

# AZDIRMA YÖNTEMİ İLE DIŞLI ÇARK AÇMA İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ İÇİN SİSTEM TASARIMI VE İMALATI

**Alaattin KAÇAL\***, **Mahmut GÜLESİN** ve **Hasan Basri ULAŞ**

Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500, Beşevler, Ankara

\*[akacal@gazi.edu.tr](mailto:akacal@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 19.07.2007 ; Kabul/Accepted: 08.09.2008)

## ÖZET

Günümüzde dişli çark açma için bir çok yöntem kullanılmakla birlikte, azdırma usulü en çok kullanılan yöntem olarak göze çarpmaktadır. Bu yöntemde, kesme kuvvetleri ve kesme parametreleri arasındaki ilişkilerinin yorumlanmasıyla optimum kesme koşulları, maliyet ve işleme zamanına yönelik değerlendirmeler yapılabilecektir. Bu çalışmada, azdırma yöntemi ile dişli çark açma işlemi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerini ölçebilmek için bir deney seti tasarlanmış ve imal edilmiştir. Sistemde, kuvvet ölçümü için KISTLER 9272A 4 bileşenli ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_z$ ) dinamometre, veri okuma kartı (KISTLER PCIM DAS 1602/16), çok kanallı bir amplifier, verilerin işlenmesi ve grafiklerin elde edilmesi için de KISTLER Dynoware yazılımı kullanılmıştır. Gerçek kesme şartlarında oluşabilecek durumlar dikkate alınarak deney seti oluşturulmuş ve yapılan kesme deneyi ile kesme kuvvetlerinin ölçülebildiği ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Azdırma usulü dişli çark açma, kesme kuvveti ölçme, dinamometre.

## SYSTEM DESIGN AND MANUFACTURING FOR MEASUREMENT OF CUTTING FORCES IN GEAR HOBBIING PROCESS

### ABSTRACT

Although there are a lot of methods for making gear, hobbing is the most common method. In this method, the evaluations of optimum cutting conditions, cost and machining time will be able to be done by interpreting the relations between cutting forces and cutting parameters. In this study, an experimental setup was designed and produced to measure cutting forces occurred during gear hobbing process. The components used in this design were: A KISTLER 9272A four component ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_z$ ) dynamometer for force measurement, a data acquisition card (KISTLER PCIM DAS 1602/16), a multi-channel amplifier and Dynoware package for processing of data and making graphs. Experimental setup was made by taking into consideration circumstances at real cutting conditions and it was shown that cutting forces could be measured in hobbing tests.

**Keywords:** Gear hobbing, cutting force measurement, dynamometer.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüz teknolojisinde dişli çarkların önemi gittikçe artmaktadır. Kuvvet ve moment aktarımı gibi endüstriyel uygulamalarda dişli çarkların kullanımı kaçınılmazdır. Sanayi sektöründe yaygın olarak kullanılan dişli çarkların üretiminde maliyeti doğrudan etkileyeceği için işleme parametrelerinin incelenerek iyileştirilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle azdırma usulü ile dişli çark açmada çakıda meydana gelen kesme kuvvetlerinin incelenmesi bir gereksinim olmuştur.

Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri, kesme performansına ve birim parça maliyetine doğrudan etki etmektedir. Ayrıca metal ve metal alaşımlarının işlenmesinde kullanılan takımların kesici kenarları yeterince dayanıklı olmasına rağmen, talaş kaldırma sırasında oluşan gerilmeler karşısında oldukça zorlanmaktadırlar. Bu sebeple takımın dayanabileceği optimum kesiti ve kesmeyi kolaylaştıracak ideal açılarını (ideal takım geometrisini) bulmak için bir çok araştırma yapılmıştır. 1930'lu yıllarda sert karbürlerin bulunması, kesme hızlarını daha da artı-

arak daha kaliteli yüzeylerin elde edilmesini sağlamıştır. Son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojisinin talaşlı imalatta kullanılmasıyla birlikte, talaş kaldırma sürecindeki problemler önemli ölçüde çözülmüştür. Özellikle kesme kuvvetleri ve gerilme değerlerinin önceden tahmin edilmesine yardımcı olan bilgisayar paket programları sayesinde, talaş kaldırma mekanizminde çok büyük iyileştirmeler sağlanmıştır [1].

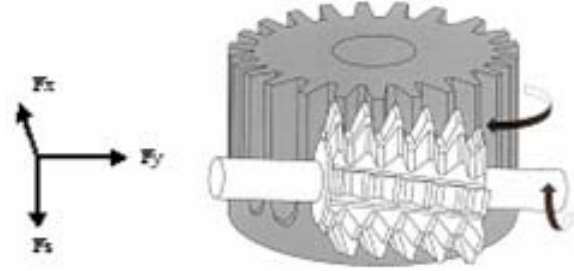
Talaşlı üretim işlemlerinden birisi olan frezeleme işlemlerinde kesme kuvvetlerini ölçmek için, gerinim ölçer (strain gage) esaslı dinamometre tasarımı ve imalatı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [2,3]. Bu çalışmalarda, değişik tiplerde dinamometre tasarımları yapılmış, işleme esnasında kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Verileri okumak ve kaydetmek için, veri okuma sistemi ile gerekli yazılım-donanımlar kurulmuş ve dinamometre ile bağlantısı sağlanarak kuvvetler belirlenmiştir. Benzer yöntemlerle tornalama, doğrusal talaş kaldırma ve taşlama işlemlerinde de kesme kuvvetleri ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır [4-9].

Dişli çarkların işlenmesinde büyük oranda talaşlı üretim teknikleri kullanıldığından diğer talaşlı üretim yöntemlerine gösterilen önem bu alana da gösterilmelidir ve etkili parametrelerin kontrolü sağlanmalıdır. Azdırma freze çakıları ile dişli çark açma; işlem kinematigi, talaş oluşumu ve aşınma mekanizmasının karmaşık olmasına karşın, yüksek kalitede ve hassasiyette dişli çark üretmek için etkili bir metottur. Azdırma usulü dişli çark açma işleminde de diğer kesme işlemlerinde olduğu gibi, iş parçası, takım ve üretim bilgilerinin geniş olarak araştırılması ve endüstrinin ilgisi nedeniyle, kesme kuvvetlerinin, takım aşınması gibi işleme parametrelerinin tahmin edilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır [2,3,10-12].

Kesme kuvvetlerinin ölçülmesine yönelik torna, freze ve matkap tezgahlarında çok sayıda araştırma yapılmasına rağmen dişli çark üretim tezgahlarında çok az sayıda araştırma yapıldığı göze çarpmaktadır.

## 2. AZDIRMA YÖNTEMİ İLE DİŞLİ ÇARK AÇMA (GEAR HOBGING)

Bu yöntem ile dişli çark üretiminde, azdırma freze tezgahı adı verilen özel tezgahlar kullanılmaktadır. Azdırma freze tezgahında dişli çark açarken, hem iş parçası hem de azdırma çakı dairesel hareket yapar. Azdırma freze takımı ve iş parçası kendi eksenleri etrafında dönerken birbirleri ile çalışan dişliler gibi uyumlu hareket ederler. Temelde iş parçasının ve azdırma takımın dönme eksenleri birbirine diktir. Ancak işleme anında azdırma çakı eksenine eğim açısı verilir. Azdırma usulü ile dişli çark açma işlemi ve kesme kuvvetlerinin yönleri Şekil 1'de verilmiştir. Bu yöntemde yuvarlanma metodu da denilmektedir. Kesme derinliği azdırma çakıdan verilir. Diş derinliğinin tamamı bir seferde verilebilir. İlerleme



Şekil 1. Azdırma usulü işleme [12]. (Gear hobbing)

hareketi düşey olarak uygulanmaktadır. Üniversal frezeleme işlemlerinde olduğu gibi aynı ve zıt yönlü ilerleme verilebilir [11-14].

### 2.1. Kesme Kuvvetleri (Cutting Forces)

Azdırma freze tezgahının ve azdırma usulü dişli çark açmanın karmaşık olması nedeniyle kuvvet ölçümü ve hesaplanması oldukça zordur. Thamer, kesici kenarda meydana gelen kesme kuvvetlerini kesmeye katılan alanın kesitinden yararlanarak teorik olarak hesaplamıştır [15]. Ohtubo, azdırmadaki kesme miktarından, kesme gücü için gerekli olan gücü kolayca belirlemek için, dişli çark dişlerinin diş boşluğu alanının kullanılmasını önermiştir. Kesme miktarı ve diş boşluğu arasındaki alanın hesaplanması için basit eşitlikler türetmiştir [16]. Bir başka çalışmada; kesme kuvveti, azdırma freze takımının bağlandığı mildeki kayar bileziklere yerleştirilen gerinim ölçerler aracılığıyla belirlenmiş ve kesme anında her bir dişte oluşan kesme kuvveti de elde edilen kesme torkunun çakı yarıçapına bölümü ile bulunmuştur [17]. Özellikle her bir azdırma dişindeki kesme kuvvetinin detaylarını araştırmak amacıyla dişli çarkın sadece bir diş dolusu ve diş boşluğunun işlenmesi sırasında iş parçası üzerinden kuvvetlerin ölçülmesiyle azdırma ve iş parçasının her bir dişindeki teğetsel, radyal ve aksenal kuvveti bileşenleri elde edilmiştir. Ayrıca kesme kuvveti bileşenlerinin tespit edilmesiyle optimum kesme performansı ve iş parçasını bağlamak için gerekli olan sıkma kuvvetinin belirlenmesi de mümkün olabilmektedir [18, 19].

Azdırma freze tezgahlarının en uygun tasarımı için (özellikle azdırma freze takımı mili), onun statik ve dinamik performans limitlerinin gözlemlenmesi ve beklenen kesme kuvvetlerinin zamana bağlı olarak kesin bilgisi gereklidir. Bu bilgiler özel tasarlanmış dinamometreler ile elde edilebilmektedir. Geliştirilen hesaplama prosedürleriyle her işleme durumunda ve dişli çark azdırma işleminde kesme kuvveti bileşenlerinin kesin olarak saptanması sağlanmıştır [20-22].

Abood ve arkadaşları, azdırma usulü dişli açmada kesme kuvvetlerinin hesaplanması için üç boyutlu bir kuvvet ölçme modeli geliştirmeyi denemişlerdir. Anlık talaş kesiti kalınlığı, meydana gelen kesme kuvvetlerinin hesaplanmasını sağlayacağından her

kesici kenarın her noktasında hesaplanmıştır. Üç eksenli bir dinamometre direkt olarak prototip azdırma freze tezgahının tablasına bağlanmış ve gerçek kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için kullanılmıştır. İyi bir korelasyon elde edilmiş ve azdırma usulü dişli işleme sırasında, kesme kuvveti davranışının karmaşık döngüsel yapısını tanımlamak için kullanılmıştır [23].

### 3. MATERYAL ve METOD (MATERIAL AND METHOD)

#### 3.1. Deneysel Setinin Tasarımı (Design of Experimental Setup)

Azdırma freze tezgahının ve azdırma usulü dişli çark üretiminin karmaşık olması nedeniyle kuvvet ölçümü için kullanılacak dinamometrelerin özel olarak geliştirilmesi veya mevcut dinamometrelerin tezgah üzerine adaptasyonu gerekmektedir. Burada özellikle hem iş parçasının hem de kesicinin dönmesi dinamometrenin yerleştirilmesinde bazı güçlükler çıkarabilmektedir [24].

Tasarımı yapılan sistemde kuvvet verileri, iş parçası ile dinamometre arasında temasın sağlanması ile iş parçası üzerinden alınmıştır. Sistemde; KISTLER 9272A 4 bileşenli dinamometre, dinamometreden gelen sinyallerin veri okuma kartına (KISTLER PCIM DAS 1602/16) aktarılmasında çok kanallı bir amplifikatör ve son olarak da verilerin işlenmesi ve grafiklerin elde edilmesi için Windows işletim sistemi ile uyumlu KISTLER Dynoware 2825A-02-01 yazılımı hazır olarak temin edilmiştir. Şekil 2’de kullanılan dinamometrenin bir resmi ve özellikleri verilmiştir.

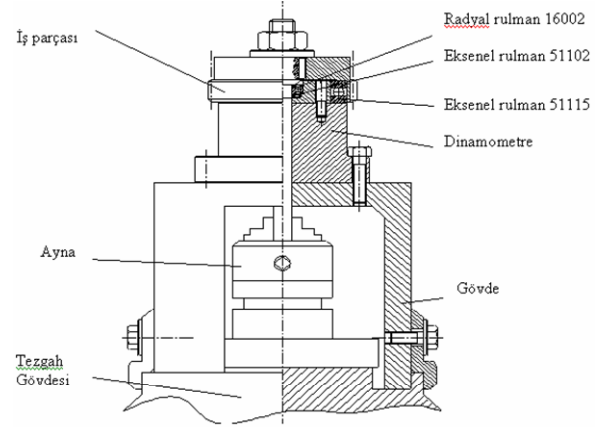
Azdırma yöntemi ile dişli çark açma işleminde hem çarkın hem de iş parçasının hareketli oluşu kuvvetlerin dinamometre ile alınmasında önemli bir zorluk oluşturmaktadır. İlk tasarımda bir adet radyal ve bir adet eksenel rulman kullanılarak kesme anındaki kuvvetlerin dinamometre üzerine düzgün olarak aktarılması düşünülmüştür. Fakat burada kuvvetler iş parçasını taşıyan milden geçerek dinamometreye iletiildiğinden bazı ölçüm hataları ile



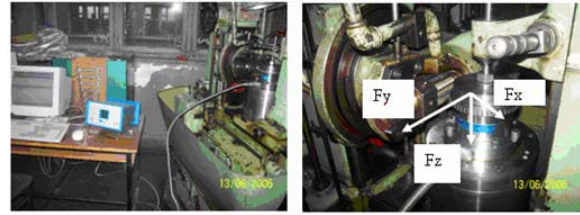
Dinamometre Ölçüm Aralığı			
Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mz (Nm)
-5...5	-5...5	-5...20	-200...200

Şekil 2. Dinamometre ve özellikleri.(Dynamometer and its properties)

karşılaşılmıştır. Bu sorunun aşılması için dinamometre ile iş parçası arasında daha büyük ölçülerde bir eksenel rulman kullanılmıştır. Böylelikle kesme kuvvetlerinin ölçümü için optimum başarı sağlanmıştır. Şekil 3’te tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen deney setinin iki boyutlu montaj resmi ve Şekil 4’te de fotoğrafları yer almaktadır.



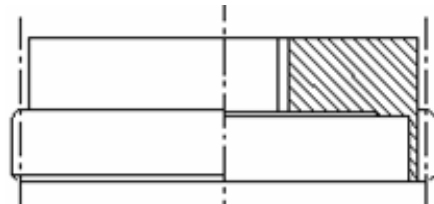
Şekil 3. Deneysel setinin montaj çizimi. (Assembly sketch of experimental setup)



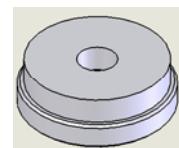
Şekil 4. Deneysel setinin fotoğrafları (Photos of experimental setup)

#### 3.2. Deneysel Şartları (Experimental Conditions)

Yukarıda tanımlanan deney setinde yapılacak olan kesme deneyleri için deney numunesinin Şekil 5’te belirtilen biçimde olması gerekmektedir. Deney numuneleri sertlik değeri 160 HB olan AISI 8620 sementasyon çeliği malzemeden hazırlanmıştır. Kullanılan azdırma çarkı ve kesme parametrelerine ilişkin değerler Tablo 1’de verilmiştir.



Düz Dişli Çark	
Modül, (m)	2,25
Diş sayısı, (z)	50
Diş profili	TS 3601
Diş derinliği,	4,875
Diş genişliği,	18



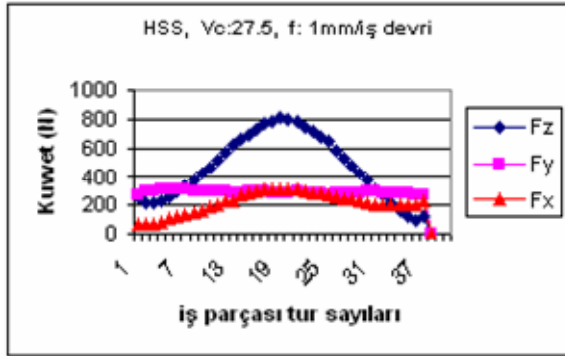
Şekil 5. Deneysel numunesi (Workpiece sample)

**Tablo 1.** Azdırma takım ve kesme parametreleri (Hob and cutting parameters)

Azdırma Takım	Kesme Parametreleri
Kesici malzemesi : HSS	Kesme hızları (Vc) : 27.5 - 33.22 - 38.5 - 41.8 m/dak
Kaplama : Yok	İlerlemeler (f) : 0.4 ve 1 mm/iş devri
Ağız Sayısı : 1	Kuru kesme
Kanal Sayısı : 12	

#### 4. KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ (MEASUREMENT OF CUTTING FORCES)

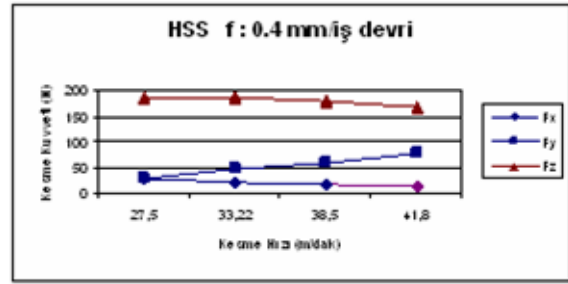
Şekil 6'da bir dişli çarkın azdırma tezgahında açılması esnasında kesme işleminin başlangıcından bitimine kadar geçen sürede elde edilen kesme kuvvetleri değişimleri verilmiştir. Grafik; iş parçasının her bir turunda elde edilen kesme kuvveti değerlerinin ortalaması alınarak düzenlenmiştir. Burada, kesme işlemi kuru kesme şartlarında zıt yönlü kesme işlemine uygun olarak yapılmıştır.



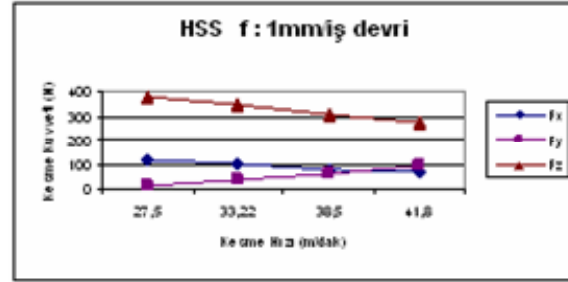
**Şekil 6.** Kesme kuvvetlerinin iş parçasının devir sayısına göre değişimi (Variation of cutting forces with the number of revolution of workpiece sample)

Kuvvetlerin değerlendirilmesinde dinamometreksen yönleri esas alınmıştır. Fz kuvveti ilerleme yönündeki kuvettir. Başlangıçta düşük olan bu kuvvet azdırmanın iş parçası içerisine daha fazla girmesi ile artmıştır (kaldırılan talaş miktarı arttığından). Yaklaşık 20. turda en yüksek değerini almış ve bu noktadan sonra iş parçasının alt kısmından çıkmaya başladığından Fz kuvveti tekrar azalmaya başlamıştır. Fy kuvveti iş parçası ve azdırmanın belirli bir koordinasyon içinde dönmesi sebebiyle fazla bir değişim göstermemiştir. Fx kuvveti de Fz gibi azdırmanın iş parçası üzerinde ilerlemesine bağlı olarak değişim göstermiştir.

Şekil 7'de HSS azdırma ile dört farklı kesme hızında 0.4 mm/iş devri ilerleme değeri ile yapılan kesme deneyleri esnasında ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin seyrini gösteren grafik verilmiştir. Şekil 8'de ise HSS azdırma ile dört farklı kesme hızında 1 mm/iş devri ilerleme değeri ile yapılan kesme deneyleri esnasında ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin seyrini gösteren grafik verilmiştir.



**Şekil 7.** f : 0.4 mm/iş devri ilerleme değerinde kesme kuvvetleri (Cutting forces at f: 0.4 mm/work revolution feed rate)



**Şekil 8.** f : 0.1 mm/iş devri ilerleme değerinde kesme kuvvetleri (Cutting forces at f: 0.1 mm/work revolution feed rate)

Şekil 7 ve Şekil 8'de görülen kuvvet değerleri azdırmanın kesmeye başlaması ile diş profilinin tam oluşmaya başladığı yere kadar olan kısımda ortaya çıkan kuvvetlerin ortalamasından başlangıçtaki sıkma kuvveti değeri çıkarılarak elde edilmiştir. Dinamometrenin sıfırlanması ve kalibrasyonu sistem boşa iken yapılabilmektedir. Ölçüm, sıkma işleminden sonra başlatılabildiğinden ve her defasında eşit sıkma yapılmasının zorluğu nedeniyle sıkma kuvvetleri ölçüm sonunda değerlendirilmiştir. Sıkma kuvvetinin tespiti kesme işlemi sonunda Dynoware yazılımının verdiği grafik üzerinden, ölçmenin başlangıcı ile kesmenin başladığı aralıktan alınmıştır.

Her iki grafik incelendiğinde; Fx ve Fz kesme kuvveti bileşenleri değerlerinin kesme hızının artışına bağlı olarak azaldığı, Fy bileşeni değerinin ise bir miktar arttığı görülmektedir. Bunun nedeninin tespit edilmesine yönelik aşağıdaki maddeler düşünülmüştür.

- Kesme işlemi esnasında azdırma çakı ile iş parçası arasındaki temas noktasında iş parçası dönüşü "y" yönündedir.
- Kesme hızının artması ile bu noktada iş parçasının daha hızlı dönmesi "y" yönündeki birim zamandaki talaş kesitini artırmaktadır. Bu artış, Fy kuvvetinin artışına neden olabilir.

Azdırma işleminde en büyük kuvvet ilerleme yönündeki kuvvet yani Fz bileşenidir. Diğer bileşenler nispeten daha küçüktür. Yapılan diğer çalışmalarda da bunu görmek mümkündür [15,18,23,25].

#### 5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

- Gerçek kesme şartlarında oluşabilecek durumlar

dikkate alınarak deney seti oluşturulmuş ve kesme kuvvetlerinin ölçülebildiği ortaya konmuştur.

- İmal edilen deney seti ile standart bir dinamometre hem kesici takımın hem de iş parçasının hareketli olduğu farklı bir tezgahta kullanılmıştır. Böylece geleneksel freze ve delme operasyonları için hazırlanmış olan dinamometreden azami ölçüde fayda sağlanabildiği görülmüştür.
- Azdırma yöntemi ile dişli çark açmada elde edilecek kesme kuvvetlerinin, kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametreleri ile olan ilişkisinin belirlenmesi ile optimum kesme koşulları, maliyet ve zaman kaybına yönelik değerlendirmeler yapılabilecektir.
- Böylece; dişli imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan azdırma freze takımlarında kesici takım ömründen daha fazla yararlanılacak ve diğer talaşlı üretim operasyonlarında kullanılan kesicilere göre daha pahalı olan bu kesicilerin işletmelere olan maliyeti azalacaktır. Bu alanda sağlanan tasarruf ile imalat sektörüne ve ülke ekonomisine önemli katkılar sağlanacaktır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 07/2005-11 numaralı proje kapsamında desteklenmektedir. Destek ve katkılarından dolayı kendilerine teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Şeker, U., **Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı**, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Ders Notları, Ankara, 2000.
2. Sulzer, G., "Leistungssteigerung bei der Zylinderradherstellung Durch Genaue Erfassung der Zerspänkinematik", **Dissertation**, TH Aachen, 1974.
3. Bouzakis, K.-D., and Antoniadis, A., "Optimizing Tool Shift In Gear Hobbing", **CIRP Ann.**, 44,1995.
4. Duran, A., "Strain Gauge Esasına Dayalı Üç Boyutlu Torna Dinamometresinin İmali, Kuvvetlerin Ölçülmesi Ve HSS Torna Kalemde Meydana Gelen Şehimin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi", **Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fak. Teknoloji Dergisi**, 3(1): 141-157, 2000.
5. Günay, M., **Talaş Kaldırma İşlemlerinde Kesici Takım Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.
6. Kurt, A., Şeker, U., Çiftçi İ., "Doğrusal Hareketle Talaş Kaldırmada Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Ölçülebilmesi İçin 3 Boyutlu Bir Dinamometre Tasarımı Ve İmalatı", **II. Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Sempozyumu**, Manisa, 656-667, 2001.

7. Demir, H., **Düzlem Taşlamada Taşlama Parametrelerinin Taşlama Kuvvetlerine Ve Yüzey Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.
8. Turgut, Y., Korkut İ., "Bağlama Kalıplarında Bağlama Kuvvetlerinin Deneysel Ölçülmesi İçin Sistem Tasarımı Ve İmalatı", **4rd International Advanced Technologies Symposium**, Konya, 658-662, 2005.
9. Özçatalbaş, Y., Ercan, F., "İki Bileşenli Gerinim Ölçerli Torna Dinamometresi Tasarımı İmalatı Ve Bilgisayara Entegrasyonu" **Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi**, 12:1-12, 1997.
10. Galczynski, R., "Effect Of Hob Wear On The Sounds Emitted In The Gear Hobbing Process", **Precision Engineering**, 25-30, 1984.
11. Bouzakis, K.-D., Kombogiannis, S., Antoniadis, A., Vidakis, N., "Gear Hobbing Cutting Process Simulation And Tool Wear Prediction Models", **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, Vol. 124, 42-51,2002.
12. FETTE, Gear Cutting Tools, Takım ve teknik bilgi kataloğu.
13. Antoniadis, A., Vidakis, N., Bilalis, N., "Fatigue Fracture Investigation Of Cemented Carbide Tools In Gear Hobbing, Part 1 : Fem Modelling Of Fly Hobbing And Computational Interpretation Of Experimental Results", **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, Vol. 124, 784-791, 2002.
14. Antoniadis, A., Vidakis, N., Bilalis, N., "Fatigue Fracture Investigation Of Cemented Carbide Tools In Gear Hobbing, Part 2 : The Effect Of Tool Cutting Parameters On The Level Of Tool Stresses- A Quantative Parametric Analysis", **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, Vol. 124, 792-798, 2002.
15. Thamer, "Investigation Of The Cutting Force In Hobbing", **Research report**, Aachen Polytechnic, 1964.
16. Ohtubo, T., "Simple Equations For Cut Amount In Hobbing", **Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions of the JSME, Part C**, V 55, Issue 511, 818-819, 1989.
17. Yonekura, M., Sugimoto, T., Sumi, M., Kumagai, F., Nagano, K., Sakuragi, I., "A Study On Finish Hobbing With Carbide Hob (Improvement Of Gear Accuracy Using New Hobbing Machine)", **JSME International Journal Series C**, Vol. 41, No. 2, 291-298, 1998.
18. Umezaki, Y., Arura, Y., Chu, H., "Cutting Forces In Gear Rubbing (1st Report). The Three Components Of Cutting Forces On Hob And Work In Various Hobbing Methods", **Journal of JSPE**, V 54, 1988.
19. Ohtsubo, T., "Study On Designing Gear Cutting Fixtures", **Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions of the JSME, Part C** Volume 55, Issue 515, 1820-1822, 1989.



20. Koenig, W., Bouzakis, K., "Determination Of The Time Course Of The Cutting Force Components In Gear Hobbing", **ASME**, (Paper) Issue 80 -C2/DET-75, 9, 1980.
21. Bhattacharyya A, Deb Sr., "Mechanics Of Gear Hobbing", **ASME- 69-WA/Prod-7**, 6, 1969.
22. Deb Sr, Bhattacharyya A., "Forces In Gear Cutting", **Journal of the Institution of Engineers (India): Mechanical Engineering Division**, V 51, Issue 5 pt ME3, 102-107, 1971.
23. Abood, A.M., Bicker, R., Pennell, T., "An Analysis Of Cutting Forces In Gear Hobbing", **VDI Berichte**, V 1, Issue 1665, 255-262, 2002.
24. Kaçal, A., Gülesin, M., "Azdırma Freze Çakılarında Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi Ve Takım Aşınmasının İncelenmesi Üzerine Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi", **4rd International Advanced Technologies Symposium**, Konya, 574-580, 2005.
25. Ziegler, "Cutting forces when hobbing straight-and helical tooth spur gears", **Research report Aachen Polytechnic**. 1966.