

Emil Sasimowski ¹⁾

ZASTOSOWANIE TERMOWIZJI W BADANIACH PROCESU WYTŁACZANIA

Streszczenie: Celem badań było określenie wpływu, na temperaturę otrzymywanej wycieczyny, współdziałania w układzie uplastyczniającym wycieczarki ślimaka przetwórczego klasycznego lub specjalnego z tuleją obrotową cylindra. Badania przeprowadzono z zastosowaniem specjalnego stanowiska badawczego wyposażonego w wycieczarkę jednoślindakową z cylindrem o budowie segmentowej, w którego jednym z segmentów umieszczona została tuleja obrotowa cylindra. Za pomocą kamery termowizyjnej podczas wycieczania PE-LD przeprowadzono pomiary temperatury otrzymywanej wycieczyny przy zmiennej szybkości obrotowej dwóch badanych ślimaków przetwórczych oraz zmiennej szybkości tulei obrotowej cylindra. Stwierdzono, że zarówno rozwiązanie konstrukcyjne zastosowanego ślimaka oraz jego szybkość, jak również szybkość tulei obrotowej cylindra ma znaczący wpływ na wartości oraz rozkład temperatury otrzymywanej wycieczyny.

Słowa kluczowe: badania termowizyjne, temperatura wycieczyny, wycieczarka jednoślindakowa, tuleja obrotowa cylindra.

WSTĘP

Termowizja to metoda bezstykowego pomiaru temperatury polegająca na pomiarze promieniowania emitowanego w paśmie zwanym podczerwienią przez każde ciało o temperaturze wyższej niż zero bezwzględne. Natężenie tego promieniowania jest wprost proporcjonalne do temperatury ciała emitującego fale. Efektem pomiaru termowizyjnego jest termogram, czyli wizualizacja pola temperatury powierzchni badanego ciała. Wykorzystywana jest między innymi w zastosowaniach naukowych, medycznych, policyjnych, wojskowych, przy diagnostyce urządzeń mechanicznych, obwodów elektrycznych i budynków [5]. Metoda ta znajduje zastosowanie zwłaszcza przy pomiarze temperatury na powierzchni wytworów oraz elementów maszyn i narzędzi przetwórczych będących w ruchu [6]. W przetwórstwie tworzyw jest stosowana najczęściej do pomiaru temperatury otrzymywanych wytworów oraz narzędzi przetwórczych [4,7-9]. Działanie zastosowanej w omawianych pomiarach kamery termowizyjnej jest następujące. Emitowane przez obiekt promieniowanie podczerwone dociera do układu skanującego kamery, a następnie do układu optycznego, który skupia wiązkę promieniowania

¹ Katedra Procesów Polimerowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

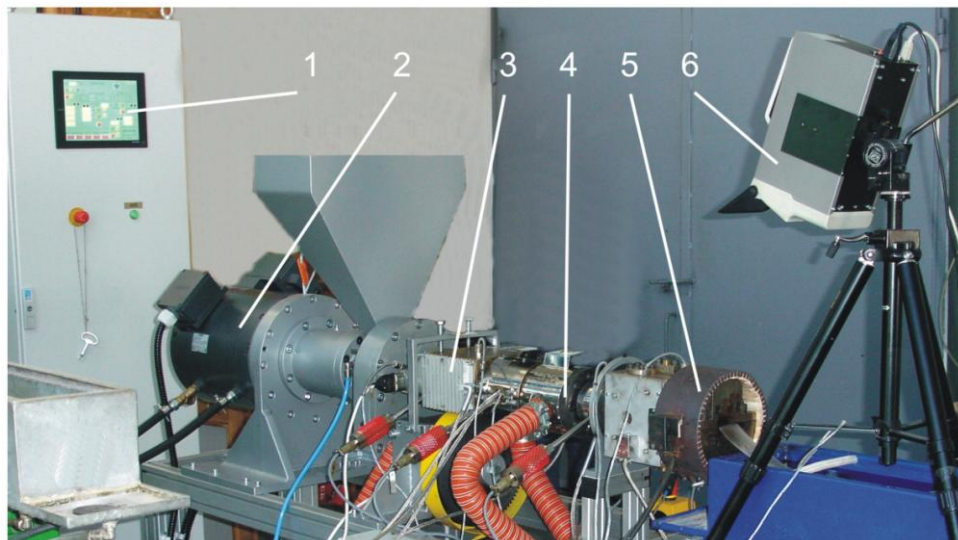
na powierzchni fotoczułej detektora. Detektor przetwarza promieniowanie na impuls prądu elektrycznego, którego parametry, po zamianie na postać cyfrową, są porównywalne z zapisanymi w tablicy kalibracji oraz odpowiadającymi temperaturze odniesienia wbudowanego ciała wzorcowego. W efekcie pomiaru otrzymywany jest termogramu barwny.

W omawianych badaniach, metoda termowizyjna została zastosowana do pomiaru temperatury wytłoczyny opuszczającej dyszę głowicy wytłaczarskiej, otrzymywanej z oryginalnego układu uplastyczniającego wyposażonego w tuleję obrotową cylindra [12]. Celem badań było określenie wpływu, na temperaturę otrzymywanej wytłoczyny, współdziałania w układzie uplastyczniającym wytłaczarki ślimaka przetwórczego klasycznego lub specjalnego z tuleją obrotową cylindra. Pomiar temperatury wytłoczyny stanowi bowiem jedno z głównych kryteriów oceny jakości układu uplastyczniającego [1, 3]. Jej wartości zależą od ilości ciepła dostarczonego przez układ ogrzewania cylindra oraz ilości ciepła powstającego w tworzywie w wyniku rozpraszania energii mechanicznej napędu ślimaka [13], a także dodatkowo w badanym układzie uplastyczniającym energii mechanicznej napędu tulei obrotowej cylindra.

STANOWISKO BADAWCZE

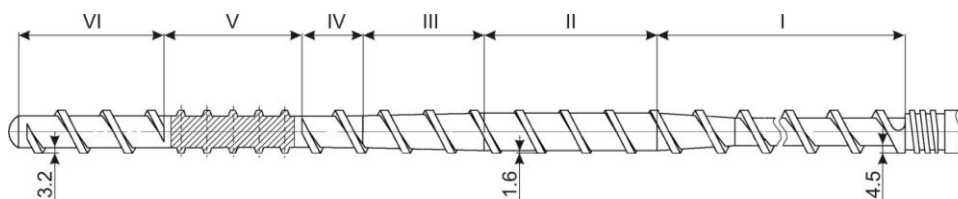
W badaniach zastosowano specjalne stanowisko badawcze (rys. 1) wyposażone w wytłaczarkę jednoślindakową z cylindrem o budowie segmentowej, głowicę wytłaczarską szczelinową płaską, kamerę termowizyjną, układ pomiarowy do zbierania i przetwarzania danych zintegrowany z komputerem oraz szafę sterowniczą. W jednym z segmentów układu uplastyczniającego umieszczona została tuleja obrotowa cylindra o długości $5D$ i średnicy wewnętrznej otworu takiej samej jak pozostałych segmentach cylindra $d = 25$ mm, z sześcioma rowkami prostoliniowymi o przekroju trójkątnym, wykonanymi na jej powierzchni wewnętrznej. W wytłaczarce zastosowano ślimak klasyczny oraz ślimak specjalny, obydwa o średnicy $D = 25$ mm i stosunku $L/D = 24$, przeznaczone do przetwórstwa polietylenu małej gęstości. Ślimak specjalny różnił się od klasycznego m.in. zastosowaniem elementów intensywnego mieszania w postaci pięciu rzędów kołków oraz przesunięciem strefy sprężania w kierunku zasypu. Umieszczenie tulei obrotowej cylindra odpowiadało II strefie ślimaka specjalnego (rys. 2).

W badaniach zastosowano kamerę termowizyjną V-20 II ER005-25 firmy VIGO System S.A. wraz z oprogramowaniem Therm V-20. Kamera ta posiada detektor typu HgCdTe, chłodzony termoelektrycznie oraz rozdzielczość termiczną $0,05$ °C dla temperatury obiektu 30 °C.



Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – szafa sterownicza, 2 – silnik napędzający ślimak, 3 – segment cylindra z tuleją obrotową, 4 – układ uplastyczniający, 5 – głowica wytłaczarska, 6 – kamera termowizyjna

Fig. 1. The test stand: 1 - control panel, 2 - the engine driving the screw, 3 - segment of the barrel with rotating sleeve, 4 - plasticizing system, 5 - extruder head, 6 - infrared camera



Rys. 2. Ślimak specjalny o średnicy 25 mm i stosunku $L/D = 24$ z elementami intensywnego mieszania; strefy ślimaka: I – zasypu i zasilania, II – sprężania, III - uplastyczniania, IV – rozprężania, V – mieszania, VI – dozowania

Fig. 2. The special screw with a diameter of 25 mm and $L/D = 24$ with the elements of the intensive mixing; screw zones: I – feeding, II – compression, III - plasticizing, IV - decompression, V - mixing, VI - metering

CHARAKTERYSTYKA BADAŃ

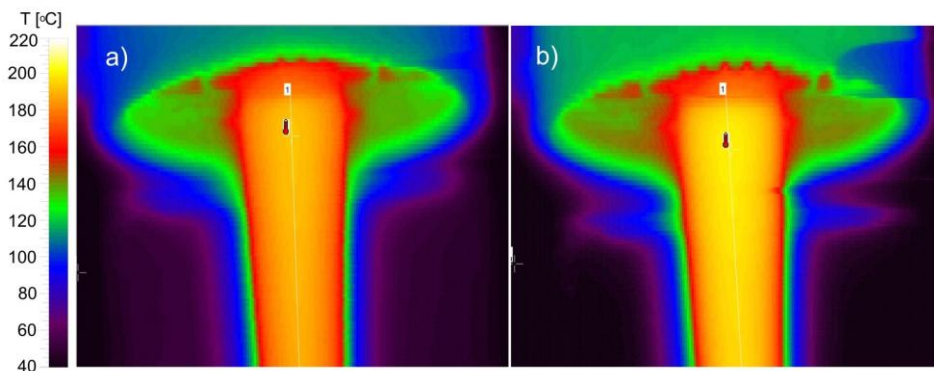
Za pomocą kamery termowizyjnej przeprowadzono pomiary temperatury otrzymywanej wytłoczyny przy zmiennej szybkości dwóch badanych ślimaków przetwórczych oraz zmiennej szybkości tulei obrotowej cylindra. Przeprowadzono pomiary przy ruchu obrotowym badanych ślimaków z szybkością $n_s=1,67$;

5,00 oraz $8,33 \text{ s}^{-1}$ jak również, gdy współdziałały one, z tuleją cylindra obracającą się w kierunku przeciwnym do obrotów ślimaków z szybkością $n_c=1,67$ oraz $3,33 \text{ s}^{-1}$. W czasie pomiarów wytłaczano polietylen małej gęstości w postaci granulatu o nazwie handlowej Malen E oraz symbolu FGNX, 23-D006, produkowany przez firmę Basell Polyolefins S.A. Proces wytłaczania rozpoczynano od nagrzania poszczególnych stref grzejnych układu do zadanej temperatury, którą dobrano zgodnie z wartościami podanymi w literaturze [2, 11] oraz na podstawie doświadczeń własnych. Wynosiła ona odpowiednio $t_I=80^\circ\text{C}$, $t_{II}=160^\circ\text{C}$, $t_{III}=170^\circ\text{C}$, $t_{IV}=180^\circ\text{C}$, $t_V=175^\circ\text{C}$, a temperatura głowicy wytłaczarskiej $t_{VI}=165^\circ\text{C}$ i $t_{VII}=165^\circ\text{C}$. W strefie zasypu chłodzonej wodą, ustalono temperaturę $t_0=40^\circ\text{C}$.

Po ustaleniu szybkości ślimaka i tulei obrotowej cylindra oraz ustabilizowaniu się procesu wytłaczania, co następowało w stopniu zadowalającym, w większości przypadków po upływie około 10 do 20 minut, przeprowadzano rejestrację termogramów otrzymywanej wytłoczyny w sześciu następujących bezpośrednio po sobie powtórzeniach. Następnie na ich podstawie za pomocą oprogramowania Therm V-20 otrzymywano termogram uśredniony, który służył dalszym analizom.

WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

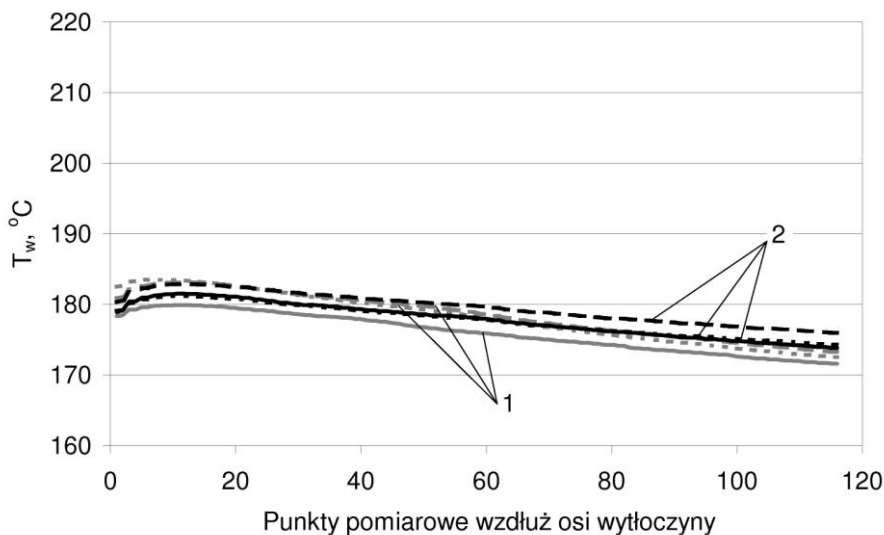
Analizie poddano rozkład temperatury wzdłuż linii pomiarowej - pokrywającej się z osią wzdłużną wytłoczyny, oznaczonej na termogramie (rys. 3a). Na oddzielnych rysunkach 4÷6 zostały przedstawione w postaci graficznej wyniki otrzymane przy trzech badanych wartościach szybkości ślimaka klasycznego jak i specjalnego, zarówno z nieruchomą jak i obracającą się kierunku przeciwnym do obrotów ślimaków tuleją cylindra.



Rys. 3. Termogram wytłoczyny otrzymanej przy szybkości ślimaka klasycznego $n_s=5,00\text{s}^{-1}$, gdy: a) tuleja obrotowa cylindra jest nieruchoma, b) tuleja cylindra obraca się z szybkością $n_c=3,33\text{s}^{-1}$

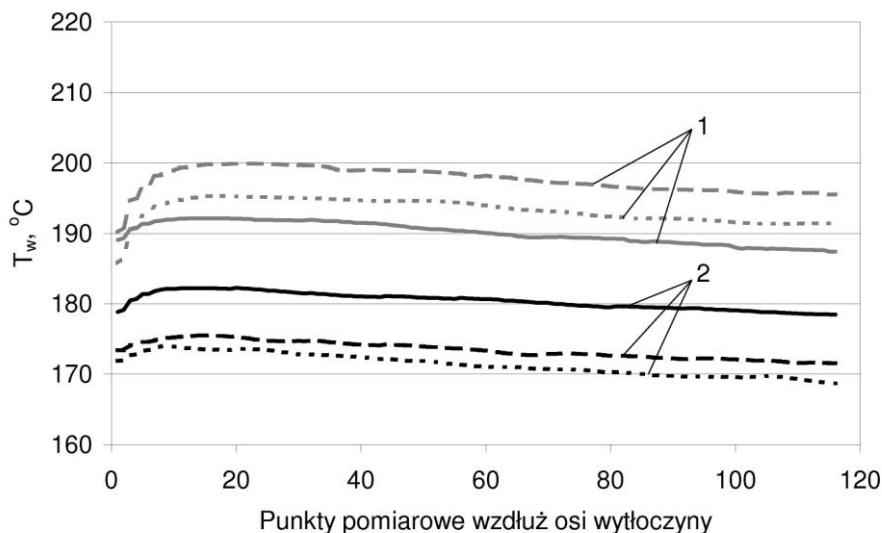
Fig. 3. The thermogram of extrudate obtained at a classical screw speed of $n_s=5,00\text{s}^{-1}$, where: a) rotating barrel sleeve is stationary, b) barrel sleeve rotates at $n_c=3,33\text{s}^{-1}$

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że zwiększenie szybkości ślimaka klasycznego powoduje znaczący wzrost temperatury otrzymywanej wycłoczyny T_w . W przypadku zwiększenia szybkości ślimaka od $1,67\text{s}^{-1}$ do $5,00\text{s}^{-1}$ a następnie $8,33\text{s}^{-1}$ maksymalna wartość temperatury wycłoczyny zwiększyła się odpowiednio o 12°C i 23°C , ze 180°C do 192°C i 203°C . Wprawienie w ruch tulei obrotowej cylindra współdziałającej ze ślimakiem klasycznym powodowało także zwiększenie temperatury otrzymywanej wycłoczyny. Przy najmniejszej z badanych szybkości ślimaka $1,67\text{s}^{-1}$ tuleja cylindra obracająca się z szybkością $1,67\text{s}^{-1}$ oraz $3,33\text{s}^{-1}$ powoduje taki sam wzrost maksymalnej temperatury wycłoczyny o 3°C do 183°C . Podczas obrotów ślimaka klasycznego z większą szybkością $5,00\text{s}^{-1}$ wraz ze zwiększeniem szybkości tulei wzrastała również maksymalna temperatura wycłoczyny odpowiednio o 3°C i 5°C (do 195°C a następnie 200°C). Także przy największej badanej szybkości ślimaka klasycznego $8,33\text{s}^{-1}$ oddziaływanie tulei obrotowej z szybkością $1,67\text{s}^{-1}$ oraz $3,33\text{s}^{-1}$ powodowało wzrost maksymalnej temperatury wycłoczyny o 2°C i 9°C (od 202°C do 204°C , a następnie 211°C). Podobny charakter zmian zaobserwowano porównując wartości średnie temperatury wycłoczyny w analizowanych przypadkach.



Rys. 4. Temperatura wycłoczyny T_w otrzymanej z zastosowaniem: 1 - ślimaka klasycznego, 2 - ślimaka specjalnego, obracających się z szybkością $n_s=1,67\text{ s}^{-1}$, oraz tulei obrotowej cylindra, nieruchomej - linie ciągłe, obracającej się z szybkością $n_c=1,67\text{ s}^{-1}$ - linie punktowe, $n_c=3,33\text{ s}^{-1}$ - linie przerywane

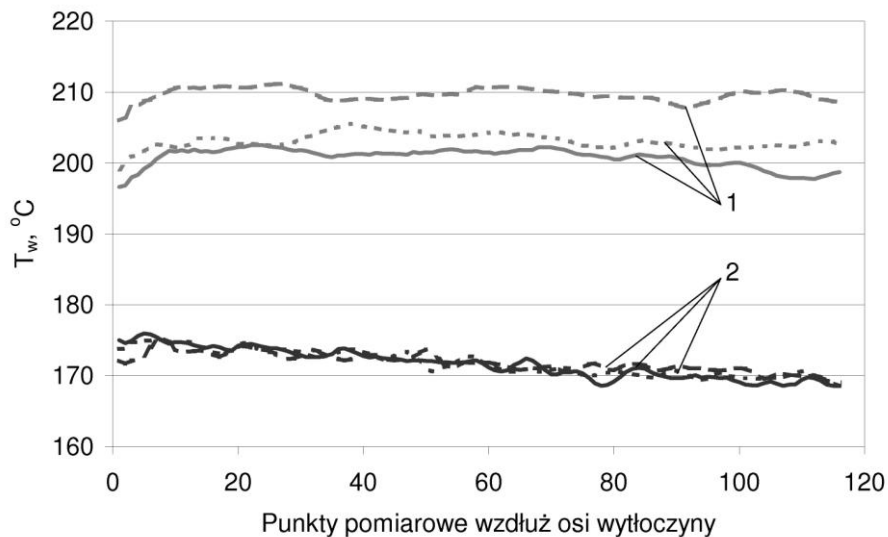
Fig. 4. The temperature T_w of extrudate obtained using: 1 - classical screw, 2 - special screw, rotating speed of $n_s=1,67\text{ s}^{-1}$, and rotational speed of the barrel, stationary - solid lines, rotating speed of $n_c=1,67\text{ s}^{-1}$ - point lines, $n_c=3,33\text{ s}^{-1}$ - dashed lines



Rys. 5. Temperatura wycłoczyny T_w otrzymanej z zastosowaniem 1 - ślimaka klasycznego, 2 – ślimaka specjalnego, obracających się z szybkością $n_s=5,00 \text{ s}^{-1}$ oraz tulei obrotowej cylindra, pozostałe oznaczenia jak na rys. 4

Fig. 5. The temperature T_w of extrudate obtained using: 1 – classical screw, 2 – special screw, rotating speed of $n_s=5,00 \text{ s}^{-1}$, and rotational sleeve of the barrel, other symbols as in figure 4

Zwiększanie szybkości zastosowanego ślimaka specjalnego powoduje natomiast obniżanie się temperatury otrzymywanej wycłoczyny w wyniku przeważającego wzrostu natężenia przepływu tworzywa przetwarzanego nad generowaniem w nim ciepła tarcia. Przy szybkości tego ślimaka $1,67 \text{ s}^{-1}$ oraz $5,00 \text{ s}^{-1}$ wartość maksymalnej temperatury wycłoczyny wynosiła $182 \text{ }^\circ\text{C}$, ale zwiększenie szybkości do $8,33 \text{ s}^{-1}$ spowodowało obniżenie jej wartości o $6 \text{ }^\circ\text{C}$ do $176 \text{ }^\circ\text{C}$. Tuleja obrotowa cylindra współdziałająca ze ślimakiem specjalnym obracającym się z szybkością $1,67 \text{ s}^{-1}$ nie powodowała wyraźnych zmian temperatury otrzymywanej wycłoczyny. Wówczas gdy tuleja cylindra obracająca się z szybkością $1,67 \text{ s}^{-1}$ oraz $3,33 \text{ s}^{-1}$ współdziałała ze ślimakiem specjalnym obracającym się z szybkością $8,33 \text{ s}^{-1}$ nie stwierdzono wyraźnego jej wpływu na zmianę temperatury otrzymywanej wycłoczyny. W przypadku największej szybkości ślimaka $8,33 \text{ s}^{-1}$ zarówno specjalnego jaki i klasycznego, zaobserwowano natomiast znaczną zmienność temperatury wycłoczyny – niejednorodność pola temperatury, co może świadczyć o pogorszeniu się ujednorodnienia cieplnego tworzywa wytłaczanego. Zaś przy szybkości $1,67 \text{ s}^{-1}$ oraz $5,00 \text{ s}^{-1}$ ślimaka klasycznego i specjalnego, z nieruchomą, jak i obracającą się tuleją cylindra, temperatura otrzymywanej wycłoczyny ulegała równomiernemu obniżaniu wzdłuż linii pomiarowej pokrywającej się z jej osią wzdłużną.



Rys. 6. Temperatura wylóczyzny T_w otrzymanej z zastosowaniem 1 - ślimaka klasycznego, 2 - ślimaka specjalnego, obracających się z szybkością $n_s=8,33 \text{ s}^{-1}$ oraz tulei obrotowej cylindra, pozostałe oznaczenia jak na rys. 4

Fig. 6. The temperature T_w of extrudate obtained using: 1 – classical screw, 2 – special screw, rotating speed of $n_s=8,33 \text{ s}^{-1}$, and rotational sleeve of the barrel, other symbols as in figure 4

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że zarówno rodzaj zastosowanego ślimaka przetwórczego, jak i jego szybkość oraz szybkość tulei obrotowej cylindra ma znaczny wpływ na temperaturę otrzymywanej wylóczyzny. Zwiększanie szybkości ślimaka klasycznego powoduje znaczący wzrost temperatury wylóczyzny w wyniku generowania ciepła w przetwarzanym tworzywie, co występuje szczególnie intensywnie przy współdziałaniu tego ślimaka z tuleją obrotową cylindra. W przypadku zastosowanego ślimaka specjalnego zwiększanie jego szybkości powoduje natomiast obniżanie się temperatury otrzymywanej wylóczyzny w wyniku przeważającego wzrostu natężenia przepływu tworzywa nad generowaniem ciepła w tworzywie. Oddziaływanie tulei obrotowej cylindra, w zależności od szybkości ślimaka specjalnego, powoduje obniżanie temperatury otrzymywanej wylóczyzny lub też nie ma znaczącego wpływu na jej wartości.

Można uznać za celowe podjęcie kontynuacji przeprowadzonych badań, w których zostałyby określony wpływ cech geometrycznych powierzchni wewnętrznej tulei obrotowej, oraz jej umiejscowienia w układzie uplastyczniającym na temperaturę otrzymywanej wylóczyzny.

PIŚMIENNICTWO

1. Anders S., Brunner D.: *Plaste und Kautschuk* 320, 27, 1980.
2. Hansen F., Knappe W., Potente H.: *Handbuch der Kunststoff-Extrusionstechnik. II Extrusionsanlagen*, Carl Hanser Verlag, München – Wien 1986.
3. Hansen F., Knappe W., Potente H.: *Handbuch der Kunststoff-Extrusionstechnik. I Grundlagen*, Carl Hanser Verlag, München – Wien (1989).
4. Klepka T., Samujło B.: The analysis of extrudate cooling in the extrusion process. PPS Europe/Africa Regional Meeting 2007, Gothenburg, Sweden 2007
5. Madura H. i inni: *Pomiary termowizyjne w praktyce. Pomiary Automatyka Kontrola. Agenda wydawnicza Paku*, Warszawa 2004.
6. Praca zbiorowa pod red. Sikory R.: *Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych, podstawy logiczne, formalne i terminologiczne*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
7. Samujło B.: Metoda termowizji w badaniu uniepalnienia PE-HD. *Przetwórstwo Tworzyw* 2004, 10, 100.
8. Samujło B.: Study of HDPE Flammability by Thermovision Method. The Polymer Processing Society 2004 Annual Meeting and 20th Anniversary Celebration, Akron, Ohio, USA, 119.
9. Samujło B.: Selected aspects of thermovision in extrusion process. ICPP-2007, International Conference on Polymer Processing, Buct Beijing, Chiny 2007, 126.
10. Sasimowski E., Sikora J.W.: Wybrane badania termowizyjne procesu wytłaczania, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Chemia z. 20, Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych*, Rzeszów 2009, s. 137.
11. Sikora R.: *Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych*, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
12. Sikora R., Sikora J.W.: Patent polski nr 185728 (2003).
13. Stasiak J.: Wytłaczania tworzyw polimerowych, *Zagadnienia wybrane*, Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Techniczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2007.

THE USE OF INFRARED IN THE EXTRUSION PROCESS STUDIES

Summary:

The aim of this study was to determine the effect, the temperature obtained extrudate, interaction in the plasticizing system of extruder the classical screw as well as special screw with rotating sleeve of the barrel. Research was conducted on a special test stand equipped with an extruder with a cylinder on the construction segment, in which one of the segments was placed in the rotating sleeve of the barrel. Using the infrared camera during extrusion of LDPE were obtained extrudate temperature measurements at variable speed the processing of two sample screws and variable rotational speed of the barrel sleeve. It was found that both the design solution used screw and its speed as well as the rotational speed of the barrel sleeve has a significant impact on the value and the temperature distribution obtained extrudate.

Keywords: thermal studies, temperature of extrudate, single screw extruder, rotational sleeve of the barrel.