



---

## Makale / Research Paper

---

### Mikro Frezeleme Tezgahının Tasarımı ve Kısımları

Ferit FIÇICI<sup>1</sup>, Mustafa DÜNDAR<sup>2</sup>, Fatih ÖZEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 54187 Sakarya/TÜRKİYE

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Biga Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü,  
17200 Çanakkale/TÜRKİYE  
[fficici@sakarya.edu.tr](mailto:fficici@sakarya.edu.tr)

---

**Özet:** Teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte minyatür parçalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç duyulan minyatür parçalara özellikle elektro optik, otomotiv, biyoteknoloji, havacılık, minyatür robotlarda ve bilgi teknolojileri endüstrisinde ihtiyaç her geçen gün hızla artmaktadır. Mikro işleme tezgahındaki işlenen parçalar makro işleme tezgahındaki işlenen parçalara göre daha yüksek hassasiyet istemektedir. Yukarıdaki bahsedilen endüstri kolları her geçen gün daha hassas parçalara ihtiyaç duymaktadır. Ülkemizde mikro işleme yeni bir konu olduğu için pek fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu yüzden bu çalışmada mikro frezeleme tezgahının kısımları ve ucuz maliyetlerle mikro frezelemenin tasarımı sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Mikro işleme, Mikro frezeleme, Mikro işleme tezgahları

---

### Milling Machine Of Design and Parts

---

**Abstract:** Miniature parts is needed with the rapid development of technology. This is especially needed in miniature electro-optical components, automotive, biotechnology, aerospace, and information technology industry in need of miniature robots is increasing rapidly every day. It seeks greater precision machined components based on macro-working machine parts processing in the micro-working machines. The above-mentioned industries are more sensitive parts need every day. There is little work because it is a new subject in our country micromachining. Therefore, in this study the micro milling with micro-milling machine tools design and low cost of parts has been presented.

**Keywords:** Mikromachining; mikromilling; mikromilling machines;

---

## 1. Giriş

Mikro işleme hassas makine parçalarını üretmek için etkili bir yöntemdir. Bu nedenle mikro kesme ile ilgili araştırmalar devam ederken bazı firmalar ilerleme hassasiyetini nanometre ve alt nanometre olan hassas makine aletleri üretmektedir. Böyle hassas makine parçaları çok pahalı olduğundan sınırlı üretilmektedir. [2]

Karmaşık ve hassas mikro parçaların isteklerini ancak mikro işleme ile yapılabilmektedir. Konveksiyonel üretim sistemlerinde bu durum sınırlıdır. [3] Mikro frezeleme operasyonlarında yüksek hassasiyetli parçalar üretebiliriz. Mikro işleme operasyonları elastik, plastik, etkiler geleneksel malzeme işlemeden farklıdır. [4]

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Fiçici F., Dündar M., Özen F., "Mikro Frezeleme Tezgahının Tasarımı ve Kısımları" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2016, 3(3); 428-437.

*How to cite this article*

Fiçici F., Dündar M., Özen F., "Mikro Frezeleme Tezgahının Tasarımı ve Kısımları" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2016, 3(3); 428-437.

Mikro mekanik işleme 10 $\mu$ m'dan birkaç milimetre boyut aralığındaki unsurları içeren minyatür cihaz ve parçaları imal etmek için kullanılan bir imalat yöntemidir. Konvansiyonel işleme operasyonlarına benzemesine rağmen, mikro mekanik işleme minyatürleşmiş kesici takımlar kullanılarak malzeme yüzeyine şekil vermektedir. [5] Şekil 1'de Mikro işlemenin çalışma boyutları gösterilmiştir.

Yüksek hassasiyete sahip minyatür parçalar birkaç milimetre ile birkaç mikron arasındaki minyatür parçaların gereksinimi elektro-optik, otomotiv, biyoteknoloji, havacılık, bilgi teknolo-



Şekil 1. Mikro işlemenin çalışma boyutları[6]

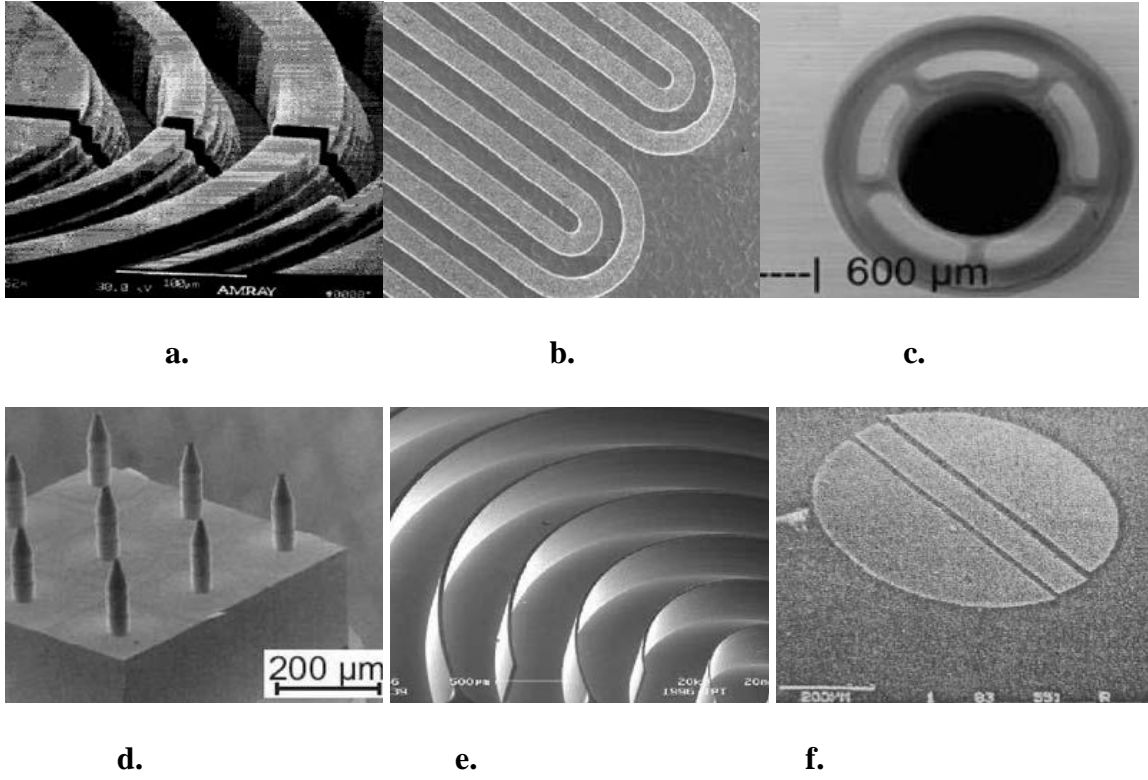
jileri, sağlık cihazları ( Ameliyat ürünleri ) gibi alanlarda ihtiyaç giderek artmaktadır. Bunun yanında ultra hassas mikro parçalar birçok avantaja sahiptir. Mikro işleme yüksek hassasiyetli mikro parçaları üretmek için ideal bir yöntemdir. Mekanik işleme süreçleri içerisinde en esnek olanı mikro frezelemedir. Mikro bileşenleri ve mikro parçaları geniş bir yelpazede hassas bir şekilde üretmek mümkündür. Şekil 2'de mikro frezelenmiş mikro parçaları bulabilirsiniz.

Mikro freze tezgahları ticari olarak temin edilebilen fakat maliyetleri düşünüldüğünde çok pahalı tezgahlardır.[2] Bu çalışmada literatür çalışması yapılarak mikro freze tezgahının tasarımı, kısımları ve ucuz olarak yapılması anlatılmıştır.

## 2. Mikro Freze Tezgahının İşleme Kabiliyeti

Mikro parçalarda istenilen üretim gereksinimleri 1  $\mu$ m ile 50  $\mu$ m arasında yüksek ölçü hassasiyeti ve 50  $\mu$ m aralığında yüzey kalitesi gerekmektedir. Mikro makine parçalarında statik rijitlik, düşük termal bozukluk, düşük hareket hataları ve yüksek veya dinamik rijitlik vardır. [8]

Buna ek olarak önemli ve kapsamlı tasarım aşamasında mikro frezeleme kapasitesi olan ultra hassas makineler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yüksek hassasiyetli parçaların üretimi için sanayide ultra hassas makineler vardır. Bu tezgahların çok yüksek maliyet, düşük esneklik ve katma değeri yüksek olması onların uygulama alanını kısıtlar. Ultra hassas frezeleme makineleri son on yılda çıkmıştır. Şekil 3'deki örnekte Kern mikro frezeleme tezgahı birçok uygulamayı karşılamasına rağmen ilerleme mekanizmasındaki bilyalı rulmanlardan dolayı düşük konumlandırma özelliği vardır. Bundan dolayı hassas işleme için sınırlılıkları vardır. Kugler marka mikro işleme tezgahı içinse yüksek hassasiyet ve iyi yüzey kalitesi sunmasına rağmen yüksek maliyetinden dolayı sınırlıdır. [8]



Şekil 2. Yüksek hassasiyette frezelenmiş mikro parça örnekleri

a. Mikro Çukurlar [7] b. Mikro Reaktör [8] c. Mikro Kalıp [9]

d. Sıralanmış Mikro İğneler [10] e. Mikro Duvarlar [11] f. Nükleer Füzyon için Metal Yaprak [8]

Bir çok araştırmada minyatür makineleri veya mikro fabrikaları geliştirmek için hassas mikro parçaların üretiminin gerçekleştirilmesi çalışılmıştır. Şekil 4'de bazı minyatür tezgahlar gösterilmektedir.

Bu nedenle mikro imalat akılcı bir yaklaşımla ultra hassas makineleri tasarlanmaktadır. Tasarlanan ultra hassas makinelerin geleneksel ultra hassas makinelere göre avantajları :

1. İlerleme hassasiyeti ve enerji verimliliği
2. Kolay çevre kontrolü ve düşük işleme maliyetleri
3. Taşınabilirlik

Yaygın fabrikalarda kullanılan mikro tezgahların tasarlanan mikro makinelere göre avantajları:

1. Mikro işleme geniş yelpazede olur
2. Büyük statik ve dinamik yükler dolayısıyla daha iyi işleme hassasiyeti ve yüzey kalitesi
3. Yüksek performanslı makine elemanlarının mevcudiyeti
4. Taşıma sistemlerinin entegre kolaylığı

Yukarıdaki sayılan nedenlerden dolayı az yer kaplayan ultra hassas bir mikro freze makinesinin karmaşık 3D mekanik parçalarının işlenebilmesi için bu ihtiyaçları gidermesi beklenmektedir.

### 3. Mikro Freze Tezgahında Uygulanan Genel Tasarım Konuları

Nanometre yüzey 3D mikro mekanik hassas parçaların seri üretimine ulaşmak için bir tasarım stratejisi öne sürülmektedir. Tasarım aşamasında üç ana başlık altında toplanmıştır.

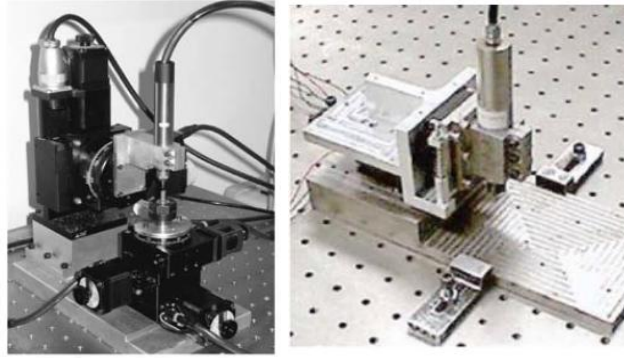


a.

b.

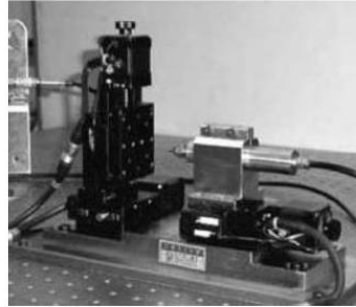
c.

Şekil 3. Endüstriyel amaçlı kullanılan mikro işleme makineleri  
a. Kern Micro [12] b. Kuglar Micro Machine [13] c. Fanuc Robonano [14]



a.

b.



c.

Şekil 4. Endüstriyel amaçlı kullanılan mikro işleme makineleri  
a. [2] b. [8] c. [15]

1. Hareket Toleransı
2. Dinamik ve Termal Yükler
3. Yüksek hassasiyet ve iyi yüzey kalitesi

Takım tezgahlarının biri de havalı rulmanlardır fakat ultra hassas tezgahlar için durum farklıdır. UltraMill tezgahı için üç lineer yatak ve döner tabla için UPM Ltd. tarafından geliştirilen yatak teknolojisi kullanıldı. Yani havalı rulmanlar tasarımı deneylerle onaylanan %50 oranında rijitliği ve yük yeteneğini artırmaktadır. Bu nedenle, dinamik kesme ve kuvvet koşullarında mikron altı kesme koşullarında hassasiyet yukarıdaki teknoloji ile sağlanır. Elmas takım ile havalı rulmanlar sayesinde

aşırı düzgün, hassas ilerleme ve aynı zamanda nanometre yüzeyin başarılı bir şekilde bitmesini sağlar. [8]

Bir takım tezgahı termal stabilesi yüksek işleme hassasiyeti belirlemesinde önemli rol oynar. Bir takım tezgahı termal kaynaklı deformasyonların katkısı toplam işlem hatasının %50'sinin olabileceği bildirilmektedir. Ultra hassas işlemede doğru tasarım etkiyi en aza indirmek için en uygun seçenektir. Bütün motorlar, mil ve gelişmiş yöntem ve tertibat döner tabla Ultra Mill tezgahında  $\pm 0,2$  °C arasındaki bir sıcaklık kontrolü sağlayan hassas bir soğutucu ile soğutulmuştur. [8]

Kontrol sistem tasarımı ele alınırken esnekliği, hassasiyeti, hesaplama verimliliği ve maliyeti dikkate alındı. Mevcut ticari kontrol sistemleri incelendikten sonra UltraMill tezgahı için açık kodlu bir işletim sistemi gereksinimleri karşılamak için seçildi.

#### 4. Mikro Tezgahının Ana Unsurları

##### 4.1. Minyatür Ultra Hassas Spindle

Piyasada bir ultra hassa bir spindle 50 mikron ila 3 mm arasında değişen çaplarda takımlar bağlanabilmektedir. Büyük kesme kuvvetlerine karşı dayanıklı aynı zamanda yüksek devir sayısına sahip olmalıdır.

Bir spindle için ön görülen devir sayısı 20.000 ila 250.000 devir arasında değişmektedir. Piyasada kullanılan 3 çeşit bu tür hız kafası vardır. Bunlar; mekanik, havalı ve elektronik kontrollü hız kafalarıdır. Mikro işleme sırasında bu 3 kafa için en uygun olanı elektronik kontrollü hız kafasıdır. Çünkü işleme sırasında titreşim istenmeyen bir durumdur. Bu durum parça ve takım üzerinde istenmeyen sorunlar ortaya çıkarabilir. Bu yüzden mekanik hız kafalarında titreşim oldukça fazla olacağı tahmin edildiğinden mikro işleme operasyonlarında çok tercih edilmez. Havalı hız kafalarında ise hava basıncının artması veya değişmesiyle birlikte devir sayısında artma ve azalma görülebilir. Bu durumda parça ve takım üzerinde istenmeyen durumlara yol açabilir. Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı en verimli hız kafası elektronik kontrollü olanıdır.

Havalı rulmanlar ve yataklar mil kullanımını belirlemektedir. Tipik rulmanlar titreşime sebebiyet verdiğinden dolayı pek tercih edilmezler. Hidrostatik ve Hidrodinamik yataklar da aşırı güç tüketimi sebebiyle bu işlemler için tercih edilmez.

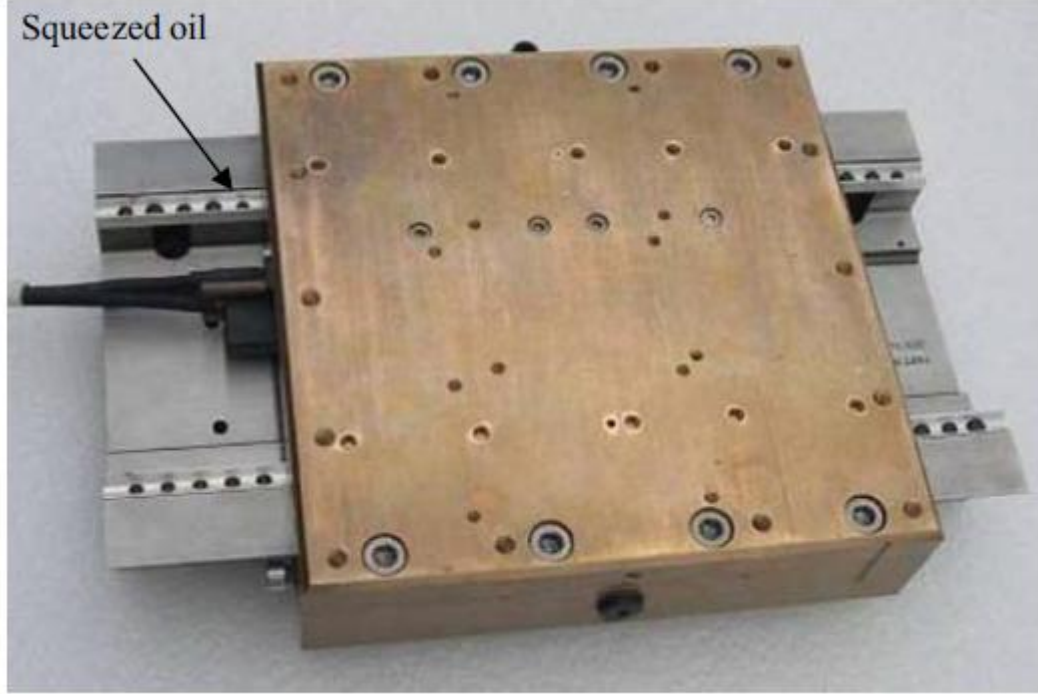
##### 4.2. İlerleme Sürücüsü ve Klavuz Sistemi

Yüksek hızlı ve hassas hareketin konumlandırılması için ultra hassas makinelere ihtiyaç vardır. Lineer motorlar bu uygulamada popüler olan ve giderek artan bir sistemdir. Aşağıda diğer ilerleme sürücülerindeki avantajları sıralanmıştır [16], [17] :

1. Hiçbir boşluk ve vida yoktur. Kayış ve sürtünme yoktur ve yüksek doğruluk sağlar.
2. İvme ve hız üzerinde hiç mekanik kısıtlama yoktur. Sadece kodlayıcı ve bant üzerinde gider.
3. Yüksek hız ve yüksek doğruluk kabiliyetine sahiptir.
4. Mekanik sadelik, bakım, montaj kolaylığı ve yüksek güvenilirlik sağlar

Benzer tezgahlarda tercih edilen rulmanlar hassas makaralı yataklar, aerostaik yataklar, hidrodinamik yataklar, hidrostatik yataklar uygulanmaktadır. Aerostatik yataklar son derece düzgün ve doğru hareket konumlandırma sağlar. Hidrostatik yataklar diğer yataklara göre daha fazla yük taşırlar. Aerostatik yataklar çok hafif kesme kuvvetleri ve yükleri için mikro işlemede yeterlidir.

Aerostatik yataklar her üç eksen ve döner tabla için kullanılabilir. Aerostatik yatağın dinamik sertliği artırmak amacıyla bir sıkma yağ filmi damperi tüm kızaklara takılır. Bunun için manyetik yağ kullanılır ve aerostatik yataklarda yağ herhangi bir titreşim hareketi için ek söndürme kuvveti sağlar.[8] Şekil 6'da yağ filmi damperi ile donatılmış bir aerostatik yatağın fotoğrafını görebilirsiniz.



Şekil 6. Aerostatik yatak ve yağ film damperi[8]

#### 4.3. Makine Tabanı

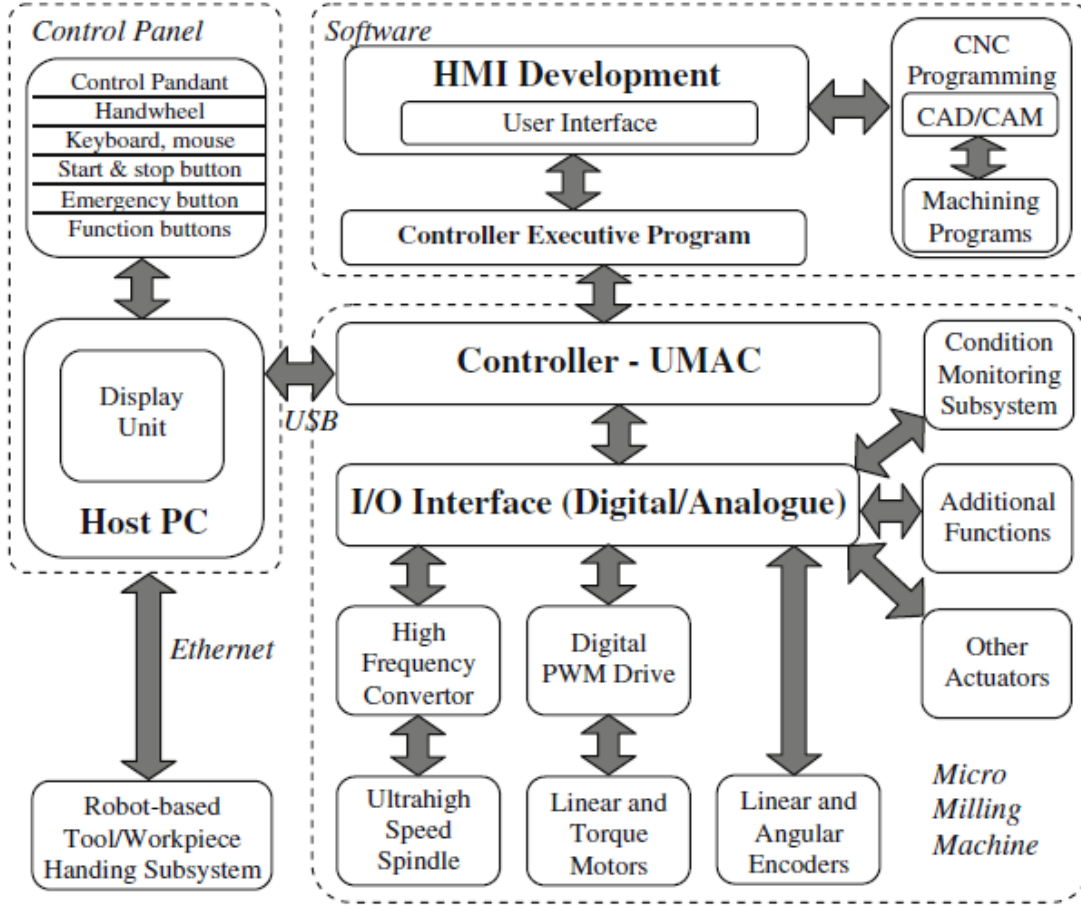
Bir takım tezgahında makine tabanı için malzeme seçimi belirli sertlik, homojenlik, imalat kolaylığı, maliyet gibi bir çok kriter makinenin belirlenmesinde önemli faktörlerdendir[18].

Bir dizi malzemenin uygun olmasına rağmen şu ana kadar sadece birkaç malzeme hassas makine yapımı için seçilmiştir. Dökme düşük maliyeti ve makul söndürme özellikleri yıllardır kullanılmaktadır. Ancak hassas makinelerde bir çok döküm uygulaması yoktur. Polimer beton popüler hafif bir malzeme olmasına rağmen dökme demir ile karşılaştırıldığında iyi sönümleme yapan ancak düşük sertlik ve mukavemet yüksek hassas tezgahlar için uygulaması sınırlıdır. İnvar, Zerodur ve Alümina seramik en iyi termal stabileyi sahip olmasına rağmen bunların kullanımı araştırma tezgahları için sınırlı kalmıştır[19].

Granit dinamik yüklerin geçici etkisini azaltmak için daha iyi sönümleme kapasitesi ve termal stabilite sağlar. Bu özellikten dolayı UltraMill tezgahında bu ürün kullanılmıştır[8].

#### 4.4. Kontrol Sistemi

CNC 1970'li yılların başından itibaren sektöre girmiştir. O zamandan günümüze kadar birçok şirket tezgahları için kontrol sistemleri geliştirdiler. Kontrol sistemi normal motorlar, amplifikatör, anahtarlar kontrol dizisi ve saati içerir. Yüksek hızlı çok eksenli CNC kontrolleri şekillendirme için yüksek hassasiyetli döngüsünde servo motorlar etkili değildir. Fakat termal ve geometrik hataların telafisi, takım ayarı optimizasyonu ve direkt girişin hesaplanmasıdır[8].

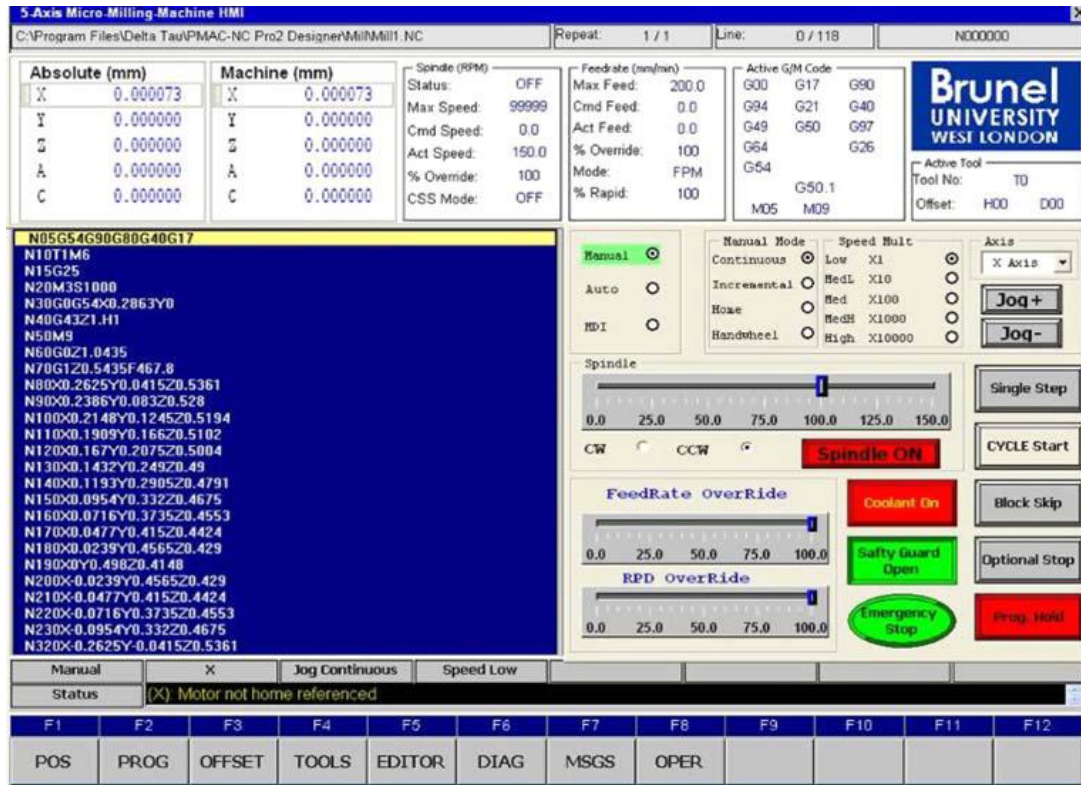


Şekil 7. PC tabanlı Kontrol Sistemi[8]

Dinamikler açısından bakıldığında bir kontrol sisteminde rijitlik dinamik kuvvetleri taşımaya çalıştığınızda o pozisyonda da tutma yeteneğini gösterir. Bu nedenle uygun bir kontrol sisteminin tasarımı ve algoritmaları yüksek servo rijitliğe yol açabilir ve dolayısıyla takım işleme hassasiyetini sağlar.

Modüler UMAC kontroller açık yapısı daha fazla esneklik ve konveksiyonellik CNC sistemini daha iyi bir performans sağlar. 3D kompleks parçalar iyi kontrol edilen yüzeyler ve küçük unsurlar küçük ve doğru hareketler kontrol edilir. Bundan dolayı yüksek servo döngüsü güncellenir. UMAC kontrolör ayrıca yüksek çözünürlüklü encoder ve böyle bir robot tabanlı bir araç/parça taşıma alt sistemi, ve diğer mikro frezeleme işlemi için gerekli olan birçok standart fonksiyonlar için arabirimler sunar.

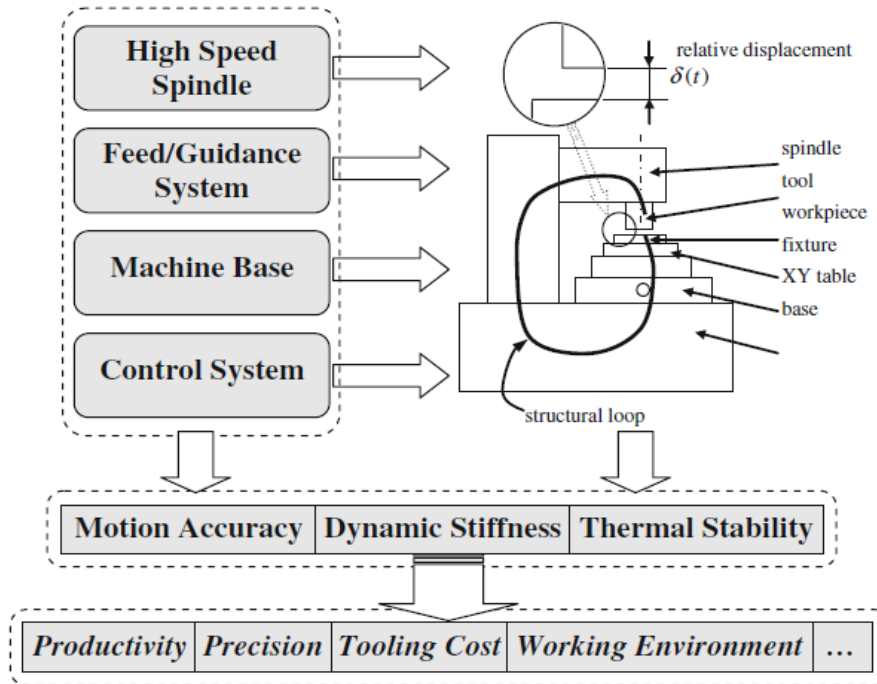
Bir insan makine arayüzü (HMI) standart CNC yazılımı ortamı UltraMill tezgahı için ortam özelleştirilerek geliştirilmiştir. Arayüz sırasında ve sonrasında işleme, önce tüm önemli bilgileri sağlar. İnsan makine arayüzü sadece çıkışları ve görüntüleri değil, aynı zamanda işleme amaçlı bilgiler kalır. Arayüz CAD/CAM yazılı ve makine kontrol ünitesi yazılımı ile entegre olur. Şekil 8'de Örnek bir arayüz gösterilmektedir.



Şekil 8. Örnek bir arayüz[8]

#### 4.5. Makine Entegrasyonu

Ana makine bileşenleri ve yukarıda tartışılan alt sistemlerin gelişimi üç ana tasarım aşaması olan Hareket doğruluğu, Dinamik rijitlik ve termal kararlılığa dayalıdır. Bu alt sistemlerin başarılı gelişimi tasarım gereksinimlerini karşılamak için önemlidir. Sistem seviyesinde optimizasyon, entegre makine sistemi, yani gerekli makine performansı elde etmek için zorunludur. Makine işleme sistemi etkisi Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. Makine işletim sisteminin makine üzerine etkisi[8]



Bir işleme açısından bakıldığında, bir takım tezgahı ana işlevi doğru ve sürekli olarak kesici takım ve kesilmemiş malzemenin arayüzünde temasını kontrol etmektir. Bu arayüz normal olarak takım-iş parçası olarak Şekil 9'da gösterilmiştir. Takım tezgahı tasarım aşamasında tüm makinenin değerlendirilmesine olanak tanır ve tam bir mekatronik bir sistem olarak kabul edilir.

## 5. Sonuçlar

Minyatür ve mikro ürünler için mikro üretim teknolojisi için talep her geçen gün daha artmaktadır. Mini robot teknolojisinin hız kazanması, sağlık sektörü için mikro boyutta araç ve gereçlerin ihtiyaçları mikro işlemenin önemini daha da artmasına ve gelişmesine yol açmaktadır. Her geçen zaman ticari firmalar mikro makineler yapmaktadır. Bu çalışmada Mikro freze tezgahının ucuz maliyetle tasarlanması ve üretimi anlatılmıştır. Tasarım yaparken hangi konuların önemli olduğu üzerinde durulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] M. Machining, T. Commonly, U. In, and M. Field, "TEKNİKLERİ," 2011.
- [2] Y. B. Bang, K. M. Lee, and S. Oh, "5-Axis Micro Milling Machine for Machining Micro Parts," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 25, no. 9–10, pp. 888–894, 2005.
- [3] C. Brecher, P. Utsch, and C. Wenzel, "Five-axes accuracy enhancement by compact and integral design," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 58, no. 1, pp. 355–358, 2009.
- [4] S. S. Park and M. Malekian, "Mechanistic modeling and accurate measurement of micro end milling forces," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 58, no. 1, pp. 49–52, 2009.
- [5] G. M. Robinson and M. J. Jackson, "A review of micro and nanomachining from a materials perspective," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 167, no. 2–3, pp. 316–337, 2005.
- [6] J. Chae, S. S. Park, and T. Freiheit, "Investigation of micro-cutting operations," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 46, no. 3–4, pp. 313–332, 2006.
- [7] C. R. Friedrich and M. J. Vasile, "Development of the micromilling process for high-aspect-ratio microstructures," *J. Microelectromechanical Syst.*, vol. 5, no. 1, pp. 33–38, 1996.
- [8] D. Huo, K. Cheng, and F. Wardle, "Design of a five-axis ultra-precision micro-milling machine-UltraMill. Part 1: Holistic design approach, design considerations and specifications," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 47, no. 9–12, pp. 867–877, 2010.
- [9] H. Weule, V. Hüntrup, and H. Tritschler, "Micro-Cutting of Steel to Meet New Requirements in Miniaturization," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 50, no. 1, pp. 61–64, 2001.
- [10] Y. Takeuchi, H. Suzukawa, T. Kawai, and Y. Sakaida, "Creation of ultra-precision microstructures with high aspect ratios," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 55, no. 1, pp. 107–110, 2006.
- [11] M. Weck, J. Hennig, and R. Hilbing, "Precision Cutting Processes for Manufacturing of Optical Components," *Lithogr. Micromach. Tech. Opt. Compon. Fabr.*, vol. 4440, pp. 145–151, 2001.
- [12] Kern. Website: <http://www.kern-microtechnic.com/> (Accessed on 06th July 2015).
- [13] Kugler. Website: <http://www.kugler-precision.com/> (Accessed on 06th July 2015).
- [14] Fanuc. Website: <http://www.fanuc.co.jp/> (Accessed on 06th May 2015)
- [15] H. Li, X. Lai, C. Li, Z. Lin, J. Miao, and J. Ni, "Development of meso-scale milling machine tool and its performance analysis," *Front. Mech. Eng. China*, vol. 3, no. 1, pp. 59–65, 2008.
- [16] G. Otten, T. J. a De Vries, J. Van Amerongen, A. M. Rankers, and E. W. Gaal, "Linear motor motion control using a learning feedforward controller," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 2, no. 3, pp. 179–187, 1997.

- [17] B. Denkena, H. K. Tönshoff, X. Li \*, J. Imiela, and C. Lapp, “Analysis and control/monitoring of the direct linear drive in end milling,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 42, no. 24, pp. 5149–5166, 2004.
- [18] P. Schellekens, N. Rosielle, H. Vermeulen, M. Vermeulen, S. Wetzels, and W. Pril, “Design for Precision: Current Status and Trends,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 47, no. 2, pp. 557–586, 1998.
- [19] P. Sriyotha, K. Nakamoto, M. Sugai, and K. Yamazaki, “Development of 5-axis linear motor driven super-precision machine,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 55, no. 1, pp. 381–384, 2006.