

Talaşlı İmalatta Otomatik Çapak Alma İşlemi için Endüstriyel Robot Kol Tasarımı

¹Yusuf Hamida El Naser, ^{*1}Durmus Karayel, ¹S.Serdar Ozkan, ¹Gokhan Atali

¹¹Faculty of Technology, Department of Mechatronic Engineering Sakarya University, Turkey

Öz

İmalat sektöründe gerek talaşlı imalat, gerekse döküm ve plastik şekil verme işlemlerinde üretim sonrası çapağın temizlenmesi önemli bir problemdir. Çapağın ürün kalitesinin düşmesi ve çevreye verdiği zararları bakımından mutlaka uzaklaştırılması gerekir. Ülkemiz endüstrisinde bu işlem, genellikle çapak temizleme aletleri kullanılarak elle yapılmaktadır. Bu çalışmanın ana konusu çapak temizleyici bir robot kolun tasarlanmasıdır. Çalışmada bu işlem robot kolun uç kısmına çapak temizleyici entegre edilerek gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmaya özel robot kol tasarımında, çapak temizleyicinin izleyeceği yörüngenin ve temizlemeye uygun kuvvetin kontrol edilebilmesi iki kritik durumdur. Temizlenmesi gereken parçalar çoğu zaman düzgün geometride olmayacağından çapağın dağılımı ve dolayısıyla robotun hareket yörüngesi de düzgün olmayacaktır. Bu nedenle bu yörüngeyi izleyebilecek robot kolun da yeterli serbestlik derecesine sahip olması gerekmektedir. Diğer taraftan çapak temizleyiciyle iş parçası arasında oluşan kesme kuvveti ve normal kuvvetin büyüklüğü de çok önemlidir. Zira bu kuvvetin robot kolun yapısal rijitliğini etkilemeyecek ve parçaya zarar vermeyecek kadar küçük, diğer taraftan çapağı temizlemeye yetecek kadar da büyük olması gerekmektedir. Bundan dolayı tasarlanan sistemde kuvvet kontrolü önemli bir yer tutmaktadır. Çapak temizleme amaçlı olarak tasarlanan bu robot kol bir prototip olmakla birlikte, parametrelerin değerleri değiştirildiğinde endüstriyel amaçlar içinde kullanılabilecek niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Robot kol, Çapak temizleme, Talaşlı imalat

Industrial Robot Arm Design for Automatic Deburring Process in Machining

Abstract

Deburring after production is an important problem for machining, casting and plastic forming in the manufacturing sector. The burr must be removed in respect of the reduction of product quality and damage to the environment. This process is usually performed by using deburring tools manually in industry. The main subject of this study is to design a deburring robot arm. In the study, deburring operation has been performed by integrating a deburring tool at the end of the robot arm. To control the trajectory of deburring tool and suitable deburring force are two critical situations in such a special robot arm design. Since the parts that need to be cleaned are often not of uniform geometry and so the distribution of the burr and trajectory of robot arm will not uniform. Therefore, the robot arm that can follow this trajectory must have enough degrees of freedom. On the other hand, the cutting force between the deburring tool and the work piece and the magnitude of the normal force is also important. This force must be small so that it will not affect the structural rigidity of the arm and not damage the part and at the same time it must be big enough for deburring. Therefore, force control is important for the designed system. This robot arm designed for deburring can also be used for industrial purposes when the values of the parameters are changed.

Keywords: Robot arm, Deburring, Machining

*Corresponding author: Address: Faculty of Technology, Department of Mechatronics Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: yusufelnaser@sakarya.edu.tr, Phone: +902642957079

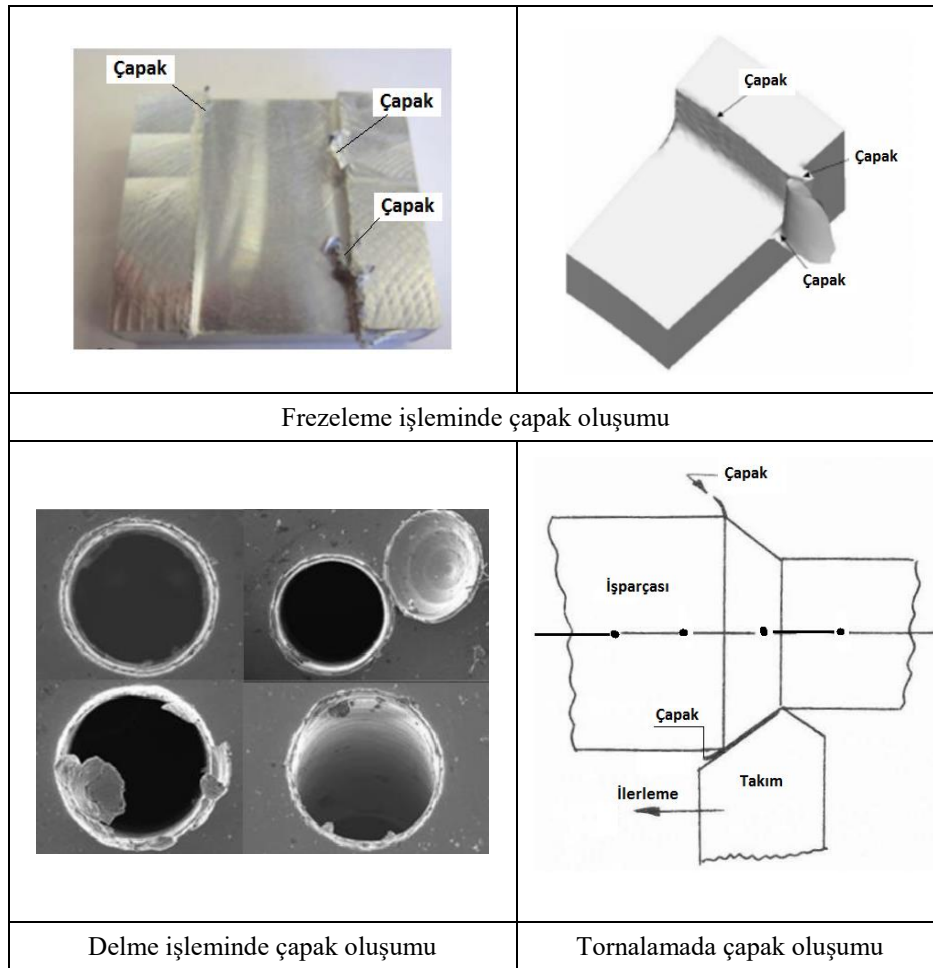
1. Giriş

Günümüzde özellikle talaşlı imalatla ileri teknolojiyle donatılmış tezgâhlar kullanılıyor olsa da çapaklı bir imalat çoğu zaman mümkün olmaz. Diğer taraftan çapak hem üretim kalitesi ve hem de çevreye verdiği zararlar bakımından riskli bir oluşumdur. Ayrıca çapaklı parçalar montaj işleminde de problem oluşturmalarının yanında yorulma ömrünü de olumsuz etkilemektedir. Üretimde proses parametrelerini optimize ederek ortaya çıkacak olan çapağın azaltılması amacıyla birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Ancak çaptan tamamen arındırılmış bir parçanın üretilmesi de mümkün olmamaktadır. Bu sebeple özellikle hassas parçalar ilave bir çapak temizleme işlemine tabi tutulmaktadır. Bu da üretimde ilave bir maliyet demektir. Almanya’da yapılan bir çalışma çapak temizleme maliyetinin üretim maliyeti içerisindeki payının yaklaşık %9 olduğunu ortaya koymaktadır [1]. Dolayısıyla birçok çalışma bu ilave maliyetin azaltılması üzerine odaklanmıştır. Zira çapak temizlemede kullanılan yöntem söz konusu maliyeti doğrudan etkilemektedir. Dahası geleneksel yöntemler kullanılarak el ile yapılan çapak temizleme işleminde, maliyetin yanı sıra iş güvenliği, karmaşık geometrili parçalarda arzu edilen temizliğin tam olarak yapılamaması gibi başka problemler de ortaya çıkmaktadır. Bu işlem için robot teknolojisinin kullanımı söz konusu problemleri önemli oranda azaltmaktadır. Ancak tasarlanacak robotun bu işe özel niteliklere sahip olması gerekmektedir. Robot tarafından manipüle edilen temizleyici takımın izleyeceği yörüngenin ve takım ile temizlenen parça arasındaki temas kuvvetinin kontrol edilebilmesi önemlidir. Son yıllarda bu amaçla robot kol tasarımı üzerine yapılan çalışmalar göze çarpmaktadır. Ziliani ve arkadaşları düzlemsel yüzeyli parçalardaki çapağın temizlenmesi için 2 serbestlik dereceli SCARA robot geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri robot kuvvet / hız esaslı bir hibrit kontrol algoritmasına dayanmaktadır [2]. Valente ve Oliveira çalışmalarında robotik çapak temizleme işlemlerinde takım yolu kontrolü için yeni bir yaklaşım ileri sürmüşlerdir. Çalışmalarında çapağın temizlenebilmesi için gerekli olan kuvvet değeri ile takım yolu pozisyonu arasında bir korelasyon geliştirmişlerdir. Sistemin kontrolünde geliştirdikleri korelasyonu kullanmışlardır [3]. Başka bir çalışmada döküm parçalarda oluşan pozisyon hatalarını düzeltmek ve aynı zamanda çapağı temizlemek üzere adaptif bir robotik sistem geliştirmişlerdir. Bu çalışmada iş parçası yüzeyi laser sensörle 3 boyutlu olarak ölçülerek elde edilen boyutlar nominal boyutlarla karşılaştırılmış ve ortaya çıkan hatalı bölgelerdeki fazlalıklar elimine edilmiştir [4]. Konu ile alakalı araştırmacıların çoğu mevcut sistemlere göre daha hassas çapak temizleme amacıyla farklı kontrol algoritmaları geliştirmeye çalışmışlardır [5-7]. Çapak temizlemede takım ile iş parçası arasındaki temas kuvvetinin kontrolü çok önemlidir. Zira bu kuvvetin fazla olması parça üzerinde boyutsal tahribatlara sebep olurken, yetersiz temas kuvveti de çapağı yeterli ölçüde temizlemeyecektir. Bu sebeple bazı araştırmacılar temas kuvvetinin kontrolü üzerine yoğunlaşmışlardır [8-10].

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda çoğunlukla kullanılan donanım ve kontrol sistemi geleneksel teknolojiyi esas almaktadır. Oysa günümüzde söz konusu problemin çözümü için donanım, yazılım, kontrol algoritması ve bilgi teknolojilerinde geline nokta birçok imkanı ve kolaylığı da beraberinde getirmiştir. Bu çalışmada robot kolun tasarımında yeni nesil donanım, yazılım ve kontrol teknolojilerinin kullanılması esas alınmıştır. Çalışmada ilk olarak çapak oluşumu ve temizleme işlemi genel olarak anlatılmış ve ardından bu amaca uygun robot kolun tasarımına geçilmiştir. Daha sonra, pozisyon kontrolü ve kuvvet kontrolü ayrı ayrı analiz edilerek kontrol sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir.

2. Çapak Oluşumu ve Temizleme Prosesi

Tüm üretim proseslerinde çapak istenmeyen bir oluşum olarak ortaya çıkar. Çapağın elimine edilmesi yönündeki bir çok çalışmaya karşın çapaksız bir üretim hemen hemen mümkün olmamaktadır ve az ya da çok mutlaka çapak ortaya çıkmaktadır. Özellikle hassas sistemlerin üretiminde çapak çok önemli bir problemdir ve temizlenmesi gerekmektedir. Diğer taraftan, üretim tipi, malzeme özellikleri, kesici takım geometrisi ve proses parametrelerine göre çok değişik formda çapaklar oluşmaktadır. Farklı işleme prosesleri için ortaya çıkan çapak formları Şekil 1’de ve bunları temizlemede kullanılan bazı takımlar da Şekil 2’de gösterilmektedir. Çapak temizleme işlemi farklı takımlar kullanılarak genelde elle yapılmaktadır. Ancak özellikle seri imalatla üretilen ürünler için mekanik çapak temizleme sistemleri geliştirilmiştir. Fakat bu sistemlerin her biri tek çeşit çapak türü için olup, diğer bir türe uyarlanabilecek esnekliğe sahip değildir.



Şekil 1. Talaşlı imalatta çapak oluşumu



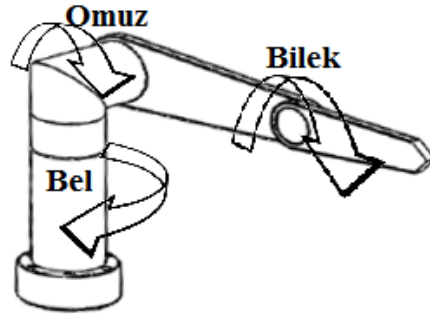
Şekil 2. Çapak temizleme takımları

Dolayısıyla bu çok farklı geometrik özellikte ve yapıdaki çapak türlerinin tümüne hitap edebilecek mekanik bir çapak temizleme sisteminin geliştirilmesi de mümkün değildir. Bu ihtiyacı karşılamak üzere kendisini değişken durumlara uyarlayabilecek yegane esnek sistem olarak “Robotik Çapak Temizleme Sistemi” öne çıkmaktadır.

Son yıllarda bu yöndeki çalışmalar ağırlık kazanmış olup konu hala güncelliğini korumaktadır. Bu çalışma söz konusu probleme katkı sağlamak amacıyla bir endüstriyel robot kol tasarlamayı hedeflemektedir. Bu başlangıç çalışması, bir prototip niteliğinde olup genelde prizmatik geometriye sahip parçaların çapaklarını temizlemek üzere tasarlanmaktadır. Ancak tasarımda kullanılan parametre değerlerinin değiştirilmesiyle profesyonel anlamda diğer üretim yöntemleri için de kullanılabilir niteliktedir.

3. Robot Kol Tasarımı

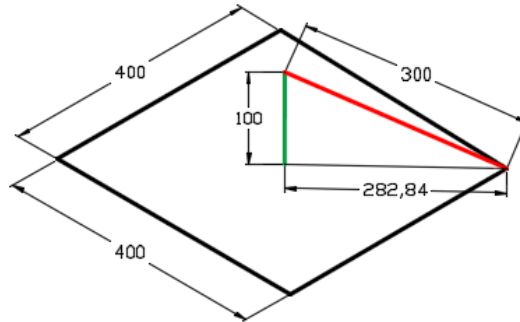
Tasarlanan robot kol 3 serbestlik derecesine sahip olup mafsallı seri manipülatörlerin (articulated manipulators) özelliklerine sahiptir. Robot kolu, Y ekseninde dönen bir adet motordan ve Z ekseninde dönen 2 adet motordan ve bunları birbirine bağlayan şase takımından meydana gelmektedir. Şase, tekillik noktalarından (singularities) kaçınma amaçlı olarak birinci ve ikinci eklemleri arasında 40 mm’lik bir eksen kaçıklığına sahip olacak şekilde dizayn edilmiştir. Böylece sistemin hareketinin düzgün ve tekrarlanabilir olması sağlanmıştır. Sistemde, Dynamixel AX-12A akıllı servo motorları ve Dynamixel Bioloid şase parçaları kullanılmıştır. Şekil 3’te robot kola ait hareket eksenleri gösterilmiştir. Kolun kinematik hesaplarında, kullanılacak çapak temizleyici, son uzun uç noktalarının kesilerek sivriltilmesiyle temsil edilmiştir.



Şekil 3. Robot kol hareket eksenleri

3.1. Robot Kolunun Uzun Boyutlarının Belirlenmesi

Robot kolunun uzuv büyüklükleri, istenen çalışma alanı ve bu alan içerisinde işlenmek istenen geometriye göre belirlenir. Bu çalışmada robotun çalışma alanı 400 mm x 400 mm ve yerden yüksekliği ise $\ell = 100$ mm olarak belirlenmiştir. Çalışma alanına bağlı olarak belirlenen robot kol uzunlukları Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Çalışma alanına bağlı robot kol uzunlukları (mm)

Robot kol çalışma alanının merkezine yerleştirildiğinde, ikinci ve üçüncü uzuv uzunlukları (a , b) toplamı en az;

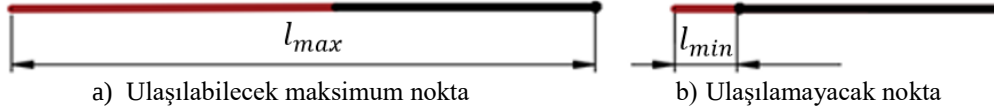
$$a + b = \sqrt{(400/2)^2 + (400/2)^2 + 100^2} = 300 \text{ mm olmalıdır.}$$

Bu değer ikinci ve üçüncü uzuvların toplamının minimum değeridir. İkinci uzvumuzu a , üçüncü uzvumuzu b ile gösterirsek;

$$a + b \geq 300 \text{ mm olur.}$$

Bu durumda toplamı 300 değerinin altına düşmeyecek şekilde uzuv uzunluklarını keyfi olarak seçilebilir ve kolun çalışma alanının sınırlarına erişimi mümkün kılınabilir, ancak uzuv

uzunlukları arasındaki mesafe kadar ölü bir bölgenin doğacağı göz ardı edilmemelidir. Dolayısıyla uzuv uzunlukları birbirlerine mümkün olduğunca yakın seçilmelidir.



Şekil 5. Ulaşılabilecek noktalar (min, max)

Yukarıdaki hesaplamalar neticesinde 2. uzuv uzunluğu 160 mm ve 3. uzuv uzunluğu 140 mm olarak seçilmiştir.

3.2. Kinematik Denklemler

İleri Kinematik Denklemlerin Elde Edilmesi

Robot kolunun ileri yön kinematiğinin analizinde Denavit-Hartenberg yöntemleri kullanılmıştır. Buna göre eksen takımlarının yerleştirilmesi sonrası elde edilen D-H tablosu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Denavit-Hartenberg parametreleri

D-H	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
0→1	0	90	$-\ell$	θ_1
1→2	0	-90	0	θ_2
2→3	a	0	d	θ_3
3→4	b	0	0	0

$a=160$, $b=140$, $\ell=100$ ve $d=40$ mm olarak seçilmiştir.

Buna göre homojen dönüşüm matrisleri sırasıyla oluşturulup çarpıldığında, $s \theta = \sin \theta$, $c \theta = \cos \theta$ olmak üzere;

$${}^0T_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & s \theta_1 & 160 * c \theta_1 * c \theta_2 - 40 * s \theta_1 - 140 * c \theta_1 * s \theta_2 * s \theta_3 + 140 * c \theta_1 * c \theta_2 * c \theta_3 \\ 0 & 0 & 0 & 160 * s \theta_2 + 140 * c \theta_2 * s \theta_3 + 140 * c \theta_3 * s \theta_2 + 100 \\ 0 & 0 & c \theta_1 & 160 * c \theta_2 * s \theta_1 + 40 * c \theta_1 - 140 * s \theta_1 * s \theta_2 * s \theta_3 + 140 * s \theta_1 * c \theta_2 * c \theta_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

olarak bulunur.

Buradan robot kolun uç koordinatları;

$$P_x = 160 * c \theta_1 * c \theta_2 - 40 * s \theta_1 - 140 * c \theta_1 * s \theta_2 * s \theta_3 + 140 * c \theta_1 * c \theta_2 * c \theta_3$$

$$P_y = 160 * s \theta_2 + 140 * c \theta_2 * s \theta_3 + 140 * c \theta_3 * s \theta_2 + 100$$

$$P_z = 160 * c \theta_2 * s \theta_1 + 40 * c \theta_1 - 140 * s \theta_1 * s \theta_2 * s \theta_3 + 140 * s \theta_1 * c \theta_2 * c \theta_3$$

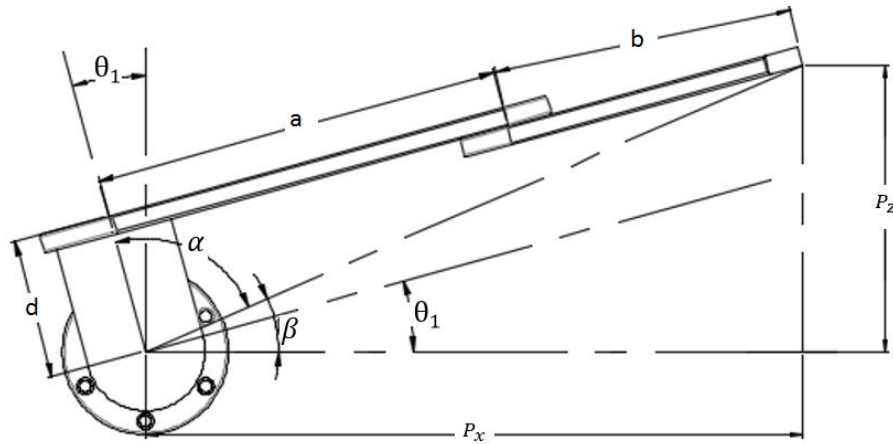
denklemleriyle ifade edilebilir.

Ters Kinematik Denklemlerin Elde Edilmesi

Ters kinematik denklemlerin elde edilmesi, çapak temizleyicinin, koordinatları bilinen iş parçasının üzerinde gezinerek iş yapabilmesi için motorların dönmesi gereken açı değerlerini belirlemeye imkan sağlar. Bu gerekli açı değerleri, grafiksel olarak bulunmuş ve daha sonra LabVIEW ortamına aktararak motorlarla haberleşmesi sağlanmıştır.

- Birinci eksen açı değerinin bulunması

Birinci eksen açı değerlerini bulabilmek için yararlanılan parametreler Şekil 6'da gösterilmiştir. Ulaşılmak istenen noktanın x eksenini üzerindeki izdüşüm noktasına P_x ve z eksenini üzerindeki izdüşümüne P_z denirse, yukarıda sembolize edilen $a=160$, $b=140$, $\ell=100$, $d=40$ mm değerlerinden;



Şekil 6. 1. Eksen ters kinematik parametreleri

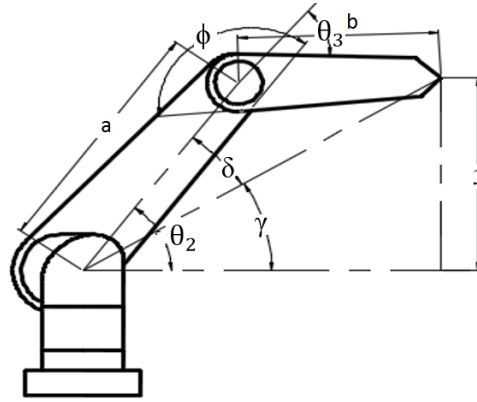
$$\alpha = \arctan\left(\frac{\sqrt{P_x^2 + P_z^2 - d^2}}{d}\right),$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{P_z}{P_x}\right),$$

$$\theta_1 = \alpha + \beta - \frac{\pi}{2} \text{ olarak bulunur.}$$

- İkinci ve Üçüncü eksen açı değerlerinin bulunması

İkinci ve üçüncü eksen açı değerlerini bulunmasında kullanılan parametreler Şekil 7'de sunulmaktadır.



Şekil 7. 2. ve 3. Eksen ters kinematik parametreleri

İkinci ve üçüncü eksenlerin birbirlerine Y eksenindeki dik uzaklığı y ile sembolize edilirse;

$$\gamma = \arctan\left(\frac{y}{\sqrt{P_x^2 + P_z^2 - d^2}}\right),$$

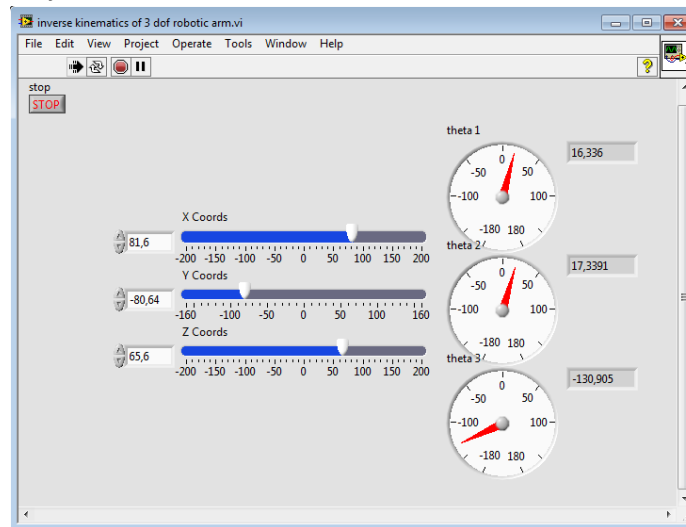
$$\delta = \arccos\left(\frac{P_x^2 + P_z^2 - d^2 + y^2 + a^2 - b^2}{2*a*\sqrt{P_x^2 + P_z^2 - d^2 + y^2}}\right),$$

$$\theta_2 = \gamma + \delta,$$

$$\phi = \arccos\left(\frac{-P_x^2 - P_z^2 + d^2 - y^2 + a^2 + b^2}{2*a*b}\right)$$

$\theta_3 = \pi - \phi$ olarak bulunur.

Ters kinematik denklemlerin LabVIEW ortamına aktarımında kullanılan program arayüzü Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Ters kinematik denklemlerine ait Labview arayüzü

4. Kontrol Sisteminin Tasarımı

Çapak temizleme amacıyla tasarlanan robot kolda, kontrol sisteminin tasarımı esas olarak pozisyon (konum) kontrolü ve kuvvet kontrolüne dayanmaktadır. Çapak temizleme takımı temizlenecek parçanın ilgili kenarlarını takip etmek zorundadır. Bu da ancak temizlik yapılacak yolun yani yörüngeyi belirlenmesi ve takımın bu yörüngeyi izleyecek şekilde kontrol edilmesiyle mümkündür. Diğer bir kritik durum ise çapak temizleme takımı ile iş parçası temas noktasında ortaya çıkan kesme kuvvetidir. Zira bu kuvvetin gereğinden fazla olması neticesinde takım çapakla birlikte parçaya da zarar verecek ve negatif talaş olarak adlandırılan bir durumu ortaya çıkararak parçanın bozulmasına sebebiyet verecektir. Söz konusu kesme kuvvetinin gereğinden daha düşük olması ise çapağın yeteri kadar temizlenememesi sonucunu doğuracaktır. Dolayısıyla optimum bir kuvvetin uygulanma zorunluluğu vardır. Bu da ancak kuvvetin kontrol altına alınmasıyla mümkündür.

4.1. Pozisyon Kontrolü

Uygun Yörüngeyi Belirlenmesi

Robotlar, kendilerine bir kez tanıtılan yörüngeyi tekrar tekrar takip edebilecek yeteneğe sahiptirler. Burada esas olan izlenecek yörüngeyi robota tam ve doğru bir biçimde tanıtılması ve pozisyonunun kontrol edilmesidir. Bu pozisyon kontrolü ve izlenecek yörüngeyi belirlenmesi, robotik uygulamalarda önem teşkil eden bir konudur. Robotik uygulamalarda izlenecek yörüngeyi tespitinde işlenecek parça geometrisi, robot şasisinden meydana gelen fiziksel sınırlamalar ve uygulanacak prosesin karmaşıklığı gibi birçok parametre bulunmaktadır. Örneğin, boş bir çalışma alanı içerisinde bir noktadan diğer bir noktaya taşıma ve dizme uygulamasında parçanın alındığı ve parçanın bırakılacağı iki noktanın koordinatlarının bilinmesi yeterlidir. Diğer taraftan, bu iki nokta arasındaki hareketin modellenmesi çoğu zaman önem arz etmemekte iken, kaynak, çapak temizleme ve boyama gibi endüstriyel uygulamalarda işlenecek parçanın geometrisi bir rota gibi belirlenerek devamlı olarak takip edilmektedir [11]. Bu uygulamada da seyir yörüngesi, CAD dosyası yardımıyla çapağı temizlenecek iş parçasının kenarlarının belirlenmesi ve bu kenarların LabView programı yardımıyla koordinatlandırılarak bu koordinatların bir dizi halinde sırasıyla ters kinematik denklemlerden geçirilmesiyle gerekli motor açılarının bulunması sayesinde gerçekleştirilmektedir. Bu yörünge çerçevesinde çapak temizleyici ile iş parçasının temasının düzgün ve sürekli olarak sağlanması ve iş parçasına uygulanacak kuvvetin değişmesi neticesinde parça ve çapak temizleyici arasında oluşabilecek temaslılıkların önlenmesi sağlanmaktadır.

4.2. Kuvvet Kontrolü

Optimum Kuvvetin Belirlenmesi

Çapak temizleme işlemi, robot kola yerleştirilen çapak temizleme aleti ile çapaklı iş parçasına, pozisyon kontrolü neticesinde belirlenen yörünge boyunca bir kuvvet uygulayarak gerçekleştirilir. Kuvvetin büyüklüğü, robot kol sisteminde kullanılan motorlar tarafından üretilen tork değerine, iş parçasından temizlenecek çapak yoğunluğuna, iş parçasının ve çapak

temizleyicinin malzemesine, temizleyici ile iş parçasının temas yüzeyi ve geometrisine göre değişiklik gösterir. [12] Dolayısıyla, çapağı temizlecek yüzey boyunca ve normalince etkiyecek bu kuvvetin kontrol edilerek belirlenen optimum aralıklarda tutulması gerekmektedir. Kuvvet, iş parçası üzerinden çapak alınması için uygulanması gereken minimum kuvvet değerinden büyük, aynı zamanda temizlenmek istenen çapak derinliğini aşmayacak ve iş parçasına ve temizleyici takıma zarar vermeyecek maksimum kuvvet değerinden de küçük olmalıdır [3]. Bu doğrultuda muhtelif çapak cinsi, boyutları ve karakteristiklerine karşılık gelen kesme kuvvetlerinin sınırları belirlenip, çapak temizleyici takım üzerine yerleştirilen kuvvet sensöründen gerçek zamanlı olarak alınan geri beslemelerle karşılaştırılarak kontrolü sağlanmaktadır. Çapak temizleme takımı, belirlenen aralığın maksimum değeri aşıldığında, kuvvet sınırları arasında bir değere oturana kadar temas yüzeyinden uzaklaşmakta, minimum değerin altına düşüldüğünde ise temas yüzeyine yaklaşmaktadır.

Sonuçlar

Bu çalışmada çapak temizleme amacıyla kullanılan bir robot kol tasarımı sunulmuştur. Çapak temizleme takımının izleyeceği yörüngenin belirlenmesinde temizlenecek parçanın CAD modelinden yararlanılmış ve pozisyon kontrolünde bu yörünge kullanılmıştır. Takım ve iş parçası arasındaki etkileşim, kesme kuvvetini doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple, gerekli esnekliği sağlayarak optimum kuvvet aralıklarının elde edilebilmesi için özel bir çapak temizleme takımı kullanılmaktadır. Esasen bu takımın bizzat kendisi bir mekatronik sistemdir. Zira kesme işlemini gerçekleştiren takımdan başka bünyesinde kesme hareketini sağlayacak bir motor ve kuvvet ölçümünün yapıldığı bir kuvvet sensörünü de barındırmaktadır. Çapak temizleme amaçlı olarak tasarlanan bu robot kol bir prototip olmakla birlikte, parametrelerin değerleri değiştirildiğinde endüstriyel amaçlar için de kullanılabilecek niteliktedir. Diğer taraftan bu çalışmanın sonraki çalışmalara da zemin oluşturma potansiyeli vardır.

Bundan sonraki çalışmada görüntü işleme yöntemiyle çapak formunun ve boyutunun algılanması sonucu çapak tipinin belirlenmesinde yapay zeka yöntemleri kullanılacaktır. Ayrıca belirlenen çapak tipine uygun çapak temizleme takımının seçimi ve yerine takılması işlemi de otomatik olarak gerçekleştirilecektir. Böylece çapak formunun algılanması, analizi, uygun temizleme takımının ve gerekli parametrelerin seçimi gibi tüm işlemlerin geliştirilen sistem tarafından yapılması mümkün olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı tarafından 2017-50-01-009 proje nolu Yüksek Lisans Tez Projeleri kapsamında, “Endüstriyel Amaçlı Robot Kol Tasarımı ve Üretimi” ismi ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] L. Leitz, V. Franke, and J.C. Aurich, Burr Formation in Drilling Intersecting Holes, Proceedings of the CIRP International Conference on Burrs, 2009; 109-115.
- [2] G. Ziliani, A. Visioli, G. Legnani, A mechatronic approach for robotic deburring, Mechatronics 17, 2007; 431-441
- [3] Carlos M. O. Valente, João F. G. Oliveira, A New Approach For Tool Path Control In Robotic Deburring Operations, ABCM Symposium Series in Mechatronics, 2004; 124-133
- [4] Hubert Kosler, Urban Pavlovčič, Matija Jezeršek, Janez Možina, Adaptive Robotic Deburring of Die-Cast Parts with Position and Orientation Measurements Using a 3D Laser-Triangulation Sensor, Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering 62, 2016; 207-212
- [5] H. Kazerooni, J. J. Bausch, B. M. Kramer, An Approach to Automated Deburring by Robot Manipulators, Transactions of the ASME 108, 1986; 354-359
- [6] M. G. Her, H. Kazerooni, Automated Robotic Deburring of Parts Using Compliance Control, Transactions of the ASME 113, 1991; 60-66
- [7] Fusaomi Nagata, Tetsuo Hase, Zenku Haga, Masaaki Omoto, Keigo Watanabe, CAD/CAM-based position/force controller for a mold polishing robot, Mechatronics 17, 2007; 207-216
- [8] Thomas M. Stepien, Larry M. Sweet, Malcolm C. Good, Masayoshi Tomizuka, Control of Tool/Workpiece Contact Force with Application to Robotic Deburring, IEEE Journal Of Robotics And Automation, 1987; 7-18
- [9] G. M. Bone, M. A. Elbestawi, R. Lingarkar, L. Liu, Force Control for Robotic Deburring, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control 113, 1991; 395-400
- [10] J. Norberto Pires, J. Ramming, S. Rauch, R. Araújo, Force/Torque Sensing Applied to Industrial Robotic Deburring Control for Robotic Deburring, Sensor Review 22, 2002; 232 - 241
- [11] A. Sokolov, Robot motion realisation using LabVIEW, Periodica Polytechnica. Engineering. Mechanical Engineering, 1999, 43(2), 131.
- [12] S. Malkin, Grinding technology. Theory and applications of machining with abrasives. Ellis Horwood Limited, England; 1989.