

Piotr ZIMNIAK

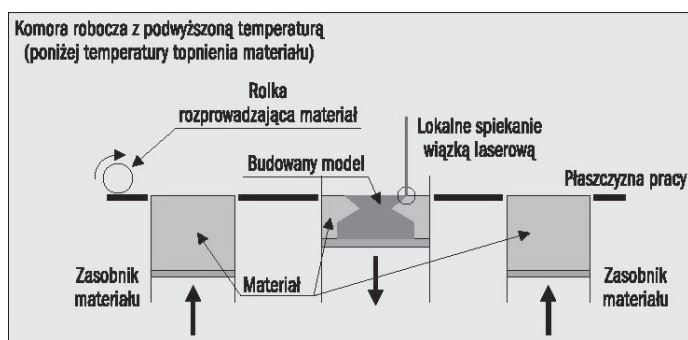
e-mail: p\_zimniak@hotmail.com

Kunststofftechnik GmbH, Chemnitz, Niemcy

## Recykulacja tworzyw stosowanych w technice przyrostowej SLS

### Wstęp

Odzyskiwanie materiałów w procesie produkcyjnym stało się koniecznością, wnikającą nie tylko z aspektów ekonomicznych ale również z szeroko rozumianej ochrony środowiska. Wymusza ono niejako na producentach każdej branży minimalizację tworzyw wtórnych (nazywanych potocznie odpadami), powstających podczas procesu wytwarzania. Problem minimalizacji odpadów znalazł również swoje odzwierciedlenie w nowoczesnych technikach wytwarzania. Jedną z nich jest technika selektywnego spiekania laserowego proszku tworzywa, (*Selective Laser Sintering – SLS*) [2], uznana za wiodącą w ramach technologii *Rapid Prototyping (RP)*, zaliczanej do do grupy technik przyrostowych [1]. Na rys. 1 pokazano schemat ideowy techniki SLS z ważniejszymi jej elementami.

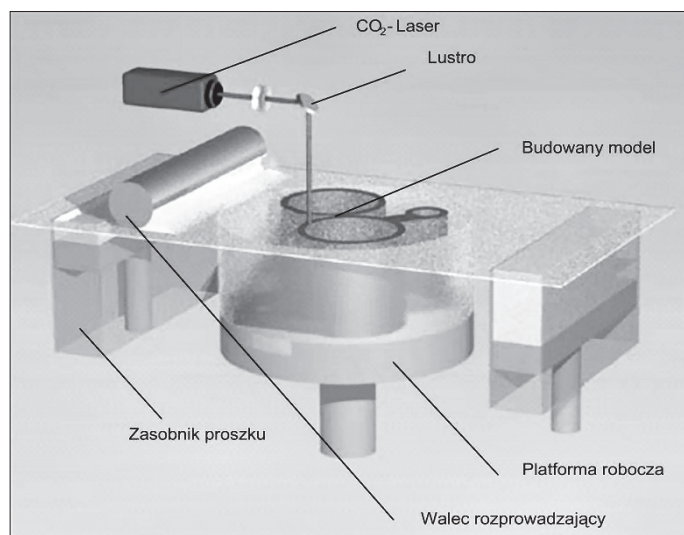


Rys. 1. Schemat ideowy selektywnego spiekania laserowego [2]

Podstawą wytwarzania modeli techniką przyrostową jest model geometryczny 3D zapisany w formacie *Standard Triangulation Language (STL)* [3]. Przejście z systemu *CAD* do wspomaganego komputerowo systemu wytwarzania SLS, następuje przez przygotowanie formatu *STL* za pomocą odpowiedniego konwertera, który dowolną powierzchnię opisuje zbiorem trójkątów opisanych przez trzy punkty wyznaczające płaszczyznę oraz wektor normalny przypisany do tej płaszczyzny [3, 4]. Tak przygotowany model zostaje przeniesiony do systemu SLS za pomocą specjalnego oprogramowania i jest podzielony na warstwy o grubości  $g = 0,15$  mm [3–6].

Na rys. 2 pokazano kształtowanie modeli z tworzyw za pomocą techniki SLS [7]. Z pewnym uproszczeniem można przyjąć, iż model geometryczny 3D za pomocą specjalnego oprogramowania (o czym wspomniano wcześniej) zostaje podzielony na warstwy, a następnie na maszynie w procesie odwrotnym warstwa po warstwie kształtowany jest gotowy model użytkowy [6–8]. W technice SLS tworzywo o rozmiarach elementarnych ziaren równych od 20 do 60  $\mu\text{m}$  zostaje rozproszone na powierzchni platformy roboczej, a następnie nagrzane do temperatury nieco poniżej topnienia tworzywa, tj. do  $T = T_{top} - 10/12^\circ\text{C}$  [4]. Grubość nakładanej warstwy w zależności od rodzaju stosowanego tworzywa waha się w przedziale 100–200  $\mu\text{m}$  [5]. Wiązka lasera  $\text{CO}_2$  kierowana przez system lusterek XY doprowadza do lokalnego spiekania tworzywa (Rys.1), w wyniku którego otrzymuje się model użytkowy (wytwór) o zadanym kształcie, wymiarach i wymaganej dokładności [2, 5, 8].

Zasadniczą zaletą techniki SLS jest otrzymanie modelu użytkowego (gotowego wytworu) z tworzywa podczas jednej operacji [2,5,7].



Rys. 2. Kształtowanie modelu z tworzywa za pomocą techniki SLS [8]

Oprócz wielu zalet tej techniki szeroko opisanych w literaturze fachowej występują także cechy negatywne. Podczas procesu SLS powstaje od 50 do 60% tworzywa wtórnego (traktowanego jako odpad), które pod wpływem temperatury zmieniło swoje właściwości przetwórcze. Dalsze jego stosowanie bez specjalnych zabiegów technologicznych jest niewskazane lub wręcz niemożliwe [4, 6]. Mając na uwadze wysoką cenę tworzyw stosowanych w SLS, która waha się w granicach od 60–80 €/kg, podjęcie prac związanych z przywróceniem im właściwości użytkowych, tj. możliwości dalszego zastosowania w technice SLS, z punktu widzenia ekonomicznego należy uznać za w pełni uzasadnione.

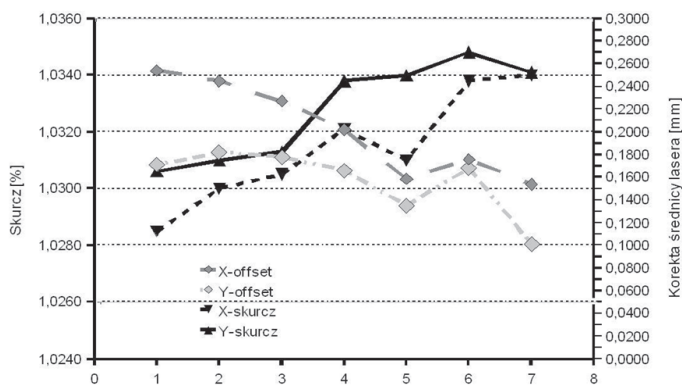
Celem pracy jest analiza warunków niezbędnych do odzyskania części tworzyw najczęściej stosowanych w technice SLS.

### Opis badań laboratoryjnych

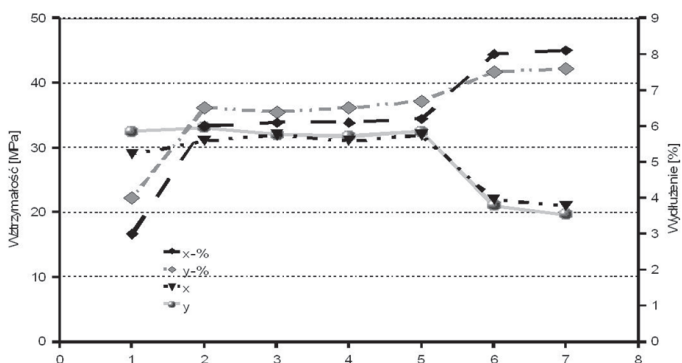
Aby zrealizować określony cel pracy przeprowadzono odpowiednie badania laboratoryjne. Zastosowano Poliamid PA12 – o handlowej nazwie *DuraForm PA*, który jest zalecany do kształtowania modeli użytkowych (też gotowych wytworów) techniką SLS [2,6]. Badania przeprowadzono na urządzeniu *Vanguard HiQ HS* (firmy *3D Systems*) [4, 5]. Eksperyment polegał na 7-krotnym kształtowaniu wytworu (próbek pomiarowych o kształcie wiosełek) z tej samej partii materiału i wyznaczeniu zależności między właściwościami użytkowymi wytworu a krotnością przetwórstwa (też przejściem) tworzywa.

### Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań wpływu krotności przejścia tworzywa ( $n$ ) na skurcz liniowy ( $S_L$ ), wydłużenie ( $\epsilon$ ) i wytrzymałość na rozciąganie ( $R_m$ ), przedstawiono na rys. 3 i 4. Analizując wstępnie uzyskane rezultaty można zauważyć, że badane tworzywo ma stabilne parametry przetwórcze do trzeciego przejścia. Wyraźnie jest to widoczne na rys. 3 gdzie wartość skurczu w kierunku osi X i Y jest stosunkowo niska. Po trzecim przejściu następuje gwałtowny wzrost skurczu, który ma istotny wpływ na dokładność wymiarowo-kształtową gotowego wytworu. Ważnym za-



Rys. 3. Wpływ krotności przejścia tworzywa na skurcz i korektę średnicy lasera



Rys. 4. Wpływ krotności przejścia tworzywa na wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie

gadnieniem w zakresie dokładności wymiarowo-kształtowym, nie poruszonym w niniejszej pracy jest korekta średnicy lasera [5, 6].

Zaskakujące jest to, że dla tworzywa pierwotnego osiągnięto stosunkowo niskie wartości wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$ . Jak wynika z rys. 4 własności mechaniczne stabilizują się od drugiego/trzeciego przejścia, co może oznaczać, że stosowanie wyłącznie tworzywa pierwotnego nie jest wskazane. Wymaga to jednak dalszych badań z użyciem innych rodzajów tworzyw, np. z napelnicznymi szklanymi, węglowymi coraz częściej stosowanymi w SLS [4].

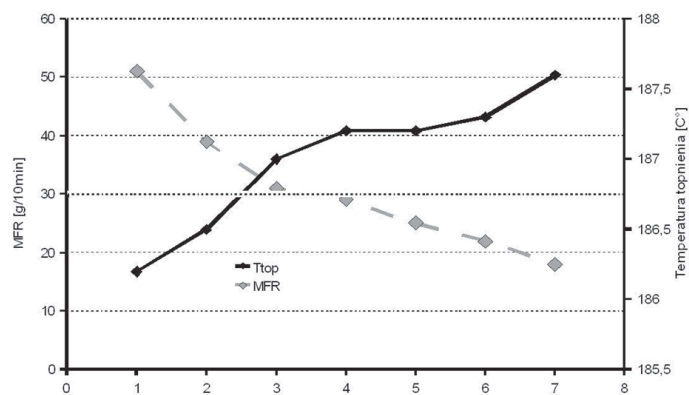
Mając na uwadze powyższe obserwacje, celem było się podjęcie próby określenia sposobu sporządzania (konstituowania) tworzywa wtórne, które pozwoliłoby na otrzymanie optymalnych własności mechanicznych, powtarzalnej dokładności wymiarowo-kształtowej przy minimalnych kosztach produkcji, tj. z wykorzystaniem jak największej ilości tworzyw wtórnych.

Aktualnie istnieją dwa sposoby przygotowania tworzywa, stosowane w technice SLS. Jeden z nich polega na uwzględnieniu zbioru parametrów przetwórczych dostosowanych do poszczególnych  $n$ -krotnych przejść tworzywa. Są to od 3 do 4 parametrów, które pozwalają na wtórne użycie tworzywa i jednocześnie korektę niekorzystnych zmian wytrzymałości materiału jak i niedokładności wykonania (zwłaszcza skurczu). Jest to sposób stosunkowo skomplikowany i raczej rzadko stosowany. Takie rozwiązanie jest niestabilne ze względu na znaczne uzależnienie przetwórcy od parametrów tworzywa pierwotnego, którego właściwości przetwórcze nie są stałe. Różnią się one często w zależności od dostawcy a także szarży materiału także tego samego dostawcy [3, 5].

Drugi sposób przygotowania tworzywa do techniki SLS – przyjęto na drodze doświadczalnej. Polega na przygotowaniu mieszaniny tworzywa pierwotnego i wtórne. Podstawowymi parametrami które się określa może być objętościowy (MVR) lub masowy (MFR) wskaźnik szybkości płynięcia oraz temperatura topnienia  $T_{top}$ . W niniejszej pracy wykorzystano masowy wskaźnik płynięcia, który oznaczano za pomocą plastometru MI-4 (firmy Göttfert). Zgodnie z zaleceniem normy ISO dla tworzywa PA12 zastosowano temperaturę oznaczania 235°C oraz

obciążenie 2,16 kg [9]. Na rys. 5 pokazano wpływ krotności przejścia tworzywa na wartość masowego wskaźnika szybkości płynięcia i temperaturę topnienia.

Na podstawie analizy literatury i uzyskanych rezultatów z badań własnych, ustalono krytyczną (też „bezpieczną”) wartość MFR. Jako



Rys. 5. Wpływ krotności przejścia tworzywa na masowy wskaźnik szybkości płynięcia i temperaturę topnienia

bezpieczny zakres wskaźnika MFR przyjęto wartość 25–28g/10 min (Rys. 5 dla  $n = 3$ ). Wartość tę uzyskano przez zmieszanie proszku pierwotnego z wtórnym w stosunku masowym od 50/50 do 40/60. Mieszanie przeprowadzono za pomocą mieszalnika bębnowego w warunkach mieszania materiałów ziarnistych [10]. Dla tak otrzymanej mieszaniny proszku opracowano jeden zestaw parametrów przetwórczych, tj. masowy wskaźnik szybkości płynięcia MFR i temperaturę topnienia tworzywa  $T_{top}$ , który zapewnia powtarzalność i wysoką jakość modelu użytkowego. Pod pojęciem wysokiej jakości modelu użytkowego (wytworu) uzyskanego podczas techniki SLS, należy rozumieć wysokie właściwości mechaniczne (Rys. 4, dla  $n = 3$ ) oraz optymalne wartości skurczu z charakterystycznym zbliżeniem się w osiach XY. (zgodnie z rys. 4, dla  $n = 3$ ).

## Podsumowanie

Przedstawiony sposób konstituowania tworzywa wtórne i pierwotne jest odporny na zakłócenia związane z jakością nowego proszku, uwzględnia również różnice w jakości proszku wtórne.

Zastosowanie takiego sposobu konstituowania proszku pozwala na wprowadzenie wysokiego poziomu jakości wyrobów z jednoczesną minimalizacją kosztów produkcji. W zależności od zastosowanego masowego udziału materiału wtórne i pierwotne, można zaoszczędzić w sumie do ok. 60% tworzywa pierwotne.

## LITERATURA

- [1] J. Kaczmarek: Zasady klasyfikacji technologii. (Praca niepublikowana). Warszawa 1994.
- [2] K. E. Oczko: Mechanik nr 4 (2004).
- [3] J. P. Kruth: Rapid prototyping a new application of physical and chemical processes for material accretion manufacturing. Proc. ISEM-XI, Lozanna, 18–21 April 1995.
- [4] G. N. Levy, R. Schindel, P. Schleiss: Getting the Most Out of your RP Investment. 3D Systems Users' World Conference Rock Hill, SC USA 2007.
- [5] V. Griebbach: Praxis Rapid Technologien. V.G. Kunststofftechnik GmbH. Chemnitz, 2009.
- [6] J. G. Timothy, K. Marshall: Know Your SLS Funktional Plastics. 3D Systems Users' World Conference Rock Hill, SC USA 2007.
- [7] P. Zimniak: Inż. Ap. Chem. 47, nr 3, 36 (2008).
- [8] R. Sikora, J. Zimniak: Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy nr 246 (2006).
- [9] ISO 1133: Bestimmung der Schmelze-Massefließrate (MFR) und der Schmelze-Volumenfließrate (MVR) von Thermoplasten.
- [10] P. Zimniak, J. Zimniak: Inż. Ap. Chem. 45, nr 3s, 98 (2006).