

CNC İLE TALAŞLI İŞLEMEDE KUVVET VE TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ

Ali MAMEDOV*
İsmail LAZOĞLU**

KOÇ ÜNİVERSİTESİ
Üretim ve Otomasyon Araştırma Merkezi, 34450, Sarıyer/İSTANBUL
E-mail*: amamedov@ku.edu.tr
E-mail**: ilazoglu@ku.edu.tr

ÖZET

CNC işleme sürecinde, yüksek hassasiyetli üretim için, işlem sürecinin kontrolü önem arz etmektedir. Süreç kontrolünü sağlamak ise, gerek işlem esnasında, gerekse işlemden önce ve sonra, ancak çeşitli ölçümlerle mümkündür. Kesme kuvvetlerin ölçülmesi ile kesme işleminin fiziğinin anlaşılması, işleme tezgâhına, ölçü aparatlarına ve kesme takımlarına hasar vermeden güvenli bir üretim yapmanın ön şartıdır. Kesme kuvvetleri, aynı zamanda takımın deformasyonuna neden olacağı için, üretilecek parçanın nihai geometrik ve yüzey hassasiyetini de etkilemektedir. Bu yüzden, yüksek hassasiyette parçaların üretilmesi için, kesme işlemi esnasında kuvvetlerin ve takımın elastik deformasyonunun ölçülüp, işleme stratejilerinde gerekli düzeltmelerin yapılması şarttır. Bu makalede, mikro işleme esnasında kullanılan kuvvet ölçme teknikleri, kesme işlemi esnasındaki takım elastik deformasyonu ölçme teknikleri, lazer sistemi ile yüksek hızda dönen takımın hızını ölçme teknikleri ile söz konusu ölçme işlemleri esnasında karşılaşılan zorluklar dikkatinize sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: CNC işleme, Kuvvet ölçümleri, Takım esnemesi ölçümleri, Sinyal işleme.

ABSTRACT

Control over the cutting process in CNC machining plays an important role for production of high quality parts. Controlling the cutting process is only possible by performing measurements during and after the machining. Measuring cutting forces and understanding physics of cutting process is essential for performing safe machining without breaking the cutting tool, harming machine and sensors. Forces formed during the cutting of the material will result in deflection of cutting tool, which will affect geometric tolerances and roughness of final part. Because of this, it is important to measure cutting forces and tool deflection during the cutting process and make enhancement in cutting strategies where it is needed. In this study, cutting force measurement techniques, tool deflection measurement techniques, rpm measurement techniques for high speed spindle via laser sensor and difficulties during these measurement processes are discussed.

Key Words: CNC machining, Cutting force measurements, Tool deflection measurements, Signal processing.

1. GİRİŞ

Endüstriyel uygulamaların büyük bir kısmını boyut ve şekil ölçümleri oluşturmaktadır. Özellikle imalat sanayinde boyutsal ve şekilsel ölçmenin önemi kalite kontrolü açısından büyüktür. Yalnız, bahsi geçen ölçümler genellikle parça işlendikten sonra yapılmaktadır. Bunun yanı sıra parçanın istenen boyutlarda üretilmesi için, işleme esnasında birçok ölçüm de yapılabilmektedir. Yapılan bu ölçümler işleme stratejisinde bir hatanın olup olmadığını kontrol edip, bir sonraki üretimin seri ve hatasız yapılmasına olanak sağlayabilir.

Kesme esnasında oluşan kuvvetlerin ölçümü, işleme sürecinin fiziğini anlamak açısından son derece önemlidir. Oluşan kesme kuvvetleri, takım ömrünü ve üretilecek parçanın kalitesini doğrudan etkilemektedirler. Bu yüzden kesme esnasında kuvvet kontrolü, beklenmedik takım kırılmalarını ve istenmeyen şekilsel ve boyutsal hataları önleyebilmektedir. Bunun yanı sıra, işleme esnasında, kesme kuvvetlerinden kaynaklanan takım deformasyonun ölçülmesi, belirlenen kesme koşullarında oluşacak boyutsal hatayı öngörmemizi ve gerekli düzeltmeler yapıldığında bu hatayı telafi etmemizi mümkün kılar. Takım deformasyonuna neden olan kuvvetlerinin oluşumunda etkili parametrelerden biri de kullanılan iş mili devridir. Mikro işleme esnasında, takım çapının küçük olmasından kaynaklı yüksek iş mili devirleri kullanılmaktadır. İş mili devrinin doğru ölçülmesi için kullanılan lazer sistemi ve ölçme tekniği bu çalışmada dikkatinize sunulmuştur. Ayrıca hem kuvvet hem de takım deformasyonu ölçümleri esnasında karşılaşılan zorluklar ve çözümleri gösterilmiştir.

2. KUVVET ÖLÇÜMÜ VE KARŞILAŞILAN TEKNİK SORUNLAR

Mikro işleme prosesi, çok geniş yelpazesi olan mühendislik malzemelerin işlenmesinde, karmaşık geometriye sahip birkaç mikron boyutlarındaki üç boyutlu minyatür parçaların dar toleranslarla ve yüksek hassasiyetle üretilmesi için kullanılan öncü bir yöntemdir. Minyatür parçaların üretiminde en önemli unsur da bu parçaları istenilen geometrik toleranslarda ve yüzey pürüzlülüğünde üretmektir. Buna etki eden en önemli parametrelerden biri de kesme kuvvetleridir. Bu yüzden kesme kuvvetlerinin ölçümü ve kontrolü, başarılı üretim yapmanın ön şartıdır. Kesme kuvvetlerinin ölçümü için kullanılan sistem şekil-1'de gösterilmiştir.



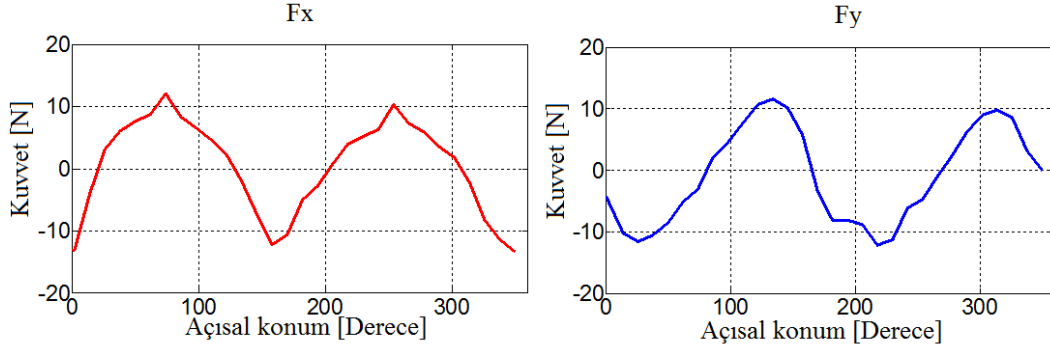
Şekil-1: Kesme kuvvetleri ölçme sistemi

Mikro frezeleme esnasında kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için mikro piezoelektrik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometrenin içindeki iki metal plaka arasına piezoelektrik kuvvet sensörleri yerleştirilmiştir. Her sensör içerisindeki kuartz plakalar sayesinde X, Y ve Z yönlerinde gelen kuvvetlerin miktarıyla orantılı, picocoulomb mertebesinde şarj üretmektedir. Dinamometrenin her kesme yönüne özgü hassasiyeti mevcuttur, bu hassasiyet pC/N olarak tanımlanıp, üretilen şarj kaç Newton'a denk geldiğini göstermektedir. Üretilen şarj amplifikatöre aktarılarak belirli katsayı ile çarpılıp, A/D kartına aktarılır. A/D kartında amplifikatörden gelen analog sinyal sayısallaştırılarak bilgisayara gönderilir ve bilgisayarda uygun yazılımla analiz edilir.



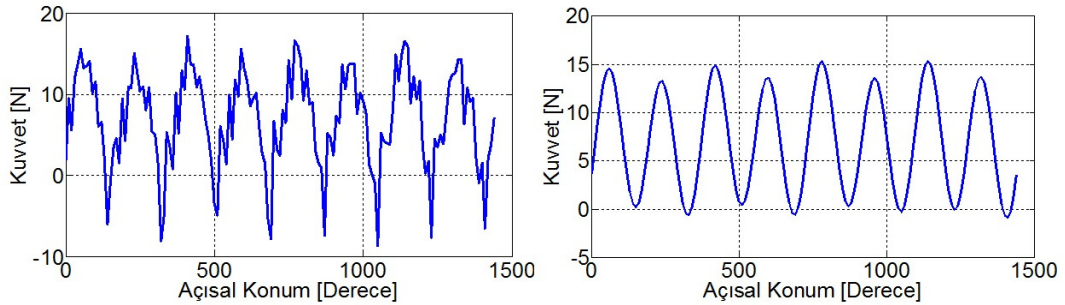
Şekil-2: Mikro frezeleme ile üretilen parçalar

20.000 dev/dak. iş mili hızı, 20 $\mu\text{m}/\text{dev-diş}$ ilerleme ve 300 μm kesme derinliği için ölçülen X - ilerlemeye dik ve Y - ilerleme yönündeki kesme kuvvetleri Şekil-3'te verilmiştir.



Şekil-3: X ve Y yönünde kesme kuvvetleri

Yalnız, kesme kuvvetleri ölçümleri her zaman beklendiği gibi iyi sonuç vermez. Buna örnek olarak Şekil-4 a'da gürültülü kuvvet sinyali verilmiştir. Kuvvet sinyalinin gürültü çıkmasının birkaç nedeni vardır. Onlardan biri; veri toplama sisteminde kullanılan kablo ve bağlantılardır. Diğerleri ise; kesme esnasında kullanılan kesme frekansının sistemin ya da dinamometrenin doğal frekansı ile çakışmasıdır. Bu durumda ölçülen kuvvet sinyali filtrelenmelidir. Şekil-4 b'de filtrelenmiş kuvvet sinyali verilmiştir.



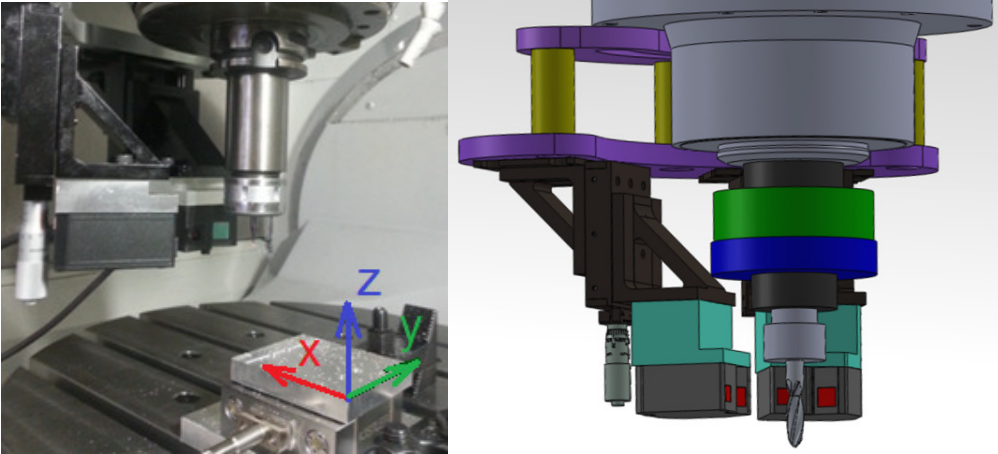
Şekil-4: a) Gürültülü kuvvet sinyali, b) Filtrelenmiş kuvvet sinyali

Mikro işleme esnasında, kuvvet ölçümü sırasında karşılaşılan bir diğer sorun da dinamometrenin bant aralığıdır. Mikro işlemede takım çapının küçük olmasından dolayı, gerekli kesme hızını sağlamak için, iş mili devrinin yüksek tutulması gerekmektedir. Deneylerde kullanılan mikro dinamometre mevcut olan en yüksek bant aralığına (~4 KHz) sahiptir. Yalnız, bu bile iki ağızlı takım için 150.000 devirde, kesme esnasında kuvvet ölçümü için yeterli değildir; çünkü bu durumda kesme frekansı 5 KHz'dir. Bant aralığı daha geniş olan dinamometrelerin geliştirilmesi bu soruna çözüm olarak sunulabilir.

3. KESME SIRASINDA TAKIM DEFORMASYONU ÖLÇÜMÜ

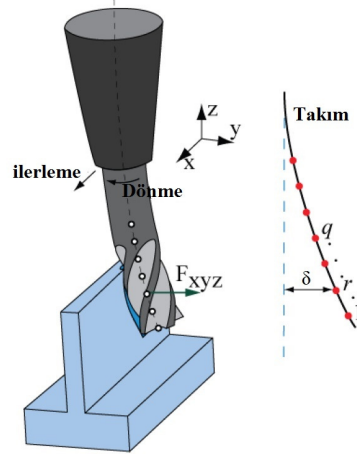
Günümüzde, mühendislik alanında parçaların sadece üretilmesi değil; yüksek performanslı, kısa zamanda ve yüksek hassasiyet ile üretilmesi de önem arz etmektedir. Bahsi geçen durumu sağlamak için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, işleme esnasında kesme hacmini arttırmaktır. Kesme hacminin artırılmasının yolu da kaba kesme işleminin fiziğinin incelenmesi ve buna bağlı olarak işleme esnasında radyal ve aksel kesme derinliklerinin artırılması ya da anlık kesişim bölgelerinin düşük olduğu yerlerde ilerlemenin artırılmasıdır. Kesme derinliklerinin kontrolsüz artırılması, beraberinde takıma gelen yükü de arttırmakta; bu da takımın esnemesine, nihai parça toleransının bozulmasına veya takımın kırılmasına neden olacaktır. Takım boyutları küçüldükçe bu durum daha da önemli hale gelmekte ve mikro takımlar için kritik olmaktadır.

Kesme kuvvetleri altında takımın ne kadar esnediğini, dolayısıyla nihai parçanın ideal şekilden ne kadar saptığını ölçmek için lazer sistemi kullanılmıştır. Şekil-5'te gösterilen sistem, takımın kesme esnasında anlık deformasyonunu X ve Y yönünde ölçmektedir.



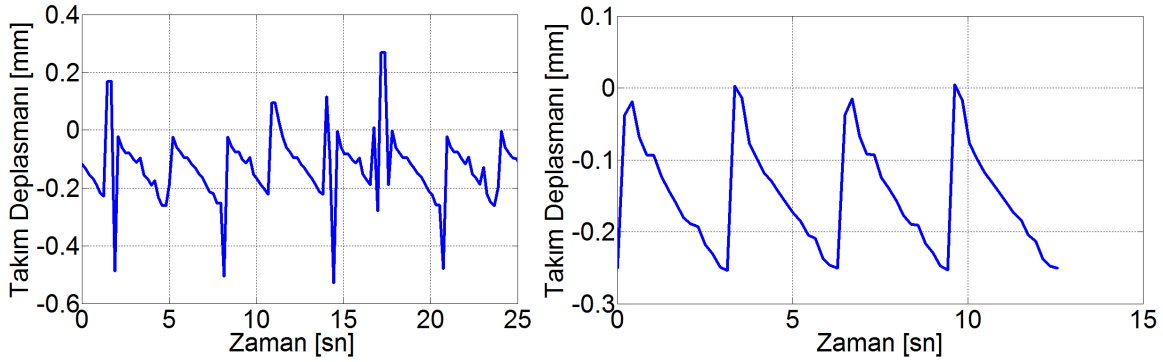
Şekil-5: a) Takım deformasyonunu ölçme sistemi, b) Sistemin CAD modeli

Yapılan testlerde kuvvet ve takım deformasyonu ölçümleri birlikte yapılmıştır. Böylece bileşke kesme kuvvetinin yönü ve miktarı ve buna bağlı takım deformasyonu ölçülmektedir. Kesme kuvvetinden kaynaklanan takım deformasyonu şekil-6'da şematik olarak gösterilmiştir.



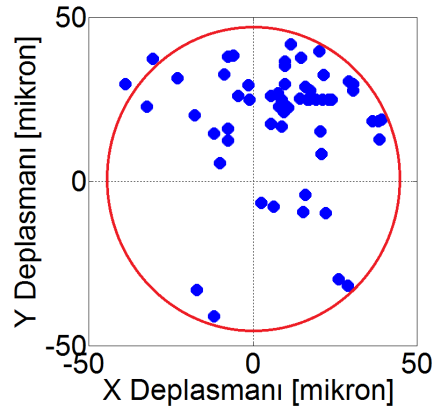
Şekil-6: Kesme esnasında takım deformasyonu ve bileşke kuvvet [1]

Lazer ışını, referans mesafesindeki takıma gönderilerek takımdan gelen lazer yansıması sensör tarafından algılanarak takım pozisyonundaki değişiklikten takım deformasyonu ölçümü yapılmaktadır. Takım ucunda yapılan ölçüm sırasında karşılaşılan en büyük sorunlardan biri, gönderilen lazer ışınının takıma gelmeden parçadan farklı bir yöne yansıması ve sensöre gelmemesidir. Bahsi geçen durum olduğu takdirde alınan sinyal şekil-7'de gösterilmiştir. Bu yüzden yapılan ölçümler takım ucundan 1 mm yukarıda yapılarak, deformasyonun en büyük olduğu takım ucuna ekstrapole edilerek hesaplanmıştır.



Şekil-7: a) Yansıma sonucunda bozulmuş sinyal, b) Düzgün takım deplasmanı sinyali

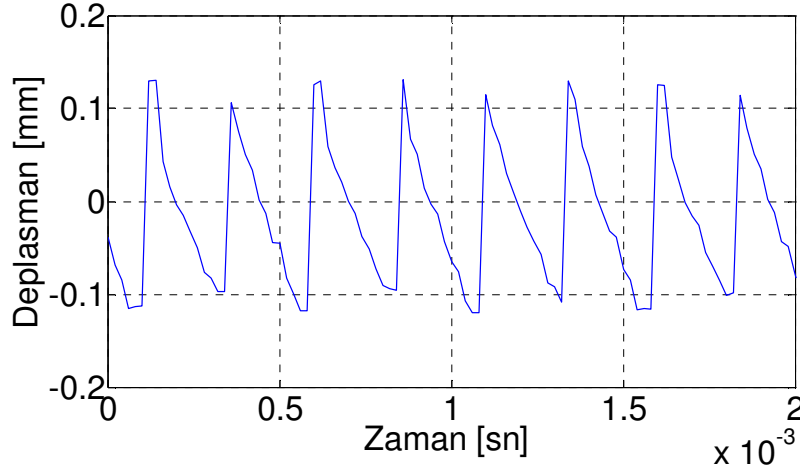
Yapılan ölçümlere örnek olarak, 20.000 dev/dak. iş mili devrinde $20 \mu\text{m}/\text{dev}$ -diş ilerleme hızında tam dalma durumunda 1,5 mm çapındaki mikro frezin deplasmanı şekil-8'de gösterildiği gibi X ve Y yönünde $\pm 46 \mu\text{m}$ sınırları içerisinde kalmaktadır.



Şekil-8: Takımın deplasmanı

4. YÜKSEK DEVİRLİ HAVA TÜRBİNİNİN LAZER SİSTEMİ İLE DÖNME HIZI ÖLÇÜMÜ

Mikro frezeleme işleminde takım çapının narinliğinden kaynaklanan prosese özgü olgulardan biri de yeterli kesme hızını sağlamak için iş mili devrinin yüksek tutulmasıdır. Milimetre altı boyutlardaki takımlar için iş mili devri 100.000 dev/dak. değerinin üstüne çıkmaktadır. Bu durumda tezgâhın iş mili devrini bu değerlere ulaştırmak için özel hava türbinleri kullanılmaktadır. Laboratuvarımızda kullanılan hava türbini devri 150.000 dev/dak.'ya kadar çıkmaktadır. Yalnız, kesme esnasında takıma gelen yüke bağlı olarak iş mili devri düşmektedir. Bu yüzden işlem fiğinin anlaşılması için kesme esnasında iş mili devrinin sürekli ölçülmesi gerekmektedir. İş mili devrinin ölçülmesi için lazer sensörler kullanılmıştır. Lazer ışını, dönmekte olan iki ağızlı takıma gönderildiği zaman alınan deplasman sinyalinin periyodundan takımın dönme hızı ölçülmektedir. Örnek olarak şekil-9'da iki ağızlı kesme takımı için alınan ölçümden periyodu (1. ile 3. tepe arasında geçen zaman) 0,00048 saniye olduğundan iş mili devri 125.000 dev/dak. olarak hesaplanmıştır.



Şekil-9: Lazer sensörü ile iş mili devri ölçümü

SONUÇ

Bu makalede, mikro işleme esnasında kullanılan kuvvet ölçme teknikleri, kesme işlemi esnasında takım elastik deformasyonu ölçme teknikleri, lazer sistemi ile yüksek hızda dönen takım devri ölçme teknikleri ile söz konusu ölçme işlemleri esnasında karşılaşılan zorluklar dikkatinize sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] KILIÇ, Z., ALTINTAŞ, Y., "Stability of Peripheral Milling Operations with Long End Mills", Procedia CIRP 4, pp: 103 – 108, 2012.
- [2] MAMEDOV, A., LAZOĞLU, İ., "Mikro Frezeleme için Mekanistik Kuvvet Modeli", 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, pp: 175 – 183, 2012.
- [3] LAYEGH K., S.E., ERDİM, H., LAZOĞLU, İ., "Offline Force Control and Feedrate Scheduling For Complex Free Form Surfaces in 5-Axis Milling", Procedia CIRP 5, pp: 96 – 101, 2012.
- [4] ERKORKMAZ, K., LAYEGH K., S.E., LAZOĞLU, İ., ERDİM, H., "Feedrate Optimization For Freeform Milling Considering Constraints From Feed Drive System and Process Mechanics", CIRP Annals, 2013.
- [5] LAZOĞLU, İ., BOZ, Y., ERDİM, H., "Five Axis Milling Mechanics For Complex Freeform Surfaces", CIRP Annals, Volume 60, pp: 117 – 120, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Ali MAMEDOV

1989 yılı Türkmenistan doğumludur. 2006 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2011 yılında İstanbul Teknik Üniversitesinde Yüksek Makina Mühendisi ünvanını almıştır. 2011 yılından itibaren Koç Üniversitesinde Doktora eğitimi almakta ve Prof. Dr. İsmail Lazoğlu'nun danışmanlığında Üretim ve Otomasyon Araştırma Merkezi'nde Araştırma Görevlisi pozisyonunda bulunmaktadır. Talaşlı İmalat, CNC Tezgâhlar, Mikro Frezeleme konularında çalışmaktadır.

İsmail LAZOĞLU

Prof. Dr. İsmail Lazoğlu Koç Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyesidir. Lisans derecesini İstanbul Teknik Üniversitesi'nden, yüksek lisans ve doktora derecelerini ABD'de Georgia Institute of Technology'den aldıktan sonra University of Illinois at Urbana-Champaign ve Kanada'da University of British Columbia'da doktora sonrası araştırmacı olarak çalıştı.

Kuruculuğunu ve direktörlüğünü yaptığı Koç Üniversitesi Üretim ve Otomasyon Araştırma Merkezi'nde çok sayıda ulusal ve uluslararası kurumlarca desteklenen, uygulamalı endüstriyel ve medikal araştırmalar gerçekleştirmektedir. Üretim ve otomasyon, mekatronik, biyomedikal ve biyomühendislik alanlarında disiplinler arası çalışma ortamında araştırmacılar yetiştirmektedir.

Uluslararası hakemli dergi, konferanslarda ve kitaplarda yayımlanmış 90'dan fazla makalesi ve kitap bölümleri vardır. 2004 yılında Siemens Bilim ve İnovasyon Mükemmeliyet Ödülünü, 2005 yılında TÜBİTAK Teşvik Ödülünü, 2009 yılında Uluslararası Machine Tool Technology Research Foundation Ödülünü kazandı.

Uluslararası Üretim Mühendisliği Akademisi (CIRP) ve Avrupa Yapay Organlar Derneği (ESAO) üyesidir. Türkiye Yapay Organlar ve Destek Sistemleri Derneği'nin (TÜYOD) Kurucu Üyesidir. TÜBİTAK TEYDEB USATEG Yürütme Kurulu Üyesidir.