

Prof. dr hab. inż. Krzysztof TUBIELEWICZ

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.309

Wyższa Szkoła Inżynierii Dentystycznej i Nauk Humanistycznych w Ustroniu

Katedra Podstaw Konstrukcji Protetycznych

Mgr inż. Hubert MICHALCZUK

Politechnika Częstochowska, Instytut Technologii Mechanicznych

P.P.U. MAG-RYŚ Rędziny – nowoczesna narzędziownia

Dr inż. Ireneusz Piotr CHMIELIK

Taylor Hobson Polska

TECHNOLOGIA WYKONANIA TARCZY HAMULCOWEJ

Streszczenie: W opracowaniu omówiono proces technologiczny tarczy hamulcowej z wykorzystaniem systemów CAD/CAM. Do zamodelowania elementu oraz sporządzenia rysunku technicznego posłużono się oprogramowaniem Solid Edge. Następnie wykorzystując program EdgeCAM, przygotowano proces technologiczny i wygenerowano kod sterujący NC. W pracy zamieszczono wiele ilustracji przedstawiających opisane zagadnienie.

BRAKE DISC TECHNOLOGY

Abstract: This paper discusses the technological process of the brake disc using CAD/CAM systems. To model the component and the preparation of the technical drawing software was used Solid Edge. Then, using EdgeCAM program prepared the technological process and the generated NC code control. The work is accompanied by a number of illustrations depicting the described issue.

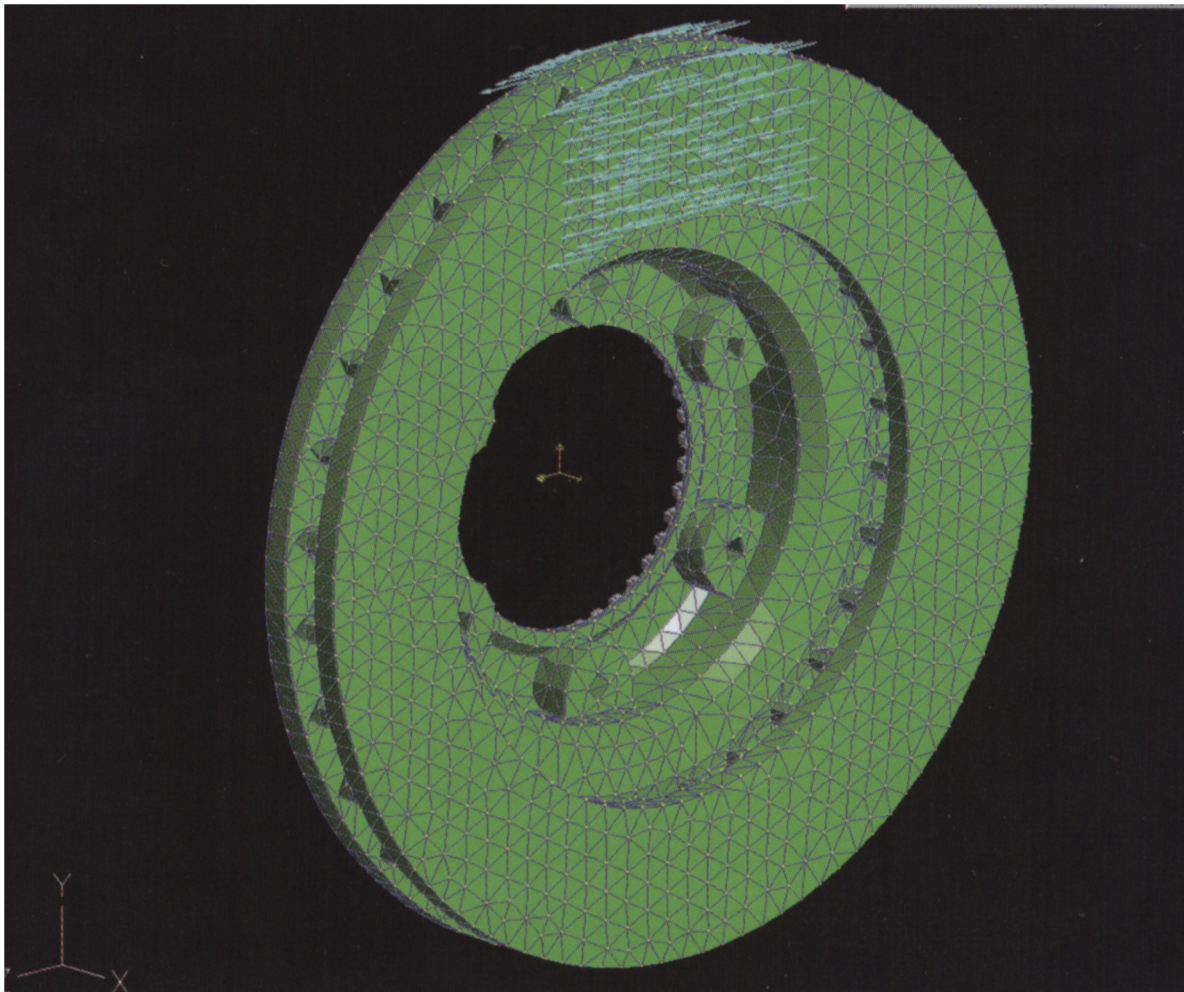
Słowa kluczowe: tarcze hamulcowe, wykonanie cylindrycznych powierzchni, toczenie CNC, systemy komputerowe CAD/CAM

Keywords: disc brakes, performance cylindrical surface, lathe CNC, computer systems CAD/CAM

1. WPROWADZENIE

Układy hamulcowe pojazdów rozwinęły się na skutek dwóch różnych, ale występujących jednocześnie trendów. Z jednej strony w rezultacie wprowadzenia nowoczesnych technik produkcyjnych i obliczeniowo-symulacyjnych technologia stała się coraz bardziej złożona, a z drugiej strony zasady działania i mechanika stały się coraz prostsze. Jako przykład można tu przytoczyć porównanie hamulca tarczowego z hamulcem bębnowym. Hamulce tarczowe wymagają znacznie większej precyzji od bębnowych, zarówno w fazie projektowania, jak i na etapie produkcji, lecz mechanizm ich zachowania i działania jest znacznie prostszy. Aktualnie często jeszcze w pojeździe stosowane są oba typy hamulców, chociaż obecnie panuje tendencja do instalowania hamulców tarczowych zarówno na osi przedniej, jak i tylnej. Tarcza stanowi zasadniczą część hamulca i podczas jej projektowania należy rozważyć wiele istotnych kryteriów, które musi ona spełniać. Jej wymiary muszą umożliwiać przenoszenie maksymalnej ilości energii podczas hamowania. Ponadto jej odporność na zużycie musi być jak największa, bowiem niezawodność hamulców jest fundamentalnym czynnikiem

wpływającym na bezpieczeństwo jazdy. Wobec powyższego proces ich produkcji wymaga doboru nie tylko właściwej technologii, ale również rygorystycznych procedur kontrolnych we wszystkich fazach wytwarzania i eksploatacji. Główną funkcją tarczy jest przekazanie odpowiedniej siły hamowania i rozproszenie wytwarzającego się ciepła. Wymienione funkcje mogą spełniać liczne materiały konstrukcyjne, w praktyce jednak, głównie ze względu na stabilność struktury, koszty materiału i łatwość obróbki, materiałem powszechnie stosowanym jest żeliwo. Inne materiały mają mniejsze zastosowanie, lecz ostatnio materiały wykonywane na bazie kompozytów węglowych są używane do produkcji tarcz hamulcowych w samochodach wyścigowych i samolotach, lecz ich parametry technologiczne i cena sprawiają, że nie warto ich stosować w zwykłych pojazdach. Kształt przekrojów tarczy jest zazwyczaj złożony i najczęściej rozdzielony na pewną liczbę elementów pełniących szczególne funkcje w procesie hamowania. Powierzchnia pracy (cierna) jest obszarem, na którym ma miejsce hamujące działanie materiału ciernego. Jako podstawę do obliczenia rozmiaru tej powierzchni przyjmuje się wartość 230 W/cm^2 powierzchni hamującej, chociaż wartość ta może się zmieniać, kiedy tarcza jest dobrze wentylowana (623 W/cm^2). Część łącząca powierzchnię hamującą z częścią środkową ma prawie zawsze kształt cylindryczny. Kolejną funkcją jest jej mocowanie, realizowane przez część tarczy z okrągłym otworem służącym do centrowania z osią koła. Środkową część tarczy stanowi powierzchnia otoczona otworami na śruby łączące piastę z kołem (rys. 1).

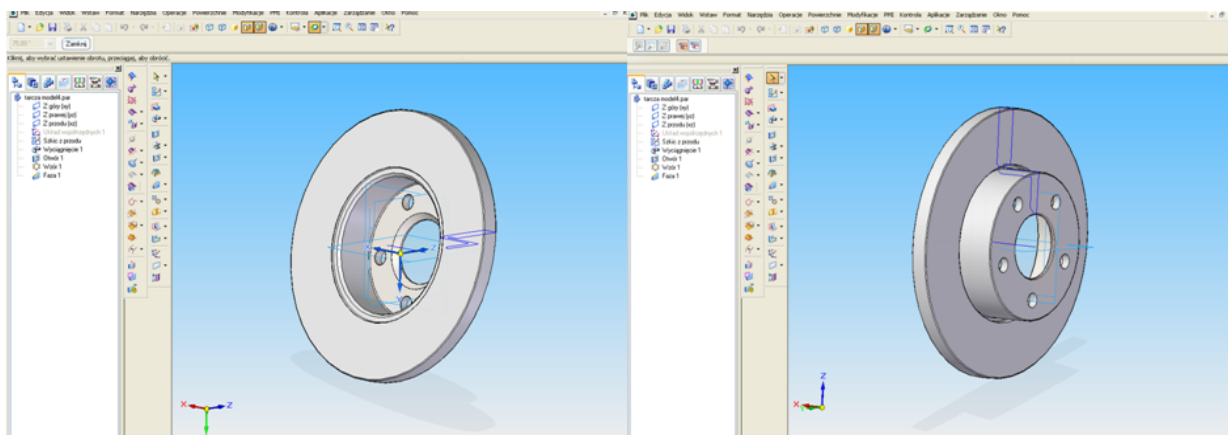


Rys. 1. Analiza kształtu tarczy określona metodą elementów skończonych

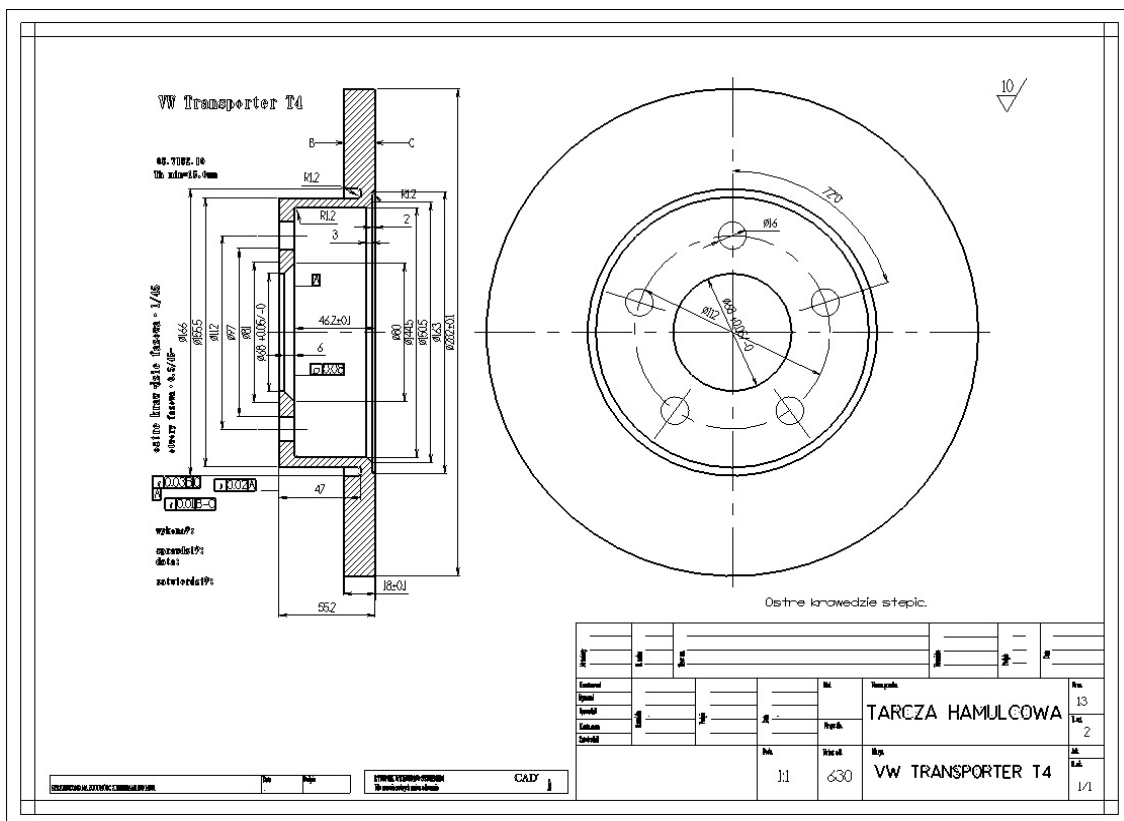
Przez swoją konstrukcję tarcza musi spełniać dwa podstawowe zadania. Wymuszać ruch powietrza, jak wirnik w wentylatorze odśrodkowym, a jednocześnie pracować jako wymiennik ciepła, czyli jak radiator. Kiedy tarcza obraca się, wprawia w ruch warstwę powietrza, które się z nią styka. Zewnętrzna część tarczy porusza się z większą prędkością, przez co w wewnętrznym obszarze ciśnienie dynamiczne działające na powierzchnię jest większe. W wyniku tego powietrze jest zasysane od środka na zewnątrz, co powoduje, że przepływając po powierzchni tarczy, stopniowo się nagrzewa, co dodatkowo wzmacnia cyrkulację. Taki mechanizm występuje w przypadku tarcz pełnych, których technologię wykonania przedstawiono w niniejszym opracowaniu.

2. PROJEKTOWANIE TARCZY I PRZYGOTOWANIE PÓLFABRYKATU

Prace nad przygotowaniem produkcji tarczy hamulcowej rozpoczęto od wykonania trójwymiarowego modelu części, odpowiadającego przyjętym warunkom eksploatacyjno-użytkowym. W tym celu wykorzystano system komputerowy SolidEdge. Jest to wiodący w branży mechanicznej system CAD3D, który posiada wyjątkowe narzędzia do tworzenia prototypów fizycznych. Dzięki znakomitym procesom workflow, które odnoszą się do projektowania, unikalnej koncentracji zaspokajania potrzeb specyficznych branż, jest w pełni zintegrowanym narzędziem do zarządzania projektem, zatem system Solid Edge to precyzyjne, kompleksowe rozwiązanie służące do projektowania CAD 3D. Narzędzia do modelowania, tworzenia złożeń oraz sporządzania dokumentacji technicznej 2D zawarte w Solid Edge pozwalają zespołowi inżynierów łatwo i szybko opracowywać pełną gamę produktów, od pojedynczych części do złożeń liczących tysiące sztuk. Dedykowane polecenia oraz specjalnie skonstruowane procesy workflow przyspieszają proces tworzenia podzespołów charakterystycznych dla danych gałęzi przemysłu. Ponadto, dzięki możliwości ich projektowania, analizowania oraz modyfikowania w obrębie modelu złozenia, użytkownik jest pewien, że będą one doskonale dopasowane pod względem kształtu i funkcjonalności już za pierwszym podejściem [8]. Posługując się operacjami, w jakie jest wyposażony system, zamodelowano odpowiedni kształt tarczy i wykonano jej rysunek techniczny (rys. 2, 3).

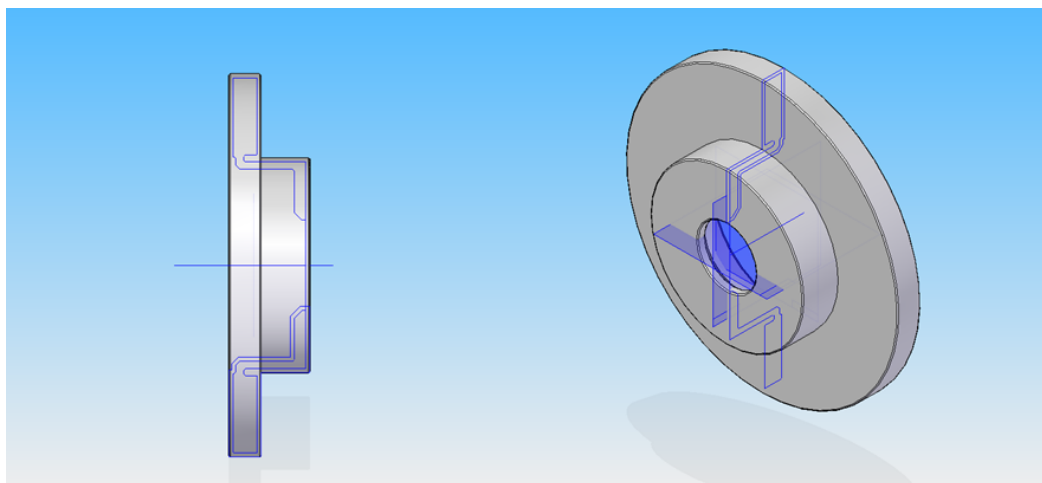


Rys. 2. Model 3D tarczy hamulcowej



Rys. 3. Rysunek techniczny tarczy hamulcowej

W kolejnym etapie pracy, na podstawie wcześniej wykonanego modelu 3D, uwzględniając niezbędne naddatki technologiczne, przygotowano model surówki tarczy. Element ten posłuży do przygotowania procesu produkcyjnego formy odlewniczej oraz zostanie wykorzystany jako półfabrykat w procesie projektowania technologii obróbki zgrubnej. Na rysunku 4 przedstawiono model surówki tarczy hamulcowej.



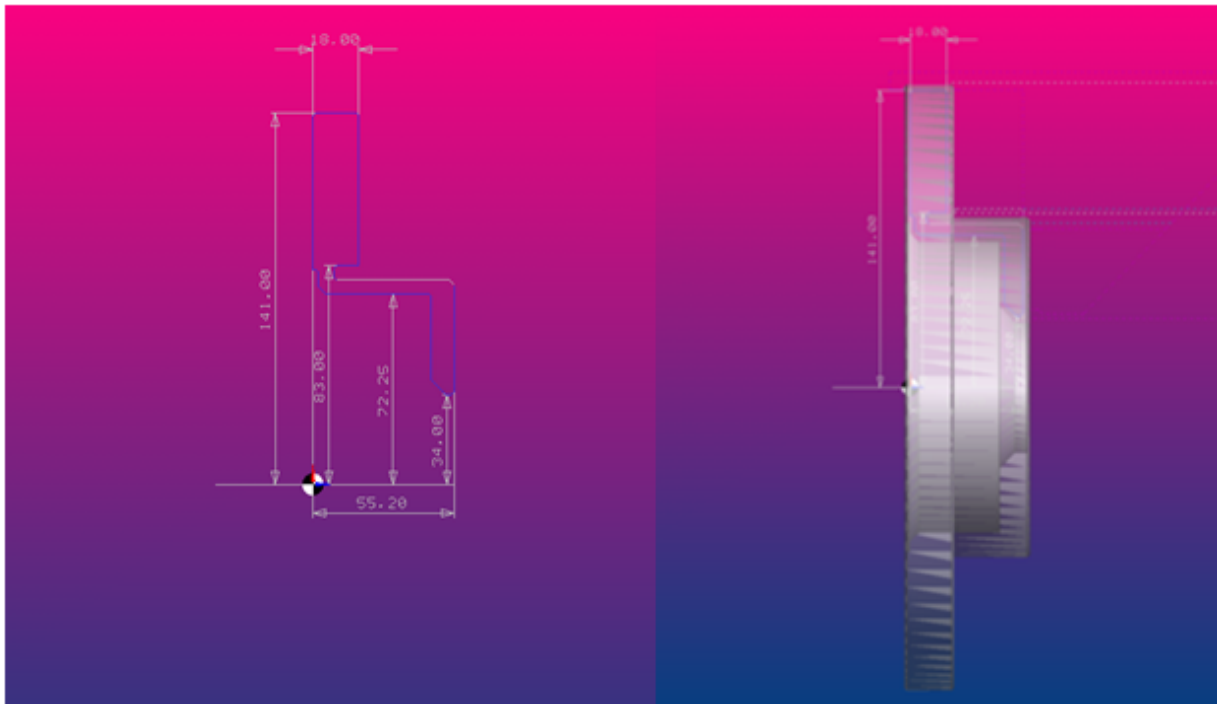
Rys. 4. Model surówki tarczy hamulcowej

Dzięki zastosowaniu modelowania bryłowego projektant ma możliwość łatwego i szybkiego wprowadzenia potrzebnych zmian oraz automatycznego aktualizowania rysunków technicznych, co znacznie upraszcza i przyspiesza prace konstrukcyjne. Te dwa wyżej przedstawione etapy zostały zakończone, co umożliwiło przejście do planowania procesu

technologicznego, podczas którego wykorzystano kolejne narzędzie, jakim jest program EdgeCAM.

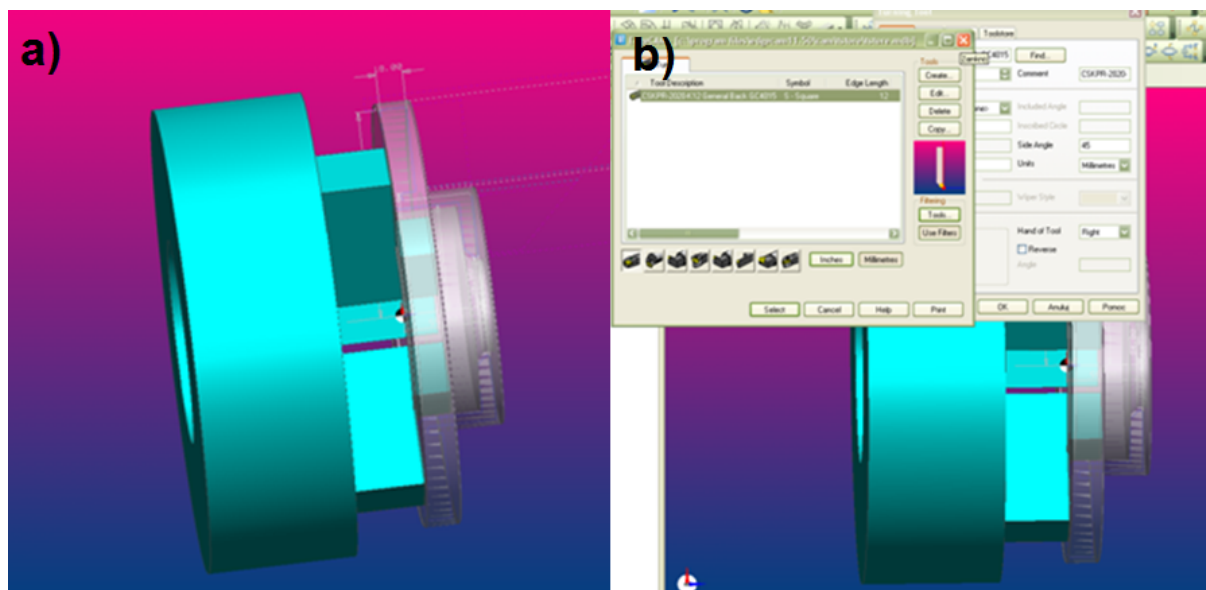
3. PRZYGOTOWANIE PROCESU TECHNOLOGICZNEGO

Edgecam stanowi nowoczesny system CAM służący do generowania programów NC na obrabiarki numeryczne, łączący w sobie zaawansowane możliwości obróbki z łatwością użycia. Dzięki modułowej budowie daje możliwość dostosowania konfiguracji do określonego typu produkcji oraz posiadanych obrabiarek. Długoletnia obecność na rynku daje mu wiodące miejsce wśród programów do wspomagania wytwarzania, dzięki polskiej wersji językowej łatwo przyswajalne są jego szerokie możliwości spotykane tylko w drogich systemach CAD/CAM. Dzięki współpracy producenta oprogramowania, firmy Planit, z producentami wiodących systemów CAD Edgecam daje bardzo szerokie możliwości wymiany danych z innymi systemami, do których należą między innymi: Autodesk Inventor, Catia, Pro/E, Solid Edge, SolidWorks, Unigraphics. Współpraca odbywa się asocjatywnie, co oznacza, że zmiana geometrii wprowadzona w modelu pozwala na automatyczne dostosowanie przy obróbce ścieżek narzędzia do nowej geometrii elementu [6]. Pierwszą z czynności, jaką należało wykonać, było wstawienie pliku o rozszerzeniu *dxg*, zawierającego kontury wraz z wymiarami do programu EdgeCam. Następnie posługując się formatem *iges*, zaimportowano geometrię przygotówki (rys. 5), która została wykorzystana do zdefiniowania półfabrykatu, na podstawie którego program dobierał konieczną liczbę przejść do usunięcia nadatku w cyklu obróbki zgrubnej.



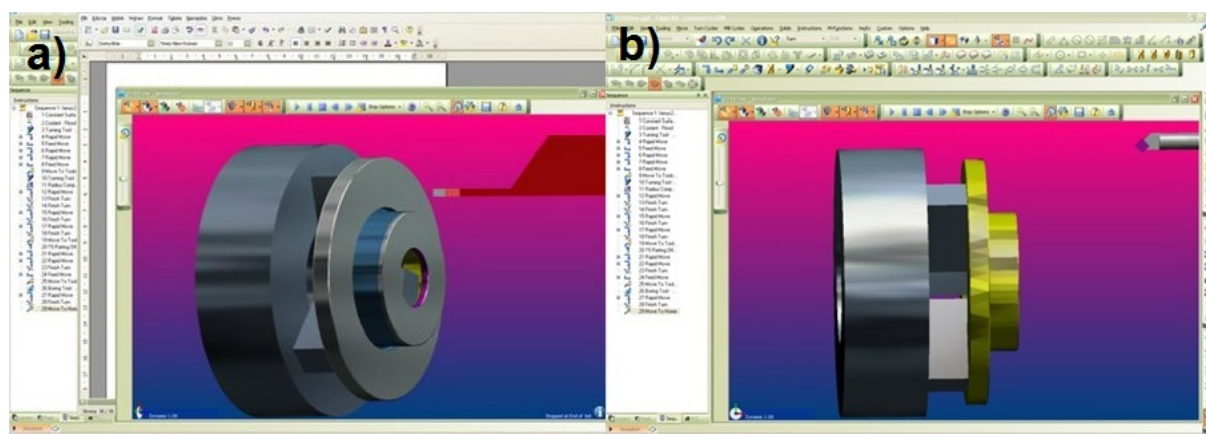
Rys. 5. Zaimportowane kontury oraz model przygotówki

Bardzo ważną czynnością jest prawidłowe określenie wymiarów uchwytu tokarskiego, dzięki czemu możliwe jest ustalenie właściwego podejścia noża i wykrycie ewentualnej kolizji z narzędziem. Konieczne jest także podanie punktu bazowego uchwytu rewolwerowego narzędzi. Na rysunku 6a przedstawiono sposób definiowania przygotówki i położenia uchwytu tokarskiego [4, 5].



Rys. 6. Definiowanie uchwytu tokarskiego (a), wybór narzędzia i parametrów obróbki zgrubnej (b)

Właściwe przeprowadzenie wyżej wymienionych czynności pozwoli zapobiec wystąpieniu kolizji, zapewnia prawidłowy przebieg całego procesu obróbczego. W pierwszej kolejności, posługując się cyklem obróbki zgrubnej, przeprowadzono operacje planowania czoła oraz operacje toczenia zgrubnego, podczas których nóż tokarski o promieniu płytki R 0,6 wykonując kolejne przejścia, zbiera zbędną warstwę materiału. Okno dialogowe opisywanych operacji umożliwiło wybór narzędzia oraz wprowadzenie właściwych parametrów obróbki, takich jak prędkości skrawania, grubość warstwy skrawanej, naddatek pozostały na przejście wykańczające oraz wejścia i wyjścia narzędzia (rys. 6b). W cyklu obróbki zgrubnej, na podstawie zdefiniowanego półfabrykatu oraz grubości warstwy skrawanej, program sam dobiera niezbędną liczbę przejść [4, 5].



Rys. 7. Toczenie rowka (a) i symulacja obróbki (b)

Kolejnym krokiem, jaki został przeprowadzony, jest zmiana narzędzia na narzędzie do rowkowania oraz ustalenie wszelkich związanych z cyklem charakterystyk obróbki (rys. 7a). Opcja toczenia rowka oprócz podstawowych parametrów posiada szereg czynników pozwalających na opisanie sposobu obróbki, jak i samej geometrii rowka. Następną czynnością stanowi toczenie wykańczające czoła i powierzchni zewnętrznych tarczy. W tym przypadku posłużono się nożem z płytką o promieniu R 0,3, a warstwa skrawana

miała grubość około 0,15 mm. Podczas operacji toczenia wykańczającego bardzo istotne jest prawidłowe określenie sposobu rozpoczęcia i zakończenia pracy narzędzia. Program Mastercam posiada szeroką paletę możliwości sformułowania właściwego początku i końca operacji. Po zakończeniu procesu projektowania technologii przeprowadzono symulację obróbki (rys. 7b), która umożliwiła wykrycie wszelkich kolizji i niepożądanych ruchów narzędzi, a także prześledzenie procesu pod kątem technologiczności oraz jakości wyrobu. Oszacowano również czas przebiegu poszczególnych cykli obróbki i całości procesu toczenia tarczy.

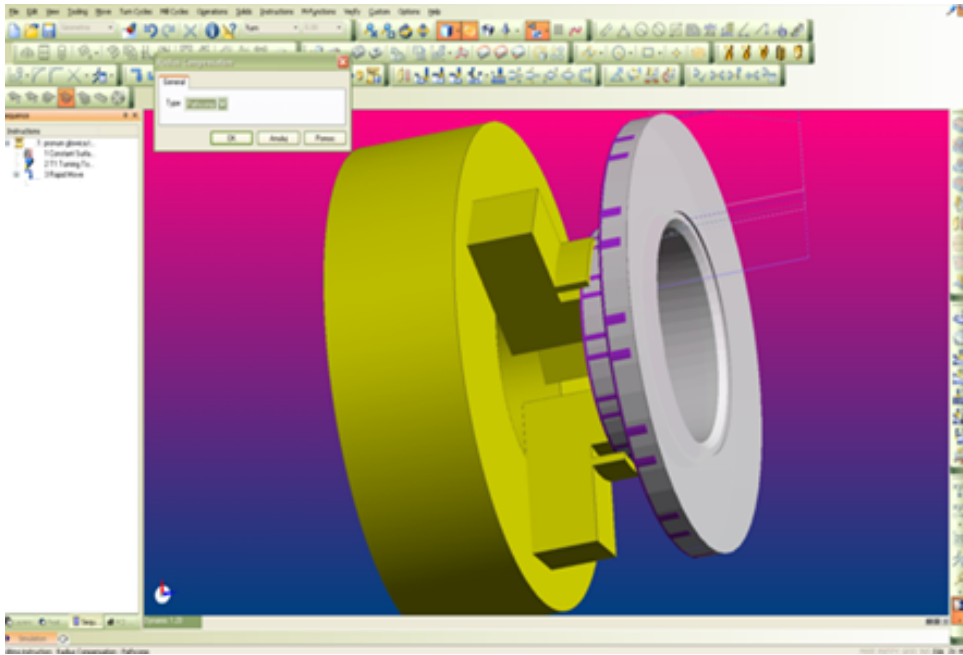
Po zakończeniu definiowania operacji toczenia wybrano postprocesor Fanuc "T" Series, za pomocą którego wygenerowano kod sterujący maszyną, na której wykonano pierwszą stronę tarczy. Zmianę postprocesora można przeprowadzić w każdej chwili wykonywania pracy, ponieważ program zrobi wszystkie niezbędne obliczenia i dobierze właściwe komendy dopiero przy generowaniu kodu sterującego NC. Poniżej przedstawiono przykładowy fragment wygenerowanego kodu [4, 5]:

```

N10 G21 G90 G40 G95
N20 G10 T00 X0.0 Z0.0 I0.0 K0.0
N30 G10 T00 X0.0 Z0.0 I0.8 K0.8
N40 G10 T05 X0.0 Z0.0 I1.2 K1.2
N50 G10 T00 X0.0 Z0.0 I-0.4 K0.4
N60 G54 (CSKPR-2020-K12 - GC4015)
N70 T0101 M17
N80 M01
N90 G50 S1260 M43
N100 G96 S300 M4 M7
N110 G0 X150.5 Z65.2
N120 G1 Z53.0 F0.25
N130 G0 X283.0
N140 Z24.0
N150 G1 Z-10.0 F0.25
N160 G28 U0
N170 G28 W0
O180 G0 X300.0 Z200.0 M9
N190 G54 (PCLNL-2525-M12 with CNMG-120408)
N200 T0202 M17
N210 M01
N220 G95
N230 G50 S420 M42
N240 G96 S300 M4 M7
N250 G0 X290.0 Z18.0
N260 G70 P270 Q280
N270 G1 X282.0 Z16.2 F0.4
N280 Z-2.8
N290 G70 P300 Q330
N300 G1 X281.531 Z16.766
N310 X279.531 Z17.766
N320 G2 X278.4 Z18.0 R0.8
N330 G1 X164.4
N340 G0 X169.4 Z55.2
N350 G70 P360 Q370
N360 G1 X157.9 F0.4
N370 X58.4
N380 G0 X148.0 Z56.2
N390 G70 P400 Q410
N400 G1 X155.5 Z54.4 F0.4
N410 Z18.34
N420 G28 W0
N430 G28 U0
O440 G0 X300.0 Z200.0 M9
N450 G54 (MBS5-151.21-50)
N460 T0505 M17
N470 M01
N480 G95
N490 G50 S420 M42
N500 G96 S205 M4 M7
N510 G0 X156.0 Z55.2
N520 Z20.0
N530 G1 X155.5 Z20.74 F2.0
N540 Z8.2
N550 X155.6
N560 Z19.8
N570 X169.622 Z18.86
N580 G28 W0
N590 G28 U0
O600 G0 X300.0 Z200.0 M9
N610 G54 (E32R-SCFCR16-R)
N620 T0707 M18
N630 M01
N640 G95
N650 G50 S1260 M43
N660 G96 S205 M4 M7
N670 G0 X69.65 Z64.922
N680 X73.465 Z58.559
N690 G1 X74.277 Z57.204 F2.0
N700 X68.034 Z54.083
N710 G2 X67.8 Z53.8 R0.4
N720 G1 Z43.8
N730 X65.8
N740 G28 W0

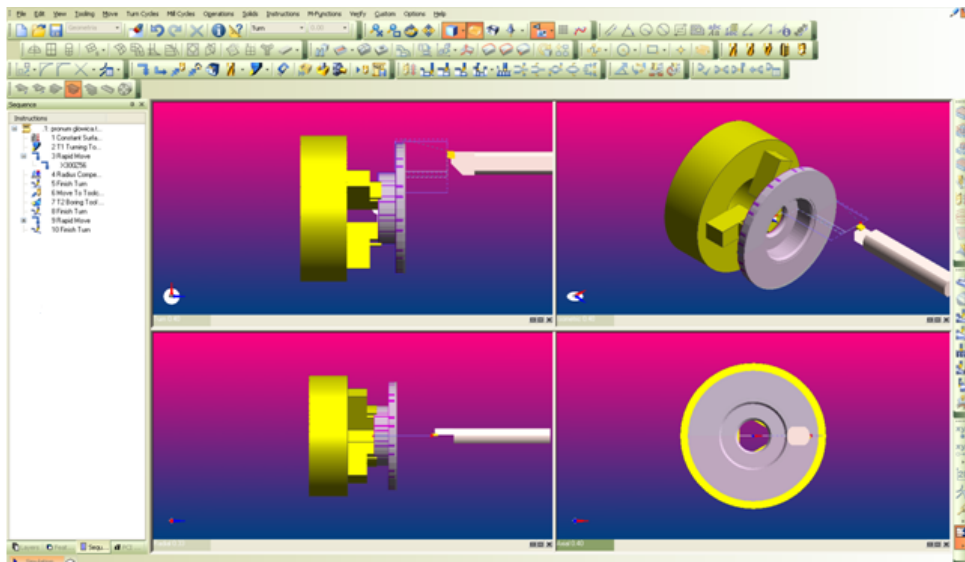
```

Ze względu na złożoną geometrię tarczy hamulcowej, niemożliwa była obróbka całego detalu w jednym mocowaniu, w związku z tym konieczne było obrócenie obrabianego elementu i ponowne zamocowanie w uchwycie tokarskim w celu obrobienia powierzchni trudno dostępnych w poprzedniej części procesu. Sposób zamocowania obrabianego detalu został zilustrowany na rysunku 8.



Rys. 8. Obróbka drugiej strony tarczy hamulcowej

Podczas obróbki drugiej strony tarczy podobnie jak poprzednio należało wprowadzić kontury detalu i odpowiednio je ustawić. W tym przypadku zamiast wstawiania modelu odlewu należy wstawić model tarczy po obróbce pierwszej strony. Kolejną czynnością było zadanie odpowiedniego uchwytu i przeprowadzenie w module technologicznym szeregu podobnych operacji, jak podczas pierwszej części obróbki, tylko ze zmienionymi narzędziami i innymi parametrami. Czynności te zakończone zostały, podobnie jak w poprzednim przypadku, przeprowadzeniem symulacji i wygenerowaniem kodu. Widok przeprowadzonej operacji toczenia wykańczającego drugą część tarczy w kilku płaszczyznach przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Toczenie wykańczające drugiej strony – widok w kilku płaszczyznach

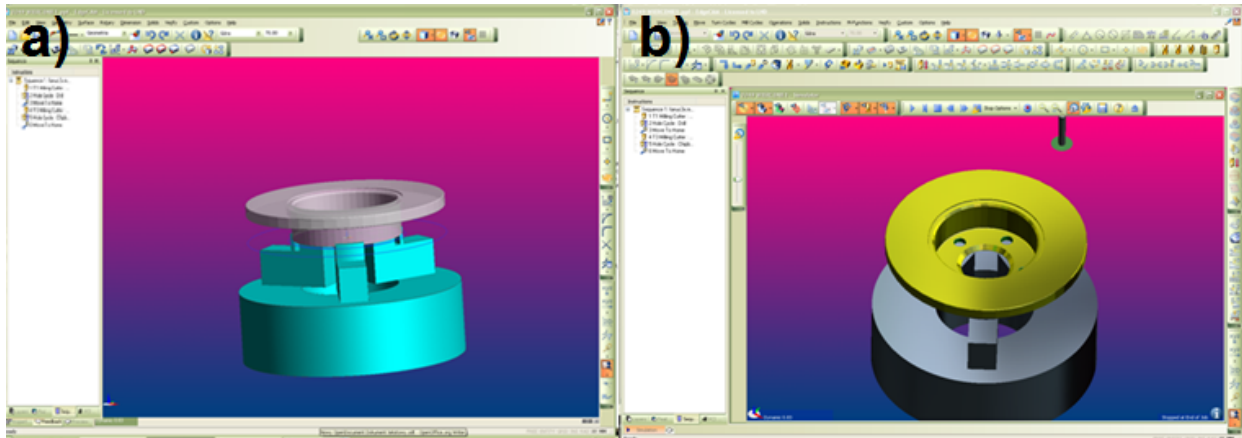
Ostatnim przeprowadzonym etapem pracy było wiercenie otworów mocujących tarczę (rys. 10a). Podstawowa różnica w procesie wiercenia polegała na zmianie środowiska pracy z zx na xy , ponieważ wiercenie odbywa się na innej maszynie – wiertarce pionowej.

W wierceniu również wprowadzono uchwyt, do którego została zamocowana obrobiona tarcza.

Po wprowadzeniu takich danych jak dobór:

- rodzaju narzędzia (wiertło z węgliku),
- parametrów obróbki,
- narzędzia do pogłębiania otworów (pogłębiacz stożkowy).
- zaznaczenia otworów;

przygotowanie procesu wiercenia uznano za kompletne i możliwe stało się przeprowadzenie symulacyjnego wiercenia, którego czynność przedstawia rysunek 10b [5].



Rys. 10. Przygotowanie procesu wiercenia (a), symulacja procesu wiercenia (b)

Po przeprowadzeniu symulacji przystąpiono do wygenerowania kodu na wiertarkę z podprocesorem Fanuc "M" Series Generic Mill [5]:

```

N1 G21 G90 G40
N2 G10 P1 Z0.0 R8.0 T01
N3 G10 P2 Z0.0 R15.25 T03
N4 G10 L2 P1 X0.0 Y0.0 Z0.0
N5 G28 G91 Z0
N6 G28 X0 Y0
N7 G90
O8 T01 (A1249TIN*16)
N9 G54 M06
N10 T03 M01
N11 S500 M3 M41 M7
N12 G0 X0.0 Y56.0
N13 G43 Z10.0 H01 M7
N14 Z9.0
N15 G1 Z-3.0 F50.0
N16 G0 Z10.0
N17 X-53.259 Y17.305
N18 Z9.0
N19 G1 Z-3.0 F50.0
N20 G0 Z10.0
N21 X-32.916 Y-45.305
N22 Z9.0
N23 G1 Z-3.0 F50.0
N24 G0 Z10.0
N25 X32.916
N26 Z9.0
N27 G1 Z-3.0 F50.0
N28 G0 Z10.0
N29 X53.259 Y17.305
N30 Z9.0
N31 G1 Z-3.0 F50.0
N32 G0 Z10.0
N33 G28 Z0 H0 M19
O34 T03 (E6819*30)
N35 G54 M06
N36 T01 M01
N37 S500 M3 M41 M7
N38 G0 X0.0 Y56.0
N39 G43 Z12.0 H03 M7
N40 Z10.0
N41 G1 Z7.0 F30.0
N42 G0 Z12.0
N43 X53.259 Y17.305
N44 Z10.0
N45 G1 Z7.0 F30.0
N46 G0 Z12.0
N47 X-53.259
N48 Z10.0
N49 G1 Z7.0 F30.0
N50 G0 Z12.0
N51 X32.916 Y-45.305
N52 Z10.0
N53 G1 Z7.0 F30.0
N54 G0 Z12.0
N55 X-32.916
N56 Z10.0
N57 G1 Z7.0 F30.0
N58 G0 Z12.0
N59 G28 Z0 H0 M19
N60 G00 Z70.0 M09
N61 Z0 H00 M19
N62 M30
  
```

Po wykonaniu powyższych operacji i uzyskaniu kodów sterujących do wszystkich niezbędnych mocowań tarczy, zakończono projektowanie procesu technologicznego i przystąpiono do przygotowania seryjnej produkcji przedstawionej wyżej tarczy hamulcowej.

4. PODSUMOWANIE

Omówione w pracy metody modelowania oraz projektowania technologii pokazują, jak posługując się odpowiednim oprogramowaniem, można przygotować proces produkcyjny konkretnego elementu. Wykorzystując oprogramowanie CAD/CAM służące do komputerowego wspomagania projektowania i wytwarzania, inżynierowie mogą w profesjonalny sposób przygotowywać i planować produkcję, która bardzo często charakteryzuje się wysokim stopniem zaawansowania. Systemy CAD/CAM umożliwiają, po wprowadzeniu określonych zmian, wykorzystanie już istniejących projektów, co w znaczny sposób przyspiesza przygotowanie produkcji [1, 4]. Dzięki przedstawionym powyżej analizom i symulacji procesów obróbki na przykładzie tarczy hamulcowej wykazano, że prawdopodobieństwo osiągnięcia zamierzonych efektów produkcyjnych, jak również ekonomicznych znacznie wzrasta, co również pozwala na spełnienie rosnących oczekiwań odbiorców. Należy również pamiętać o obszernej wiedzy, jaką muszą posiadać inżynierowie-programiści w zakresie nie tylko opracowania konstrukcji przedmiotów, ale również technologii ich wytwarzania, zasad programowania, sterowania oraz sposobów organizacji produkcji [3, 4].

LITERATURA

- [1] Chlebus E.: *Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji*, WNT, Warszawa, 2000.
- [2] Honczarenko J.: *Obrabiarki sterowane numerycznie*, WNT, Warszawa, 2008.
- [3] Olszak W.: *Obróbka skrawaniem*, WNT, Warszawa, 2008.
- [4] Michalczyk H., Tubielewicz K., Chmielik I.P.: *Przygotowanie kodu sterującego na tokarkę CNC*, XVIII Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji. WAT Warszawa-Szczyrk 12-16 maja 2014, s. 43-52.
- [5] Mucha M.: *Nowoczesne technologie wykonywania cylindrycznych powierzchni (tarczowe)*, praca magisterska, Częstochowa, 2008.
- [6] www.edgcam.pl.
- [7] www.mag-rys.com.pl.
- [8] www.solidedge.pl.