

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

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

---

**Nr 33**  
(kwiecień–czerwiec)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

**Rok XI**

**Warszawa–Opole 2018**

---

ANNA A. KUŚNIERZ\*  
JOANNA RYBICKA-ŁADA\*\*  
MAGDA KOSMAL\*\*\*

## Topienie szkieł gospodarczych o zwiększonej zawartości żużla wielkopieczowego

**Słowa kluczowe:** Calumit, termiczna analiza różnicowa, topienie szkła.

Żużel wielkopieczowy Calumite jest wykorzystywany w przemyśle szklarskim od dawna. Przyspiesza topienie zestawu, zwiększając tym samym wydajność agregatu topliwego i poprawia ekonomikę wytwarzania szkła. Badania DTA/TG wykonywane dla zestawu szklarskiego o różnej zawartości Calumitu miały za celu poznanie mechanizmu jego działania poprzez określenie zmian, jakie wywołuje w przebiegu kolejnych reakcji pomiędzy komponentami.

### 1. Cel pracy

Żużel wielkopieczowy jest produktem ubocznym powstającym w procesie wytopu surowki żelaza w wielkich piecach hutniczych. Jest produktem niemetalicznym, składającym się głównie z glinokrzemianów wapnia i magnezu. Istnieje obszerna literatura, a także patenty [1–16] dotyczące stosowania żużla wielkopieczowego do wytwarzania różnych gatunków szkieł, które podają szereg korzyści wynikających z jego stosowania. Brakuje jednak danych na temat zależności pomiędzy jego zawartością w zestawie szklarskim, przebiegiem procesu topienia masy szklanej, ilością i składem gazów reszkowych, a informacje te pozwolą na wyprodukowanie wyrobów dobrej jakości.

Praca miała na celu zwiększenie wiedzy na temat wzajemnej korelacji składników zestawów surowcowych dla szkieł gospodarczych wytwarzanych z dużą ilością uszlachetnionego żużla wielkopieczowego Calumite.

---

\* Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie, a.kusnierz@icimb.pl

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

\*\*\* Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie, m.kosmal@icimb.pl

## 2. Wprowadzenie

Zestaw o dużej zawartości żużla wielkopieczowego i ograniczonej tym samym zawartości surowców tradycyjnych wymaga optymalizacji składu, zwłaszcza gdy chodzi o środki klarujące oraz dostosowanie do jego specyfiki reżimu temperaturowego topienia oraz ujednorodniania i klarowania masy szklanej. Stan wiedzy w tym obszarze, pomimo licznych prac badawczych, jest niezadowolający, chociaż tego typu zestawy szklarskie są coraz bardziej popularne w krajach zaawansowanych technologicznie. Wprowadzenie zwiększonej ilości żużla wielkopieczowego do zestawu pozwala ograniczyć koszty surowców (soda, wapień i piasek kwarcowy wysokiej klasy), obniża koszt energii oraz redukuje emisję  $\text{CO}_2$ .

Skład chemiczny żużla wielkopieczowego uzależniony jest od jakości rudy przeznaczonej do wytopu stali, rodzaju stosowanego topnika, a sposób chłodzenia wpływa na skład fazowy [1]. Od jakości wytopionej rudy zależy głównie zawartość  $\text{Al}_2\text{O}_3$  w żużlu, natomiast rodzaj stosowanego topnika wpływa na zawartość  $\text{CaO}$  i  $\text{MgO}$ . W zależności od sposobu chłodzenia, powietrzem lub wodą, żużel można wykorzystać jako żużel spieniony (pumeks), żużel granulowany czy żużel kawałkowy.

Dla celów szklarskich najbardziej przydatny jest żużel granulowany, jednak i ten wymaga dodatkowej obróbki, która polega na jego selekcji, uśrednieniu i rozdrobnieniu do granulacji odpowiadającej surowcom szklarskim, tj. 0,2–1,0 mm. Jak wynika z danych literaturowych [2–4], warunkiem przydatności żużla, poza jego odpowiednim składem chemicznym, jest jednorodność i odpowiednie uziarnienie.

Znaczenie żużla wielkopieczowego wynika ze składu chemicznego i fazowego [5]. Typowy żużel wielkopieczowy zawiera: 45–50% mas.  $\text{CaO} + \text{MgO}$ ; 35–40% mas.  $\text{SiO}_2$ ; 5–10% mas.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Przy zastosowaniu współczesnych sposobów schładzania żużel wielkopieczowy zawiera powyżej 90% mas. fazy szklistej, składającej się głównie z gehlenitu  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  i akermanitu  $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ . Jest to więc najbardziej pożądana postać surowca wprowadzającego  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  oraz  $\text{MgO}$ .

Siarczki obecne w żużlu jako forma wprowadzania części siarki do zestawu szklarskiego, tam gdzie jej obecność jest pożądana, odgrywają bardzo korzystną rolę, gdyż wchodzą w reakcje z  $\text{SiO}_2$  w niższej temperaturze (ok.  $860^\circ\text{C}$ ) niż siarczany (ok.  $1090^\circ\text{C}$ ). Ponadto już w temperaturze  $732^\circ\text{C}$  topią się z siarczanami, dając bardzo potrzebną na tym etapie topienia fazę ciekłą. W temperaturze ok.  $900^\circ\text{C}$  siarczki i siarczany reagują ze sobą, wyzwalając znaczne ilości gazów, np.  $\text{SO}_2$ , znacząco zmniejszając ilość siarki rozpuszczonej w stopie krzemianowym, co prowadzi do ograniczenia możliwości wtórnego spienienia.

Przy odpowiednio niskiej zawartości żelaza, żużel może spełniać rolę pożądanego środka klarującego, który wprowadza odpowiednią ilość siarki i jednocześnie

znaczącą ilość  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Według Simpsona [6] Calumit najsilniej poprawia klarowanie masy (miarą wyklarowania jest stosunek ilości pęcherzy w masie wytopionej z udziałem i bez udziału Calumitu) w bezbarwnym szkłe sodowo-wapniowym, gdy jego ilość w zestawie wynosi ok. 2 cz.m. na 100 cz.m. piasku. Przy tej ilości żużla udział pęcherzy gazowych zmniejsza się poniżej 0,1 wartości odpowiadającej szkłu wytopionemu bez udziału Calumitu. Dalszy wzrost zawartości żużla w zestawie (do poziomu 10 cz.m. na 100 cz.m. piasku) powoduje kolejne, ale już nie tak radykalne, ograniczenie ilości pęcherzy w wytopionym szkłe. Korzyści wynikające z dalszego wzrostu udziału żużla w zestawie nie wiążą się z klarowaniem, ale z przyspieszeniem topienia, wynikającym z korzystniejszej formy wprowadzania CO, MgO i  $\text{Al}_2\text{O}_3$  do zestawu. Dane te potwierdzają także badania Marriotta i in. [7].

### 3. Część doświadczalna

Obserwując współczesną produkcję szkieł, można zauważyć, że znacząca większość z nich (blisko 90%) to szkła z układu  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O}$ . Uwzględniając powyższe informacje, do badań użyto modelowego szkła o następującym składzie [% mas.]: 73,0%  $\text{SiO}_2$ , 1,0%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 10,0% CaO, 2,0% MgO i 14,0%  $\text{Na}_2\text{O}$ . Skład ten odwzorowuje szeroką grupę szkieł komercyjnych. Jako surowce do laboratoryjnych wytopów szkła modelowego użyto typowych, technicznych surowców stosowanych w przemysłowym procesie topienia szkieł. Użyty żużel to Calumit – uszlachetniony żużel wielkopipecowy o składzie podanym w tabeli 1. Próbki do badań uzyskano przez zastąpienie w zestawach surowców naturalnych Calumitem w ilościach odpowiednio: 0, 5, 15, 25, 35 i 45%. Każdorazowo zawartość poszczególnych składowych zestawu była korygowana, aby zachować skład szkła modelowego.

Tabela 1  
Skład chemiczny żużla  
wielkopipecowego – Calumit

Skład	[% mas.]
$\text{SiO}_2$	37,74
$\text{TiO}_2$	0,96
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,17
CaO	38,58
MgO	12,69
$\text{Al}_2\text{O}_3$	8,22
$\text{Na}_2\text{O}$	0,31
$\text{K}_2\text{O}$	0,55

Źródło: Tab. 1–3 – opracowanie własne.

Zestawy sporządzano odważając każdy ze składników zestawu na elektronicznej wadze laboratoryjnej z dokładnością do 0,01 g, a następnie dokładnie je rozdrabniając i homogenizując. Przygotowywano zestawy w ilościach odpowiadających 150 g szkła. Próbki do badań dylatometrycznych przygotowano poprzez wytop zestawów surowcowych w elektrycznym piecu komorowym ENTECH, typ ECF 20-16. Przygotowane zestawy zasypany małymi porcjami w temperaturze 1200°C. Zestaw przetrzymywano w temperaturze 1450°C przez 4 godziny. Wytopy prowadzono w atmosferze powietrza. Wytopioną

masę szklaną wylewano na płytę żeliwną. Wszystkie otrzymane szkła odpreżono w komorowym piecu elektrycznym typu POK-70, w temperaturze 540°C.

## 4. Wyniki

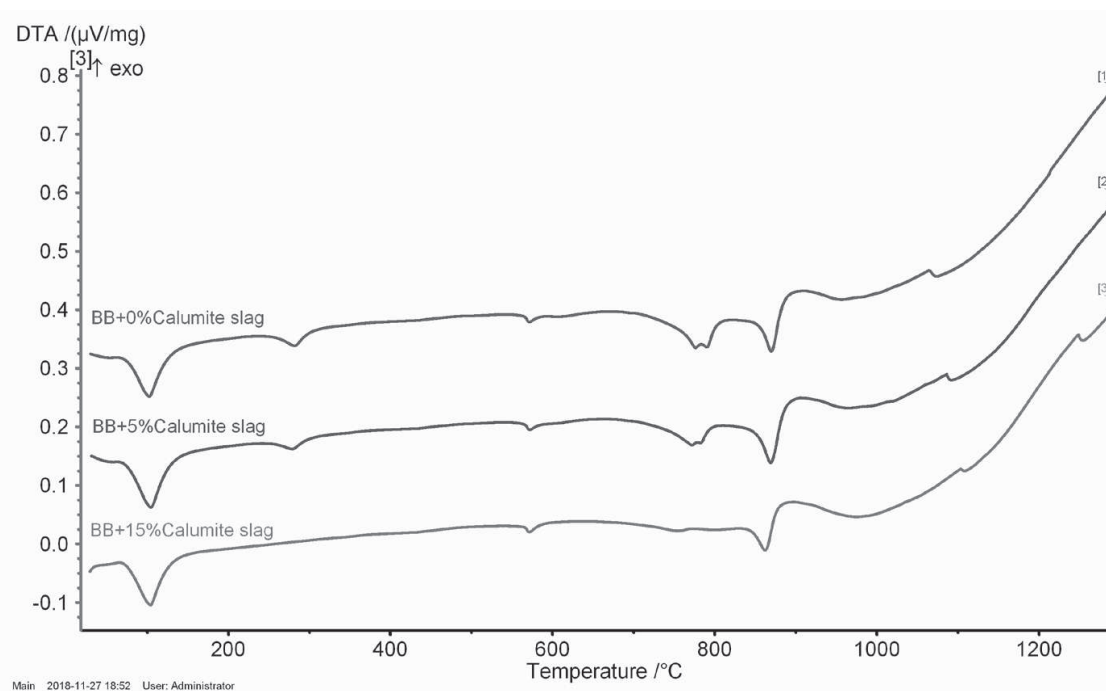
Otrzymane zestawy poddano termicznej analizie różnicowej, a wytopione szkła modelowe oceniono wizualnie pod kątem zapęcherzenia. Określono również ich współczynnik rozszerzalności cieplnej.

### 4.1. Termiczna analiza różnicowa

Analiza termiczna jest metodą, która pozwala scharakteryzować zachowanie się materiałów w trakcie ich ogrzewania w określonej atmosferze. Umożliwia identyfikację i ocenę substancji oraz dostarcza cennych informacji o przemianach zachodzących w trakcie ogrzewania próbki. Uzyskane informacje dostarczają wiedzy o mechanizmach reakcji i ich kinetyce.

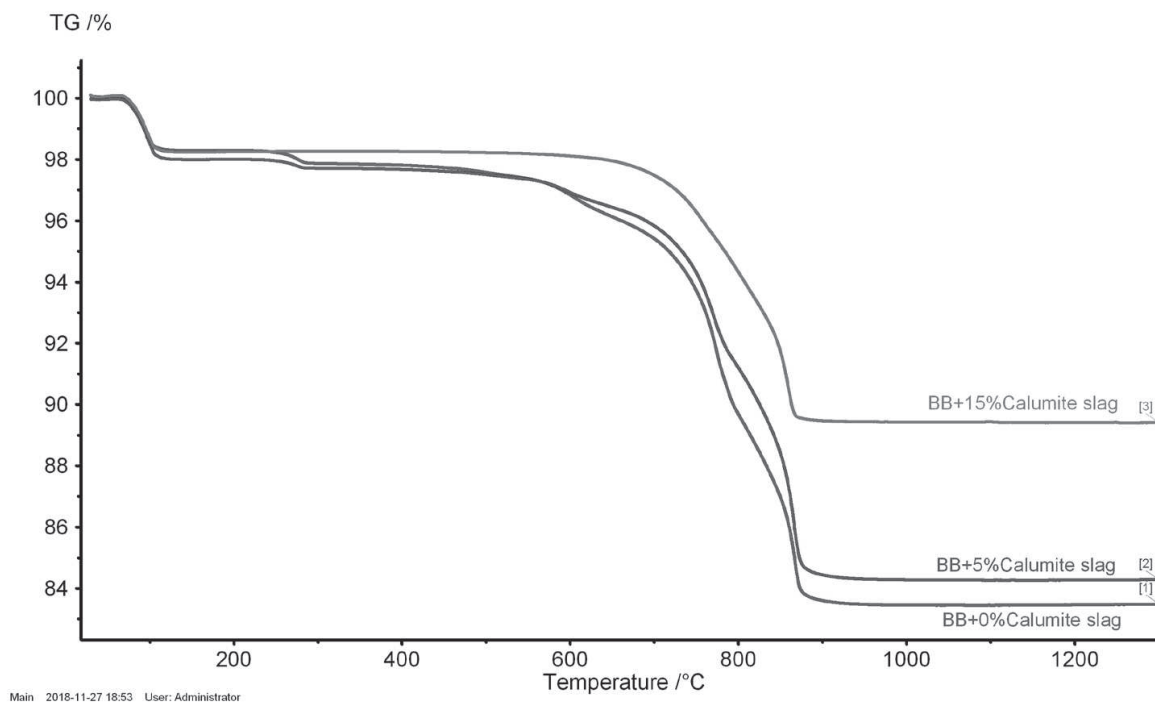
Próbki poddano badaniom z wykorzystaniem metody termicznej analizy różnicowej (DTA) i termograwimetrii (TG). W tym celu użyto analizatora termicznego marki NETZSCH STA 449 F3 Jupiter, przeznaczonego do badań TG, TG-DTA, TG-DSC. Badanie wykonano w celu zarejestrowania charakterystycznych reakcji chemicznych i przemian fazowych zachodzących w badanych próbkach w zadanym zakresie temperaturowym oraz towarzyszącym im zmianom masy.

Każdorazowy pomiar DTA przeprowadzono na rozdrobnionych próbkach o masie ok. 60 mg, które umieszczono w tyglach ceramicznych ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ogrzewano do temperatury 1400°C, w atmosferze powietrza (szybkość przepływu gazu 40 ml/min). Przyrost temperatury wynosił 10°C/min. Wyniki zarejestrowano w postaci krzywych DTA/TG w funkcji temperatury. Krzywe te przedstawiono na rycinach 1–4.



Źródło: Ryc. 1-4 – opracowanie własne.

Ryc. 1. Wyniki analizy termicznej DTA próbki – zestaw podstawowy (BB) z dodatkiem 0, 5 oraz 15% szklatego żużla Calumite



Ryc. 2. Wyniki analizy TG próbki – zestaw podstawowy (BB) z dodatkiem 0, 5 oraz 15% szklatego żużla Calumite

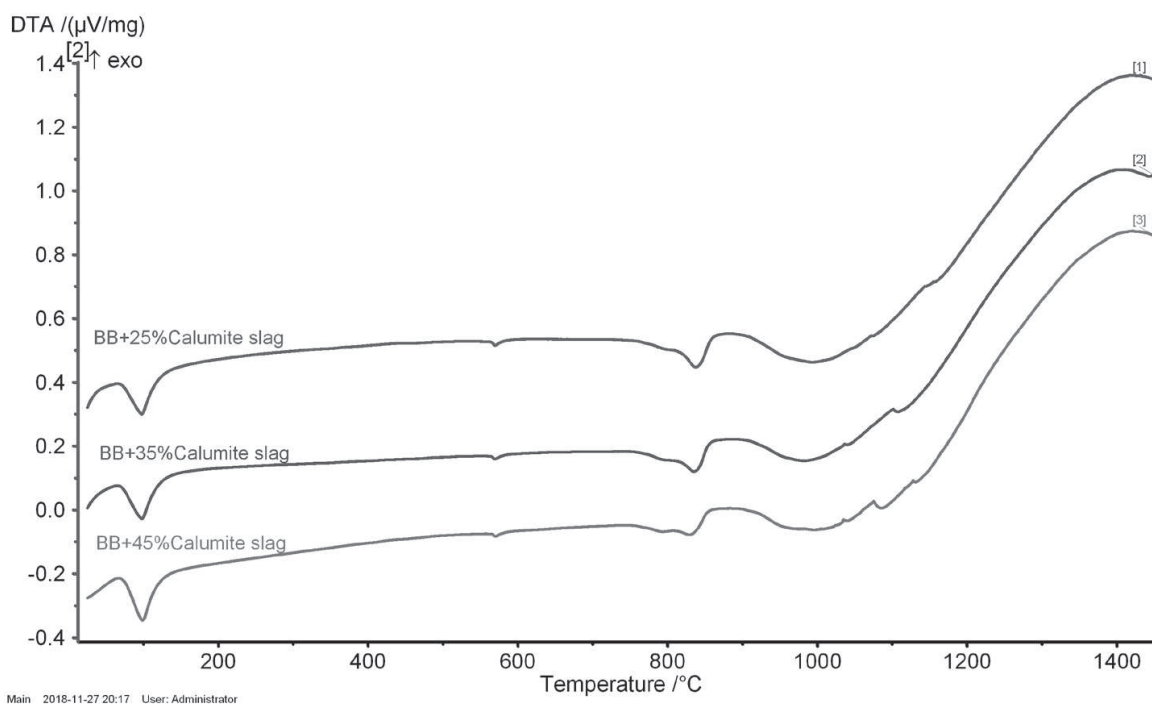
Reakcje termiczne w zestawie szklarskim (krzywa BB + 0% Calumite slag), zachodzące wraz ze wzrostem temperatury, rozpoczynają się od odparowania z niego wilgoci. Zaznacza się to na termogramie jako efekt endotermiczny o maksimum w temperaturze 122°C, któremu towarzyszy ubytek 5,3% mas. zestawu. W 284°C pojawia się słaby efekt endotermiczny połączony z ubytkiem 0,6% mas., charakterystyczny dla dehydratacji wodorotlenku glinu  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . W temperaturze 438°C bardzo słabo zaznacza się reakcja endotermiczna, przypisywana w literaturze szklarskiej reakcji pomiędzy sodą i węglanami (dolomit i wapieniem), powodująca powstanie podwójnych węglanów  $\text{CaNa}_2(\text{CO}_3)_2$  i  $\text{MgNa}_2(\text{CO}_3)_2$ . Towarzyszący jej niewielki ubytek masy (ok. 0,4%) wskazuje na równoczesną reakcję z kwarcem ( $\text{SiO}_2$ ), powodującą częściowy rozkład tworzących się węglanów z wydzielaniem  $\text{CO}_2$ . Mały stopień zaawansowania tej reakcji zachodzącej w fazie stałej, spowodowany jest ograniczeniem jej zakresu do powierzchni stykających się ziaren reagentów biorących w niej udział.

Przemiana polimorficzna kwarcu widoczna na krzywej DTA w 573°C zapoczątkowuje reakcję endotermiczną piasku z sodą (602°C) i tworzenia krzemianu  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , połączoną z wydzielaniem się  $\text{CO}_2$  w ilości ok. 1,5% mas. Reakcja ma charakter powierzchniowy z niewielkim stopniem przereagowania.

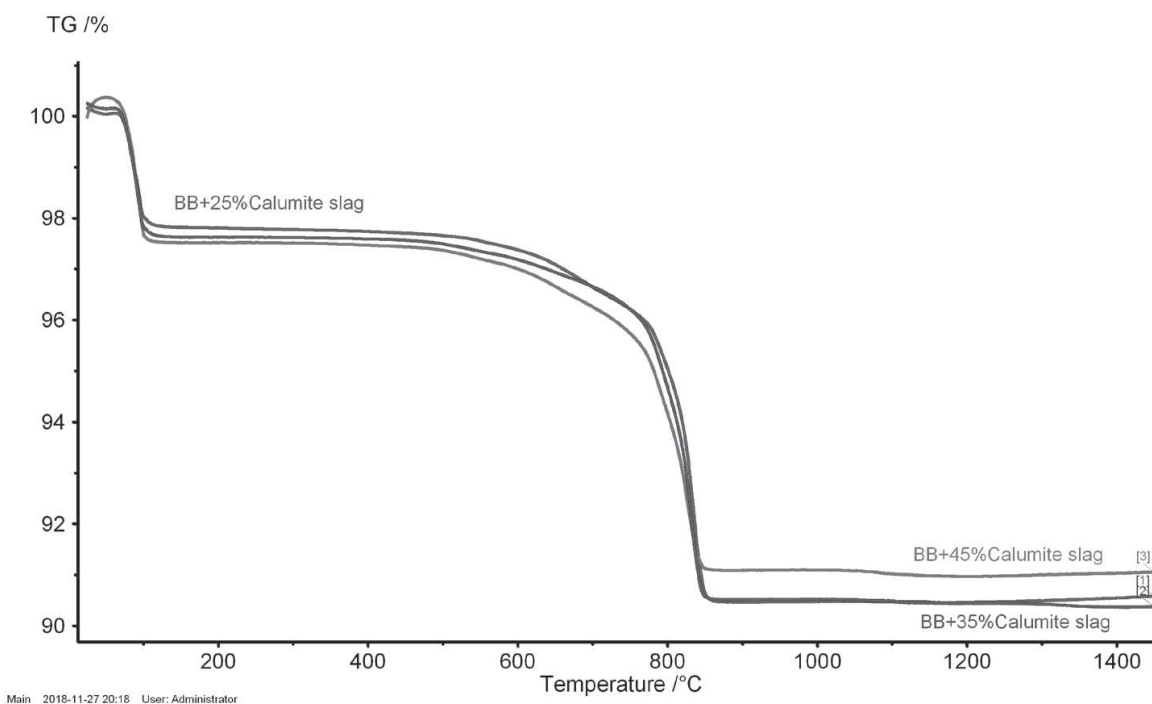
Dalszy wzrost temperatury powoduje rozkład dolomitu, który ma dwustopniowy przebieg. Etapy rozkładu widoczne są na krzywej DTA w 769°C i 792°C, towarzyszy im wydzielanie  $\text{CO}_2$  w łącznej ilości 7,4% mas. Efekt ten maleje wraz ze wzrostem zawartości żużla. W temperaturze 857°C następuje rozkład wapienia i wydzielanie się kolejnej porcji  $\text{CO}_2$ . W przebiegu kolejnych próbek jest zachowana ta sama tendencja.

W temperaturze powyżej 900°C ma miejsce tworzenie się stopu eutektycznego na skutek rozpuszczania się wcześniej powstałych tlenków  $\text{CaO}$  i  $\text{MgO}$  w sodzie. W stopie tym dochodzi do rozpuszczenia ziaren piasku i tworzenia krzemianów sodu, wapnia i magnezu, co zaznacza się reakcją egzotermiczną w 1070°C. Wraz ze wzrostem zawartości żużla temperatura ta jest przesuwana w kierunku wyższych wartości. Powstanie fazy ciekłej (stopu krzemianowego) z ziarnistego zestawu zmienia właściwości termiczne ogrzewanej próbki, zwiększając szybkość przepływu ciepła z zewnątrz, co objawia się jako wznoszenie linii pomiarowej.

Opisanemu etapowi stapiania składników i powstawania jednorodnej masy szklanej towarzyszy ciągle wydzielanie się rozpuszczonych w niej składników, których ilość osiąga w przedziale 900–1300°C wartość ok. 0,3% mas., co w przeliczeniu na objętość jest wielkością znaczącą.



Ryc. 3. Wyniki analizy termicznej DTA próbki – zestaw podstawowy z dodatkiem 25, 35 oraz 45% szklanego żużla Calumite



Ryc. 4. Wyniki analizy TG próbki – zestaw podstawowy z dodatkiem 25, 35 oraz 45% szklanego żużla Calumite



W przypadku dalszego wzrostu zawartości żużla obserwujemy zanik efektu charakterystycznego dla rozkładu wodorotlenku glinu  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , co tłumaczyć można różnicą w składzie reagentów. Zmniejszeniu ulega efekt pochodzący od rozkładu dolomitu, natomiast wraz ze wzrostem zawartości żużla pojawiają się efekty endotermiczne w 1090 i 1178°C, wskazujące na stapanie i tworzenie stopu eutektycznego (płynnej masy szklanej). Ich wąski kształt świadczy o przyspieszeniu oraz zmianie kinetyki procesu. Przyczyną tego stanu może być mniejsza lepkość stopionego żużla zawierającego mniej  $\text{SiO}_2$ , a dużo  $\text{CaO}$ .

## 4.2. Wyniki stopnia zapęcherzenia wytopionych szkieł

Stopień zapęcherzenia oceniono wizualnie.

Tabela 2

Wyniki zapęcherzenia próbek topionych z zestawów zawierających różne zawartości żużla Calumite

Próbki	Liczba pęcherzy < 1 mm	Liczba pęcherzy ≥ 1 mm
S-0-1450-4 h	ok. 5/cm <sup>2</sup>	9 szt/1mm
S-0-1450-4 h-żużel 5 %	ok. 3-4/cm <sup>2</sup>	brak
S-0-1450-4 h-żużel 15 %	ok. 5/cm <sup>2</sup>	brak
S-0-1450-4 h-żużel 25 %	7/na próbkę	brak
S-0-1450-4 h-żużel 35 %	10/na próbkę	brak
S-0-1450-4 h-żużel 45 %	2/na próbkę	brak

Obserwacja zapęcherzenia wytopionych szkieł pozwala stwierdzić, że dodatek żużla wpływa na bardzo małe zapęcherzenie gotowej masy szklanej.

## 4.3. Pomiary dylatometryczne

Do pomiarów przygotowano po 2 jednorodne próbki szkła o kształcie walca i wymiarach: 5 cm długości oraz 5 mm średnicy, dostosowanych do wymagań dylatometru. Pomiary wykonano na dylatometrze zapewniającym dokładność oznaczenia 5-krotnie większą niż pole tolerancji średniego współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej. Wzrost temperatury jest równomierny. Szybkość wzrostu temperatury jest stała dla całego zakresu pomiarowego i wynosi 3°C/min.

Średni współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej wyznaczono według wzoru (1) po uwzględnieniu korekty wykonanej na podstawie pomiarów próbki wzorcowej (szafiru).

$$\alpha_{t_1-t_2} = \frac{l_2 - l_1}{l_1 \cdot (t_2 - t_1)}, \quad (1)$$

w którym:

$t_1$  – dolna temperatura zakresu pomiarowego [°C],

$t_2$  – górna temperatura zakresu pomiarowego [°C],

$l_1$  – długość próbki przy temperaturze  $t_1$ ,

$l_2$  – długość próbki przy temperaturze  $t_2$ .

Wykonano po 2 pomiary na próbkach i wyznaczono wartość średnią. Uzyskane wyniki przedstawia tabela 3.

Tabela 3

Wyniki badań średniego współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej otrzymanych próbek

Współczynnik	Żużel 5%	Żużel 15%	Żużel 25%	Żużel 35%
$\alpha_{20-300}$	$86,5 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$	$81,7 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$	$86,5 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$	$90,0 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$
$\alpha_{20-400}$	$89,4 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$	$84,1 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$	$89,3 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$	$93,6 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$
$\alpha_{20-500}$	$92,3 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$	$86,3 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$	$92,5 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$	$97,3 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$
$\alpha_{20-600}$	$109,8 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$	$94,7 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$	$109,1 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$	$108,3 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$
Temperatura mięknięcia	607°C	613°C	609°C	618°C

Niepewność rozszerzona pomiarów przy poziomie ufności 95% i współczynniku  $k = 2$  wynosi  $\pm 2,0 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$  dla badanego zakresu temperatury.

Otrzymane wyniki nie różnią się znacząco od siebie, obserwuje się nieznaczny wzrost wartości współczynnika wraz ze wzrostem zawartości żużla w składzie zestawu. W przypadku 45% dodatku żużla pomiar nie był możliwy. Próbka wykazywała dużą smużystość masy szklanej, co może wskazywać na problem z ujednorodnieniem próbki o tym składzie, topionej w małym tyglu laboratoryjnym. Należy nadmienić, że efekt nie musi występować podczas topienia w wannie szklarskiej, gdzie proces ujednorodnienia przebiega z większą intensywnością. Duże naprężenia wynikające z niejednorodności chemicznej masy szklanej skutkowały pękaniem próbki podczas obróbki mechanicznej.

## 5. Podsumowanie

Calumit jest zeszkłonym żużlem hutniczym o składzie chemicznym dobranym do potrzeb przemysłu szklarskiego jako łatwo topiący się surowiec, który wprowadza  $\text{Al}_2\text{O}_3$  do szkła. Zawartość żużla w zestawach do 35% nie tylko pozwala zoptymalizować skład zestawu surowcowego z punktu widzenia ekonomiki, ale

daje efekty zarówno w postaci zmniejszenia zapęcherzenia masy szklanej, jak i obniżenia temperatury poszczególnych etapów topienia masy szklanej przez przyspieszenie procesów w niej zachodzących. Nie wpływa również w sposób istotny na współczynnik rozszerzalności cieplnej, mimo zmieniającego się udziału procentowego surowców w zestawie szklarskim. Dodatek 45% Calumitu zmienia dynamikę topienia w temperaturze powyżej 1000°C, a trudności z ujednorodnieniem masy szklanej mogą wynikać ze znacznego udziału faz  $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$ ,  $\text{CuSiO}_3$  oraz  $\text{SiO}_2$  w żużlu, co powoduje, że roztwarzanie tych faz wymaga dłuższego czasu topienia. Uzyskane wyniki wskazują na konieczność dalszych badań\*.

## Literatura

- [1] Wilk H., Dziecioł C. i in., Zastosowanie żużla wielkopieczowego w przemyśle szklarskim, Kraków 1974. Praca Instytutu Szkła, Filia w Krakowie.
- [2] Person R., *Glass Furnance Slag as a Raw Material for Glass Melting and refining*, „Glass Industry” 1966, No. 9, s.104.
- [3] Shaw F., The use of calumite as a batch ingredient for white soda-lime-silica glass. British Glass Industry Research Association. Nota techniczna. No. 124. July 1969.
- [4] Patent Franc. Nr.2.158541 kl.C.03c, zgł. 1971, udz. 1973: Obróbka żużla wielkopieczowego.
- [5] Klich M., Szkło bursztynowe – sposoby obniżenia kosztów produkcji, Kraków 1992. Praca ISiC, Oddział w Krakowie.
- [6] Simpson W., *Calumite slag as a glassmaking raw material for the increase of furnace productivity*, „Glass Technology” 1976, Vol. 17, No. 1, s. 35–40.
- [7] Marriott N., Jones S., Orhon M., Akmoran E., Gun T., Cabuk C., Materewski S., „European Journal of Glass Science and Technology”, Part A, December 2007, Vol. 48, No. 6, s. 290–296.
- [8] Strand Z., Dusil J., *Vyzkum procesu čerění a metody pro stanovení plynů ve skle*, „Sklář a keramik” 1972, č. 8, s. 206–209.
- [9] Patent USA Nr.3.150.991, kl.C.03c, zgł. 1962, udz. 1964: Sposób topienia szkła z dodatkiem żużla wielkopieczowego.
- [10] Patent RFN Nr.1596 754, kl.C.03c, zgł. 1966, udz. 1972: Sposób wytwarzania szkieł o zabarwieniu bursztynowym przy zastosowaniu żużla wielkopieczowego.
- [11] Patent NRD Nr.102992, kl.C.03c, zgł. 1973, udz. 1974: Sposób wytwarzania produktu szklanego przy zastosowaniu żużla wielkopieczowego.
- [12] Ziemba B., Lachman W., Badanie wpływu dodatku żużla na proces topienia zestawu szklarskiego, Kraków 1993. Praca ISiC, Oddział w Krakowie.
- [13] Ziemba B., Lachman W., Tyczyńska M., Badanie szybkości topienia zestawu szklarskiego, Kraków 1986. Praca ISiC, Oddział w Krakowie.

---

\* Praca została sfinansowana ze środków na działalność statutową Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych.

- [14] Świątek A., Procyk B., Kubala A., Materiały VIII Sympozjum Szklarskie nt. „Innowacje w przemyśle szklarskim”, T1.299-312.1987, maszynopis w posiadaniu autorów.
- [15] Stoch L., Kucharski J., Procyk B., Dziecioł C., Stoch Z., Bernaś R., Zestaw szklarski do wytwarzania bezbarwnego szkła piankowego. Patent nr P-216111, 23.06.1987.
- [16] *Gas bubbles in glass*. The supervision of H.A. Schaeffer, Published by the International Commission on Glass, Charleroi 1985.

ANNA A. KUŚNIERZ  
JOANNA RYBICKA-ŁADA  
MAGDA KOSMAL

#### MELTING OF UTILITY GLASSES WITH INCREASED BLAST FURNACE SLAG CONTENT

**Keywords:** Calumite, differential thermal analysis, glass melting.

Calumite blast furnace slag has been used in the glass industry for a long time. Accelerates the melting of the set, thereby increasing the efficiency of the hot melt aggregate and improving the economy of glass production. The studies of the thermal analysis of the set with different content of Calumite were aimed at learning the mechanism of its operation, by identifying the changes caused by its different presence in the course of subsequent reactions between the components of the set and understanding the essence of its beneficial effects.