

Wykonanie rekonstrukcji odlewanej bransolety z epoki brązu

E. Wildhirt ^{a*}, A. Garbacz–Klempka ^a, P.L. Żak ^a,
T. Stolarczyk ^b, P. Długosz ^c

^a Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30–059 Kraków

^b Muzeum Miedzi w Legnicy, ul. Partyzantów 3, 59–220 Legnica

^c Instytut Odlewnictwa w Krakowie, ul. Zakopiańska 73, 30–418 Kraków

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: emiwil@interia.eu

Otrzymano 22.10.2013; zaakceptowano do druku 12.12.2013

Streszczenie

W epoce brązu ozdoby, drobne wyroby artystyczne wykonywano metodą wytapianych modeli. Biżuteria miała funkcję użytkową i estetyczną, ale także świadczyła o statusie społecznym i bogactwie, była oznaką władzy oraz produktem wymiany na inny towar.

Celem artykułu jest omówienie zagadnień związanych z wykonaniem odlewu zrekonstruowanej bransolety z epoki brązu. Analizie poddano proces wykonania odlewów w epoce brązu oraz porównano go z współczesnymi metodami odlewania. Zaprezentowano projekt, model wykonany dzięki inżynierii odwrotnej oraz przedstawiono gotowy odlew odtworzonej bransolety z epoki brązu z użyciem metody wytapianych modeli. Podczas wykonywania bransolety wykorzystano metodę szybkiego prototypowania.

Podstawą rekonstrukcji były oryginalne zabytkowe fragmenty form odlewniczych z epoki brązu pozyskane w wyniku współpracy Wydziału Odlewnictwa AGH z Muzeum Miedzi w Legnicy. Przeprowadzone badania mikroskopowe i defektoskopowe umożliwiły dokładne poznanie technologii oraz umożliwiły wykonanie bransolety, m.in. zrobienie pomiarów, które następnie posłużyły do wykonania trójwymiarowej rekonstrukcji gotowego wyrobu.

W efekcie otrzymano odlane bransolety z brązu, które przybliżają kształty ozdób produkowanych w epoce brązu.

Słowa kluczowe: komputerowe wspomaganie produkcji odlewniczej, brąz, metoda wytapianych modeli, metoda szybkiego prototypowania, odlewnictwo artystyczne

1. Wprowadzenie

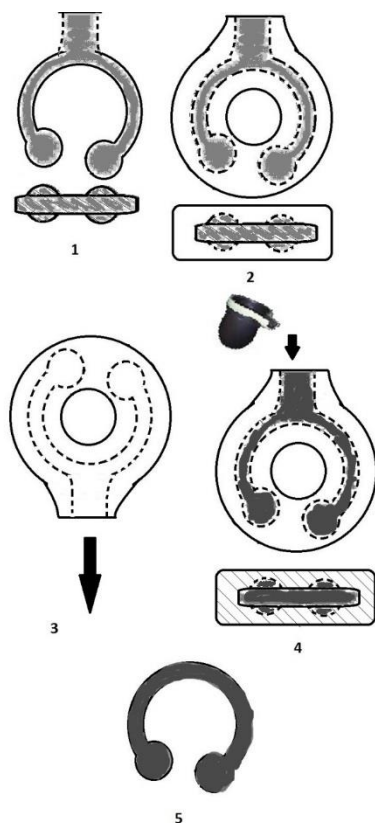
Metalowe przedmioty w epoce brązu wykonywano techniką kucia bądź odlewania. Formy odlewnicze w tej epoce wykonywane były z gliny i kamienia [1-8]. Analiza źródeł literaturowych pozwoliła na zapoznanie się z procesem technologicznym wykonywania artystycznych odlewów – metodą wytapianych modeli [2] oraz porównanie go z współczesnymi metodami odlewania [9-12]. Podjęte badania wykonano z wykorzystaniem form odlewniczych pochodzących z epoki brązu pozyskanych w ramach badań archeologicznych przeprowadzonych w okolicy

Legnicy (na terenie osady w Grzybianach). Pozwoliły one na próbę odtworzenia procesu odlewania oraz dokonanie rekonstrukcji odlewanej bransolety przy użyciu nowoczesnych technik komputerowych wspomagających odlewnictwo [13-14]. Podstawą badań był materiał archeologiczny pozyskany w wyniku współpracy Wydziału Odlewnictwa z Muzeum Miedzi w Legnicy.

2. Przedstawienie dawnej technologii i porównanie z współczesną metodą wytapianych modeli

Proces tworzenia form w metodzie wytapianych modeli zaczynało od uformowania w wosku modelu bransolety, który przedstawiał właściwy kształt gotowego wyrobu (rys. 1.1).

Woskowy model oblewano rzadką gliną i poddawano suszeniu (rys. 1.2), następnie wytapiano wosk (rys. 1.3) i zalewano formę brązem. Ostatnim etapem było wydobywanie odlewu z formy (w wyniku czego następowało jej zniszczenie), usunięcie układu wlewowego oraz obróbka powierzchni (rys. 1.4).



Rys. 1. Wykonanie formy dawną metodą wytapianych modeli: 1 – przygotowanie modelu woskowego; 2 – wykonanie formy glinianej i suszenie; 3 – wytopienie wosku; 4 – zalanie formy; 5 – gotowy wyrób

Współczesna metoda wytapianych modeli podobnie jak dawna metoda zwana „na wosk tracony” wymaga zestawu modelowego wykonanego z wosku, który następnie przez kilkukrotne zanurzenie w przygotowanej ciekłej masie oraz każdorazowym obsypaniu drobnopięnistym materiałem ceramicznym, suszy się na powietrzu w celu utwardzenia (rys. 2).

Współczesna metoda wytapianych modeli bazuje na dawnej metodzie „na wosk tracony” – oczywiście jest nowocześniejsza ze względu na wykorzystanie najnowszych osiągnięć nauki i techniki.



Rys. 2. Etapy przygotowania formy współczesną metodą wytapianych modeli [12]

3. Metodyka badawcza i przeprowadzone badania

W badaniach wykorzystano metody mikroskopowe, defektoskopowe, spektroskopowe oraz metody wspomagania komputerowego i rapid prototyping: skanowanie, drukowanie 3D. Zastosowano także tradycyjne technologie odlewnicze wykorzystujące model woskowy i formę ceramiczną, która została zalana brązem cynowym.

4. Opis uzyskanych wyników

Fragmenty form (rys. 3) pozyskane do badań wykonane były z gliny i służyły do odlewania ozdób m.in. bransolet.



Rys. 3. Przykładowe fragmenty form odlewniczych z epoki brązu

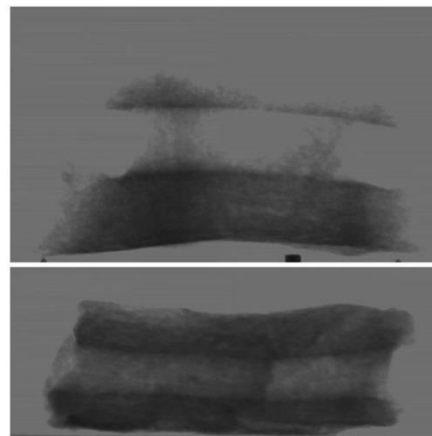
Dzięki wykonaniu badań mikroskopowych i defektoskopowych można było zaobserwować stan zachowania materiału m.in. można zaobserwować strukturę materiału, określić średnicę wnętrza formy (rys. 4).



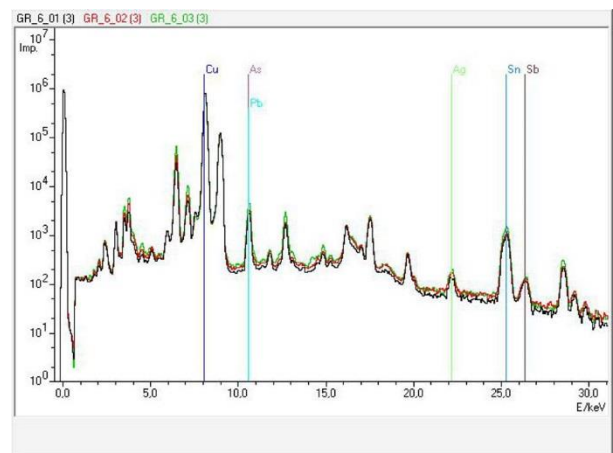
Rys. 4. Badanie mikroskopowe fragmentu formy

Badania defektoskopowe pozwoliły na określenie zawartości fragmentów form. Zdjęcia rentgenowskie ułamków przedstawione na rysunku 5 wskazują iż formy są puste tzn. nie zawierają woskowego modelu, ani fragmentów odlewu.

Badanie składu chemicznego (rys. 6) dla przybliżenia składem stosowanego stopu przeprowadzono dla metalowego obiektu pochodzącego z tej samej osady, co badane fragmenty formy. Wykonano go metodą spektroskopii fluorescencji rentgenowskiej (XRF). Wynik wskazuje, że jednym ze stosowanych stopów był brąz cynowy o składzie: Cu – 92,6%; Sn – 4,77%; Pb – 1,1%; Sb – 0,5%; As – 0,23%; Ag – 0,17%; Zn – 0,1%; inne (w tym: Fe, Ni, Bi) – 0,53%



Rys. 5. Zdjęcia rentgenowskie dwóch różnych fragmentów form odlewniczych



Rys. 6 Wykres widm fluorescencyjnych wykonany na podstawie badań składu chemicznego wykonanego metodą spektroskopii fluorescencji rentgenowskiej (XRF). Zidentyfikowane pierwiastki: miedź, cyna, ołów oraz antymon i arsen

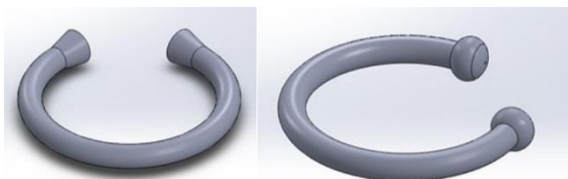
Techniki komputerowego wspomaganie odlewnictwa są jednym z nowoczesnych interdyscyplinarnych rozwiązań, pomocnych m.in. w zakresie technologii dawnego odlewnictwa. Dzięki programom graficznym można przedstawić wirtualny obraz form odlewniczych oraz gotowych wyrobów uzyskanych na podstawie analiz danych literaturowych oraz wyników badań.

Dzięki skanerom 3D można wykonać wizualizacje badanych obiektów (rys. 7), natomiast przy pomocy inżynierii odwrotnej można udokumentować obiekty zabytkowe w postaci cyfrowej.

W skutek wykonanych badań oraz analiz literatury udało się odtworzyć hipotetyczny kształt bransolety z epoki brązu, dzięki programowi do wykonania projektów. Poprzez kolejne etapy rysowania zobrazowano przykładowe gotowe wyroby (rys. 8).



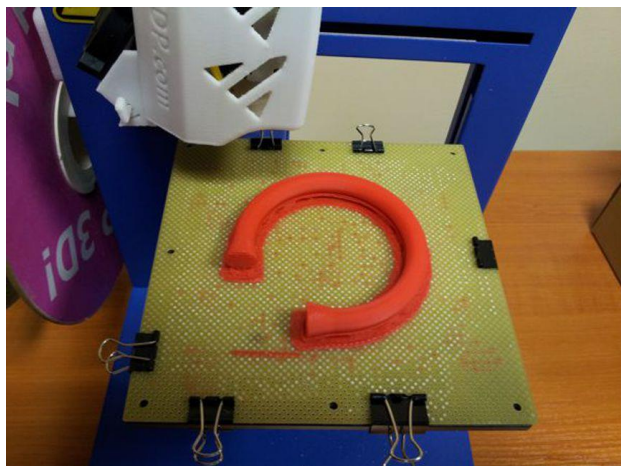
Rys. 7. Wirtualny obraz fragmentu formy w porównaniu z jego rzeczywistym wyglądem



Rys. 8. Wizualizacja gotowych wyrobów

4.1. Wykonanie rekonstrukcji

Przeprowadzone badanie oraz wizualizacja gotowych odlewów pozwoliła z udziałem drukarki 3D wykonać gotowy model bransolety. Modele drukowano technologią FDM (fused deposition modeling). Technika drukowania bazuje na programie obsługującym urządzenie, które dzieli model na warstwy o odpowiedniej grubości generuje podpory (jeśli są one potrzebne), a następnie definiuje kolejne kroki jak mają być układane warstwy materiału. Sama czynność drukowania polega na warstwowym naprzemiennym nakładaniu rozpuszczonego materiału modelowego i podporowego (rys. 9). Grubość warstwy nadruku wynosi 0,15 mm. Model drukarki, na którym drukowano bransolety to Up!3D Plus. Materiałem używanym podczas drukowania jest tworzywo sztuczne ABS (akrylonitrylo-butadieno-styren), które jest lekkie, wyróżnia się dużą twardością i elastycznością.



Rys. 9. Drukarka po skończeniu drukowania modelu

Gotowe modele przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Gotowy model

Po przygotowaniu modeli z tworzywa sztucznego, następnym krokiem było przygotowanie silikonowej matrycy do wykonania modeli woskowych. Przygotowanie matrycy polega na umieszczeniu modelu na plastycznym podłożu tak, aby podział form znajdował się na środku modelu. Model wraz z podłożem należy ułożyć w obudowie zabezpieczającej przed wycieknięciem silikonu. Wymiary obudowy muszą być tak dobrane, aby grubości ścianek matrycy silikonowej zapewniały jej zadowalającą sztywność podczas zalewania woskiem. Przygotowany w ten sposób zestaw jest gotowy do napełnienia silikonem, w wyniku czego otrzymano dolną część matrycy. Po zastygnięciu rozebrano obudowę i zdjęto plastyczne podłoże ustalające podział formy. Do wykonania drugiej części matrycy oprócz modelu wprowadzono układ wlewowy i zalano silikonem (rys. 11).

Do wykonania modelu woskowego matrycę należy prawidłowo przygotować. Obie części połączono ze sobą taśmą montażową. Roztopionym woskiem zalano przygotowaną matrycę. Po zastygnięciu wyjmuje się gotowe modele woskowe i umieszcza się na specjalnie przygotowanym trzpieniu woskowym, tzw. „choince” (rys. 12 i 13).



Rys. 11. Gotowa matryca silikonowa po rozłożeniu



Rys. 12. Model woskowy bransolety



Rys. 13. Sklejone modele woskowe wokół wlewu głównego

Tak przygotowaną choinkę zalewa się w formie przygotowanym gipsem, zmieszanym w odpowiednich proporcjach z wodą i pozostawia się do czasu utwardzenia. Następnie przygotowane formy są wypalane. W pierwszym etapie z kanałów wewnątrz form wytapiany jest wosk, a w kolejnym etapie wygrzewa się je aby nadać im wytrzymałość. Wypalone formy schładza się do temperatury odlewania i przygotowanym wcześniej stopem zalewa się formy. Zostały one zalane brązem cynowym, odpowiadającym historycznie używanym stopom, o składzie ustalonym na podstawie wcześniejszych badań. Ostatnim etapem jest wybite odlewów oraz ich obróbka powierzchniowa tzn. odcięcie od wlewu głównego i wlewów doprowadzających.

Przeprowadzone badania i eksperymenty są wkładem własnym Wydziału Odlewnictwa AGH w ramach zadania realizowanego z Muzeum Miedzi w Legnicy i Instytutem Archeologii Uniwersytetu Wrocławskiego pn. Grzybiany. Osada nadjeziorna z epoki brązu i żelaza. PROGRAM DZIEDZICTWO KULTUROWE, priorytet 5 „Ochrona zabytków archeologicznych”.

5. Wnioski

Analizom poddano szereg fragmentów form odlewniczych, pochodzących z epoki brązu z osady w Grzybianach, wykonanych z gliny, tzw. form niszczonej – właściwych dla technologii wytapianych modeli. Przeprowadzone pomiary i badania pomogły w próbach odtworzenia procesu produkcji form oraz odlewanych ozdób. Dokonana analiza zdjęć rentgenowskich fragmentów form dowodzi, że ułamki są po wytapieniu wosku oraz nie ma w nich pozostałości metalowych. Podjęte próby rekonstrukcji ozdób z epoki brązu przyniosły hipotetyczny obraz gotowych wyrobów. Prace odtworzeniowe wspomagały nowoczesne cyfrowe metody wizualizacji i rekonstrukcji. W ten sposób mogą one przyjść z pomocą w poznaniu dawnych technologii oraz poszerzyć wiedzę na temat wykonywania wyrobów w dawnych czasach. Metoda wytapianych modeli z wykorzystaniem formy ceramicznej została wykorzystana do odtworzenia technologii i wykonania odlewu bransolety.

Przeprowadzone doświadczenia pozwolą w przyszłości odbudować pracownię odlewniczą z epoki brązu.

Podziękowania

Serdeczne podziękowania dla dr hab. inż. Stanisława Rzadkosza, prof. nadzw. AGH za pomoc merytoryczną oraz umożliwienie

wykonania odlewów, a także dr inż. Joanny Kolczyk i mgr. inż. Mieszka Tenerowicza za pomoc merytoryczną podczas przygotowania artykułu.

Literatura

- [1] Dąbrowski, J. (1982). *Metalurgia epoki brązu w północno – wschodniej Polsce*, Praca zbiorowa. Pamiętniki Muzeum Miedzi Tom1 (s. 231 – 240). Legnica. Wydawnictwa Towarzystwa Przyjaciół Nauki w Legnicy.
- [2] Gierdziejewski, K. (1954). *Zarys dziejów Odlewnictwa Polskiego*. Katowice. Państwowe Wydawnictwa Techniczne.
- [3] Ossowski, G. (1889). *Osada i odlewnia bronzów przedhistorycznych w Zarzyczu, Kraków*. W drukarni Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- [4] Gedl, M. (1982). *Zarys dziejów metalurgii i brązu na ziemiach polskich do początków epoki żelaza*. Praca zbiorowa. Pamiętniki Muzeum Miedzi, Tom1 (s. 33–60). Legnica. Wydawnictwa Towarzystwa Przyjaciół Nauki w Legnicy.
- [5] Gajewski, L. (1982). *Ślady obróbki miedzi i jej stopów z wczesnej epoki żelaza w Grzybianach koło Legnicy*. Praca zbiorowa. Pamiętniki Muzeum Miedzi Tom1 (s. 147–154). Legnica. Wydawnictwa Towarzystwa Przyjaciół Nauki w Legnicy.
- [6] Hensel, Z. (1982). *Technologia odlewnictwa brązu na podstawie znalezisk w Grzybianach woj. Legnickie*. Praca zbiorowa. Pamiętniki Muzeum Miedzi Tom1 (s. 157–165). Legnica. Wydawnictwa Towarzystwa Przyjaciół Nauki w Legnicy.
- [7] Bukowski, Z. (1982). *Osiedle otwarte kultury lużyckiej w Grzybianach, woj. legnickie, w świetle dotychczasowych badań*. Praca zbiorowa. Pamiętniki Muzeum Miedzi. Tom1 (s. 13–29). Legnica. Wydawnictwa Towarzystwa Przyjaciół Nauki w Legnicy.
- [8] Ostoja–Zagórski, J. (1982). *Metalurgia brązu okresów późnobrazowego i halszackiego w północno–wschodniej Wielkopolsce i na Kujawach*. Praca zbiorowa. Pamiętniki Muzeum Miedzi. Tom1 (s. 173–186). Legnica. Wydawnictwa Towarzystwa Przyjaciół Nauki w Legnicy.
- [9] Tabor, A. (2007). *Odlewnictwo*. Kraków. Politechnika Krakowska.
- [10] Florow, A.W. (1989). *Artystyczna obróbka metali*. Warszawa. Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- [11] Perzyk, M. (2004). *Odlewnictwo*. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe – Techniczne.
- [12] Horáček, M. (2007). *Quo vadis investment casting? Latest trends in investment casting technology*. [IN] *Acta Metallurgica Slovaca* (141–145). Košice . Hutnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach.
- [13] Mager, A., Moryson, G., Cellary, A., Marciniak, I. (2011). *Zastosowanie technik rapid prototyping do wytwarzania wyrobów metalowych*. [w:] *Postęp Nauki i Techniki* nr 8, 174–182.
- [14] Giersberg, Ł., Łukaszewicz, A. (2011). *Nowoczesne metody wytwarzania w rzeźbiarstwie wykorzystujące podejście inżynierii odwrotnej*, [w:] *Postępy Nauki i Techniki* nr 6, 172–178.

Perform Reconstruction of the Cast Bracelets from the Bronze Age

Abstract

In the Bronze Age ornaments, fine art products made by Lost Wax. It had jewelry and aesthetic function, but also the supply of social status and wealth, was a sign of power and Exchange product to another product. The purpose of the article is to discuss issues related to the implementation of the newly refurbished casting bracelets to the bronze age. The implementation process were analysed castings in bronze and compares it with the modern methods of casting. To learn the design, made by reverse engineering and are ready to cast the bronze bracelets recorded using the Lost Wax method. During the execution of the bracelets rapid prototyping method. The basis for the reconstruction of the former original antique molds fragments of bronze age obtained as a result of the cooperation of the Faculty of Foundry Engineering with the Museum of Copper in Legnica. Microscopic and defectoscopic examination have made it possible for accurate knowledge technology and have made it possible to make bracelets, make the measurements, which are then used to perform three-dimensional reconstruction of the finished product. As a result, received ready cast bracelet, events that approximate the shapes of ornaments produced in the Bronze Age.