

Wybrane zagadnienia zastosowania robotów w inżynierii produkcji

dr inż. T. Mikołajczyk, mgr M. Słomion,
prof. dr hab. inż. M. Styp-Rekowski, dr hab. inż. M. Matuszewski

W artykule przedstawiono wybrane przykłady zastosowania robotów przemysłowych wyposażonych w narzędzia do realizacji procesów kształtowania i obróbki. Przedstawiono zagadnienia przestrzeni roboczej robotów z uwzględnieniem systemów hybrydowych. Opracowano klasyfikację systemów obróbkowych robotów z uwzględnieniem techniki kształtowania, kinematyki narzędzia i sposobu obróbki. Wskazano kierunki prac dla rozwoju tego trendu w technikach wytwarzania.

Wprowadzenie

Obecnie zaobserwować można dynamiczny rozwój robotyki i jej zastosowania w wielu dziedzinach techniki. Zakres jej stosowania jest bardzo szeroki, np.: przemysł elektroniczny, maszynowy, medycyna, zastosowania militarne. Roboty są stosowane w celu zastąpienia ludzi w pracach wymagających znacznego wysiłku psychofizycznego oraz uciążliwych ze względu na niekorzystne warunki otoczenia pracy.

Jednym z kierunków rozwoju robotyki jest wzrost zastosowań robotów w inżynierii produkcji jako elementy elastycznych systemów wytwarzania. Tradycyjne zastosowanie robotów to przede wszystkim przemysł motoryzacyjny, a w szczególności prace montażowe oparte na procesach spajania materiału – techniki spawalnicze i zgrzewanie – oraz malowanie nadwozia. Współcześnie obserwuje się nowy, dynamicznie rozwijający się trend zastosowania w procesach wytwarzania robotów wyposażonych w narzędzia do bezpośredniego kształtowania elementów [1-7, 9-11, 13-22].

W pracy przedstawiono ogólne aspekty wykorzystania robotów w inżynierii produkcji, związane z doбором i kształtowaniem przestrzeni roboczej robota, wyborem techniki obróbkowej z uwzględnieniem narzędzia i jego kinematyki.

Wskazano również kierunki prac w zakresie implementacji w procesach obróbki robotów wyposażonych w narzędzia.

Przebieg robocza robotów przemysłowych



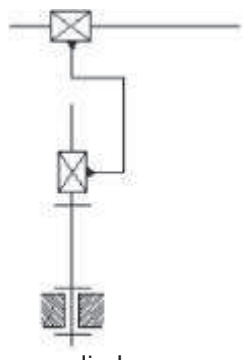

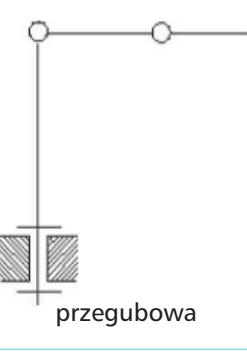



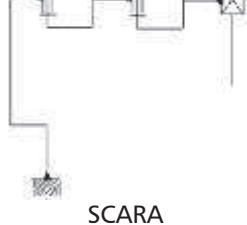
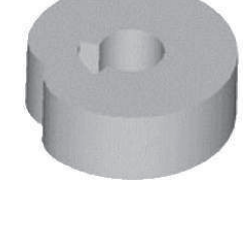
Zastosowanie robotów do obróbki i kształtowania powierzchni stwarza nowe możliwości obróbki powierzchni elementów maszyn, a szczególnie elementów o dużych gabarytach. Cechą charakterystyczną robotów jest ich duża liczba stopni swobody umożliwiająca obsługę obszernej przestrzeni roboczej (do 20 m³ [22]).

Możliwą przestrzeń kształtowania i obróbki przedmiotów wyznacza obszar roboczy robota, który jest uzależniony od jego struktury kinematycznej. Obszary przestrzeni roboczej dla podstawowych struktur robotów zestawiono w tabeli 1. Charakterystyczną cechą przestrzeni roboczej jest to, że wykracza ona znacznie poza gabaryty robota. Natomiast przestrzeń robocza obrabiarek numerycznych, jest zawarta tylko w bryle obrabiarki.

Obszar roboczy identyczny z przestrzenią roboczą obrabiarki CNC posiadają roboty o strukturze kartezyjskiej. Umożliwia to bezpośrednie wykorzystanie systemów CAM obrabiarek do programowania robotów stosowanych w obróbce. Kolejnymi robotami z dogodnymi możliwościami zastosowań do bezpośredniego wytwarzania elementów maszyn



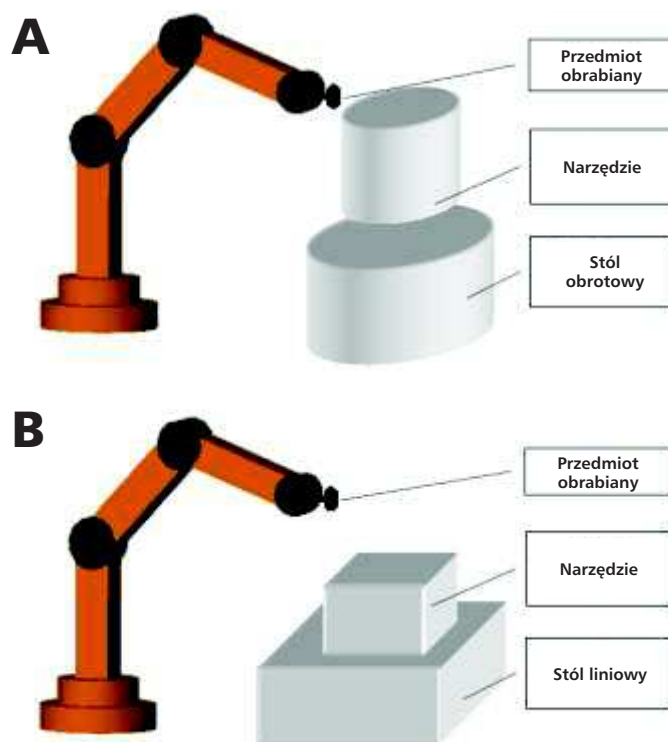
Tabela 1. Podstawowe struktury kinematyczne robotów [2]

Obszar roboczy robota	Struktura kinematyczna robota
 <p>kartezjańska</p>	
 <p>cylintryczna</p>	
 <p>przegubowa</p>	
 <p>sferyczna</p>	
 <p>SCARA</p>	

stanowią roboty o strukturze cylindrycznej i roboty o strukturze SCARA. Mniej korzystną wydaje się struktura sferyczna, z krzywoliniową w przekroju poprzecznym granicą obszaru roboczego. Najmniej korzystną jest struktura przegubowa, która generuje obszar roboczy o krzywoliniowych granicach i małej, względem gabarytów robota, przestrzeni roboczej.

Z uwagi na to, że struktury kinematyczne dostępnych robotów przemysłowych są projektowane głównie do zadań montażowych, lub związanych z manipulowaniem, utrudnione jest ich bezpośrednie zastosowanie do zadań obróbkowych. Dlatego też do tych zadań stosuje się niekiedy hybrydowe układy kinematyczne. W takiej sytuacji robot przemysłowy wyposażony jest w połączone z głowicą narzędzie, któremu nadaje odpowiednie usytuowanie w przestrzeni roboczej oraz przemieszczenia w płaszczyźnie x, y , a obrabiany przedmiot spoczywa na stole obrotowym (rys. 1a). Umożliwia to kształtowanie przedmiotów o dużych gabarytach przy jednym obrocie stołu. Ponadto stosowane jest również skojarzenie pracy robota ze stołem o przesuwie liniowym (rys. 1b). Zapewnia to dogodnie uzyskanie układu kartezjańskiego przy wykorzystaniu stopni swobody głowicy robota do optymalnego usytuowania narzędzia.

Stosowane są też konfiguracje, w których struktura robota rozbudowana jest o dodatkowy moduł ruchu, najczęściej liniowego, połączony z podstawą robota [2]. Umożliwia to rozszerzenie przestrzeni roboczej robota w pożądanym kierunku. W skojarzeniu z dodatkowymi osiami uzyskuje się,



Rys. 1. Robot skojarzony ze stołem: a) obrotowym, b) liniowym

przy uwzględnieniu elastyczności kinematycznej robota, bardzo złożone struktury kinematyczne. Przedstawione na rysunku 1 hybrydowe struktury robotów stosowanych z użyciem narzędzi są jedynie przykładowe. Istnieje możliwość konfigurowania takich układów kinematycznych robotów w zależności od potrzeb. Wymaga to wprowadzenia dodatkowych osi sterowania najczęściej sprzężonych z systemem sterowania robotem. Przykładem może tu być opracowana w Tokyo Institute of Technology [16] struktura nazwana Michal Angello, stosowana przy kształtowaniu styropianu metodą cięcia gorącym drutem (rys. 2). W aplikacji tej użyto skojarzenia kinematyki sześciu osi robota ze stołem o dwóch stopniach swobody. Zapewniło to, za pomocą specjalnie opracowanego systemu CAM, możliwość formowania wytworów o skomplikowanych kształtach.



Rys. 2. Robot z narzędziem do cięcia styropianu współpracujący ze stołem obrotowo-uchylnym [16]

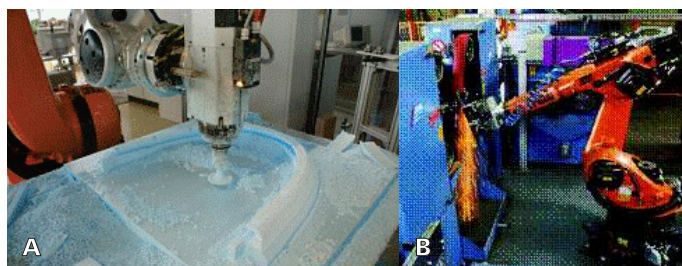
Zastosowania robotów wyposażonych w narzędzia

Roboty stosowane w procesach wytwarzania mogą być wyposażone w różnorodne narzędzia połączone z końcówką robota. Zapewnia im to dużą ruchliwość. Narzędzia mogą realizować różne techniki wytwarzania bazujące na:

- obróbce ubytkowej,
- łączeniu materiału,
- kształtowaniu z dodawaniem materiału.

Stosowane narzędzia robotów mogą być bez napędu, bądź wyposażone we własny napęd. Możliwości kinematyczne jak i znaczna sztywność współcześnie produkowanych robotów stwarzają warunki ich stosowania zarówno

w obróbce kształtującej jak i wykończeniowej powierzchni [1, 3, 4, 6, 7, 9-11, 13, 14, 20-22]. Stosowanie robotów w obróbce ubytkowej daje możliwości ich aplikacji w zakresie prac, które dotychczas były trudne do mechanizacji. Do obróbki wykończeniowej stosuje się np. procesy szlifowania i polerowania. Kinematyczne możliwości robotów przemysłowych, często wyposażonych w więcej niż 5 osi sterowanych, zapewniają praktyczne stosowanie idei elastyczności geometryczno-kinematycznej użytych narzędzi przy kształtowaniu i obróbce wykończeniowej powierzchni [3, 4, 7]. Możliwości kinematyczne robotów wyposażonych w narzędzia dorównują, a nawet niekiedy przekraczają, parametry współczesnych obrabiarek pięcioosiowych. Głównym ograniczeniem jest mniejsza sztywność i dokładność robotów ($0.5 \div 2$ mm [22]), jednak rozwiązania te są znacznie tańsze od użycia obrabiarek sterowanych numerycznie [1, 3, 7, 20-22]. Procesy obróbkowe z użyciem robotów są wspierane systemami CAM [7, 20-22] i prowadzone są w tym zakresie szeroko zakrojone dalsze prace. Wybrane przykłady implementacji robotów wyposażonych w narzędzia z własnym napędem przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Przykładowe zastosowania robota wyposażonego w narzędzie: a) przy frezowaniu [17], b) przy szlifowaniu [19]

Bardzo ciekawe zastosowanie robota wyposażonego w specjalną głowicę z nożami tokarskimi do toczenia na tokarce przedstawiono w pracy [9]. W tym przypadku ruch roboczy zapewnia uchwyt wrzeciona tokarki, kinematyka tokarki zaś umożliwia kształtowanie przedmiotu.

Innym przykładem nowych możliwości w zastosowaniu robotów wyposażonych w narzędzia obróbkowe jest zastosowanie reflektometrycznego systemu oceny stanu powierzchni w czasie jej obróbki [10]. Warunkuje to rozwój prac nad adaptacyjnym sterowaniem procesem obróbki z uwzględnieniem stanu powierzchni obrabianej [11].

Nowym kierunkiem zastosowania robotów w procesach obróbkowych, jest ich użycie do obróbki powierzchni o nieznanym kształcie przy wykorzystaniu mobilnego systemu inżynierii odwrotnej, zapewniającego rozpoznanie kształtu obrabianej powierzchni [7, 11]. Uzyskano to przy sterowaniu robota z użyciem komputera [8]. System taki umożliwia zastosowanie robotów do adaptacyjnej obróbki powierzchni o nieznanym kształcie, analogicznie jak obróbka wykończeniowa prowadzona przez pracownika. Roboty przemysłowe mogą być też automatycznie programowane do obróbki przy zastosowaniu widoku powierzchni obrabianej [6, 13].

Swoboda projektowania!



Wspornik mechaniczny satelity wyprodukowany na maszynie AM250 firmy Renishaw



Odwiedź nas na
MACH-TOOL, 06-09.06.2017
Hala 3A, stanowisko 31

Odkryj potencjał wytwarzania przyrostowego

W systemach stapiania laserowego firmy Renishaw stosuje się technologię tożsąca proszku metalicznego do produkcji litych części charakteryzujących się złożonymi kształtami w oparciu o model CAD.

Stapianie laserowe — znane również pod nazwą druku 3D — nie jest ograniczone regułami projektowania stosowanymi w tradycyjnej produkcji części. Można wytwarzać komponenty o złożonych kształtach, wkładki form wtryskowych z kanałami chłodzenia konformalnego, zmniejszać masę detalu poprzez zastosowanie optymalizacji topologicznej, a także połączyć kilka części w jeden podzespół. Stapianie laserowe jest również uzupełnieniem konwencjonalnych technologii obróbki maszynowej. W bezpośredni sposób przyczynia się do skrócenia czasu przygotowania wyrobu, zmniejszenia kosztów oprzyrządowania i narzędzi oraz umożliwia redukcję ilości odpadów.

- Redukuj koszty produkcji – zmniejsz liczbę operacji i koszty narzędzi.
- Poznaj swobodę projektowania – twórz części o skomplikowanych kształtach.
- Wykorzystaj druk 3D – skróć czas procesu produkcyjnego.

Aby uzyskać więcej informacji, odwiedź witrynę www.renishaw.pl/additive

Poza typowymi technikami obróbki wiórowej i ścierniej z użyciem robotów, spotyka się szereg innych zastosowań robotów wyposażonych w narzędzia. Na przykład roboty wyposażane są w narzędzia z gorącym drutem do kształtowania niektórych tworzyw sztucznych [7, 16]. Szczególnie spektakularne są przykłady kształtowania przyrostowego z użyciem robotów wyposażonych w różnego rodzaju systemy nakładania materiału (rys. 4) [5, 7, 15, 18, 22].

Takie rozwiązanie stanowi alternatywę dla dynamicznie rozwijających się technik kształtowania przyrostowego, przy wykorzystaniu drukarek 3D umożliwiających wytwarzanie kształtowaniami przyrostowym przedmiotów, najczęściej o stosunkowo niewielkich gabarytach.

Przedstawione przykłady wskazują na celowość prowadzenia prac w kierunku uogólnienia warunków stosowania robotów wyposażonych w narzędzia, szczególnie w zakresie wykorzystania i kształtowania przestrzeni roboczej robotów, a także stosowanych technik obróbkowych.

Typy narzędzi, które są kojarzone z robotem przedstawiono schematycznie na rysunku 5.

Stosowane narzędzia mogą posiadać część roboczą stacjonarną względem głowicy robota – nazwano je stacjonarnymi, bądź mogą posiadać dodatkowy ruch części roboczej zapewniający obróbkę – najczęściej obrotowy w skrócie nazwano je narzędziami rotacyjnymi

Uwzględniono tu również narzędzie iniekcyjne stosowane w kształtowaniu przyrostowym. Kształtowanie to prowadzi się najczęściej narzędziem stacjonarnym. Technika kształtowania przyrostowego z użyciem robota z nakładaniem tworzywa czy metodami spawalniczymi rozwija się bardzo dynamicznie [5, 12, 15, 22].

W tabeli 2 przedstawiono, opracowaną w oparciu o przykłady stosowania, propozycję klasyfikacji sposobów wytwarzania stosowanych z użyciem kinematyki robota przy

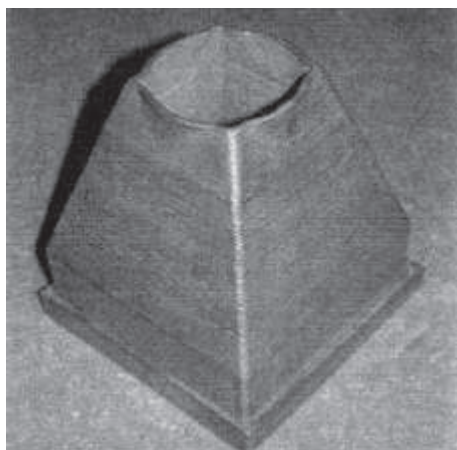
Tabela 2. Podstawowe struktury kinematyczne robotów

Sposób kształtowania	Kinematyka narzędzia	Sposób obróbki
Łączenie materiału	Narzędzie stacjonarne	Spawanie Zgrzewanie Inne
Kształtowanie ubytkowe	Narzędzie stacjonarne	Cięcie mechaniczne Cięcie termiczne Szlifowanie Toczenie Inne
	Narzędzie obrotowe	Frezowanie Polerowanie Przecinanie ściernie Przecinanie wiórowe Szlifowanie Szlifowanie taśmą Wiercenie Inne
Kształtowanie przyrostowe	Narzędzie stacjonarne	Malowanie Nakładanie poliuretanu Spawanie Wytłaczanie tworzywa Inne

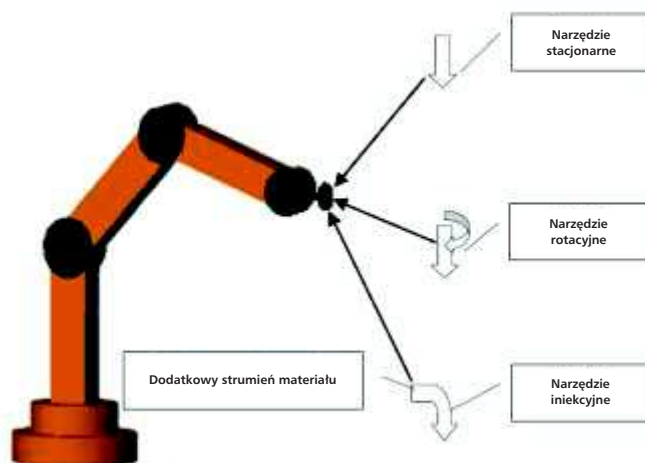
narzędziu stacjonarnym lub obrotowym (z własnym napędem) w zakresie łączenia materiałów, obróbki ubytkowej i kształtowania przyrostowego.

Podsumowanie

Przedstawione zagadnienia stosowania robotów przemysłowych wyposażonych w narzędzia stanowią ważny kierunek rozwoju inżynierii produkcji. Poza możliwością zastąpienia klasycznych obrabiarek sterowanych numerycznie, w niektórych zadaniach obróbkowych, szczególnie w zakresie kształtowania wytworów z materiałów niemetalowych, stwarza się warunki rozwoju nowych zasto-



Rys. 4. Kształtowanie przyrostowe z użyciem robota [18]



Rys. 5. Grupy narzędzi możliwe do stosowania z robotem przemysłowym

sowań wynikających ze skojarzenia kinematyki robota z użytym narzędziem (tabela 2).

Istotnym aspektem wykorzystania robotów w wytwarzaniu jest możliwość uzyskania dużej przestrzeni roboczej tych systemów, szczególnie przez skojarzenie złożonej kinematyki robota z dodatkowymi osiami ruchliwości samego robota, czy też obrabianego wytworu. Celowe jest prowadzenie prac poznawczych i aplikacyjnych w zakresie użycia robotów wyposażonych w narzędzia, gdyż zapewnia to zmniejszenie kosztów wytwarzania, a także niekiedy stwarza zupełnie nowe możliwości w zakresie wytwarzania.

Szczególnie dynamicznym kierunkiem rozwoju użycia robotów wyposażonych w narzędzia, winna być implementacja tego typu robotów wyposażonych w techniki kształtowania przyrostowego, umożliwiające dogodne kształtowanie prototypów jak i wytworów użytkowych z różnych materiałów, szczególnie w zakresie obiektów wielkogabarytowych. W celu usystematyzowania i rozwoju praktycznego zastosowania robotów w kształtowaniu i obróbce powierzchni należy przeprowadzić między innymi następujące działania:

- poznać stan wiedzy dotyczący aktualnego zaawansowania stosowania robotów zarówno w zakresie podstaw teoretycznych jak i przykładów zastosowań praktycznych,
- określić ogólne warunki zastosowania robotów wyposażonych w narzędzia z uwzględnieniem doboru przestrzeni robocze robota i możliwości jej rozszerzenia,
- wskazać techniki wytwarzania dogodne do stosowania wraz z robotem,
- poznać możliwości użycia robotów do obróbki powierzchni o nieznanym kształcie,
- prowadzić poszukiwania nowych technik kształtowania i obróbki dogodnych do stosowania z robotami,
- wskazać możliwości dostosowania robota do obróbki,
- prowadzić badania dokładności obróbki z użyciem robotów,
- doskonalić systemy komputerowego wspomaganie obróbki z zastosowaniem robotów.

Rezultatem tych działań winna być nowa technika wykorzystująca zarówno nowe konstrukcje robotów wyposażonych w narzędzia dostosowane do wykorzystania w zakresie różnych technik wytwarzania oraz procedury systemów CAM wspierające ich stosowanie praktyczne.

Literatura

- [1] Chen Y. H., Hu Y. N.: Implementation of a Robot System for Sculptured Surface Cutting. Part 1. Rough Machining. Int. Journal Advanced Manufacturing Technology, Vol. 15, (1999), pp 624-629.
- [2] Honczarenko J.: Roboty przemysłowe. Budowa i zastosowanie. WNT, Warszawa, 2004.

- [3] Hu Y. N., Chen Y. H: Implementation of a Robot System for Sculptured Surface Cutting. Part 2. Finish Machining. Int. Journal Advanced Manufacturing Technology, Vol. 15, (1999), pp 630-639.
- [4] Latoś H., Mikołajczyk T.: Surface Shaping with Industrial Robot, OPTIROB'2006, Predeal, Romania, (2006), pp 265-269.
- [5] Lewandowski J., Mikołajczyk T.: Rapid Prototyping using Robot, 10th Int. Conf., ROBTEP'2010, Slovakia, Bardeov, (2010), pp 201-206.
- [6] Mikołajczyk T.: Indication of Machining Area with the Robot's Camera using. Applied Mechanics and Materials, Vol. 282 (2013), pp 146-151.
- [7] Mikołajczyk T.: Manufacturing using Robot. Advanced Materials Research, Vols. 463-464 (2012), pp 1643-1646.
- [8] Mikołajczyk T.: Modernization of IRb60 Industrial Robot Steering System. OPTIROB'2007, Predeal, Romania, (2007), pp 149-152.
- [9] Mikołajczyk T.: Robot-Turner. Advanced Materials Research, Vols. 463-464 (2012), pp 1682-1685.
- [10] Mikołajczyk T.: System to Surface Control in Robot Machining. Advanced Materials Research, Vols. 463-464 (2012), pp 708-711.
- [11] Mikołajczyk T.: The Robot Machining System with Surface Shape Active Control. OPTIROB'2007, Predeal, Romania, (2007), pp 205-209.
- [12] Mikołajczyk T., Mikołajczyk M., Skibicki A.: On Line Videooptical System for Weld Groove Analysis. Applied Mechanics and Materials Vol. 613, (2014), pp 350-356.
- [13] Mikołajczyk T., Wasiak P.: Machining with Image Recognition using Industrial Robot. Applied Mechanics and Materials, Vol. 186 (2012), pp 50-57.
- [14] Pandremenos J., Doukos C., Stavropoulos P., Chryssoulouris G.: Machining with Robots: a Critical Review. Proceedings of DET'2011, Athens, Greece, pp 614-621.
- [15] Ribeiro A., Norrish J., McMaster R.: Practical Case of Rapid Prototyping using Gas Metal Arc Welding, 5th Int. Conference on Computer Technology in Welding, Paris, France, 15-16 1994.
- [16] Zhu J., Tanaka R., Tanaka T., Saito Y.: An 8-Axis Robot Based Rough Cutting System for Surface Sculpturing, 11th ICPE, Tokyo, Japan, No.16-18 (2006-8), pp 139-144.
- [17] <http://chem11.proboards.com/thread/2022/metalmen?page=13>
- [18] <http://sffsymposium.engr.utexas.edu/Manuscripts/1996/1996-29-Ribeiro.pdf>
- [19] http://www.kukarobotics.com/en/solutions/solutions_search/L_R244_Grinding_of_chainsaw_tracks.htm
- [20] www.delcam.com/powermill/simulation.htm
- [21] www.irbcam.com
- [22] www.robots.com.contacts.htm