

Using CAD and CAD/CAM systems to prepare unit production for a CNC machine tool

Zastosowanie systemów CAD i CAD/CAM do przygotowania produkcji jednostkowej na obrabiarkę CNC

ANDRZEJ ZABORSKI

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2024.8-9.18>

The possibility of using contemporary CAD and CAD/CAM systems for computer-aided preparation of unit production of a product for a numerically controlled machine tool is presented. In the example of the preparation of the production of a decorative box for storing coins, a complex process of designing the product and the technological preparation of its production using a CNC engraving machine is presented. An example of integrating modern CAD (Autodesk Inventor) and CAD/CAM (PcCamPlus) systems for computer-aided production preparation is described.

KEYWORDS: computer aided preparation of unit production, CAD systems, CAD/CAM systems

Przedstawiono możliwość wykorzystania współczesnych systemów CAD i CAD/CAM do komputerowo wspomaganego przygotowania produkcji jednostkowej wyrobu na obrabiarkę sterowaną numerycznie. Na przykładzie przygotowania produkcji ozdobnej szkatułki do przechowywania monet kompleksowo zaprezentowano przebieg projektowania wyrobu i technologicznego przygotowania jego produkcji z wykorzystaniem grawerki CNC. Opisano integrację współczesnych systemów CAD (Autodesk Inventor) i CAD/CAM (PcCamPlus) w zakresie komputerowo wspomaganego przygotowania produkcji.

SŁOWA KLUCZOWE: komputerowo wspomagane przygotowanie produkcji jednostkowej, systemy CAD, systemy CAD/CAM

Wprowadzenie

W procesie komputerowo wspomaganego przygotowania produkcji realizowanej na współczesnych obrabiarkach sterowanych numerycznie coraz powszechniej stosuje się systemy CAD i CAD/CAM, które zrewolucjonizowały zarówno sposób projektowania wyrobów, jak i etap technologicznego przygotowania produkcji [1–3]. Systemy CAD/CAM umożliwiają również wykonanie symulacji obróbki, pozwalające na skorygowanie ewentualnych pomyłek już na etapie komputerowo wspomaganego przygotowania tego procesu [4–6]. Możliwe staje się również wygenerowanie kodu sterującego na wybraną obrabiarkę sterowaną numerycznie [7–10]. Z uwagi na czas konieczny do przygotowania procesu wytwarzania na obrabiarkach sterowanych numerycznie z reguły przyjmuje się, że wykorzystanie tych obrabiarek może być ekonomicznie uzasadnione w procesach przygotowania obróbki małoseryjnej lub seryjnej.

Wykorzystanie możliwości współczesnych systemów komputerowo wspomaganego przygotowania produkcji na OSN coraz częściej pozwala na ich zastosowanie również w produkcji jednostkowej. W opracowaniu przedstawiono przygotowanie i realizację produkcji jednostkowej na przykładzie wykonanej z laminatu HPL (*high pressure laminate*) ozdobnej szkatułki do przechowywania monet kolekcjonerskich (rys. 1) [1]. Prezentowana w opracowaniu ozdobna

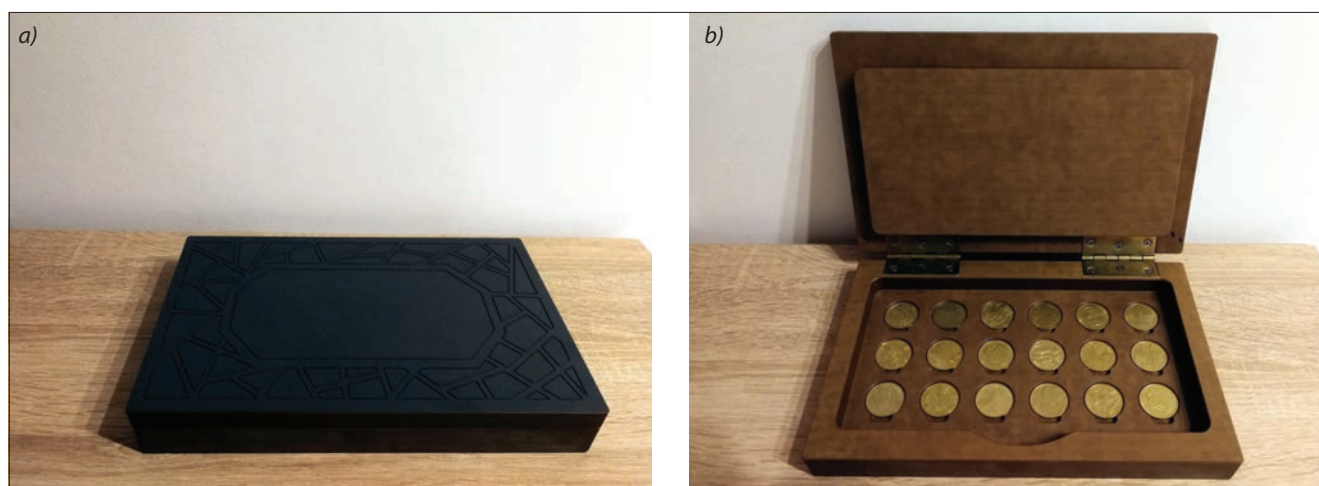


Fig. 1. Decorative box: a) closed box, b) opened box

Rys. 1. Ozdobna szkatułka: a) szkatułka zamknięta, b) szkatułka po otwarciu

* Dr hab. inż. Andrzej Zaborski, prof. PCz – andrzej.zaborski@pcz.pl, <https://orcid.org/0000-0003-1738-5034> – Katedra Technologii i Automatykacji, Politechnika Częstochowska, Częstochowa, Polska

szkatułka jest przeznaczona do przechowywania 18 monet o średnicy 27 mm i grubości około 2 mm. Założenia do realizacji projektu jej wykonania powinny brać pod uwagę wygodę wyciągania monet ze szkatułki oraz pozycjonowania ich na miejscach. Istotnym wymaganiem stawianym wobec opracowywanego projektu jest zapewnienie wykonanemu przedmiotowi oprócz funkcji użytkowej również znacznych walorów estetycznych. Zastosowano systemy CAD (Autodesk Inventor) [11] i CAD/CAM (PcCamPlus) [12, 13].

Opracowanie projektu przedmiotu

Początkowym etapem realizacji procesu przygotowania produkcji jest z reguły opracowanie trójwymiarowych modeli projektowanych części w wybranym systemie lub module CAD. Przygotowanie trójwymiarowych modeli przedmiotów stanowi punkt wyjścia do opracowania dwuwymiarowej dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej. Trójwymiarowe mode-

le służą również do opracowania technologii obróbki w wybranym systemie CAD/CAM.

Projektowanie detalu rozpoczęto od naszkicowania jego zarysu na wybranej płaszczyźnie rysunkowej (rys. 2a). Na tym etapie pracy wprowadzono wymiary projektowanego zarysu i relacje pomiędzy położeniem poszczególnych linii. Aby przejść do właściwego modelowania 3D (rys. 2b), wykorzystano opcję wyciągnięcia w celu przekształcenia dwuwymiarowego szkicu w model bryłowy. Wykonanie kolejnego szkicu (rys. 2c) na płaszczyźnie górnej projektowanego przedmiotu, po jego wyciągnięciu na zdefiniowany dystans w głąb materiału i usunięciu materiału w obrysie, pozwoliło (rys. 2d) na zdefiniowanie kształtu kieszeni. Kolejnym etapem projektowania (rys. 2e) było zdefiniowanie kształtu, wymiarów i rozmieszczenia otworów, w których będą się znajdować monety. Wyciągnięcie w głąb materiału rozmieszczonych na płaszczyźnie kieszeni okręgów (rys. 2f) pozwoliło na uzyskanie podstawowego kształtu dolnej części szkatułki.

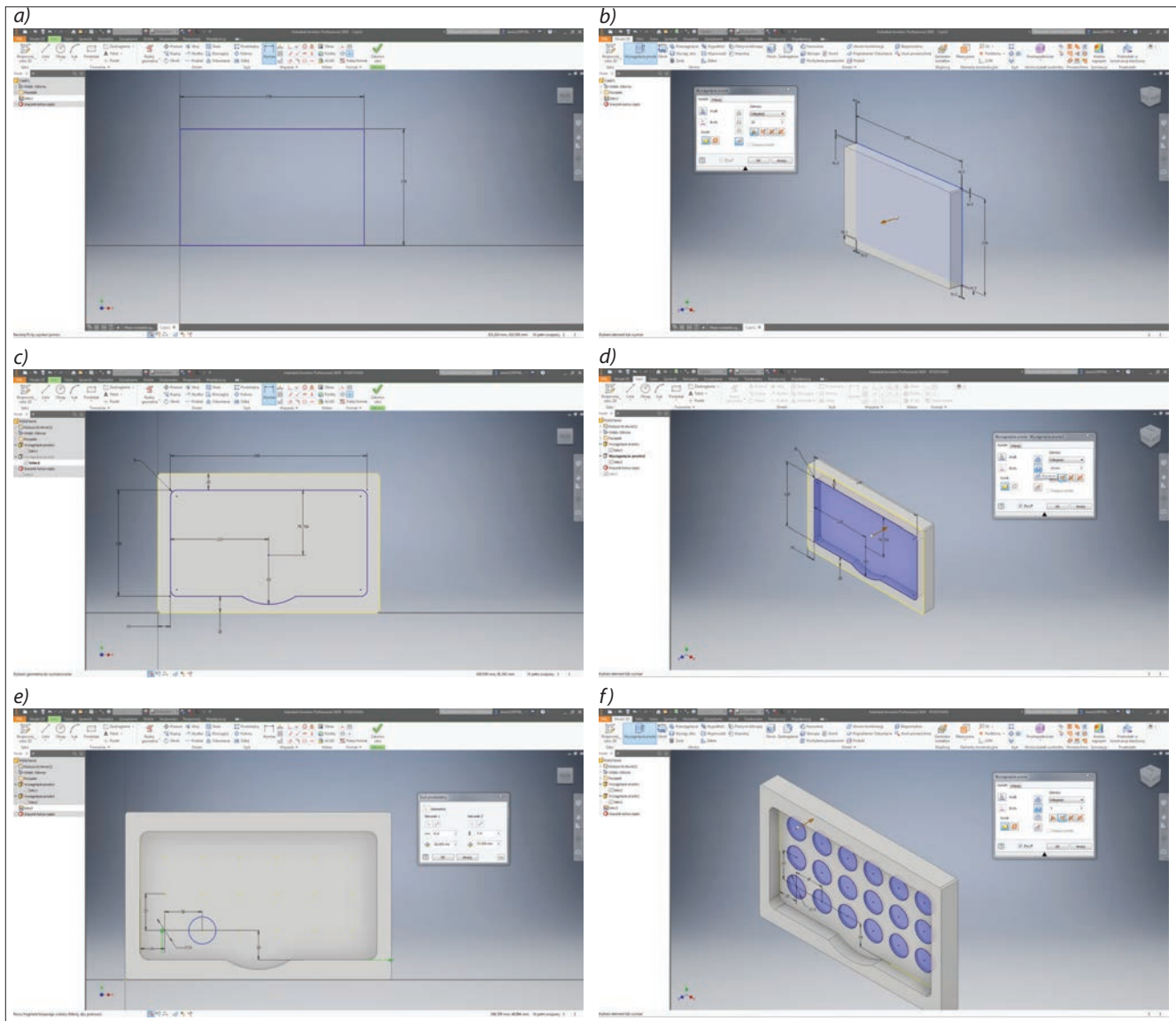


Fig. 2. Modeling the base of the decorative box: a) sketching the contour, b) extruding the contour, c) creating a sketch for the pocket, d) extruding the pocket, e) sketching for making the holes, f) extruding the holes

Rys. 2. Modelowanie podstawy szkatułki: a) szkicowanie konturu, b) wykonanie wyciągnięcia konturu, c) tworzenie szkicu pod kieszeń, d) wykonanie wyciągnięcia kieszeni, e) szkic pod wykonanie otworów, f) wykonanie wyciągnięcia otworów

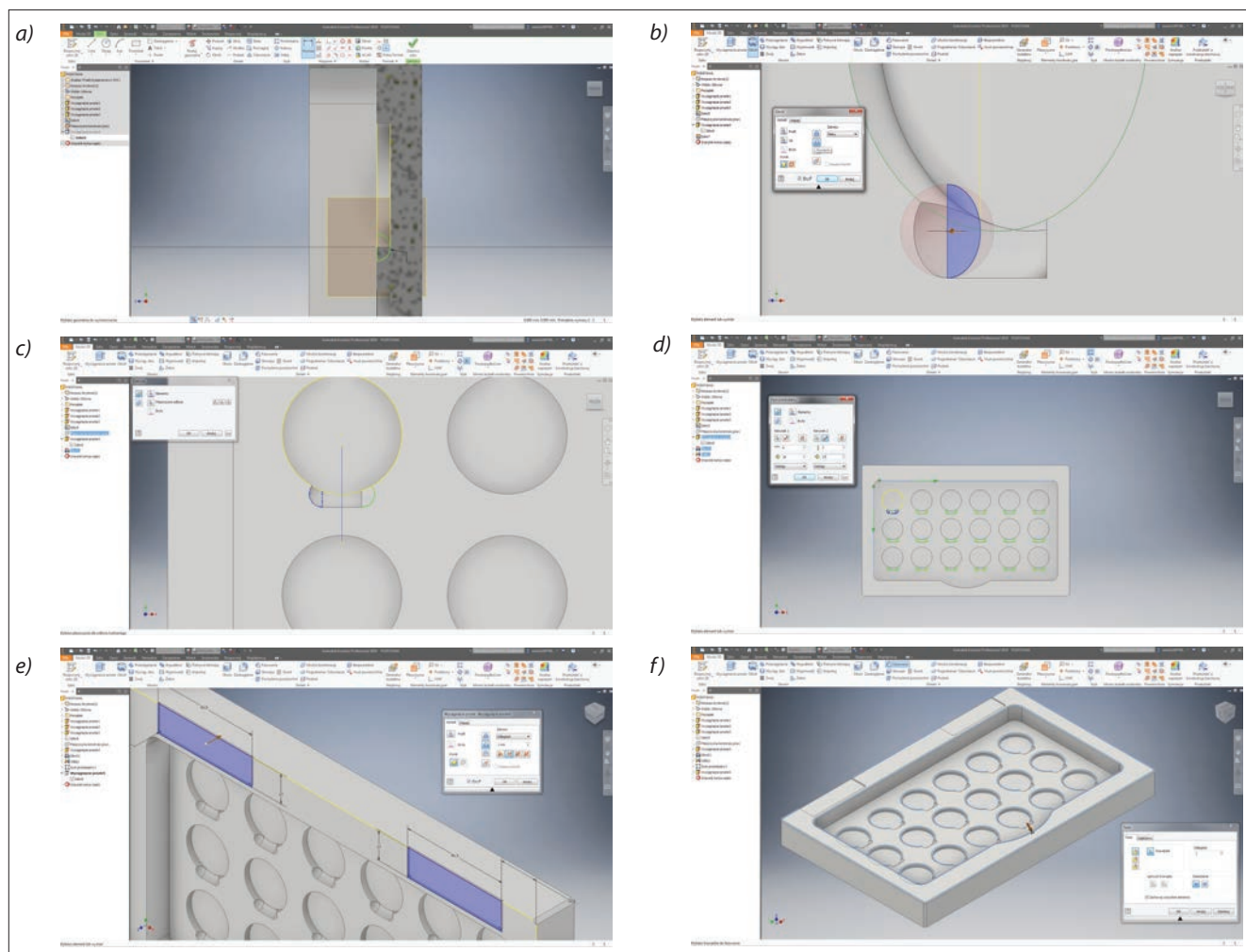


Fig. 3. Final preparation of the base of the decorative box: a) cross-section of the material at the location of the construction plane, b) using the rotation function to model the cutout, c) using the reflection function, d) duplicating the shape of the cutout, e) making a recess for the hinges, f) execution chamfers on the edges

Rys. 3. Końcowe opracowanie podstawy szkatułki: a) przekrój materiału w miejscu położenia płaszczyzny konstrukcyjnej, b) wykorzystanie funkcji obrotu do modelowania wycięcia, c) wykorzystanie funkcji odbicia, d) powielenie kształtu wycięcia, e) wykonanie zagłębienia pod zawiasy, f) wykonanie faz na krawędziach

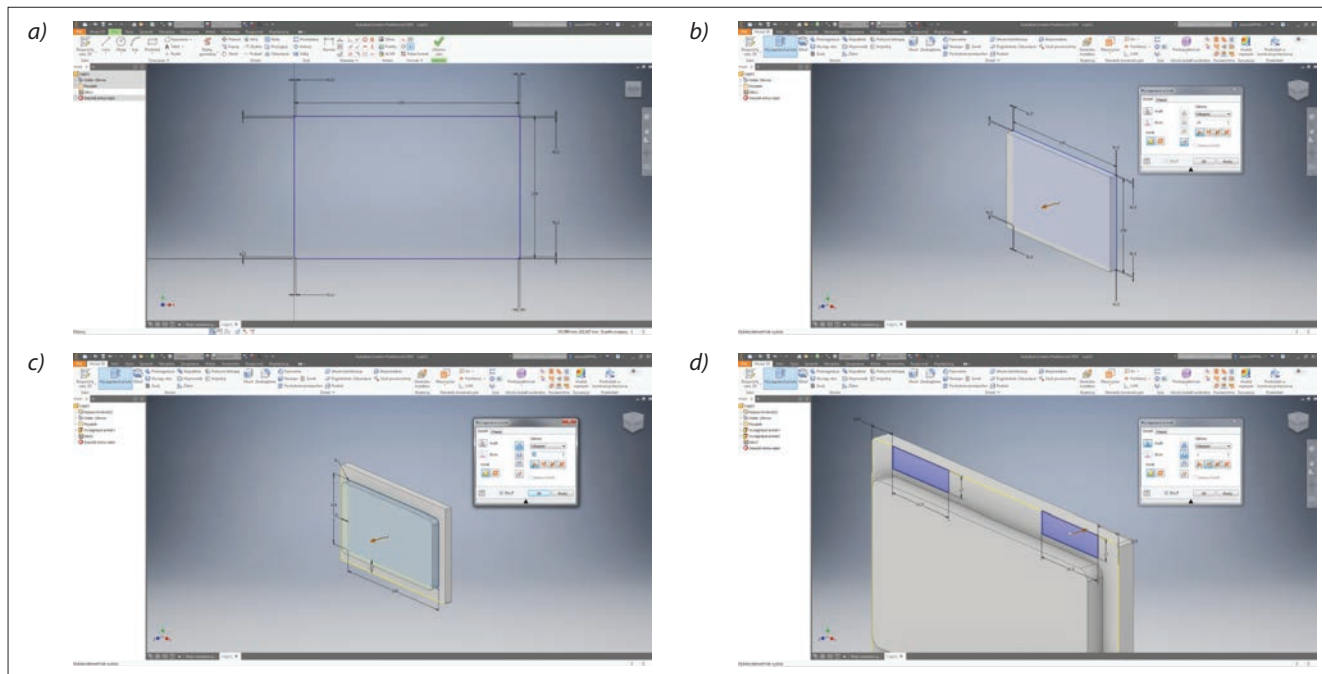


Fig. 4. Modeling the lid of the decorative box: a) sketching the contour, b) extruding the contour, c) extruding the central part of the lid area, d) designing cutouts for hinges

Rys. 4. Modelowanie pokrywy szkatułki: a) szkicowanie konturu, b) wykonanie wyciągnięcia konturu, c) wyciągnięcie środkowej części obszaru pokrywy, d) projektowanie wycięć pod zawiasy

Na kolejnym etapie prac projektowych realizowano ostateczne wykończenie kształtu wycięć w otworach (rys. 3a–b) ułatwiające wyciąganie monet z pudełka. Użycie funkcji odbicia (rys. 3c) i szyku prostego umożliwiło szybkie powielenie opracowanego kształtu wycięcia (rys. 3d) na wszystkie otwory pod monety. Ostatnim etapem prac projektowych było zaprojektowanie kształtu otworów pod zawiasy (rys. 3e) oraz wykonanie faz na krawędziach kieszeni i otworów (rys. 3f).

W analogiczny sposób przygotowano projekt pokrywy projektowanej szkatułki. Rozpoczęto od dwuwymiarowego szkicowania (rys. 4a), poprzez trójwymiarowe wyciągnięcie (rys. 4b), wyciągnięcie środkowej części obszaru pokrywy (rys. 4c) i projektowanie wycięć pod zawiasy (rys. 4d) – w ten sposób uzyskano ostateczny kształt pokrywy.

Ostateczny kształt projektowanej podstawy szkatułki i pokrywy szkatułki po wykonaniu wszystkich operacji projektowych przedstawiono na rys. 5.

Opracowanie dokumentacji 2D

Przygotowanie trójwymiarowego modelu projektowanej szkatułki umożliwiło wygenerowanie dwuwymiarowej dokumentacji wykonawczej przygotowanej do produkcji detalu. Modelowanie trójwymiarowe eliminuje konieczność pracochłonnego wykonywania kolejnych rzutów i widoków elementu, ponieważ cała dwuwymiarowa dokumentacja powstaje niemal au-

tomatycznie. Autodesk Inventor umożliwia przygotowanie rysunków 2D projektowanych elementów na podstawie projektu 3D. Po wyborze układu, w jakim będzie zaprezentowany detal, wyborze wykorzystanych rzutów i przekrojów oraz po zwymiarowaniu wybranych wymiarów uzyskuje się gotowe rysunki wykonawcze 2D podstawy (rys. 6a) i pokrywy (rys. 6b) projektowanej szkatułki. Co istotne, zmiana geometrii modelu bryłowego umożliwia automatyczne zmodyfikowanie wszystkich rzutów, widoków i przekrojów. Ułatwia i przyspiesza to aktualizację dokumentacji 2D.

Przygotowanie procesu obróbki na OSN

Technologiczny etap przygotowania obróbki podstawy i pokrywy szkatułki na grawercie sterowanej numerycznie wykonano z użyciem systemu PcCamPlus przeznaczonego do obrabiarek firmy Kimla. Wykorzystano opracowane w programie Autodesk Inventor modele 3D obu części szkatułki, które po zwymiarowaniu i opisaniu zostały zapisane w dwóch formatach: PDF i DXF.

Pliki w formacie DXF zostały użyte do przygotowania obróbki w programie CAM (PcCamPlus). Na ich podstawie zdefiniowano ścieżki, po których będą się poruszać narzędzia. Początkowym etapem wykonania elementów było wgranie ich kształtów w plikach DXF do programu PcCamPlus (rys. 7a). Obrisy podstawy i pokrywy nałożono na kształt zdefiniowanego

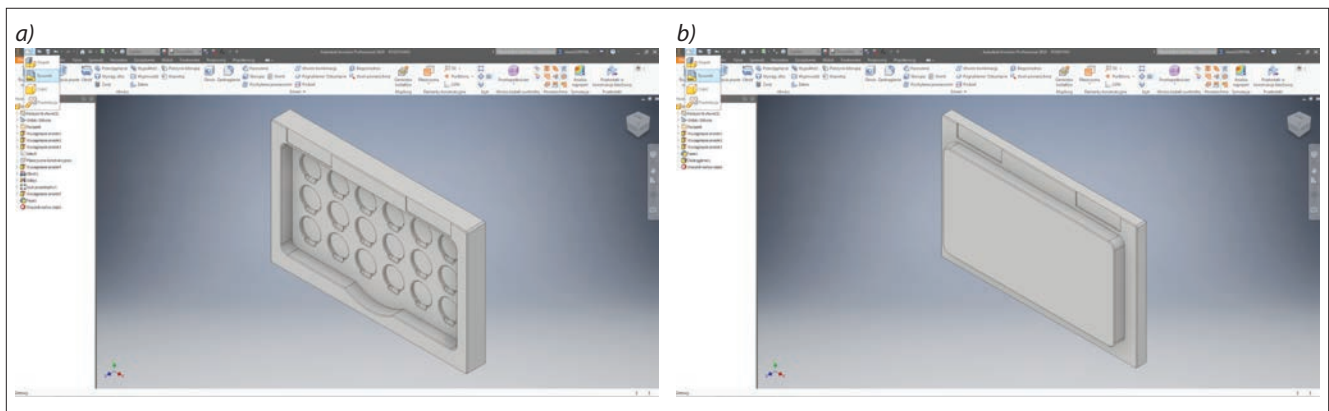


Fig. 5. The finished model of the decorative box: a) base model, b) cover model
Rys. 5. Gotowy model szkatułki: a) model podstawy, b) model pokrywy

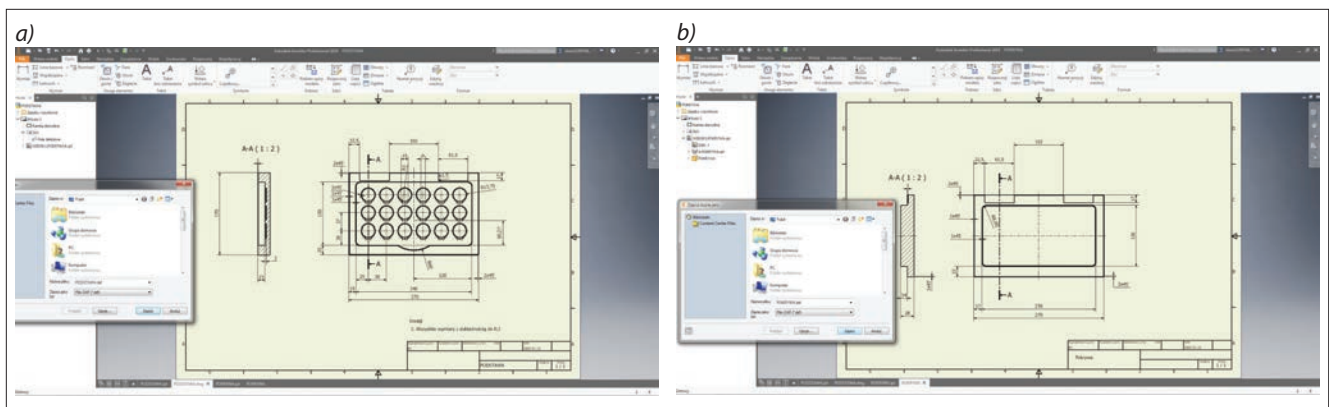


Fig. 6. Preparation of manufacturing documentation for the decorative box: a) manufacturing drawing of the base, b) manufacturing drawing of the cover
Rys. 6. Wykonanie dokumentacji wykonawczej szkatułki: a) rysunek wykonawczy podstawy, b) rysunek wykonawczy pokrywy

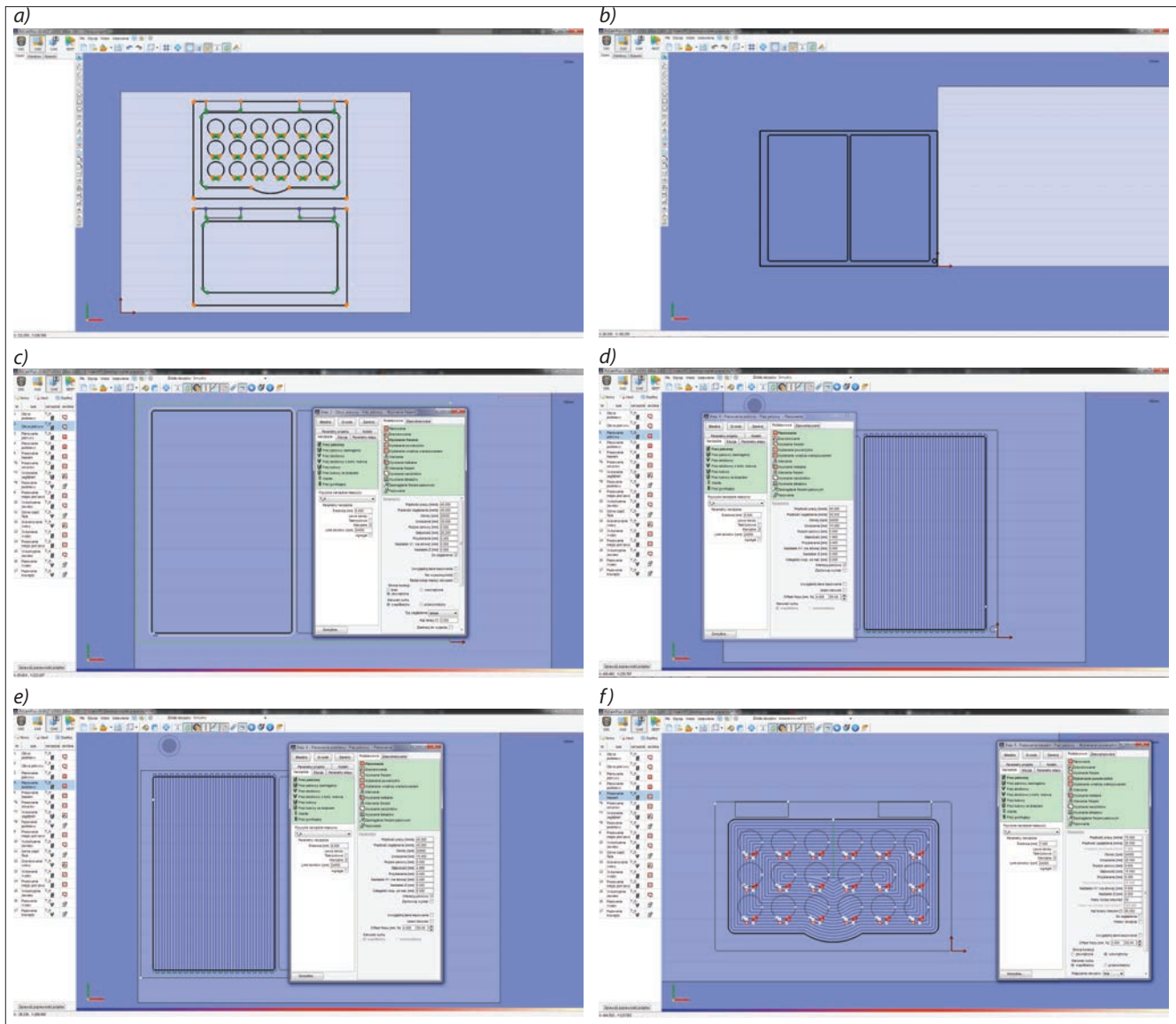


Fig. 7. Preparing the processing of the base and cover of the decorative box: a) loading the geometry of the base and cover, b) entering the outline of the blank and defining the zero point, c) generating a path for cutting the outline of the cover, d) planning the cover surface, e) planning the base surface, f) machining of pockets in the base

Rys. 7. Przygotowanie obróbki podstawy i pokrywy szkatułki: a) wczytanie geometrii podstawy i pokrywy, b) wprowadzenie obrysu półwyrobu i definiowanie punktu zerowego, c) generowanie ścieżki pod wycięcie obrysu podstawy i pokrywy, d) planowanie powierzchni pokrywy, e) planowanie powierzchni podstawy, f) obróbka kieszeni w podstawie

prostokątnego półwyrobu. Obrysy zostały oddalone od siebie na odległość średnicy frezu. Punkt zerowy ustawiono w prawym dolnym rogu arkusza (rys. 7b). Po wybraniu rodzaju obróbki, narzędzia i parametrów pracy wygenerowano ścieżkę obróbki pod wycięcie obrysu podstawy i pokrywy (rys. 7c). Po obróceniu półwyrobu zrealizowano planowanie powierzchni podstawy (rys. 7d) i pokrywy (rys. 7e), następnie wykonano kieszeń w podstawie (rys. 7f).

Kolejna grupa zabiegów obróbkowych pozwoliła na zrealizowanie obróbki otworów (rys. 8a) i wycięć ułatwiających wyjmowanie monet (rys. 8b) oraz fazowanie krawędzi (rys. 8c). Wykonano również wycięcia pod zawiasy (rys. 8d).

Aby poprawić walory estetyczne górnej powierzchni pokrywy, na jej powierzchnię nałożono ozdobny wzór geometryczny. Skorzystano z dostępnej w internecie bazy plików DXF zawierającej wzory geometryczne do bezpłatnego pobrania [14]. Wybrany wzór został

zaimportowany do programu, a następnie przeskalowany i wycentrowany, tak aby wpasował się w obrys pokrywy (rys. 9a). Pozwoliło to na realizację ozdobnego grawerunku na powierzchni pokrywy (rys. 9b). W kolejnym zabiegu wykonano wyspę w pokrywie, której zadaniem jest utrzymanie monet w otworach (rys. 9c). Zrealizowane zostały również wycięcia pod zawiasy pokrywy (rys. 9d) oraz niezbędne fazowania wybranych krawędzi.

W trakcie realizacji wszystkich zabiegów obróbkowych należało zdefiniować parametry pracy wybranych narzędzi skrawających. Zdefiniowano parametry ruchu, naddatki i grubości zdejmowanych warstw skrawanych w poszczególnych kierunkach ruchu narzędzia. Dobrano również parametry skrawania. W doborze parametrów obróbki uwzględniono, iż laminat HPL (powstały z kilku lub kilkunastu warstw papieru impregnowanego żywicą) jest materiałem trudnym w obróbce.

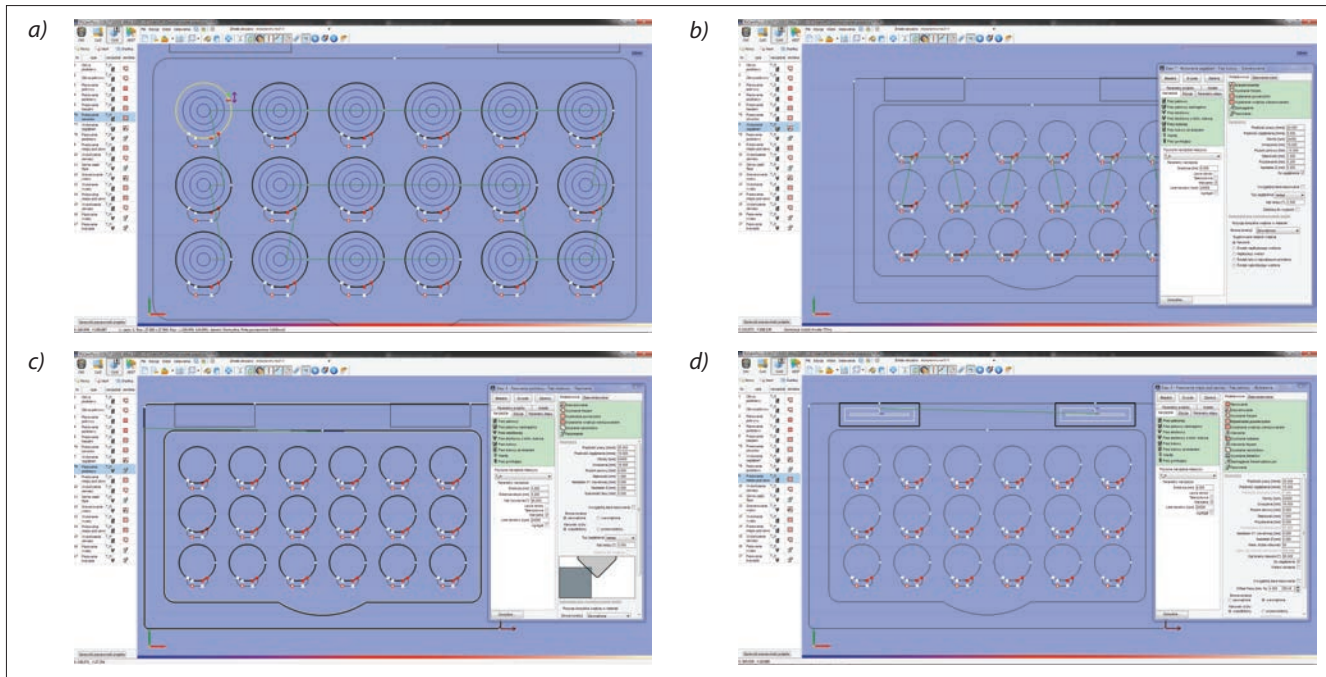


Fig. 8. Preparation of processing in the base cutout: a) making holes for coins, b) making cutouts to facilitate coin removal, c) chamfering the edges of the holes, d) making space for hinges

Rys. 8. Przygotowanie obróbki w wycięciu podstawy: a) wykonanie otworów pod monety, b) wykonanie wycięć ułatwiających wyjmowanie monet, c) fazowanie obrzeża otworów, d) wykonanie miejsca pod zawiasy

Po zakończeniu definiowania wszystkich zabiegów technicznych przeprowadzono weryfikację procesu obróbki. Pozwoliła ona na wykrycie ewentualnych błędów popełnionych w trakcie definiowania procesu i możliwych kolizji. Weryfikacja poprawności realizacji przygotowanego procesu wytwarzania oraz eliminacja ewentualnych błędów na etapie wirtualnej symulacji obróbki umożliwiły wygenerowanie kodu sterującego obrabiarką numeryczną. W wyniku przeprowadzenia procesu przygotowania produkcji uzyskano gotowy kod sterujący pozwalający na realizację

obróbki. Można go użyć na dowolnej maszynie spełniającej warunki dotyczące możliwości zastosowania właściwych narzędzi i wymiarów wymaganej przestrzeni roboczej, potrzebnej do wykonania zaplanowanych elementów.

Realizacja procesu obróbki na grawercie OSN

Obróbkę zrealizowano na grawercie BlackBOX 4037 firmy Kimla (rys. 10a) mającej parametry konstrukcyjne i techniczne umożliwiające poprawne wykonanie

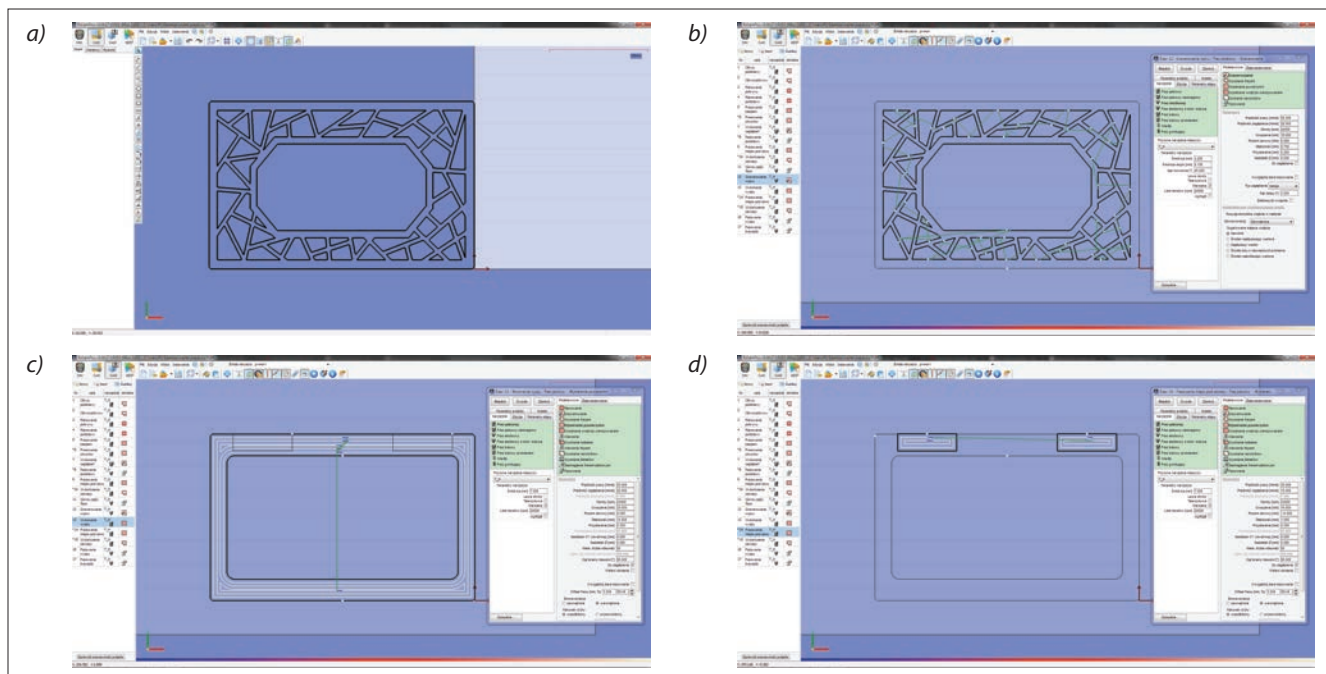


Fig. 9. Preparation of the cover processing: a) setting the pattern on the cover, b) decorative engraving of the surface, c) creating an island in the cover, d) making space for the cover hinges

Rys. 9. Przygotowanie obróbki pokrywki: a) ustawienie wzoru na pokrywce, b) wykonanie ozdobnego grawerowania powierzchni, c) wykonanie wyspy w pokrywce, d) wykonanie miejsca pod zawiasy pokrywki

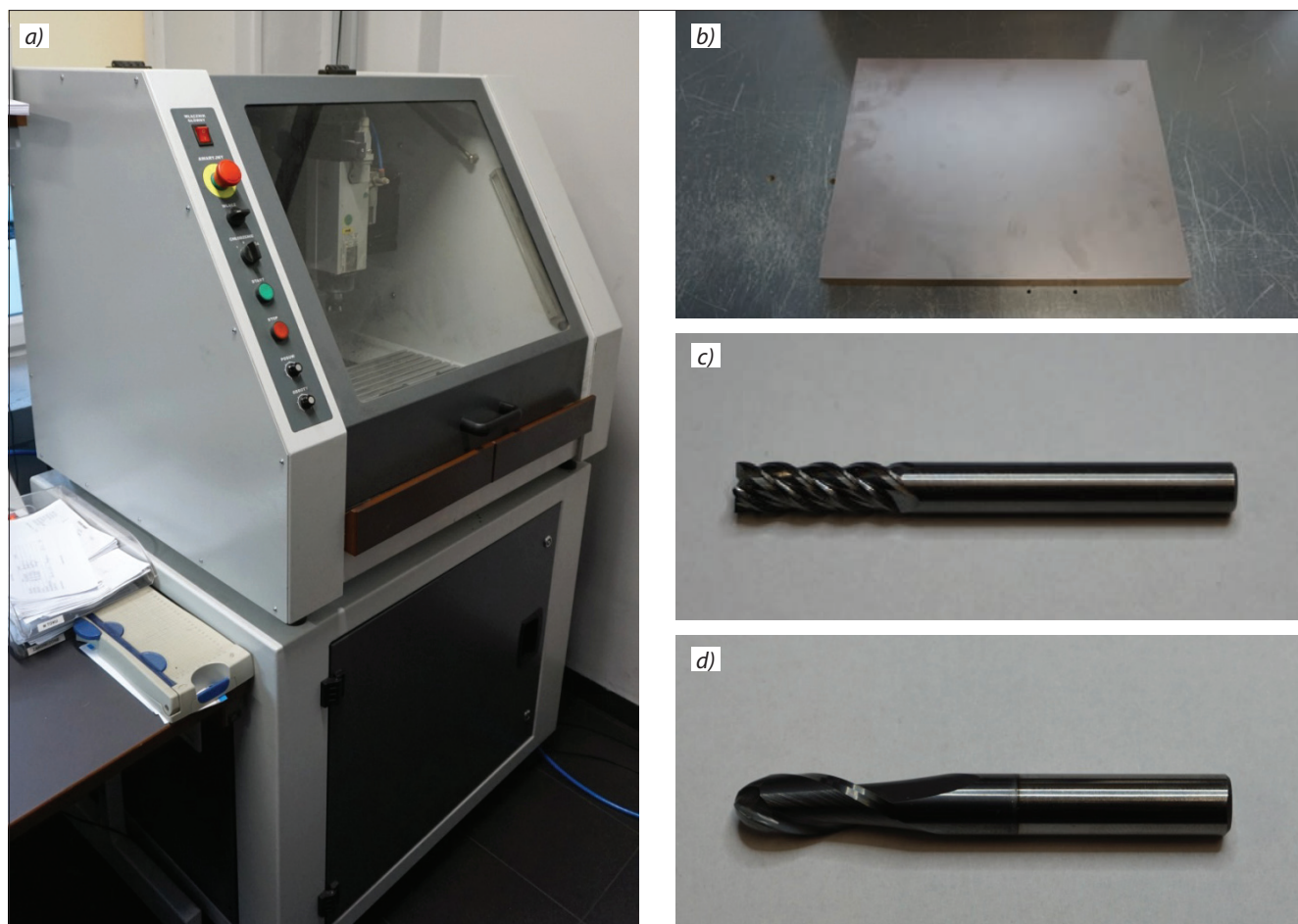


Fig. 10. Implementation of the machining process: a) Kimla BlackBOX 4037 engraving machine, b) HPL laminate sheet, c) four-flute end mill, d) end mill with a ball end

Rys. 10. Realizacja procesu obróbki: a) grawerka Kimla BlackBOX 4037, b) arkusz laminatu HPL, c) frez palcowy czteropiórowy, d) frez palcowy z czołem kulistym

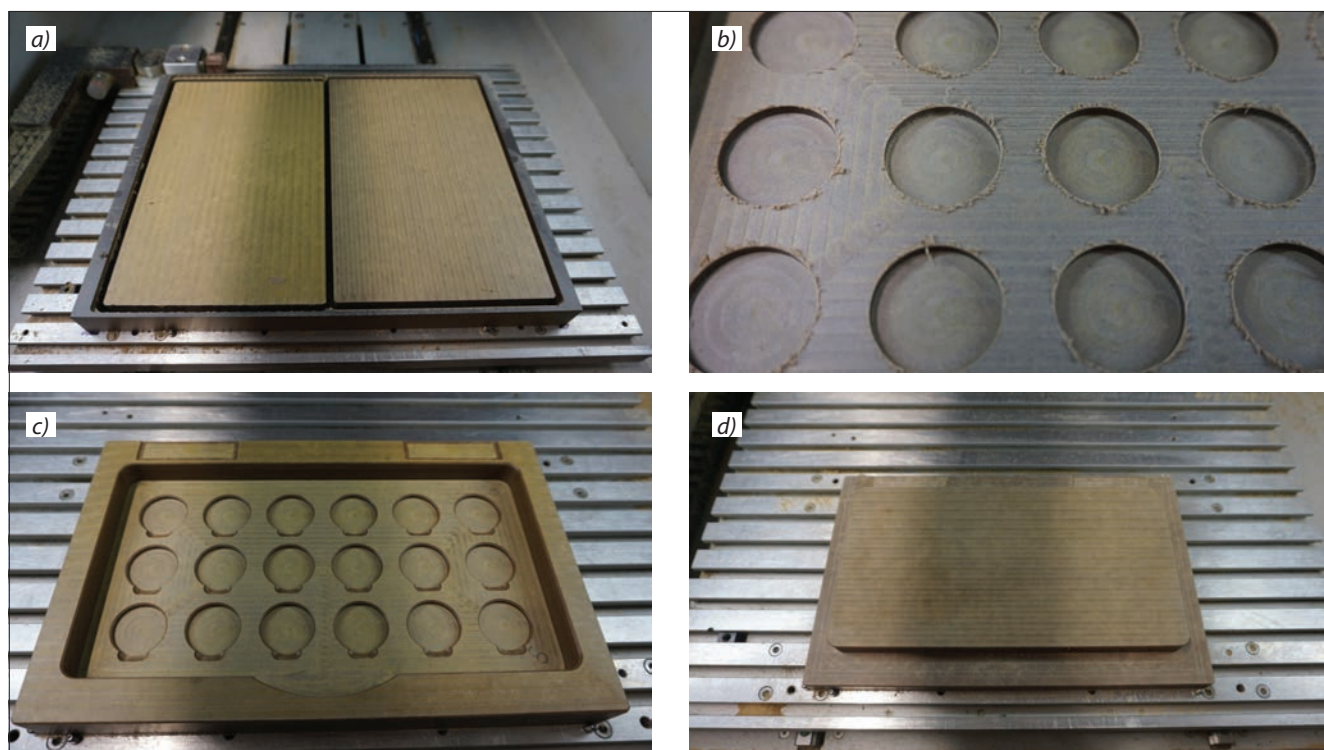


Fig. 11. Subsequent processing stages: a) appearance of the sheet after the contour processing stage and planing, b) appearance of holes without chamfers, c) representation of the base after all processing stages, d) cover after all processing stages

Rys. 11. Kolejne etapy obróbki: a) wygląd arkusza po etapie obróbki obrysu i wykonaniu planowania, b) wygląd otworów bez faz, c) przedstawienie podstawy po wykonaniu wszystkich etapów obróbki, d) pokrywa po wykonaniu wszystkich etapów obróbki

opracowanego procesu obróbki w wybranym materiale. Obrabiarka jest całkowicie zabudowana, co ze względu na redukcję poziomu hałasu pochodzącego od wrzeciona pozwala na jej wykorzystanie również w pomieszczeniach biurowych. Wykonanie detalu było możliwe dzięki życzliwości firmy Kimla, która udostępniła obrabiarkę wraz z niezbędnym oprzyrządowaniem.

W procesie obróbki zastosowano następujące narzędzia skrawające: frez palcowy dwupiórowy o średnicy $\varnothing 3$ mm użyty do wykończenia miejsc pod zawiasy w podstawie i pokrywie, frez grawerski o średnicy $\varnothing 3,2$ mm użyty do wykonania ozdobnego grawerowania na górnej części pokrywy, frez stożkowy o średnicy $\varnothing 4$ mm użyty do wykonania faz na wszystkich przeznaczonych do tego krawędziach, frez palcowy czteropiórowy o średnicy $\varnothing 8$ mm (rys. 10c) użyty do planowania powierzchni podstawy i pokrywy, frez palcowy z czołem kulistym o średnicy 6 mm (rys. 10d) użyty do wykonania zagłębień ułatwiających wyciąganie monet i frez palcowy czteropiórowy o średnicy $\varnothing 6$ mm użyty do wycinania obrysów z arkusza laminatu HPL.

Początkowy etap procesu wytwarzania pokazano na rys. 11a przedstawiającym arkusz laminatu po wykonaniu pierwszych czterech etapów produkcji: wycięcia obrysu podstawy i pokrywy oraz planowania powierzchni podstawy i pokrywy. Na rys. 11b zaprezentowano wykonane otwory pod monety przed fazowaniem. Na kolejnych fotografiach widać podstawę (rys. 11c) i pokrywę (rys. 11d) po zakończeniu procesu obróbki na grawercie. Brakujące otwory montażowe pod wkręty mocujące zawiasy zostały wykonane wiertarką ręczną na etapie montażu obu części szkatułki. Po zakończeniu obróbki materiał, z którego szkatułka została wykonana, został zaimpregnowany olejem technicznym w celu konserwacji i uzyskania lepszego efektu wizualnego.

Gotowa szkatułka jest masywna i dosyć ciężka nawet bez zawartości monet. Dzięki właściwie ukształtowanym zagłębieniom wyjęcie monet z otworów nie sprawia problemu.

Podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono przykład kompleksowego przygotowania procesu produkcji – począwszy od koncepcji, poprzez zapis konstrukcji, opracowanie dokumentacji, aż do przygotowania technologii wytwarzania na grawerkę sterowaną numerycznie. Użycie w przygotowaniu procesu wytwarzania współczesnych systemów CAD i CAD/CAM nie tylko znacznie skróciło sam proces projektowania i opracowania technologii, ale również poprawiło jakość realizowanych procesów wytwarzania. Wprowadzenie do procesów przygotowania produkcji współczesnych systemów komputerowego wspomaganie powoduje także, iż w istotny sposób skraca się czas potrzebny na wdrożenie danego wyrobu do produkcji. Pozwala to na bardzo szybkie przygotowanie jednostkowej produkcji wyrobu o skomplikowanych kształtach.

Integracja programów CAD (Autodesk Inventor) i CAD/CAM (PcCamPlus) umożliwiła połączenie ich funkcjonalności i wykonanie wyrobów o kształtach dotychczas niemożliwych lub bardzo trudnych do realizacji, cechujących się przy tym znacznie poprawionymi właściwościami estetycznymi oraz użytkowymi.

LITERATURA

- [1] Błachowicz W. „Komputerowe wspomaganie procesu przygotowania produkcji wyrobu przy wykorzystaniu systemów CAx”. Praca dyplomowa inżynierska. Częstochowa: Katedra Technologii i Automatykacji. Politechnika Częstochowska (2020).
- [2] Tagowski M., Zaborski A. „Przygotowanie produkcji wyrobów przy zastosowaniu systemów CAD i CAD/CAM”. *Mechanik. 7* (2015): 568/849–856, <https://doi.org/10.17814/mechanik.2015.7.305>.
- [3] Tagowski M., Zaborski A. „Przygotowanie produkcji wyrobów na OSN przy zastosowaniu systemów CAD/CAM”. *Mechanik. 7* (2016): 846–847, <https://doi.org/10.17814/mechanik.2016.7.201>.
- [4] Tagowski M., Zaborski A. „Komputerowo wspomaganie przygotowanie wykonania oprzyrządowania technologicznego z wykorzystaniem systemów CAD/CAM”. *Mechanik. 7* (2017): 578–580, <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.7.78>.
- [5] Zaborski A. „Przygotowanie produkcji z zastosowaniem systemów CAD i CAD/CAM”. *Mechanik. 7* (2018): 567–569, <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.7.86>.
- [6] Zaborski A. „Komputerowo wspomaganie przygotowanie produkcji wyrobów na tokarkę CNC w zautomatyzowanej linii produkcyjnej”. *Mechanik. 7* (2019): 456–458, <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.7.55>.
- [7] Zaborski A. „Przygotowanie produkcji elementów silnika spalinowego przy zastosowaniu systemów CAD i CAD/CAM”. Red. R. Trębiński. „Komputerowe wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji”. Warszawa: Wydawnictwo WAT (2020): 303–313.
- [8] Zaborski A. „Przygotowanie produkcji detalu na OSN z zastosowaniem systemów CAD i CAD/CAM”. Red. R. Trębiński. „Aspekty komputerowego wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji”. Cz. 1. Warszawa: Wydawnictwo WAT (2021): 303–312.
- [9] Zaborski A. „Komputerowo wspomaganie przygotowanie produkcji wyrobu na frezarki sterowane numerycznie”. Red. R. Trębiński. „Aspekty komputerowego wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji”. Cz. 2. Warszawa: Wydawnictwo WAT (2022): 277–290.
- [10] Zaborski A. „Przygotowanie produkcji wyrobu na frezarki sterowane numerycznie z zastosowaniem systemów CAD i CAD/CAM”. Red. R. Trębiński. „Aspekty komputerowego wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji”. Cz. 3. Warszawa: Wydawnictwo WAT (2023): 201–219.
- [11] www.autodesk.pl.
- [12] www.kimla.pl.
- [13] www.youtube.com/@kimla-pccamplus5689.
- [14] www.3axis.co/dxf-files. ■