

Specjalna konstrukcja ślimaka do przetwórstwa tworzyw sztucznych

Special construction of the screw for plastics processing

TADEUSZ NIESZPOREK

PAWEŁ PALUTKIEWICZ

WŁODZIMIERZ BARANOWSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.150>

English version available on: www.mechanik.media.pl

Prezentowano innowacyjne rozwiązanie konstrukcji ślimaka do przetwórstwa tworzyw sztucznych. Opisany ślimak jest przedmiotem wynalazku zgłoszonego w Polskim Urzędzie Patentowym. Jest to ślimak do przetwórstwa tworzyw sztucznych, zwłaszcza barwionych, oraz tworzyw napelnianych i tworzyw charakteryzujących się małą różnicą między temperaturą uplastyczniania i temperaturą degradacji. W artykule omówiono cechy charakterystyczne ślimaka oraz sposób jego wykonania.

SŁOWA KLUCZOWE: wytłaczanie, przetwórstwo tworzyw, ślimak do przetwórstwa tworzyw, uplastycznianie

An innovative solution to the construction of the screw for plastics processing has been presented. The described screw is the object of the invention reported in the Polish Patent Office. It is a screw for the processing of plastics, especially the stained ones, as well as filled materials and plastics with a small difference between the plasticization and degradation temperatures. The paper discusses the characteristics of the screw and methods for its manufacturing.

W zależności od rodzaju prowadzonej produkcji konstrukcja jednostki plastyfikującej może mieć decydujący wpływ na osiągane wyniki ekonomiczne i jakościowe. Dotyczy to zwłaszcza produkcji detali o dużych objętościach wtrysku – w tym przypadku istotna jest wydajność jednostki plastyfikującej. Układ plastyfikujący musi zapewniać optymalną homogenizację tworzywa oraz wysoką wydajność plastyfikacji. Gdy produkowane są detale wymagające stosunkowo długiego chłodzenia, wtryskarka ma zazwyczaj dostateczny zapas czasu, aby przeprowadzić fazę dozowania. Jeżeli produkcja opiera się na krótkich cyklach, ważne jest maksymalne skrócenie czasu dozowania, a jednocześnie zachowanie dobrej homogenizacji tworzywa. Aby spełnić te wymagania, należy się odwołać do specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych układów plastyfikujących (rys. 1), które zapewniają: wysoką wydajność plastyfikacji, dobrą homogenizację tworzywa oraz (co często przysparza wielu problemów) szybką zmianę kolorów lub rodzajów przetwarzanego tworzywa [1].

Problem właściwego wybarwienia wyrobów w przypadku ograniczonego czasu plastyfikacji często występuje



Rys. 1. Przykłady ślimaków niekonwencjonalnych

w masowej produkcji detali z trudno płynących poliolefin. Stosowane zazwyczaj 3-strefowe ślimaki o standardowej konstrukcji nie pozwalają na pogodzenie wymagań dotyczących jakości i wydajności. Rozwiązaniem może być użycie ślimaków o specjalnej konstrukcji. Przeprowadzone testy oraz doświadczenia z zastosowania ślimaków mieszających potwierdziły ich przewagę nad ślimakami konwencjonalnymi. Dzięki zastosowaniu ślimaków mieszających uzyskano [1–3]:

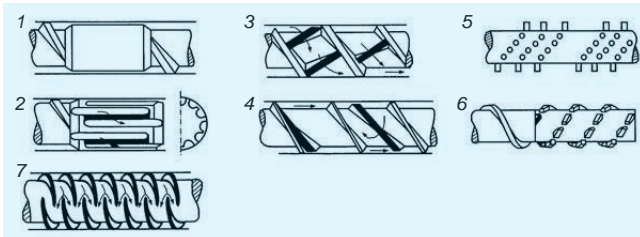
- poprawę jakości powierzchni wyprasek,
- lepszy rozkład barwników,
- równomierną jakość powierzchni,
- zwiększoną wydajność plastyfikacji, co pozwoliło na skrócenie czasu dozowania,
- mniejsze zużycie energii potrzebnej do plastyfikacji danej porcji tworzywa,
- ograniczenie liczby wyprasek odrzucanych z powodu wad jakościowych,
- ograniczenie liczby braków powstających przy zmianie typu lub koloru wtryskiwanego tworzywa.

Zalety ślimaków mieszających uwypuklają się zwłaszcza w procesach wtrysku charakteryzujących się [1–3]:

- dużą dawką dozowania,
- potrzebą stosowania wysokich prędkości obrotowych ślimaka,
- krótkimi czasami chłodzenia.

Ślimaki mieszające (rys. 2) stosuje się nie tylko w przetwórstwie poliolefin, produkcji opakowań czy artykułów gospodarstwa domowego. Specjalne układy plastyfikujące wykorzystuje się również w produkcji detali technicznych – np. zderzaków samochodowych oraz elementów kuchenek lub pralek. Dzięki zwiększeniu płynności tworzywa i poprawie wybarwienia uzyskuje się wymierne korzyści ekonomiczne. Ślimaki mieszające nadają się do przetwórstwa różnorodnych tworzyw termoplastycznych.

* Prof. dr hab. inż. Tadeusz Nieszporek, dr inż. Paweł Palutkiewicz (palutkiewicz@ipp.pcz.pl), dr inż. Włodzimierz Baranowski – Zakład Przetwórstwa Polimerów, Instytut Technologii Mechanicznych, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej



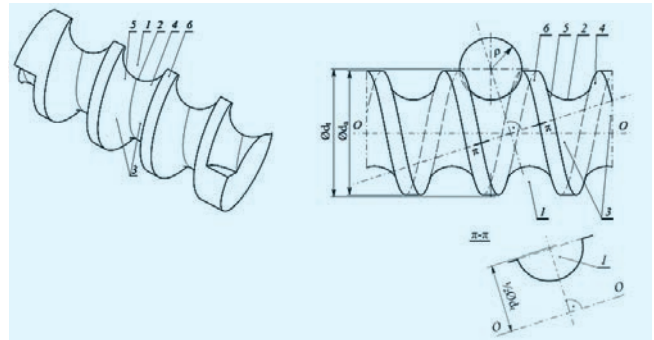
Rys. 2. Elementy intensywnego ścinania i mieszania ślimaków niekonwencjonalnych: 1 – element typu torpeda, 2 – element Maddocka, 3 – element z poprzecznymi zaporami w kanale przepływu, 4 – element Maillefera, 5 – element z występami mieszającymi, 6 – element o nieciągłym uzwojeniu, 7 – element Rheotoc [3, 4]

W przypadku produkcji wyprasek, które muszą spełniać wysokie wymagania dotyczące jakości powierzchni, typowym problemem jest uzyskanie jednolitego wybarwienia. Odpowiednią kolorystykę detalu uzyskuje się przez oddziaływanie na proces plastyfikacji tworzywa lub dodanie większych ilości przedmieszki. Obie metody generują niestety dodatkowe koszty. W pierwszym przypadku zwykle następuje wydłużenie cyklu produkcji, a w drugim zachodzi potrzeba stosowania większej ilości drogiej przedmieszki. Ślimaki mieszające umożliwiają poprawę efektu wybarwienia z jednoczesnym ograniczeniem ilości przedmieszki, obniżeniem ciśnienia plastyfikacji i skróceniem czasu dozowania. Dzięki ślimakom o specjalnej konstrukcji można więc istotnie zredukować koszty produkcji, a dodatkowo poprawić jakość produktu. Innym czynnikiem przemawiającym za zastosowaniem ślimaków mieszających jest zmniejszenie problemów związanych ze zmianą przetwarzanych tworzyw.

Zmiana koloru produkowanego detalu często wiązała się z koniecznością przetrzykiwania układów plastyfikujących specjalnymi tworzywami czyszczącymi, a mimo to na detalach w nowym kolorze pojawiały się wtrącenia lub pozostałości starego koloru. Ślimaki mieszające są projektowane tak, aby uniemożliwić zaleganie starego tworzywa. Ich konstrukcja zapewnia szybkie i bezstratne przejście na nowy materiał. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne podobnych ślimaków zostały przedstawione w polskich opisach patentowych nr 195293 oraz 195292.

Istotą wynalazku [5], omawianego w tym artykule, jest taka konstrukcja ślimaka, która umożliwia lepszą homogenizację tworzyw barwionych oraz tworzyw z napełniaczami. Ślimak na swojej długości ma segment o powierzchni kanałowej śrubowej, który znajduje się w tej części układu uplastyczniającego wtryskarki (lub wytłaczarki), w której tworzywo jest w stanie plastycznym. Celem zastosowania tego segmentu jest ułatwienie homogenizacji różnych tworzyw lub dodatków, a także obniżenie temperatury i zmniejszenie wpływu tarcia, aby umożliwić przetwarzanie tworzyw o małej różnicy pomiędzy temperaturą topnienia i temperaturą degradacji. Cechą charakterystyczną tego rozwiązania jest to, że powierzchnia kanału w strefie dozowania jest zakreślona przez kulę w ruchu śrubowym, przy czym powierzchnia kanału w przekroju prostopadłym do wzniosu linii śrubowej, zakreślanej przez środek kuli tworzącej powierzchnię kanałową, ma zarys kołowy, a środek koła znajduje się powyżej średnicy zewnętrznej ślimaka.

Na tle znanych konstrukcji ślimaków, zwłaszcza z elementami intensywnego ścinania, rozwiązanie będące przedmiotem wynalazku wyróżnia się specjalnym zarysem ślimaka w strefie dozowania. Poza tym kanałowa powierzchnia śrubowa zwojów ślimaka pozwala na lepsze wymieszanie tworzyw barwionych oraz tworzyw z napełniaczami. Specjalny kształt powierzchni zwojów ślimaka

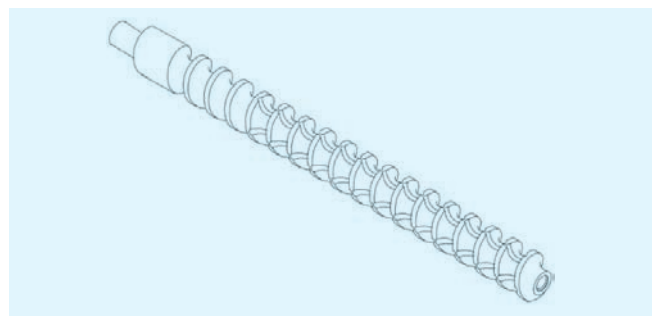


Rys. 3. Ślimak do przetwórstwa tworzyw sztucznych: 1 – kanał śrubowy, 2 – rdzeń ślimaka, 3 – powierzchnie boczne, 4 – powierzchnia czynna, 5 – powierzchnia bierna, 6 – zwoj ślimaka [5]

zmniejsza tarcie tworzywa o powierzchnię ślimaka w trakcie procesu przetwórstwa, co obniża jego temperaturę i tym samym eliminuje ryzyko degradacji tworzywa.

Ślimak do przetwórstwa tworzyw sztucznych (rys. 3) ma: kanał śrubowy (1), którego dno stanowi powierzchnia rdzenia (2) ślimaka, natomiast ścianki boczne (3) są utworzone przez powierzchnię czynną (4) i bierną (5) zwojów (6) ślimaka. Powierzchnia kanału (1) w strefie dozowania jest utworzona w wyniku ruchu śrubowego kuli, przy czym środek kuli znajduje się poza średnicą zewnętrzną ślimaka. Kanał (1) w strefie dozowania w przekroju prostopadłym do wzniosu linii śrubowej ma zarys kołowy.

Możliwe jest ponadto łatwe wykonanie elementów intensywnego ścinania tworzywa na powierzchni ślimaka, a mianowicie przez nacięcie rowków [6]. Izometryczny szkic takiego ślimaka przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Widok izometryczny ślimaka [6]

Powierzchnia śrubowa kanałowa

Powierzchnie śrubowe kształtowane są w obróbce wykończeniowej (frezem lub ściernicą) metodą obwiedniową z wykorzystaniem narzędzia obrotowego. Ze względów technologicznych (proste geometrycznie narzędzie) powierzchnie ślimaków najczęściej są kształtowane jako powierzchnie śrubowe stożkopochodne narzędziem o zarysie osiowym prostoliniowym powierzchni działania narzędzia. Z uwagi na specyfikę obróbki obwiedniowej powierzchnia działania narzędzia i powierzchnia obrabiana mają różne zarysy. W przypadku powierzchni śrubowych stożkopochodnych powierzchnia ślimaka w żadnym przekroju nie jest prostoliniowa, co utrudnia sprawdzanie dokładności obróbki. Podobny problem występuje w przypadku powierzchni śrubowych torusopochodnych, obrabianych narzędziem o zarysie kołowym w przekroju osiowym powierzchni działania narzędzia. Przekładnie ślimakowe wklęsło-wypukłe (w których powierzchnia ślimaka jest torusopochodna) mają lepsze właściwości eksploatacyjne w porównaniu z przekładniami konwencjonalnymi (ze ślimakiem stożkopochodnym). Natomiast

w przetwórstwie tworzyw sztucznych stosowanie ślimaków torusopochodnych jest szczególnie korzystne ze względu na lepsze wymieszanie tworzywa w układzie uplastyczniającym wtryskarki lub wylączarki. Szczególnym przypadkiem powierzchni śrubowej torusopochodnej jest powierzchnia śrubowa kanałowa, która może być kształtowana jako obwiednia rodziny kul. Zarys takiej powierzchni w przekroju charakterystycznym jest kołowy. Biorąc pod uwagę uwarunkowania technologiczne, zadanie polega na kształtowaniu powierzchni śrubowej kanałowej narzędziem obrotowym, które w przypadku ogólnym nie jest kulą.

Powierzchnia śrubowa kanałowa kształtowana metodą obwiedniową

Powierzchnia śrubowa kanałowa jest generowana przez kulę w jej ruchu śrubowym. Otrzymana powierzchnia jest obwiednią rodziny kul, a charakterystyka, czyli linia chwilowego styku kuli z powierzchnią śrubową, jest okręgiem [7]. Normalne do charakterystyki przecinają środek kuli, a normalne do płaszczyzny charakterystyki są styczne do toru środka kuli. Powierzchnia śrubowa kanałowa może być zatem kształtowana także narzędziem obrotowym o zarysie kołowym w przekroju osiowym powierzchni działania narzędzia (ściernicą lub frezem – tarczowym, palcowym, wirowym, garnkowym [7–9]), skróconym względem osi powierzchni śrubowej tak, że płaszczyzna zarysu osiowego narzędzia jest prostopadła do linii śrubowej toru środka kołowego zarysu osiowego narzędzia. W przypadku ustalonej geometrii powierzchni śrubowej ślimaka odległość środka kołowego zarysu osiowego narzędzia i skrócenie narzędzia do obróbki powierzchni śrubowej kanałowej zależą od promienia zarysu kołowego narzędzia. Dla założonej odległości środka kołowego zarysu osiowego narzędzia od osi ślimaka oraz założonego kąta ustawienia płaszczyzny zarysu kołowego narzędzia względem osi ślimaka można wyznaczyć skok powierzchni śrubowej na dowolnej średnicy (rys. 5) z następującego warunku stałego skoku:

$$h = 2\pi b \tan \beta = 2\pi r_1 \tan \beta_1 \quad (1)$$

gdzie: h – skok powierzchni śrubowej ślimaka, b – odległość środka zarysu kołowego narzędzia od osi ślimaka, β – kąt między normalną do płaszczyzny zarysu kołowego osiowego narzędzia a osią ślimaka, r_1 – promień podziałowy ślimaka, β_1 – kąt wzniosu linii śrubowej zwojów ślimaka na walcu podziałowym.

Założono, że zarys osiowy ślimaka ma być otwarty, co oznacza, że normalna do osi ślimaka przecina jego zarys w jednym punkcie. Jest to warunek istotny z punktu widzenia technologii obróbki ślimaka:

$$b \geq \frac{d_a}{2} \Rightarrow b = b_1 \vee b_2 \quad (2)$$

gdzie: d_a – średnica zewnętrzna ślimaka, b – odległość od osi ślimaka do początku układu współrzędnych zarysu (indeks dolny identyfikuje zarys).

Założono, że w ogólnym przypadku boczne powierzchnie zwojów (boczne powierzchnie wrębu) mogą być kształtowane jako wycinki 2 powierzchni śrubowych kanałowych o różnych promieniach. Zatem boczne powierzchnie zwojów ślimaka mogą być obrabiane za po-

mocą 2 różnych narzędzi (o różnych zarysach osiowych powierzchni działania narzędzia). Równania zarysu kołowego i normalnych do tego zarysu w układzie współrzędnych zarysu (dolny indeks identyfikuje układ współrzędnych) są następujące (rys. 5):

$$\mathbf{x}_z(u) = [-\rho \cos u, 0, a + \rho \sin u]^T \Rightarrow u \in \left\langle -\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right\rangle, \quad (3)$$

$$a = a_1 \vee a_2, \quad \rho = \rho_1 \vee \rho_2$$

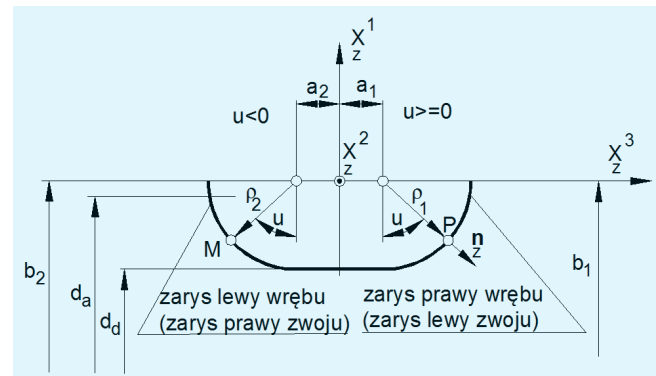
$$\mathbf{n}_z = [-\cos u, 0, \sin u]^T \quad (4)$$

gdzie: ρ – promień zarysu osiowego kołowego narzędzia, u – parametr położenia punktu na zarysie narzędzia, a – współrzędna położenia środka zarysu kołowego narzędzia w układzie współrzędnych zarysu.

W zależności (3) podano maksymalny zakres wartości parametru u zarysu otwartych, który w obliczeniach dla konkretnych przypadków musi uwzględniać warunek (2) dla średnicy zewnętrznej i analogiczny warunek dla średnicy dna wrębu:

$$d_d \geq (b - \rho) \quad (5)$$

Ze specyfiki obróbki obwiedniowej wynika, że zarys osiowy powierzchni śrubowej nie jest wycinkiem okręgu (jest zbliżony do zarysu kołowego). Powierzchnia śrubowa może być opisana jako obwiednia rodziny powierzchni działania narzędzia lub jako powierzchnia opisana ruchem śrubowym charakterystyki. W pierwszym przypadku, jak wynika z teorii narzędzi skrawających i klasycznej metody wyznaczania obwiedni [8], obok równania rodziny powierzchni trzeba sformułować i rozwiązać warunek obwiedni.

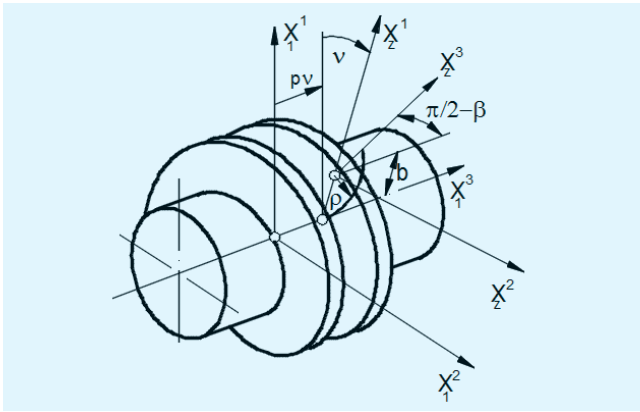


Rys. 5. Zarys kołowy ślimaka

Ponadto w pierwszym przypadku trzeba uwzględnić rodzaj narzędzia i jego średnicę. Narzędzie w formie kuli może być rozpatrywane jako szczególny przypadek narzędzia palcowego lub garnkowego. Dlatego też opisano powierzchnię śrubową ślimaka, wykorzystując położenie charakterystyki w układzie współrzędnych obrabianego ślimaka.

Kąt zarysu osiowego narzędzia może zawierać się w przedziale podanym w zależności (3), ale w praktyce użyteczny zarys ślimaka będzie ograniczony średnicą zewnętrzną oraz średnicą dna wrębu ślimaka.

Biorąc pod uwagę ustawienie i względny ruch śrubowy narzędzia (zarysu) w układzie współrzędnych ślimaka (rys. 6), równanie powierzchni śrubowej kanałowej jest następujące:



Rys. 6. Schemat wyznaczania powierzchni śrubowej kanałowej

$$\mathbf{x}_i(u, v) = [3, -v] \begin{bmatrix} 1, -\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) \\ z \end{bmatrix} \mathbf{x} + [b, 0, 0]^T \pm [0, 0, pv]^T \quad (6)$$

przy czym:

$$p = \frac{h}{2\pi} \quad (7)$$

gdzie: v – parametr względnego ruchu śrubowego zarysu kołowego narzędzia i ślimaka, p – parametr ruchu śrubowego, \pm – odpowiednio dla ślimaka lewo- i prawozwojnego.

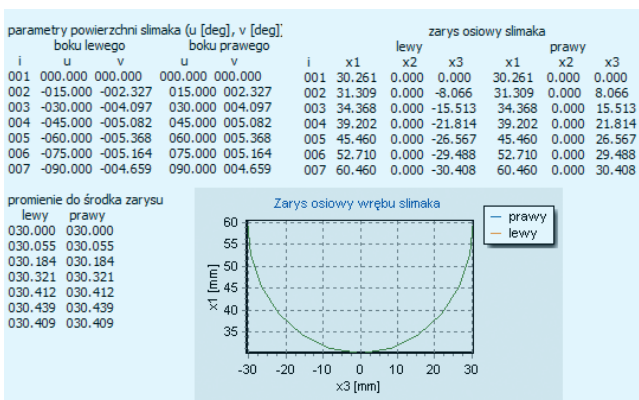
Aby wyznaczyć zarys osiowy powierzchni śrubowej ślimaka, do równania (6) należy dołączyć warunek:

$$\mathbf{x}_i^2 = 0 \quad (8)$$

Jeżeli dla kolejnych punktów zarysu ślimaka, określonych kolejnymi wartościami parametru u , z warunku (6) wyznaczy się wartości parametru v , to normalne do zarysu osiowego ślimaka w kolejnych jego punktach określonych na podstawie równania (6), można wyznaczyć z zależności:

$$\mathbf{n}_i(u, v) = [3, -v] \begin{bmatrix} 1, -\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) \\ z \end{bmatrix} \mathbf{n} \quad (9)$$

Ostatecznie otrzymano więc zarys osiowy powierzchni śrubowej kanałowej i normalne do tej powierzchni w punktach jej przekroju osiowego. Na rys. 7 przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń (parametry powierzchni, współrzędne zarysu osiowego) dla ślimaka o promieniu zarysu

Rys. 7. Zarys osiowy ślimaka: $h = 62,832$, $r_1 = 50$, $\beta_1 = 11,31^\circ$, $\beta = 9,422^\circ$, $b = 60,261$, $\rho = 30$

kołowego równym $\rho = 30$ mm w płaszczyźnie skierowanej pod kątem $\beta_1 = 11,31^\circ$ do osi ślimaka oraz promienie od środka zarysu do punktów zarysu w płaszczyźnie osiowej (przyjęto: $\rho_1 = \rho_2 = \rho$, $a_1 = a_2 = 0$).

Do kształtowania powierzchni śrubowych ślimaków coraz częściej stosuje się uniwersalne lub specjalne obrabiarki CNC sterowane numerycznie. Ze względów ekonomicznych (wyeliminowanie szlifowania) i ekologicznych (łatwiejsze odprowadzanie wiórów) dominuje obróbka wykończeniowa frezowaniem, która zapewnia wydajność i dokładność również w przypadku obróbki powierzchni utwardzonych. Wykonanie powierzchni śrubowej ślimaka narzędziem o zarysie kołowym w przekroju osiowym o określonym promieniu zarysu jest trudne do realizacji. Frezy z wymiennymi płytkami z węglików spiekanych lub pełnowęglkowe, używane powszechnie w obrabiarkach CNC, są wygodne w eksploatacji, ale mają złożoną geometrię i wysoką cenę. Dotyczy to głównie frezów o dużych średnicach z płytkami o zarysie kołowym. Dlatego też w praktyce w maszynach i urządzeniach stosuje się ślimaki stożkopochodne kształtowane narzędziami obrotowymi o zarysie osiowym prostoliniowym powierzchni działania narzędzia. Zarys osiowy takich ślimaków nie jest prostoliniowy, co utrudnia sprawdzenie dokładności ich wykonania.

Powierzchnie śrubowe wklęsło-wypukłe mają lepsze właściwości eksploatacyjne, dlatego są stale rozwijane i stają się coraz bardziej popularne. Te rozważania dotyczą kształtowania powierzchni śrubowej kanałowej narzędziem torusopochodnym (o zarysie kołowym w przekroju osiowym powierzchni działania narzędzia) na pełnej wysokości zarysu w przejściu wykończeniowym. Narzędziem może być frez palcowy, tarczowy, wirowy lub garnkowy.

Dalej opisano obróbkę zadanej powierzchni metodą wierszowania, która może być technologią konkurencyjną.

Kształtowanie powierzchni śrubowej kanałowej metodą wierszowania

W tym przypadku powierzchnia śrubowa ślimaka jest obrabiana w wielu przejściach narzędzia, którym może być frez palcowy walcowy lub palcowy sferyczny (walcowy lub stożkowy z zakończeniem sferycznym) [10]. Ze względów technologicznych zdecydowano się na frez palcowy sferyczny. O ile w metodzie klasycznej obróbki obwiedniowej narzędzie i przedmiot obrabiany (ich zarysy) są sprzężone, to tu jest inaczej. Narzędzie ma charakter uniwersalny i jego zarys nie zależy od zarysu przedmiotu obrabianego (ślimaka). Narzędziem jest frez palcowy o niewielkiej średnicy, dostępny w handlu i tani. Istotne jest ustawienie narzędzia dla kolejnego przejścia.

Jeżeli weźmie się pod uwagę dowolny punkt zarysu osiowego ślimaka, w którym narzędzie ma być styczne do powierzchni śrubowej ślimaka, to normalna do powierzchni ślimaka w tym punkcie powinna przechodzić przez środek sfery frezu (sferycznego zakończenia narzędzia). Zatem położenie środka sfery dla kształtowania ślimaka w danym punkcie jego zarysu osiowego, w układzie współrzędnych ślimaka, może być określone równaniem:

$$\mathbf{x}_N^{(s)} = \mathbf{x}_i + r \mathbf{n}_i \quad (10)$$

gdzie: r – promień sferycznego zakończenia frezu palcowego.

Odkładając promienie narzędzia w kolejnych punktach zarysu osiowego ślimaka po normalnych do powierzchni śrubowej zwojów ślimaka w tych punktach, wyznacza się współrzędne położenia środka narzędzia w momencie kształtowania ślimaka w przekroju osiowym. Punkty te (środek sfery) muszą zostać przeniesione ruchem śrubowym na płaszczyznę osiową ślimaka, a wyznaczone parametry tych punktów w płaszczyźnie osiowej ślimaka są parametrami ustawienia narzędzia na obrabiarce CNC. Parametr ruchu śrubowego (kąta) dla przeniesienia tych punktów na płaszczyznę osiową ślimaka można wyznaczyć z zależności:

$$\psi = \arctg \frac{x_{2(s)}^{(N)}}{x_{1(s)}^{(N)}} \quad (11)$$

gdzie: ψ – kąt między promieniem wodzącym punktu środka sfery frezu palcowego a płaszczyznę osiową ślimaka w momencie kształtowania danego punktu zarysu osiowego ślimaka.

Na podstawie równania (6), ale w odniesieniu do promienia wodzącego punktu środka sfery frezu, współrzędne ustawienia narzędzia na obrabiarce można zapisać równaniem:

$$x_N^{(N)} = [3, -\psi] x_N^{(S)} \mp [0, 0, p\psi]^T = [x, 0, z]^T \quad (12)$$

Równanie to wyznacza jednocześnie parametry ustawienia narzędzia w płaszczyźnie XZ obrabiarki.

Opisany algorytm jest realizowany dla kolejnych punktów na całej wysokości zarysu ślimaka. Jeżeli przyjąć, że w jednym przejściu narzędzia jest kształtowana powierzchnia śrubowa cząstkowa, to powierzchnie zwojów ślimaka są obwiednią powierzchni śrubowych cząstkowych (jest to przypadek 2-parametrycznej obwiedni [7, 8]). W praktyce na ogół oddzielnie będą obrabiane 2 powierzchnie boczne zwojów ślimaka. Spełnienie zaś warunku (2) daje możliwość kształtowania ślimaka frezem palcowym na frezarce 3-osiowej CNC, wyposażonej dodatkowo w podziałnicę numeryczną (stół obrotowy o osi poziomej) o osi obrotowej A sprzężonej z układem sterowania obrabiarki.

Wnioski

Powierzchnia ślimaka – śrubowa kanałowa lub o zarysie kołowym w przekroju osiowym – jest korzystna w przypadku ślimaków stosowanych w wtryskarkach lub wtryskarkach, ponieważ zapewnia dobrą homogenizację tworzywa.

Powierzchnia śrubowa o zarysie kołowym w przekroju charakterystycznym jest korzystna ze względów metrologicznych (łatwo sprawdzić dokładność wykonania ślimaka).

Powierzchnia śrubowa kanałowa jest szczególnym przypadkiem powierzchni śrubowej torusopochodnej, czyli powierzchni obrabianej narzędziem obrotowym o zarysie kołowym w przekroju osiowym powierzchni działania narzędzia, przy specjalnym ustawieniu narzędzia.

Technologia wierszowania może być konkurencyjna w przypadku produkcji jednostkowej i ślimaków o dużych modułach. Jednocześnie, biorąc pod uwagę, że zarys narzędzia nie jest odwzorowany bezpośrednio na zarysie powierzchni obrabianej, można dowolnie modyfikować zarys powierzchni obrabianej, czyli jedno narzędzie może być wykorzystane do obróbki różnych powierzchni ślimaków o różnej geometrii. Ta technologia z uwagi na sposób obróbki w wielu przejściach musi być stosowana na obrabiarce uniwersalnych CNC.

LITERATURA

1. Zabrzewski B. „Konstrukcja ślimaka jako czynnik decydujący o jakości wypraski – ślimaki o specjalnej konstrukcji”. Battenfeld Polska – materiały informacyjne, 2004.
2. Karl-Heinz Hüll „Fliegender Wechsel Barriere-Mischteilschnecke und Rückstromsperre für große Schussgewichte”. *Kunststoffe*. 3 (2001).
3. Sikora R. „Leksykon naukowo-techniczny. Wprowadzenie do przetwórstwa tworzyw polimerowych”. Lublin: Wadim Plast Sp.J. 2002.
4. Sikora R. „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”. Warszawa: Wydawnictwo Edukacyjne Zofii Dobkowskiej, 1993, s. 223–226.
5. Baranowski W., Palutkiewicz P., Nieszporek T., Gnatowski A., Gnatowska R. Ślimak do przetwórstwa tworzyw sztucznych. Patent RP 222805.
6. Europejski Wzór Wspólnotowy: Baranowski W., Nieszporek T., Palutkiewicz P.: Narzędzia do obróbki, nr 02506618-0001.
7. Nieszporek T. „Konstrukcja narzędzi skrawających i technologia walcowych uzębień zewnętrznych”. Seria monografie nr 265. ISBN 978-83-7193-586-2. Częstochowa: Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2013.
8. Litvin F.L., Fuentes A. „Gear Geometry and Applied Theory”. Cambridge University Press. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paulo, 2004.
9. Dudas I. „The Theory and Practice of Worm Gear Drives”. London: Penton Press, 2000.
10. Nieszporek T. „Generating of Worm Gears of an Arbitrary Profile”. *Proceedings of the 11th ASME International Power Transmission and Gearing Conference (PTG) IDETC2011-48297*, August 28–31, 2011, Washington, USA, s. 53–62. ■