ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1976

Seria: Budownictwo z. 42 Nr kol. 479

Marian ROBAKOWSKI, Rudolf MACIEJOŃCZYK

ŻAROODPORNE IZOLACYJNE BETONY KERAMZYTOWE

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań w zakresie technologii otrzymywania żaroodpornych izolacyjnych betonów keramzytowych. W celu uzyskania dobrych własności izolacyjnych należy wykonywać betony o strukturze półzwartej, z małą ilością zaprawy. Stosując cement portlandzki konieczna jest obróbka hydrotermiczna dla zapewnienia wymaganej trwałości i wytrzymałości.

1. Wstęp

W wielu urządzeniach cieplnych istnieje możliwość zastąpienia tradycyjnych materiałów ogniotrwałych betonami żaroodpornymi w postaci gotowych elementów, wykonywanych w zakładzie prefabrykacji lub też formowanych na mokro bezpośrednio w czasie budowy tych urządzeń.

W betonach na spoiwie cementowym, po wstępnym okresie wiązania hydraulicznego, następuje w trakcie rozruchu lub pracy urządzeń grzewczych wiązanie ceramiczne.

W żaroodpornych betonach izolacyjnych stosuje się lekkie, porowate, nieogniotrwałe kruszywa naturalne i sztuczne np. perlitoporyt, keramzyt, glinoporyt, łupkoporyt oraz kruszywa ogniotrwałe np. korund kulkowy.

W Zespole Technologii Materiałów Budowlanych Instytutu Technologii i Organizacji Budownictwa Politechniki Śląskiej przeprowadzono badania w zakresie opracowania technologii żaroodpornego izolacyjnego betonu keramzytowego, z przeznaczeniem do wykonywania prefabrykatów pracujących w temperaturze do 1000°C.

2. Własności użytych materiałów

2.1. Keramzyt

Zastosowany keramzyt z Zakładu Kruszyw Lekkich w Mszczonowie, frakcji 0÷5 mm o gęstości nasypowej 853 kg/m^3 - odpowiada klasie "900", zaś frakcji 5÷10 mm o gęstości nasypowej 745 kg/m^3 odpowiada klasie "700". Do zarobów betonowych stosowano keramzyt w stanie wysuszonym. Frakcję 0÷5 mm rozsiano dodatkowo na frakcje: 0÷0,5 mm, 0,5÷1,0 mm, 1,0÷2,0 mm i 2,0÷5,0 mm w celu zapewnienia stałego uziarnienia stosu okruchowego.

2.2. Spoiwa

Jako spoiwa użyto cement portlandzki marki "350" z cementowni "Grodziec" oraz cement glinowy "Górkal 60". Cementy te odpowiadały wymaganiom normowym.

2.3. Mikrowypełniacze

W wykonanych mieszankach betonowych stosowano dwa rodzaje mikrowypełniaczy o uziarnieniu poniżej 0,1 mm: popiół lotny z elektrowni "Łaziska" i pył szamotowy.
Ponadto rolę mikrowypełniacza, jednak o nieco grubszym uziarnieniu 0÷0,2 mm, spełnia także keramzyt, występujący w obu frakcjach handlowych 0÷5 mm i 5÷10 mm, w ilości około 10% masy cementu.
Charakterystykę mikrowypełniaczy podano w tablicy 1.

Tablica 1

Charakterystyka mikrowypełniaczy

Rodzaje mikrowypełniaczy	Ogniotrwałość zwykła sP	Straty prażenia %	Skład chemiczny %								
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	SO_4
Pył szamotowy	175	-	48,54	44,10	3,64	0,82	0,56	2,0	0,16	0,30	-
Popiół lotny z Elektrowni "Łaziska"	130	3,44	48,41	27,14	7,96	4,07	2,92	3,28	0,72	0,30	2,05

3. Technologia wykonania betonu

Badania cech technicznych betonu przeprowadzono zgodnie z normą PN-62/B-06257. Wytrzymałość na ściskanie sprawdzono na próbkach walcowych d = h = 80 mm, skurcz i zmiany liniowe podczas wypalania na walcach 80 mm oraz na próbkach o wymiarach 20 mm x 20 mm x 160 mm, wyciętych z walców o średnicy d = 80 i wysokości h = 160 mm. Współczynnik przewodności cieplnej badano w temperaturze normalnej w aparacie Bocka, na płytach 250 x 250 x 70 mm oraz w temperaturach od 200°C do 1000°C, na krążkach średnicy Ø 100 mm i grubości 25 mm w aparacie firmy Tonindustrie.

W celu otrzymania wyrobów o możliwie najlepszych własnościach izolacyjnych wykonywano betony o strukturze półzwartej, z ograniczoną ilością kruszywa drobnego, cementu i wody. Sprawdzono, także wpływ środków napowietrzających: "Abiesodu P-1" i "Abiesodu 70" na gęstość pozorną i cechy mechaniczne żaroodpornych betonów keramzytowych.

Betony o strukturze półzwartej wykonywano z zachowaniem następującej kolejności dozowania:

- wstępne mieszanie keramzytu z częścią wody zarobowej w ilości 50% w ciągu 3÷5 minut, w mieszarce przeciwbieżnej,
- oddzielne mechaniczne wymieszanie cementu z mikrowypełniaczem i stopniowe wsypywanie do nawilżonego kruszywa z równoczesnym mieszaniem w ciągu 3 minut;
- dodanie pozostałej ilości wody dla uzyskania masy betonowej o założonej wilgotnej konsystencji,
- dalsze mieszanie w ciągu 3÷5 minut.

Optymalną ilość wody dobrano na podstawie oceny stopnia spoistości składników masy betonowej, charakteryzującej się ponadto jednorodnością na całej wysokości próbki, bez odznak wypływania zaczynu podczas wibrowania. Próbki wibrowano od 10-30 sek. na stole wibracyjnym. Gęstość pozorna świeżych zawibrowanych próbek wynosiła 1100÷1290 kg/m^3, co zapewniało przy odpowiedniej pielęgnacji uzyskanie wystarczającej wytrzymałości mechanicznej wyrobów.
Charakterystykę wybranych mieszanek betonowych zamieszczono w tablicy 2.

Próbki wykonane przy użyciu cementu glinowego, po trzech dniach dojrzewania w komorze klimatyzacyjnej, suszono do stałej masy, określano ich gęstość pozorną i wytrzymałość na ściskanie oraz nagrzewano w piecu elektrycznym do temperatury 200°C, 400°C, 600°C, 800°C i 1000°C - poddając je następnie zgniataniu.

Próbki wykonane przy użyciu cementu portlandzkiego, po 8 godzinach wstępnego dojrzewania, poddawano obróbce hydrotermicznej: część naparzano w temperaturze 85÷90°C, część autoklawizowano w temperaturze 187,1°C i ciśnieniu 12 at. w ciągu 16 godzin. Po tym czasie część próbek po ostudzeniu zgniatano, pozostałe umieszczono na 6 dni do dalszego dojrzewania w komorze klimatyzacyjnej.

Uzyskane wyniki cech fizycznych podano w tablicy 3, a w tablicy 4 zestawiono wyniki badań wytrzymałościowych.

4. Analiza uzyskanych wyników badań

Dla oceny wpływu użytych składników betonu oraz sposobu dojrzewania na własności otrzymanych betonów izolacyjnych, obliczono współczynnik w_b wzoru:

$$\alpha = \frac{R_c^{800} \cdot 10^2}{G_p^{100} \cdot \lambda}$$

Tablica 2

Charakterystyka keramzytowych mieszanek betonowych

Lp.	Oznaczenie mieszanki betonowej	Ilość w 1 m^3 betonu				Keramzyt kg	Czas wibracji sek	Konsystencja masy betonowej	Struktura betonu
		Cement		Mikrowypełniacz					
		Rodzaj	kg	Rodzaj	kg				
1	S - 1	portlandzki "350"	200	pył szamotowy	62	838	10	wilgotna	półzwarta
2	S - 2	-"-	222	-"-	68	790	30	gęstoplastyczna	-"-
3	S - 3	-"-	254	-"-	77	809	30	-"-	prawie zwarta
4	P - 1	-"-	206	popiół lotny	62	835	10	wilgotna	półzwarta
5	P - 2	-"-	228	-"-	65	785	30	gęstoplast.	-"-
6	P - 3	-"-	258	-"-	78	752	30	-"-	prawie zwarta
7	A - 1	glinowy "Górkal 60"	190	-"-	-	870	30	wilgotna	półzwarta
8	A - 2	-"-	196	-"-	-	850	30	gęstoplast.	prawie zwarta
9	A - 3	-"-	225	-"-	-	815	30	-"-	zwarta

Tablica 3

Cechy fizyczne betonów izolacyjnych

Lp.	Oznaczenie składu betonu	Gęstość pozorna w kg/m^3		Ogniotrwałość pod obciążeniem 1 kG/cm^2 (^oC)		Współcz. przewodn. cieplnej oznaczony w aparacie Bocka w Kcal/m h°C	Współczynniki przewodności cieplnej oznaczone na krążkach d = 100 mm, h = 25 mm, w temperaturze 200°C do 1000°C w Kcal/m h°C				
		w stanie wysuszonym	po nagrzaniu do t = 1000°C	t_m	t_z		200°C	400°C	600°C	800°C	1000°C
1	S - 1	985	924	-	-	0,262	0,273	0,282	0,294	0,326	0,342
2	S - 2	1050	1015	980	1080	0,350	-	-	-	-	-
3	S - 3	1160	1095	1000	1080	0,431	0,430	0,430	0,435	0,450	0,470
4	P - 1	964	928	880	960	0,182	0,200	0,213	0,236	0,263	0,298
5	P - 2	1032	982	950	1040	0,280	0,280	0,330	0,370	0,410	0,450
6	P - 3	1145	1058	-	-	0,402	-	-	-	-	-
7	A - 1	989	960	920	1050	0,238	0,243	0,245	0,251	0,254	0,263
8	A - 2	1060	1018	1000	1090	0,341	-	-	-	-	-
9	A - 3	1180	1098	-	-	0,446	0,450	0,455	0,460	0,466	0,470

Tablica 4

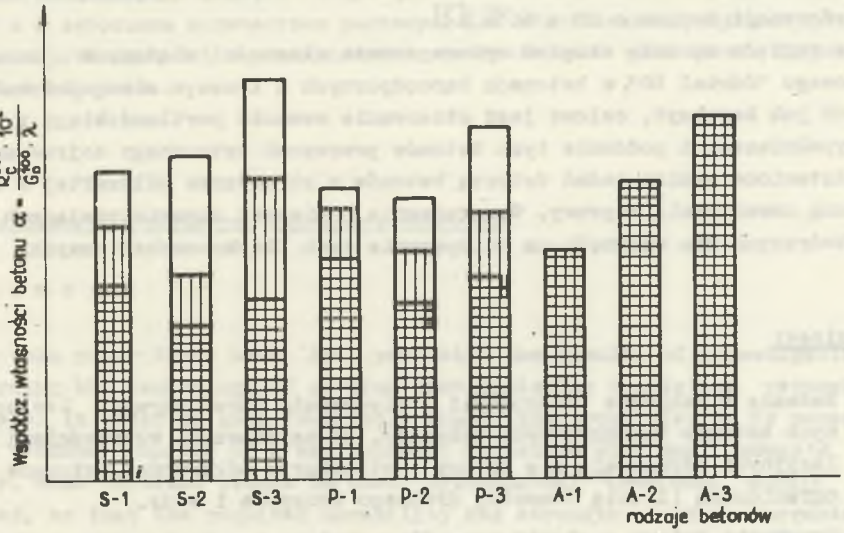
Wytrzymałość na ściskanie betonów izolacyjnych w kG/cm^2

Lp.	Oznaczenie mieszanki betonowej	Dojrzewanie w komorze klimatyzac.							Naparzanie, t = 85 ÷ 90°C							Autoklawizacja, t = 187,1°C, p = 120 at						
		po 1 dn.	po wysuszeniu	po nagrzaniu do temp.					po naparzaniu	po wysuszeniu	po nagrzaniu do temp.					po autoklawizacji	po wysuszeniu	po nagrzaniu do temp.				
				200°C	400°C	600°C	800°C	1000°C			200°C	400°C	600°C	800°C	1000°C			200°C	400°C	600°C	800°C	1000°C
1	S-1	16,0	30,0	-	-	-	20,3	15,3	36,7	42,1	-	-	-	26,3	16,2	62,4	65,6	-	-	-	32,1	18,4
2	S-2	27,7	44,6				22,6	18,3	52,4	68,9	62,4	59,2	45,4	30,2	20,6	98,5	104,1	102,1	95,0	70,2	48,2	25,1
3	S-3	36,0	68,9				36,1	34,2	85,0	99,5				60,4	56,2	158,5	160,1	-	-	-	80,1	62,8
4	P-1	15,3	28,4	-	-	-	12,4	10,1	35,2	44,3	-	-	-	15,4	12,2	49,3	55,4	-	-	-	20,4	16,1
5	P-2	19,5	46,6				20,6	15,4	60,3	76,2	70,2	52,3	45,6	26,4	18,3	96,3	105,4	108,1	87,4	58,3	30,1	20
6	P-3	23,0	62,5	-	-	-	36,1	29,8	75,6	96,0	-	-	-	49,6	39,2	124,5	131,5	-	-	-	64,2	48,4
7	A-1	35,5	39,2	-	-	-	24,2	18,3														
8	A-2	72,4	70,3	65,3	55,4	50,1	42,6	30,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	A 3	110,3	115,6	-	-	-	83,2	68,3														

Zestawienie wartości współczynnika zawiera tablica 5, diagramy porównawcze własności betonów w oparciu o ten współczynnik przedstawiono na rysunku 1.

Tablica 5

Lp.	Warunki dojrzewania	Oznaczenie betonów i wartości liczbowe współczynnika α								
		S-1	S-2	S-3	P-1	P-2	P-3	A-1	A-2	A-3
1	naturalne	7,85	6,14	7,22	7,08	7,13	8,02	8,98	11,82	14,38
2	naparzanie	10,14	8,21	12,0	8,78	9,15	10,75	-	-	-
3	autoklawizacja	12,35	13,05	16,0	11,62	11,37	13,95	-	-	-



Rys. 1. Diagramy porównawcze własności żaroodpornych betonów izolacyjnych, w oparciu o współczynnik $\alpha = \frac{R_c^{800} \cdot 10^2}{G_p^{100} \cdot \lambda}$

po dojrzewaniu w komorze klimatyzacyjnej

po naparzaniu i dojrzewaniu w komorze klimatyzacyjnej

po autoklawizacji i dojrzewaniu w komorze klimatyzacyjnej

Z przedstawionych diagramów wynika, że najlepsze własności mechaniczne po nagrzaniu do temperatury 800°C posiadają betony wykonane przy użyciu cementu glinowego "Górkal 60". Charakteryzują się one najmniejszą gęstością pozorną i najniższym współczynnikiem przewodności cieplnej. Podobne wartości współczynnika α mają niektóre betony naparzane, natomiast betony autoklawizowane posiadają współczynnik α nieco większy od betonów wykonanych przy użyciu cementu glinowego. Najwyższe wartości współczynnika α osiągają betony o strukturze prawie zwartej, wykonane na cemencie portlandzkim.

Z diagramów wynika ponadto, że naparzanie i autoklawizacja wpływają korzystnie na wytrzymałość mechaniczną betonów keramzytowych nagrzanych do temperatury 800°C.

Z literatury [2], [3] wiadomo, że obróbka hydrotermiczna poprawia także niektóre cechy fizyczne oraz zwiększa trwałość betonów żaroodpornych wykonanych przy użyciu cementu portlandzkiego, powoduje zmniejszenie zawartości wolnego tlenku wapniowego, niebezpiecznego dla trwałości betonu żaroodpornego. Obróbka hydrotermiczna podnosi temperaturę początku i końca deformacji betonu o 20 ÷ 60°C [3].

Ze względu na mały stopień wykorzystania własności wiążących cementu glinowego "Górkal 60", w betonach żaroodpornych z kruszyw nieogniotrwałych takich jak keramzyt, celowe jest stosowanie cementu portlandzkiego z mikrowypełniaczem i poddanie tych betonów procesowi sztucznego dojrzewania. Przedstawione wyniki badań dotyczą betonów o strukturze półzwartej z ograniczoną zawartością zaprawy. Wprowadzenie domieszek napowietrzających i gazotwórczych nie wpłynęło na polepszenie cech fizyko-mechanicznych.

5. Wnioski

5.1. Badania w zakresie technologii otrzymywania żaroodpornych izolacyjnych betonów keramzytowych wykazały, że najlepszymi własnościami izolacyjnymi odznaczają się betony o strukturze półtwardej, wykonane z ograniczoną ilością cementu, drobnego kruszywa i wody.

5.2. Uzyskanie betonu o strukturze półzwartej wymaga bardzo starannego doboru wszystkich składników, ścisłego przestrzegania zasad technologii ich wykonania i dojrzewania.

5.3. Podwyższenie wytrzymałości mechanicznej i zwiększenie trwałości tych betonów przy użyciu cementu portlandzkiego i mikrowypełniaczy w postaci pyłu szamotowego lub popiołu lotnego uzyskuje się w wyniku obróbki hydrotermicznej przez naparzanie lub autoklawizację.

5.4. Izolacyjne żaroodporne betony keramzytowe mogą być stosowane w zakresie temperatur od 880°C do 1000°C, w zależności od posiadanej struktury, wtórnej skurczliwości i ogniotrwałości pod obciążeniem.

LITERATURA

[1] Budownictwo betonowe. Praca zbiorowa, T.I, IV, VIII, Warszawa 1967.

[2] Petzold A., Röhrs M.: Beton für hohe Temperaturen, Berlin 1965.

[3] Niekrasow K.D., Tarasowa A.P.: Zarostoikij bieton na portlandciemientie, Moskwa 1962.

[4] Maciejończyk R., Sobolewska A.: Wpływ obróbki termicznej na własności betonu żaroodpornego na bazie keramzytu i cementu portlandzkiego. Materiały Ogniotrwałe 3/74.

ЖАРОУПОРНЫЕ ИЗОЛЯЦИОННЫЕ КЕРАМЗИТОВЫЕ БЕТОНЫ

Р е з ю м е

В статье представлены результаты исследований в области технологии производства жароупорных изоляционных керамзитовых бетонов. С целью получения хороших изоляционных свойств следует производить бетоны с полупрочной структурой и с небольшим количеством раствора. Для обеспечения требуемой прочности и сопротивляемости портландцемента его необходимо подвергать гидротермической обработке.

HEAT RESISTING INSULATING CERAMSITE CONCRETE

S u m m a r y

In this paper there have been presented the results of investigations concerning the technology of getting heat-resisting insulating ceramsite concrete. In order to gain favourable insulating properties it is necessary to produce concrete of a semi-compact structure with small amounts of morter. When Portland cement is used, hydrothermal treatment should be applied, so that the required durability and strength would be warranted.