

Charakterystyka procesu termicznego zgazowywania modeli polistyrenowych

Characteristics of the thermal process of polystyrene model gasification

Zdzisław Żółkiewicz¹, Andrzej Baliński¹, Marek Żółkiewicz²

¹ Instytut Odlewnictwa, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków, Polska

² Metals Minerals sp. z o.o., ul. Marcika 2, 30-443 Kraków, Polska

¹ Foundry Research Institute, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków, Poland

² Metals Minerals sp. z o.o., ul. Marcika 2, 30-443 Kraków, Poland

E-mail: zdzislaw.zolkiewicz@iod.krakow.pl

Received: 11.04.2017. Accepted in revised form: 30.09.2017.

© 2017 Instytut Odlewnictwa. All rights reserved.

DOI: 10.7356/iod.2017.18

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę procesu termicznego zgazowywania modeli polistyrenowych. Opisano badania wpływu temperatury na kinetykę zgazowywania badanych próbek modeli polistyrenowych. Dokonano analizy wyników badań termogravimetrycznych (DTG) kopolimeru PS oraz podano, jaki rodzaj związków chemicznych wydziela się w określonej wartości temperatury w wyniku rozkładu termicznego spienionego polistyrenu.

Słowa kluczowe: modele zgazowywane, polistyren, wydzielalność gazów

Abstract

The article presents an analysis of the thermal process of polystyrene model gasification. It discusses the investigation results of the effect of temperature on the gasification kinetics of the examined polystyrene model samples. It analyzes the results of thermogravimetric tests (DTG) of copolymer PS and points to the type of chemical compounds emitted at a given temperature as a result of the thermal decomposition of expanded polystyrene.

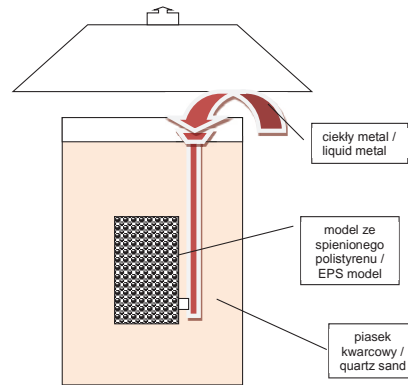
Keywords: gasified models, polystyrene, gas emissivity

1. Wstęp

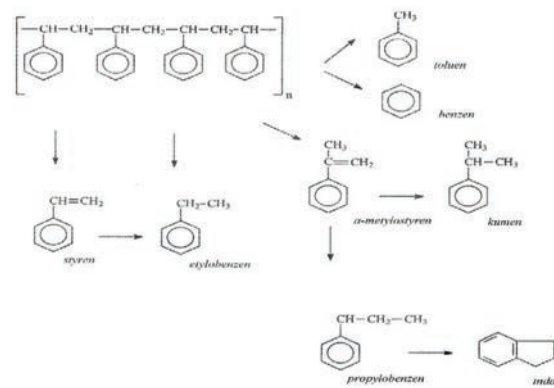
W procesie modeli zgazowywanych ciekły metal zgazowuje model styropianowy (polistyren spieniony, EPS), odtwarzając go w postaci odlewu. Produkty powstałe w wyniku destrukcji cieplnej modelu styropianowego są odprowadzane przez powłokę ogniotrwałą modelu styropianowego i osnowę ziarnową formy. Na [rysunku 1](#) przedstawiono przykładowy schemat doprowadzenia ciekłego metalu do wnętrza formy. Ciekły metal o założonej temperaturze, zależnej od rodzaju stopu, doprowadzony jest od dołu. Polistyren pod wpływem doprowadzonego ciepła ciekłego metalu przechodzi ze stanu stałego, przez stan ciekły, w stan gazowy.

1. Introduction

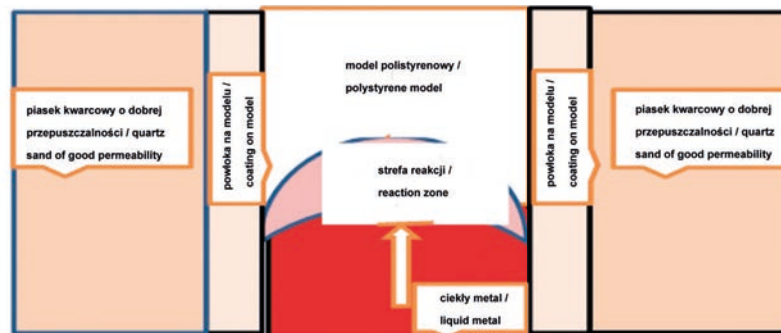
In the process of gasified models, the liquid metal gasifies the expanded polystyrene (EPS), recreating it in the form of a cast. The products of the thermal destruction of the expanded polystyrene model are removed by the fire-resistant finish of the EPS model and the granular matrix of the mould. [Figure 1](#) shows an exemplary diagram of liquid metal supply into the mould cavity. The liquid metal of the assumed temperature, which is dependent on the alloy type, is supplied from below. Polystyrene, under the effect of the supplied liquid metal, moves from the solid, through the liquid, to the gaseous form.



Rys. 1. Schemat procesu zalania modelu zgazowywanego
Fig. 1. Diagram of the process of casting into a gasified model



Rys. 2. Schemat możliwego rozpadu mikrocząstki polistyrenu [6]
Fig. 2. Diagram of a possible disintegration of a polystyrene micromolecule [6]



Rys. 3. Schemat procesu zgazowywania modelu polistyrenowego
Fig. 3. Diagram of the process of polystyrene model gasification

Rozważając proces termicznej destrukcji modelu odlewniczego wykonanego z polistyrenu spienionego (rys. 2 i 3) [1,2,5,6,7,13], należy brać pod uwagę następujące czynniki:

When considering the process of thermal destruction of a casting model made of expanded polystyrene (Figs. 2 and 3) [1,2,5,6,7,13], one should take into the account the following factors:

1. Wnęka formy w całości lub w części wypełniona jest modelem wykonanym z polistyrenu o odpowiednich właściwościach fizykochemicznych. Model ten w odróżnieniu od modeli tradycyjnych nie jest usuwany z wnętrza formy przed jej zalaniem ciekłym metalem.
1. The mould cavity is, totally or partially, filled with a model made of polystyrene of the appropriate physico-chemical properties. The model, contrary to traditional ones, is removed from the mould cavity before the latter is filled with the liquid metal.

- | | |
|---|---|
| 2. Proces termicznej destrukcji modelu oraz reakcje chemiczne zachodzące we wnęce formy. | 2. The thermal destruction of the model and the chemical reactions occurring inside the mould cavity. |
| 3. Objętość i kinetykę wydzielania się produktów rozkładu termicznego modelu. | 3. The volume and kinetics of the emission of the model's thermal decomposition products. |
| 4. Ilość dostarczanego ciepła przez ciekły metal, niezbędnego do przeprowadzenia procesu zgazowania modelu i wypełnienia formy przez metal. | 4. The amount of heat supplied by the liquid metal, necessary to perform the process of model gasification and to fill the mould with the metal. |
| 5. Całkowitą objętość wydzielonych gazów w powiązaniu z procesem wypełniania formy przez ciekły metal oraz kinetyką odprowadzania gazów na zewnątrz formy. | 5. The total volume of the emitted gases in connection with the process of filling the mould by the liquid metal and the kinetics of gas release to the outside of the mould. |
| 6. Zależność pomiędzy ciśnieniem słupa ciekłego metalu a ciśnieniem gazów wytworzonych w formie i jej wpływem na prędkość przepływu strugi ciekłego metalu. | 6. The relation between the pressure of the liquid metal column and the pressure of the gases formed in the mould and its effect on the flow rate of the liquid metal stream. |
| 7. Parametry fizykochemiczne formy oraz ceramicznej powłoki modelu styropianowego. | 7. The physico-chemical parameters of the mould and the ceramic coating of the EPS model. |
| 8. Parametry fizyczne panujące w formie (nadciśnienie, podciśnienie). | 8. The physical parameters inside the mould (excess pressure, negative pressure). |
| 9. Rodzaj atmosfery w formie. | 9. The atmosphere type in the mould. |

Pomiędzy powierzchnią ciekłego metalu a modelem tworzy się tzw. strefa gazowa, przemieszczająca się w czasie i przestrzeni wnętrza formy (rys. 3) [8,9,10,11,12]. Głębokość tej strefy zależy od temperatury – ilości ciepła dostarczonego do strefy reakcji, różnicy ciśnienia metalostatycznego oraz ciśnienia gazów znajdujących się w formie, temperatury wytworzonych gazów, powierzchni wzajemnego oddziaływania i rodzaju atmosfery.

Na właściwości wytrzymałościowe polistyrenu spienionego wpływa jego ciężar właściwy oraz temperatura, w której będzie pracował [1,6]. Wraz ze wzrostem temperatury oddziaływania na model polistyrenowy maleje jego wytrzymałość na rozciąganie (do osiągnięcia temperatury mięknięcia). Wzrost wartości ciężaru właściwego tworzywa modelu powoduje wzrost jego wytrzymałości na rozciąganie. Wytrzymałość termiczna modelu polistyrenowego zwykle nie przekracza 75°C. Tworzywo charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami dielektrycznymi i odpornością na działanie wielu związków chemicznych. Model odlewniczy wykonany z polistyrenu spienionego w stosunku do modeli wykonanych z innych tworzyw (drewno, metal, tworzywa sztuczne) charakteryzuje się znacznie mniejszą masą. Jest to tworzywo umożliwiające jego łatwą obróbkę mechaniczną, a także łatwą naprawę. Model może być wykonany w całości lub z łączonych ze sobą wielu części. Wykonany model powinien być przechowywany w stałych warunkach temperatury i wilgotności otoczenia.

Between the liquid metal surface and the model, the so-called gaseous zone is formed, which moves in time, within the space of the mould cavity (Fig. 3) [8,9,10,11,12]. The depth of this zone depends on temperature – the amount of heat delivered to the reaction zone, the difference between the metallostatic pressure and the pressure of the gases present in the mould, the temperature of the formed gases, the area of interaction and the type of atmosphere.

The strength properties of expanded polystyrene is affected by its specific gravity and the temperature at which it will be working [1,6]. With a temperature increase to which the polystyrene model is exposed, its tensile strength is reduced (until the softening point is reached). An increase of the specific gravity value of the model material causes an increase of its tensile strength. The thermal strength of a polystyrene model is usually up to 75°C. The material is characterized by very good dielectric properties and resistance to the operation of many chemical compounds. A casting model made of expanded polystyrene, in respect of models made of other materials (wood, metal, plastic), is characterized by a much higher mass. It is a material whereby mechanical treatment as well as repair is easy to perform. A model can be made as a whole or from many interconnected parts. The prepared model should be stored under constant temperature and humidity conditions.

Polimery syntetyczne są z reguły stabilne do temperatury około 200°C. W wyższych temperaturach cząsteczki tych związków rozpadają się na fragmenty polimeru oraz produkty małowcząstkowe o różnych stanach skupienia (rys. 2) [6]. Jednym z zasadniczych czynników, które wpływają na wielkość rozkładu termicznego jest energia wiązań między atomami. Tworzywo ulega rozkładowi, jeżeli dostarczona jest odpowiednia energia, wystarczająca do rozerwania wiązań pomiędzy poszczególnymi atomami. O przebiegu rozkładu decyduje wielkość energii aktywacji polimeru, która dla polistyrenu wynosi 230 kJ/mol. Związek ten ulega degradacji termicznej począwszy od temperatury 350°C. Główne produkty rozpadu cząsteczki polistyrenu powstają na skutek degradacji wiązań C-C.

W procesie rozkładu modelu polistyrenowego [6], w wyniku działania podwyższonej temperatury (np. ciekłych stopów metali), można wyszczególnić następujące zakresy temperatury:

- 1) 90–120°C – mięknięcie polistyrenu,
- 2) 160–240°C – temperatura upłynnienia polistyrenu; zmniejszenie początkowej objętości od 1/30 do 1/50,
- 3) 320–450°C – temperatura depolimeryzacji (makromolekuły polistyrenu przechodzą w monostyrol),
- 4) > 450°C – degradacja styromolekuł i reakcje rozpadu materiału modelu. Oprócz powstawania CO, CO₂ oraz węglowodorów, występuje również sadza.

Kinetyka procesu zgazowywania modelu polistyrenowego uzależniona jest od temperatury, w której jest on zgazowywany. Niezależnie od rodzaju polistyrenu spienionego użytego do badań, całkowita ilość wydzielających się gazów w trakcie jego destrukcji cieplnej zależy przede wszystkim od temperatury tego procesu i wzrasta wyraźnie ze wzrostem temperatury. W mniejszym stopniu na całkowitą ilość wydzielających się gazów ma wpływ gęstość polistyrenu spienionego. Głównymi składnikami produktów zgazowywania są: wodór, tlenek węgla, dwutlenek węgla, metan, acetylen, etylen, etan, propylen, benzen, toluen, styren, etylobenzen (tab. 1) [3]. Występowanie poszczególnych składników i ich udział procentowy zależy od temperatury i atmosfery zgazowywania.

Proces wydzielania się gazów wynikający z termicznego rozkładu modelu styropianowego, z określeniem zawartości poszczególnych składników w całej objętości gazów został opisany w publikacjach [1,2]. Za pomocą chromatografu gazowego wykonano pirolizę polistyrenu i określono procentową zawartość poszczególnych składników gazu w zależności od temperatury rozkładu termicznego badanego styropianu. Metodą analizy termogravimetrycznej — TGA określono wartości temperatury charakteryzujące rozkład polistyrenu, na-

Synthetic polymers are usually stable up to about 200°C. At higher temperatures, the molecules of these compounds disintegrate into polymer fragments or low molecular weight products in different physical states (Fig. 2) [6]. One of the fundamental factors affecting the extent of the thermal decomposition is the energy of the bonds between the atoms. The material decomposes if the appropriate amount of energy is supplied, necessary to break the bonds between the particular atoms. The course of the decomposition is determined by the amount of polymer activation energy, which equals 230 kJ/mol for polystyrene. This compound undergoes thermal degradation from 350°C upwards. The main products of polystyrene molecule disintegration are formed as a result of C-C bond degradation.

In the process of polystyrene model decomposition [6], as a result of the operation of elevated temperature (e.g. liquid metal alloys), one can distinguish between the following scopes of temperature:

- 1) 90–120°C – polystyrene softening,
- 2) 160–240°C – temperature of polystyrene fluidization; reduction of initial volume from 1/30 to 1/50,
- 3) 320–450°C – depolymerization temperature (transition of polystyrene macromolecules into monostyrene),
- 4) > 450°C – degradation of styrene molecules and reactions of model material decomposition. Beside the formation of CO, CO₂ and hydrocarbons, carbon black is also present.

The kinetics of the polystyrene model gasification depends on the gasification temperature. Regardless of the type of expanded polystyrene used for the tests, the total amount of gases during its thermal destruction depends mostly on the temperature of this process and it clearly increases with a temperature increase. To a lesser extent, the total amount of the emitted gases is affected by the density of the expanded polystyrene. The main components of gasification products are: hydrogen, carbon oxide, carbon dioxide, methane, acetylene, ethylene, ethane, propylene, benzene, toluene, styrene and ethylbenzene (Tab. 1) [3]. The presence of the particular elements and their percentages depends on the temperature and atmosphere of gasification.

The process of gas emission resulting from the thermal decomposition of the EPS model, with the given percentages of the particular elements in the whole gas volume, has been described in papers [1,2]. By means of gas chromatograph, polystyrene pyrolysis was performed and the percentage of the particular gas elements was determined, depending on the thermal decomposition temperature of the examined EPS. The thermogravimetric analysis method (TGA) was used to determine

Tabela 1. Zawartość niektórych składników wydzielonych ze zgazowanego modelu Ovipian [3]

Table 1. Contents of selected elements emitted from the gasified Ovipian model [3]

Składniki/Elements	Ilość spalin (mg/kg) w temperaturze / Amount of combustion gas (mg/kg) at temperature		
	400° C	750° C	1150° C
Benzen/Benzene	1768,8	1335,6	1689,1
Toluen/Toluene	3609,9	3145,2	2276,7
Ksilen/Xylene	1637,1	1201,0	369,6
Styren/Styrene	1881,7	22 995,6	14 581,5
Tlenek węgla / Carbon oxide	66 480,0	88 330,0	40 493,0
Dwutlenek węgla / Carbon dioxide	89 776,7	252 020,0	412 100,0

tomiast metodą chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrofotometrią masową (GC-MS oraz metodą IR z transformacją Fouriera (FT-IR)) oznaczono skład produktów rozkładu.

the temperature values characterizing the polystyrene decomposition, whereas the gas chromatography-mass spectrometry method (GC-MS and the IR method with Fourier transformation (FT-IR)) was applied to determine the composition of the decomposition products.

2. Badania własne

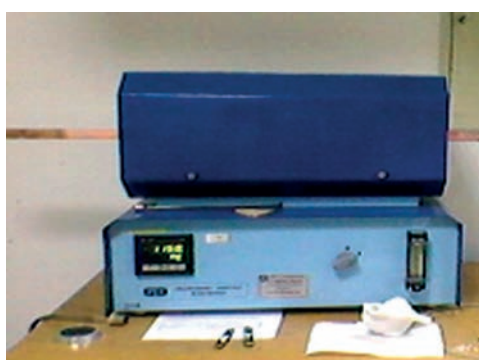
Przeprowadzono badania kinetyki zgazowywania próbek modelu polistyrenowego (styropianowego) o założonej gęstości i w określonej temperaturze, w zakresie temperatury mieszczącej się w przedziale od 400°C do 1150°C [2,8,9,10,11,12,13]. Powyższe badania przeprowadzono w atmosferze obojętnej.

Destrukcyjną badanej próbki styropianu wykonano w piecu oporowym typu PR-45/1200MF (rys. 4), wyposażonym w mikroprocesorowy regulator temperatury o działaniu ciągłym.

2. Own research

Investigations were performed of the gasification kinetics of polystyrene (EPS) model samples with an assumed density and at a given temperature, in the temperature range from 400°C to 1150°C [2,8,9,10,11,12,13]. The above tests were conducted in inert atmosphere.

The destruction of the examined EPS sample was performed in a resistance furnace type PR-45/1200MF (Fig. 4), equipped with a microprocessor continuous temperature regulator.



a)



b)

Rys. 4. Aparat (a) do pomiaru wydzielalności gazów ze zgazowywanej w założonej temperaturze próbce (b) modelu polistyrenowego

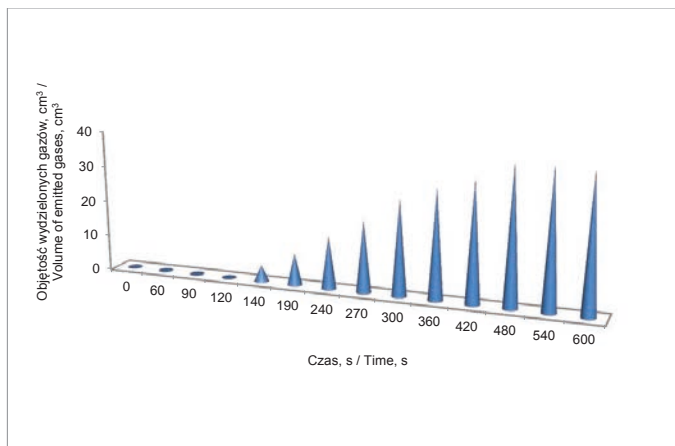
Fig. 4. Apparatus (a) for the measurements of gas emissivity from a sample gasified at the assumed temperature (b) polystyrene model

Odważona próbka styropianu, np. o masie 0,1 g, wkładana jest do ceramicznej łódeczki. Tak przygotowana próbka wprowadzona jest do komory pieca nagrzanego do założonej temperatury. W zamkniętej przestrzeni pieca odbywa się proces zgazowania próbki. Badano objętość wydzielonych gazów w jednostce

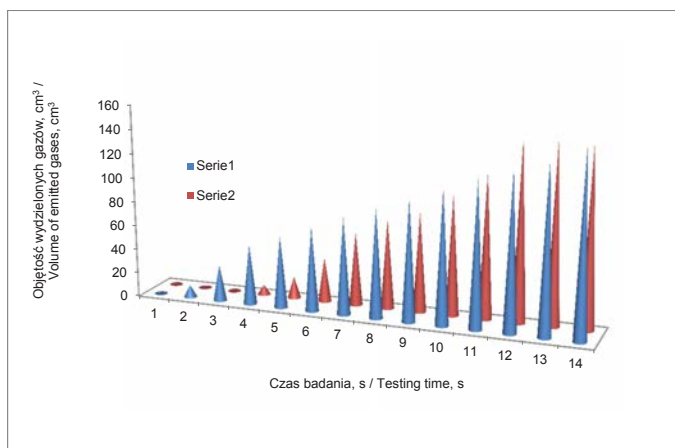
The weighed EPS sample, e.g. with a mass of 0.1 g, is placed into a ceramic boat. The sample prepared in this way is introduced into the chamber of a furnace heated to the assumed temperature. In the closed space of the furnace, gasification of the sample takes place. The volume of the emitted gases in a unit of time was

czasu. Przykładowe wyniki badań pokazano na rysunkach 5–10.

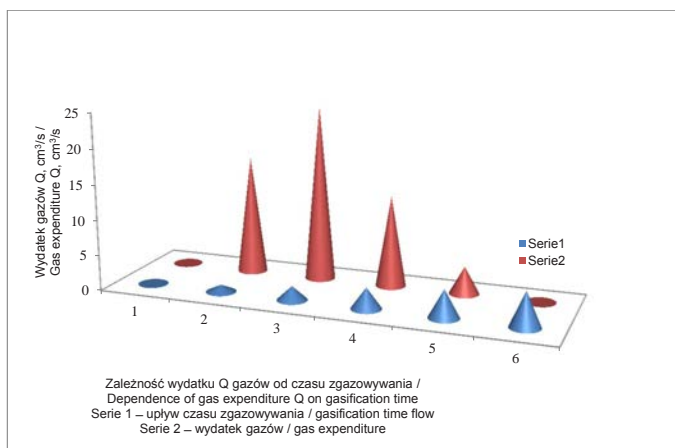
examined. Exemplary test results have been shown in Figures 5–10.



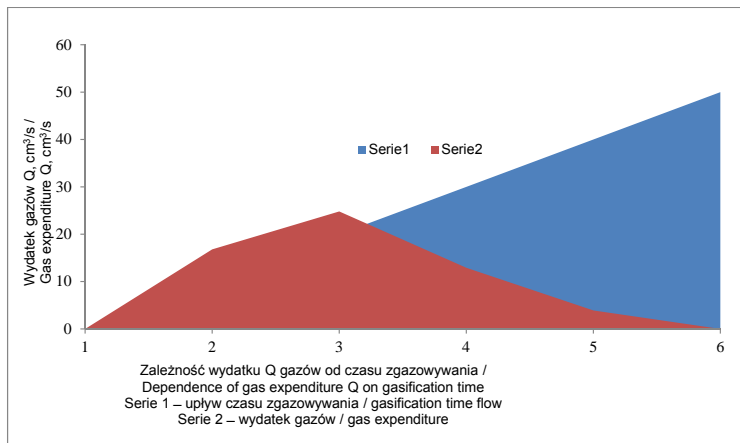
Rys. 5. Wydzielalność gazów z doświadczalnego modelu polistyrenowego zgazowywanego w temperaturze 400°C
 Fig. 5. Gas emissivity from an experimental polystyrene model gasified at 400°C



Rys. 6. Wydzielalność gazów z doświadczalnego modelu polistyrenowego zgazowywanego w temperaturze 600°C
 Fig. 6. Gas emissivity from an experimental polystyrene model gasified at 600°C

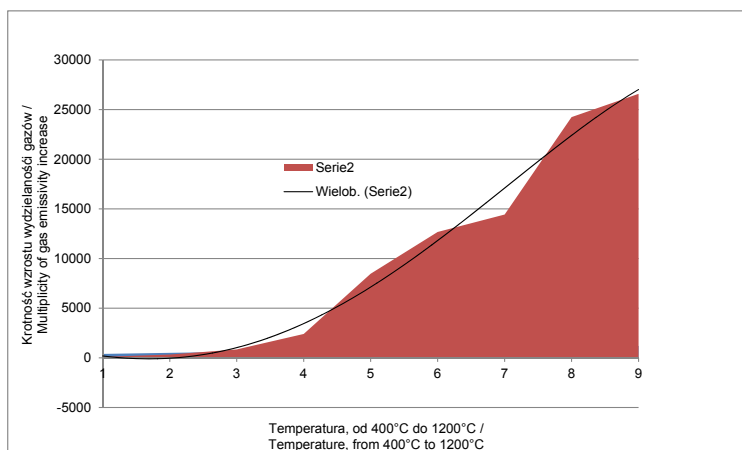


Rys. 7. Wydatek gazów Q wydzielonych z doświadczalnego modelu polistyrenowego o gęstości modelu 30 kg/m³, w temperaturze 1000°C
 Fig. 7. Expenditure Q of gases emitted from an experimental polystyrene model, density 30 kg/m³, at 1000°C



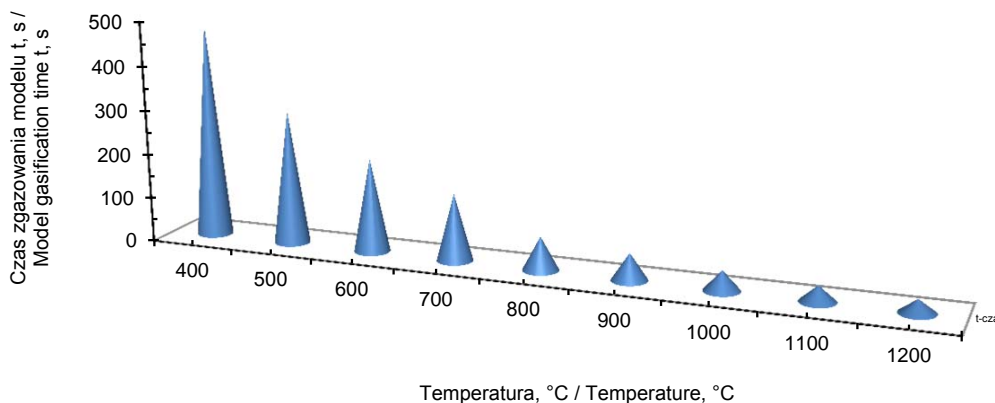
Rys. 8. Wydatek gazów Q wydzielonych z doświadczalnego modelu polistyrenowego o gęstości modelu 30 kg/m³, w temperaturze 1000°C

Fig. 8. Expenditure Q of gases emitted from an experimental polystyrene model, density 30 kg/m³, at 1000°C



Rys. 9. Krotność wzrostu wydzielalności gazów z doświadczalnego modelu polistyrenowego w zależności od temperatury zgazowywania

Fig. 9. Multiplicity of the increase of gas emissivity from an experimental polystyrene model, depending on the gasification temperature

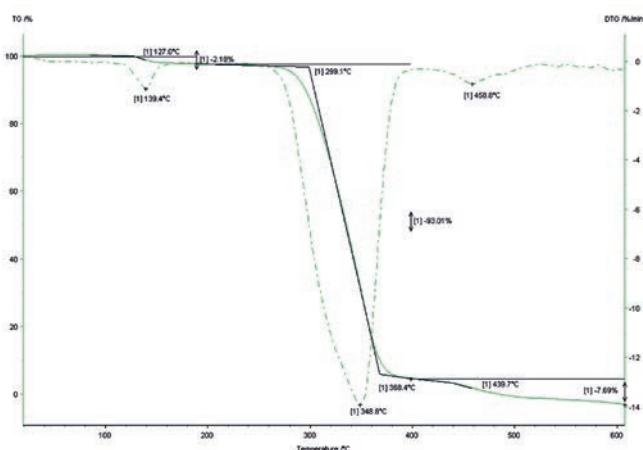


Rys. 10. Zależność czasu zgazowania doświadczalnego modelu styropianowego o gęstości 20 kg/m³, od temperatury

Fig. 10. Dependence of the gasification time of an experimental polystyrene model, density 20 kg/m³, on temperature

Efektywną metodą badania procesu rozkładu termicznego polimeru, w tym styropianu, jest analiza termogravimetryczna (DTG) [4]. Wyniki badań DTG wyjściowych próbek PS kopolimeru – frakcja 0,6, stosowanego do wytworzenia styropianu, pokazano na [rysunku 11](#). Wykazano, że do temperatury 299,1°C, ubytek lotnych składników stanowiących porofor, wynosi 2,18%. Dalszy rozkład przebiega do temperatury 368,4°C, a ubytek masy wynosi 93%. Pozostała część polimeru (7,69%) ulega rozkładowi do temperatury 439,7°C. Całkowity rozkład polimeru zachodzi do temperatury 439,7°C.

An effective method of examining the thermal decomposition of polymers, including EPS, is the thermogravimetric analysis (DTG) [4]. The results of the initial DTG tests of PS copolymer samples – fraction 0.6, used to make EPS, are presented in [Figure 11](#). It was demonstrated that, up to 299.1°C, the loss of volatile elements constituting porophor equals 2.18%. Further decomposition proceeds up to 368.4°C, and the mass loss equals 93%. The remaining part of the polymer (7.69%) undergoes decomposition up to 439.7°C. The total polymer decomposition takes place up to 439.7°C.



Rys. 11. Analiza termiczna metodą termogravimetryczną (DTG)
 Fig. 11. Thermal analysis by the thermogravimetric method (DTG)

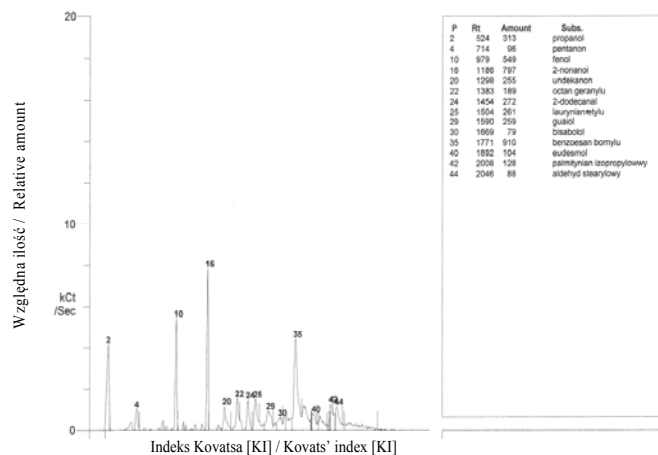
Za pomocą urządzenia zNose Model 4300 (Ultra-Fast GC Analyzer), tzw. „nosa elektronicznego”, określono zawartość związków chemicznych wydzielających się ze zgazowywanego doświadczalnego modelu polistyrenowego [2, 13]. zNose jest to przenośny chromatograf gazowy znajdujący zastosowanie w nowoczesnych technikach analitycznych, pozwalający na szybką analizę związków zapachowych. Badania przeprowadzono dla zakresu temperatury od 400°C do 1150°C. Wyniki w umownych jednostkach Cts przedstawiono w [tabeli 2](#) i na [rysunku 12](#).

With the use of the device zNose Model 4300 (Ultra-Fast GC Analyzer), the so-called “electronic nose”, the contents of the chemical compounds emitted from the gasified experimental polystyrene model were determined [2, 13]. zNose is a portable gas chromatograph applied in modern analytical techniques, which enables a fast analysis of the odorous compounds. The tests were performed in the temperature range from 400°C to 1150°C. The results given in the conventional units Cts are presented in [Table 2](#) and [Figure 12](#).

Tabela 2. Chromatogram związków chemicznych wydzielających się z próbki modelu zgazowywanego w temperaturze 500°C

Table 2. Chromatogram of the chemical compounds emitted from a gasified model sample at 500°C

Stężenie związków zapachowych, Cts / Concentration of odorous compounds, Cts	Temperatura zgazowania 500°C / Gasification temperature 500°C
propanol/propanol	302
pentanon/pentanon	123
fenol/phenol	55
2-dodecanal/2-dodecanal	81
laurynian metylu / methyl laurate	128



Rys. 12. Chromatogram związków chemicznych wydzielających się z próbki modelu zgazowywanego w temperaturze 500°C

Fig. 12. Chromatogram of the chemical compounds emitted from a gasified model sample at 500°C

Jednym z podstawowych parametrów, decydujących o prawidłowym przebiegu procesu termicznego zgazowywania modelu, jest objętość gazów wydzielających się z badanej objętości modelu polistyrenowego w jednostce czasu.

W przeprowadzonych badaniach określono kinetykę zgazowania doświadczalnego modelu w temperaturze 400°C, 600°C i 1000°C. Zależność przedstawiającą zmianę objętości oraz wydatku wydzielanych gazów zgazowywanych w temperaturze 400°C, 600°C i 1000°C, w zależności od czasu, pokazano na rysunkach 5–9. Z przedstawionych zależności zauważyć można wolny wzrost objętości wydzielonych gazów ze zgazowywanego modelu w temperaturze 400°C. Stwierdzić można, że dla różnych temperatur proces zgazowywania modelu styropianowego zachodzi w różnym przedziale czasu; krótszym w wysokiej temperaturze, dłuższym w temperaturze niskiej. Czas zgazowania modelu doświadczalnego skraca się wraz z wzrostem temperatury. Kinetyka zgazowania modelu badanego modelu doświadczalnego zależy od temperatury. Potwierdza to wykres przedstawiony na rysunkach 9 i 10. Zarysowana jest zależność czasu zgazowania modelu badawczego od temperatury, im niższa temperatura, tym dłuższy czas zgazowywania.

Analizując otrzymane wyniki, stwierdzić można, że stosowanie modeli zgazowanych jest powiązane z występowaniem dużej objętości gazów w relatywnie małym przedziale czasowym.

3. Wnioski

Analizując wyniki przeprowadzonych badań, można stwierdzić, że proces zgazowywania modelu polistyrenowego zależy od wielu parametrów fizycznych i technologicznych. Podstawowym parametrem decydującym o parametrach zgazowywania modelu polistyre-

One of the basic parameters determining the proper course of thermal model gasification is the volume of gases released from the examined volume of the polystyrene model in a unit of time.

In the performed studies, the gasification kinetics of the experimental model at 400°C, 600°C and 1000°C was determined. The relation presenting the change in the volume and the expenditure of the released gases gasified at 400°C, 600°C and 1000°C, depending on time, has been shown in Figures 5–9. In the presented relations, one can notice a slow volume increase of the gases released from the gasified EPS model at 400°C. It can be stated that, for different temperatures, the process of EPS model gasification takes place in different time intervals, i.e. a shorter one at high temperatures and a longer one at low temperatures. The time of experimental model gasification shortens together with the temperature increase. The gasification kinetics of the examined experimental model depends on temperature. This is confirmed by the diagram shown in Figure 9 and 10, where one can see the dependence of the experimental model gasification time on temperature: the lower the temperature, the longer the gasification time.

In the analysis of the obtained results, it can be stated that the application of gasified models is connected with the presence of a large volume of gases in a relatively short time interval.

3. Conclusions

In the analysis of the results of the performed studies, it can be stated that the process of gasification of a polystyrene model depends on many physical and technological parameters. The fundamental parameter determining the gasification parameters of a polysty-

nowego jest temperatura, której oddziaływanie istotnie wpływa na czas zgazowywania modelu styropianowego, objętość, rodzaj i procentowy udział wydzielonych gazowych produktów termicznego rozkładu modelu styropianowego. Wraz ze wzrostem temperatury wzrasta objętość wydzielonych gazów i skraca się czas zgazowania modelu. Wydatek gazów ze zgazowywanego modelu wzrasta, osiąga swoje maksimum do określonego czasu np. około 20 sekund czasu zgazowania się modelu, a następnie potem maleje.

Ilość wydzielonych związków zapachowych w badanej temperaturze nie jest wysoka. Proces termicznej destrukcji modelu polistyrenowego praktycznie zakończony jest po uzyskaniu temperatury 370–400°C, natomiast pozostałe jego elementy ulegają destrukcji w temperaturze około 440°C.

rene model is temperature, the operation which significantly affects the polystyrene model gasification time, and also the volume, type and percentage of the emitted gas products of the thermal decomposition of the EPS model. With a temperature increase, the volume of the emitted gases increases and the model gasification time is reduced. The gas expenditure from the gasified model increases, reaching its maximum up to a specific time, e.g. 20 seconds of gasification time, and then decreases.

The amount of the emitted odorous compounds at the examined temperature is not high. The process of thermal destruction of the polystyrene model is practically completed after the temperature of 370–400°C is reached, whereas its remaining elements undergo destruction at the temperature of about 440°C.

Podziękowania

Publikacja została opracowana na podstawie badań prowadzonych w ramach projektu badawczego MNiSW nr N N507270736.

Acknowledgements

The publication was prepared based on the studies performed within the research project, financed by the Ministry of Science and Higher Education, no. N N507270736.

Literatura/References

1. Krauze M., J. Trzeszczyński, M. Dziecioł. 2003. „The influence of temperature and the kind of the atmosphere on polystyrene thermal degradation”. *Polimery* 48 (10) : 701–708.
2. Praca zbiorowa. (2008–2009). *Ocena ekologiczna procesu zalewania form oraz wybijania odlewów wg technologii modeli zgazowywanych – lost foam* (zlec. 7206/08, zlec. 7206/10). Kraków: Instytut Odlewnictwa.
3. Piech K. 1994. „Technologia wykonywania odlewów z zastosowaniem modeli z polistyrenu spienionego”. *Prace Instytutu Odlewnictwa* 44 (3) : 202–216.
4. Pielichowski J., J.J. Sobczak, Z. Żółkiewicz, E. Hebda, A. Karwiński. 2011. „Analiza termiczna polistyrenowego modelu odlewniczego”. *Prace Instytutu Odlewnictwa* 51 (1) : 15–22.
5. Pysz S., Z. Żółkiewicz, R. Żuczek, Z. Maniowski, Z. Sierant, M. Młyński. 2010. „Badanie symulacyjne warunków wypełnienia wnętrza formy ciekłym metalem w technologii modeli zgazowywanych”. *Prace Instytutu Odlewnictwa* 50 (3) : 27–37.
6. Sokołowski J., M. Marczewski, G. Rokicki. *Recykling termiczno-katalityczny poliolefin i polistyrenu*, https://archiwum.mos.gov.pl/g2/big/2009_07/7d87d371736576508159206a13eb5c9b.pdf.
7. Wilk J., Z. Żółkiewicz. 2006. „Determination of optimum technology in respect of the required values of casting quality parameters by application of the weighted variables metric”. *Materials Engineering* 13 (3) : 89.
8. Żółkiewicz Z., M. Żółkiewicz. 2010. Charakterystyka zgazowywanego tworzywa modelu. W *Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja Jakość i Innowacyjność w Inżynierii Materiałowej, Technologii i Budowie Maszyn Quality 2010, 23–25.09.2010 Zakopane, Materiały Konferencyjne*, 487–490.
9. Żółkiewicz Z., M. Żółkiewicz. 2010. „Characteristic properties of materials for evaporative patterns”. *Archives of Foundry Engineering* 10 (sp. is. 3) : 289–292.
10. Żółkiewicz Z. 2010. *Kinetics of gasification of the experimental pattern*. The 69th World Foundry Congress. Oct. 16–20, 2010 Hangzhou, China, baner presentation.
11. Żółkiewicz Z., A. Baliński, M. Żółkiewicz. 2007. „The Lost Foam Technology”. *Technological Engineering* 4 (1) : 105–106.
12. Żółkiewicz Z., M. Żółkiewicz. 2007. „Pattern evaporation process”. *Archives of Foundry Engineering* 7 (1) : 49–52.
13. Żmudzińska M., J. Faber, K. Perszewska, Z. Żółkiewicz, Z. Maniowski. 2011. „Badania emisji produktów zgazowania modelu styropianowego w procesie lost foam w aspekcie ochrony środowiska”. *Prace Instytutu Odlewnictwa* 51 (1) : 23–34.