RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **241898**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **430122**

(51) Int.Cl.
C04B 35/66 (2006.01)
C04B 35/101 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **03.06.2019**

(54) **Ogniotrwały bezcementowy beton korundowo-spinelowy i sposób otrzymywania prefabrykatu z ogniotrwałego bezcementowego betonu korundowo-spinelowego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
14.12.2020 BUP 26/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
19.12.2022 WUP 51/22

(73) Uprawniony z patentu:
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE, Kraków, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
DOMINIKA MADEJ, Skała, PL
RYSZARD PROROK, Kraków, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Patrycja Rosół

PL 241898 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest ogniotrwały bezcementowy beton korundowo-spinelowy i sposób otrzymywania prefabrykatu z ogniotrwałego bezcementowego betonu korundowo-spinelowego, który znajduje zastosowanie do monolitycznego wyłożenia ogniotrwałego lub naprawy urządzeń cieplnych oraz do wytwarzania ogniotrwałych wyrobów prefabrykowanych stosowanych w urządzeniach metalurgicznych.

Znane są powszechnie sposoby wytwarzania ogniotrwałego niskocementowego i ultraniskocementowego betonu korundowo-spinelowego ze spiekanego i/lub topionego korundu α-Al_2O_3 i z dwóch półproduktów: prefabrykowanego spinelu, który syntezowany jest w fazie stałej w wyniku reakcji pomiędzy tlenkami MgO i Al_2O_3 lub otrzymywany jest w wyniku topienia mieszaniny tych tlenków oraz z cementu glinowo-wapniowego wytwarzanego z boksytu i kamienia wapiennego tub z cementu wysokoglinowego wytwarzanego z tlenku glinu i kamienia wapiennego metodą spiekania w piecu obrotowym. Właściwości użytkowe niskocementowych i ultraniskocementowych betonów korundowo-spinelowych, w których prefabrykowany spinel wprowadzany jest z frakcją drobną i/lub gruboziarnistym kruszywem korundowym, a spoiwem hydraulicznym jest cement wapniowo-glinowy znane są z wielu publikacji i opisów patentowych.

Z polskiego opisu patentowego PL 191 190 B1 znany jest prefabrykat ogniotrwały wytwarzany z niskocementowego betonu korundowo-spinelowego stosowany w urządzeniach metalurgicznych, który składa się z 20–75 części wagowych korundu spiekanego o uziarnieniu 0–10 mm, 10–65 części wagowych spinelu magnezowo-glinowego o uziarnieniu 0–10 mm, 5–25 części wagowych aktywizowanego Al_2O_3 lub aktywizowanego spinelu ($MgAl_2O_4$), 3–8 części wagowych cementu wapniowo-glinowego o zawartości Al_2O_3 powyżej 69%, poniżej 1 części wagowej dodatków upłynniających oraz poniżej 8 części wagowych wody, przy czym skład chemiczny prefabrykatu zawiera 2–9% MgO, 88–97% Al_2O_3 i 0,8 – 2,5% CaO. Sposób wytwarzania prefabrykatu z niskocementowego betonu korundowo-spinelowego polega na tym, że miesza się odważone frakcje surowców w czasie powyżej 3 minut, po czym dodaje się wodę o temperaturze powyżej 20°C i dalej miesza aż do uzyskania półpłynnej konsystencji masy. Następnie formuje się półfabrykat, który poddaje się wibrowaniu, a następnie dojrzewaniu w formie w temperaturze powyżej 20°C przez okres około 24 godzin, po czym po wyjęciu z formy suszy się go w temperaturze powyżej 100°C.

Z kolei z chińskiego opisu CN102617169 (A) znany jest beton korundowo-spinelowy i sposób jego wytwarzania, w którym prefabrykowany spinel magnezowo-glinowy wprowadzany jest do masy betonowej zarówno we frakcji drobnej, do której wchodzą także inne składniki, takie jak: proszek topionego białego korundu, mikroproszek α-Al_2O_3, cement wapniowo-glinowy, środek redukujący wodę w postaci kwasu polikarboksylowego i włókna organiczne, jak również jako gruboziarniste kruszywo wspólnie ze spiekanym korundem, częściowo stabilizowanym dwutlenkiem cyrkonu lub cyrkonianem wapnia. Gruboziarniste kruszywa miesza się przez okres 4 do 6 minut, następnie do mieszaniny wprowadza się zestaw drobnoziarnistych proszków i dalej miesza na sucho przez okres 15 do 30 minut, po czym wprowadza się wodę w ilości 3 do 6 procent w stosunku do masy suchych składników i dalej miesza przez okres 3 do 5 minut aż do uzyskania półpłynnej konsystencji masy. Z kolei z masy formuje się prefabrykat, wibruje formę, poddaje dojrzewaniu przez okres 20 do 26 godzin, rozformowuje wyrób, który suszy się w temperaturze 100 do 120° przez okres 20 do 26 godzin i wypala w temperaturze 1450 do 1750° przez okres 2 do 4 godzin.

Ponadto w innym chińskim opisie CN108046782 (A) przedstawiono sposób wytwarzania kruszywa korundowo-spinelowego i mieszanki ogniotrwałego betonu z jego udziałem, który polega na mieszaniu drobnoziarnistych składników o uziarnieniu poniżej 74 mikronów, w tym kruszywa korundowo-spinelowego, spinelowego, korundowego, mikro-krzemionki oraz reaktywnego mikroproszku tlenku glinu, z cementem wapniowo-glinowym jako środkiem wiążącym. Następnie dodaje się odważone frakcje prefabrykowanego kruszywa korundowo-spinelowego o granulacji 3–5 mm, 1–3 mm oraz 0,1–1,0 mm i dalszej homogenizacji do uzyskania jednorodnej mieszaniny.

W chińskim opisie patentowym CN104250099 (B) ujawniono sposób wprowadzenia do betonu korundowego składnika w postaci prefabrykowanego spinelu i równoczesnego wytworzenia tej fazy wewnątrz materiału, przy czym wówczas do betonu dodaje się drobnoziarnisty proszek tlenku magnezu w ilości od 0,8 do 5,0% wraz z pozostałymi drobnoziarnistymi składnikami, takimi jak: korund w ilości od 10 do 25% masowych, spiekany spinel w ilości od 5 do 25% masowych, cement glinowo-wapniowym w ilości od 3 do 6% masowych, proszek α-Al_2O_3 w ilości od 1 do 4% masowych i mikrokrzemionka w ilości od 0,2 do 2,0% masowych oraz gruboziarniste kruszywo korundowe w ilości od 55 do 75% masowych. Masa zawiera dodatkowo superplastyfikator w ilości od 0,1 do 1,0% masowych oraz wodę w ilości od 4,5 do 6,0% masowych, dodawane ponad 100% składników podstawowych.

Ogniotrwały bezcementowy beton korundowo-spinelowy, według wynalazku, składa się ze spiekanego i/lub topionego kruszywa korundowego o uziarnieniu 0,2–6,0 mm w ilości 60–65% masowych, elektrokorundu białego o uziarnieniu poniżej 0,1 mm w ilości 10–12% masowych, mieszaniny aktywowanych mechanicznie do uziarnienia poniżej 63 μm: tlenku glinu oraz spiekanego i/lub topionego tlenku magnezu w łącznej ilości 25–28% masowych, proszku mikrokrzemionki w ilości do 4,0% masowych albo wodnego 20–50% roztworu krzemionki koloidalnej w ilości do 5,5% masowych w stosunku do masy suchych składników mieszanki betonowej, dodatku upłynniającego w ilości 0,4–1,5% masowych w stosunku do masy suchych składników mieszanki betonowej oraz wody w ilości 1,5–5,5% masowych w stosunku do masy suchych składników mieszanki betonowej.

Sposób otrzymywania prefabrykatu z ogniotrwałego bezcementowego betonu korundowo-spinelowego, według wynalazku, polega na tym, że do spiekanego i/lub topionego kruszywa korundowego o uziarnieniu 0,2–6,0 mm wprowadzanego w ilości 60–65% masowych dodaje się 40–60% przewidzianej ilości wody i całość miesza przez okres 2–3 minut. Następnie dodaje się mieszaninę aktywowanych mechanicznie do uziarnienia poniżej 63 μm: tlenku glinu oraz spiekanego i/lub topionego tlenku magnezu w łącznej ilości 25–28% masowych oraz drobnoziarnisty elektrokorund biały o uziarnieniu poniżej 0,1 mm w ilości 10–12% masowych, dodatek upłynniający w ilości 0,4–1,5% masowych w stosunku do masy suchych składników mieszanki betonowej oraz proszek mikrokrzemionki ilości do 4,0% masowych, po czym składniki miesza przez okres 2–3 minut. Z kolei dodaje się pozostałą część wody i miesza się całość aż do uzyskania żądanej półpłynnej konsystencji masy. Uzyskaną masą betonową napełnia się formę z nadmiarem, którą poddaje się wibrowaniu przez co najmniej 30 sekund z amplitudą wibracji 0,5–1,5 mm, a następnie usuwa się nadmiar masy i wyrównuje powierzchnie prefabrykatu. Z kolei prefabrykat poddaje się dojrzewaniu w temperaturze około 20°C i wilgotności względnej co najmniej 80% przez okres co najmniej 24 godzin, po czym prefabrykat rozformowuje się, suszy w temperaturze około 110°C przez okres około 24 godzin i wypala w temperaturze 1500–1800°C przez okres 10–24 godzin z szybkością grzania 2°C min^{-1}.

Inny sposób otrzymywania prefabrykatu z ogniotrwałego bezcementowego betonu korundowo-spinelowego, według wynalazku, polega na tym, że do spiekanego i/lub topionego kruszywa korundowego o uziarnieniu 0,2–6,0 mm wprowadzanego w ilości 60–65% masowych dodaje się wodny 20–50% roztwór krzemionki koloidalnej w ilości do 5,5% masowych w stosunku do masy suchych składników oraz 40–60% przewidzianej ilości wody i całość miesza przez okres 2–3 minut. Następnie dodaje się mieszaninę aktywowanego mechanicznie do uziarnienia poniżej 63 μm tlenku glinu i drobnoziarnistego elektrokorundu białego o uziarnieniu poniżej 0,1 mm w sumarycznej ilości 32–35% masowych, po czym składniki miesza przez okres 1–2 minut. Z kolei dodaje się pozostałą część wody oraz dodatek upłynniający w ilości do 0,6% masowych w stosunku do masy suchych składników mieszanki betonowej, miesza przez okres 1–2 minut, po czym dodaje się aktywowany mechanicznie tlenek magnezu w ilości 3–5% masowych i miesza się całość aż do uzyskania żądanej półpłynnej konsystencji masy. Uzyskaną masą betonową napełnia się formę z nadmiarem, którą poddaje się wibrowaniu przez co najmniej 30 sekund z amplitudą wibracji 0,5–1,5 mm, a następnie usuwa się nadmiar masy i wyrównuje powierzchnie prefabrykatu. Z kolei prefabrykat poddaje się dojrzewaniu w temperaturze około 20°C i wilgotności względnej co najmniej 80% przez okres co najmniej 24 godzin, po czym prefabrykat rozformowuje się, suszy w temperaturze około 110°C przez okres około 24 godzin i wypala w temperaturze 1500–1800°C przez okres 10–24 godzin z szybkością grzania 2°C min^{-1}.

Ogniotrwały bezcementowy beton korundowo-spinelowego, według wynalazku, charakteryzuje się tym, że do jego masy wprowadza się obok gruboziarnistych składników korundowych spoiwo bezcementowe, złożone z aktywowanych mechanicznie reaktywnych tlenków glinu i magnezu, o regulowanym składzie chemicznym, tj. zawartości tlenków MgO, SiO_2 i Al_2O_3, z głównym składnikiem fazowym korundem α-Al_2O_3 i zawierającym fazy powodujące modyfikację składu fazowego betonu podczas operacji wypalania, a także może zawierać fazę krzemianową typu mullitowego $Al_2[Al_{2+2x}Si_{2-2x}]O_{10-x}$ wzbogaconą dodatkowo w magnez. Podczas wypalania powstają fazy spinelowe o zmiennej stechiometrii, w tym: spinel stechiometryczny tzw. właściwy $MgAl_2O_4$, roztwór stały spinelu bogatego w glin $MgAl_{2+x}O_{4+1.5x}$, ewentualnie roztwór stały spinelu bogatego w magnez $Mg_{1+x}Al_2O_{4+x}$. Cechą wyróżniającą ten typ tworzywa ceramicznego jest jego zmienny skład fazowy będący wynikiem dopełniania się procesów fizykochemicznych podczas operacji wypalania, co stwarza możliwość doboru optymalnych warunków temperatury i czasu spiekania do zaprojektowanego składu tworzywa. Reakcje chemiczne zachodzące pomiędzy MgO i Al_2O_3 w toku obróbki wysokotemperaturowej, które opisują poniższe równania:

$$MgO_{(s)} + Al_2O_{3(s)} = MgAl_2O_{4(s)}$$

$MgAl_2O_{4(s)} + xMgO_{(s)} = Mg_{1+x}Al_2O_{4+x(s)}$

$MgAl_2O_{4(s)} + x/2\ Al_2O_{3(s)} = MgAl_{2+x}O_{4+1.5x(s)}$

prowadzą do powstania tworzywa o równowagowym składzie fazowym, zawierającym obok fazy spinelowej bogatej w glin, także korund. W niższych temperaturach i/lub krótkim czasie syntezy, w materiale może wystąpić, obok spinelu stechiometrycznego, spinelu bogatego w glin i korundu, także faza spinelowa bogata w magnez.

Ogniotrwały bezcementowy beton korundowo-spinelowego według wynalazku odznacza się bardzo dobrymi właściwościami mechanicznymi i termomechanicznymi oraz doskonałą odpornością korozyjną, co związane jest między innymi z eliminacją z jego składu CaO, który generuje niskotopliwe fazy w kontakcie z żużlem stalowniczym.

Użycie w składzie betonu aktywnych mikro- i nano-tlenków SiO_2 o dużej dyspersji powoduje powstanie korzystnego rozkładu faz w tworzywie, co ułatwia jego spiekalność bez obniżenia właściwości termomechanicznych także w temperaturach pośrednich procesu obróbki cieplnej betonu. Ponadto zastosowanie aktywnych mikro- i nano-tlenków SiO_2 o dużej dyspersji powoduje powstanie szeregu wysokoogniotrwałych faz przejściowych zwiększających właściwości termomechaniczne betonu. Dzięki wprowadzeniu do masy betonowej dodatku SiO_2, w wysokich temperaturach w materiale powstaje przejściowo faza ciekła, co zapewnia relaksację naprężeń cieplnych powstających w procesie obróbki cieplnej.

Sposób według wynalazku umożliwia wytworzenie ogniotrwałych prefabrykatów betonowych o dużych wymiarach gabarytowych, a wytworzenie fazy spinelowej o rozmiarach mikronowych i/lub submikronowych oraz homogenicznym jej rozmieszczeniu w matrycy betonowej pozwala na uzyskiwanie betonów pracujących w warunkach dużych wstrząsów termicznych, obciążeń termomechanicznych i korozyjnych.

Przedmiot wynalazku w zakresie składu recepturowego prefabrykatu otrzymanego z bezcementowego ogniotrwałego betonu korundowo-spinelowego ze spinelem syntezowanym „in situ" o wysokich właściwościach termomechanicznych przedstawiono w dwóch przykładach wykonania zawartych w tabeli, natomiast w przykładach umieszczonych poniżej tabeli przedstawiono sposób wytwarzania ogniotrwałego prefabrykatu betonowego z użyciem wybranego składu.

Tabela

Surowiec	Uziarnienie	Przykłady składów w % masowych	
		I	II
Spiekane kruszywo korundowe o zawartości Al_2O_3 powyżej 99,5 % masowych	3 - 6 mm	17,4	17,4
	1 - 3 mm	21,0	21,0
	0,5 – 1,0 mm	11,1	11,1
	0,2 - 0,6 mm	13,3	13,3
Elektrokorund biały	0,0 - 0,1 mm	12,0	10,0
Aktywowany mechanicznie tlenek glinu o zawartości Al_2O_3 powyżej 99,5 % masowych	44 µm	6,7	6,7
Aktywowany mechanicznie tlenek glinu o zawartości Al_2O_3 powyżej 99,8 % masowych	Mediana rozkładu uziarnienia, d_{50} = 0,4-0,8 µm	9,2	9,2
Aktywowany mechanicznie tlenek glinu o zawartości Al_2O_3 powyżej 99,8 % masowych	Mediana rozkładu uziarnienia, d_{50} = 0,8-1,5 µm	4,3	4,3
Aktywowany mechanicznie spiekany tlenek magnezu o zawartości MgO powyżej 97,65 % masowych	Poniżej 63 µm	5	5
Proszek mikrokrzemionki	Poniżej 10 µm	-	2,0
Wodny 30% roztwór krzemionki koloidalnej		5,0	-
Fosforanowo-azotowy dodatek upłynniający	-	0,2	-
Fosfonianowy dodatek upłynniający	-	0,2	-
Sodowo-fosforanowy dodatek upłynniający	-	-	1,0
Woda	-	1,5	5,5

Przykład I. Sposób wytwarzania prefabrykatu z bezcementowego ogniotrwałego betonu korundowo-spinelowego ze spinelem syntezowanym „in situ" polega na tym, że do mieszarki wprowadza się dokładnie odważone frakcje surowców według składu II podanego w powyższej tabeli, przy czym zachowuje się następującą kolejność dozowania składników: do gruboziarnistej frakcji spiekanego kruszywa korundowego o uziarnieniu 0,2–6,0 mm wprowadzonego w ilości 62,8% masowych dodaje się połowę przewidzianej ilości wody tj. 2,75% w stosunku do masy suchych składników mieszanki betonowej i całość miesza przez okres 2–3 minut. Następnie dodaje się mieszaninę drobnoziarnistego elektrokorundu białego w ilości 10,0% masowych, aktywowanych mechanicznie do uziarnienia poniżej 63 μm: tlenku glinu oraz tlenku magnezu w łącznej ilości 25,2% masowych, proszek mikrokrzemionki w ilości 2,0% masowych oraz sodowo-fosforanowy dodatek upłynniający w ilości 1,0% w stosunku do masy suchych składników mieszanki betonowej, po czym składniki miesza przez okres 2–3 minut. Z kolei dodaje się pozostałą część wody i miesza się całość aż do uzyskania żądanej półpłynnej konsystencji masy. Uzyskaną masą betonową napełnia się formę z nadmiarem, którą poddaje się wibrowaniu przez co najmniej 30 sekund z amplitudą wibracji 0,5 mm, a następnie usuwa się nadmiar masy i wyrównuje powierzchnie prefabrykatu. Z kolei prefabrykat poddaje się dojrzewaniu w temperaturze około 20°C i wilgotności względnej co najmniej 80% przez okres co najmniej 24 godzin, po czym prefabrykat rozformowuje się, suszy w temperaturze około 110°C przez okres około 24 godzin i wypala w temperaturze 1500–1800°C przez okres 10–24 godzin z szybkością grzania 2°C min^{-1}.

Przykład II. Sposób wytwarzania prefabrykatu z bezcementowego ogniotrwałego betonu korundowo-spinelowego ze spinelem syntezowanym „in situ" polega na tym, że do mieszarki wprowadza się dokładnie odważone frakcje surowców według składu I podanego w powyższej tabeli, przy czym zachowuje się następującą kolejność dozowania składników: do gruboziarnistej frakcji kruszywa korundowego o uziarnieniu 0,2–6,0 mm wprowadzonego w ilości 62,8% masowych dodaje się wodny 30% roztwór krzemionki koloidalnej w ilości 5,0% w stosunku do masy suchych składników oraz połowę przeznaczonej ilości wody tj. 0,75% w stosunku do masy suchych składników i całość miesza przez okres 2–3 minut. Następnie dodaje się aktywowany mechanicznie do uziarnienia poniżej 63 μm tlenek glinu w ilości 20,2% masowych i drobnoziarnisty elektrokorund biały o uziarnieniu poniżej 0,1 mm w ilości 12,0% masowych, po czym składniki miesza przez okres 1–2 minut. Z kolei dodaje się pozostałą część wody oraz dodatek upłynniający w ilości 0,4% masowych w stosunku do masy suchych składników, miesza przez okres 1–2 minut i dodaje się aktywowany mechanicznie tlenek magnezu w ilości 5,0% masowych i miesza się całość aż do uzyskania żądanej półpłynnej konsystencji masy, z której otrzymuje się półfabrykat jak w przykładzie I.

Zastrzeżenia patentowe

1. Ogniotrwały bezcementowy beton korundowo-spinelowy zawierający tlenki glinu, magnezu, dodatki upłynniające oraz wodę, **znamienny tym**, że składa się ze spiekanego i/lub topionego kruszywa korundowego o uziarnieniu 0,2–6,0 mm w ilości 60–65% masowych, elektrokorundu białego o uziarnieniu poniżej 0,1 mm w ilości 10–12% masowych, mieszaniny aktywowanych mechanicznie do uziarnienia poniżej 63 μm: tlenku glinu oraz spiekanego i/lub topionego tlenku magnezu w łącznej ilości 25–28% masowych, proszku mikrokrzemionki w ilości do 4,0% masowych albo wodnego 20–50% roztworu krzemionki koloidalnej w ilości do 5,5% w stosunku do masy suchych składników, dodatku upłynniającego w ilości 0,4–1,5% w stosunku do masy suchych składników oraz wody w ilości 1,5–5,5% w stosunku do masy suchych składników.
2. Sposób otrzymywania prefabrykatu z ogniotrwałego bezcementowego betonu korundowo-spinelowego polegający na mieszaniu odważonych surowców, dodaniu wody i dodatku upłynniającego, a po uzyskaniu półpłynnej konsystencji masy betonowej napełnieniu formy z nadmiarem, poddaniu jej wibrowaniu przez co najmniej 30 sekund z amplitudą wibracji 0,5–1,5 mm, a po usunięciu nadmiaru masy i wyrównaniu powierzchni prefabrykatu poddaniu go dojrzewaniu w temperaturze około 20°C i wilgotności względnej co najmniej 80% przez okres co najmniej 24 godzin, a następnie rozformowaniu, suszeniu w temperaturze około 110°C przez okres około 12 godzin i wypaleniu w temperaturze 1500–1800°C przez okres 10–24 godzin z szybkością grzania 2°C min^{-1}, **znamienny tym**, że do spiekanego i/lub topionego kruszywa korundowego o uziarnieniu 0,2–6,0 mm wprowadzanego w ilości 60–65% masowych dodaje

się 40–60% przewidzianej ilości wody, której całkowita ilość wprowadzana do masy wynosi 1,5–5,5% w stosunku do masy suchych składników i całość miesza przez okres 2–3 minut, a następnie dodaje się mieszaninę aktywowanych mechanicznie do uziarnienia poniżej 63 μm: tlenku glinu oraz spiekanego i/lub topionego tlenku magnezu w łącznej ilości 25–28% masowych oraz drobnoziarnisty elektrokorund biały o uziarnieniu poniżej 0,1 mm w ilości 10–12% masowych, dodatek upłynniający w ilości 0,4–1,5% w stosunku do masy suchych składników oraz proszek mikrokrzemionki w ilości do 4,0% masowych, po czym składniki miesza przez okres 2–3 minut i z kolei dodaje się pozostałą część wody i miesza się całość aż do uzyskania żądanej półpłynnej konsystencji masy.

3. Sposób otrzymywania prefabrykatu z ogniotrwałego bezcementowego betonu korundowo-spinelowego polegający na mieszaniu odważonych surowców, dodaniu wody i dodatków upłynniających, a po uzyskaniu półpłynnej konsystencji masy betonowej napełnieniu formy z nadmiarem, poddaniu jej wibrowaniu przez co najmniej 30 sekund z amplitudą wibracji 0,5–1,5 mm, a po usunięciu nadmiaru masy i wyrównaniu powierzchni prefabrykatu poddaniu go dojrzewaniu w temperaturze około 20°C i wilgotności względnej co najmniej 80% przez okres co najmniej 24 godzin, a następnie rozformowaniu, suszeniu w temperaturze około 110°C przez okres około 12 godzin i wypaleniu w temperaturze 1500–1800°C przez okres 10–24 godzin z szybkością grzania 2°C min^{-1}, **znamienny tym**, że do spiekanego i/lub topionego kruszywa korundowego o uziarnieniu 0,2–6,0 mm wprowadzanego w ilości 60–65% masowych dodaje się wodny 20–50% roztwór krzemionki koloidalnej w ilości do 5,5% w stosunku do masy suchych składników oraz 40–60% przewidzianej ilości wody, której całkowita ilość wprowadzana do masy wynosi 1,5–5,5% w stosunku do masy suchych składników i całość miesza przez okres 2–3 minut, a następnie dodaje się mieszaninę aktywowanego mechanicznie do uziarnienia poniżej 63 μm tlenku glinu i drobnoziarnistego elektrokorundu białego o uziarnieniu poniżej 0,1 mm w sumarycznej ilości 32–35% masowych, po czym składniki miesza przez okres 1–2 minut, zaś z kolei dodaje się pozostałą część wody oraz dodatek upłynniający w ilości do 0,6% w stosunku do masy suchych składników, miesza przez okres 1–2 minut i dodaje się aktywowany mechanicznie tlenek magnezu w ilości 3–5% masowych i miesza się całość aż do uzyskania żądanej półpłynnej konsystencji masy.