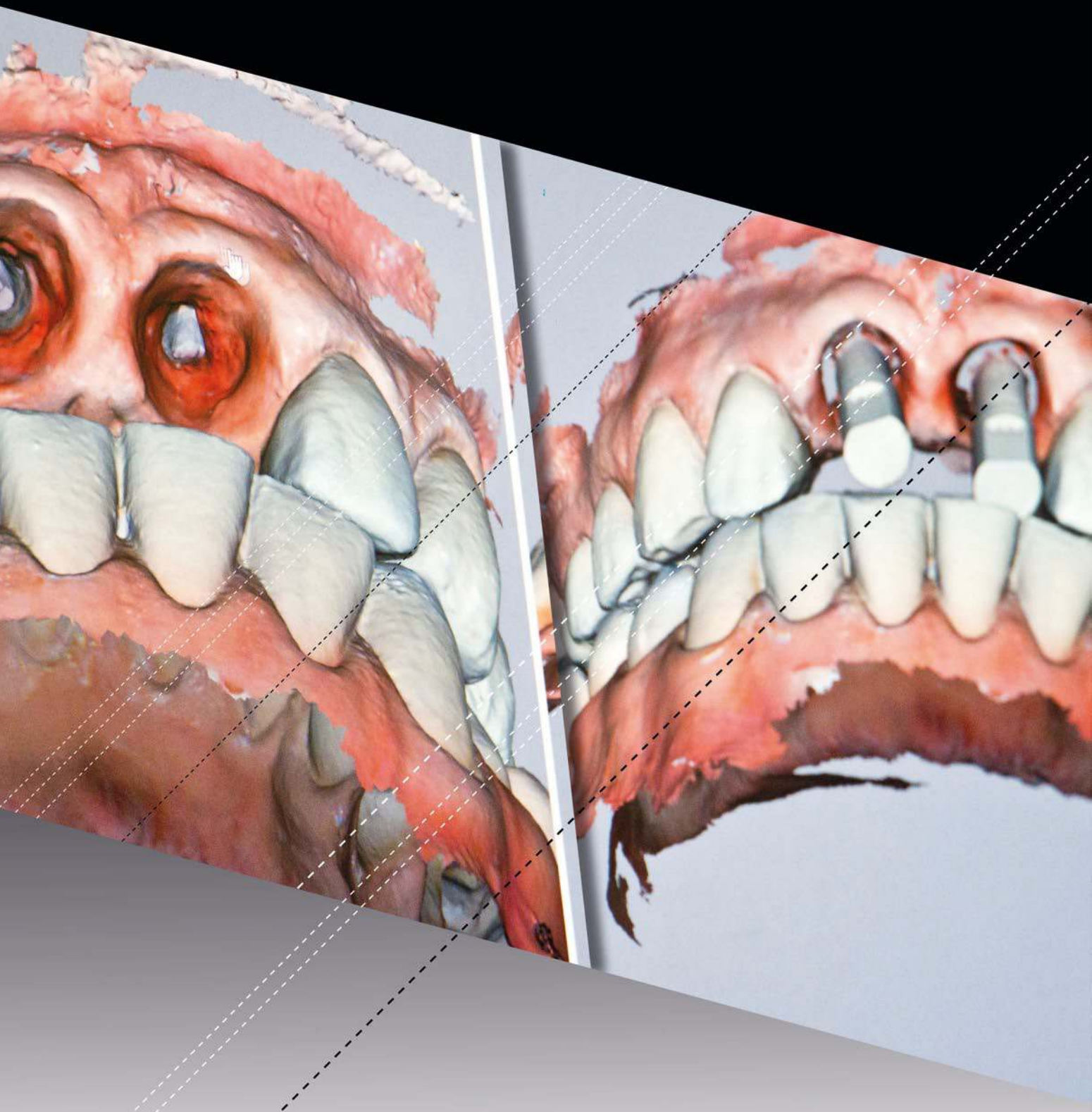
Digital iQ

Idea Book Cyfrowej Stomatologii



Kolekcja Dental IQ wydanie 1/2020

Wybrane aspekty wytwarzania prac implantologicznych z użyciem frezarek protetycznych oraz otwartego oprogramowania CAM

■ Jakub Słoniewski[1]
■ Piotr Czop[1,2]

Frezarka wraz z oprogramowaniem CAM stanowi najkosztowniejszy element systemu CAD/CAM, a zatem jej zakup postrzegany jest jako strategiczna decyzja wyznaczająca kierunek rozwoju firmy na najbliższe lata. Przed podjęciem decyzji inwestycyjnej konieczne jest przeprowadzenie szczegółowej analizy przewidywanego zakresu zastosowania frezarki w laboratorium lub klinice dentystycznej obejmującej między innymi możliwe typy wytwarzanych prac z jej udziałem, a w szczególności uzyskane korzyści finansowe. W tym względzie wytwarzanie indywidualnych prac implantoprotetycznych pozwala na szybki zwrot z inwestycji, szczególnie w przypadku prac frezowanych bezpośrednio w standardowych krążkach chromo-kobaltowych i tytanowych. Ponadto istotnymi czynnikami wpływającymi w ostatnich latach na rozwój obszaru implantoprotetyki są zwiększająca się świadomość pacjentów, względy ekonomiczne oraz możliwość indywidualizacji uzupełnienia dla konkretnego pacjenta przy zapewnieniu bardzo dobrej pasywności prac. W efekcie dzięki technologii CAD/CAM/CNC możliwe stało się wytwarzanie prac implantologicznych uwzględniających indywidualne warunki implantacji, wprowadzenia oraz osadzenia uzupełnienia na łączniku, znacząco zmniejszając przy tym inwazyjność takiego zabiegu. Niejednokrotnie ze względu na trudne warunki implantacji wykorzystanie technologii CAD/CAM jest jedynym możliwym rozwiązaniem pozwalającym na przygotowanie prac indywidualnych.

Zagadnienia: frezowanie, prace implantologiczne, frezarki, CAD/CAM/CNC.
Materiały i urządzenia: CAD/CAM/CNC, frezarki.
Korespondencja: [1]imes-icore Polska Sp. z o. o., 44-100 Gliwice, ul. Bojkowska 35A,
[2]AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, 30-059 Kraków, ul. Adama Mickiewicza 30.

Systemy CAM dedykowane do prac implantologicznych

Podstawowym zadaniem oprogramowania CAM jest przygotowanie programu w kodzie zrozumiałym dla układu sterowania frezarki (np. kod G), który jest następnie wykonywany na frezarce CNC sterowanej numerycznie. Istotne jest przy tym, aby zarówno oprogramowanie CAM, jak i frezarka były systemami otwartymi, dającymi możliwość pełnej konfiguracji strategii obróbki (prędkości wrzeciona oraz posuwu roboczego), bazy materiałów (prefabrykaty, krążki), narzędzi (frezy), metod podmiany interfejsów (biblioteki implantów) oraz wyboru postprocesorów, co umożliwia współpracę z różnymi typami frezarek różnych producentów. Istotna jest również możliwość zarządzania wyposażeniem frezarki CNC, w tym obsługa dodatkowych ramek producentów niezależnych (Medentica®, ARUM®, DESS®, nt-Trading®) do prac wykonywanych z poziomu prefabrykatu, co z kolei umożliwia pracę z systemami producentów niezależnych oferujących zamienniki do tych systemów.

Rozwój rozwiązań różnych dostawców oprogramowania spowodował ukształtowanie się trendu funkcjonalności wspólnego dla większości otwartych programów CAM dostępnych na rynku. Warto zweryfikować, czy system, który zamierzamy nabyć wraz z frezarką, oferuje wymaganą funkcjonalność, gdyż jest to inwestycja na lata, a przyzwyczajenie do obsługi interfejsu programu zapada głęboko w świadomość, przez co trudniej przychodzi nauka innego programu CAM. Należy również zwrócić uwagę, że wielu producentów frezarek CNC sprzedaje programy CAM wiodących producentów (np. CIMsystem) pod własną marką. Wtedy należy się upewnić, czy oryginalnie dostępne funkcje nie zostały zablokowane lub usunięte. Regułą rynku jest, że producenci frezarek zazwyczaj nie rozwijają własnego oprogramowania CAM, tylko korzystają z produktów firm trzecich specjalizujących się w tworzeniu oprogramowania CAM. Przykładowo frezarki firmy imes-icore z serii CORITEC są oferowane z oprogramowaniem iCAM V5, hyperDENT, lub iCAM V4.7, którego dostawcą jest odpowiednio CIMsystem, FOLLOW-ME! Technology Group oraz SCHOTT SYSTEME. Wiodące programy CAM powinny posiadać postprocesory do wielu popularnych frezarek jak przykładowo: Datron®, Mikron®, Wissner®, DMG®, VHF®, imes-icore®, Roland®, Wieland®, Yena®, Venture®. Powinna również istnieć możliwość stworzenia własnego postprocesora do nietypowych frezarek. Umożliwia to posiadanie jednej wersji otwartego oprogramowania CAM, które daje możliwość współpracy z wieloma frezarkami, bez konieczności jego wymiany w przypadku dokupienia kolejnej frezarki.

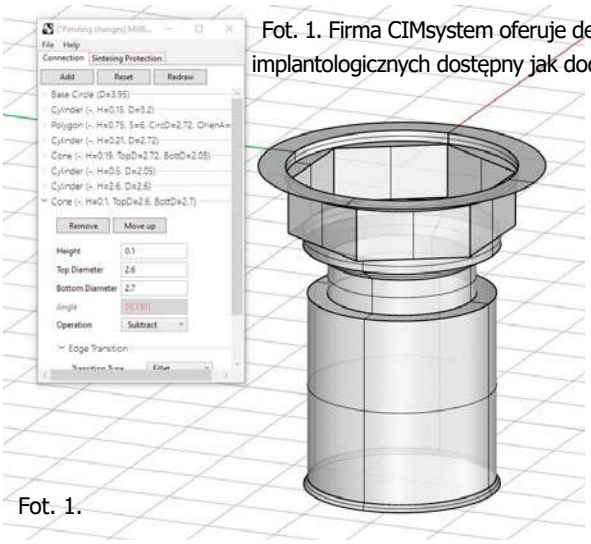
Ze względu na coraz częstsze wykorzystywanie w pracowniach otwartych systemów CAD/CAM, pozwalających na użycie zarówno materiałów, jak i narzędzi skrawających od różnych dostawców, dużą rolę odgrywa możliwość modyfikacji i tworzenia nowych strategii obróbki. Dostępność tej funkcjonalności pozwala na dostosowanie zarówno parametrów skrawania, takich jak: posuw, prędkość wrzeciona, głębokość skrawania czy grubość warstwy skrawanej, jak i wykorzystywanej trajektorii narzędzi w postaci tak zwanych ścieżek narzędzia.

Najważniejszymi zaawansowanymi funkcjonalnościami oprogramowania CAM jest jednak tak zwana możliwość podmiany interfejsów (ang. *interface replacement*) oraz zarządzania wyposażeniem frezarki. Funkcjonalność podmiany interfejsów implantologicznych ma szczególne znaczenie dla centrów frezowania, ale może być również z powodzeniem stosowana w mniejszych pracowniach lub

klinikach. Ze względu na wysokie wymagania odnośnie precyzji wymiarowej interfejsu pracy przykręcanej, dokładność dopasowania interfejsu implantologicznego możliwa do uzyskania z użyciem plików STL może okazać się niewystarczająca. Przykładowo dla systemu CAMLOG dokładność i powtarzalność wymiarów geometrycznych powinny mieścić się w zakresie do 3 μm. Powoduje to, że dokładność wymiarowa przy obróbce bez dodatkowej korekty wymiarowej może nie dawać oczekiwanych rezultatów, z kolei zastosowanie tych samych wartości korekty dla wszystkich rodzajów interfejsów nie ma technologicznego uzasadnienia. W takiej sytuacji możliwe jest wykorzystanie funkcjonalności podmiany interfejsów. Funkcjonalność pozwala na rzeczywiste zastąpienie fragmentu siatki powierzchniami pochodzącymi z inżynierskiego oprogramowania CAD, które pozbawione są niedokładności, a ich rozpoznawanie przez programowanie CAM opiera się na kalkulacji położenia punktów, krzywych i powierzchni za pomocą obliczeń numerycznych.

Firma CIM System oferuje dedykowany edytor interfejsów implantologicznych dostępny jak dodatek do systemu Rhinoceros® (fot.1). Dodatek umożliwia projektowanie geometrii elementów, uzupełnianie ich o interfejsy oraz definiowanie powierzchni ochronnych, które nie mają być obrabiane.

FOT. ARCHIWUM AUTORÓW



Fot. 1. Firma CIMsystem oferuje dedykowany edytor interfejsów implantologicznych dostępny jak dodatek do systemu Rhinoceros®

Fot. 1.

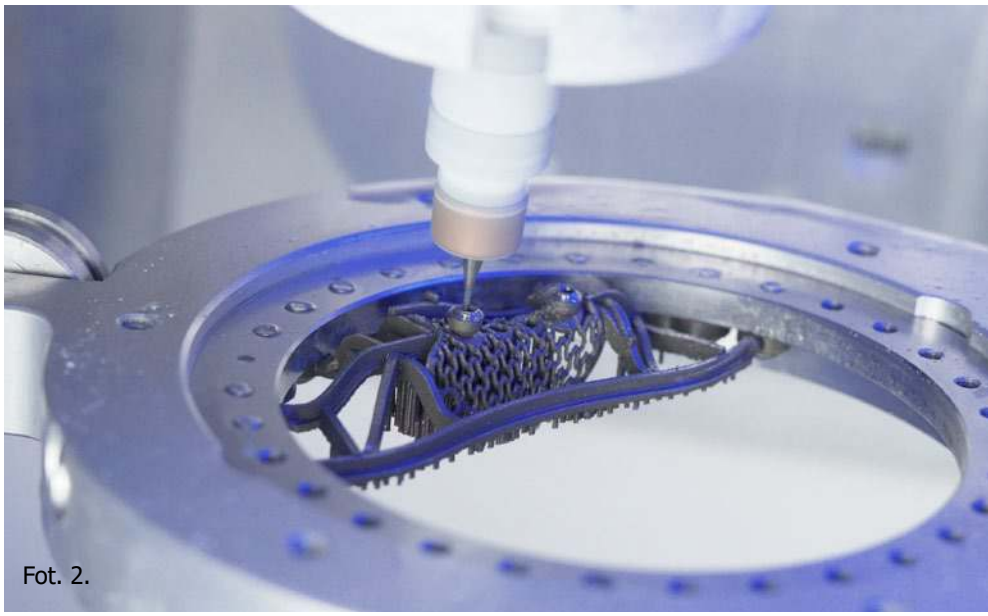
Dodatkowo dostępne rozwiązania pozwalają na wykorzystanie odpowiednich operacji obróbki w zależności od danej powierzchni interfejsu, a nawet całych fragmentów strategii przystosowanych do danego typu geometrii interfejsu. Tego typu podejście gwarantuje poprawność wymiarową wypracowaną w trakcie pracy z wytwarzaniem prac poprzez doświadczalne dopracowanie korekt wymiarowych. Podmiana interfejsu jest zatem skuteczną metodą pozwalającą uniezależnić wynik obróbki od jakości pliku STL oraz dokładności wymiarowej projektu CAD, dając tym samym powtarzalne rezultaty, gwarantujące zadowolenie klienta. Jednocześnie znacząco poprawia się wydajność pracy poprzez wyeliminowanie kolejnych poprawek frezerskich lub ręcznego opracowywania połączenia.

Otwarte oprogramowanie CAM, to również możliwość dodawania nietypowych zabiegów technologicznych, jak przykładowo wierce-

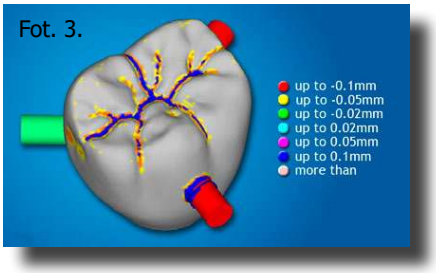
reklama

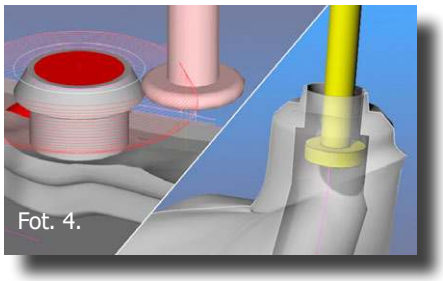
nie oraz frezowanie otworów gwintowanych o dowolnych wymiarach. Pozwala to wytwarzać przykładowo belki z przykręcanymi bezpośrednio ekwatorami, indywidualne łączniki multiunitowe frezowane bezpośrednio w standardowych krążkach materiałowych 98 mm, lub implanty podokostne z wykorzystaniem technologii hybrydowej (fot. 2). Innym przykładem zalet otwartego systemu CAM jest możliwość zastosowania narzędzi specjalnych typu T, co pozwala na wytwarzanie prac implantologicznych z przekierowanym kanałem śruby.

Wśród funkcji optymalizujących pracę z oprogramowaniem należy wymienić automatyczne rozmieszczenie wytwarzanych prac w krążku, możliwość zapisu wykorzystanych krążków do dalszej pracy, dodawanie stabilizatorów do prac synteryzowanych czy też zaawansowane moduły wirtualnej symulacji obróbki, które umożliwiają ocenę jakości pracy jeszcze przed jej wykonaniem. Dzięki zastosowaniu symulacji możliwa jest ocena miejsc nieobrobionych ze względu na zbyt dużą średnicę użytego narzędzia (fot. 3) lub wykrycie kolizji narzędzia w przypadku bardziej zaawansowanych prac przykręcanych (fot. 4).



Fot. 2. Technologia hybrydowa





Fot. 3 i 4. Ocena ilości materiału pozostałego po obróbce w miejscach niedostępnych dla narzędzia wykańczającego

Frezarki dedykowane do prac implantologicznych

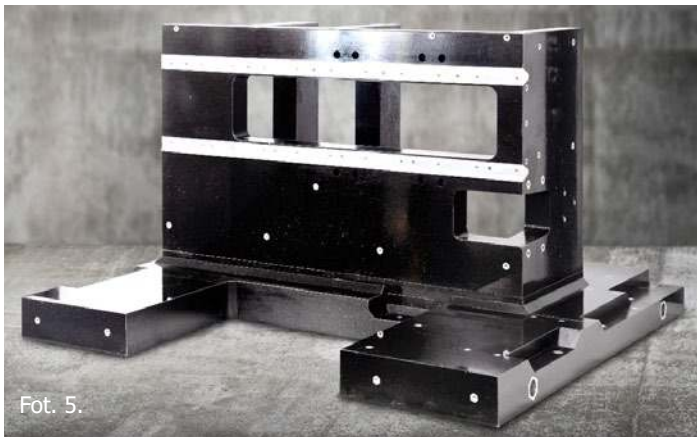
Wytwarzanie indywidualnych prac implantologicznych jest w chwili obecnej prowadzone głównie w specjalizowanych laboratoriach protetycznych wyposażonych w wielkogabarytowe przemysłowe frezarki CNC (np. DMG MORI ULTRASONIC®) zdolne efektywnie obrabiać stopy chromo-kobaltowe oraz tytanu. Jednocześnie w pracowniach protetycznych oraz klinikach stomatologicznych znajdują zastosowanie standardowe frezarki protetyczne (np. CORITEC® imes-icore 350i), które charakteryzują się znacznie lepszym wskaźnikiem cena/możliwości, co oznacza, że przy niewiele niższej wydajności ich cena jest kilka razy niższa, co gwarantuje dużo szybszy zwrot inwestycji. W przypadku prac implantoprotetycznych, należy zwrócić uwagę na dwa ważne aspekty: sztywność korpusu frezarki oraz możliwość obróbki prefabrykatów.

Sztywność korpusu frezarki

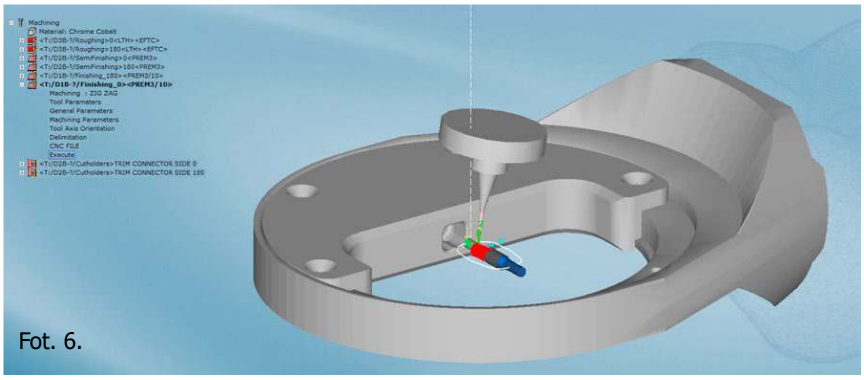
Ugięcie frezu w materiale obrabianym jest powszechnie znanym zjawiskiem technologicznym, zależnym od podatności konektorów, na których wsparta jest praca, podatności samego narzędzia, ale również od podatności całej konstrukcji obrabiarki. Ze szczególnym uwzględnieniem sposobu zamocowania wrzeciona, rodzaju napędów, konstrukcji prowadnic osi ruchu liniowego i obrotowego. Zagwarantowanie odpowiedniej dokładności frezowania wymaga dużej sztywności obrabiarki, które to wymagania spełniają frezarki przemysłowe oraz wersje premium frezarek CNC dedykowanych dla protetyki (DMG MORI ULTRASONIC®, CORiTEC® 350i PRO, Datron® etc.). Najczęściej rama nośna takich frezarek wykonana jest z pełnych bloków naturalnego granitu lub polimerobetonu (fot. 5), które poza wysoką sztywnością gwarantują również niską podatność na wpływ temperatury otoczenia (współczynnik rozszerzalności cieplnej dla granitów wynosi tylko od 0,003 mm do 0,012 mm dla odcinka pomiarowego o długości 1 m na 1°C).

Bardzo istotny jest również sposób realizacji przemieszczeń i obrotów. Wykorzystywane bardzo często we frezarkach niewielkich rozmiarów silniki krokowe nie gwarantują wysokiej dokładności pomiarowej z powodu braku przesyłania informacji zwrotnej o bieżącym położeniu elementów wykonawczych frezarki. Nieco bardziej dokładne są rozwiązania oparte na serwomechanizmach połączonych z odczytem położenia kątowego wału silnika. Ze względu na luzy przekładniowe występujące pomiędzy silnikiem, a elementem napędzanym (pomiędzy śrubą i nakrętką, na sprzęgle silnika, w przekładni motoreduktora, na pasku napędowym) pomiar położenia elementu napędzanego jest obarczony pewnym błędem przypadkowym. Najdokładniejsze na chwilę obecną jest rozwiązanie wykorzystujące bez-

pośrednie napędy liniowe oraz silniki momentowe połączone z bezpośrednim pomiarem położenia elementu napędzanego. Po takie rozwiązanie coraz częściej sięgają producenci dużych frezarek przemysłowych. Zostało ono również wykorzystane we frezarkach klasy premium, np. DMG-MORI ULTRASONIC®, Datron® M5, CORiTEC® 650i. Idea rozwiązania silników liniowych polega na bezpośrednim (bezprzekładniowym) napędzaniu wózka jezdnego wyposażonego w sterowane cewki elektromagnetyczne oddziałujących na szynę prowadzącą wyposażoną w magnesy stałe. Zmniejszenie tarcia w trakcie ruchu jest realizowane przy pomocy poduszki powietrznej. Silniki momentowe działają podobnie do silników krokowych, przy czym mają możliwość przenoszenia bardzo wysokich momentów sił, dzięki czemu doskonale nadają się jako napędy dla osi obrotowych utrzymujących sztywne i masywne stoły obrabiarek. Silniki momentowe charakteryzują się bardzo wysoką rozdzielczością kątową, co pozwala na utrzymanie wysokiej jakości pracy wykonywanej w pięciu osiach aktywnych. Rozwiązanie pośrednie jest wykorzystane we frezarkach Datron® M5 Linear Scales oraz CORITEC® 350i PRO, które wykorzystuje tradycyjne serwomotory połączone z bezpośrednim odczytem położenia elementów napędzanych przy pomocy liniałów pomiarowych. Pozwala to na zmniejszenie przypadkowego błędu pomiaru związanego z luzami przekładniowymi, jednakże nie eliminuje elementów przekładniowych podlegających zużyciu i wymagających konserwacji.



Fot. 5. Przykład konstrukcji ramy nośnej frezarki CORITEC 350i PRO® wykonanej z polimerobetonu zapewniającej dużą sztywność oraz minimalizującą efekt termo-rozszerzalności



Fot. 6. Przykład adaptacji ramki uchwytowej producenta niezależnego w oprogramowaniu CAM podczas symulacji wytwarzania łącznika

Możliwość obróbki prefabrykatów

Wiodące programy CAM są wyposażane w predefiniowane biblioteki do popularnych zamienników oryginalnych systemów implantów (nt-Trading®, ARUM®, Medentica®, Simbiosi®, Bluesky® etc.), pozwalające na automatyczne pozycjonowanie implantu w dostępnej przestrzeni prefabrykatu. O elastyczności oprogramowania CAM decyduje, jednakże możliwość dodawania własnych systemów adapterów z prefabrykatami dowolnych producentów niezależnych. Proces definiowania własnego systemu adaptera składa się z dwóch etapów. Do określenia względnego położenia obrabianego prefabrykatu we frezarce potrzebne są: skalibrowany dostarczany najczęściej przez producenta zamienników oraz numeryczne odzwierciedlenie położenia modelu ramki we frezarce w oprogramowaniu CAM (fot. 6).

W rezultacie możliwe jest przygotowanie plików programu NC dla frezarki, w którym układy współrzędnych odniesienia modelu adaptera w oprogramowaniu CAM oraz adaptera zainstalowanego we frezarce będą się pokrywać. Nawet najmniejsza rozbieżność w wartościach współrzędnych będzie zauważalna w jakości łącznika indywidualnego. Pierwszym etapem jest zatem przygotowanie takiego modelu geometrycznego ramki uchwytowej dla oprogramowania CAM, która umożliwi właściwe określenie punktu odniesienia dla obróbki pojedynczych łączników. Przygotowanie takiego pliku wymaga wykonania prac projektowych w przemysłowym oprogramowaniu CAM, które pozwoli na właściwe zdefiniowanie wymiarów adaptera, linii oraz punktów odniesienia dla pozycjonowania modelu prefabrykatu. Drugim etapem jest przygotowanie biblioteki modeli prefabrykatów odzwierciedlającej właściwą geometrię interfejsów implantologicznych należących do systemu. Każdy z modeli prefabrykatów w ramach biblioteki powinien mieć dodatkowe linie odniesienia pozwalające na wypozycjonowanie modelu łącznika opracowanego w oprogramowaniu CAD względem interfejsu prefabrykatu z uwzględnieniem rotacji, dopasowania charakterystycznych cech geometrycznych interfejsów oraz wyrównania położenia pracy w osi prefabrykatu. Kolejność i sposób wykonywania powyższych operacji zależą od oprogramowania CAM i zwykle wymagają współpracy z dostawcą oprogramowania oraz dostawcą systemu prefabrykatu. Dodatkowo może być wymagane opracowanie sposobu kalibracji adaptera w uchwycie frezarki, np. poprzez wyfrezowanie i pomiar prefabrykatu kalibracyjnego oraz porównanie wyników pomiaru z wartością oczekiwaną i naniesienie korekt w położeniu adaptera względem punktu zerowego w oprogramowaniu CAM.

Podsumowanie

W artykule omówiono zasadnicze funkcjonalności otwartych programów CAM oraz cech konstrukcyjnych współpracujących z nimi frezarek CNC w odniesieniu do indywidualizacji prac implantoprotetycznych wraz z możliwością użycia materiałów prefabrykowanych dostarczanych przez producentów niezależnych.■