

Halina Syrek

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Zastosowanie drukarek 3D do wytwarzania modeli woskowych w procesie odlewania metodą traconego wosku

W artykule opisano pokrótce zasady oraz sposób prowadzenia procesu odlewania metodą traconego wosku; wyszczególniono także możliwości zastosowania tego procesu w różnych dziedzinach gospodarki. W opisie tym skoncentrowano się głównie na woskach odlewniczych stosowanych do wytwarzania modeli (wzorników) oraz na wymaganiach jakościowych, jakie powinny one spełniać. Szczególną uwagę poświęcono metodzie uzyskiwania modeli woskowych za pomocą procesu wytwarzania addytywnego (warstwa po warstwie), przy użyciu techniki druku 3D. W artykule przedstawiono charakterystykę jakościową dla zestawu dwóch materiałów woskowych stosowanych w drukarkach 3D: materiału do wytwarzania modelu woskowego oraz wosku do wytwarzania podpory modelu. Omówiono skład chemiczny tych produktów pracujących w systemie druku Solidscape oraz 3D Systems.

Słowa kluczowe: odlewanie metodą traconego wosku, model woskowy, drukowanie 3D, materiał modelowy, wosk na podporę, hydroksylowany wosk estrowy.

The usage of 3D printers for the fabricating of wax patterns in the process of casting by the lost-wax method

In this article, the principles and manner of conducting the lost wax casting process was briefly described; it also details the possibilities for applying this process in different domains of the economy. This description concentrated on the casting waxes applied to fabricate patterns (moulds) and on their qualitative demands. Particular attention is devoted to the method for wax patterns fabrication by means of the additive production process (layer by layer), using 3D printing techniques. Qualitative characteristic is presented in the article for two sets of wax materials, used in 3D printers: material to fabricate a wax pattern and wax support material. The chemical composition of these products working in the SOLIDSCAPE and 3D system is discussed.

Key words: Lost-wax casting, wax pattern, 3D printing, pattern material, support wax, hydroxylated ester wax.

Wstęp

Odlewanie metodą traconego wosku jest procesem znany od bardzo dawna – już 5000 lat temu technikę tę stosowano w Egipcie, Chinach i na Półwyspie Indochińskim do wyrobu biżuterii i ozdobnych figurek. Na terenie Europy proces odlewania rozwinął się szczególnie w Grecji, w epoce brązu. Na ziemiach polskich techniki odlewnicze bazujące na brązie stosowano już na przełomie XVIII i XVII wieku p.n.e., głównie do wyrobu obuchów siekier i innych narzędzi. Dalszy

rozwój tego procesu nastąpił w okresie średniowiecza, wraz z pojawieniem się znaczącego zapotrzebowania na wyroby kształtowe, w szczególności narzędzia i broń. W wiekach nowożytnych odlewanie metodą traconego wosku było stosowane zarówno w Europie, jak i w innych częściach świata (Ameryce Płd., Afryce, Azji) do produkcji broni, narzędzi oraz do wytwarzania wyrobów jubilerskich, wyrobów artystycznych i dzieł sztuki.

Do produkcji odlewów użytkowych, takich jak implanty i narzędzia dentystyczne, proces ten zastosowano po raz pierwszy dopiero w końcu XIX wieku.

W latach 1935–1945 w amerykańskiej firmie Austenal Laboratories prowadzono próby odlewania części do silników lotniczych; pierwszym produktem był odlew łopatki do turbosprężarek ze stopu Co-Cr-Mo. W trakcie II wojny światowej i po jej zakończeniu na bazie licencji Austenal Laboratories uruchomiono w Europie wiele odlewni precyzyjnych, pracujących dla potrzeb przemysłu.

Proces odlewania metodą traconego wosku pozwala uzyskiwać produkty o nietypowych kształtach ze stosunkowo dużą precyzją. Technikę tę stosuje się do wytwarzania goto-

wych przedmiotów oraz części, których nie można otrzymać normalnymi metodami wytwórczymi – ze względu na ich bardzo skomplikowane kształty, a także na zbyt dużą twardość materiałów, z których mają być wykonane, lub konieczność stosowania zbyt wysokiej temperatury ich mechanicznej obróbki.

Dynamiczny rozwój bazy materiałowej oraz technik odlewania pozwolił na uzyskanie odlewów precyzyjnych o wysokiej jakości. Dzisiaj tą metodą produkuje się odlewy dla przemysłu lotniczego, zbrojeniowego, maszynowego, motoryzacyjnego, elektronicznego, optycznego i na potrzeby medycyny. W dalszym ciągu metodą traconego wosku wykonuje się biżuterię i wyroby artystyczne [5].

Proces odlewania metodą traconego wosku

Odlew wykonywany jest przez wytworzenie wzornika (modelu) z wosku lub innego materiału, który można w dalszych etapach procesu usunąć przez wytopienie lub wypalenie.

Wzornik wytwarzany jest najczęściej na bazie ceramicznego rdzenia. Następnie otrzymany wzornik zanurzany jest w gęstwie z ogniotrwałego materiału, która na jego powierzchni formuje cienką powłokę. Powłokę tę suszy się, a czynność zanurzania i suszenia powtarza się do momentu uzyskania powłoki o odpowiedniej grubości. Wówczas pokryty powłoką wzornik umieszczany jest w piecu, gdzie

wosk (lub inny materiał modelowy) jest usuwany. Powstaje forma odlewnicza, którą można napępiać stopionym metalem i uzyskać finalny odlew [6].

Ponieważ wzornik formowany jest „w jednym kawałku” i tym samym odwzorowuje postać odlewanej części, możliwe staje się wytwarzanie odlewów o bardzo skomplikowanych, „podciętych” kształtach.

Wzornik woskowy może być wytwarzany i powielany metodą litografii stereo lub podobnych technik, które najczęściej działają na bazie opracowanego wcześniej modelu komputerowego.

Proces zalewania formy odlewniczej

Proces zalewania uzyskanej formy odlewniczej metalem można prowadzić różnymi metodami: w warunkach grawitacji, podwyższonego ciśnienia lub próżni [6].

W procesie Hitchinera forma umieszczana jest w próżniowej komorze i opuszcza się ją do zbiornika z ciekłym, stopionym metalem. Następnie w komorze wytwarzana jest próżnia, co powoduje wciągnięcie metalu do formy. Zanim odlew ulegnie zestaleniu, próżnia jest likwidowana, co powoduje usunięcie nadmiarowego ciekłego metalu.

Technika ta pozwala na lepsze wykorzystanie metalu niż tradycyjne napępianie form od góry, a ponadto zapewnia, że metal, który jest wciągany do formy poniżej szczytu zbiornika, nie zawiera popiołu i żużla i posiada niższą gęstość. Różnica ciśnień pomaga uzyskać przepływ metalu do wszystkich

skomplikowanych przestrzeni formy. Dodatkowo zastosowanie niższej temperatury poprawia strukturę uziarnienia metalu.

W procesie odlewania próżniowo-ciśnieniowego (VPC) dla polepszenia jakości odlewu i zminimalizowania jego porowatości stosowane jest ciśnienie gazu oraz próżnia. Typowa maszyna do odlewania VPC składa się z górnej i dolnej komory. Komora górna, zwana również komorą topienia, służy jako pomieszczenie dla tygla ze stopionym metalem, a w dolnej komorze znajduje się forma odlewnicza. Obie części połączone są małym otworem, wyposażonym w zawór. W dolnej komorze wytwarzana jest próżnia, a w górnej ciśnienie, i wówczas uruchamiany jest przepływ metalu. Układ ten cechuje się największą różnicą ciśnień, korzystną dla sprawnego napępiania formy odlewniczej.

Woski i inne materiały odlewnicze

W procesie odlewania metodą traconego wosku jakość odlewu w znacznym stopniu zależy od jakości materiału tworzącego wzornik, ze względu na fakt, że charakterystyka

jego powierzchni i jego wymiary są transferowane poprzez formę ceramiczną do końcowego odlewu.

Wosk jest materiałem powszechnie stosowanym do wy-

tworzenia wzorników, jednakże wykorzystywane w tym celu przez ubiegłe stulecia woski naturalne i mineralne oraz ich mieszanki zostały recepturowo zmodyfikowane przez wprowadzenie dodatków, które wpływają na poprawę parametrów użytkowych wytwarzanych kompozycji woskowych oraz usprawniają proces odlewniczy. Zasadnicze zmiany dotyczyły wprowadzenia dodatku substancji spełniających funkcję lepiszcza i wypełniacza [21].

Generalnie mieszanki woskowe stosowane do wyrobu wzorców zawierają następujące składniki:

- woski naftowe,
- woski naturalne,
- naturalne lub syntetyczne żywice,
- wypełniacze organiczne.

Spośród wosków naftowych parafiny znalazły szersze zastosowanie niż mikrowoski, ze względu na ich niższą cenę oraz lepszą kompatybilność w stosunku do innych składników mieszanek woskowych. Parafiny pełnią rolę składnika regulującego (zmniejszającego) temperaturę topnienia oraz lepkość wosków, a więc właściwości istotnie wpływające na warunki wytwarzania wzornika. Mikrowoski o odpowiedniej temperaturze topnienia i twardości pozwalają na uzyskanie dobrej płynności, twardości i odporności mechanicznej modelu.

Najczęściej stosowanymi woskami naturalnymi są: wosk Carnauba, wosk pszczeli i wosk montanowy. Ich dodatek do wosków odlewniczych powoduje zwiększenie twardości mieszanki oraz korzystnie wpływa na cechy charakteryzujące powierzchnię i sposób zestalania się wzornika.

Żywice naturalne lub syntetyczne (np. polietylenowe) dodawane są do wosków odlewniczych w celu zwiększenia ich wiązkości, sztywności, twardości, kurczliwości, a także poprawy właściwości wytrzymałościowych.

Dodatek wypełniaczy organicznych stanowi ważny element rozwoju w procesie formułacji wosków odlewniczych. Wypełniaczami są doskonale rozdrobnione substancje organiczne, niereagujące z materiałami bazowymi oraz wykazujące niską zawartość popiołu. Wpływają one przede wszystkim na poprawę charakterystyki kurczliwości oraz na elastyczność mieszanek woskowych. Najczęściej stosowanymi wypełniaczami są: kwas izoftalowy, termoutwardzalny i termoplastyczny polistyren oraz bisfenol A – 2,2-bis(p-hydroksyfenylo)propan, dodatek używany przy produkcji tworzyw sztucznych.

Skład wosków odlewniczych stosowanych do wyrobu wzorników winien gwarantować ich doskonałą charakterystykę jakościową, w tym zapewnić następujące istotne parametry [2]:

- najniższą możliwą rozszerzalność termiczną i jednocze-

śnie bardzo małą kurczliwość, aby formować wzorce z najwyższą wymiarową dokładnością,

- niezbyt wysoką temperaturę topnienia, co wpływa na zmniejszenie rozszerzalności wosku podczas wtryskiwania go do formy i zmniejszenie zużycia energii – ponadto czas zestalania wosku w formie jest krótszy, co minimalizuje skurcz oraz zjawisko powierzchniowej kawitacji,
- odporność na rozerwanie, uzyskiwaną na skutek odpowiedniej twardości i wytrzymałości mechanicznej wosku, w temperaturze otoczenia,
- odpowiednią gładkość i zdolność do zwilżania powierzchni, co pozwala na dobre przywieranie gęstwy do wzornika, a także wpływa na uzyskanie wymaganej gładkości finalnego odlewu,
- niską lepkość, ułatwiającą operację wtryskiwania wosku do formy oraz wypełniania jej najwęższych sekcji,
- zdolność łatwego wyjmowania wzornika z formy,
- bardzo niską zawartość popiołu,
- brak szkodliwego działania na środowisko naturalne.

W przypadku wosków dentystycznych, odlewowych oraz na płytę wzornika, istotnym parametrem jakościowym jest plastyczność (odkształcenie plastyczne). Metodę oznaczenia plastyczności wosków dentystycznych oraz wymagania dotyczące jej wartości dla różnych rodzajów wosków odlewowych i na płytę wzornika precyzuje norma PN-EN ISO 15854:2006 [10].

Ważnymi cechami wosków odlewniczych są też: niska cena, dostępność, łatwość recyklingu oraz brak toksyczności.

Masy formierskie (gęstwy) do powlekania wzorników woskowych, dawniej wytwarzane z gliny, zostały zastąpione przez ciekłe masy ceramiczne, przygotowywane na bazie wysokiej jakości syntetycznych materiałów ceramicznych i specjalnych spoiw [21].

Dla modeli wykonanych z wosków niskotopliwych jako powłokę formierską stosuje się mieszaninę gipsu modelarskiego, lepiszcza i krzemionki. W przypadku wosków o wysokich temperaturach topnienia wykorzystuje się sili-manit, glinokrzemiany i krzemionkę. Wzorniki wytworzone tą techniką mogą być bezpośrednio używane do odlewania lekkiego lub wzmocnione poprzez zahartowanie powłoki. Wówczas wzornik jest wstępnie ogrzewany do temperatury około 1000°C, w celu usunięcia resztek wosku i utwardzenia lepiszcza. Obróbka wstępna stosowana jest również po to, aby zabezpieczyć kompletność powstającego odlewu.

Materiałem odlewniczym są stopy aluminium, brązy, stal narzędziowa, stale nierdzewne, stellite, stopy niskotopliwe, stopy Hastelloysa i metale szlachetne. Części wykonane techniką odlewniczą najczęściej nie wymagają dalszej obróbki maszynowej [21].

Zastosowanie drukarek 3D do wytwarzania modeli odlewniczych

Szczególną odmianą procesu odlewania metodą traconego wosku jest innowacyjna metoda uzyskiwania modelu za pomocą procesu wytwarzania addytywnego (warstwa po warstwie). Pierwszy patent w tym obszarze, pt. *Molding process*, został udzielony w USA w styczniu 1981 roku [16]. W 1992 roku firma Stratasys uzyskała patent na wynalazek *Apparatus and method for creating three-dimensional objects* [17], natomiast technologia drukowania przestrzennego 3D została opracowana i opatentowana przez Massachusetts Institute of Technology [18] w postaci wynalazku *Three-dimensional printing techniques*, opublikowanego w grudniu 1993 roku (zgłoszenie – grudzień 1989 r.).

Drukowanie 3D jest procesem tworzenia trójwymiarowych obiektów stałych (twardych) o wirtualnej, dowolnej formie, jako modeli cyfrowych [3]. Drukowanie 3D realizowane jest w kilku następujących etapach:

- rysowanie modelu w programie komputerowym, np. CAD,
- zapisanie pliku w formacie STL,
- przetransportowanie pliku z rysunkiem do oprogramowania maszyny – drukarki przestrzennej,
- cięcie wirtualnego wyrobu (modelu) na przekroje poprzeczne (plasterkowanie), z których wyrób będzie budowany; ustalenie parametrów obróbki: grubości warstw, prędkości ich układania itp.,
- budowa wyrobu, polegająca na sekwencyjnym pobieraniu materiału (wosku) i układaniu go w postaci różnych, wcześniej zaprogramowanych warstw, aż do wytworzenia trójwymiarowego modelu; grubości warstw wahają się w granicach od 0,01 mm do 0,2 mm,
- obróbka wykańczająca modelu (jeśli zachodzi taka potrzeba).

W zależności od typu stosowanej maszyny materiały do wytwarzania modelu pobierane są sukcesywnie ze zbiornika lub platformy, a proces trwa aż do momentu, gdy warstwowanie jest zakończone i końcowy model 3D jest „wydrukowany”. Zaprojektowany model cyfrowy i uzyskany model fizyczny są niemal identyczne. Jako materiały modelowe można stosować każdą substancję, którą da się sproszkować i spoić. W praktyce jako materiały formowane najczęściej

stosowane są różnego rodzaju polimery, w tym styren alkilonylo-butadienowy (ABS), poliwęglany (PC) oraz polietylen wysokiej gęstości (HDPE). Jako lepiszcza stosowane są żywice, w tym żywice z odzysku materiałowego. Wzorniki uzyskane z wosków charakteryzują się małą wytrzymałością i służą do wykonania finalnych wyrobów z metali lub stopów, z zastosowaniem procesu odlewania metodą traconego wosku [1].

Zgodnie ze współczesnymi metodami druku 3D konstrukcja modelu trwa od kilku godzin do kilku dni, w zależności od metody oraz wymiarów i złożoności modelu. Jeśli modele wytwarzane są z materiałów termopolimerowych lub fotopolimerowych, utwardzalnych pod wpływem temperatury lub światła, uzyskuje się praktycznie gotowe produkty.

W XXI wieku nastąpił ogromny rozwój drukarek 3D, a ich ceny uległy zasadniczemu obniżeniu. Obecnie maszyny te stosowane są do addytywnego wytwarzania modeli w jubilerstwie, przemysłowym projektowaniu, architekturze, inżynierii i konstruowaniu, przemyśle samochodowym, samolotowym, obuwniczym, w dentystyce i technikach medycznych, a także w systemach edukacji, informatycznych systemach geograficznych i wielu innych dziedzinach gospodarki [1].

Podczas konstruowania modeli w niektórych technikach druku wykorzystywane są dodatkowe materiały, służące jako podpory dla występujących nachyleń konstrukcyjnych, zużywane równocześnie z materiałem przeznaczonym na wytworzenie modelu. Podpory te usuwane są po ukończeniu druku, najczęściej metodą rozpuszczania w odpowiednio spreparowanym rozpuszczalniku.

Technika druku 3D do wytwarzania modeli woskowych, a następnie wyrobów końcowych w procesie odlewania metodą traconego wosku jest szczególnie przydatna do produkcji małych części i zespołów stosowanych w zminiaturyzowanym sprzęcie elektronicznym oraz do wytwarzania produktów biomedycznych, takich jak biokompatybilne implanty i protetyki dentystyczne. Ponadto technika ta stosowana jest w ortodoncji, w badaniach medycznych i ortopedii oraz w wytwórstwie zabawek i jubilerstwie.

Materiały bazowe stosowane do drukowania w systemie 3D

W metodzie 3D wytwarzania modeli woskowych, np. w systemie Solidscape, stosowane są dwa rodzaje materiałów mających cechy wosków, a więc wykazujących stan stały w temperaturze otoczenia, niską temperaturę topności, małą lepkość i brak oddziaływań na środowisko [15]. Produkty te charakteryzują się ponadto nietoksycznością oraz spełniają

odpowiednie wymagania sanitarne. Materiałami tymi są: wosk do wytwarzania modelu – Indura[®]Cast oraz wosk do wytwarzania podpory modelu – Indura[®]Fill. Są to produkty o bardzo interesującej charakterystyce jakościowej: wykazują niską temperaturę topnienia i niską lepkość, a jednocześnie są bardzo twarde i cechują się niskim skurczem objętościowym.

Pomimo podobnych właściwości fizykochemicznych produkty te różnią się rozpuszczalnością w określonym polarnym rozpuszczalniku organicznym, w przewidzianym zakresie temperatury: wosk do wytwarzania modelu pozostaje nierozpuszczony, natomiast wosk do wytwarzania podpory dobrze się rozpuszcza i dzięki temu można go w łatwy sposób usunąć z wykonanego wzornika.

Charakterystykę produktów Indura stosowanych do wytwarzania modeli woskowych i ich podpór w systemie drukowania 3D Solidscape przedstawiono w tablicy 1 [15].

Skład chemiczny tych wosków przedstawiono w tablicy 2 [8, 9]. Woski stosowane do wytwarzania modeli są w rzeczywistości substancjami niewęglowodorowymi, składającymi się ze związków organicznych i żywic, natomiast woski stosowane jako podpory są mieszkankami odpowiednio do-

branych wosków naturalnych (wosków estrowych), wosków syntetycznych i substancji organicznych.

Podobny układ dwóch materiałów woskowych stosowany jest w systemie druku trójwymiarowego 3D Systems. Są to: wosk do wytwarzania modelu – VisiJet[®] Hi-Cast oraz wosk do wytwarzania podpory modelu – VisiJet[®] S400. Charakterystykę produktów stosowanych do tworzenia modeli woskowych i ich podpór w systemie drukowania 3D Systems przedstawiono w tablicy 3 [12].

Zgodnie z kartą charakterystyki wosku VisiJet[®] S400 [13] jego głównym składnikiem, występującym w ilości od 60% do 100% (*m/m*), jest hydroksylowany wosk estrowy. Hydroksylowane woski estrowe, ze względu na ich znakomite właściwości powierzchniowe, niską temperaturę topnienia, małą lepkość, wysoką twardość i łatwą emulgowalność, są

Tablica 1. Charakterystyka materiałów stosowanych w systemie Solidscape

Material	Właściwości chemiczne	Proces produkcji	Zalety
3Z TM Model	produkt organiczny, temperatura topnienia 95–115°C, nietoksyczny, spełnia wymagania sanitarne	Dysza drukarki z dużą częstotliwością wydziela mikrokrople w celu wytworzenia modelu w procesie „warstwa na warstwę”.	Składnik całkowicie odparowuje podczas spalania, nie pozostawia popiołu, daje bardzo dokładne odlewy.
3Z TM Support	mieszanka wosków, temperatura topnienia 50–72°C, nietoksyczny, spełnia wymagania sanitarne	Dysza drukarki z dużą częstotliwością wydziela mikrokrople w celu wytworzenia struktury podpory wokół modelu. Po drukowaniu strukturę tę usuwa się za pomocą rozpuszczalnika.	Czas usuwania wosku jest zredukowany. Zmniejsza pracochłonność prac typu CAD. Usuwanie rozpuszczalnikiem zabezpiecza model przed uszkodzeniami.
Indura [®] Cast	produkt organiczny, temperatura topnienia 95–115°C, nietoksyczny, spełnia wymagania sanitarne	Dysza drukarki z dużą częstotliwością wydziela mikrokrople w celu wytworzenia modelu w procesie „warstwa na warstwę”.	Składnik całkowicie odparowuje podczas spalania, nie pozostawia popiołu, daje bardzo dokładne odlewy.
plusCAST [®]	produkt organiczny, temperatura topnienia 95–115°C, nietoksyczny, spełnia wymagania sanitarne	Dysza drukarki z dużą częstotliwością wydziela mikrokrople w celu wytworzenia modelu w procesie „warstwa na warstwę”.	Mocniejszy składnik wytwarza bardziej trwałe modele przy tych samych warunkach odlewania co Indura [®] Cast.
Indura [®] Fill	mieszanka wosków, temperatura topnienia 50–72°C, nietoksyczny, spełnia wymagania sanitarne	Dysza drukarki z dużą częstotliwością wydziela mikrokrople w celu wytworzenia struktury podpory wokół modelu. Po drukowaniu strukturę tę usuwa się za pomocą rozpuszczalnika.	Bezpieczeństwo pracy: usuwanie wosku za pomocą rozpuszczalnika daje czysty wosk do kolejnych działań.

Tablica 2. Skład chemiczny wosków stosowanych w systemie Solidscape

Składnik	Zawartość składnika [% (<i>m/m</i>)]				
	Nazwa	plusCAST [®]	Indura [®] Cast	Indura [®] Fill	3Z TM Support
Pochodne etylometylobenzenosulfoamidowe		60÷100	60÷100		
Żywica poliestrowa		do 50	60÷100		
Pochodne benzoesanu		do 10	60÷100		
Wosk naturalny				15÷30	15÷30
Wosk syntetyczny				15÷30	15÷30
Distearynian glikolowy				15÷30	15÷30
Kwas tłuszczowy				15÷30	15÷30

Tablica 3. Charakterystyka materiałów stosowanych w systemie 3D Systems

Właściwości	Metoda badań	VisiJet® Hi-Cast	VisiJet® S400
Skład/funkcja	–	100% wosku	wosk na podporę
Barwa	–	ciemnoniebieski	biały
Gęstość w 80°C (cieczy) [g/cm ³]	ASTM D4164	0,81	0,87
Temperatura topnienia [°C]	ASTM D938	70	55÷65
Temperatura mięknięcia [°C]	ASTM D3954	52–62	–
Skurcz liniowy [%] od 40°C do RT		0,75	–
Skurcz objętościowy [%] od 40°C do RT		2,24	–
Drukarka	–	CPX	CP, CPX
Opis stosowania	–	mikroodlewanie dużej rozdzielczości	nietoksyczny wosk na podporę, rozpuszczalny, usuwany ręcznie

szeroko stosowane w przemyśle kosmetycznym, farmaceutycznym, włókienniczym, a także do wyrobu środków powłokowych i nabłyszczających [19].

Hydroksylowane woski estrowe wytwarzane są w procesie estryfikacji kwasów tłuszczowych C8–C16, zawierających 2 lub 3 grupy wodorotlenowe (np. z kwasu hydroksystearynowego, rycynowego), alkoholem alifatycznym o długim łańcuchu C8–C18 (np. alkoholem mirystylowym, cetylowym, stearynowym). Stwierdzono, że obecność grup hydroksylowych w łańcuchu kwasu tłuszczowego powoduje zmianę właściwości wytwarzanego wosku estrowego w kierunku lepszej rozpuszczalności, lepszych właściwości powierzchniowych i większej stabilności termicznej. W badaniach nad wytwarzaniem wosków estrowych z kwasu distearynowego i różnych alkoholi tłuszczowych stwierdzono, że wraz ze wzrostem długości łańcucha alkoholowego wzrasta temperatura topnienia powstającego wosku estrowego, natomiast spada jego liczba zmydlenia i liczba jodowa. Podając procesowi estryfikacji różne kwasy i różne alkohole, można uzyskać produkty o ściśle pożądanym parametrach jakościowych [14].

Proces estryfikacji wielowodorotlenowego kwasu tłuszczowego alkoholem tłuszczowym może być przeprowadzony w warunkach stosunkowo wysokiej temperatury (60÷150°C),

w obecności katalizatora kwasowego lub metalicznego. W procesie tym osiągnięta jest mała wydajność estru, ze względu na odwracalność reakcji [4]. Innym sposobem uzyskania wosków estrowych jest prowadzenie reakcji estryfikacji w umiarkowanej temperaturze, w obecności lipazy jako katalizatora. Aktualnie rozwijane są metody biotechnologiczne, polegające na zastosowaniu katalitycznego działania lipazy w procesie biokonwersji oleochemikaliów pochodzących z oleju palmowego, w tym szczególnie proces estryfikacji kwasu dihydrostearynowego (DHSA) co najmniej jednym alkoholem tłuszczowym C8–C18, o łańcuchu prostym lub rozgałęzionym [11].

Zastosowanie hydroksylowanych wosków estrowych o konkretnym składzie chemicznym oraz konkretnych właściwościach fizykochemicznych i użytkowych jest znacznie korzystniejsze od stosowania wosków naturalnych pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, będących mieszaniną różnorodnych związków chemicznych. Woski naturalne zawierają wprawdzie określone ilości estrów złożonych z alkoholi oraz kwasów tłuszczowych, w tym również hydrokwasów, lecz w ich składzie znajdują się także mniej pożądane komponenty, wpływające na pogorszenie właściwości użytkowych tych produktów, takie jak wolne kwasy, wolne alkohole, terpeny i żywice [20].

Podsumowanie

Odlewanie metodą traconego wosku jest procesem znanym od 5000 lat, w dalszym ciągu stosowanym i rozwijanym. Technika tę wykorzystuje się do wytwarzania gotowych przedmiotów oraz części, których nie można uzyskać normalnymi metodami wytwórczymi, ze względu na ich bardzo skomplikowane kształty, zbyt dużą twardość lub zbyt wysokie temperatury ich obróbki mechanicznej.

Dynamiczny rozwój stosowanej bazy materiałowej, jak również technik odlewania pozwala na otrzymywanie od-

lewów precyzyjnych o wysokiej jakości. Dzisiaj tą metodą produkuje się odlewy dla przemysłu lotniczego, zbrojeniowego, maszynowego, motoryzacyjnego, elektronicznego, optycznego i na potrzeby medycyny. W dalszym ciągu metodą traconego wosku wykonuje się biżuterię i wyroby artystyczne.

Wosk był przez ubiegłe stulecia materiałem powszechnie używanym do wytwarzania wzorników, jednakże stosowane w tym charakterze woski naturalne, mineralne i naftowe oraz

ich mieszanki zostały recepturowo zmodyfikowane, przez wprowadzenie dodatków wpływających na poprawę parametrów użytkowych wytwarzanych kompozycji woskowych oraz usprawnienie procesu odlewniczego. Zasadnicze zmiany dotyczyły stosowania dodatku substancji spełniających funkcję lepiszcza i wypełniacza.

Skład wosków odlewniczych używanych do wyrobu wzorników winien gwarantować ich doskonałą charakterystykę jakościową, w tym zapewnić następujące istotne parametry: najniższą możliwą rozszerzalność termiczną i jednocześnie bardzo małą kurczliwość, niezbyt wysoką temperaturę topnienia, niską lepkość, wysoką odporność na rozerwanie, odpowiednią gładkość i zdolność do zwilżania powierzchni, bardzo niską zawartość popiołu oraz brak szkodliwego działania na środowisko naturalne.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2013, nr 12, s. 929–935

Artykuł został napisany na bazie tematu 790/TO/13, pt. *Kompleksowe badania wosków odlewniczych stosowanych do drukarek 3D*, wykonanego na zlecenie przemysłu.

Literatura

- [1] *3D Printing*. Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing (dostęp: kwiecień 2013 r.).
- [2] Bemblage O., Karunakar D.B.: *A Study on the Blended Wax Patterns in Investment Casting Process*. Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, vol. I, WCE 2011, July 6–8, 2011, London, UK, http://www.iaeng.org/publication/WCE2011/WCE2011_pp721-727.pdf (dostęp: kwiecień 2013 r.).
- [3] *Drukowanie przestrzenne*. Polski Serwis Naukowy, http://www.naukowy.pl/encyklopedia/Drukowanie_przestrzenne (dostęp: kwiecień 2013 r.).
- [4] *Esterification*. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (4th Edition), vol. 9, <http://www.vigoschools.org/~mmc3/AP%20Chemistry/ap%20lab%20documents/Esterification.pdf> (dostęp: czerwiec 2013 r.).
- [5] *Metoda wytapianych modeli*. Instytut Odlewnictwa w Krakowie: http://www.iod.krakow.pl/stronaiod/strona/print_page.php?name=pages&id=13&lang=pl (dostęp: kwiecień 2013 r.).
- [6] *Investment casting*. Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Investment_casting (dostęp: kwiecień 2013 r.).
- [7] Krokosz J.: *Studium archeometalurgii i technik odlewniczych z epoki brązu (940–750 lat p.n.e.) w świetle badań materiałoznawczych i technologii odlewanej siekierki*. Rozprawa doktorska, AGH, Krakow 2008, <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy/9990/full9990.pdf> (dostęp: maj 2013 r.).
- [8] *InduraCast*. Material Safety Data Sheet, <http://www.literka.com.pl/wp-content/uploads/2011/09/InduraCast.pdf> (dostęp: maj 2013 r.).
- [9] *InduraFill*. Material Safety Data Sheet. <http://www.literka.com.pl/wp-content/uploads/2011/09/InduraFill.pdf> (dostęp: maj 2013 r.).
- [10] PN-EN ISO 15854:2006 *Stomatologia – Woski odlewowe i na plyte wzornika*.
- [11] *Process for producing wax ester from dihydroxy fatty acid*. Nr zgłoszenia 20050192452. Data zgłoszenia 1.09.2005, <http://www.surechem.org/index.php?Action=document&docId=967> (dostęp: czerwiec 2013 r.).
- [12] *ProJet CP & CPX 3500*. Professional 3D Printers Series, http://3d-printingsolutions.com/gestion/pdf/ProJet_3500_RealWax_USEN.pdf (dostęp: czerwiec 2013 r.).
- [13] *S200, S400 VisiJet® Support Material*. Material Safety Data Sheet. www.3dsystems.com/sites/www.3dsystems.com/files/24180-S02-00-B-MSDS-US-English-S200-S400_1.pdf (dostęp: czerwiec 2013 r.).
- [14] Salmiah R. A.: *Synthesis and characterization of ester from dihydroxystearic acid*. Journal of Oil Palm Research 2000, vol. 12, no. 1, pp. 81–85, <http://palmoilis.mpob.gov.my/publications/jopr12n1-81.pdf> (dostęp: czerwiec 2013 r.).
- [15] *Solidscape 3D Materials*, <http://www.solid-scape.com/products/3d-printer-wax-materials> (dostęp: czerwiec 2013 r.).
- [16] US 4247508 *Molding process*. Data publikacji: 27.01.1981, data zgłoszenia: 3.12.1979.
- [17] US 5121329 *Apparatus and method for creating three-dimensional objects*. Data publikacji: 9.06.1992, data zgłoszenia: 30.10.1989.
- [18] US 5204056 *Three-dimensional printing techniques*. Data publikacji: 20.04.1993, data zgłoszenia: 8.12.1989.
- [19] *Waxes and other esters*. Cyberlipid Center, <http://www.cyberlipid.org/wax/wax0001.htm> (dostęp: czerwiec 2013 r.).
- [20] *Waxes. Structure, Composition, Occurrence and Analysis*. The AOCS Lipid Library, <http://lipidlibrary.aocs.org/lipids/waxes/index.htm> (dostęp: czerwiec 2013 r.).
- [21] Wolff T. M.: *Investment casting Waxes: Influences which eliminate wax pattern defects*. Materiały M. Argüeso & Co. Inc., <http://www.paramelt.com/files/Pdf/casting-wax/Investment-casting-wax-Technical-publication-Paramelt-Argüeso-Kindt.pdf> (dostęp: maj 2013 r.).



Mgr inż. Halina SYREK
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Olejów, Środków Smarowych i Asfaltów.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: halina.syrek@inig.pl