

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 25**  
(kwiecień–czerwiec)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

**Rok IX**

**Warszawa–Opole 2016**

---

PIOTR ZAPOLSKI\*

# Problem wpływu wanadu i arsenu na proces klinkieryzacji oraz właściwości cementów

**Słowa kluczowe:** klinkier, cement, paliwa alternatywne, wanad, arsen.

Stosowanie paliw alternatywnych wytwarzanych z odpadów powoduje wprowadzanie do pieca obrotowego m.in. metali ciężkich, co może spowodować otrzymanie klinkieru o właściwościach, które mogą mieć wpływ na niespełnienie przez cement oczekiwanych wymagań jakościowych. Celem badań było określenie zmian, jakie mogły nastąpić w procesie klinkieryzacji i przeniesienia tych nowych właściwości na cement. Badania zrealizowano w dwóch etapach: badania zawartości wolnego wapna, XRD z metodą Ritvelde, na mikroskopie optycznym, SEM oraz w drugim etapie badania normowe cementów. Próbkę do badań otrzymano z mąki piecowej z jednej polskiej cementowni bez dodatków oraz z dodatkiem 1% tlenku wanadu i dodatkiem 1% tlenku arsenu.

## 1. Wprowadzenie

Zaostrzające się wymagania ochrony środowiska w zakresie zmniejszania strumienia odpadów kierowanych na składowiska, konieczność redukcji emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery, połączone ze wzrostem zapotrzebowania na cement i poszukiwaniem oszczędności przy jego produkcji, jest przyczyną coraz szerszego stosowania paliw alternatywnych w przemyśle cementowym. Cementownie pracujące w Polsce ciągle zwiększają średni udział ciepła z paliw alternatywnych do wypalania klinkieru, który w 2000 r. wynosił ok. 2%, dochodząc w 2009 r. do 36% [1], natomiast w 2013 r. średnie zużycie osiągnęło już poziom 48% [2], a w niektórych cementowniach ponad 80% [3]. Głównymi składnikami paliw alternatywnych są różnego rodzaju odpady zawierające m.in. metale ciężkie, które wprowadzone do pieca obrotowego mogą mieć wpływ na przebieg procesu klinkieryzacji i zmieniać właściwości klinkieru oraz wyprodukowanego z niego

---

\* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie, p.zapolski@icimb.pl

cementu. Takimi metalami ciężkimi m.in. są wanad (V) i arsen (As) [4]. W niniejszym artykule przedstawione zostały wyniki badań wpływu tych metali na proces klinkieryzacji i właściwości cementów.

## 2. Przygotowanie próbek

Do wykonania próbek użyto mąki piecowej z jednej z cementowni (tab. 1) oraz tlenku wanadu ( $V_2O_5$ ) i tlenku arsenu ( $As_2O_3$ ) jako odczynniki czda.

Tabela 1

*Skład przemysłowego zestawu surowcowego*

Tlenki	Zawartość [%]	Metale	Zawartość [ppm]
CaO	43,00	As	< 10
SiO <sub>2</sub>	13,16	Cr	34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,74	Zn	118
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,83	Cd	2,2
SO <sub>3</sub>	0,93	Pb	13
MgO	1,00	Co	< 2
K <sub>2</sub> O	0,77	Ni	15
Na <sub>2</sub> O	0,06	V	35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17	Cu	6
TiO <sub>2</sub>	0,16	Mo	< 2
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	Ba	76
SrO	0,04	Sr	364
ZnO	0,01	Mn	154

Źródło: Tab. 1–5 opracowanie własne.

Przygotowano próbki złożone z mąki piecowej bez dodatków, z dodatkiem 1% tlenku wanadu i z dodatkiem 1% tlenku arsenu. Następnie próbki ujednorodniono w mieszarce obrotowej, czas mieszania wynosił 1 h. W celu zapewnienia dobrej jednorodności materiału stosowano jako mielniki niewielkie kulki ceramiczne.

Z każdego materiału wykonano pastylki, które ogrzewano wstępnie w temperaturze 700°C w piecu laboratoryjnym w celu rozłożenia węglanu, a następnie wygrzewano w piecu laboratoryjnym w następującej temperaturze: 1000°C, 1100°C, 1200°C, 1300°C, 1350°C, 1400°C i 1450°C. Czas wygrzewania wynosił 30 min.

W drugim etapie pracy przygotowano cztery próbki złożone z mąki piecowej bez dodatków, z dodatkiem 1% tlenku wanadu i z dodatkiem 1% tlenku arsenu. Próbki te zgranulowano i wypalono w piecu laboratoryjnym w temperaturze 1450°C przez 30 min. Następnie zostały one zmielone i po dodaniu 5% gipsu zarobione zgodnie z normą PN-EN 196-1.

## 3. Wyniki badań

### 3.1. Oznaczenie wolnego wapna

W celu określenia wpływu arsenu i wanadu na przebieg procesu klinkieryzacji w poszczególnych próbkach wykonano oznaczenie wolnego wapna (tab. 2).

Tabela 2

*Zawartość wolnego wapna w próbkach prażonych w różnej temperaturze*

Temperatura [°C]	Bez dodatku	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	zawartość [%]		
1000	30,96	31,59	29,64
1100	24,52	22,94	23,35
1200	20,18	16,18	16,12
1300	9,05	11,72	10,58
1350	5,37	6,83	5,37
1400	2,39	4,43	3,59
1450	1,35	2,99	2,04

Można stwierdzić, że otrzymane wyniki zawartości wolnego wapna w próbkach po prażeniu zarówno z dodatkiem wanadu i arsenu przyspieszają proces klinkieryzacji w zakresie temperatury 1200°C i 1300°C. W temperaturze 1200°C nastąpiło zmniejszenie ilości wolnego wapna o ok. 4%, natomiast w temperaturze od 1350°C do 1450°C wystąpił wzrost wolnego wapna, nawet powyżej 2% w klinkierze z wanadem i ok. 1,5% w klinkierze z arsenem.

### 3.2. Oznaczenie składu fazowego klinkierów za pomocą rentgenografii z analizą Rietvelda

Wyniki otrzymane dla próbki kontrolnej i próbek z 1% dodatkiem tlenku wanadu i arsenu (tab. 3) spowodowały znaczne zmniejszenie ilości C<sub>3</sub>S na korzyść C<sub>2</sub>S oraz pojawienie się w klinkierze z domieszką arsenu odmiany α C<sub>2</sub>S. Dodatek arsenu spowodował również zwiększenie zawartości ilości fazy C<sub>4</sub>AF kosztem C<sub>3</sub>A. Należy także zauważyć, że we wszystkich klinkierach stwierdzono mniejszą zawartość C<sub>3</sub>A.

Tabela 3

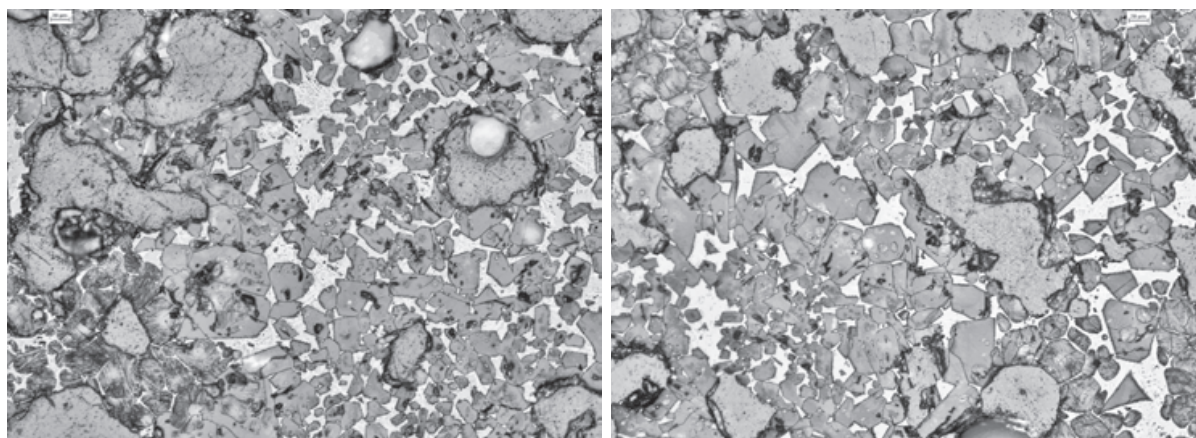
Skład fazowy klinkierów wypalonych w temperaturze 1450°C

Skład	Bez dodatków	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	zawartość [%]		
C <sub>3</sub> S	76,84	50,47	62,14
C <sub>2</sub> S	6,72	33,11	7,23
C <sub>2</sub> S α	–	–	18,40
C <sub>3</sub> A	9,76	7,61	4,24
C <sub>4</sub> AF	5,71	5,41	7,21
CaO	0,71	1,41	0,40
MgO	0,13	1,00	0,38

### 3.3. Badanie wykonane przy użyciu mikroskopu optycznego

Do badania mikroskopowego przygotowano próbki w postaci zgładów, które trawiono w 1% alkoholowym roztworze HNO<sub>3</sub>.

Próbka mąki piecowej bez dodatków, wyprażona w temperaturze 1450°C, jest klinkierem alitowo-belitowym, w którym wzajemne rozmieszczenie kryształów C<sub>3</sub>S i C<sub>2</sub>S jest nierównomierne. Struktura petrograficzna kryształów alitu i belitu jest drobnokrystaliczna (10–30 μm) lub średniokrystaliczna (30–80 μm). Kryształy alitu charakteryzują się nieregularnym bądź pseudoheksagonalnym przekrojem (ryc. 1), tylko sporadycznie obserwuje się dobrze wykształcone kryształy alitu, natomiast często występują ich poligonalne zrosty w postaci kilku, a nawet kilkunastu zrosniętych kryształów C<sub>3</sub>S (ryc. 2). Przypadki występowania belitu wtórnego zarówno w postaci okluzji, jak i w fazie ciekłej są dość liczne. Kryształy belitu występują głównie w skupionych gniazdach, które liczą od kilkunastu do kilkudziesięciu ziaren C<sub>2</sub>S. Przekrój kryształów belitu jest izometryczny bądź nieregularny (ryc. 3). Wymiary kryształów belitu zawierają

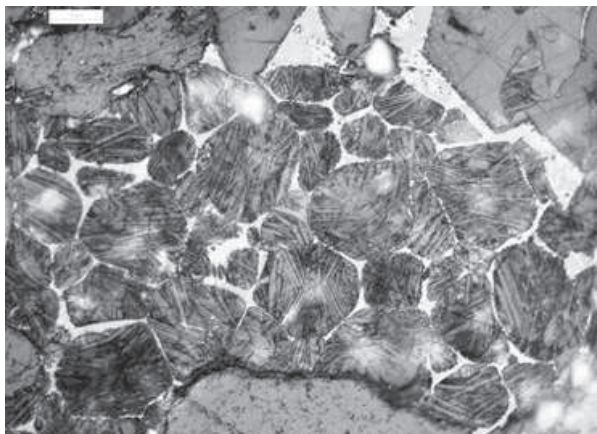


Źródło: Ryc. 1–12 opracowanie własne.

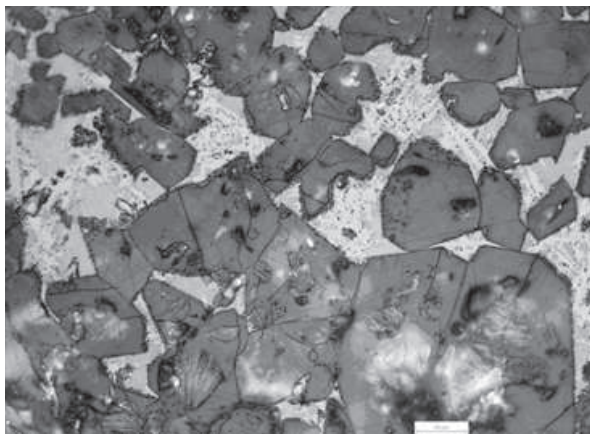
Ryc. 1. Kryształy alitu o nieregularnym przekroju

Ryc. 2. Zrosnięte kryształy alitu

się w granicach 10–40  $\mu\text{m}$ . Na powierzchni  $\text{C}_2\text{S}$  występują charakterystyczne zrosty bliźniacze dwukierunkowe (ryc. 3). Pomiedzy kryształami alitu i belitu krystalizuje faza ciekła o składzie gliniano-żelazianowym, w której  $\text{C}_3\text{A}$  i  $\text{C}_4\text{AF}$  występują mniej więcej w równych ilościach (ryc. 4), ale są również takie obszary, gdzie zaznacza się przewaga brownmillerytu. Rozmieszczenie substancji wypełniającej jest dość równomierne.

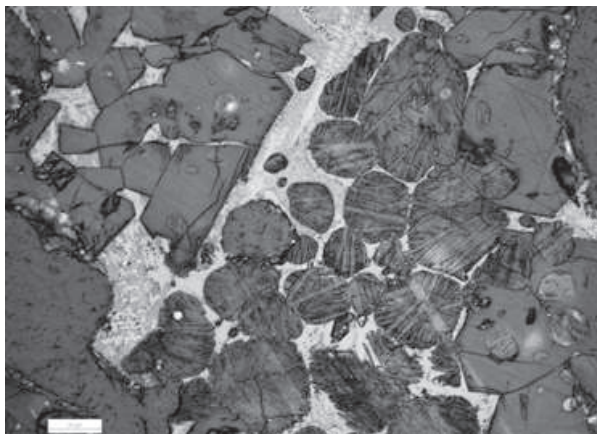


Ryc. 3. Izometryczne i nieregularne przekroje belitu

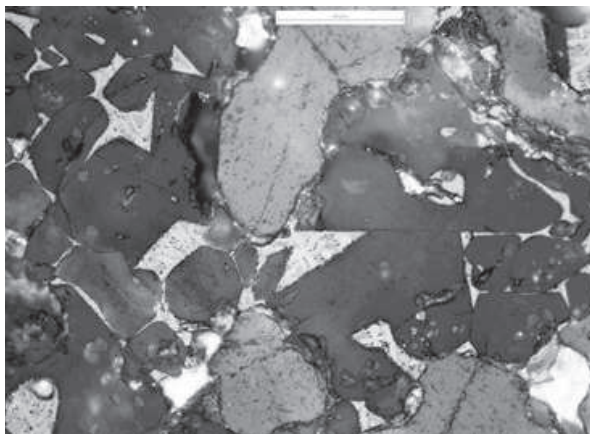


Ryc. 4. Faza ciekła

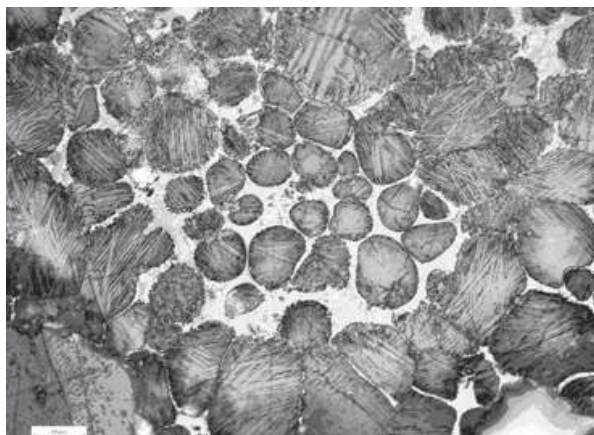
Próbka mąki piecowej z 1% dodatkiem  $\text{As}_2\text{O}_3$ , wyprażona w temperaturze  $1450^\circ\text{C}$ , jest klinkierem alitowo-belitowym zawierającym mniejsze ilości alitu niż w próbce kontrolnej. Alit wykształcony jest w postaci kryształów o przekroju płytkowym lub pseudoheksagonalnym (ryc. 5). Stwierdzono występowanie zrostów polikrystalicznych  $\text{C}_3\text{S}$  oraz agresję fazy ciekłej na powierzchni kryształów  $\text{C}_2\text{S}$  (ryc. 6). Wymiary kryształów alitu są zróżnicowane w zakresie 10–70  $\mu\text{m}$ . Belit krystalizuje w formie typowych kryształów o przekroju izometrycznym z dwukierunkowym układem zrostów bliźniaczych. Pierwotny izometryczny pokrój kryształów  $\text{C}_2\text{S}$  jest często zniszczony w wyniku korozyjnego działania fazy ciekłej (ryc. 7). Wymiary kryształów belitu zawarte są przeciętnie w granicach 20–50  $\mu\text{m}$ . Rozmieszczenie belitu jest nierównomierne, tj. tworzy gniazdowe skupienia. W fazie ciekłej o składzie gliniano-żelazianowym dominuje w wielu obszarach  $\text{C}_4\text{AF}$ .



Ryc. 5. Pseudoheksagonalne kryształy alitu

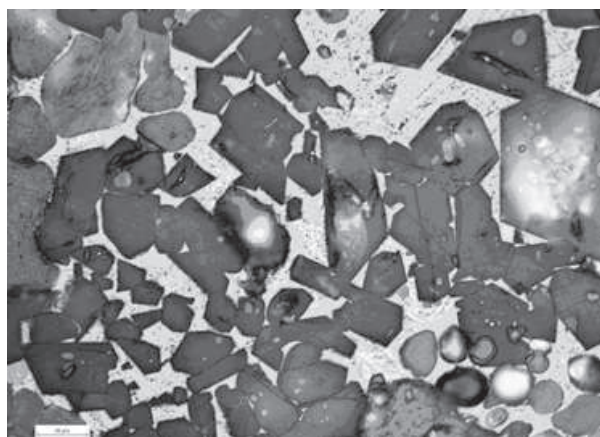


Ryc. 6. Zrosty polikrystaliczne alitu

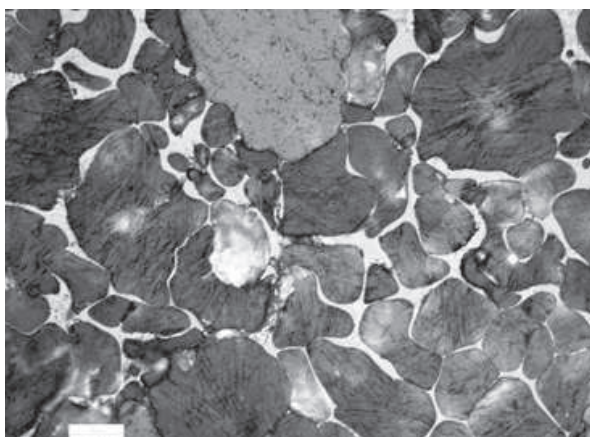


Ryc. 7. Agresja fazy ciekłej na powierzchni belitu

Próbka mąki piecowej z 1% dodatkiem  $V_2O_5$ , wyprażona w temperaturze  $1450^\circ\text{C}$ , jest klinkierem alitowo-belitowym zawierającym mniejsze ilości belitu niż w próbce kontrolnej. Krzemian trójwapniowy przeważnie krystalizuje w postaci płytkowych lub pseudoheksagonalnych kryształów (ryc. 8). Struktura alitu jest drobna i średniokrystaliczna. Faza krzemianu dwuwapniowego krystalizuje przeważnie w postaci kryształów o wymiarach  $20\text{--}60\ \mu\text{m}$ . Pokrój oraz mikrostruktura kryształów belitu jest zróżnicowana. Ilościowo dominują kryształy o pokroju nieregularnym z niewyraźnym dwu- i jednokierunkowym układem zbliźniaczeń (ryc. 9). W badanym klinkierze stwierdzono również izometryczne kryształy belitu bez zbliźniaczeń (ryc. 8). Substancja wypełniająca przestrzenie pomiędzy kryształami alitu i belitu posiada charakter żelazianowo-glinianowy. Glinian trójwapniowy krystalizuje najczęściej w postaci kryształów o symetrii regularnej i bardzo często ma strukturę szkieletową (ryc. 8).



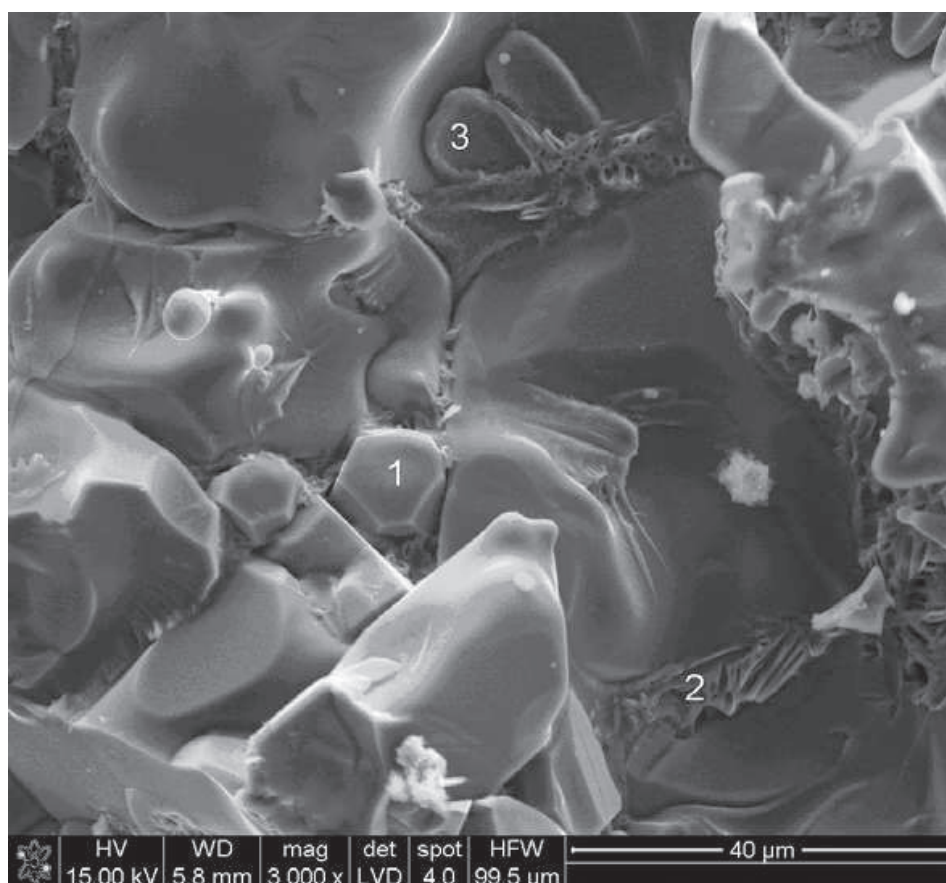
Ryc. 8. Pseudoheksagonalne kryształy alitu



Ryc. 9. Izometryczne kryształy belitu

### 3.4. Badania wykonane przy użyciu mikroskopu elektronowego

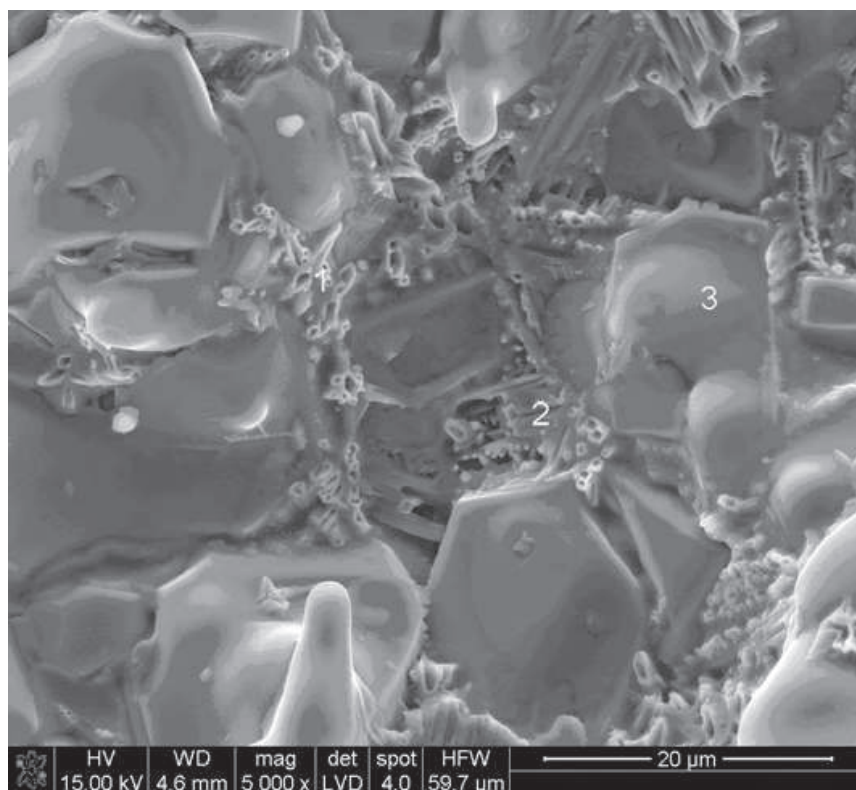
W próbce klinkieru bez dodatków, wyprażonej w temperaturze 1450°C, w punkcie 1 (ryc. 10) widać ukształtowany kryształ alitu w postaci heksagonalnej, natomiast w punktach 2 i 3 (ryc. 10) znajduje się faza wypełniająca o składzie gliniano-żelazianowym.



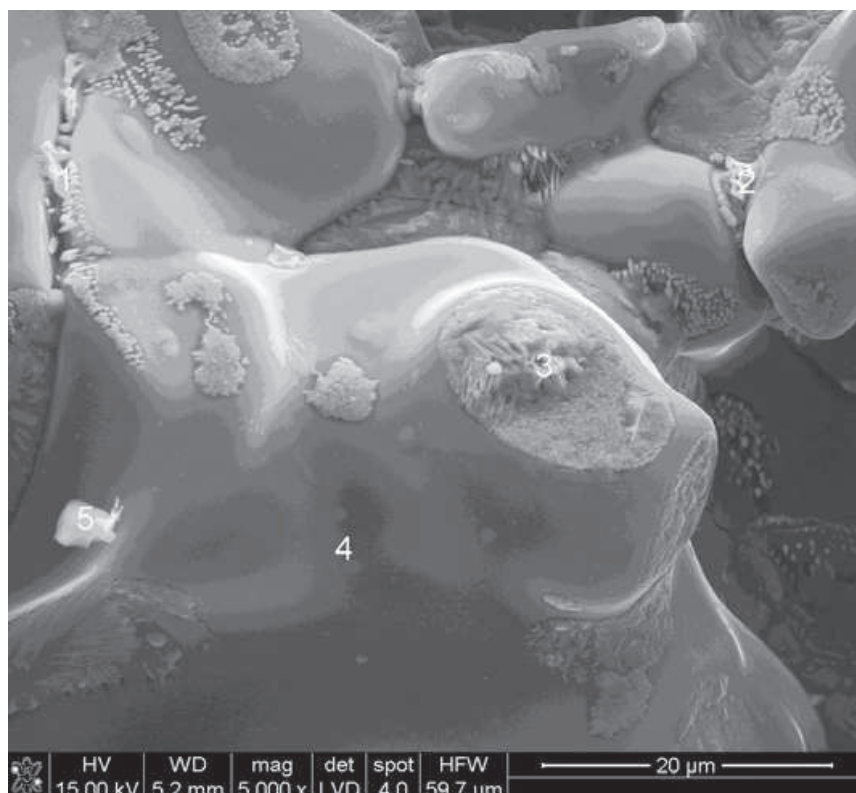
Ryc. 10. Zdjęcie SEM mikrostruktury klinkieru wypalonego w temperaturze 1450°C bez dodatków metali ciężkich

W próbce klinkieru z 1% dodatkiem  $V_2O_5$  wyprażonej w temperaturze 1450°C w punktach 1 i 2 (ryc. 11) widoczna jest faza o składzie gliniano-żelazianowym, natomiast w punkcie 3 (ryc. 11) znajdują się kryształy belitu. Obecność wanadu stwierdzono w kryształach belitu i fazie wypełniającej.





Ryc. 11. Zdjęcie SEM mikrostruktury klinkieru wypalonego w temperaturze 1450°C z 1% dodatkiem V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>



Ryc. 12. Zdjęcie SEM mikrostruktury klinkieru wypalonego w temperaturze 1450°C z 1% dodatkiem As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

W próbkach klinkieru z 1% dodatkiem  $\text{As}_2\text{O}_3$ , wyprażonej w temperaturze  $1450^\circ\text{C}$ , w punktach 1, 4, 5 (ryc. 12) stwierdzono fazę glinokrzemianową, natomiast faza wypełniająca o składzie gliniano-żelazianowym wykształcona została w punktach 2, 3 (ryc. 12). Obecność arsenu występuje we wszystkich badanych punktach.

### 3.5. Badania właściwości fizycznych cementów

Wykonano badania właściwości fizycznych cementów otrzymanych z klinkieru bez dodatków, z 1% dodatkiem tlenku wanadu i z 1% dodatkiem tlenku arsenu. Zakres badań i wyniki zostały przedstawione w tabeli 4.

Tabela 4

Zbiorcze zestawienie wyników badania właściwości fizycznych

Właściwości	Cement z klinkieru		
	bez dodatków	1% $\text{V}_2\text{O}_5$	1% $\text{As}_2\text{O}_3$
Wytrzymałość na ściskanie po 2 dniach [MPa]	28,67	26,60	26,40
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach [MPa]	57,05	58,70	58,80
Wytrzymałość na zginanie po 2 dniach [MPa]	5,22	5,12	5,12
Wytrzymałość na zginanie po 28 dniach [MPa]	7,63	7,00	7,50
Powierzchnia właściwa [ $\text{g}/\text{cm}^2$ ]	3900	3710	3700
Początek czasu wiązania [min]	132	123	126
Koniec czasu wiązania [min]	197	173	186
Wodoządnosc [%]	27,6	25,9	25,3
Rozpływ [cm]	17,4	18,6	18,6

Klinkiery zostały również przeanalizowane pod kątem składu fazowego, który został stwierdzony podczas badania próbek w formie pastylek, metodą dyfrakcji rentgenowskiej z analizą Rietvela (tab. 5).

Tabela 5

Skład fazowy klinkierów wypalonych w temperaturze  $1450^\circ\text{C}$

Skład fazowy	Klinkiery		
	bez dodatków	1% $\text{V}_2\text{O}_5$	1% $\text{As}_2\text{O}_3$
	zawartość [%]		
$\text{C}_3\text{S}$	61,84	44,66	51,01
$\text{C}_2\text{S}$	17,38	36,57	23,19
$\text{C}_3\text{A}$	8,27	7,97	12,86
CaO	0,17	0,22	0,24
MgO	0,15	0,15	0,27

## 4. Podsumowanie

Badania, których celem było określenie wpływu wanadu i arsenu na przebieg procesu klinkieryzacji zostały przeprowadzone na próbkach otrzymanych z mąki piecowej przemysłowej, dozowano do niej po 1% wagowym  $V_2O_5$  i  $As_2O_3$ . Tak przygotowane próbki w postaci pastylek zostały poddane prażeniu w temperaturze  $1000^\circ C$ ,  $1100^\circ C$ ,  $1200^\circ C$ ,  $1300^\circ C$ ,  $1350^\circ C$ ,  $1400^\circ C$  i  $1450^\circ C$ . Analizując uzyskane wyniki, sformułowano następujące wnioski:

1. Podstawowym wykonanym badaniem było oznaczenie zmian zawartości wolnego wapna w poszczególnych temperaturach w próbkach z dodatkiem metali w stosunku do próbki kontrolnej uzyskanej z mąki piecowej bez dodatków. Zarówno wanad, jak i arsen powodują zmiany w przebiegu procesu klinkieryzacji, następuje obniżenie ilości wolnego wapna w przedziale temperatury od  $1000^\circ C$  do  $1200^\circ C$ . Natomiast od  $1300^\circ C$  nastąpił wzrost ilości wolnego wapna, osiągając nawet różnicę powyżej 2% w temperaturze  $1300^\circ C$  i  $1400^\circ C$  w próbkach z wanadem, osiągając 3% w temperaturze  $1450^\circ C$ , gdzie w próbce kontrolnej stwierdzono 1,35%. Podobne zachowanie obserwowane było w próbkach z arsenem, jednak z mniejszymi różnicami w stosunku do próbki kontrolnej.

2. Badanie XRD z analizą Rietvelda pokazało znaczący wpływ na końcowy skład fazowy klinkierów z dodatkiem wanadu i arsenu. Nastąpiło zmniejszenie ilości  $C_3S$  wraz ze wzrostem  $C_2S$ , co razem z wynikami ilości wolnego wapna świadczy o zmianie warunków tworzenia się fazy  $C_3S$  w stosunku do klinkieru otrzymanego z próbki kontrolnej. Badanie próbek klinkierów przygotowanych w celu uzyskania cementów wypalonych po zgranulowaniu, ale nie w formie pastylek, potwierdziło wcześniej stwierdzoną zależność, czyli zmniejszenie ilości  $C_3S$  wraz ze wzrostem  $C_2S$  i  $CaO$ .

3. Rozpuszczalność kryształów  $CaO$  i  $C_2S$  jest uwarunkowana szybkością dyfuzji jonów  $Ca^{2+}$  i  $[SiO_4]^{4-}$  w warstwie granicznej [5]. Szybkość dyfuzji zwiększa się wraz ze wzrostem temperatury, gdyż równocześnie następuje wykładnicze zmniejszenie lepkości stopu klinkierowego [5]. Jeżeli przyjmie się, że warunki wypalania klinkierów dla wszystkich próbek były zbliżone, mniejsza zawartość alitu w klinkierach z dodatkiem arsenu lub wanadu może wstępnie wskazywać na zwiększenie lepkości stopu spowodowanej obecnością tych metali domieszkowych. Wpływ na lepkość klinkierowej fazy ciekłej ma równowaga kwasowo-zasadowa, ważną rolę odgrywają tu składniki amfoteryczne  $Al^{3+}$  i  $Fe^{3+}$  [5]. Składniki te mogą występować bądź w koordynacji tetraedrycznej, np.  $[AlO_4]^{5-}$ , bądź oktaedrycznej  $[AlO_6]^{9-}$ , wykazując odpowiednio właściwości kwasowe lub zasadowe [5]. Jony amfoteryczne silniej wiążą jony tlenu w koordynacji tetraedrycznej, natomiast w oktaedrycznej łatwo ulegają rozpadowi na jony metali i tlenu, zmniejszając tym samym lepkość stopu [5]. Wanad i arsen są pierwiastkami o skłonnościach amfoterycznych, co może powodować zaburzenia równowagi kwasowo-zasadowej i wpływać na zmianę lepkości stopu.

4. We wszystkich próbkach badanych pod mikroskopem optycznym stwierdzono, że struktura petrograficzna kryształów  $C_3S$  i  $C_2S$  zawiera się w przedziale 10–80  $\mu m$ , kryształy alitu charakteryzują się nieregularnym bądź pseudoheksagonalnym przekrojem, a przekrój kryształów belitu jest przeważenie izometryczny. W klinkierze kontrolnym faza ciekła o składzie gliniano-żelazianowym, w której  $C_3A$  i  $C_4AF$  średnio występują mniej więcej w równych ilościach, ale są również obszary, gdzie zaznacza się przewaga brownmillerytu, natomiast w pozostałych klinkierach w fazie ciekłej o składzie gliniano-żelazianowym dominuje w wielu obszarach  $C_4AF$ . Klinkier otrzymany z próbki kontrolnej zawierał mniejsze ilości belitu w stosunku do klinkierów z tlenkiem wanadu oraz tlenkiem arsenu, co zostało potwierdzone badaniem XRD z analizą Rietvelda.

5. Badania wpływu wanadu na proces klinkieryzacji wykonane przez K. Kolovos, S. Tsivilis i G. Kakali [6] oraz F.R.D. Andrade, V. Maringolo i Y. Kihara [7] wykazały brak wpływu na strukturę faz klinkierowych  $C_3S$  i  $C_2S$ , a także wskazały fazy, w których następuje lokacja wanadu zastępującego jony  $Ca^{2+}$ . Badania mikroskopem optycznym wykonane w Oddziale Szkła i Materiałów Budowlanych potwierdziły brak wpływu wanadu na skład faz mineralnych w stosunku do klinkieru odniesienia, badanie SEM potwierdziło również obszary lokowania wanadu w strukturze krystalicznej klinkieru. Jednocześnie rentgenogram z analizą Rietvelda wykazał znaczące różnice w składzie fazowym pomiędzy klinkierem odniesienia a tym z dodatkiem  $V_2O_5$ . Biorąc pod uwagę brak jednoznaczności otrzymanych wyników, zjawisko to będzie wymagało dalszego wyjaśnienia.

6. Przeprowadzone badania wpływu metali ciężkich wanadu i arsenu dozowanych do próbek jako tlenki w ilości 1% na właściwości fizyczne cementów pokazały brak wpływu metali domieszkowych. Nieznaczne różnice pomiędzy wynikami mieszczą się w błędzie metody pomiarowej oraz nieznacznie niższej wytrzymałości dla próbek z arsenem i wanadem, co można tłumaczyć niższą powierzchnią właściwą badanych próbek.

7. Biorąc pod uwagę bardzo wysoki poziom dozowanych metali ciężkich do mąki piecowej w stosunku do średniej zawartości wanadu i arsenu w obecnie stosowanych paliwach alternatywnych, na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że stosowanie paliw alternatywnych nawet z wyższymi zawartościami tych metali jest bezpieczne i nie spowoduje niekorzystnych zmian we właściwościach cementów\*.

---

\* Praca została sfinansowana ze środków na działalność statutową Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych. Wykonano: badania wolnego wapna, zdjęcia mikroskopem optycznym i opis – Leszek Gajewski, ICiMB OSiMB; badania XRD z analizą Rietvelda – Grzegorz Adamski, ICiMB OSiMB; badania właściwości fizycznych – Piotr Francuz, ICiMB OSiMB; zdjęcia SEM – Barbara Trybalska, AGH.

## Literatura

- [1] Współspalanie odpadów w przemyśle cementowym, [www.polskicement.pl](http://www.polskicement.pl) (12.04.2016).
- [2] Informator SPC 2016, [www.polskicement.pl](http://www.polskicement.pl) (12.04.2016).
- [3] Cementowniom brakuje paliwa ze śmieci, [www.biznes.onet.pl](http://www.biznes.onet.pl) (23.10.2013).
- [4] K a l a r u s D., Chemiczna identyfikacja cementów portlandzkich produkowanych w Polsce na podstawie zawartości pierwiastków śladowych, rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2007, tab. 8, s. 19.
- [5] K u r d o w s k i W., *Chemia cementu i betonu*, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Wydawnictwo Naukowe PWN, Kraków–Warszawa 2010.
- [6] K o l o v o s K., T s i v i l i s S., K a k a l i G., *SEM examination of clinkiers containing foreign elements*, „Cement & Concrete Composites” 2005, Vol. 27, Issue 2, s. 163–170.
- [7] A n d r a d e F.R.D., M a r i n g o l o V., K i h a r a Y., *Incorporation of V, Zn and Pb into the crystalline phases of Portland clinkier*, „Cement and Concrete Research” 2003, Vol. 33, Issue 1, s. 63–71

PIOTR ZAPOLSKI

### THE PROBLEM OF IMPACT VANADIUM AND ARSENIC IN CLINKIERING PROCESS AND CEMENT PROPERTIES

**Keywords:** clinker, cement, alternative fuels, vanadium, arsenic.

The use of alternative fuels produced from waste results in the introduction of the rotary kiln, among others, heavy metals which may produce clinker with properties which might affect the cement did not fulfill the quality requirements expected. The aim of the study was performed to determine the changes that may occur in the process of clinkering and transfer these new properties on the cement. The study was performed in two stages: the study of free lime, Ritvelda XRD method for optical microscope, SEM, and in the second stage of the standard tests of cement. The test specimens were obtained from furnace flour from one Polish cement plant without additives and with the addition of 1% vanadium oxide and 1% arsenic oxide.