

# FREZELEME İŞLEMİ ESNASINDA TAKIM VE İŞ PARÇASI SICAKLIĞI ÖLÇÜMÜ İÇİN DENEYSEL KURULUM ÇALIŞMASI

Barış ÇETİN<sup>1</sup>, Doruk OKUMUŞ<sup>2</sup>, Barbaros ÇETİN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> FNSS Savunma Sistemleri AŞ, İmalat Hizmetleri Departmanı, Kıdemli İmalat Mühendisi, B.S., Ankara, [cetin.baris@fnss.com.tr](mailto:cetin.baris@fnss.com.tr)

<sup>2</sup> FNSS Savunma Sistemleri AŞ, İmalat Hizmetleri Departmanı, İmalat Mühendisi, B.S., Ankara, [doruk.okumus@fnss.com.tr](mailto:doruk.okumus@fnss.com.tr)

<sup>3</sup> Bilkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yrd. Doç. Dr., Ankara, [barbaros.cetin@bilkent.edu.tr](mailto:barbaros.cetin@bilkent.edu.tr)

## Özet

Frezeleme işlemi, talaşlı imalat üretim yöntemleri içerisinde en yoğunlukla kullanılan uygulamalardan birisidir. Frezeleme işleminin performansının, kalitesinin saptanmasında deneysel düzenekler üstünden kesme kuvvetleri, freze takımının işleme anındaki titreşim düzeyi, işleme anındaki takım sıcaklığı, işleme anındaki iş parçası sıcaklığı gibi parametrelerin okunması ve değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Freze takımının ve/veya iş parçasının işleme anındaki sıcaklık değerleri, soğutma şartlarının belirlenmesinde, MQL (Minimum quantity lubrication) parametrelerinin iyileştirilmesinde, frezeleme işlemi sonrasında oluşan artık gerilmelerin hesaplanmasında, vb. kullanılmaktadır. Takım ve iş parçası sıcaklığı ölçümü için oluşturulan deneysel kurulumlarda, farklı ölçüm yöntemleri ve ekipmanlar yer alabilmektedir. Bu bildiride; FNSS Sav. Sis. AŞ firmasında yürütülmekte olan “Kübik Bor Nitrür (CBN) Kaplamalar” konusundaki AR-GE projesinde, CBN kaplamanın, yüzey frezeleme işlemi sırasında oluşan ısıya ve takımın termal performansına etkisinin anlaşılması için kullanılacak olası kavramsal tasarımlar incelenmiş, değişik sıcaklık ölçüm yöntemlerinin avantajları, dezavantajları, ölçüm hassasiyetleri irdelenmiştir. Çalışma, takım ve iş parçası sıcaklığı ölçümü için bir deneysel kurum önerisi ile sonuçlandırılmıştır.

Anahtar kelimeler: takım sıcaklığı, iş parçası sıcaklığı, yüzey frezeleme

## AN EXPERIMENTAL SET-UP STUDY FOR THE MEASUREMENT OF TOOL AND WORKPIECE TEMPERATURE IN END MILLING

### Abstract

Milling is one of the most commonly-used operation among the machining methods. Detection and measurement of such parameters as cutting forces, tool vibration, tool temperature, and workpiece temperature over experimental set-ups plays an important role in determining the performance and quality of milling operation. The temperature values of tool and workpiece during the operation period, are useful for selecting the cooling conditions, improving MQL parameters, calculating the amount of residual stresses, etc. There are some application which can be used for measuring the temperature of tool and workpiece in experimental set-ups. In this paper, possible experimental set-ups which can be used to

understand the effects of CBN coating on the amount of heat generated during end milling and thermal performance of the tool are observed and the advantages, disadvantages and precision amount of different temperature measuring methods are investigated related to the R/D project named “Cubic Boron Nitride Coatings” which is an ongoing study at FNSS Defense Systems Inc. The study proposes an experimental set-up for measuring the tool and workpiece temperature.

*Keywords: tool temperature, workpiece temperature, end milling*

## 1. Giriş

Frezeleme operasyonu üzerine yapılan bilimsel araştırmalarda, ölçülmek ve gözlemlenmek istenen önemli parametrelerden birisi de takım ve iş parçası sıcaklığıdır. Literatürdeki çalışmalarda, takım ve iş parçası sıcaklığının ölçümü veya matematiksel modellenmesi, işlem sonrası oluşan artık gerilimlerin incelenmesi (Lazoğlu vd., 2008); takım aşınmasının, takım sıcaklık değeri ile dolaylı olarak saptanması (Kıyak vd., 1999) veya takım ömrünün değişik sıcaklık değerleri için belirlenmesi gibi çalışmalarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, takım ve iş parçasının sıcaklık değerinin tespit edilmesi CBN kaplamalı ve kaplamasız takımların karşılaştırılmasında kullanılacaktır. CBN kaplamaların düşük sürtünme katsayısına sahip olmaları nedeniyle daha düşük kesme kuvvetlerine ve ısı oluşuma neden olması beklenmektedir.

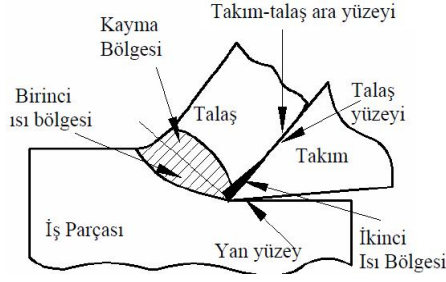
Yürütülmekte olan projemiz de ise takım ve iş parçasının sıcaklık değerinin tespit edilmesi CBN kaplamalı ve kaplamasız takımların karşılaştırılmasında kullanılacaktır. Uygun yöntemlerle elde edilmiş CBN kaplamaların düşük sürtünme katsayısına sahip olmaları nedeniyle daha düşük kesme kuvvetlerine ve ısı oluşuma neden olması beklenmektedir.

## 2. CBN Kaplama – Sıcaklık İlişkisi

Dik kesme (orthogonal cutting) modeli ve Eugene Merchant kesme düzlemi denklemine göre (1)

$$\phi = 45 + (\alpha/2) - (\beta/2) \quad (1) \quad \phi: \text{Kesme düzlemi açısı} \quad \alpha: \text{talaş açısı (rake angle)} \quad \beta: \text{sürtünme açısı}$$

daha düşük sürtünme katsayısı, daha büyük kesme düzlemi açısına ve böylece daha küçük kesme kuvvetlerine yol açmaktadır.



Şekil 1. Dik kesme işlemi için kesme, kayma düzlemlerinin şematik gösterimi (Şahin, vd., 2003)

Düşük kesme ve sürtünme kuvveti ise, düşük ısı oluşuma neden olmalıdır (2,3).

$$Q_s = F_s \cdot V_s \quad (2) \quad Q_f = F_f \cdot V_c \quad (3)$$

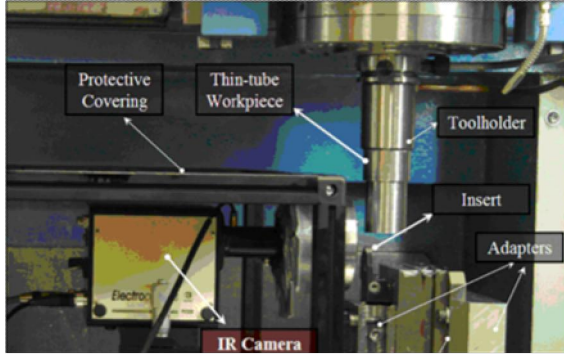
$Q_s$ : Kesme düzleminde oluşan ısı  $F_s$ : Kayma kuvveti  $V_s$ : Kesici takım ilerleme hızı

$Q_f$ : Sürtünme düzleminde oluşan ısı  $F_f$ : Sürtünme kuvveti  $V_c$ : Talaş akış hızı

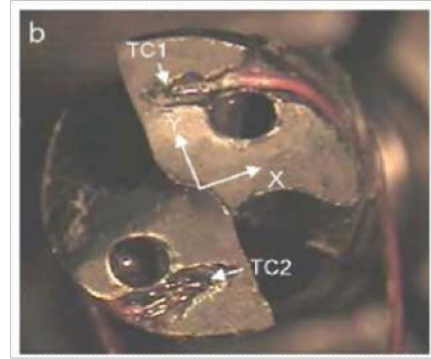
Yüzey frezeleme (end milling), her ne kadar bir dik kesme işlemi olmasa da, dik kesme kuvvet denklemleri, bazı alt denklem ve katsayılar kullanılarak yüzey frezeleme işlemi için de kullanılabilir. (Lee, 1996)

### 3. Sıcaklık Ölçüm Yöntemleri

Sıcaklık ölçme sistemleri, temel olarak dokunmalı ve dokunmasız yöntemler olarak iki ana kategoriye ayrılabilir. Dokunmalı sıcaklık ölçümü ekipmanları olarak temaslı termometreler, ısı çiftleri (thermocouple); dokunmasız ekipmanlar içinse kızılötesi (IR) kameralar ve pirometreler sayılabilir. Frezeleme işlemindeki sıcaklık ölçümleri için noktasal yerine bölgesel ölçümler alınabilmesi sonuçların daha iyi yorumlanması açısından önemlidir. Bu nedenle takım sıcaklığının ölçülmesi için kızılötesi kameralar sıklıkla kullanılmaktadır. Kesici takımın sabit tutulabildiği frezeleme işlemlerinde (örneğin kesici uç denemeleri) kızılötesi kameralar daha doğru sonuçlar verebilmektedir. Takımın doğrusal olarak hareket edeceği parmak freze ile yüzey işlemi sırasında ise kızılötesi kamera, hareketli takımın ölçümünü almak zorunda kalmaktadır. Bu durumda da kameranın görüntü yakalama frekansının yüksek olması, daha önemli hale gelecektir (100 Hz ve üzeri değerler tavsiye edilebilir). Takımların içine delme, boşaltma vb. yöntemlerle ısı çifti gömülmesi uygulaması da literatürde yer almaktadır. Fakat projemizde takımlarda boşaltma işlemi yaparak CBN kaplamalara zarar verilmesi uygun görülmediği için bu yöntem kullanılmamıştır.



(a) Kesici ucun sabit tutulduğu IR kamera ile sıcaklık ölçümü (Lazoğlu vd., 2014)



(b) Matkap ucu içerisine entegre edilmiş ısı çifti ile sıcaklık ölçümü (Li vd., 2007)

Şekil 2. Kesici uç sıcaklık ölçüm düzenekleri

### 3.1 Kızılötesi Kameraların Avantajları ve Dezavantajları

-273°C'den daha yüksek sıcaklığa sahip bütün nesnelere, kızılötesi dalga boyuna sahip ışınlar yaparlar. Temel olarak kızılötesi kameralar, bu ışık dalgalarını tespit ederek hedef objenin termal görüntülenmesini gerçekleştirirler. Genelde kızılötesi kameralar, uzun dalga kızılötesi sınıfındaki (LWIR) 8-15 µm dalga boyu bandını ölçerler. Kızılötesi kameraların en önemli avantajı, takımın sıcaklığını, işleme alanı dışından odaklanarak bölgesel olarak ölçebilmesidir. En önemli dezavantajlardan birisi ise devamlı talaş oluşumunda (continuous chip flow) ölçüm için gerekli olan görüntü alanı, talaş tarafından kapatılabilmektedir. Talaş, kamera ile takım arasında bir engel oluşturabilmektedir. İkinci önemli dezavantaj ise, kızılötesi kameralardan, doğru sonuçlar alınabilmesi için sıcaklığı ölçülen malzemenin ışın emissivite (emissivity) değerinin hassas olarak bilinmesi zorunluluğudur. Bütün malzemenin ışın değeri, yüzey sıcaklığına ve yüzey pürüzlülük değerine göre değişebilmektedir. (Lazoğlu vd., 2008). Bu nedenle; doğru termal sonuçlar alınabilmesi için ışın değerinin tespiti ile ilgili kalibrasyon çalışmalarının yapılması zorunludur. Ayrıca sıcaklığı ölçülmek istenen nesnenin çevresinden bulunan ışınlar da hedef nesne üstünden yansiyabilir. Bu da ölçüm hassasiyetini bozacak bir etkidir. Projemizde, ilk aşamada Optius firmasının yeni nesil ürünü olan PI 1M modelinin kullanılması düşünülmüştür. Bu modelin temel özelliği çok düşük bir spektral dalga aralığına sahip olmasıdır (0,9-1,1 µm). Böylece sadece hedeflenen metal malzemeye odaklanabilmeli ve çevresel ışınlardan ve yansımalarından korunabilmektedir. Fakat bu ürünün dezavantajı 480–1500°C arasında ölçüm yapabilmesidir. Düşük kesme derinliği ve düşük ilerleme hızlarında, takım sıcaklığı 300°C'ler mertebesinde kalabilir. Bu durumda da bu model bir kamera ile ölçüm almak mümkün olmayacaktır. Bu nedenle ölçüm hassasiyeti biraz düşük olsa da çalışma sıcaklığı

değeri -20–1500°C olan IP160 modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. Kızılötesi kamera ölçümleri, periyodik olarak ısı çiftleri kullanılarak doğrulanacaktır.

### 3.2 Kızılötesi Kameraların Avantajları ve Dezavantajları

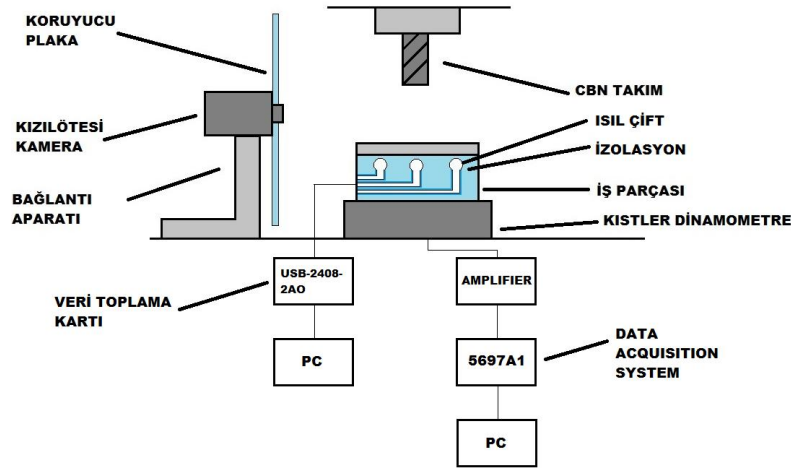
Isıl çiftler, sıcaklık ölçümünde sanayi alanında ve bilimsel çalışmalarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Isıl çiftler 200°C–2320°C gibi geniş bir aralıkta sıcaklık ölçümü gerçekleştirebilmektedir. Bu geniş çalışma aralığı endüstriyel uygulamalar için büyük bir avantajdır. Metalürjik bazı belirsizlikler nedeniyle ısı çiftleri 1-2°C ölçüm hassasiyetine sahiptirler (Duff vd., 2010). Isıl çiftler, sıcaklık ölçümü için mikro voltlar mertebesinde voltajlar üretmektedir. Bu nedenle çalışma ortamındaki diğer düzensiz elektrik ve manyetik alanlar, sıcaklık ölçümünü çok kötü bir şekilde etkileyebilir. Isıl çiftlerin kendi içinde yazılımsal ve donanımsal sinyal filtreleme imkânı vardır. (Duff vd., ibid) Fakat yine de ısı çiftlerinin, iş parçasının içine yalıtkan madde ile birlikte gömülmesi uygulaması deneysel çalışmalarda uygulanmaktadır. Projemizde de ısı çiftlerinin yalıtım malzemesi ile birlikte iş parçasına montajı sağlanacaktır.

Isıl çiftlerden mikro volt cinsinden çıktılar alınmaktadır. Bu nedenle, elde edilen çıktılar veri toplama kartlarında (daq) işlenerek, bilgisayar ortamında aktarılmaktadır. Bu işlem için kullanılacak ticarileşmiş çeşitli mühendislik yazılımları ve donanımları vardır. Projemizde işletim kolaylığı nedeniyle USB bağlantılı veri toplama modüllerinin kullanılması kararlaştırılmıştır. Isıl çiftler, Labview yazılımı ve National Instruments (NI) firması tarafından üretilen donanımlar üzerinden de okunabilir. Projemizde, sadece sıcaklık ölçümü için kızılötesi kamera ve ısı çiftleri kullanılacağı için daha ekonomik ve daha az karmaşık olan Measurement Computing Corporation (MCC) firmasının ürettiği, USB-2408-2AO veri toplama kartı ve Tracer DAQ Pro yazılımının kullanılmasına karar verilmiştir. USB-2408-2AO veri toplama kartından MATLAB yazılımı üstünden de sıcaklık değerleri okunabilmektedir. Projemizde ekonomik nedenlerden dolayı sıcaklık değerlerinin MCC firmasının ürünü olan Tracer DAQ Pro yazılımının üzerinden okunması kararlaştırılmıştır. Bu yazılım üzerinden her bir ısı çifti için eşzamanlı olarak, direkt °C biriminde sıcaklık değerleri okunabilmektedir.

## 4. Kavramsal Tasarım ve Sonuç

Yüzey frezeleme işlemi esnasındaki erişilebilirlikler, sıcaklık dağılımının detaylı bir şekilde ölçülebilmesi için bölgesel ölçüm gereklilikleri, ölçüm hassasiyeti ve maliyet karşılaştırmaları göz önüne alınarak; takım sıcaklığının kızılötesi kamera ile iş parçası sıcaklığının ise çoklu ısı çifti kullanımı ile ölçülmesine karar verilmiştir. Kızılötesi kameranın, ölçüm hassasiyetini sağlamak için ışımaya değeri (emissivity factor)

deneysel kurulum öncesinde ve deneysel çalışmalar sırasında, dokunarak sıcaklık ölçme yöntemleri kullanılarak periyodik bir şekilde doğrulanacaktır. Isıl çiftlerden daha hassas değerler okunabilmesi için ısıl çiftlerin çevresinde yalıtkan malzemeler de iş parçasına gömülecektir. İleriki daha kapsamlı ölçüm gereklilikleri düşünülerek, farklı donanımlarla yapılacak ölçümleri de yapabilecek modüllerin üzerine entegre edilebildiği, bir veri toplama kartı, mevcut projemizde tercih edilmiştir.



Şekil 3. Takım ve iş parçası sıcaklık ölçümü için kavramsal tasarım

## Kaynaklar

- Duff, M., Towey, J. (2010), Two Ways to Measure Temperature Using Thermocouples Feature Simplicity, Accuracy and Flexibility, *Analog Dialogue*, sh. 44-10
- Kıynak, M., Eraslan, M., Altan, E. (1999), Tornalamada Kesici Takım Aşınmasının İşlem Esnasında Sıcaklık Ölçümü ile Saptanması, *Pamukkale Ü. Müh. Fak. Mühendislik Bilimi Dergisi*, cilt 5, s.1 sh. 893-930
- Lazoglu, I., Ulutan, D., Alaca, B.E., Engin, S. (2008), An Enhanced Analytical Model for Residual Stress Prediction in Machining, *CIRP Annals*, Vol. 57, Issue.1, sh. 81-84
- Lazoğlu, İ., Buğdaycı, B. (2014), Thermal Modeling of End Milling, *CIRP Annals*, Vol. 63, sh. 113-116
- Lazoğlu, İ., Dinç, C., Serpenguzel, A (2008), Analysis of Thermal Fields in Orthogonal Machining with Infrared Images, *Journal of Materials Processes*, issue 198, sh. 147-154
- Lee, P., Altıntaş, Y. (1996), Prediction of Ball-end Milling Forces from Orthogonal Cutting Data, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 36, issue 9
- Li, R., Shih, A. J., (2007). Spiral Point Drill Temperature and Stress in High-throughput Drilling of Titanium, *Int. J. Mach. Tools & Manuf.*, Vol. 47, sh. 2005-2017
- Şahin, M. H., Acır, A. (2003), Talaş Kaldırma İşlemlerinde Kesici Takım ve Talaş Arasında Sıcaklık Dağılımının Sonlu Farklar Metodu ile Analizi, *Politeknik Dergisi*, cilt 6, sayı 3, sh. 541-549

