

Wpływ temperatury na właściwości użytkowe włóknistych materiałów izolacyjnych

DR INŻ. ANNA ZAWADA

POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA, WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW, INSTYTUT INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ

Wprowadzenie

Do mineralnych materiałów włóknistych, obok azbestów i minerałów występujących w przyrodzie w postaci włóknistej, zaliczyć można również włókna otrzymywane z surowców naturalnych na drodze syntezy w procesie topienia. Można je podzielić ze względu na rodzaj stosowanego surowca na: włókna szklane produkowane z zestawu szklarskiego, skalne otrzymywane na drodze stapiania naturalnych skał, takich jak: bazalty, diabazy, gabra, amfibolity, sjenity, porfiry, tufy, margle i in. oraz żuźlowe, których produkcja oparta jest na stapianiu odpadów przemysłu hutniczego w postaci żużła [1, 2].

Wszystkie typy włókien formowane są z ciekłego stopu o składzie chemicznym zależnym od przeznaczenia. Charakteryzuje je średnica do 20 μm , gładka, mało zdefektowana powierzchnia oraz struktura amorficzna. Włókna szklane stosowane początkowo jako wata szklana do filtrowania agresywnych cieczy oraz materiał izolacyjny z czasem stały się również surowcem tekstylnym stosowanym do produkcji technicznych materiałów ognioodpornych, m.in. jako tapety w pomieszczeniach mieszkalnych [3, 4]. Stosowanie izolacji z włókien mineralnych w budownictwie wpływa na zmniejszenie szkodliwego działania hałasu na organizm ludzki i jednocześnie pozwala w sposób ekonomiczny stworzyć właściwy mikroklimat ciepło-wilgotnościowy pomieszczeń mieszkalnych, przemysłowych i inwentarskich. Włókniste materiały ogniotrwałe przeznaczone do zastosowań wysokotemperaturowych powinny charakteryzować się znaczną odpornością na działanie czynników chemicznych, niską przewodnością cieplną, elektryczną oraz akustyczną. Jednakże najistotniejszą ich cechą jest zakres temperatur stosowania, określany jako maksymalna temperatura długotrwałego użytkowania w atmosferze utleniającej, przy której materiał zachowuje włóknistą strukturę.

Równie istotnym parametrem użytkowym takich materiałów jest zakres temperatury chwilowego przegrzania, przy której materiał wytrzymuje jej krótkotrwałe oddziaływanie i nie ulega destrukcji, zachowując swoje cechy fizyczne [5].

EKSPERYMENT

Materiał i metodyka badań

Przedmiotem badań był materiał włóknisty na bazie szkła, w postaci maty termoizolacyjnej, z odpornością termiczną do 700°C (rys. 1).

W celu określenia charakterystycznych temperatur szkła

dr inż. Anna Zawada



Adiunkt w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Częstochowskiej i członek Stowarzyszenia Polskich Wynalazców i Racjonalizatorów. Zainteresowania naukowe oscylują w obszarze szkła, dewitryfikatów oraz materiałów spiekanych na bazie drobnofrakcyjnych surowców odpadowych.

e-mail: zawada@wip.pcz.pl

STRESZCZENIE

W ramach przeprowadzonych badań poddano ocenie zmiany powierzchniowe włóknistych materiałów izolacyjnych powstałe na skutek długotrwałego oddziaływania podwyższonej temperatury, mogącej występować w sytuacji utrudnionej kontroli temperatury, np. podczas kontaktu materiałów izolacyjnych z otwartym ogniem. Procesowi wygrzewania poddano termoizolacyjną matę szklaną wykonaną z włókien szklanych, przeznaczoną – wg zaleceń producenta – do stosowania w temperaturze do 700°C. W celu zbadania zmian zachodzących w strukturze włókien maty przeprowadzono wygrzewanie w temperaturze 750°C w czasie 12 h. Spadek lepkości szkła wraz ze wzrostem temperatury oraz towarzyszący mu proces dewitryfikacji doprowadził do znacznej degradacji wewnętrznej struktury, utraty włóknistego kształtu oraz skurczu włókien, a tym samym utraty właściwości izolacyjnych.

SUMMARY

The Influence of temperature on the functional properties of fibrous insulation materials

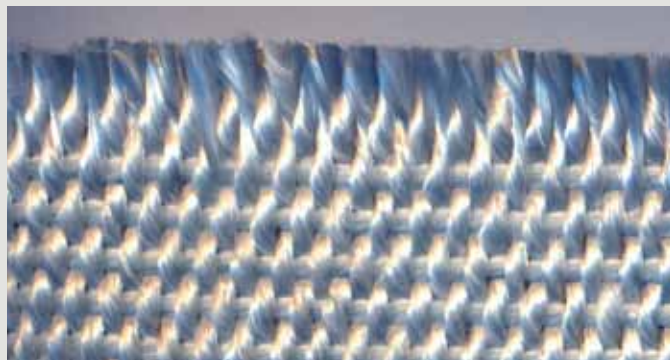
As part of the conducted research, the surface changes of fibrous insulation materials were evaluated, resulting from prolonged exposure to elevated temperature, which may occur in places with difficult temperature control, eg. in the contact with open fire. The heating process was subjected to a heat-insulating fiberglass mat made of glass, intended for use, according to the manufacturer's recommendations, at a temperature of up to 700°C. In order to investigate changes occurring in the fiber structure of the mat, after exceeding the temperature recommended by the manufacturer, the annealing was carried out at a temperature of 750°C during 12h. The decrease in glass viscosity as the temperature rises and the accompanying process of devitrification led to significant degradation of the internal fiber structure, loss of fibrous shapes and shrinkage, and thus loss of insulating properties.

SŁOWA KLUCZOWE

włókno szklane, dewitryfikacja, materiały termoizolacyjne

KEYWORDS

refractory fiberglass, devitrification, thermal insulation materials



Rys. 1. Mata termoizolacyjna na bazie włókien szklanych, z odpornością termiczną do 700°C.

(początku spiekania, mięknięcia, półkuli, płynięcia) materiał badawczy poddano analizie z użyciem mikroskopu wysokotemperaturowego (HSM). Oznaczenie gęstości włókien przeprowadzono metodą hydrostatycznego ważenia (według standardowej zasady Archimedesesa), w której szklany element najpierw ważony jest w powietrzu, a następnie w wodzie. W celu określenia wpływu temperatury na właściwości użytkowe włóknistych materiałów izolacyjnych materiał badawczy w postaci wiązki włókien szklanych poddano procesowi wygrzewania w temperaturze 750°C w czasie 12 h. Badane włókna zarówno przed wygrzewaniem, jak i po, oceniono pod kątem mikrostruktury i składu fazowego. Zakres badań obejmował mikroskopię wysokotemperaturową, mikroskopię świetlną, skaningową mikroskopię elektronową oraz rentgenowską analizę fazową.

Badania z zakresu mikroskopii wysokotemperaturowej przeprowadzono na urządzeniu Misura 3,32- Hot Stage Microscope. Do obserwacji mikrostruktury wykorzystano mikroskop optyczny firmy Opta-Tech z możliwością obserwacji w świetle odbitym i rozproszonym. Badania skaningowe oraz analizę EDS zrealizowano z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego JEOL JSM-6610LV.

Badania rentgenostrukturalne wykonano za pomocą dyfraktometru rentgenowskiego Philips X'Pert Pro MD z zastosowaniem promieniowania filtrowanego o długości fali $\lambda_{\text{CoK}\alpha} = 0,17902 \text{ nm}$. Analizę wykonano w zakresie kąta dyfrakcji $2\theta = 20^\circ - 100^\circ$.

Wyniki badań

Włókna szklane zastosowane do produkcji maty termoizolacyjnej poddano badaniu w mikroskopie wysokotemperaturowym, a wyznaczone charakterystyczne temperatury przedstawiono w tabeli 1., w której również zamieszczono wynik oznaczonej gęstości pozornej.

Tab. 1. Charakterystyczne temperatury oraz gęstość szkła stosowanego w produkcji włókien.

Temperatura [°C]				Gęstość [g/cm ³]
Spiekania	Mięknięcia	Półkuli	Rozpływu	
736	916	1200	1260	2,62

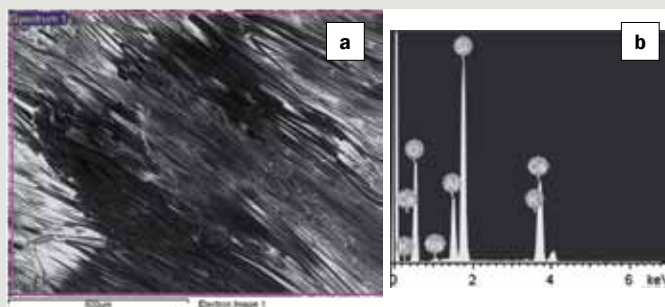
Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że badane włókna charakteryzowały się temperaturą spiekania wynoszącą 736°C, która nieznacznie przekraczała temperaturę pracy zalecaną przez producenta (700°C). Temperatura ich mięknięcia przekroczyła 900°C. Zatem interwał temperatur spiekania, w którym deformacja materiałów ceramicznych nie powinna mieć miejsca wyniósł 180°C. W przypadku materiałów szklanych podstawowy wpływ na zmiany zachodzące w strukturze ma lepkość szkła. W temperaturze

transformacji – T_g, przy lepkości stopu ok. $\eta = 10^{12} \text{ Pas}$ zostaje „zamrożona” struktura cieczy i istniejące w niej fluktuacje gęstości (obszary mniej i bardziej gęste). Powyżej tej temperatury, wraz ze spadkiem lepkości ulegają zmianom wszystkie właściwości fizyczne szkła. Wobec tego otrzymany z badań wysokotemperaturowych wynik pomiaru temperatury spiekania należy przypisać zakresowi w pobliżu temperatury T_g.

Skład chemiczny przykładowej wiązki włókien maty termoizolacyjnej określono metodą EDS, wyniki przedstawiono w tabeli 2. oraz na rysunkach 2a i 2b. Zauważono, że dominującymi tlenkami mającymi istotny wpływ na odporność termiczną włókien były tlenki krzemu, glinu oraz wapnia.

Tab. 2. Skład chemiczny włókien maty termoizolacyjnej [% wag.] określony na podstawie analizy EDS.

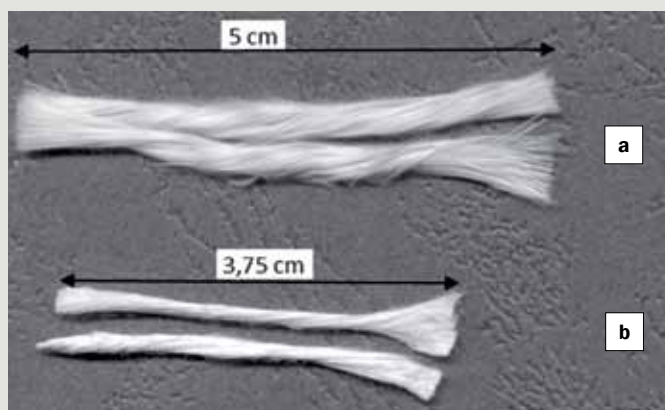
Skład chemiczny szkła	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Udział [% wag.]	47,5	25,7	24,9	1,2	0,7



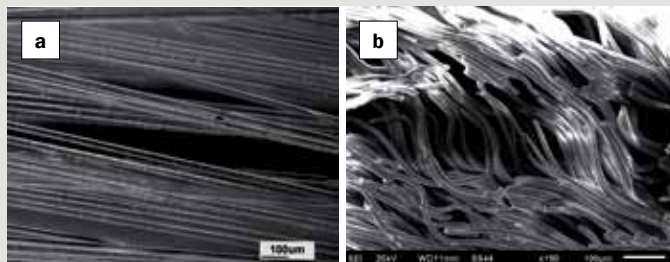
Rys. 2. Wyniki analizy EDS włókien maty termoizolacyjnej; a) obszar analizowany, b) widmo EDS.

Przed procesem wygrzewania włókna charakteryzowały się równą i gładką powierzchnią, bez widocznych wad i uszczerbków (rys. 3a i 4a). Po przeprowadzonym procesie wygrzewania przez 12 h w temperaturze 750°C zauważono, że włókna uległy znacznej degradacji. Pasma włókien po procesie wygrzewania skurczyło się w stosunku do pasma wyjściowego o ok. 25%, włókna zmatowiły, poskręcały się i posklejały (rys. 3b i 4b) oraz stały się kruche.

Badania mikrostrukturalne pokazały zmiany zarówno kształtu włókien, jak i stanu ich powierzchni. W celu zaobserwowania zmian powierzchniowych, spowodowanych wystąpieniem dewitryfikacji szkła w trakcie wygrzewania, włókna poddawano 40% kwasem

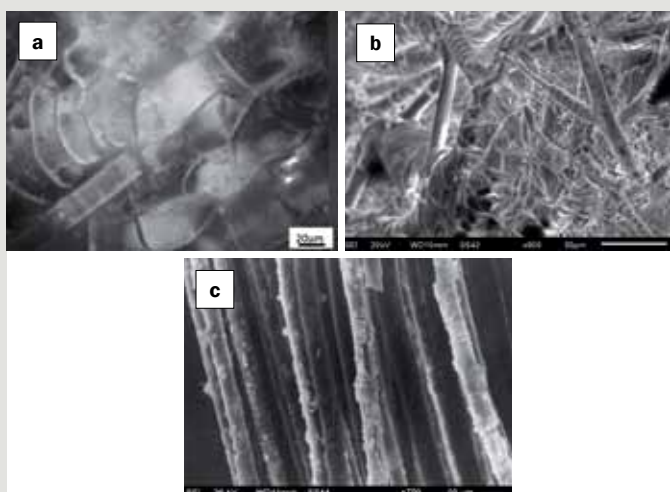


Rys. 3. Włókna szklane maty termoizolacyjnej, stan: a) przed procesem wygrzewania, b) po procesie wygrzewania w temp. 750°C przez 12 h.



Rys. 4. Mikrostruktura włókien szklanych maty termoizolacyjnej, stan: a) przed procesem wygrzewania (mikroskopia optyczna), b) po wygrzewaniu w temp. 750°C przez 12 h (SEM).

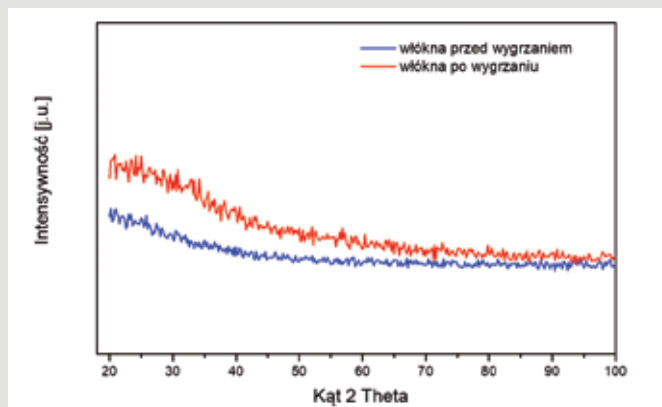
fluorowodorowym. Na skutek działania kwasu powierzchnia włókien uległa spękaniu, tworząc warstwę równomiernie oddzielającą się od reszty szkła (rys. 5). Pojawienie się spękanej warstwy na powierzchni włókien pozwoliło przypuszczać, że uległy one częściowemu odszkleniu.



Rys. 5. Mikrostruktura włókien szklanych maty termoizolacyjnej poddanych trawieniu 40% roztworem HF, stan po wygrzewaniu w temp. 750°C w czasie 12 h: a) mikroskopia optyczna, b) i c) SEM.

Aby móc jednoznacznie potwierdzić wystąpienie w czasie działania podwyższonej temperatury zjawiska krystalizacji powierzchniowej szkła, włókna poddano analizie rentgenostrukturalnej. Otrzymane wyniki badań zaprezentowano na rysunku 6.

Dyfraktogram rentgenowski badanych włókien przed procesem wygrzewania jest typowym obrazem dyfrakcji materiału amorficznego. Proces wygrzewania w temperaturze 750°C w czasie 12 h spowodował, że badany materiał uległ w bardzo nieznacznym stopniu procesowi odszklenia. Świadczyć o tym może dyfraktogram o znacznie większej intensywności pików, niż miało to miejsce w przypadku widma dyfrakcyjnego dla maty włóknistej przed wygrzaniem.



Rys. 6. Dyfraktogramy rentgenowskie włókien przed procesem wygrzewania oraz wygrzewanych w czasie 12 h w temperaturze 750°C.

Zestawienie dyfraktogramów otrzymanych przed i po procesie wygrzewania uwidacznia nieznaczne różnice mogące wynikać z pojawiania się fazy krystalicznej po procesie wygrzewania w temperaturze 750°C.

PODSUMOWANIE

Maty termoizolacyjne produkowane z włókna szklanego mają szerokie zastosowanie jako materiał niepalny i odporny na działanie wysokich temperatur. Stosowanie ich w charakterze materiałów przeciwpożarowych, np. kocy, może wiązać się z wykorzystaniem ich w sytuacjach, w których trudno jest ocenić temperaturę, jaka występuje w czasie pożaru. Temperatura płomieni, w zależności od płonącego materiału, może sięgać nawet 1000°C, dlatego też należy mieć świadomość, że w przypadku włókien szklanych stosowanych na maty termoizolacyjne przekroczenie zalecanej przez producenta temperatury stosowania może doprowadzić do utraty właściwości ochronnych stosowanych materiałów, spadku lepkości szkła, z którego wytworzono włókna oraz zwiększenia szybkości dyfuzji, co doprowadzi do procesu odszklenia, a następnie do skurczu materiału, utraty elastyczności i spadku odporności na kruche pęknięcie włókien.

LITERATURA

- [1] Blagojević B., Širok B., Hočevar M., *Cooling of the fibres in mineral wool produced by a double-disc spinning machine*, „Ceramics – Silikáty”, 2009, 53, 1, s. 25–30
- [2] Pargana N., Pinheiro M.D., Silvestre J.D., De Brito J., *Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings*, „Energy and Buildings”, 2014, 82, s. 466–481
- [3] Śmieszek-Lindert W., Bajorek A., Kubacki J., *Analiza złożonych materiałów o strukturze włókien mineralnych w oparciu o nieinwazyjne metody spektroskopowe*, „Chemik”, Vol. 69, nr 7, 2015, s. 411–418
- [4] Żarnowski T., Wiśniewski T., *Starzenie się izolacji włóknistych stosowanych w ciepłownictwie i energetyce*, „Instal”, nr 12, 2014, s. 21–27
- [5] Przerada I., Zawada A., Iwaszko J., *Wpływ temperatury na mikrostrukturę włóknistych, ogniotrwałych materiałów amorficznych*, „Materiały Ceramiczne”, 66, 1, 2014, s. 77–80