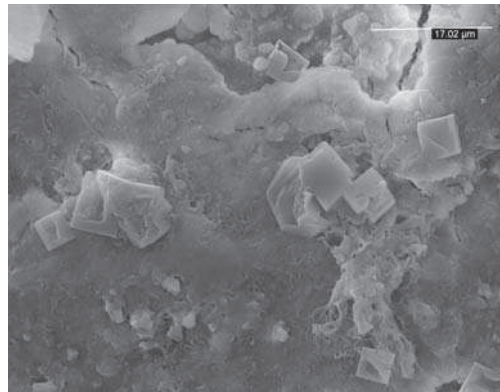


Ryc. 7. SEM – mikrostruktura osnowy ze strefy zewnętrznej (1) wyrobu K1 po pracy – trawiona 20% HF

W strefie środkowej (2), poniżej warstewki zwartej, mikrostruktura uległa zmianie, głównie w osnowie. W mikrostrukturze poza niezmiennymi ziarnami

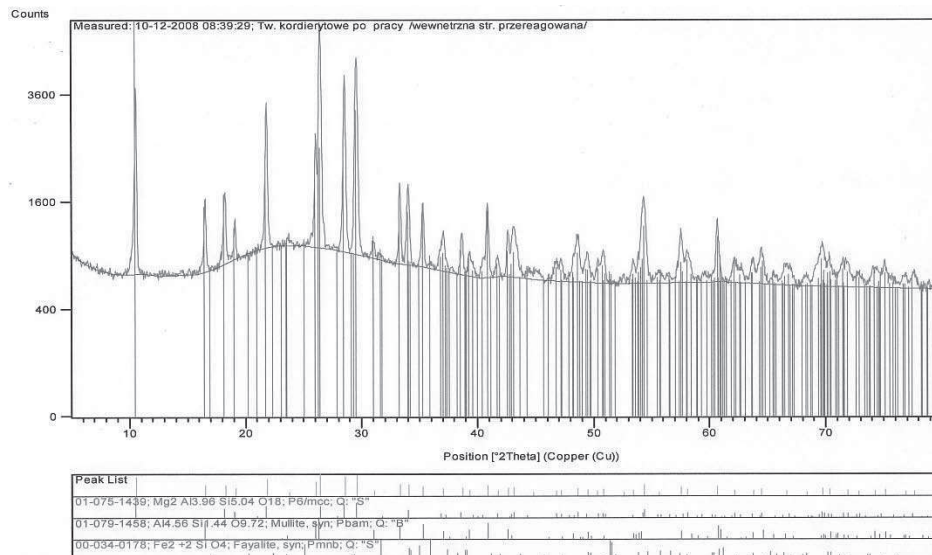
palonki kordierytowej i szamotowej obserwowano w osnowie fazę międzykryształiczną ulegającą zabarwieniu parami HF. Intensywność zabarwienia zanikała w kierunku wyrobu mniej zmienionego.

Osnowę reprezentował drobnokrystaliczny kordieryt i mulit o wielkości kryształów poniżej 3 μm oraz faza międzykryształiczna, ulegająca zabarwieniu parami HF, z udziałem wrostków reprezentujących spinel typu MA o wielkości do 6 μm (ryc. 8).



Ryc. 8. SEM – mikrostruktura osnowy ze strefy (2)
– trawiona 20% HF

Badania składu fazowego otrzymane z litej powierzchni pracującej, wykonane metodą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), wykazały obecność kordierytu z for-



Ryc. 9. Dyfraktogram ze strefy zewnętrznej wyrobu K1 po pracy

mułą chemiczną zbliżoną do ($Mg_2Al_{3,96}Si_{5,04}O_{18}$), mulitu z formułą chemiczną zbliżoną do ($Al_{4,56}Si_{1,44}O_{9,72}$), ślady fajalitu ($Fe_2[SiO_4]$) i fazę amorficzną. Podniesione tło w zakresie kąta 2θ 15–40° charakterystyczne było dla fazy amorficznej (ryc. 9).

W mikrostrukturze wyrobu charakterystyczną cechą były pory otwarte, których średnice przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Średnica porów [w μm] w wyrobie kordierytowym K1 przed (4) i po pracy (1)–(3)

Rozmiar porów	Strefa			
	1	2	3	4
Średnia A	4,3	9,2	6,1	5,7
Odchylenie standardowe	2,9	7,2	4,8	4,4
Błąd standardowy	0,4	0,9	0,4	0,2
Max.	12,9	39,7	36,7	40,9
Min.	0,7	0,7	0,7	0,7
Mediana	3,3	6,4	5,9	4,5

1 – strefa zewnętrzna z warstwą reakcyjną, o grubości ok. 0,6 mm,

2 – strefa środkowa wyrobu po pracy, na głębokości od 0,6 do 2 mm,

3 – strefa wewnętrzna wyrobu po pracy, na głębokości od 2 do 12 mm,

4 – wyrób przed pracą (ryc. 3, 4).

Z przedstawionych badań wyrobu K1 po pracy wynika, że ulegał on korozji chemicznej, a głównie mulit występujący w osnowie. Badania mikrostruktury powierzchni wyrobu K1 po pracy wykazały, że podczas wytopu stopu metalurgicznego następowała przemiana mulitu z wydzieleniem korundu i fazy międzykrystalicznej (ryc. 5). Jest to zgodne ze znanym mechanizmem korozji w warunkach redukcyjnych w układzie stop Al/mulit, który polega na rozkładzie mulitu w wyrobach glinokrzemianowych na korund, Si, SiO_2 i SiO. Powstałe produkty stanowią naturalną barierę przed dalszym wnikaniem stopu w głąb wyrobu [2, 3]. Podczas pracy mogą tworzyć się produkty wtórne obniżające temperaturę eutektyki mulitu i powstałego korundu, która w układzie $Al_2O_3 - SiO_2$ występuje w temperaturze 1597°C. Produkty te ułatwiają spieczenie materiału [4].

Wytworzenie się zwartej i spieczonej warstewki z udziałem produktów rozkładu substratów w warunkach pracy wyrobu kordierytowego na wiązaniu mulitowym (K1) potwierdza występowanie uprzednio opisanego mechanizmu zachodzącego podczas wytopu stopów Al w czasie kontaktu z wyrobami glinokrzemianowymi. Badania składu fazowego strefy zewnętrznej metodą XRD wykazały, że obok kordierytu, mulitu i znaczącego udziału fazy amorficznej w warunkach pracy wyrobu K1 krystalizował fajalit ($Fe_2[SiO_4]$) (ryc. 9). Krystalizację fajalitu należałoby wiązać z obecnością domieszki Fe w wyrobie, które występując na trze-

cim stopniu utlenienia, spowodowało żółtawe zabarwienie wyrobów przed pracą. Zmiana zabarwienia wyrobu po pracy na kolor zielonkawooliwkowy, wiązała się z redukcją Fe^{3+} występującego w wyrobie wypalonym w warunkach powietrza.

Reasumując, warunki próżniowego podlewania spowodowały zmianę stopnia utlenienia domieszkowego Fe, które skutkowało nie tylko zmianą zabarwienia wyrobu, ale i krystalizacją fajalitu w części gorącej, bezpośrednio kontaktującej się ze stopem.

Z obecnością fajalitu zidentyfikowanego w strefie zewnętrznej (1) wiązało się powstanie najniższej eutektyki w temperaturze ok. 1088°C , która wynika z układu trójskładnikowego $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ pomiędzy kordierytom żelazistym, fajalitem i hercynitem, co ułatwiało spieczenie materiału i zmniejszenie średnicy porów w strefie zewnętrznej (ryc. 6 i 8, tab. 3).

W stanie równowagi termodynamicznej mulit nie współwystępuje z oliwinem (fajalitem) i dlatego w warunkach pracy powinien ulegać rozkładowi na korund i fazę szklistą w myśl reakcji:



O takim przebiegu reakcji mogą świadczyć zmiany w mikrostrukturze wyrobu, gdzie pory uległy zasklepieniu w wyniku wydzielania się fazy bezpostaciowej, której obecność stwierdzono podczas badań SEM i XRD (ryc. 5, 9).

4. Wnioski

- W wyniku przeprowadzonych badań laboratoryjnych i prób przemysłowych opracowano założenia technologiczne produkcji elementów ceramicznych stosowanych w procesie próżniowego odlewania, w tym m.in. mis zalewowych. Otrzymano tworzywo kordierytowe wysokiej czystości (zawartość Bi < 1 ppm, Pb – 58 ppm), zgodnie z wymaganiami stawianymi przez użytkowników oraz o bardzo dobrych właściwościach termomechanicznych (odporność na wstrząsy cieplne 950°C /woda – powyżej 30 zmian).
- Misy po przejściu specjalnych, ostrych testów temperaturowych (podniesienie temperatury do 1215°C , przetrzymanie 6 h i gwałtownie ochłodzenie do temperatury pokojowej) zostały przetestowane z wynikiem pozytywnym w warunkach ruchowych w WSK Rzeszów w procesie próżniowego odlewania elementów o specjalnych wymaganiach w zakresie czystości metalurgicznej.
- Zgodnie z opinią użytkownika, misy sprawdziły się w procesie odlewania stopu. Nie zaobserwowano spękań w trakcie zalewania, jak również nie stwierdzono ubytków materiału misy.

- Wykonane badania mikrostruktury mis przed i po pracy wykazały, że w prowadzonych warunkach odlewania stopu zachodziła korozja chemiczna osnowy mulitowej zgodnie ze znanym mechanizmem stop Al/mulit. W wyniku korozji mis stwierdzono występowanie zwartej warstewki reakcyjnej powstałej wskutek rozkładu mulitu na korund i fazę bezpostaciową przy współdziałaniu krystalizacji niskotopliwego fajalitu.
- Wykształcenie się zwartej warstewki reakcyjnej chroniło wyrób K1 przed penetracją stopu, jak również stanowiło barierę przed zanieczyszczeniem stopu składnikami tworzywa ceramicznego. Misy z tworzywa K1 uzyskały bowiem wynik pozytywny WSK Rzeszów pod kątem specjalnych wymagań w zakresie czystości metalurgicznej w procesie próżniowego odlewania elementów.

Literatura

- [1] Osborn E.F., Muan A., *Phase Equilibrium Diagrams of Oxide Systems, Plate 3, American Ceramic Society and the Edward Orton*, „Journal Ceramic Foundation” 1960.
- [2] Sobczak N., Takahashi H., Shibayama T. in., *Proc. 3rd Japanese-Polish Joint Seminar on Materiale Analysis*, July 2000, Zakopane, Poland, s. 41–44.
- [3] Sobczak N., Stobierski L., Książek M., *Wpływ temperatury i dodatków stopowych na zwilżalność i reaktywność w układzie Al/Mullit*, „Ceramika/Ceramics” 2003, Vol. 80, s. 831–837.
- [4] Wala T., Podwórny J., Barański J., *Zmiany mikrostruktury wyrobu andaluzytowego po pracy przy wytopie aluminium i przyczyny jego zużycia*, [w:] *Materiały XI Międzynarodowej Konferencji*, Wisła-Jawornik 2005, s. 88–98.
- [5] Poirier J., Qafsooui F., *Analysis and interpretation of refractory microstructures in studies of corrosion mechanisms by liquid oxides*, „Journal European Ceramic Society” 2008, No. 8, s. 1557–1558.

ALICJA PAWEŁEK
TERESA WALA

CERAMIC SLEEVES FOR POURING SYSTEMS

Due to particular technical requirements of precise casting process the producers of ceramics are forced to search for new products which are characterized by high chemical purity. One of such elements are pouring sleeves applied in casting systems. In this paper most important requirements and basic properties of products developed in OMO are presented. Furthermore the results of trial tests as well as microstructural investigations of developed pouring sleeves were discussed.