

## Sposób bezkolizyjnej obróbki w obrabiarce CNC

Przedmiotem wynalazku jest sposób bezkolizyjnej obróbki w obrabiarce CNC wykorzystujący kamery do identyfikowania i rozpoznawania położenia przedmiotów w przestrzeni roboczej obrabiarki CNC.

Współczesne obrabiarki CNC, dzięki zastosowaniu coraz nowszych i wytrzymalszych materiałów oraz dużej mocy napędów mogą osiągać znaczne wartości przyspieszeń i prędkości posuwu narzędzia podczas obróbki i ruchów ustawczych. Są to urządzenia o skomplikowanej kinematyce i wykonujące znaczną ilość obliczeń trajektorii i analiz stanów dynamicznych. Niestety w wyniku błędów obsługi łatwo doprowadzić do kolizji wewnątrz przestrzeni roboczej obrabiarki czego skutkiem może być np: utrata geometrii lub trwałe uszkodzenia podzespołów. Obrabiarki CNC zazwyczaj są zabezpieczone przed kolizjami z elementami stałymi np: elementy korpusów czy obudowa magazynu narzędzi. Nie istnieją natomiast zabezpieczenia uwzględniające przedmioty montowane na stole obrabiarki lub zapobiegające błędnym decyzjom operatora, np: użycie niewłaściwego narzędzia lub pomyłka podczas ruchów manualnych. Jedyną informacją przesyłaną do programu obróbki odnosząca się do przedmiotu obrabianego to położenie jego układu bazowego, uzyskiwane poprzez manualny pomiar sonda stykową.

W ostatnich latach obserwuje się znaczny rozwój układów optycznych, stosowanych w produkcji i przemyśle do pomiarów i nadzoru. Najbardziej zaawansowane okazują się być układy stereowizyjne do trójwymiarowego skanowania geometrii i dokonywania pomiarów, na podstawie tylko obrazów uzyskanych z kamer. Urządzenia te uzyskują bardzo duże dokładności dorównujące klasycznym maszynom współrzędnościowym, oferując jednocześnie znacznie szybsze pomiary geometrii niż pomiary metody manualne. Inną grupę tych urządzeń stanowią skanery, działające w oparciu o projekcję wzorców strukturalnych na skanowanej powierzchni i obserwację ich przebiegu przez kamery. Analiza obrazów oświetlanego wzorcem przedmiotu pozwala w czasie jednej sekwencji uzyskać informacje o kształcie i gabarytach skanowanego przedmiotu.

Znane są powszechnie systemy skanowania trójwymiarowego oraz systemy do obliczeń fotogrametrycznych, jednak ich zastosowanie ogranicza się do odtwarzania pełnej lub niepełnej geometrii przedmiotu (tzw. inżynieria odwrotna) w celu uzyskania

komputerowych modeli trójwymiarowych lub w celu dokonania pomiarów i sprawdzenia błędów geometrycznych rzeczywistego przedmiotu. Otrzymany model trójwymiarowy jest związany jedynie z lokalnym układem odniesienia związanym na stałe z systemem skanowania i nie określonym względem żadnej przestrzeni rzeczywistej, np.: absolutnym układem odniesienia dla przestrzeni roboczej maszyny współrzędnościowej. Znane są powszechnie systemy skanowania wizyjnego w zastosowaniach przemysłowych, ale służące jedynie do skanowania geometrii przedmiotu i sprawdzania zgodności z modelem wirtualnym lub do tworzenia wirtualnych modeli z gotowych form przemysłowych lub użytkowych. Z opisów patentowych KR20100090458, US2005222705, US2007050089 oraz KR20090059751 znane jest wykorzystanie kamer wizyjnych do analizowania dwuwymiarowej przestrzeni do detekcji obrysu przedmiotu obrabianego, wykrywania otworów lub uszkodzonych narzędzi obróbkowych. Z patentu DE4327250 znane jest rozwiązanie, polegające na pomiarze współrzędnych za pomocą stykowej sondy pomiarowej, której koniec znajduje się stale w polu widzenia kamery zamocowanej nieruchomo na głowicy pomiarowej. Funkcją kamery jest jedynie monitorowanie względnego położenia sondy i powierzchni mierzonej w celu dokonania płynnego i bezpiecznego dojazdu do powierzchni. System ten nie rozpoznaje geometrii całego przedmiotu mierzonego w trzech wymiarach, ani nie ustala położenia przedmiotu względnie maszynowego układu współrzędnych. Patent US6728582 opisuje metodę pozyskiwania przybliżonego położenia przedmiotu obrabianego za pomocą szacowania metodami statystycznych. Według opisu metoda opiera się na porównywaniu obrazu z kamer z ustalonymi wzorcami przedmiotów w procesie nauczania. Metoda nie pozwala jednoznacznie określić położenia i pełnej geometrii dowolnego przedmiotu umieszczonego w przestrzeni roboczej maszyny po raz pierwszy i nie przynosi rezultatów w przypadku obróbki precyzyjnej. System nie jest zintegrowany z programem obróbkowym maszyny CNC. Do pomiarów geometrii i bazowania układów współrzędnych przedmiotu na maszynach CNC wykorzystywane są specjalne głowice skanujące technika stykową, sterowane manualnie przez operatora. Znane jest ze zgłoszenia patentowego P 393943 zastosowanie skanerów 3D przy obrabiarkach CNC w celu lokalizowania i bazowania przedmiotu obrabianego. Znane jest stosowanie kodów kreskowych na narzędziach obróbkowych w celu odczytania przed obróbką wcześniej zmierzonych i zapisanych

w komputerze obrabiarki parametrów narzędzia. Znane są również metody pomiaru parametrów narzędzia za pomocą bramki laserowej lub kamery, ale polegają one na analizie cienia narzędzia, obrysu narzędzia lub światła odbitego przez tylko jedną kamerę, przez co nie jest możliwe odtworzenie pełnej geometrii narzędzia. Nie jest natomiast spotykane zastosowanie skanerów 3D przy obrabiarkach CNC w celu lokalizowania i identyfikacji przedmiotów w przestrzeni roboczej maszyny, na przykład uchwytów obróbkowych, mogących stanowić obiekty kolizyjne dla narzędzia obróbkowego podczas procesu obróbki. Nie jest znane również połączenie systemu skanowania 3D z układem sterowania obrabiarki CNC w celu zaplanowania i zmodyfikowania kodu wynikowego do obróbki tak, aby narzędzie poruszało się w bezpiecznej odległości od wszystkich przedmiotów kolizyjnych dla narzędzia, m.in. uchwytów obróbkowych, powierzchni stołu lub zainstalowanych dodatkowych przyrządów pomiarowych, podczas ruchów ustawczych lub obróbkowych.

Sposób bezkolizyjnej obróbki w obrabiarce CNC według wynalazku, z wykorzystaniem kamer, polegający na kalibracji i przesyłaniu danych do układu sterowania maszyny, charakteryzuje się tym, że stosuje się skalibrowany system stereowizyjny, składający się z przynajmniej dwóch kamer, w celu poinformowania układu sterowania obrabiarką CNC o położeniu w przestrzeni roboczej obiektów kolizyjnych względem maszynowego układu odniesienia, co dalej pozwala na zaplanowanie trajektorii narzędzia w sposób bezkolizyjny. Na obiekty kolizyjne, które mogą znaleźć się w przestrzeni roboczej obrabiarki, naniesione zostają przynajmniej trzy markery oraz identyfikator graficzny. Następnie tworzy się bazę obiektów kolizyjnych, zawierającą informacje o pełnej geometrii tych przedmiotów oraz pozycji umieszczonych na nich markerów. System stereowizyjny umieszczony zostaje w bezpośrednim sąsiedztwie przestrzeni roboczej maszyny CNC w taki sposób, aby pola widzenia kamer obejmowały określoną przestrzeń roboczą obrabiarki, a następnie jest kalibrowany przy pomocy tablic kalibracyjnych w celu wyznaczenia parametrów optycznych kamer oraz znalezienia geometrycznej relacji między tymi urządzeniami. Następnie system stereowizyjny kalibruje się względem lokalnego układu odniesienia utworzonego na podstawie zestawu markerów zamocowanych na obrabiarce w znanych położeniach względem układu maszynowego obrabiarki. Markery są wyszukiwane na poszczególnych płaskich obrazach, uzyskanych kamer, a ich współrzędne wyznaczone

z dokładnością sub-pikselową przy pomocy obliczeń fotogrametrycznych. Za pomocą identyfikatorów graficznych identyfikuje się przedmioty znajdujące się w przestrzeni roboczej maszyny CNC. Następnie przeprowadza się transformację układu lokalnego w układ maszynowy. Znając te transformacje, przy pomocy układu stereowizyjnego ustala się pozycję markerów naniesionych na każdy z przedmiotów i porównuje się pozycję tych markerów z danymi z wcześniej utworzonej bazy, zawierającej dane o położeniu markerów na zidentyfikowanym przedmiocie, w celu ustalenia ich położenia względem układu maszynowego. Wykonuje się proces optymalnego dopasowania zidentyfikowanego zestawu markerów, należących do przedmiotu do zestawu markerów zapisanego w bazie modeli. Dopasowanie polega na przykład: na iteracyjnej minimalizacji odległości obu zestawów markerów i na znalezieniu wzajemnej macierzy translacji i rotacji, przekształcającej jeden zestaw w drugi. Następnie tworzy się plan ulokowania trójwymiarowego modelu przestrzeni roboczej w układzie odniesienia obrabiarki i określa się obszar bezpieczeństwa dla ruchów narzędzia obrabiarki poprzez porównanie ścieżki obróbki z położeniem przedmiotów kolizyjnych i modyfikuje się program obróbki o nowe, bezkolizyjne komendy przejazdu narzędzia. Przestrzeń robocza dla ruchu narzędzia zostaje ograniczona w taki sposób, aby narzędzie nie wchodziło w kolizję z żadnym z punktów należących do chmury reprezentującej ulokowane na maszynie obiekty kolizyjne lub nie zbliżyło się do chmury punktów o określony przez operatora margines bezpieczeństwa. Bazę zawierającą dane o przedmiocie tworzy się z wykorzystaniem dodatkowego projektora światła strukturalnego, który wyświetla światło strukturalne generowane przez komputer i dodatkowej kamery, skalibrowanych tymi samymi metodami, tworzących zewnętrzny niezależny od obrabiarki CNC układ do skanowania trójwymiarowego. Korzystnie projektor światła strukturalnego instaluje się na obrabiarce CNC, kalibruje względem lokalnego układu odniesienia i przy pomocy co najmniej jednej z kamer skanuje się przestrzeń roboczą obrabiarki CNC i znajdujące się w niej przedmioty kolizyjne. Bazę zawierającą dane o przedmiocie można także stworzyć poprzez wprowadzenie do pamięci komputera modeli CAD przedmiotów kolizyjnych, uwzględniających położenie markerów na tych modelach. Bazę zawierającą dane o przedmiocie można stworzyć na obrabiarce bezpośrednio, lub całkowicie poza obrabiarką wykorzystując niezależny skaner 3D, dostępny na rynku.

Zaletą wynalazku jest znaczna poprawa bezpieczeństwa pracy maszyny w czasie obróbki, szczególnie podczas wykonywania przejazdów ustawczych z dużymi prędkościami posuwu, np.: podczas dojazdu narzędzia do punktu referencyjnego lub dojazdu narzędzia do materiału, gdzie ewentualna kolizja na przykład z uchwytem obróbkowym mogłaby spowodować poważne uszkodzenia obrabiarki CNC, między innymi utratę geometrii prowadnic osi obrabiarki i konieczność bardzo kosztownego serwisowania. Znajomość położenia i geometrii przestrzeni roboczej maszyny pozwala lepiej zaplanować ruchy narzędzia w czasie obróbki, szczególnie w przypadku detali częściowo obrobionych o skomplikowanej geometrii, wymagających częstego przestawiania w uchwytach i skomplikowanego systemu wielopunktowego mocowania. Każda operacja zmiany sposobu mocowania przedmiotu obrabianego i automatyczna identyfikacja geometrii przestrzeni roboczej wprowadza stosowne zmiany w trajektorii narzędzia obróbkowego i pozwala zaoszczędzić całkowity czas obróbki i znacznie zwiększyć bezpieczeństwo pracy maszyny.

Rozwiązanie według wynalazku bliżej opisane jest w przykładach oraz na rysunkach, gdzie fig.1 przedstawia schematycznie maszynę CNC wyposażoną w system stereowizyjny oraz przedmiot obrabiany zamocowany w uchwytach obróbkowych na stole obrabiarki CNC, fig.2 przedstawia schematycznie procedurę kalibracji systemu stereowizyjnego, przy pomocy markerów i tablicy kalibracyjnej, względem maszyny CNC, prowadząca do możliwości wyrażenia koordynatów szukanego punktu P w maszynowym układzie odniesienia M, fig.3 przedstawia rozwiązanie z dodatkowym projektorem światła strukturalnego do skanowania geometrii przedmiotów kolizyjnych, w tym narzędzia, a fig.4 przedstawia rozwiązanie z zewnętrznym niezależnym układem do skanowania geometrii obiektów kolizyjnych.

#### Przykład 1

Na uchwyty (2) oraz przygotówkę (1) oraz stół (3) naniesione zostają po trzy markery w postaci białych okręgów na czarnym tle oraz po jednym kodzie paskowym. Markery (M2) naniesione na stół obrabiarki mają położenie dobrze znane lub łatwe do określenia względem maszynowego układu odniesienia (M) obrabiarki i które wyznaczają kierunki osi obrabiarki i tworzą lokalny układ odniesienia (M'). Przy pomocy zewnętrznego skanera 3D działającego na zasadzie projekcji światła strukturalnego, skanuje się geometrię uchwytów (2), przygotówki (1) oraz stołu (3).

Geometria w postaci chmury punktów z zaznaczonymi pozycjami markerów zapisana zostaje w komputerze do bazy obiektów kolizyjnych pod nazwą określoną przez kod paskowy (C). Przy pomocy tablicy kalibracyjnej (CB) i dzięki obserwacji przebiegu zniekształceń wzorca nadrukowanego na tą tablicę kalibruje się układ stereowizyjny do skanowania trójwymiarowego składający się z dwóch kamer (K1, K2) połączonych z komputerem (5) i wyznacza się pozycje i parametry optyki obu kamer względem układu odniesienia (S), przyjętego do kalibracji i związanego z tablicą kalibracyjną. Tak skalibrowany układ stereowizyjny umieszcza się w obudowie obrabiarki, tak by możliwa była obserwacja stołu obrabiarki (3) oraz umieszczonych na nim uchwytów (2) i przedmiotu obrabianego (1) z obu kamer. System stereowizyjny wyznacza najpierw pozycje markerów (M2) naniesionych na stół we własnym lokalnym układzie odniesienia (S). Na podstawie tych pozycji, oraz znajomości położenia markerów na stole określa się całkowitą relację między układem odniesienia (S) układu stereowizyjnego i układem obrabiarki (M). Od tego momentu odpowiednie transformacje koordynatów 3D otrzymanych z układu stereowizyjnego zostają przedstawione w maszynowym układzie obrabiarki. System jest skalibrowany do właściwego działania. Parametry narzędzia obróbkowego są mierzone za pomocą zewnętrznej sondy narzędziowej lub ustawiaaka. Uchwyt (2) wraz z przygotowką (1) zamocowany zostaje na stole (3) obrabiarki. System fotogrametryczny poszukuje na zdjęciach kodów paskowych (C) i markerów (M1), a następnie odczytuje kod i identyfikuje przedmioty według utworzonej bazy uchwytów. Wyznaczone zostają na zdjęciach pozycje środków markerów (M1). Następnie system stereowizyjny korzystając z obliczeń fotogrametrycznych wyznacza dokładne pozycje środków markerów (M1) w przestrzeni trójwymiarowej. Pozycje zidentyfikowanych markerów (M1) przedstawione są po kalibracji w maszynowym układzie odniesienia (M) i służą do dopasowania modelu 3D przedmiotów zapisanych wcześniej w bazie do przestrzeni roboczej obrabiarki. Tym samym określona zostaje przestrzeń którą fizycznie zajmuje dany przedmiot. Operator obrabiarki deklaruje minimalny dystans, na który narzędzie może zbliżyć się do przestrzeni zajętej przez przedmioty kolizyjnego i tym samym określony zostaje obszar bezpieczeństwa dookoła przedmiotów. Odpowiedni algorytm rozpoznaje ścieżki kolizyjne w głównym programie obróbki, gdzie narzędzie (T) może wejść w przestrzeń zajęta przez przygotowkę (1), uchwyt (2) lub stół (3)

z uwzględnieniem marginesu bezpieczeństwa i program obróbki detalu zostaje zmodyfikowany o nowe komendy przejazdu narzędzia (T) w bezpiecznej odległości od tych przedmiotów kolizyjnych. Uruchomiona zostaje obróbka.

#### Przykład 2

Sposób jak w przykładzie 1, z tym że na maszynie CNC zostaje zainstalowany i skalibrowany tymi samymi metodami i względem lokalnego układu S, dodatkowy projektor światła strukturalnego (P1). Projektor (P1) wyświetla światło strukturalne generowane przez komputer (5) i zamocowany jest w taki sposób, aby oświetlał całą przestrzeń roboczą maszyny CNC. Projektor (P1) i kamera (K1) lub kamera (K2) tworzą układ do skanowania trójwymiarowego pełnej geometrii. W uchwycie maszyny CNC zamocowane jest nowe narzędzie o nieznaney geometrii oznaczone tylko kodem paskowym. Projektor (P1) oświetla światłem strukturalnym narzędzie (4), a kamera (K1) rejestruje jego przebieg. Obrazy przesyłane są do komputera (5) gdzie na podstawie danych z kalibracji odtwarza się geometrie narzędzia, wyznacza parametry narzędzia, takie jak wysięg i średnica, i zapisuje w bazie obiektów kolizyjnych. Informacja o parametrach i geometrii narzędzia (4) wykorzystana jest przy planowaniu bezkolizyjnych trajektorii i jednocześnie przesyłana jest do układu sterowania maszyną CNC w celu wprowadzenia całkowitej korekty trajektorii o długość i średnicę narzędzia (4).

#### Przykład 3

Sposób jak w przykładzie 1, z tym że baza obiektów kolizyjnych powstaje poprzez wprowadzenie do pamięci komputera modeli CAD przedmiotów kolizyjnych, uwzględniających położenie markerów na tych modelach. Markery są trwale nanoszone na obiekty kolizyjne w czasie ich produkcji lub później za pomocą innej obrabiarki i wypozycjonowane za pomocą maszyny współrzędnościowej.

#### Przykład 4

Sposób jak w przykładzie 1, z tym że baza obiektów kolizyjnych powstaje poza przestrzenią roboczą obrabiarki przy pomocy zewnętrznego, niepowiązanego z obrabiarką i skalibrowanego układu skanowania trójwymiarowego, składającego się z projektora (P1) oraz kamery (K3). Projektor (P1) wyświetla na uchwycie światło strukturalne generowane przez komputer (5), a kamera (K3) rejestruje jego przebieg i przesyła obrazy do komputera (5), gdzie na podstawie danych z kalibracji odtwarza się

geometrię uchwytu. Zeskanowany uchwyt obróbkowy (2) z zaznaczonymi pozycjami markerów M1 zapisany zostaje w komputerze (5) w bazie obiektów kolizyjnych.