

İMALAT İŞLEMİ SIRASINDA ÖLÇÜM VE ÖLÇÜM VERİLERİNİN İMALAT İÇİN KULLANIMI

Tanfer YANDAYAN*
Recep KARADAYI**
İlker TEKE**

* TÜBİTAK UME, Barış Mah. Dr. Zeki Acar Cad. Pk54, 41470 Gebze/KOCAELİ
E-mail: tanfer.yandayan@tubitak.gov.tr
Tel: 0262 679 5000 (İç hat: 5312)

** AAT Otomasyon Yazılım, İMES Sanayi Sitesi E Blok, 503. Sokak No:28, Ümraniye/İSTANBUL
E-mail: ilker@aat3d.com
Tel: 0216 415 74 55

ÖZET

İşlem sırasında ölçüm (in-process measurement) düşük imalat maliyeti, yüksek kaliteli ürün, yüksek verim, ürünün ve imalatın kalitesinin anında değerlendirilmesine olanak sağlaması sebebiyle gittikçe firmalar tarafından tercih edilmektedir. Sürdürülebilir imalat, çevre ve enerji verimliliği faktörleri de düşünüldüğünde işlem sırasında ölçümün geleceğin imalat ürünlerini ölçme yöntemi olacağı düşünülmektedir. Bu bildiride, işlem sırasında ölçme yöntemleri ve yapılan örnek çalışmalar anlatıldıktan sonra, takım tezgahlarının hem imalat cihazı hem de ölçme cihazı olarak kullanımı, bu alandaki ihtiyaçlar, sorunlar, en son yapılan araştırma çalışmaları anlatılacaktır. Mevcut yapılacak son çalışmalarda işlem sırasında ölçümün doğruluğunun 1 metreküp hacimde birkaç mikrometre kadar hedeflendiği belirtilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Talaşlı imalat, işlem sırasında ölçüm, izlenebilirlik, sürdürülebilir üretim

ABSTRACT

In-process measurements are increasingly preferred by the companies as it offers lower manufacturing cost, high product quality and real time assessment of production and product quality. It is foreseen that in-process measurement will be the method of the future for the measurement of manufactured parts. In this paper, after description of the in-process measurement methods with the developed examples, use of machine tools as a measurement device will be explained with the requirements, problems, challenges, and recent research work. It should be noted that recent research work target a measurement accuracy of a few micrometer within a metre cube.

Key Words: Cutting, in-process measurement, traceability, sustainable manufacturing

1. GİRİŞ

İmalat sırasında çoğu zaman nihai ürüne ulaşmadan ara ara kontroller ve ölçümler yapılır. Bu ölçümler, parça üretim tezgahından alınmadan, tezgaha bağlı iken ve son talaş kaldırma işlemi ölçüm sonucuna göre modifiye edilebilirse bu işleme işlem sırasında ölçüm ve kontrol (in-process measurement and control) adı verilmektedir. İşlem sırasında ölçüme en basit örnek, klasik torna tezgahında bir parça işleyen operatörün, son pasoyu vermeden mikrometre veya kumpas ile parça torna tezgahına bağlı iken aldığı ölçüm ve ölçüm sonucuna göre son pasoyu ayarlaması işlemi gibi düşünülebilir. Bu durum otomasyon ortamında, sürekli çalışan CNC takım tezgahları için daha hassas ölçme cihazları ile parçanın ölçülüp, takım tezgahı kontrol ünitesine, kesme parametrelerini tekrar düzenleyebilmesi için geri besleme verecek şekilde yapılmaktadır.

İşlem sırasında ölçüm yapma konusu, özellikle maliyeti yüksek parçaların (malzemesi pahalı veya çok büyük boyutta) verimli bir şekilde imalatı için uygulanan bir yöntemdir. İşlem sırasında kullanılacak çok farklı ölçüm metotları geliştirilmiştir [1]. Bu metotlar ölçümü yapılacak parçanın geometrisine, büyüklüğüne, üretim ortamına ve hızına göre değişebilmektedir. Direkt olarak parçanın bağımsız bir şekilde ölçümü yapılabildiği gibi, parçanın imalatını etkileyen faktörlerin kontrol altına alınması veya gerekli düzeltmelerin yapılması bu işlem ile de gerçekleştirilebilmektedir. Parçaların üç boyutlu ölçüm cihazında ölçülebilir gibi takım tezgahının eksenlerinden faydalanılarak ölçümü de mümkündür. Fakat burada talaşlı üretim sırasındaki tezgah hataları, ölçme sırasında da oluşacağı için, ölçüm sonucu tezgahın performansından önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu hataları ayrı bir şekilde ele alıp, kompanze eden sistemlerin kullanımı kompleks ve büyük parçaların ölçümüne imkan verdiği için son yıllarda önemli ölçüde öne çıkmıştır [2]. Çünkü işlem sırasında ölçüm imalat ortamında verimi düşüren, maliyeti artıran, hassas üretimi zayıflatan sorunların üstesinden gelmektedir.

Bu bildiride imalat işlemi sırasında ölçüm yöntemlerine genel bir bakış yapıldıktan sonra, takım tezgahlarının ölçme cihazı olarak kullanımı konusu ve örnek uygulamalar hakkında bilgilendirme yapılacaktır. Mevcut sorunlar ve bu sorunların çözümü için yapılan son üst düzey bilimsel çalışmalar hakkında bilgilendirmeler yapılarak, imalat için geleceğin ölçme yöntemi olacağı tahmin edilen işlem sırasında ölçüm hakkında önemli bilgiler verilecektir.

2. İMALATTA ÖLÇÜMÜN EVRİMİ

İmalatı yapılan parçaların arzu edilen toleranslarda olup olmadığının kontrolü üretimin bir parçası olup metroloji uygulamalarından faydalanılarak yapılmaktadır. Yapılan işin durumuna, hassasiyetine, maliyetine, yeni oluşan taleplere göre, imalat için yapılan ölçümler belli bir evrime uğramıştır. Bu evrimi aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür:

2.1. Açık çevrim ölçme kontrolü

Ürünün imalatı tamamlandıktan sonra, ürünün üretim tezgahından alınıp, ölçme ekipmanları ile ölçülmesi bu kategoriye girmektedir. Genelde tolerans dışı olan ürünler ayrılır ve hurdaya gönderilir. Eğer ürün için kullanılan malzemenin maliyeti yüksek ise veya imal edilen ürünler büyük boyuttaysa bu konu sorun olarak ortaya çıkar ve maliyetin ciddi artmasına sebep olur.

2.2. Kapalı çevrim ölçme kontrolü

Düşük maliyet ve hassas üretim için önlemler arttırıldığında, imalat aralarında ürünlerin ölçümleri yapılır. Ölçüm sonuçlarına göre üretim işlemine müdahale yapılarak bazı düzeltmeler gerçekleştirilir. Özellikle üç boyutlu ölçüm cihazları kullanılarak üretim hatlarında bu işlem uygulanır. Tespit edilen hatalar kullanılarak, üretim aşamalarında düzeltmeler yapılır.

2.3 İmalat işleminde ölçüm

İmalat sırasında ölçümde ise, ürün imalat tezgahından alınmadan, imalat tezgahına yapılan bazı eklemeler ile (örn. ölçüm sistemi eklenmesi) ürünün ölçüm ve kontrolü yapılır. Bu işlem genelde ürün tamamlanmadan önce yapılır ve son işlem (örn. son paso) ölçüm sonucuna göre uygulanır. Kısaca tolerans dışında bir durum oluşmadan müdahale yapılır.

2.4 İmalat işleminde ölçümün avantajları

İmalat işleminde parçanın ölçülüp, ölçüm verilerinin kullanılmasının avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- İmalat sırasında ölçüm yapıldığında en büyük avantaj, ürün imalat ortamından alınmadan sorun tespit edildiği için, parça üzerinde yapılacak son işlemde revizyon uygulanabilmesidir. Diğer bir deyişle metroloji yardımı ile olumlu yönde imalata müdahale söz konusu olup hurda miktarı azaltılabilmektedir. Bu işlem parça tezgahından alınmadan yapıldığı için, yüksek maliyete sebep olan parçanın tekrardan tezgaha alınması ve ayarlanması işlemi de önlenmiş olur. Tekrar işleme durumu için, havacılık sanayinde çok büyük komplike parçaların, otomotiv sanayindeki büyük kalıp parçalarının tekrar tezgaha yerleştirilmesi için zaman, maliyet ve enerjiden önemli ölçüde tasarruf edilmiş olur.
- İmalatı yapılan ürünlerin metrolojik analizinin yapılmasının en önemli sebeplerinden biri, imalat için düzeltme değerlerinin tespit edilmesi ve bunların imalata uygulanmasıdır. İşlem sırasında ölçüm ile bu kabiliyet takım tezgahı üzerinde olacağı için, tezgahın kontrolüne gönderilen veriler ile anında bu düzeltmeleri yapmak mümkün olacaktır. Ölçme işlemi ürünün işlendiği tezgahta yapıldığı için, bunu işlemin farklı safhalarında birkaç kez yapmak mümkün olup, üretim işlemine çok hassas müdahalelerde de bulunmak mümkün olmaktadır.
- Üretim tezgahının bir ölçüm tezgahı gibi kullanılması mümkün olduğundan ayrı bir ölçme işlemi yapmak yerine, ürünün son ölçümünü de yapıp raporlamak mümkündür. Bu durum özellikle taşınması ve nakliyesi çok zor olan büyük ve ağır parçalar için çok büyük avantaj olarak gözükmektedir.
- Takım tezgahının performansı üretim sırasında, sıcaklık, titreşim vs. gibi dış etkenlerden dolayı değişmektedir. İşlem sırasında ölçüm ile takım tezgahının performansını kontrol etmek ve gerekli müdahaleleri zamanında yapmak mümkün olacaktır.

3. İMALAT ESNASINDA ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

İmalat sırasında kullanılacak ölçüm yöntemleri imalatı yapılan parçaya göre belirlenir. Parçanın aşağıda belirtilen durumları dikkate alınır.

- Parçanın geometrik şekli ve basitliği
- Kontrol altına alınabilecek sistematik hatanın etkisi (örneğin sıcaklık vs.)
- Parçanın büyüklüğü ve ölçülen boyutların komplekslik durumu

Şimdiye kadar yapılan çalışmaları [1] dikkate alarak imalat sırasında uygulanacak ölçüm yöntemlerini aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

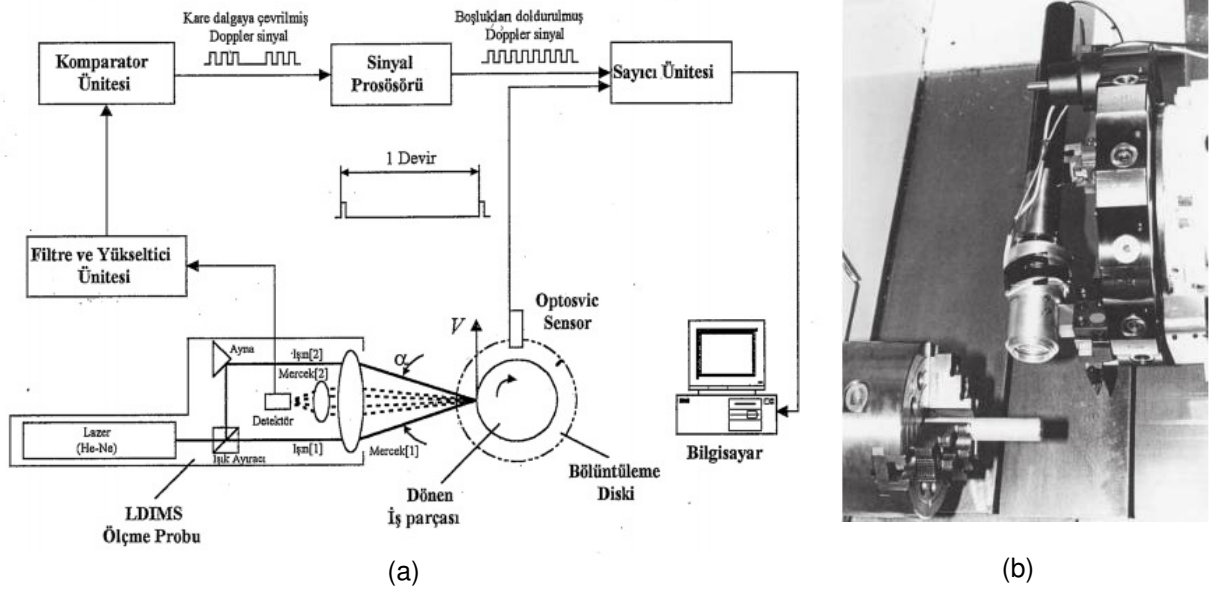
3.1. Direkt ölçüm

Direkt ölçümde, tezgahın üzerinde yerleştirilen bir ölçme sistemi yardımı ile tezgahından bağımsız olarak ölçüm yapılır. Örneğin tren vagonu tekerleklerinin klasik torna tezgahları ile imalatı sırasında parça bir taraftan işlenirken, diğer tarafa yerleştirilen dönen enkoderli makara sistemi ile parçanın çapının

makaranın çevresi ve tur sayısı kullanılarak bulunması işlem sırasında ölçüm uygulamalarına gösterilebilecek ilk örneklerden biridir [3].

CNC torna tezgahında parça dönerken, lazer yardımı ile parçanın dış çapının temassız ölçülmesi ilk defa bir doktora çalışmasında gerçekleşmiştir [4]. Dönen parçanın çevresel hızı, diğer bir deyişle çevresi ve çapının ölçümü için lazer Doppler ölçme sistemi geliştirilmiş ve CNC torna tezgahına entegre edilmiştir. Geliştirilen sistemin çalışma prensibi Şekil 1 (a)'da, geliştirilen lazer ölçme probu Şekil 1 (b)'de gösterilmektedir [5, 6, 7].

Direkt ölçümün en büyük avantajı, imalat tezgahının performansının (eksenlerin hatası vs.) ölçüm sonuçlarına etkisinin olmamasıdır. En büyük dezavantajı ise, kompleks parçalara uygulanmasının zor olmasıdır



Şekil 1. CNC torna tezgahında parça dönerken, lazer yardımı ile parçanın dış çapının ölçülmesi (a) ölçme prensibi [7], (b) geliştirilen lazer ölçme probunun CNC torna tezgahında kullanımı [4, 5, 6].

3.2. Endirekt ölçüm

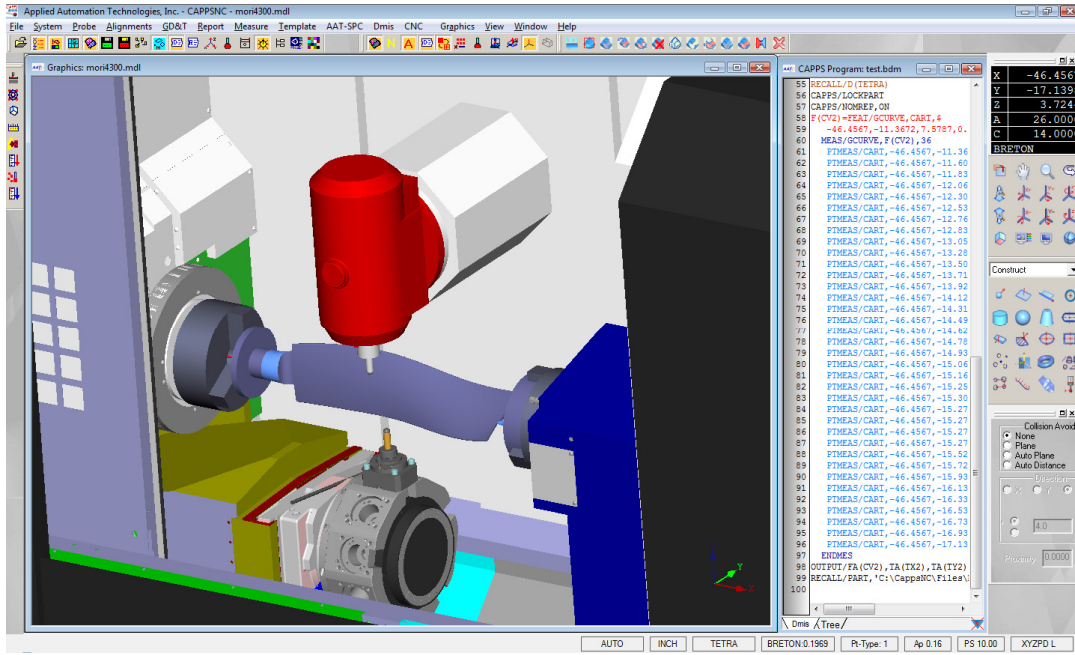
Endirekt ölçümde, parça üzerinde yapılan ölçümlerde imalat tezgahının etkisi vardır. İmalat tezgahına entegre edilmiş bir prob ile tezgah eksenleri kullanılarak ölçüm yapılabilir. Tezgah eksenlerindeki hatalar ölçümü etkilemektedir. Ayrıca, sıcaklık vs. gibi etkili parametrelerin hesaplanıp, düzeltme değerlerinin tahmin edilmesi ve bu değerler ile düzeltme yapılması endirekt yöntemlere girmektedir. Endirekt yöntemlerin en büyük avantajı kompleks parçaların ölçümüne imkan tanınmasıdır. En büyük dezavantajı ise, tezgah hatalarının ölçüm üzerinde etkili olmasıdır.

3.3. Hibrit (Direkt + Endirekt) ölçüm

Endirekt yöntemlerdeki dezavantajlı kısımların kaldırılması ile direkt ölçüm gibi, işlem sırasında ölçüm yapmak için günümüzde birçok çalışma yapılmaktadır. Burada amaç, takım tezgahı hatalarının master parçalar ile tespit edilip düzeltilmesi, amaca uygun problama ve ölçme sisteminin takım tezgahına entegre edilmesi, kalibrasyonunun yapılarak takım tezgahının üç boyutlu ölçüm cihazı gibi kullanılmasıdır. Özellikle havacılık sanayinde büyük kompleks parçaların ölçümünde ve aynı anda işlenmesinde kullanılan bu yöntem otomotiv sanayinde de yaygınlaşmaktadır [2]. Maliyeti ve işlem zamanını önemli ölçüde azaltması sebebiyle, bu yöntem üzerinde önemli çalışmalar ve araştırmalar yapılmaktadır.

4. HİBRİT ÖLÇÜM UYGULAMALARI, TAKIM TEZGAHLARININ ÖLÇME CİHAZI OLARAK KULLANIMI

Şekil 2 işlem sırasında bir türbin kanadının ölçümünü ve ölçüm verilerini takiben imalatının nasıl yapıldığını göstermektedir. Tornalama ve frezeleme kabiliyetine sahip takım tezgahına yerleştirilen ölçme probu yardımı ile iş parçası üzerinde ölçümler yapılır. Alınan verilere göre imalat işlemine devam edilir. Özellikle **Şekil 2**' de gösterilen türbin kanatlarının imalatı veya tamiri özel uygulamalar gerektirir. Böyle durumlarda "işlem sırasında ölçme amacı" için kullanılan ölçme sistemlerinden faydalanılır. Parça üzerinde problama yapılarak, lokasyonlar belirlenir. Bu verilere göre özel algoritmalar ile talep edilen parametreler hesaplanır. Kesme programı yeni bulunan parametrelere göre revize edilerek (gerçek parça boyutlarına göre) talaş kaldırma işlemi uygulanır ve zor boyutlara sahip parçalar hassas bir şekilde işlenir [2, 8-14].

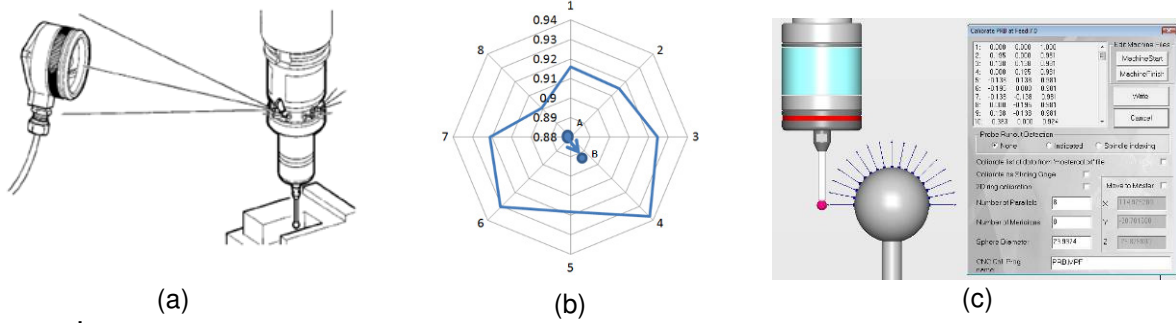


Şekil 2. Türbin kanadının işlem sırasında ölçümü ve imalatı [2, 8]

Takım tezgahının bir ölçme cihazı gibi kullanılması için önemli gereksinimler vardır. Bu gereksinimler aşağıda anlatılmıştır.

4.1 Ölçme probu seçimi ve entegrasyonu

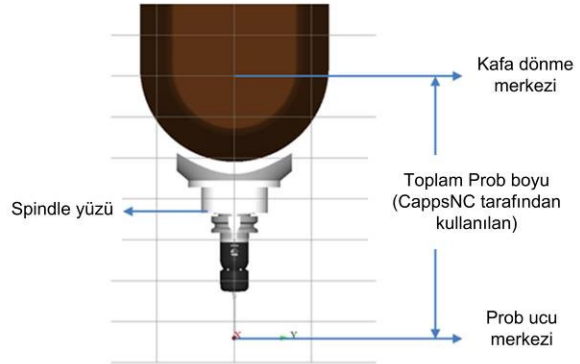
Takım tezgahlarında parçaların işlendiği ortam laboratuvarından çok farklı olduğu için, ölçme probu bu konular dikkate alınarak seçilmeli ve kesici takımların yüklendiği gibi magazinden yüklenebilmelidir. Probu temas ettiği lokasyonda, tezgah eksenlerinin okumasından faydalanılarak 3 boyutun çıkarılabilmesi için, prob sinyalinin tezgahın kontrol ünitesine ulaştırılabilmesi gerekmektedir. Günümüzdeki modern problemler ile bu bağlantı kabloless yapılabilmektedir (**Şekil 3 (a)**). En fazla kullanılan alanına sahip olan kinematik problemler, parça ile temas sırasında tetikleme sinyali oluşturur. Bu sinyal X, Y, ve Z eksenini doğrultularında yapılan tek yönlü ölçümler için çok daha hassas ve doğru çalışır. Fakat tekrarlanabilirliklerinin çok iyi olması sebebiyle kalibrasyon işlemi yapılarak, farklı yönlerde tetikleme olduğunda da doğru çalışmalarını sağlar (**Şekil 3 (b) ve (c)**).



Şekil 3. İşlem sırasında ölçüm için prob kullanımı ve kalibrasyonu [2, 8] (a) Kablosuz modern prob (b) Prob ile alınan uniform olmayan sonuçlar (c) Prob kalibrasyon ekranı ile sonuçların kompanzasyonu

Probların tezgah eksenine entegrasyonu için **Şekil 4'** te belirtilen özelliklerin kalibre edilmesi gerekmektedir. Ancak bu şekilde tezgah eksenindeki veriler kullanılarak ölçüm yapılabilir.

- Prob ucu merkezinin kayıklığı
- Efektif radüs
- Dönme merkezine göre mesafe
- Kinematik problarda yön hataları
- Ofset hataları (5 eksendeki hatalı ayarlardan)



Şekil 4. Proba ait boyut özellikleri [2, 8]

4.2 Takım tezgahı hataları ve kontrol altına alınması

3 eksenli bir takım tezgahı, 3 ayrı eksenin (X, Y, Z) dahil olduğu toplamda 21 adet geometrik hataya sahiptir (**Şekil 5**). Kısaca her bir eksen, pozisyon hatasının yanı sıra, eksen boyunca yatay ve dikey yönde doğrusalık, pitch-yaw-roll açısal hataları olmak üzere 6 çeşit hataya maruz kalır. Üç eksen (X, Y, Z), $3 \times 6 = 18$ hatayı verir. 3 eksenin arasında ortaya çıkan 3 adet diklik hatası ile toplamda $18 + 3 = 21$ adet hataya 3 eksenli bir takım tezgahı çalışması sırasında maruz kalır. Daha fazla eksene sahip takım tezgahları (örneğin 5 eksenli, döner-eğim tablası olanlar) bu hatalara ilave hatalar içerir.

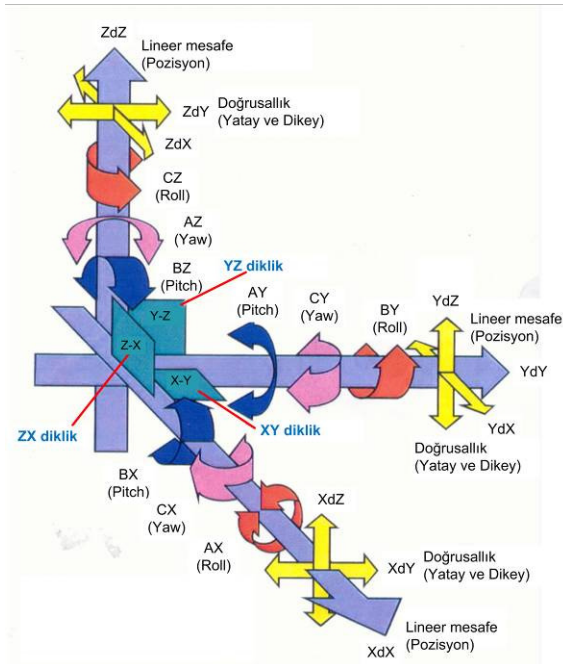
Takım tezgahı eksenlerinin ölçme amacı ile kullanılabilmesi için bu hataların tespit edilip düzeltilmesi gerekmektedir. **Şekil 6'** da takım tezgahının ölçme amacı için kullanılabilmesi için pratik olarak kalibrasyonu yapan Tetra-gage isimli düzenek görülmektedir. Bir program ile Tetra-gage üzerindeki küreler takım tezgahındaki ölçme sistemi ile ölçülür. Ölçme verilerine göre takım tezgahı hataları tespit edilir. Daha sonra bu hatalar kullanılarak takım tezgahına düzeltme işlemi uygulanır. Veriler tezgahın kontrol ünitesine gönderilerek, talaş alma sırasındaki takım hareketleri oluşturulurken dikkate alınır ve paçanın doğru olarak işlenmesi sağlanır. Bu düzeltmeler ayrıca, probun iş parçasını ölçme esnasında da kullanılır.

4.3 Ölçme işlemi

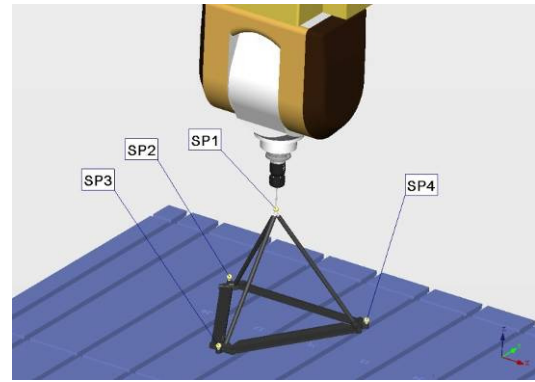
Takım tezgahlarının temel görevi ham malzemeden talaş kaldırılarak arzu edilen boyutlarda parçanın işlenmesidir. Bu sebepten dolayıdır ki, ölçme işleminin mümkün olduğunca kısa sürede tamamlanması

gerekir. Ölçme programları tezgahın ayrı olarak oluşturulurlar. Tezgahın kontrol ünitesine yüklendiğinde, otomatik olarak makine kodları üretilir ve tezgahın zamanı harcanmaz. Genelde grafik ara yüzü kullanılarak oluşturulan bu programlarda (Örn. CappsNC) sanal makine modeli kullanılır. Bu sayede çarpmayı önleyecek takım yolu haritası çıkarılır, optimum parametreler hesaplanır [2, 8-14].

Takım tezgahı kontrol ünitesine bağlı bir bilgisayarda çalışan ölçme programı, tezgahın kontrol ünitesinden seçilen program aracılığı ile başlatılır. Diğer bir deyişle, ölçme programı, takım tezgahı ile senkronize bir şekilde çalışır. Ölçüm sırasında X, Y, Z koordinat değerleri ile alınan veriler, ölçme programı tarafından işlenir ve sonuçlar kullanıcıya sunulur. Ayrıca, kontrol ünitesindeki parametreleri güncelleyecek geri beslemeyi üreten talimatlar program çalışırken gerçekleştirilir. Bu sayede, işlem zincirinde, adaptiv üretim yöntemini uygulamak mümkün olur.



Şekil 5. (X, Y, Z) eksenlerinde 21 adet hatanın gösterimi



Şekil 6. Tetra-gage ölçümü ile takım tezgahı hatalarının tespiti [2, 8]

5. İŞLEM SIRASINDA ÖLÇÜMLERDE MEVCUT SORUNLAR, DÜNYADAKİ İLERİ SEVİYE ÇALIŞMALAR, AVRUPA METROLOJİ ARAŞTIRMA PROGRAMI (EMRP) ÇALIŞMALARI

İşlem sırasında ölçüm, düşük imalat maliyeti, yüksek kaliteli ürün, yüksek verim, ürünün ve imalatın kalitesinin anında değerlendirilmesi olanaklarını sağlaması sebebiyle gittikçe firmalar tarafından tercih edilmektedir. Sürdürülebilir imalat, çevre ve enerji verimliliği faktörleri de düşünüldüğünde işlem sırasında ölçümün geleceğin imalat ürünleri ölçme yöntemi olacağı düşünülmektedir. Çünkü işlem sırasında ölçüm imalat ortamında verimi düşüren, maliyeti artıran, hassas üretimi zayıflatan sorunların üstesinden gelmektedir.

İşlem sırasında ölçüm için günümüzde en yaygın uygulamalar, kompleks parçalara uygulanması sebebiyle, 4. Bölümde anlatılan takım tezgahlarının ölçme cihazı olarak kullanımınıdır. Mevcut uygulamalarda gerekli kalibrasyon işlemleri yapılmasına rağmen, işlemin bir çok parametreye bağlı olması sebebiyle arzu edilen randımanın alınmasında sorunlar vardır.

5.1 Takım tezgahlarının işlem sırasında ölçümde daha verimli kullanılmasını engelleyen sebepler

Takım tezgahlarında yapılan ölçümlerin doğruluğu, sürekli değişen çevre şartları, titreşim, gürültü, ses, ışık, diğer üretim tezgahlarına yakın olmasından ve ölçme cihazlarının yüksek kuvvetlere maruz kalmasından etkilenmektedir. Bunlara ilave olarak diğer faktörler aşağıdakiler olarak sıralanabilir [15]:

- Takım tezgahlarının kalibrasyonunda kullanılan mevcut teknikler, üretim hattındaki şartları kompanze etmek için tam olarak yeterli değildir.
- Talaşlı imalat sırasında ortaya çıkan kuvvetler ve yükler önemli miktarda ısı ortaya çıkartır. Bu takım tezgahlarının güvenilir, izlenebilir bir ölçme cihazı olarak kullanımını engeller. Lazer ile yapılan kalibrasyon işlemleri, prob hatalarını, makine kuvvetlerini ve ısı durumunu dikkate almaz.
- Takım tezgahları ile yapılan ölçümlerde belirsizlik hesaplamaları için kullanılacak uygun prosedürlerin eksikliği tezgah ile yapılacak ölçümlere güveni azaltmaktadır. Bu sebeple mevcut durumda uzun üretim süresi ve yüksek üretim maliyetleri vardır.

5.2 Avrupa Metroloji Araştırma Programı (EMRP)'de işlem sırasında ölçüm için bilimsel çalışmalar

Kapsamlı, planlı ve programlı olarak metroloji alanında bilimsel araştırma çalışmaları ilk defa Avrupa Metroloji Araştırma Programı – EMRP ile 2007 yılından itibaren ortaya çıkmıştır. Avrupa Ulusal Metroloji Enstitüleri Birliği EURAMET tarafından yönetilen bu program, dünya üzerindeki tek uluslar arası metroloji araştırma programı olup, Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programı (Fp7) altında Madde 185. kapsamında desteklenmektedir. Amacı, gereksiz tekrarlı araştırma faaliyetlerini azaltarak, kompleks ve disiplinler arası küresel sorunları (sağlık, çevre, enerji vs.) çözüp büyük bir etki yaratmak olan Fp7 EMRP; Avrupa ülkelerinin ortak metroloji araştırma alanlarının temsil edildiği çok ortaklı bir araştırma programı olarak karşımıza çıkmaktadır [16, 17].

Bu kapsamda, 2012 yılında, endüstri alanında, Almanya Ulusal Metroloji Enstitüsü (PTB) önderliğinde sunulan “İmalat esnasında izlenebilir boyut ölçümü (JRP IND62 Tracaeble in-process dimensional measurement)” isimli proje kabul edilmiştir [15]. Projenin birinci aşama sunumunda, TÜBİTAK UME, AAT firması bizzat yer almıştır. TÜBİTAK UME, “Açı Metrolojisi” projesinde koordinatör olarak görev alıp, bütçedeki hakkının büyük bir kısmını kullandığı için, 2. Aşamada bu projeden çekilmek durumunda kalmıştır. Fakat AAT firması bu projede işbirliği çalışmalarına devam etmiştir.

Bölüm 5.1’de adı geçen sorunların çözülebilmesi için, JRP IND62 projesi kapsamında aşağıda kısaca açıklanan konu ile ilgili üst düzey çalışmalar yapılacaktır [15].

- İşlem sırasında ölçümün güvenilirliğinin ve doğruluğunun artırılması için prosedürler, standartlar ve sıcaklıktan etkilenmeyen çok amaçlı referanslar geliştirilmesi,
- Sıcaklıktan etkilenmeyen çok amaçlı referanslar yardımıyla genelde sıcaklık değişimleri sonucu takım tezgahlarında çıkan hataların oluşturduğu sorunların çözülmesi
- Mevcut durumda, takım tezgahı hatalarını sabit çevre şartlarında inceleyen konvansiyonel araştırma tekniklerine alternatif olacak, tezgah hatalarını değişen operasyon ve çevre şartlarında inceleyen, kinematik ve sıcaklığa dayalı mekanik hataları tespit eden yeni tekniklerin geliştirilmesi
- Üretim ortamını ve değişen ortam şartlarını canlandıran, takım tezgahlarını üretim ve ölçme kabiliyeti açısından inceleyecek, verifikasyonunu yapabilecek mobil bir deney kabin tasarımı ve imalatı
- Yapılan ölçüme odaklı belirsizlik hesaplamalarının çıkarılması (küre, koni, silindir, düzlem gibi farklı geometrik şekillerin bulunacağı boyut, form, pozisyon verileri için)

Mevcut durumdaki uygulamalardaki sorunların iyileştirilmesiyle, işlem sırasında ölçüm ile çok daha verimli ve hassas üretim yapmak mümkün olacaktır. Örneğin, yukarıdaki işlemler yapılarak işlem sırasında ölçüm için hedeflenen ölçüm doğruluğu 1 metreküp hacimde birkaç mikrometredir.

SONUÇ

Düşük imalat maliyeti, yüksek kaliteli ürün, yüksek verim, ürünün ve imalatın kalitesinin anında değerlendirilmesi olanaklarını sağlaması sebebiyle gittikçe firmalar tarafından tercih edilen işlem sırasında ölçüm (in-process measurement) tarihsel süreci dikkate alınarak anlatılmıştır. Kullanılan ölçme teknikleri, avantajları ve dezavantajları ile kısaca açıklandıktan sonra, kompleks parçaların ölçümüne olanak sağlayan takım tezgahlarının ölçme cihazı olarak kullanım durumu açıklanmıştır. İşlem sırasında ölçüm ile ilgili Uluslar arası alanda ve ABD’de önemli faaliyetleri olan AAT firmasının geliştirdiği uygulamalardan örnekler verilmiştir. Takım tezgahlarının ölçme cihazı olarak kullanımı için mevcut sorunlar açıklanmış ve bu sorunların çözümü için yapılan çalışmalar, Avrupa Metroloji Araştırma Alanı kapsamında desteklenen “İşlem sırasında izlenebilir boyut ölçümleri” (JRP IND62 Tracaable in-process dimensional measurement) isimli proje kısaca anlatılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Yandayan T. and Burdekin M., “In-Process Dimensional Measurement and Control of Workpiece Accuracy,” Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 37, No. 10, 1423-1439 (1997).
- [2] AAT (Applied Automation Technologies Inc.) web sayfası, <http://www.aat3d.com/home.aspx>
- [3] Lee, R. L., Turning railway Wheel sets, Machinery, 1963, 102, 144.
- [4] Yandayan T. “A laser Doppler system for in-process measurements of diameters on CNC turning machines,” Ph.D. Thesis, University of Manchester, UK, 1996.
- [5] Yandayan T. and Burdekin M., “Development of a Laser Doppler System for In-Process Evaluation of Diameters on Computer Numerical Controlled Turning Machines,” Proc. I Mech E Part B, Journal of Eng. Manufact., Vol. 212, No:3, 183-194 (1998).
- [6] Yandayan T. and Burdekin M., “Evaluation of a Laser Doppler Based Non-Contact In-Process Diameters Measuring System,” Proc. I Mech E Part B, Journal of Eng. Manufact., Vol 212, No:4, 307-323 (1998).
- [7] Yandayan T., “İmalat Metrolojisinde Laser kullanarak Yapılan Ölçme Teknikleri,” II. Ulusal Ölçümbilim Kongresi Bildiriler Kitabı, 216-232, Eskişehir, Makine Müh. Odası, 23-24 Ekim 1997.
- [8] Karadayı R., “In Process Metrology on Large and Multi Axes Machining Centers”, Metromeet 9th International Conference on Industrial Dimensional Metrology. March 7th-8th, 2012. Bilbao, Spain
- [9] Karadayı R., “In Process Metrology on Large and Multi Axes Machining Centers”, Metromeet 9th International Conference on Industrial Dimensional Metrology. March 7th-8th, 2012. Bilbao, Spain
- [10] Karadayı R. “Innovations in machine tool in process measurement & feedback”, Metromeet International Conference on Industrial Dimensional Measurement. February 21-22, 2008. Bilbao, Spain
- [11] Karadayı R. “Innovations in Machine Tool in Process Measurement and Feedback with Metrology Close Loop”, 10th Global Conference on Sustainable Manufacturing. October 31st –November 2nd 2012, Istanbul, Turkey.
- [12] Karadayı R. “In Process Measurement of Die & Mold for high precision manufacturing and repair processes”, 7th Int. Conference and Exhibition on Design and Production of Machines and Dies/Molds, 20-23 June 2013. Antalya, Turkey.
- [13] Karadayı R. “Innovations in Machine Tool In-Process Measurement & Feedback”, Recep Ray Karadayı. 2009 NACMA Annual General Meeting and Workshop Santiago de Querétaro, Qro, Mexico 17-18 September 2009.
- [14] Karadayı R. “Quality Innovations: Measure on Machine”. Michelle Bangert, Editor of Quality Magazine. June 30, 2010.

- [15] http://www.euramet.org/fileadmin/docs/EMRP/JRP/JRP_Summaries_2012/Industry_JRPs/IND62_Publishable_JRP_Summary.pdf
- [16] Avrupa Metroloji Araştırma Programı – EMRP : <http://www.euramet.org/index.php?id=emrp>
- [17] Yandayan T, “Recent Developments in Metrology for Design and Production”, The 15th International Conference on Machine Design and Production, June 19-22, 2012, Pamukkale, Denizli, Turkey, UMTIK 2012 Conference Proceedings, pages 95-111.

ÖZGEÇMİŞ

Doç. Dr. Tanfer YANDAYAN

1996 yılında Manchester Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünde, ‘CNC takım tezgahlarında iş parçalarının, lazer ile işlem sırasında temassız ölçümü’ konulu projesiyle doktorasını tamamladıktan sonra, 1997 yılında mecburi hizmetini yapmak üzere TÜBİTAK UME’de çalışmaya başlamıştır. 15 yıl boyunca, TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı sorumluluğu yürütmüştür. Uzunluk, boyutsal ve açı ölçümleri için uluslar arası alanda ülkemizi temsil etmiş, boyutsal laboratuvarının yurt dışında ilk karşılaştırma ölçümlerine katılmasında ve kalibrasyon kabiliyetlerinin uluslar arası alanda kabul görmesinde ve listelenmesinde, TÜRKAK tarafından laboratuvarın akreditasyonunda, ve ara denetimlerinde boyutsal laboratuvarının yöneticiliğini yapmıştır. Dünya Bankası ve Alman hükümeti projelerinin kullanılarak, boyutsal laboratuvarının genişletilmesini, laboratuvar elemanlarının yetiştirilmesini, hizmet sayısının 5 ten 100 lü rakamlara çıkarılmasını, bunların karşılaştırmalar ile desteklenmesini sağlamıştır. Boyutsal ölçümler alanında, ülkemizdeki ilk karşılaştırmalı ölçümleri düzenlemiş, TÜRKAK’ın oluşumu sırasındaki çalışmalarda yer almış, TÜRKAK adına ilk laboratuvar akreditasyonlarına katılmıştır. Avrupa Bölgesel Metroloji Organizasyonu EURAMET adına, ülkelerin ulusal metroloji enstitülerinin denetimlerine katılan Tanfer YANDAYAN, 2006 yılında, Makine Mühendisliği alanında üniversite doçenti olmuş, 2012 Mayıs itibari ile laboratuvar yöneticiliği görevinden ayrılarak, Avrupa Metroloji Araştırma Programı çalışmalarına daha fazla yönelmiştir. 2012 yılında, 12 farklı ülkeden oluşan 16 proje ortağını bir araya getirip hazırladığı Açı Metrolojisi projesi ile TÜBİTAK UME’ye proje koordinatörlüğü kazandırmıştır. Açı projesinin koordinatörlüğü haricinde, Güney Asya Ülkelerinin metroloji faaliyetlerini Avrupa Komisyonu için inceleyen birinci Fp7 projesini tamamlamış, 2012-2016 yılları için uyumlaştırma projesine başlamıştır. Boyutsal ölçümlerin tüm konularını kapsayan, bilimsel araştırmalarda daha ziyade açı, master blokları, skala ölçümleri, interferometrik ölçümler, çap ve form ölçümleri konularında çalışmaktadır.

Recep KARADAYI

Recep Karadayı, 1981 yılında İTÜ Genel Makine Mühendisliğinden mezun olduktan sonra Otomatik Kontrol dalında Master ve Doktora eğitimi görmek üzere Amerika’ya gitti. Texas Üniversitesinde Otomatik Kontrol dalında Master eğitimini tamamladı ve aynı okulda Doktora kalifiye imtihanlarını ve derslerini verip doktora tezini bitirmeden önce endüstri tecrübesi kazanmak amacı ile General Motors, R&D bölümünde çalışmaya başladı. Burada, otomotiv sanayinde kullanılan ölçüm makinelerinde CAD tabanlı bir yazılım ihtiyacı olduğunu gören Karadayı, 1987 yılında “Applied Automation Technologies” Şirketini Amerika’nın Michigan eyaletinde kurdu. CAPPs yazılımını tasarlayarak ilk defa 3 boyutlu ölçüm makinelerinde CAD tabanlı grafiksel ve ‘online’ olan ilk ölçüm yazılımını çıkardı. İlerideki yıllarda bu yazılımı birçok ölçüm sistemlerine ve “In Process” ölçüm sistemi olarak birçok imalat makinelerine CappsNC ismi ile çıkardı. Bugün AAT firması birçok ülkede, “TOTAL METROLOGY SOFTWARE SOLUTIONS” sloganı ile faaliyetlerde bulunmakta ve metroloji prensibini kullanarak otomasyon ve üretim sahalarında kullanılan birçok yazılım ürünlerini geliştirmekte ve pazarlamaktadır.

Karadayı’nın 3 boyutlu makine retrofit, nokta bulutu ile sanal metroloji ve bilhassa “In Process + Adaptive Manufacturing” konularında birçok makaleleri ve konferanslarda yaptığı konuşmalar vardır. Karadayı, AAT Grup olan şirketlerin, AAT Inc. USA, AAT-Europe ve AAT-Otomasyon Türkiye CEO ve başkanlığını yapmaktadır.

İlker TEKE

2006 yılında Gaziantep Üniversitesi, Makine Mühendisliği mezun olduktan sonra AAT firmasında çalışmaya başlamıştır. Retrofit, cmm kalibrasyon, ölçüm danışmanlığı üzerine faaliyetleri sürdürmektedir. Fabrika otomasyonu, ölçme sistemlerinin verimliliği ve değişik ölçüm sistemlerinin makinaların bütünleşik olarak çalışması konularında çalışmalarını sürdürmektedir.