

Piotr ZIMNIAK

e-mail: p_zimniak@hotmail.com

Insitute for rapid product development INSPIRE, Szwajcaria

Dozowanie pierwotnych i wtórnych proszków tworzyw w technice przyrostowej SLS

Wstęp

W nowoczesnych technikach wytwarzania znana jest technika selektywnego spiekania laserowego SLS (*Selectives Laser Sintering*) [Kruth, 1995], jedna z kilku wiodących w ramach technologii *Rapid Prototyping* (RP), zaliczana do grupy technik przyrostowych [Kaczmarek, 1994; Ocoś, 2004; Schmitt, 2008].

Podstawą wytwarzania obiektów techniką przyrostową jest model geometryczny 3D zapisany w formacie STL (*Standard Triangulation Language*) [Ocoś, 2004]. Model ten zostaje przeniesiony do systemu SLS i za pomocą specjalnego oprogramowania podzielony na warstwy wirtualne o grubości $g = 0,06 \pm 0,18$ mm [Kruth, 1995; Levy i inni, 2007]. Model fizyczny kształtowany jest w tzw. procesie odwrotnym, warstwa po warstwie [Kruth, 1995; Grießbach, 2009]. Tworzywo o wymiarach elementarnych ziaren 20 ± 60 μm zostaje rozproszony na powierzchni platformy roboczej, a następnie nagrzone do temperatury nieco poniżej topnienia tworzywa, tj. do $t = t_{top} - 10 \pm 12^\circ\text{C}$ [Kruth, 1995]. Grubość nakładanej warstwy, w zależności od rodzaju stosowanego tworzywa, waha się w przedziale 100 ± 200 μm [Ocoś, 2004; Grießbach, 2009; Levy i inni, 2007]. Wiązka lasera kierowana przez specjalny system luster doprowadza do lokalnego spiekania tworzywa, w wyniku którego otrzymuje się model użytkowy (wytwór) o zadanych kształtach i wymiarach oraz wymaganej dokładności [Grießbach, 2009; Timothy i Marshall, 2007; Kruth, 1995].

Do wytwarzania elementów techniką przyrostową SLS stosuje się tworzywa ziarniste (w postaci proszku), którego cena jest relatywnie wysoka. Efektywne zarządzanie tworzywem w procesie produkcyjnym jest więc ważne, tak z punktu widzenia ekonomicznego, jak i wzrastających wymagań jakościowych wytworu oraz czasu jego wytwarzania. Właściwe dozowanie tworzywa proszkowego w technice przyrostowej SLS ma istotne znaczenie [Levy i inni, 2007].

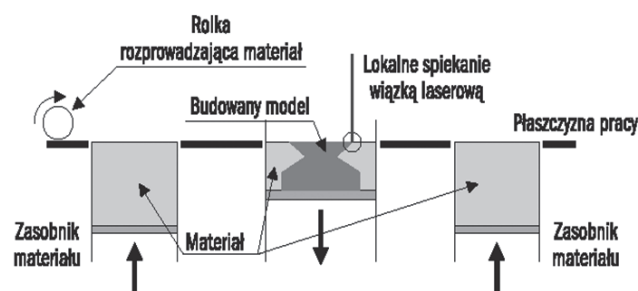
W praktyce stosowane są dwa podstawowe rozwiązania – pierwsze firmy [EOS, 2012], oparte na podajnikach mechanicznych [TRANSITUBE, 2012] oraz drugie – firmy 3DSystems, która opracowała własny system dozowania materiału oparty na wykorzystaniu sprężonego powietrza [Schmitt, 2008].

Celem pracy jest przegląd istniejących systemów dozowania tworzyw ziarnistych (proszkowych) stosowanych w technice przyrostowej SLS oraz wskazanie ich wad i zalet. Analizę przeprowadzono w oparciu o dostępne rozwiązania technologiczno-konstrukcyjne, stosowane przez wiodące firmy produkujące urządzenia (systemy), stosowane w technice SLS.

Analiza dozowania tworzyw w technice SLS

Jako najstarsze i jednocześnie najprostsze rozwiązanie dozowania proszków zastosowano w maszynach firmy 3DSystems, które pokazano schematycznie na rys 1. We wcześniej stosowane było przez firmę DTM, DTM2000, DTM2500 Vanguard HiQ do najnowszej produkcji w tej serii PRO60. Można nazwać ten sposób dozowania jako dozowanie bezpośrednie. Tworzywo trafia do maszyny w postaci gotowej mieszaniny o odpowiednich parametrach przetwórczych. Podstawowym kryterium użytkowym mieszaniny jest wartość masowego wskaźnika szybkości płynięcia MFI. Materiał znajdujący się w zasobnikach jest rozpraszany na powierzchni platformy roboczej za pomocą rolki (walca). Wadą tego rozwiązania jest ograniczona ilość materiału, która może znajdować się w maszynie, co wpływa na efektywność tego systemu.

Komora robocza z podwyższoną temperaturą
(poniżej temperatury topnienia materiału)

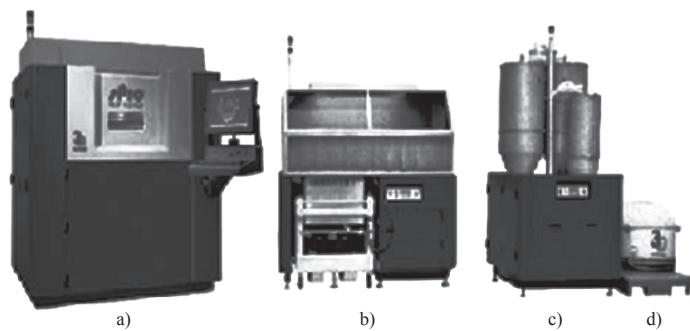


Rys. 1. Schemat ideowy dozowania materiału w technice SLS [Ocoś K.E., 2004]

Teoretyczna wysokość wytwarzanego obiektu wynosi 457 mm, w praktyce jest ona ograniczona – dla materiałów z grupy *DuraForm Paxx* – do wymiaru 370 ± 380 mm [Grießbach, 2009; Schmitt, 2008]. Dla materiałów niestandardowych np. *DuraFlex* efektywna – wysokość może być jeszcze mniejsza [Schmitt, 2008].

Dalszą wadą tego systemu dozowania jest zróżnicowana gęstość usypowa materiału w zasobnikach, spowodowana manualnym sposobem mieszania oraz różnym stopniem zagęszczenia wynikającym z funkcji jej wysokości w zasobniku [Levy i inni, 2007].

W maszynach nowej generacji – zaprojektowanych już jako produkcyjne – zastosowano szereg urządzeń wspomagających (peryferyjnych), których zadaniem jest zapewnienie cyklu produkcyjnego. Pokazany na rys. 2 system zapewnia ciągłą produkcję z całkowicie zautomatyzowanym transportem materiału.



Rys. 2. System produkcyjny PRO140/230 firmy 3D Systems: a) maszyna produkcyjna, b) stacja wyladowcza, c) stacja mieszająco-dożująca, d) zasobnik nowego materiału [Schmitt, 2008]

Jednym z ważniejszych elementów tego systemu jest stacja mieszająco-dożująca (Rys. 3), spełniająca funkcję zarówno mieszania jak i dozowania materiału. Jest to system zewnętrzny (pośredni), materiał jest mieszany poza maszyną, w której przebiega proces SLS i dostarczany w sposób ciągły do maszyny. Stacja mieszająca ma trzy zasobniki w których znajdują się odpowiednio: zasobnik A – materiał pierwotny, zasobnik B – materiał wtórny (recyklat) pochodzący z procesu przetwórczego, zasobnik C – gotowa mieszanina tworzywa pierwotnego i wtórnego. Składniki A i B są dostarczane do zasobnika trzeciego, w którym za pomocą cyklonu zostają one zmieszane [Schmitt, 2008]. Transport materiału jest wymuszony przez sprężone powietrze. Podstawowymi parametrami są ciśnienia p_1 i p_2 . Wartość p_1 jest stała i odpowiada za

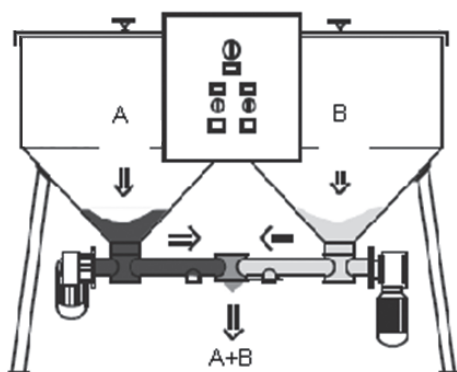
utrzymanie tworzywa w ruchu, z kolei ciśnienie p_2 , zwane wysokim inicjuje ruch materiału w postaci małych pakietów, co zapobiega zapychaniu się instalacji. Gotowa mieszanina dostarczana jest do maszyny produkcyjnej na odległość nawet do 30 m.



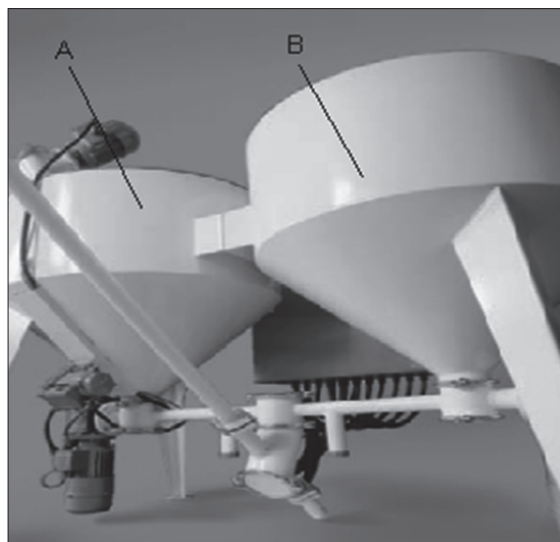
Rys. 3. Wygląd ogólny stacji mieszająco-dozującej [Schmitt, 2008]: A – zasobnik z tworzywem pierwotnym, B – zasobnik z tworzywem wtórnym, C – mieszanina tworzywa pierwotnego i wtórnego

Należy wspomnieć, że jedna stacja jest w stanie zasilać jednocześnie do trzech maszyn produkcyjnych. Zaletą tego rozwiązania jest ciągła dostawa materiału, co pozwala na wykorzystanie pełnej mocy produkcyjnej maszyn. Wadą jest mała elastyczność systemu jeśli chodzi o wymianę materiału oraz utrudniona kontrola podstawowego parametru przetwórczego, tj. MFI, a także duża bezwładność systemu, co w przypadku zmiany udziałów masowych składników A i B podczas mieszania ma negatywny wpływ na jakość produkcji.

Firma EOS podobnie jak 3DSystems do zasilania maszyn produkcyjnych stosuje stacje zewnętrzne. Na rys. 4 pokazany jest jej schemat, natomiast na rys. 5 pokazano widok ogólny stacji. W EOS wykorzystano rozwiązanie firmy TRANSITUBE, która wyspecjalizowała się w produkcji systemów mieszania i przesyłu materiałów sypkich [TRANSITUBE, 2012]. Jest to rozwiązanie mechaniczne, a elementem wymuszającym ruch materiału jest spirala wprawiana w ruch obrotowy. Materiał jest wciągany przez spiralę, co zapobiega jego kompresji, a tym samym zapychaniu się instalacji. Podobnie jak w rozwiązaniu pokazanym na rys. 4, proces przebiega w pełni automatycznie, składniki A i B są dozowane za pomocą podajników pomocniczych. Materiał A i B w odpo-



Rys. 4. Schemat stacji mieszająco-dozującej [EOS, 2012]: A – zasobnik z tworzywem pierwotnym, B – zasobnik z tworzywem wtórnym



Rys. 5. Widok ogólny stacji mieszająco-dozującej [EOS, 2012]: A – zasobnik z tworzywem pierwotnym, B – zasobnik z tworzywem wtórnym

wiednich proporcjach trafia do zasobnika skąd za pomocą przenośnika spiralnego jest transportowany do maszyny produkcyjnej. Zgodnie z wytycznymi producenta materiał zostaje zmieszany w trakcie transportu. Wadą systemu, podobnie jak w poprzednim rozwiązaniu (rys. 4) jest utrudniony pomiar MFI. Ilość dozowanych składników, znajdująca się w zasobnikach A i B, jest sterowana przez prędkość obrotową dozowników pomocniczych, co przy różnych gęstościach nasypowych tworzywa pierwotnego i wtórnego wprowadza dodatkowe zakłócenia w proporcjach mieszanych.

Podsumowanie i wnioski

Jak wynika z analizy literatury w zakresie techniki przyrostowej SLS, dozowanie materiałów proszkowych wpływa w istotny sposób na efektywność procesu wytwarzania wytworów.

Omówione sposoby dozowania materiału wskazują na zalety istniejących systemów. Zapewniają one wzrost efektywności techniki przyrostowej SLS przy jednoczesnym ograniczeniu elastyczności tych maszyn.

Zastosowanie właściwego sposobu dozowania składników: pierwotnego (A) i wtórnego (B) w warunkach produkcyjnych, pozwala na uzyskanie wysokiej jakości wyrobów z jednoczesną minimalizacją czasu, a tym samym pozwala na obniżenie kosztów produkcji.

LITERATURA

- Grießbach V., 2009. *Praxis Rapid Technologien*. V.G. Kuhstofftechnik GmbH, Chemnitz
- Kaczmarek J., 1994. *Zasady klasyfikacji technologii*. (praca niepublikowana). Warszawa
- Kruth J.P., 1995. *Rapid prototyping a new application of physical and chemical processes for material accretion manufacturing*. Proc. ISEM-XI, Lozanna, 18-21 April. s. 125-131
- Levy G.N., Schindel N., Schleiss P. 2007. *Getting the Most Out of your RP Investment*. 3D Systems Users' World Conference. s. 345-349
- Ocoz K.E., 2004. *Rapid-technologie w produkcji jednostkowej i seryjnej*. Mechanik nr 4, 182-188
- Schmitt S., 2008. *La fabrication directe plastique avec les nouveaux systèmes. Matériaux de frittage sélectif par laser Stéréolithographie*. 3D Systems Users' World Conference. s. 248-256
- Timothy J. G., Marshall K. 2007. *Know Your SLS Funktional Plastics*. 3D Systems Users' World Conference Rock Hill, SC USA. s. 57-63
- EOS - Electro Optical Systems GmbH, München, Deutschland (2012.03) <http://www.eos.info>
- TRANSITUBE Verwertungs- und Entwicklungsgesellschaft, Düsseldorf, Deutschland (2012.03), <http://www.transitube.de>