

STUDIUM TECHNOLOGICZNO-KONSTRUKCYJNE WYKORZYSTANIA TECHNIKI SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA DO WYKONANIA ODLEWU ARTYSTYCZNEGO – MEDALU 65-LECIA INSTYTUTU ODLEWNICTWA W KRAKOWIE

TECHNICAL AND DESIGN STUDY OF THE USE OF RAPID PROTOTYPING TECHNIQUE TO MAKE AN ART CASTING OF MEDAL COMMEMORATING THE 65th ANNIVERSARY OF THE ESTABLISHMENT OF FOUNDRY RESEARCH INSTITUTE IN CRACOW

*Aleksandra Jarco², Stanisław Rządkosz², Jacek Krokosz¹, Rafał Pabiś¹, Andrzej Gil¹,
Edward Czekaj¹, Stanisław Młodnicki¹, Ryszard Ćwiklak¹*

¹Instytut Odlewnictwa, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków

²Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

Streszczenie

Podjęto działania w zakresie wykonania odlewu artystycznego, to jest medalu 65-lecia Instytutu Odlewnictwa – z wykorzystaniem techniki szybkiego prototypowania. Opisano najważniejsze operacje technologiczne procesu od rysunku 2D do gotowego wyrobu. Wykazano, że teza postawiona w pracy – jest możliwa do realizacji według najnowocześniejszych rozwiązań stosowanych w technologii odlewniczej.

Słowa kluczowe: szybkie prototypowanie, rysunek 2D, odlew artystyczny, projektowanie komputerowe, metoda wytapianych modeli, brąz B555

Abstract

Steps have been taken to make an art casting – a medal commemorating the 65th Anniversary of the establishment of the Foundry Research Institute in Cracow, using a rapid prototyping technique. The most important technological operations from a 2D drawing to the finished product were described. It has been shown that the argument put in the study can be brought into effect using the most modern solutions of foundry technology.

Key words: rapid prototyping, 2D drawing, art casting, computer-aided design, investment casting process, B555 bronze

Wstęp

Od kilku lat Instytut Odlewnictwa w Krakowie oprócz działalności naukowo-badawczej prowadzi również działalność o charakterze dydaktycznym. Jednym z przejawów tej pracy są różnorodne szkolenia dla studentów szkół wyższych, a także pomoc w przygotowaniu prac licencjackich, a także magisterskich i doktorskich.

Bardzo dobre wyposażenie tej placówki badawczej w nowoczesne urządzenia pozyskane w ramach rozmaitych projektów, a także wysokie kwalifikacje pracowników obsługujących sprzęt sprzyjają temu, że tematy prac są interesujące a nabyta wiedza bezcenna.

Dobra współpraca z uczelniami wyższymi o różnym profilu kształcenia sprzyja dalszemu rozwojowi wzajemnych kontaktów. W ciągu tego okresu czasu Instytut Odlewnictwa udzielił wszechstronnej pomocy wielu studentom z różnych wyższych uczelni.

Takim przykładem w ostatnim czasie była praca magisterska Pani Aleksandry Jarco, absolwentki Wydziału Odlewnictwa AGH pod tytułem: „Studium technologiczno-konstrukcyjne wykorzystania techniki szybkiego prototypowania do wykonania odlewu artystycznego medalu 65-lecia Instytutu Odlewnictwa w Krakowie”.

Ciekawy temat pracy, jak również postawiona teza, są inspiracją do podzielenia się informacjami na powyższy temat. Dodatkowo w artykule przytoczono dane nieopisane w pracy magisterskiej.

Cel pracy, postawiona teza i zakres pracy

Celem pracy było wykorzystanie możliwości najnowszych technik komputerowych w tym edytorów graficznych, takich jak AutoCAD oraz SolidWorks do projektowania odlewów artystycznych oraz technik szybkiego prototypowania do wykonania modeli.

Tezą postawionego tematu pracy było sprawdzenie założenia, czy współczesna technika komputerowa jest przydatna w projektowaniu i wykonaniu modeli oraz odlewów artystycznych – medali okolicznościowych?

W ramach pracy został przygotowany projekt medalu jubileuszowego 65-lecia Instytutu Odlewnictwa w Krakowie oraz zrealizowano jego wykonanie poprzez dobór odpowiedniej technologii wykonania modelu w dwóch technikach szybkiego prototypowania oraz gotowych odlewów. Należy nadmienić, że w niniejszym artykule przedstawiono sposób wykonania tylko w technice Solidscape (DODJET).

Zakres pracy obejmował szereg zagadnień implikowanych przez temat pracy, a w tym:

- zarys historii medalierstwa w Polsce [1],
- opis modeli odlewniczych wykorzystywanych w odlewnictwie artystycznym,
- opis współczesnych technologii wykorzystywanych do wykonywania odlewów artystycznych oraz medali [2, 3],
- wykonanie projektów medali okolicznościowych,
- przygotowanie wirtualnego modelu i jego wydruk w technice Solidscape,
- wykonanie matryc do odlewnia woskowych modeli medalu,
- wykonanie odlewów medali przy użyciu metody wytapianych modeli [4, 5, 6, 7].

W części badawczej pracy dodatkowo wykonano badania:

- chropowatości modeli woskowych,
- chropowatości gotowych odlewów,
- wymiarów modeli: woskowego i z proszku,
- wymiarów gotowych odlewów.

Powyższe badania pozwoliły na sprecyzowanie wniosków dotyczących wyników pomiarów. Ze względu na znaczną objętość zgromadzonego materiału badawczego w niniejszym artykule skupiono się głównie na najważniejszych aspektach badawczych pracy. Przewiduje się, że w najbliższym czasie wszystkie zgromadzone dane i wyniki stanowiąc będą podstawę do opracowania tematycznej monografii.

Wykonanie projektu medalu okolicznościowego 65-lecia Instytutu Odlewnictwa

Pierwszym etapem pracy było przygotowanie projektu medalu okolicznościowego z okazji 65-lecia działalności Instytutu Odlewnictwa w Krakowie (rys. 1). Został on narysowany w programie AutoCAD.

W projekcie został wykorzystany wizerunek odlewnika wzorowany na postaci znajdującej się na pomniku mieszczącym się przed głównym budynkiem Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie oraz fragment Zamku Królewskiego na Wawelu. Stosowne, pisemne zezwolenia na wykorzystanie tych elementów uzyskano z odpowiednich placówek odpowiedzialnych za przestrzeganie własności intelektualnej.



Rys. 1. Awers i rewers projektu medalu okolicznościowego. Dwuwymiarowy rysunek wykonany w programie AutoCAD

Fig. 1. Obverse and reverse of the occasional medal design. Two-dimensional drawing made in an AutoCAD software

Przygotowanie wirtualnego modelu i jego wydruk w technice Solidscape

Gotowy projekt medalu w postaci grafiki dwuwymiarowej został eksportowany do programu SolidWorks. Poszczególne elementy szkicu zostały wyciągnięte na odpowiednie wysokości w celu uzyskania trójwymiarowego modelu (rys. 2).



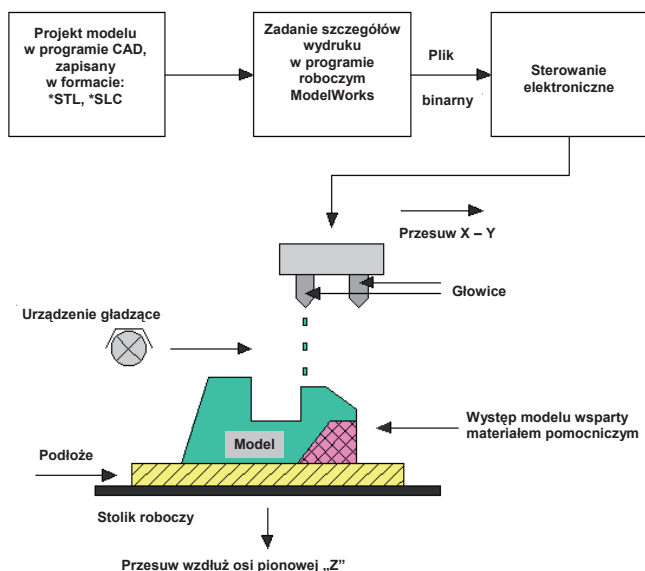
Rys. 2. Widok trójwymiarowego modelu medalu okolicznościowego wykonanego w programie SolidWorks R10

Fig. 2. View of the three-dimensional model of the occasional medal made in a SolidWorks R10

Tak przygotowany model został zapisany w formacie *.stl, który jest przeznaczony do przenoszenia danych do urządzeń zajmujących się szybkim prototypowaniem.

Realizacja modeli technikami szybkiego prototypowania, polega na wykonywaniu rzeczywistych elementów na podstawie modelu zaprojektowanego komputerowo, w jednym z programów typu CAD, poprzez nakładanie kolejnych warstw danego materiału.

Jedną z technologii wytwarzania precyzyjnych modeli woskowych, przy użyciu drukarki 3D, jest nakrapianie wtryskowe (DODJET), schematycznie przedstawione na rysunku 3, stosowane w urządzeniach Solidscape między innymi w modelu T612BT.



Rys. 3. Schemat przedstawiający działanie systemu urządzenia DODJET [8]

Fig. 3. Schematic diagram showing operation of the DODJET system [8]

Nakrapianie polega na połączeniu podczas wytwarzania woskowego modelu dwóch technik addytywnej i subtraktywnej. Podstawowa geometria modelu jest budowana przy użyciu głównego materiału, nakładanego kolejno warstwami, natomiast dodatkowy materiał umieszczany jest w zagłębieniach by wspierać występy, lecz nie służy do wykonania właściwej konstrukcji modelu. Zachowanie odpowiedniej grubości i gładkości warstwy wynika z każdorazowego zabiegu polegającego na wygładzeniu poziomej powierzchni, po nałożeniu kolejnej warstwy.

Materiał pomocniczy jest sukcesywnie wypłukiwany przez rozpuszczanie, tak by gotowy model całkowicie zgadzał się ze wzorem zaprojektowanym w programie CAD. Umożliwia to wyeliminowanie dodatkowych zabiegów, takich jak naprawa kształtu czy szlifowanie.

W skład systemu działania drukarki wchodzi samosterujący ploter X-Y z głowicą (napędem), zainstalowaną na trwałej, nieruchomej ramie, zapewniającej stabilność i dokładność. Na głowicy plotera zainstalowany jest dualny podzespół nakrapiania wtryskowego (DODJET), który przemieszcza się nad precyzyjnym, ruchomym stolikiem roboczym, na którym konstruowany jest model warstwowy. Temperatura zasobnika z materiałem modelowym jest automatycznie monitorowana przez system grzewczy, dzięki czemu zarówno główny materiał tworzący model, jak i materiał pomocniczy utrzymywane są w odpowiedniej temperaturze, gwarantującej właściwy wtrysk [9].

Do wykonania właściwego modelu używa się materiału konstrukcyjnego Blue-Cast™, który cechuje się właściwościami termoplastycznymi, bardzo niskim współczynnikiem rozszerzalności i jest odpowiednio przystosowany do odlewania, a po wypaleniu nie pozostawia żadnych zanieczyszczeń. Jako pomocniczego materiału używa się

woskowego ProtoSupportTM, wykonanego na bazie estru tłuszczowego. Można go łatwo usunąć przy użyciu odpowiedniego rozpuszczalnika.

Technika DODJET pozwala na sporządzenie modeli o bardzo wysokiej gładkości powierzchni, skomplikowanej geometrii oraz bardzo dużej dokładności dochodzącej do 25,4 mikrometra. Im mniejsza grubość warstwy tym bardziej wydłuża się czas wykonania modelu, ale za to uzyskuje się coraz lepszą jakość modelu woskowego.

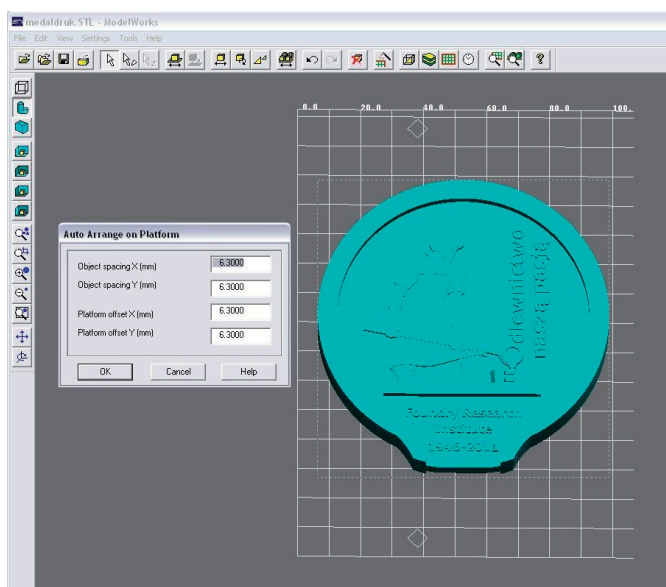
Przed przystąpieniem do drukowania w roboczym programie ModelWorks należy zadać podstawowe parametry wydruku między innymi:

- pozycje modelu na stole roboczym (rys. 4),
- grubość nanoszonej warstwy, a co za tym idzie dokładność wydruku (rys. 5).

Model medalu został podzielony na trzy poziomy grubości warstw:

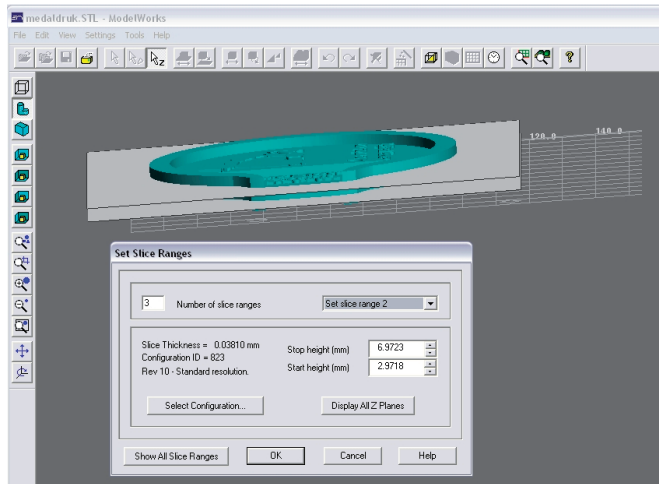
- 0–3 mm, o grubości nanoszonej warstwy 0,0381 mm,
- 3–7 mm, o grubości nanoszonej warstwy 0,0762 mm,
- 7–10 mm, o grubości nanoszonej warstwy 0,0381 mm.

Po zapisaniu wszystkich ustawień przystąpiono do wydrukowania modelu. Czas wydruku wyniósł 32 godziny, w tym czasie naniesione zostały 222 warstwy.



Rys. 4. Zrzut z ekranu programu ModelWorks. Określenie pozycji modelu na stole roboczym

Fig. 4. Screenshot of the ModelWorks programme. Determination of model position on the workbench

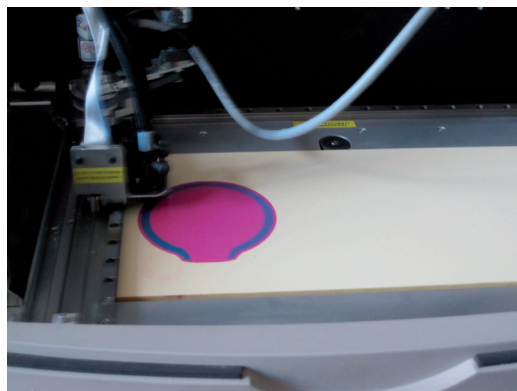


Rys. 5. Zrzut z ekranu programu ModelWorks. Określenie grubości nanoszonej warstwy

Fig. 5. Screenshot of the ModelWorks programme. Determination of the deposited layer thickness

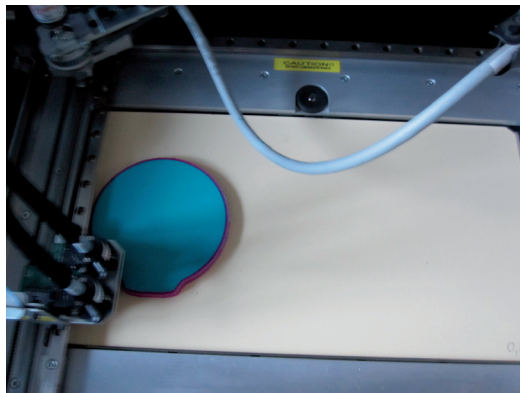
Drukowanie odbyło się na urządzeniu firmy Solidscape, model T612BT [9], wykorzystującego technologię DODJET, w której kolejno nakładane są warstwy głównego materiału – modelowego, który odtwarza podstawową geometrię modelu oraz materiału podporowego umieszczanego w wystęпах. Po nałożeniu kolejnej warstwy każdorazowo odbywa się wygładzenie poziomej powierzchni, co pozwala zachować jej odpowiednią grubość i gładkość. Na rysunkach 6–8 przedstawione są kolejne etapy drukowania modelu medalu okolicznościowego.

Do wykonania właściwego modelu użyto materiału konstrukcyjnego Indura Cast. Jako materiał podporowy został wykorzystany materiał Indura Fill.



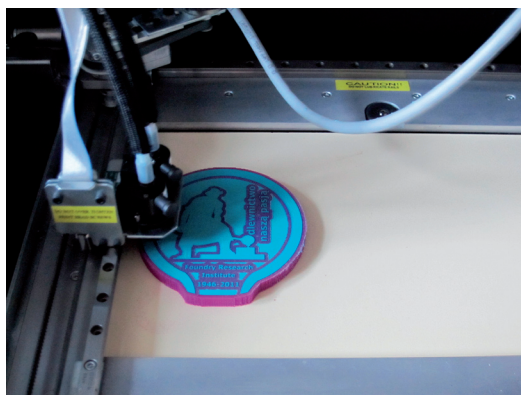
Rys. 6. Początkowy etap drukowania medalu okolicznościowego na urządzeniu Solidscape T612BT

Fig. 6. The initial step in printing the occasional medal on a Solidscape T612BT device



Rys. 7. Drukowanie środkowej części medalu okolicznościowego na urządzeniu Solidscape T612BT

Fig. 7. Printing the middle part of the occasional medal on a Solidscape T612BT device



Rys. 8. Drukowanie awersu medalu okolicznościowego na urządzeniu Solidscape T612BT

Fig. 8. Printing the obverse part of the occasional medal on a Solidscape T612BT device

Na wydrukowanym modelu przedstawionym na rysunku 9 widoczny jest materiał podporowy, który należało wypłukać.



Rys. 9. Medal okolicznościowy po wydrukowaniu na urządzeniu Solidscape T612BT

Fig. 9. The occasional medal as printed on a Solidscape T612BT device

W tym celu model został zanurzony w rozpuszczalniku organicznym typu terpentyna znajdującym się w zlewce z mieszadłem magnetycznym (rys. 10). Temperatura kąpieli winna wynosić około 40–50°C. Ruch obrotowy mieszadła wprawia terpentynę w stan wirowania, a tym samym następuje omywanie medalu woskowego z wosku podporowego.



Rys. 10. Wyplukiwanie materiału podporowego z wydrukowanego modelu medalu przy pomocy mieszadła magnetycznego

Fig. 10. The removal of support material from the printed model of the medal using a magnetic stirrer

Materiał pomocniczy był sukcesywnie wypłukiwany, aż do całkowitego jego rozpuszczenia. Dzięki temu otrzymano gotowy model (rys. 11), pozostający w pełnej zgodności z medalem zaprojektowanym w programie CAD.

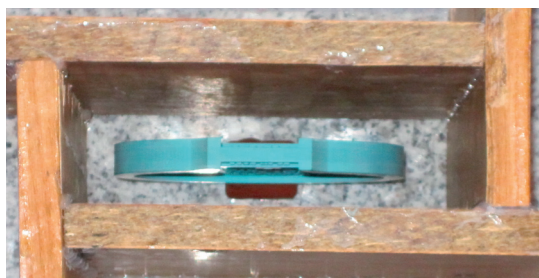


Rys. 11. Awers i rewers wzorcowego modelu medalu okolicznościowego po usunięciu materiału pomocniczego wydrukowany na urządzeniu Solidscape T612BT

Fig. 11. The obverse and reverse part of a master model of the occasional medal after the removal of supporting material as printed on a Solidscape T612BT device

Wykonanie matrycy do odlewania woskowych modeli medalu

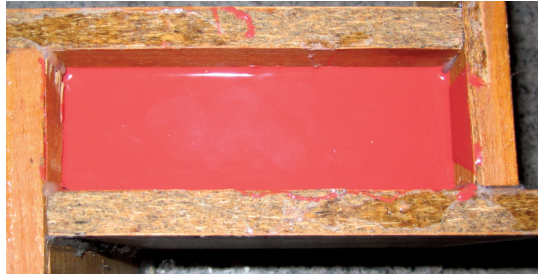
Kolejnym etapem było przygotowanie matrycy. Do jej wykonania potrzebna była drewniana skrzynka o wymiarach 12 x 4,5 x 12,5 cm, w środku której umieszczono model wzorcowy z doklejonym wlewem doprowadzającym, tak by z każdej strony elementu pozostała mniej więcej taka sama wolna przestrzeń. Model i skrzynkę kolejno przyklejono do marmurowej płyty, tak jak pokazuje to rysunek 12.



Rys. 12. Widok gotowej do zalania kauczukiem formy, z której uzyskano matrycę do odlewania woskowych modeli medalu okolicznościowego

Fig. 12. View of preform ready for pouring with silicone rubber to obtain a mould for casting wax patterns of the occasional medal

Tak przygotowaną formę zalano odpowietrzoną mieszaniną kauczuku silikonowego AD-1 składnik A i utwardzacza – katalizatora AD-1 składnik B (rys. 13). Całość po zalaniu umieszczono w komorze próżniowej w celu odgazowania kauczuku silikonowego wymieszanego z katalizatorem.



Rys. 13. Widok formy zalanej kauczukiem silikonowym

Fig. 13. View of preform poured with silicone rubber



Rys. 14. Usunięcie wzorcowego modelu z gotowej matrycy

Fig. 14. The removal of master model from the ready mould

Otrzymana matryca, przedstawiona na rysunku 15, została wykorzystana do odlania kilkunastu woskowych modeli medalu okolicznościowego.

Każdorazowo przed przystąpieniem do odlewania modelu połówki formy należało dokładnie złożyć i zabezpieczyć przed otwarciem i przesuwaniem za pomocą zszywek i gumek.



Rys. 15. Widok dwóch połówek gotowej matrycy

Fig. 15. View of two half moulds

Podgrzana do temperatury 70°C forma zalewana była roztopionym woskiem typu Castaldo w komorze próżniowej, by zapobiec powstawaniu i zamykaniu pęcherzyków powietrza w modelu, a tym samym powstawaniu widocznych wad powierzchniowych.

Po upływie około godziny od zalania formy, gdy wosk zakrzepł, gotowy model (rys. 16) został usunięty z matrycy.



Rys. 16. Awers i rewers woskowego modelu medalu okolicznościowego

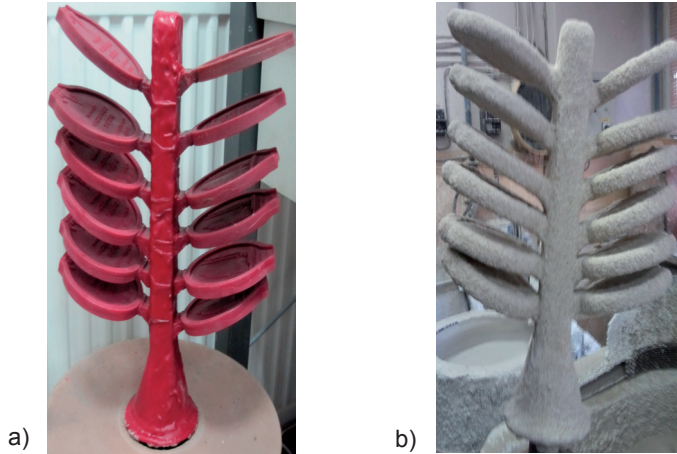
Fig. 16. The obverse and reverse part of a wax pattern of the occasional medal

Wykonanie odlewów medali przy użyciu metody wytapianych modeli

Woskowe modele zostały połączone z układem wlewowym w zestaw obejmujący 12 sztuk, tak jak przedstawia to rysunek 17a. Tak przygotowany pakiet został zanurzony w ciekłej masie ceramicznej w celu wykonania formy ceramicznej (rys. 17b).

Operacja ta została powtórzona sześciokrotnie, aż uzyskano formę o odpowiedniej grubości. Kolejnym etapem przygotowania formy było wytopienie modeli i układu

wlewowego oraz utwardzenie formy ceramicznej przez wypalenie jej w piecu. W czasie tej operacji w strukturze materiału formy tworzy się siatka mikropęknięć oraz wypalone zostają pozostałości po wytopieniu mieszanki woskowej.



Rys. 17. Widok modeli połączonych z układem wlewowym w zestaw (a) oraz pokrytych warstwą materiału ceramicznego (b)

Fig. 17. View of patterns connected into a cluster by the gating system (a) and coated with a layer of ceramic material (b)

Sporządzona w ten sposób forma została umieszczona w metalowej skrzynce wypełnionej drobnoziarnistym szamotem i zalana ciekłym brązem cynowym w gatunku B555 (CuSn5Zn5Pb5) (rys. 18). Temperatura zalewania formy wynosiła 1130°C. Do topienia zastosowano piec sylitowy, będący własną konstrukcją Instytutu Odlewnictwa.



Rys. 18. Zalanie formy ceramicznej ciekłym brązem B555

Fig. 18. Ceramic mould poured with molten B555 bronze

Po zakrzepnięciu stopu i wystygnięciu formy usunięto wstępnie ceramiczną powłokę (rys. 19).



Rys. 19. Widok otrzymanego odlewu bezpośrednio po usunięciu ceramicznej powłoki

Fig. 19. View of produced casting directly after the removal of ceramic coating

Następnie odcięto poszczególne odlewy medali od układu wlewowego (rys. 20).



Rys. 20. Awers i rewers medalu okolicznościowego po odcięciu od układu wlewowego

Fig. 20 .Obverse and reverse part of the occasional medal after degating

Odlewy zostały poddane oczyszczaniu powierzchni za pomocą piaskowania; rysunek 21 przedstawia medal po wykonaniu tego zabiegu.



Rys. 21. Awers i rewers medalu okolicznościowego po zabiegu piaskowania

Fig. 21. Obverse and reverse part of the occasional medal after sand blasting

Ostatnim etapem przed otrzymaniem gotowego odlewu medalu było poddanie wypięskowanych odlewów obróbce cyzelerskiej. Rysunek 22 przedstawia finalny odlew po przeprowadzonej obróbce.



Rys. 22. Awers i rewers gotowego medalu okolicznościowego po przeprowadzeniu obróbki wykańczającej

Fig. 22. Obverse and reverse part of the occasional medal after finishing treatment

Podsumowanie i wnioski

W niniejszej pracy została zaprezentowana nowa technologia projektowania komputerowego stosowana do wykonania modeli przy pomocy programów, takich jak AutoCAD i SolidWorks pozwalających na przygotowanie trójwymiarowego modelu odlewu.

Tak przygotowany model, po zadaniu odpowiednich parametrów, został wydrukowany przy użyciu urządzenia Solidscape T612BT, które cechuje się bardzo dużą dokładnością wydruku (dokładność 0,07 mm) oraz wysoką gładkością otrzymanej powierzchni modelu w postaci wielowarstwowej.

Jako technologię odlewania wybrano tradycyjną metodę wytapianych modeli, która pozwala na otrzymanie odlewów o najwyższej dokładności wymiarowej i kształtowej modelu oraz gładkości powierzchni.

Do zalania gotowych form ceramicznych zastosowano klasyczny stop – brąz B555, bardzo często stosowany w odlewnictwie artystycznym, ponieważ cechuje się bardzo dobrą lejnością i skrawalnością.

Wykonany odlew jubileuszowego medalu 65-lecia Instytutu Odlewnictwa w Krakowie, z wykorzystaniem wspomaganie komputerowego oraz szybkiego prototypowania, uzasadnia celowość dobranej metody technologiczno-konstrukcyjnej.

Zaprojektowany, wykonany i odlany eksponat charakteryzuje się bardzo dobrą jakością i stanowi dowód, że opracowane założenia były prawidłowe.

Przeprowadzone prace badawcze potwierdziły przyjętą na wstępie tezę, że współczesna technika komputerowa (edytory graficzne i szybkie prototypowanie) jest wielce przydatna w projektowaniu 2D i 3D, wykonaniu modeli oraz odlewów artystycznych – medali okolicznościowych.

Literatura

1. Więcek A.: *Dzieje sztuki medalierskiej w Polsce*. Wydawnictwo Literackie, Kraków, 1972, Wyd. I.
2. Krokosz J., Bożek E.: *Odlewy artystyczne – katalog*. Wydawnictwo Przemysłowe WEMA, Warszawa, 1989.
3. Praca zbiorowa: *Jubileuszowe medale Instytutu Odlewnictwa w Krakowie i technologia ich wykonania*. Prace Instytutu Odlewnictwa, 1996, nr 4.
4. Tabor A.: *Techniki wytwarzania – Wybrane zagadnienia z odlewnictwa*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 1998.
5. Praca zbiorowa: *Odlewnictwo*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2004.
6. Piaskowski J.: *Technologia dawnych odlewów artystycznych*. Wydawnictwo Instytutu Odlewnictwa, Kraków, 1981.
7. Praca zbiorowa: *Mały poradnik odlewnika*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1974.
8. <http://www.wk-art.com> (17.05.2011).
9. <http://www.iod.krakow.pl> (17.05.2011).