

# Opracowanie technologii zagospodarowania odpadów powstających przy produkcji wyrobów ceramiki technicznej

**MGR INŻ. TADEUSZ JAKUBIUK, MGR INŻ. ANDRZEJ ŁOSIEWICZ**

INSTYTUT CERAMIKI I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH, ODDZIAŁ CERAMIKI I BETONÓW  
W WARSZAWIE, ZAKŁAD DOŚWIADCZALNY CERAMIKI SPECJALNEJ

**mgr inż. Tadeusz Jakubiuk**



Absolwent Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej 1971 r. Od 1993 roku pracownik Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych, w latach 2011–2013 członek Rady Naukowej Instytutu. Obecnie z-ca kierownika Zakładu Doświadczalnego Ceramiki Specjalnej. Autor licznych publikacji dotyczących ceramiki technicznej  
e-mail: t.jakubiuk@icimb.pl

## WSTĘP

Podczas wytwarzania wyrobów ceramiki technicznej, w skład której wchodzi ceramika konstrukcyjna, elektrotechniczna i specjalna, powstają duże ilości odpadów poprodukcyjnych. Szczególnie dotyczy to pierwszego etapu technologicznego, to jest formowania wyrobów, w którym wykorzystywane jest prasowanie izostatyczne. Ten sposób formowania jest powszechnie stosowany przez producentów ceramiki konstrukcyjnej, gdyż pozwala na równomierne zagęszczenie materiału w wyrobie, co zapobiega jego deformacjom w czasie obróbki termicznej. Podczas procesu prasowania izostatycznego oraz obróbki mechanicznej surowych kształtek odpada nawet do 30% tworzywa. Odpady te, pomimo identycznego składu chemicznego z tworzywem wchodzącym do procesu produkcyjnego, z uwagi na swą postać nie są wykorzystywane przez wykonawców. Są to proszki powstałe podczas obróbki skrawaniem wyprasowanych kształtek i kawałki wyrobów uszkodzonych podczas prasowania; nieprzydatne, gdy technologia wytwarzania wyrobów oparta jest na prasowaniu granulatów. Na podstawie własnego rozeznania przeprowadzonego w zakładach wytwarzających wyroby ceramiki technicznej autorzy szacują, że w Polsce powstaje rocznie około 100 ton odpadów alundowych, kordierytowych i steatytowych, które tylko w niewielkim stopniu są wykorzystywane przez producentów wyrobów ceramiki technicznej. Tylko w okolicach Warszawy w zakładach PPHU Powłoka, Izoceramics Celestynów i Cemat Ceramika powstaje około 60 ton odpadów. Ponad 90% z nich stanowią odpady alundowe powstałe podczas formowania wyrobów z granulatu NM9212E firmy Nabaltec. Autorzy, mając do dyspozycji dwie suszarnie rozpyłowe Dorst D20 i Dorst D30 oraz duże doświadczenie w wytwarzaniu granulatów ceramicznych, podejmowali już wcześniej próby regranulacji odpadów alundowych. Otrzymywany wtedy granulatu nie mógł być jednak wprowadzony bezpośrednio do produkcji z uwagi na zbyt małą wytrzymałość mechaniczną otrzymywanych wyrobów i wynikającą z tego dużą ilość odpadów zarówno w procesie prasowania, jak i podczas obróbki mechanicznej wyprasek. Mieszano go więc z granulatem pierwotnym i tak wprowadzano do produkcji. W 2017 roku realizowano badania nad opracowaniem technologii zagospodarowania tych odpadów poprzez wytwarzanie z nich granulatu o właściwościach użytkowych zbliżonych do właściwości granulatu pierwotnego.

## STRESZCZENIE

W publikacji przedstawiono sposób otrzymywania granulatu alundowego w suszarni rozpyłowej z odpadów powstających podczas formowania wyrobów. Określono rodzaj i ilości niezbędnych dodatków, które pozwalają na otrzymanie regranulatu o właściwościach identycznych z granulatem pierwotnym, a wytworzone z niego wyroby osiągają wymagane właściwości użytkowe.

## ABSTRACT

**Development of technology for waste management created at the production of technical ceramics wares**

The publication presents the method of obtaining alumina ceramic granulate in a spray dryer from waste generated during the forming of green wares. The type and amount of necessary additives were determined, which allow to obtain a regranulate with properties identical to the original granulate. The products made from it achieve the required performance.

## SŁOWA KLUCZOWE

odpady ceramiczne, spoiwo, granulatu, regranulatu, tworzywo ceramiczne

## KEYWORDS

ceramic waste, binder, granulate, regranulate, ceramic body

### Cel pracy i sposób jej realizacji

Celem pracy było opracowanie technologii otrzymywania granulatu z odpadów alundowych tworzywa NM9212E, którego właściwości użytkowe będą zbliżone do właściwości granulatu pierwotnego, a otrzymywane z niego wyroby nie będą gorszej jakości.

W pierwszym etapie realizacji zadania opracowano parametry suszenia rozpyłowego umożliwiające otrzymywanie granulatu o uziarnieniu zbliżonym do pierwotnego. Następnie ustalono rodzaje i ilości dodatków wprowadzanych do przygotowywanych z odpadów zawiesin. Z zawiesin tych, w ustalonych wcześniej warunkach, uzyskiwano granulaty, z których wyprasowywano w identyczny sposób próbki badawcze do określenia ich wytrzymałości na zginanie. Próbki, których wytrzymałości zbliżone były do wymaganych, spiekano razem z próbkami badawczymi uzyskanymi z granulatu pierwotnego w celu wykonania badań porównawczych właściwości użytkowych uzyskanego materiału. Ostatnim etapem pracy było wytworzenie 200 kg granulatu z zawiesiny o wybranych dodatkach i przekazanie go producentowi w celu wykonania badań aplikacyjnych.

Do przygotowywania zawiesin wykorzystano młyny kulowe o pojemności 60 l i 200 l, do filtracji zawiesin sito wibracyjne o oczku 0,125 mm, suszarnię rozpyłową DORST D20 do wytwarzania granulatu, prasę laboratoryjną PYTE do wykonywania próbek badawczych, aparat Tinius Olsen H10KS do badania wytrzymałości próbek, laboratoryjny piec wysokotemperaturowy Nabertherm oraz laboratoryjne wyposażenie pomiarowe, takie jak waga, wagosuszarka, suwmiarka, kubek Forda i sita.

Porowatość pozorną badano zgodnie z obowiązującą normą PN-EN 993-1 poprzez ważenie beleczek przed i po dwugodzinnym gotowaniu w wodzie destylowanej [1]. Gęstość materiału ustalono hydrostatycznie poprzez ważenie beleczek zanurzonych w wodzie.

### Ustalanie parametrów suszenia rozpyłowego

W oparciu o posiadane doświadczenie z wytwarzania granulatu alundowego AI93 [2] przygotowywano w 200 litrowym młynie kulowym zawiesinę wodną, gdzie do 100 kg odpadów alundowych dodano 40 l wody. Następnie zawiesinę filtrowano na sicie wibracyjnym o oczku 0,125 mm i za pomocą pompy membranowej rozpylano w suszarni DORST D20 (rysunek 1) poprzez dyszę o średnicy 0,6 mm, pod ciśnieniem 6 barów.

Zgodnie z opracowaną w Instytucie instrukcją technologiczną wytwarzania granulatu alundowego [3] zawiesinę suszono w temperaturze 450°C powietrza wlotowego i 120°C powietrza odprowadzanego z suszarni. W trakcie suszenia zbadano reologię zawiesiny. Lejność zawiesiny mierzona czasem wypływu z kubka Forda nr 5 wynosiła 14,09 sekundy, a gęstość – 1,82 g/cm<sup>3</sup>.

Otrzymany granulat ujednorodniano w mieszarce bębnowej i zbadano jego właściwości. Analogicznie zbadano właściwości granulatu pierwotnego NM9212E. W tabeli 1 przedstawiono zbadane parametry tych granulatu.

Tab. 1. Właściwości granulatu pierwotnego i wytworzonego regranulatu.

Właściwość	NM9212E	Regranulat
Ciężar nasypowy [g/cm <sup>3</sup> ]	1,24	1,22
Wilgotność [%]	0,3	0,3
<b>Uziarnienie [%]:</b>		
0,5 mm	0,048	0,052
0,5 ÷ 0,25 mm	28,55	19,30
0,25 ÷ 0,125 mm	51,58	64,53
0,125 ÷ 0,063 mm	17,77	14,45
0,063 ÷ 0,04 mm	1,71	1,21
<0,04 mm	0,34	0,46

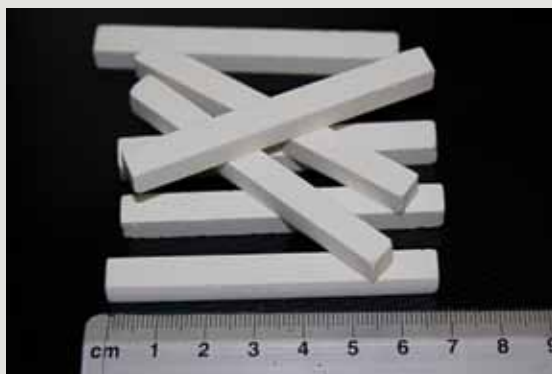


Rys. 1. Suszarnia rozpyłowa DORST D20.

Z przedstawionych w tabeli wartości wynika, że otrzymany z odpadów granulat jest prawie identyczny z granulem pierwotnym. W obu granulatach zdecydowana większość ziaren zawiera się w przedziale wielkości 0,25–0,125 mm. Podobnie kształtują się też ilości nadziarna i pyłów. Dane te świadczą o prawidłowo ustalonych parametrach zawiesiny i warunkach suszenia.

### Dobór dodatków

Przed przystąpieniem do badań nad doбором dodatków z obu granulatu wyprasowano próbki badawcze w liczbie 40 sztuk dla każdego granulatu. Próbki wytworzono w postaci beleczek o wymiarach 8×8×80 mm w celu zbadania właściwości surowych wyprasek oraz otrzymanych z nich spieków (rysunek 2).



Rys. 2. Próbki badawcze po spieczeniu w temperaturze 1620°C.



Rys. 3. Forma stalowa do prasowania próbek badawczych w formie beleczek.

Beleccki prasowano w identycznych warunkach w formie stalowej (rysunek 3), jednoosiowo, siłą nacisku 2 ton, co odpowiadało ciśnieniu prasowania ok. 31 MPa. Następnie próbki wypalano w piecu elektrycznym w temperaturze 1620°C.

W tabeli 2 przedstawiono uśrednione wyniki badań próbek.

Tab. 2. Wyniki badań próbek badawczych.

Właściwość	NM9212E	Regranulat
Gęstość wypraski [g/cm <sup>3</sup> ]	2,259	2,192
Wytrzymałość na zginanie wyprasek [MPa]	0,74	0,60
Gęstość próbek po wypaleniu [g/cm <sup>3</sup> ]	3,69	3,64
Strata prażenia [%]	6,5	5,7
Skurczliwość wypalania [%]	16,09	16,91
Porowatość pozorną [%]	0	0
Wytrzymałość na zginanie po wypaleniu [MPa]	258,48	218,80

Porównując wartości badanych parametrów, zauważa się, że prawie wszystkie wartości są niższe dla próbek otrzymanych z regranulatu. O gorszej prasowalności regranulatu świadczy niższa gęstość surowych wyprasek. Z kolei niższa strata prażenia próbek otrzymywanych z regranulatu o tej samej wilgotności świadczy o rozpadzie i odgazowaniu składników organicznych zawartych w zawieszynie podczas procesu suszenia. Należy domniemywać, że część tych składników uległa dodatkowo degradacji i utraciła swoje właściwości wiążące i poślizgowe.

Poprawienia prasowalności i wytrzymałości mechanicznej wyprasek dokonywano poprzez dodanie do zawiesziny środków wiążących i poślizgowych. Jako środka wiążącego użyto alkoholu poliwinylowego o symbolu JP05, a poślizgowego – Polikolu 1500. Substancje te są powszechnie używane do produkcji granulatu alundowych i były stosowane w Instytucie przy produkcji granulatu Al93. Dodatkowo, dla porównania, przygotowano jeden zestaw, do którego w miejsce alkoholu poliwinylowego wprowadzono taką samą ilość Winacetu (polioctan winylu) używanego do produkcji granulatu steatytowego SP4. Zawiesziny przygotowywano w młyńcu kulowym o objętości 60 l, do którego pod koniec mielenia dodawano 10% roztwór wodny kleju i 50% roztwór wodny Polikolu. Kleje i Polikol dodawano w proporcji wagowej 1:2 w przeliczeniu na masę suchą, zgodnie z recepturą produkcji granulatu Al93. Poszczególne zawiesziny przygotowywano z 25 kg odpadów, do których w przeliczeniu na masę suchą dodawano odpowiednio:

- A1** 0,075 kg JP05 i 0,15 kg Polikolu (0,3% i 0,6%),
- A2** 0,1 kg JP05 i 0,2 kg Polikolu (0,4% i 0,8%),
- A3** 0,125 kg JP05 i 0,25 kg Polikolu (0,5% i 1,0%),
- W1** 0,1 kg Winacetu i 0,2 kg Polikolu (0,4% i 0,8%).

Zawiesziny po zlanii do beczek upłynniano wodą do lejności mierzonej czasem wypływu z kubka Forda na poziomie 14,0–14,5 sekundy. Otrzymane leiwą suszono w jednym procesie technologicznym po wcześniejszym ustabilizowaniu parametrów suszenia dokonanych na zawieszynie bez dodatków. Poszczególne granulaty ujednorodniono w mieszadle bębnowym i zbadano ich wilgotność, ciężar nasypowy i zawartość frakcji 0,25–0,125 mm. Z otrzymanych granulatów wyprasowano beleccki do badań właściwości wyprasek przed i po ich wypaleniu w temperaturze 1620°C. Wyniki tych badań przedstawia tabela 3.

W przedstawionej tabeli symbolem PO oznaczono granulaty otrzymane bezpośrednio z odpadów alundowych. Z przedstawionych danych wynika, że dodatek substancji wiążących i poślizgowych do zawiesziny w ilości umożliwiającej uzyskanie granulatu z ich

Tab. 3. Charakterystyka granulatów i wyprasek.

Badany parametr	Rodzaj materiału					
	NM9212	PO	A1	A2	A3	W1
Ciężar nasypowy [g/cm <sup>3</sup> ]	1,24	1,22	1,23	1,24	1,24	1,23
Wilgotność [%]	0,3	0,3	0,28	0,31	0,29	0,3
Fracja 0,125±0,25 mm [%]	51,8	64,53	58,16	56,33	55,11	61,43
Gęstość wyprasek [g/cm <sup>3</sup> ]	2,259	2,192	2,23	2,258	2,257	2,257
Wytrzymałość na zginanie wyprasek [MPa]	0,74	0,6	0,68	0,73	0,74	0,72
Strata prażenia [%]	6,5	5,7	6,5	6,8	7,1	6,8
Skurczliwość wypalania [%]	16,09	16,91	16,52	16,12	16,1	16,11
Gęstość próbek po wypaleniu [g/cm <sup>3</sup> ]	3,69	3,64	3,67	3,68	3,67	3,68
Porowatość pozorną [%]	0	0	0	0	0	0
Wytrzymałość na zginanie po wypaleniu [MPa]	258,48	218,8	238,16	256,23	254,23	253,33

zawartością zgodną z granulatem pierwotnym nie pozwala na uzyskanie wyprasek wymaganej jakości (A1), o czym świadczy mniejsza gęstość i wytrzymałość mechaniczna. Dopiero dodanie tych materiałów w ilości 1,2% (A2) sprawia, że zarówno wypraski surowe, jak i po wypaleniu osiągają wymagane wartości. Badania wykazały też, że dalsze zwiększanie dodatków w granulacie (A3) nie poprawia jakości wyprasek. Wykazano również brak istotnego wpływu w zależności od rodzaju wprowadzanej do zestawu substancji wiążącej (A2 i W1).

### Podsumowanie

Porównując dane otrzymane z badań wstępnych dla granulatu i regranulatu, zauważa się, że oba proszki charakteryzują się bardzo zbliżonymi parametrami, jednak prawie wszystkie wartości są niższe dla próbek otrzymanych z regranulatu. O gorszej prasowalności regranulatu świadczy niższa gęstość surowych wyprasek. W wyniku przeprowadzonych badań proszków z dodatkami ustalono rodzaje i ilości substancji, których dodatek do odpadów alundowych sprawia, że uzyskiwany z nich granulaty nie jest gorszej jakości od pierwotnego. Jako optymalny z przebadanych składników wybrano zestaw A2 i zgodnie z opracowaną technologią uwzględniającą reologię zawiesziny i parametry suszenia wyprodukowano 200 kg granulatu. Otrzymany granulaty przekazano producentowi wyrobów alundowych w celu przeprowadzenia badań aplikacyjnych. Pozytywne wyniki tych badań umożliwią zagospodarowanie rocznie minimum 60 ton odpadów alundowych w miejsce ich utylizacji.

### LITERATURA

- [1] Norma PN-EN 993-1, Metody badań zwartych, formowanych wyrobów ogniotrwałych – oznaczenie gęstości pozornej, porowatości otwartej i całkowitej, 1998 r.
- [2] Jakubiuk T., Łosiewicz A., Taźbierski P., *Metoda obniżenia temperatury spiekania tworzyw alundowych zawierających powyżej 90% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, „Szkło i Ceramika” nr 2/2014, Warszawa 2014
- [3] Osuchowski M., *Instrukcja technologiczna wytwarzania granulatu metodą suszenia rozpyłowego BC-IT-02*, ICIMB, Warszawa 2008