

KONSTRUKCJA I WYKONANIE FREZARKO GRAWERKI DO PROCESU DYDAKTYCZNEGO

Streszczenie

W pracy przedstawiono przebieg konstruowania frezarko grawerki sterowanej numerycznie przy pomocy programu Autodesk Inventor. Obrabiarka została wykonana zgodnie z założeniami projektowymi. Konstrukcja została wykonana i wstępnie przetestowana.

WSTĘP

Od wielu wieków człowiek stosuje różne rodzaje obróbek materiałów. Jedną z nich jest obróbka ubytkowa która jest nieustannie udoskonalana. Pracę człowieka zaczęły zastępować maszyny, które ciągle ewoluują. Pierwsza maszyna, która pracowała w systemie sterowania numerycznego powstała w Stanach Zjednoczonych w latach 50-tych. w U.S. Air Force z udziałem Massachusetts Institute of Technology w Cambridge. Była to obrabiarka z pionowym wrzecionem, liniową interpolacją 3D i binarnie kodowaną taśmą dziurkowaną [3].

Popularność maszyn sterowanych numerycznie ciągle wzrasta. Dzięki wielu poradnikom oraz łatwemu dostępowi do znormalizowanych elementów składowych konstrukcji mechanicznej i elektronicznej oraz narzędzi wiele firm a także wielu amatorów projektuje i buduje obrabiarki dla własnych potrzeb. Jednak tematyka projektowania i budowy obrabiarek jest bardzo obszerna. Istnieje wiele fachowych publikacji pisanych wiele lat temu [2, 3, 4] które dają jednak wiedzę przydatną tylko podczas obliczeń i konstruowaniu części mechanicznej obrabiarek. Wiedzę na temat napędu i sterowania można czerpać z nowszej literatury [1, 5], między innymi z artykułów w literaturze fachowej i internetu.

Dzięki wielu zaletom obrabiarek skrawających sterowanych numerycznie widoczny jest ich gwałtowny wzrost szczególnie w rozwiniętym przemyśle, a także w mniejszych zakładach jak również w warsztatach amatorów i pasjonatów maszyn sterowanych numerycznie.

W artykule zostanie zaprezentowany przebieg założeń konstrukcyjnych, obliczeń sił skrawania, procesu projektowania, budowy oraz wstępnego sprawdzenia poprawności wykonania zbudowanej frezarko grawerki sterowanej numerycznie.

1. ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE

Projektowanie elementów maszyny, z których ma się składać frezarko grawerka obejmuje szereg prac związanych z obliczeniami i konstrukcją. Celem tego jest określenie wymagań stawianych konstrukcji i ustalenie założeń w sprawie wykonania i montażu, a także dobór odpowiednich materiałów konstrukcyjnych, optymalizacja wymiarów oraz kształtów poszczególnych części. Podczas projektowania maszyny trzeba przeanalizować wiele czynników, które potem należy uwzględnić w projekcie [4].

Głównym założeniem jakie zostało postawione na wstępie to możliwości obróbki jaka będzie wykonywana na projektowanej frezarko grawerce. Między innymi frezowanie prototypowych płytek drukowanych PCB szeroko wykorzystywanych w amatorskich układach elektronicznych, grawerowanie w drewnie, tworzywach sztucznych i metalach kolorowych. Pole robocze stołu przyjęto o formacie A4. Konstrukcja obrabiarki ma powstać przy znacznym

udziale części znormalizowanych i przy użyciu ograniczonych możliwości technologicznych. Po uwzględnieniu przyjętych warunków założono, że dokładność będzie na poziomie 0,05 mm przy obróbce płytek drukowanych PCB oraz do 0,1 mm przy obróbce pozostałych materiałów wymienionych w założeniach. Jako napęd główny zaplanowano wysokoobrotowe wrzeciono z regulowaną prędkością obrotową. Wybór ten jest spowodowany tym, że praca z frezem grawerskim wymaga wysokich obrotów napędu głównego rzędu kilkudziesięciu tysięcy obrotów na minutę.

1.1. Założenia obliczeń sił wstępnych podczas obróbki

Charakterystyka procesu frezowania omawiana jest w wielu pracach [2, 3, 6, 7,8]. Aby dokonać odpowiedniego doboru części do projektowanej frezarko grawerki należy przeprowadzić szereg obliczeń.

Na początku dokonano obliczeń głównej siły skrawania. Według postawionych założeń co do obróbki jaka będzie wykonywana na projektowanej obrabiarence wybrano aluminium jako materiał, który może stawiać największy opór podczas skrawania. W obliczeniach należy przyjąć sytuację ekstremalną czyli frezowanie z szerokością odpowiadającą średnicy freza. Wykorzystano przy tym ogólnie znaną zależność literaturową [3]. Przyjęto następujące wartości parametrów: głębokość skrawania 1 mm, szerokość frezowania 8 mm, ilość krawędzi skrawających narzędzia 2.

Obliczoną siłę należy pomnożyć dodatkowo przez współczynnik bezpieczeństwa równy 1,5 obejmujący m.in. zużycie narzędzia. Od tego momentu do dalszych obliczeń będzie używana wyliczona siła F_c powiększona o współczynnik bezpieczeństwa. Z obliczeń otrzymano wartość siły F_c równą 81N.

Następnie po sile głównej skrawania należy obliczyć moc skrawania netto jaką powinno przenosić wrzeciono wykorzystywane we frezarko grawerce. Przyjęto następujące parametry: obroty wrzeciona równe 10000 obr/min, moc wrzeciona 1 kW. Wyliczono rzeczywistą moc skrawania która wynosi 0,56 kW. Przyrównując do mocy nominalnej posiadanej przez założone wrzeciono Kress FME 1050 potwierdzono, że założony napęd ruchu głównego firmy Kress jest wystarczający do spełnienia wymagań postawionych w założeniach.

Mając już wszystkie potrzebne dane i obliczenia sił można przejść do obliczeń wytrzymałościowych i sztywności newralgicznych elementów projektowanej obrabiarki. Przy powyżej wyliczonej wartości siły posuwowej przedstawione zostaną tylko obliczenia ugięć wałków liniowych oraz elementów suportu (oś Z) gdyż tylko te części będą decydowały o sztywności całej maszyny. Odchylenia od właściwego położenia będą miały znaczący wpływ na dokładność obrabianego przedmiotu. Obliczenia pozostałych elementów konstrukcji można pominąć ze względu na znikomy wpływ na dokładność.

Następnie wyliczono siłę pionową jaką będzie wywierać śruba osi Z, dociskająca frez do przedmiotu obrabianego, a która wynosi 400 N. Obliczoną siłę można teraz wykorzystać do obliczenia strzałki ugięcia prowadnicy. Na podstawie literatury [9] obliczono strzałkę ugięcia prowadnicy obrabiarki, która wyniosła 0,09 mm. W układzie rzeczywistym siły będą rozkładać się na cztery łożyska kulkowe liniowe, więc ugięcie będzie miało mniejszą wartość. Jednakże podczas obliczania wytrzymałości i sztywności należy brać pod uwagę, że względów bezpieczeństwa, przypadki ekstremalne.

Po wałkach liniowych niepodpartych osi X będzie się poruszał cały suport wrzeciona. Przypadek ekstremalny dla tych prowadnic występuje wtedy, gdy suport znajduje się w połowie ich długości wraz z opuszczonym maksymalnie do dołu wózkiem osi Z. Siła działająca na frez występuje na ramieniu suportu i tworzy dźwignię, która powoduje uginanie się prowadnic. Odpowiednio obliczono ugięcia dla dwóch prowadnic które wynoszą 0,02 mm i 0,04 mm. Podobnie jak w poprzednim przypadku siły powodujące ugięcia będą rozkładać się na cztery łożyska liniowe.

Także po wałkach liniowych niepodpartych porusza się część suportu osi Z wraz z zamocowanym wrzecionem. Ugięcie obliczono jak w pozostałych przypadkach czyli gdy siła działa w połowie długości prowadnicy tworząc dźwignię i wyniosło ono 0,09 mm.

1.2. Wirtualny projekt obrabiarki

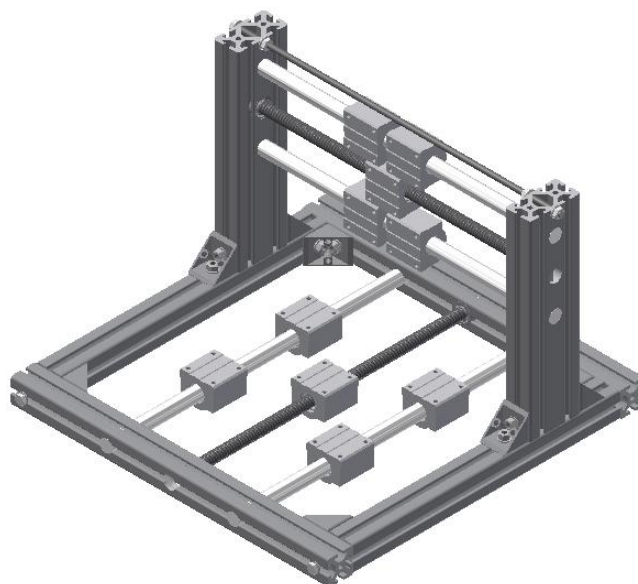
Wykonanie projektu w programie Autodesk Inventor [10] odbywa się przez tworzenie poszczególnych trójwymiarowych części prototypowej konstrukcji w tak zwanych plikach części o rozszerzeniu .ipt. Potem aby złożyć konstrukcję w całość tworzy się plik złożenia o rozszerzeniu .iam, do którego dodaje się wykonane wcześniej pliki części a następnie łączy za pomocą wiązań. Na podstawie pliku złożenia można utworzyć potem rysunek złożeniowy konstrukcji, a wykorzystując pliki części można wykonać rysunki wykonawcze każdej z nich. Pliki rysunków mogą mieć rozszerzenie .idw lub .dwg. Pliki z rozszerzeniem .dwg są edytowalne także w programie AutoCAD.

Zgodnie z przedstawionymi na początku niniejszego opracowania założeniami główny szkielet konstrukcji frezarko grawerki ma się składać z profili aluminiowych. Jako że są to elementy znormalizowane nie ma potrzeby samodzielnego odwzorowania ich w programie CAD gdyż są dostępne próbki na stronie internetowej [11]. Próbki te można zaimportować do programu Autodesk Inventor oraz edytować. Z tego względu nie omawiano szczegółowo tworzenia poszczególnych części, złożeń i rysunków. Szkielet maszyny po złożeniu elementów przedstawiono na rysunku 1.

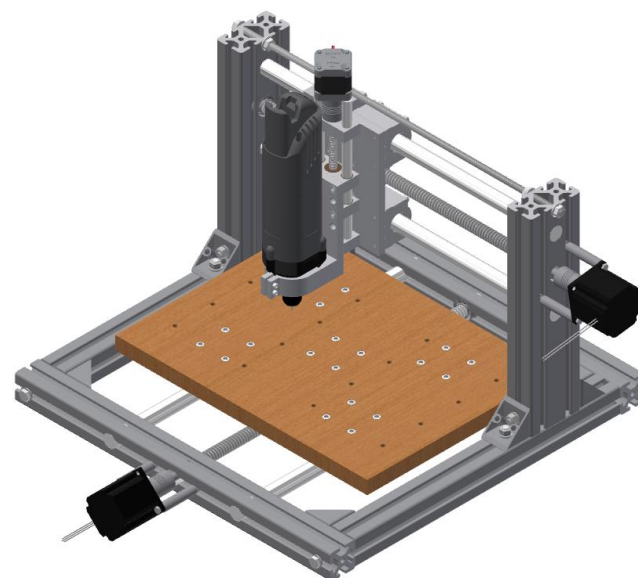
Następnie wykonano model stolika, suportu osi Z i dodano modele silników oraz wrzeciona. Ostateczny widok maszyny zobrazowano na rysunku 2.

1.3. Analiza konstrukcji

Analizę wytrzymałościową konstrukcji obrabiarki rozpatrywano jako obciążenie elementów nośnych stołu oraz obciążenie elementów nośnych suportu.

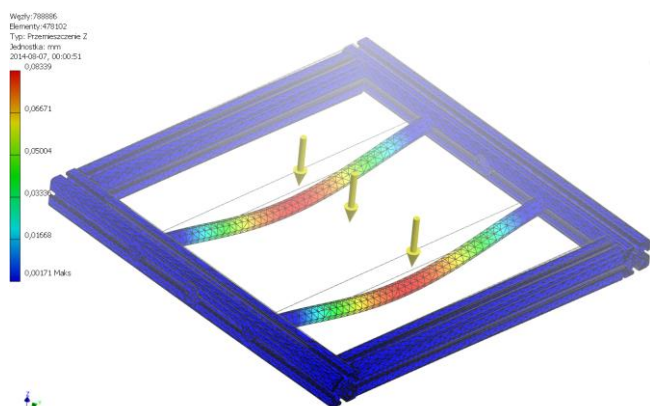


Rys. 1. Widok wybranych elementów frezarko-grawerki



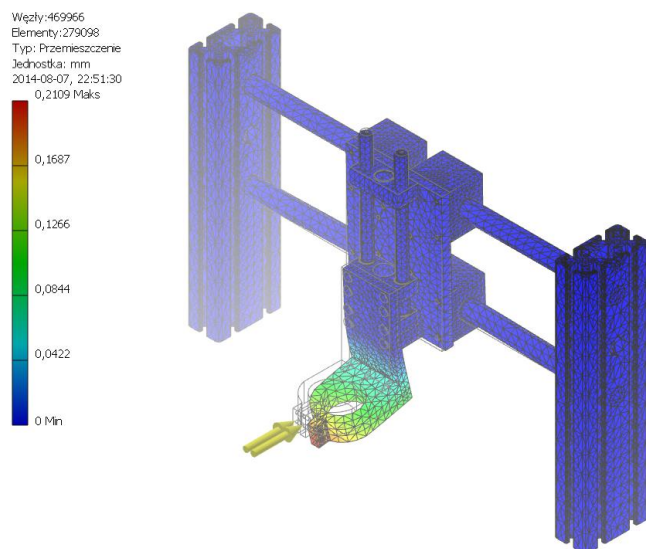
Rys. 2. Widok złożonych wszystkich elementów frezarko-grawerki w programie Inventor

Analizę konstrukcji maszyny w pierwszym kroku zaczynamy od uproszczenia konstrukcji przez usunięcie nieanalizowanych elementów i pozostawienie tylko prowadnic o średnicy 20 mm oraz profili 40x40 mm. Przed analizą należy określić materiały elementów z jakich jest zbudowany układ. Wybieramy poszczególne części i dla profili z menu Materiał znajdującego się na belce górnej programu wybieramy Aluminium 6061 a dla prowadnic Stal. Przechodzimy do zakładki Środowiska i wybieramy narzędzie Analiza naprężeń. Tworzymy nową symulację poleceniem Utwórz symulację a w nowo otwartym oknie wybieramy opcję Analiza statyczna. Potem nadajemy wiązania Nieruchome profilom oraz końcówkom prowadnic oraz przypisujemy obciążenie całej konstrukcji siłą ciężkości w kierunku przeciwnym do osi Z i obciążenia prowadnic siłami statycznymi 400 N w tym samym kierunku. Wybieramy z drzewka po lewej stronie opcję Kontakty i z menu Kontakty automatyczne. Następnie klikamy narzędzie Widok siatki a potem uruchamiamy symulację. Efekt analizy przemieszczeń powinien wyglądać jak na rysunku 3. Maksymalne przemieszczenie bez dodatkowego podparcia śrubą wynosi tylko 0,08 mm.



Rys. 3. Widok analizy numerycznej obciążenia stołu

W drugim kroku także upraszczamy konstrukcję do pozostawienia profili 80x40, prowadnic o średnicy 20 mm i elementów suportu. Ponadto uproszczono modele łożysk SMA20GUU. Tworzymy nową symulację podobnie jak w poprzednim przykładzie. Przypisujemy Materiał Stal do prowadnic a Aluminium 6061 do pozostałych elementów. Przypisujemy wiązania na końcach prowadnic i profili 80x40 mm ale tylko przy ich podstawie. Potem przykładamy siłę statyczną o wartości 81 N do końcówki uchwytu mocującego wrzeciono w kierunku osi Y oraz siłę ciężkości. Po wykonaniu uaktualnienia automatycznego kontaktów i utworzeniu siatki MES uruchamiamy symulację (rys. 4). Maksymalne przemieszczenie wynosi 0,2 mm.



Rys. 4. Widok analizy numerycznej obciążenia elementów nośnych bramy

2. MONTAŻ FREZARKI

2.1. Elementy konstrukcji

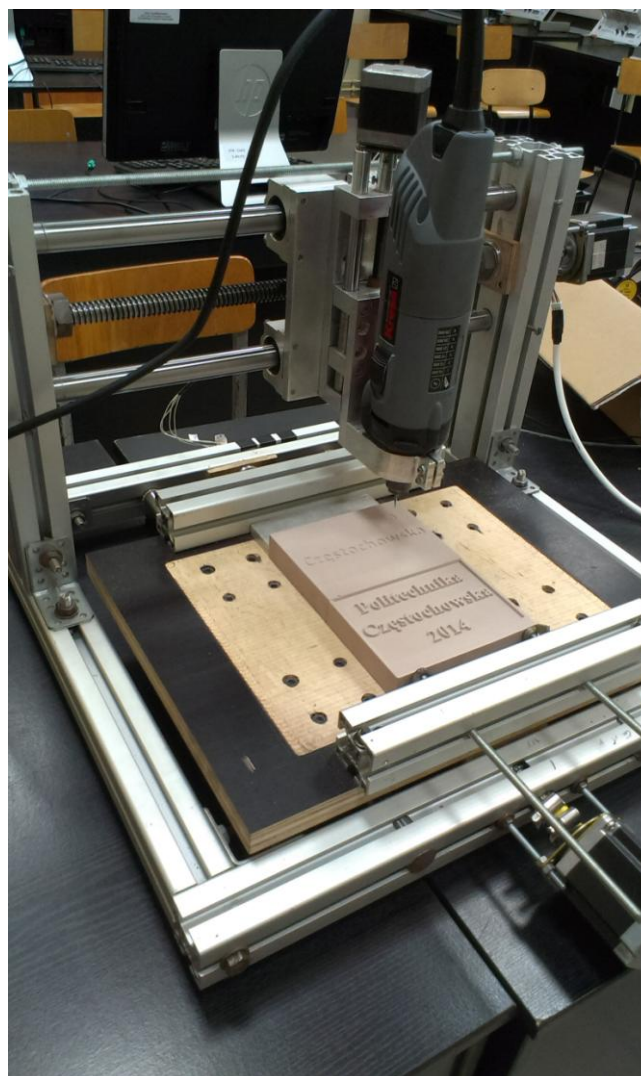
Po zrealizowaniu projektu frezarka grawerki przystąpiono do zestawienia elementów maszyny. Szkielet konstrukcji składa się z profili duraluminiowych 40x40 mm oraz 80x40 mm. Profile są skręcone ze sobą za pomocą kątowników stalowych, wzmacnianych z przetłoczeniem 50x50x35 mm i śrub teowych 28/15 M8x25. Elementy za pomocą których zostanie realizowany posuw stołu lub suportu to precyzyjne wałki liniowe stalowe, hartowane, niepodparte o średnicy 20 mm i długości 500 mm oraz łożyska liniowe SMA20GUU o standardzie japońskim LM. Elementami napędowymi, które będą przekształcać ruch obrotowy silnika na ruch liniowy stołu lub suportu są

śruby trapezowe Tr16x4 i nakrętka trapezowa Tr16x4 wykonane z tworzywa samosmarownego (rys. 5).



Rys. 5. Widok śruby Tr16x4 i nakrętki z poliamidu

Stół frezarki grawerki wykonano ze sklejki wodoodpornej, antypoślizgowej o wymiarach 400x300 mm i grubości 21 mm. Śruby trapezowe są łożyskowane na obu końcach za pomocą łożysk kulkowych. Suport został zbudowany oprócz prowadnic, śruby i nakrętki z elementów duraluminiowych PA6 o grubości 10 i 20 mm oraz tulejek ślizgowych o średnicy 12 mm z teflonu. Jak zostało założone w projekcie napędem ruchu głównego jest wrzeciono frezerskie Kress FME 1050 o regulowanej 6 stopniowej prędkości od 10000 do 29000 obr/min o maksymalnej mocy wrzeciona 1050



Rys. 6. Widok zbudowanej obrabiarki

W. Standardowo wrzeciono posiada tulejkę mocującą o średnicy 8 mm, ale można je wyposażyć dodatkowo w tulejkę o średnicach od 1 do 10 mm. Napęd ten jest popularny w amatorskich obrabiarkach CNC ze względu na możliwość wydłużonej pracy ciągłej, bardzo małym biciu promieniowym oraz solidną wytrzymałą konstrukcją. Wrzeciono posiada metalowy kołnierzyk o średnicy 43 mm

do mocowania narzędzi. Napędami ruchu posuwowego osi X, Y i Z są bipolarnie silniki krokowe Shinano Kenshi STH-54D402 (0,5Nm, 8,3V, 1,2A, 200 kroków na obrót) i Minebea 17PM-K102-01VSL (0,3Nm, 3V, 1,2A, 200 kroków na obrót). Do połączenia wałka silnika krokowego ze śrubą napędową użyto to sprzęgła elastycznego, bezluzowego D25xL25 6/10 mm.

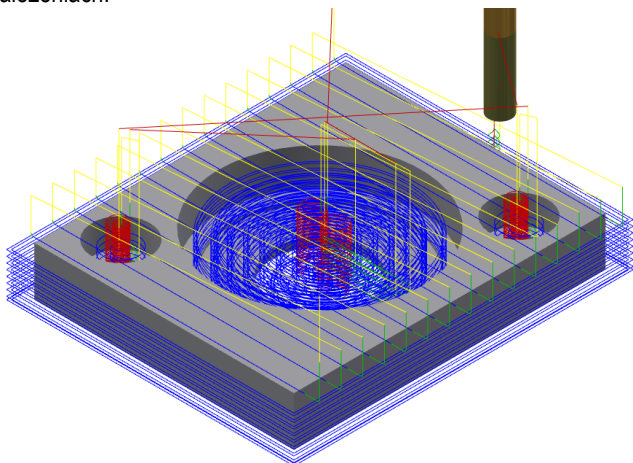
Na rysunku 6 przedstawiono widok zbudowanej obrabiarki z wcześniej opisanych elementów. W dalszym kroku wykonania obrabiarki podłączono sterowanie silników krokowych i skonfigurowano oprogramowanie.

3. URUCHOMIENIE

Kolejnymi czynnościami przy budowie obrabiarki było podłączenie elektroniki sterującej składającej się z sterowników silników krokowych, płyty głównej, zasilacza logiki i silników oraz komputera na którym zainstalowano oprogramowanie sterujące.

Do sterowania obrabiarką użyto programu Mach3 CNC firmy Artsoft. Pozwala on na sterowanie frezarkami CNC do 4 osi a także zawiera wiele przydatnych narzędzi takich jak MDI, podgląd ścieżki narzędzia i symulacja programu, ustawienia offsetów, czujników itp. Wszystko jest przedstawione za pomocą wygodnego i przejrzystego interfejsu użytkownika [12]. Alternatywnym, darmowym programem do sterowania obrabiarkami CNC jest LinuxCNC. Operuje on w specjalnie zoptymalizowanym środowisku Linux Ubuntu. Jest to system czasu rzeczywistego toteż jest bardziej odporny na opóźnienia i usterki wynikające z pracy systemu, które mogą być szkodliwe albo nawet niebezpieczne dla pracującej maszyny.

Pierwszy test działania maszyny polegał na wyfrezowaniu prostego wzoru a następnie sprawdzeniu za pomocą suwmiarki jego wymiarów. W tym celu napisano prosty G kod ścieżki freza opisującej kwadrat o boku 50 mm na głębokości 1mm oraz znajdujący się wewnątrz jego konturu okrąg o średnicy 30 mm na głębokości 0,5 mm. Narzędziem jakie użyto do testu był frez HSS o średnicy 4 mm czteropiórowy. Ponieważ nie zastosowano kompensacji promienia freza rzeczywisty wymiar boku kwadratu po wykonanej obróbce wynosił 46 mm, a średnica koła 26 mm. Punkt zerowy względem, którego wykonywana była obróbka znajdował się w lewym dolnym rogu na powierzchni splanowanej. Frezowanie odbywało się z posuwem 200 mm/min i prędkością obrotową wrzeczona 12600 obr/min. Następnie dokonano pomiaru suwmiarką wyfrezowanego kwadratu i koła. Długość boku kwadratu wynosiła 46 mm średnica koła 26 mm dla średnicy koła. Oznaczało to, że obrabiarka pracowała prawidłowo, a jej dokładność spełniała wymogi postawione w założeniach.



Rys. 7. Przebieg ścieżki narzędzia podczas obróbki detalu

Następnie przetestowano obrabiarkę wykonując na niej prototyp oprawki pod łożysko śruby trapezowej. W tym celu wykonano jej

model trójwymiarowy w programie Autodesk Inventor Professional 2014. Potem w tym samym programie użyto modułu CAM do wyznaczenia ścieżek maszynowych dla kolejnych operacji frezowania. Cały proces obróbki składał się ze splanowania powierzchni, obróbienia otworów pod łożysko i śruby oraz wycięcia detalu z przygotówki co zobrazowano na rysunku 7. Także w tym przypadku wyfrezowany detal spełnił oczekiwania w kwestii dokładności wykonania.

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono przebieg założeń konstrukcyjnych, obliczeń sił skrawania, procesu projektowania, budowy oraz wstępnego sprawdzenia poprawności wykonania zbudowanej frezarki grawerki sterowanej numerycznie przy wykorzystaniu klasycznych wzorów i z wykorzystaniem narzędzi CAE. Celem artykułu jest pokazanie procesu projektowania wykonania i wstępnej oceny obrabiarki dydaktycznej. Przedstawiona frezarka grawerka jest w pełni funkcjonalna.

BIBLIOGRAFIA

1. Brodowicz W., Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1989.
2. Górski E., Poradnik frezera. WNT, Warszawa 1974.
3. Grzesik W., Niesłony P., Bartoszek M.: Programowanie obrabiarek NC/CNC, Wydawnictwo NT, Warszawa 2006.
4. Kosmol J., Napędy mechatroniczne. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
5. Kaźmierczak A., Konstrukcja lekkiej frezarki dydaktycznej. Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2014.
6. Wrotny L., Podstawy konstrukcji obrabiarek. WNT, Warszawa 1973.
7. <http://www.akcesoria.cnc.info.pl/pliki/profile/alutec-katalog.pdf>, katalog profili aluminiowych
8. <http://www.autodesk.pl/products/autodesk-inventor-family/overview>
9. <http://www.frezy.biz.pl/index.php?go=3>
10. www.katalogi-narzedziowe.pl, Sandvik, Poradnik obróbki skrawaniem
11. <http://www.machsupport.com>
12. http://www.sandvik.coromant.com/pl-pl/knowledge/milling/formulas_and_definitions/the_milling_cutter/pages/default.aspx
13. <http://www.tracepartsonline.net/%28S%28unhidovdg1jygg45k524v555%29%29/content.aspx>

DESIGN AND CONSTRUCTION OF EDUCATIONAL MILLING AND ENGRAVING MACHINES

Abstract

The paper presents the design process CNC milling and engraving machines with the help of Autodesk Inventor. The machine is made in accordance with the design assumptions. The design has been made and pre-tested.

Autorzy:

dr inż. Piotr Paszta Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, 42-200 Częstochowa, Al. Armii Krajowej 21, Tel .34 3250 559,

dr inż. Rafał Gołębski Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, 42-200 Częstochowa, Al. Armii Krajowej 21, Tel .34 3250 559.