

Innovative PET preform heating system reducing electricity consumption in blow molding packaging technology

Innowacyjny system nagrzewania preform PET zmniejszający zużycie energii elektrycznej w technologii wytwarzania opakowań metodą rozdmuchu



DOI: 10.15199/62.2024.12.6

The technol. of heating PET preforms was modified by using a new shape of a ceramic reflector used to reduce the consumption of electric energy necessary for heating the preforms. The modified technol. process was described and the method of transferring preforms in the heating oven was defined, correlated with the shape of the new reflector. The parameters of the technol. process and the achieved electricity savings were detd.

Keywords: SBM technology, PET preform, heating process, reduced electricity consumption

W pracy przedstawiono wybrane wyniki własnych badań doświadczalnych nad zastosowaniem nowego kształtu reflektora w celu zmniejszenia zużycia energii elektrycznej niezbędnej do nagrzania preform PET. Opisano zmodyfikowany proces technologiczny oraz zdefiniowano sposób transferu preform w piecu nagrzewającym skorelowany z kształtem nowego reflektora. Zdefiniowano parametry procesu technologicznego oraz uzyskane oszczędności energii elektrycznej.

Słowa kluczowe: technologia SBM, preforma PET, proces nagrzewania, zmniejszenie zużycia energii elektrycznej

Światowa ilość sprzedawanych opakowań do magazynowania płynów gazowanych i niegazowanych liczona jest w setkach miliardów sztuk¹). Wśród tych opakowań wymienić należy: butelki PET (politereftalan etylenu), puszki aluminiowe, kartony i butelki szklane. Pod względem ilości produkowanych opakowań do magazynowania napojów gazowanych i niegazowanych prym wiodą butelki PET²). Związane to jest głównie z niskimi kosztami wytworzenia, w szczególności z małym zużyciem energii elektrycznej do ich wytworzenia^{3, 4}). Niezależnie dalsze poszukiwania kolejnych rozwiązań umożliwiających zmniejszenie zużycia energii elektrycznej są pożądane.

Butelki (opakowania) PET produkowane są z półfabrykatów w postaci preform w procesie dwustopniowego

rozdmuchu z jednoczesnym rozciąganiem. Preformy PET nagrzewane są za pomocą promieniowania podczerwonego NIR⁵). Promieniowanie podczerwone ogrzewa preformę, a jednocześnie przenikając przez nią, dochodzi do reflektora znajdującego się po przeciwnej stronie lamp emitujących promieniowanie. Odbicie tego promieniowania od reflektora powoduje efekt wzmocnienia tego zjawiska i w konsekwencji uzyskanie większej temperatury preformy. W maszynach rozdmuchowych obecnych na rynku stosowany jest płaski reflektor ceramiczny.

Celem pracy było opracowanie rozwiązania umożliwiającego zmniejszenie zużycia energii elektrycznej niezbędnej do nagrzania preform. Wiąże się to nie tylko ze zmniejszeniem kosztów wytwarzania butelek PET, ale



Dr hab. inż. Waldemar KARASZEWSKI (ORCID: 0000-0003-3085-9468) ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej. Na tym samym wydziale w 1999 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych, a w 2013 r. stopień doktora habilitowanego w dziedzinie budowa i eksploatacja maszyn. Obecnie jest zatrudniony na stanowisku profesora na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa PG. Specjalność – inżynieria mechaniczna.



Dr inż. Paweł WAWRZYNIAK (ORCID: 0000-0002-0494-7213) ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej, a następnie na Wydziale Automatyki i Robotyki tej samej uczelni. W 2017 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dziedzinie budowa i eksploatacja maszyn na Wydziale Mechanicznym PG. Obecnie jest zatrudniony na stanowisku adiunkta na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej. Specjalność – inżynieria mechaniczna.

*** Adres do korespondencji:**

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, tel.: (58) 347-29-29, e-mail: walkaras@pg.edu.pl

także z korzystnym efektem środowiskowym w postaci zmniejszenia emisji zanieczyszczeń do otoczenia, będących efektem produkcji energii elektrycznej.

Część doświadczalna

Materiały do badań

Do badań doświadczalnych przyjęto preformę o wadze 63 g (rys. 1a), z której produkowano butelkę o objętości 5000 mL. Preforma wytworzona została metodą wtrysku z tworzywa PET, standardowego materiału używanego na preformy. Lepkość ścinania tworzywa PET wynosiła 0,881–0,885 dL/g, a stopień krystaliczności materiału preformy określony metodą różnicowej kalometrii skaningowej (DSC) wyniósł 3,4–4,2%.

Metodyka badań

Zaproponowano innowacyjne rozwiązanie, w którym zastosowano kształtowy reflektor ceramiczny, umożliwiający zmniejszenie zużycia energii elektrycznej do nagrzewania preform (rys. 2).

Badania doświadczalne przeprowadzono na stanowisku laboratoryjnym MCH-02/15 firmy TES sp. z o.o., służącym do wytwarzania opakowań PET metodą rozdmuchu. Preformę nagrzewano przez 25 s, a parametry procesu nagrzewania ustawiono tak, aby uzyskać rozkład tempe-

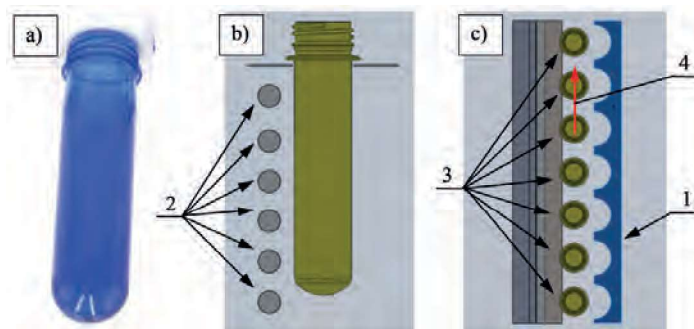


Fig. 1. Position of the ceramic reflector in the heating oven: a) photo of the preform used in the tests, b) position of the heating lamps along the axis of the preform, c) position of the reflector in relation to the transfer of the preforms in the oven: (1) shaped reflector, (2) NIR heating lamps, (3) preforms, (4) direction of preform movement in the oven

Rys. 1. Położenie ceramicznego reflektora w piecu nagrzewającym: a) zdjęcie preformy używanej w badaniach, b) położenie lamp nagrzewających wzdłuż osi preformy, c) położenie reflektora w stosunku do transferu preform w piecu: kształtowy reflektor, (2) lampy nagrzewające NIR, (3) preformy, (4) kierunek przesuwu preform w piecu



Fig. 2. New shape of the ceramic reflector

Rys. 2. Nowy kształt ceramicznego reflektora

ratury właściwy do uzyskania prawidłowo uformowanej butelki 5000 mL. Temperaturę mierzono za pomocą pirometru SLT15CB1 firmy Optris w odległości 15 mm pod kołnierzem preformy. Temperatura 113°C z tolerancją 1,2°C była utrzymywana przez układ regulacji urządzenia dzięki zmianie mocy ogólnej wszystkich poziomów lamp (bez zmiany profilu nagrzewania).

Model takiego reflektora przedstawiono na rys. 2, a jego umiejscowienie na rys. 1b i 1c. Reflektor wykonano z materiału ceramicznego Duratec-XP. Kształt reflektora powoduje, że promieniowanie emitowane przez lampę nagrzewającą po odbiciu od jego powierzchni walcowej skupione jest na grubości ścianki preformy, zwiększając stopień nagrzewania preformy (rys. 3).

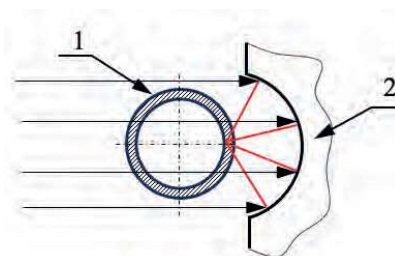


Fig. 3. The concept of a solution based on a shaped reflector - a focused beam of radiation: (1) preform - cross-section perpendicular to the axis, (2) reflector

Rys. 3. Koncepcja rozwiązania opartego na kształtowym reflektorze - skupiona wiązka promieniowania: (1) preforma - przekrój prostopadły do osi, (2) reflektor

Razem z zastosowaniem nowego kształtu reflektora prędkość liniowego przesuwu preform w piecu nagrzewającym nie jest stała. Liniowa prędkość preform zmienia się zgodnie z przedstawionym wykresem (rys. 4), gdzie minimalna prędkość jest w miejscu położenia preformy w osi walcowej części reflektora. Wykres pokazuje przykładową zależność prędkości liniowej przy założonym czasie cyklu 3,6 s.

Rozwiązanie różnej liniowej prędkości przesuwu preform zostało wcześniej z powodzeniem zastosowane do nagrzewania preform, z których rozdmuchiwane są płaskie butelki. Tutaj istotne jest, aby temperatura preform na obwodzie nie była jednakowa. W opisywanym przypadku tę różną prędkość liniową przesuwu preform zastosowano w połączeniu z ceramicznym reflektorem kształtowym, przy czym liczba poszczególnych zagłębień w reflektorze zespolonym, ich rozstaw oraz różnica prędkości liniowych (maksymalna i minimalna) zostały dobrane tak, aby preformy na obwodzie były nagrzane jednakowo.

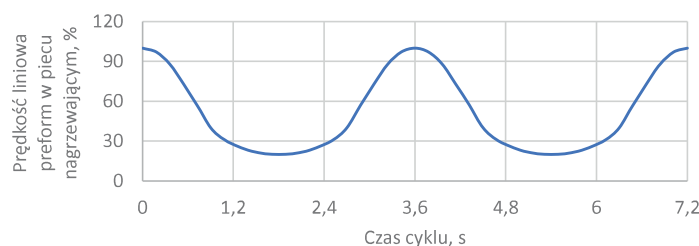


Fig. 4. The preform linear velocity in the heating oven

Rys. 4. Wykres prędkości liniowej preformy w piecu nagrzewającym

Metody analityczne

Pomiar zużycia energii elektrycznej w opisywanym przypadku nie jest możliwy metodami standardowymi, gdyż zużycie energii elektrycznej całej maszyny rozdmuchowej nie tylko wynika ze zużycia energii do nagrzania preform, ale także od różnego rodzaju napędów elektrycznych (napędy pieca, transferu preform, układu zamykania formy rozdmuchowej). W związku z powyższym zaproponowano metodę, która często jest stosowana w maszynach rozdmuchowych do definiowania różnicy zużycia energii elektrycznej dla różnych preform³⁾. W przedmiotowym urządzeniu laboratoryjnym preforma nagrzewana była poprzez 6 lamp nagrzewających ustawionych poziomo, wzdłuż których przesuwiała się obracająca się względem własnej osi preforma (rys. 1b), przy czym maksymalna moc pierwszej lampy od kołnierza preformy wynosiła 3 kW, a pozostałych 2 kW. Sterowanie lampami wykonywano za pomocą sterowników firmy Danfoss ACI30-1, dla których w połączeniu z oprogramowaniem maszyny laboratoryjnej występuje zależność zbliżona do liniowej procentowych nastaw mocy nagrzewania w stosunku do mocy lampy nagrzewającej w zakresie 22–100%.

Wyniki badań i ich omówienie

Na podstawie parametrów procesu nagrzewania obliczono całkowitą moc do nagrzania preformy. Dla parametrów bez użycia kształtowego reflektora ceramicznego moc nagrzewania wynosiła: $94\% \times (90\% \times 3 \text{ kW} + 65\% \times 2 \text{ kW} + 55\% \times 2 \text{ kW} + 52\% \times 2 \text{ kW} + 52\% \times 2 \text{ kW} + 87\% \times 2 \text{ kW}) = 8,4 \text{ kW}$ (gdzie 94% definiuje procentową ogólną moc nagrzewania, a 90%, 65%, 55%, 52%, 52%, 87% definiują procentową moc poszczególnych lamp nagrzewających). Przy założonym cyklu pracy 3,6 s (1000 szt. butelek na 1 h) dla butelki 5000 mL energia potrzebna do nagrzania jednej preformy wynosiła 8,4 Wh.

Dla parametrów z zastosowaniem nowego kształtowego reflektora ceramicznego procentowa moc ogólna nagrzewania wynosiła 91%, co odpowiadało mocy 8,1 kW. Odpowiada to zużyciu energii elektrycznej w wysokości 8,1 Wh na jedną preformę/butelkę. Uzyskano zatem oszczędność energii na poziomie 3,5% (8,4 Wh vs 8,1 Wh).

Podsumowanie

Zmodyfikowano technologię nagrzewania preform poprzez zastosowanie ceramicznego reflektora kształtowego w połączeniu ze zmianą parametrów technologicznych procesu nagrzewania (zmienna prędkość liniowa preform) w celu ograniczenia zużycia energii elektrycznej do nagrzewania preform. Rozwiązanie takie nie jest dotychczas stosowane i może być stosowane w liniowych maszynach rozdmuchowych.

Uzyskano oszczędność energii elektrycznej dla preformy 63 g, z której powszechnie wytwarzane są butelki PET o objętościach 5–6 L, w wysokości 0,3 Wh na 1 butelkę (8,4 Wh vs 8,1 Wh). Przy założeniu średniej produkcji 4000 butelek na 1 h, przez 8 h dziennie i przez 250 dni w roku można uzyskać oszczędności w zużyciu energii elektrycznej na poziomie 2400 kWh.

Badania zrealizowano na zlecenie firmy Masspol sp. z o.o. Na zaproponowany sposób nagrzewania preform PET został przyznany w 2023 r. patent Urzędu Patentowego RP⁶⁾. Autorzy dziękują firmie TES sp. z o.o. za udostępnienie urządzenia laboratoryjnego MCH 02/2015 do przeprowadzenia badań doświadczalnych.

Otrzymano: 06-10-2024

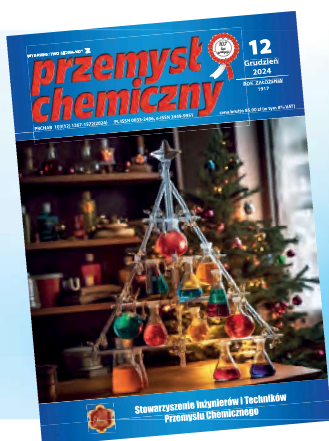
Zrecenzowano: 18-11-2024

Zaakceptowano: 29-11-2024

Opublikowano: 20-12-2024

LITERATURA

- [1] 2020 State of the Beverage Industry, All bottled water segments see growth, <https://www.bevindustry.com/articles/93226-state-of-the-beverage-industry-all-bottled-water-segments-see-growth>.
- [2] Still Bottled Water Market Size, Share & Trends Analysis, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/still-bottled-water-market-report>.
- [3] P. Wawrzyniak, W. Karaszewski, *Polymers* 2020, **12**, nr 8, 1749, <https://doi.org/10.3390/polym12081749>.
- [4] R. Nistico, *Polymer Testing* 2020, **90**, 106707, <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2020.106707>.
- [5] P. Stączek, S. Płaska, *Polimery* 2013, **58**, nr 2, 121, <https://ichp.vot.pl/index.php/p/article/view/718/984>.
- [6] *Patent pol.* 243165 (2023).



Polub nas
na Facebooku

