

**GERÇEK ZAMANLI GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ VASITASIYLA
SERTLESTİRİLMİŞ AISI 4340 ÇELİĞİNİN FARKLI KESME
PARAMETRELERİ KULLANILARAK İŞLENMESİNDE CBN KESİCİ
TAKIMLARIN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

MEHMET FATİH KAHRAMAN

**ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS
DERECESİ İÇİN GEREKLİ ÇALIŞMALARI YERİNE GETİREREK
ONAYA SUNULAN TEZ**

OCAK 2014

Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Onayı

Prof. Dr. Duran KARAKAŞ
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinde bir tez olarak gerekli çalışmaları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Ali Naci ÇELİK
Enstitü Anabilim Dalı Başkanı

Okuduğumuz bu tezin Yüksek Lisans derecesindeki bir olarak onaylanmasında, düşüncemize göre, amaç ve kalite olarak tamamen uygundur.

Doç. Dr. Ahmet ÇAKAN

Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

1. Prof. Dr. Gürel ÇAM

2. Prof. Dr. Ali Naci ÇELİK

3. Doç. Dr. Ahmet ÇAKAN

ÖZET

GERÇEK ZAMANLI GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ VASITASIYLA SERTLESTİRİLMİŞ AISI 4340 ÇELİĞİNİN FARKLI KESME PARAMETRELERİ KULLANILARAK İŞLENMESİNDE CBN KESİCİ TAKIMLARIN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Kahraman, Mehmet Fatih

Yüksek Lisans, Makina Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet ÇAKAN

Ocak 2014, 96 sayfa

Kesici takım kenar aşınmasında, malzemenin işlenebilirliği hakkında değerlendirilmesi için önemli bir kriterdir. Bu çalışmada, CBN (kübik born nitrür) kesici takım ile sertleştirilmiş AISI 4340 (51-53 HRC) düşük alaşımlı çelik malzeme üzerinden sert malzemelerin tornalanması işlemiyle (HT) talaş kaldırma işlemi sırasında kesici uç aşınmasının, kesme hızı ve ilerleme hızı gibi faktörlerin etkilerini geliştirmek üzere araştırmalar yapılmıştır. Kesici takım uç aşınması, kesici takım ömrünü dolayısıyla, üretim zamanını etkilemektedir. On-line izleme yönteminden dolayı kesici takım uç aşınması ölçümü deneyi durdurmadan ölçüm yapma imkanı sunarmaktadır. Ayrıca görüntüleme sistemi düşük maliyetli sensör kullanımıyla

gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler, 180 ve 250 m/dak kesme hızında, 0.04, 0.08, 0.12 mm/dev ilerleme hızında ve 0.2 mm kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. En önemli kesme parametresi Varyans analiz (ANOVA) yöntemiyle kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesici uç aşınmasını çoğunlukla kesme hızı parametresi etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler : CBN kesici takımlar, Sert malzemelerin tornalanması (HT), Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliği, On-Line izleme yöntemi, Varyans analizi (ANOVA)

ABSTRACT

INVESTIGATION OF FLANK WEAR BEHAVIOURS OF CBN CUTTING TOOL IN HARD TURNING HARDENED AISI 4340 STEEL BY USING DIFFERENT CUTTING PARAMETERS THROUGH REAL-TIME MONITORING SYSTEM

Kahraman, Mehmet Fatih

Master of Science, Mechanical Engineering Department Bölümü

Supervisor : Assoc. Prof. Ahmet ÇAKAN

January 2015, 96 papers

Tool flank wear is an important criterion for machinability assessment of a material. The present work is an attempt to evaluate the influence of factors such as cutting speed and feed rate on flank wear during hard turning (HT) of hardened AISI 4340 high strength low alloy steel (51-53 HRC) with CBN cutting tools. Cutting tool flank wear is known to affect tool life, hence production time. Because of this on-line tool flank wear measurement continuously and monitoring system has been developed using a low cost sensor. These experiments were made in 180 and 250 m/sn cutting speed, 0.04, 0.08 and 0.12 mm/rpm feed rate and 0,2 mm depth of cut. Highly significant parameters were determined by performing the method of

Analysis of Variance (ANOVA). The tool flank wear get affected mostly by cutting speed.

Key words : CBN Cutting tool, Hard turning, Hardened AISI 4340 steel, On-line monitoring system, ANOVA

Biricik Eşim ve Ailem

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sırasında benden engin ve bilgin tecrübesi ile bana yol gösteren, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kıymetli yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, çalışma hırsı ve azmiyle her zaman ilham kaynağı olan, çalışma boyunca hertürlü desteği sağlayan, değerli görüşlerinden faydalandığım ve faydalanacağım saygıdeğer hocam Doç. Dr. Ahmet ÇAKAN'a en içten dileklerle saygılarımı ve sevgilerimi sunarım.

Bu süreçte her zaman yanımda olan, desteğini daima yanımda hissettiğim ve desteğini benden hiç esirgemeyen biricik eşim SALİHA KAHRAMAN'a ve beni günlere getiren, her zaman kol kanat geren KAHRAMAN aileme şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	V
İTHAF	VII
TEŞEKKÜR.....	VIII
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIV
1.GİRİŞ	1
2. TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİNİN ESASLARI	6
2.1. Talaş Kaldırma Mekanığı.....	6
2.1.1. Sürekli talaş tipi.....	9
2.1.2. Kesintili talaş tipi	10
2.1.3. Yığma kenarlı sürekli talaş tipi	11
2.1.4. Testere dişi şekilli talaş tipi.....	11
2.2. Talaş Kaldırmaya Etki Eden Faktörler.....	12
2.2.1. Kesici takım geometrisi.....	12
2.2.2. Talaş geometrisi	14
2.2.3. Kesme hızı.....	15
2.2.4. Kesme kuvveti.....	16
2.2.5. Kesme işleminde oluşan ısı	19

2.3. Kesici Takımın Aşınması	20
2.4. Kesici Takım Ömrü	21
3.AŞINMA	22
3.1. Aşınmada Etkili Olan Faktörler	23
3.1.1. Esas malzeme	23
3.1.2. Karşı malzeme	23
3.1.3. Ara malzeme	24
3.1.4 Yük	24
3.1.5. İzafi hareket	24
3.1.6. Ortam	24
3.2. Aşınma Mekanizmaları	25
3.2.1. Adhezif aşınma	26
3.2.2. Abrasiv aşınma (Mikro kesilme, şekil değiştirme aşınması)	27
3.2.3. Yorulma aşınması	28
3.2.4. Korozyon aşınma	28
3.2.5. Termik aşınma	29
3.2.6. Kativasyon aşınma	29
3.3. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri	29
3.3.1. Ağırlık farkı metodu	30
3.3.2. Kalınlık farkı yöntemi	31
3.3.3. İz değişim metodu	32
3.3.4. Radyo izotoplarla ölçme yöntemi	32

3.3.5.	Akustik emisyon tekniği ile aşınmanın ölçülmesi (AET)	32
3.3.6.	On-Line izleme yöntemi	33
4.	SERTLEŞTİRİLEBİLİR ALAŞIMLI ÇELİKLER	35
5.	METALLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ	38
5.1.	İşlenen Parçanın Durumu	38
5.1.1.	Malzemenin iç yapısı	39
5.1.2.	Tane büyüklüğü.....	39
5.1.3.	Isıl işlem.....	39
5.1.4.	Kimyasal bileşenler	40
5.1.5.	Üretim yöntemi	40
5.1.6.	Sertlik	40
5.1.7.	Akma Mukavemeti.....	41
5.1.8.	Çekme Mukavemeti	42
5.2.	Çalışma Malzemesinin Fiziksel Özellikleri	43
5.2.1.	Elastisite modülü	44
5.2.2.	Isıl iletkenlik.....	44
5.2.3.	Termal genleşme	45
5.2.4.	Şekil verme sertleştirilmesi	46
6.	LİTARATÜR ARAŞTIRMASI	47
7.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	51
7.1.	Kesme Koşullarının Belirlenmesi	52

7.2. İş parçası.....	52
7.3. Kesici takım	53
7.5. On-Line İzleme Yöntemi	54
7.6. Tornalama Testleri	56
8. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE ANALİZİ.....	58
8.1. CBN Kesici Takımların Aşınma Deney Sonuçları	58
8.1.1. CBN kesici takımların 180 m/dak kesme hızı, 0.04, 0.08 ve 0.12 mm/dak ilerleme hızları ve 0.2 mm kesme derinliğinde yapılan aşınma deney sonuçları.....	59
8.1.2. CBN kesici takımın 250 m/dak kesme hızı, 0.04, 0.08 Ve 0.12 mm/dev ilerleme hızları ve 0.2 mm kesme derinliğinde yapılan aşınma deney sonuçları.....	64
8.2. Farklı Kesme Parametreleri Kullanılarak CBN Kesici Takımlarla Yapılan Kesme Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	67
8.2.1. 0.04 mm/dev ilerleme hızında oluşan aşınmaların karşılaştırma sonuçları.....	67
8.2.2. 0.08 mm/dev ilerleme hızında oluşan aşınmaların karşılaştırma sonuçları.....	68
8.2.3. 0.12 mm/dev ilerleme hızında oluşan aşınmaların karşılaştırma sonuçları.....	69
8.3. Varyans Analizi.....	71
9. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR	76

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 7. 1. AISI 4340 çeliğinin kimyasal bileşimi	53
Tablo 8. 1. Kesici uç aşınması varyans analizi	71
Tablo 8. 2. Kesici uç aşınmasının istatistiksel özeti	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Taşlama işleminin sert tornalama işlemiyle karşılaştırılması	2
Şekil 1.2. Tornalama işleminin basit gösterimi.....	3
Şekil 2.1. Takım modeli ve ortogonal kesme.....	7
Şekil 2.2. Talaş kaldırma işleminin kesit görünüşü	8
Şekil 2.3. Talaş oluşumunun gerçeğe uygun gösterimi	9
Şekil 2.4. Sürekli talaş tipi	10
Şekil 2.5. Kesintili talaş tipi	10
Şekil 2.6. Yapışık talaş tipi	11
Şekil 2.7. Testere dişi şekilli talaş oluşumu	12
Şekil 2.8. Kesici takım geometrisi	13
Şekil 2.9. Talaş kaldırma işleminde eğim açısının gösterimi	13
Şekil 2.10. Talaş Geometrisi	15
Şekil 2.11. Talaş kaldırma kuvvetleri	16
Şekil 2.12. Talaş kaldırma kuvvetleri gösterimi	18
Şekil 2.13. Talaş kaldırma işleminde ısı dağılımı	20
Şekil 3.1. Aşınma mekanizmalarının ve temas tiplerinin tanımlanması.....	25
Şekil 3.2. Adhezif aşınmanın gösterimi	26
Şekil 3.3. Abrasif aşınmanın gösterimi (iki gövde aşınma).....	27
Şekil 3.4. Abrasif aşınmanın gösterimi (üç gövde aşınma)	27
Şekil 3.5. Korozyon aşınma şeması	28

Şekil 5.1. Çekme ve akma mukavemeinin ölçümünün gösterimi.....	43
Şekil 7.1. Deneysel çalışmalarda uygulanacak işlem sırası	52
Şekil 7.2. Tarafımızdan kurulan deney düzeneğinin fotoğrafı.....	54
Şekil 7.3. Optik algılama sistemi	56
Şekil 7.4. Aşınma test sisteminin çalışma görüntüsü	57
Şekil 8.1. Deneysel çalışmada kullanılan Ler. Tc. 150B CNC torna tezgahı	59
Şekil 8.2. Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin, 180 m/dak kesme hızı, 0.04, 0.08, 0.12 mm/dak ilerleme hızları ve 0.2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan tornalama işlemi süresince kesici takımında oluşan aşınmaya karşılık zaman- voltaj değişim grafiği	60
Şekil 8.3. CBN 7025 kesici takımının kesme işlemi sonunda aşınmasını gösteren SEM görüntüsü.....	63
Şekil 8.4. Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin, 250 m/dak kesme hızı, 0.04, 0.08, 0.12 mm/dak ilerleme hızı ve 0.2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan tornalama işlemi süresince kesici takımında oluşan aşınmaya karşılık voltaj değişim grafiği	65
Şekil 8.5. Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin, 250 m/dak kesme hızı, 0.12 mm/dak ilerleme hızı ve 0.2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan tornalama işlemi süresince CBN kesici uçta oluşan aşınmanın SEM resmi.....	66
Şekil 8.6. Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin, 180 ve 250 m/dak kesme hızı, 0.04 mm/dev ilerleme hızı ve 0.2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan tornalama işleminde kesici takımların aşınmalarının karşılaştırılması.	67
Şekil 8.7. Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin, 180 ve 250 m/dak kesme hızı, 0.08 mm/dev ilerleme hızı ve 0.2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan tornalama işleminde kesici takımların aşınmasının karşılaştırılması.....	69

Şekil 8.8. Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin, 180 ve 250 m/dak kesme hızı, 0.12 mm/dev ilerleme hızı ve 0.2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan tornalama işleminde kesici takımların aşınmalarının karşılaştırılması	70
Şekil 8.9. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesici uç aşınması ilişkisinin üç boyutlu grafiksel gösterimi.....	71

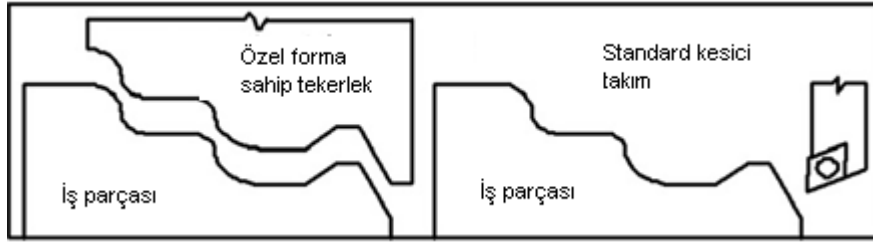
1.GİRİŞ

Makine imalat teknolojisinde; yüksek teknolojiyle geliştirilen, özellikleri iyileştirilen yeni malzemelerin geliştirilmesi ve bu malzemelerin kullanılacak alana göre optimum çalışma koşullarının bulunması araştırmacıların en önemli amaçlarından biri olmuştur.

Bugüne kadar geniş çapta kullanım alanı bulmuş, alışlagelmiş malzemelerin çoğundan istenen performans özellikleri, günümüzde artık mümkün olan en uygun, mekanik özellik sınırlarını zorlayacak ölçülerde belirlenebilmekte ve bilimsel tekniklerle elde edilen ölçülerden hareket edilerek, böyle malzemelerin değişik amaçlar için üstün bir verimle kullanılabilirliği mümkün olabilmektedir [1]. Buna ilaveten değişik amaçlar için geliştirilen malzemelerin optimum çalışma koşullarının belirlenmesinde bilimsel tekniklerin kullanımının yaygınlaşması, makine imalat sektöründe verimliliği artırarak üretimde işlem maliyetleri üzerinde pozitif etki oluşturmaktadır.

Makine imalat sanayisinde önemli hususlardan biri, sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesidir. Sertleştirilmiş malzemelerin işlenmesinde, geleneksel yöntemler olarak; kaba tornalama, ısıtma işlemi ve ardından taşlama işlemi uygulanmaktadır [2].Sertleştirilmiş çelikler genellikle yüzey kalitesinin kusursuz bir yapı oluşması için taşlama tezgahında işlenmektedirler.Taşlama işleminde yüksek kesme hızına bağlı olarak kaliteli yüzey üretilmektedir, fakat HT işleminde soğutma sıvısı ve özel takımlar kullanılmadan parça üzerinden taşlama işlemine göre daha fazla oranda

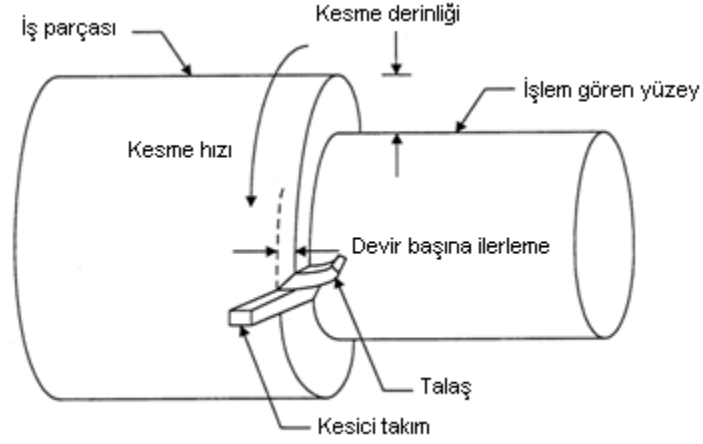
talaş kaldırılarak yüksek kalitede yüzey elde edilebilmektedir [3]. Taşlamoperasyonu zaman alıcıdır, üzerinde çalışılan malzemenin yüzey geometrisine bağlı olarak limitli bir alanda işlem gerçekleşmesi yöntemin dezavantajını oluşturmaktadır [4]. Buna ilaveten, taşlama işlemi operasyonu küçük talaş derinliği ve düşük ilerleme hızında çalışıldığından, işlenen parçada aynı yüzey kalitesine ulaşmak için, taşlama tezgahlarında HT işleminden %60 daha fazla zaman harcanmaktadır [5]. Şekil 1.1’ de taşlama işleminin tornalama işlemiyle karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Taşlama işleminin HT işlemiyle karşılaştırılması [6]

Bilgisayar teknolojisindeki gelişme, takım tezgahlarının konstrüksiyonunda büyük değişikliklere yol açmıştır. Takım tezgahı endüstrisi, konvansiyonel takım tezgahı üretimi yerine önce numerik kotrollü takım tezgahlarının üretimine, ardından da bilgisayar kontrollü CNC takım tezgahlarının üretimine yönelmiştir. Tornalama işlemi ile ısıt işlemler sonucunda sertleştirilmiş çeliklerin, talaş kaldırma işleminden sonra yüksek yüzey kalitesi amaçlayan bir işlem süreci olarak kabul edilir [7]. HT işlemi, 48- 65 Rockwell-C (HRC) aralığına sahip sertleştirilmiş parçaların tek nokta kesme işlemi anlamına gelmektedir (Şekil 1.2). Sert malzeme tornalama işleminin, daha pahalı ve zaman alıcı taşlama işlemine göre iyi bir alternatif olduğunu yapılan işlemler sonucunda kanıtlanmıştır [8]. Ayrıca yapılan çalışmalarda ulaşılan yüzey

kalitesi HT işleminin sonucunda ortaya çıkan netice, taşlama işlemiyle üretilenle karşılaştırılabilecek kalitelidir.



Şekil 1. 2. Tornalama işleminin basit gösterimi

Sertleştirilmiş çelik yüzeyler takım malzemesi üzerinde aşındırıcı etkiye sahiptir ve kesici kenarda yüksek sıcaklık, takım ile talaş arasında da difüzyona neden olmaktadır [9]. Dolayısıyla, gelişmiş teknolojik üretim yöntemlerinde, kesici takım seçimleri, uygun kesme parametreleri ve kesici takım geometrisinin belirlenmesi çok önemlidir.

Tornalama işleminde, yüksek kesme performansı elde etmek için kesme parametrelerinin belirlenmesi çok önemli bir detaydır [10]. Genellikle tornalama işleminde arzu edilen kesme parametreleri belirlenirken hem tecrübelerden yararlanılır, hemde kesici takım üreticilerinin sunduğu el kitaplarından yararlanılmaktadır. Ancak, bu seçilen kesme parametrelerinin belirli bir makinede veya çevrede, optimum sonuçları hangi oranda sağladığı garantisini veremez [10]. Uygun kesme parametrelerini seçmek için, birçok matematiksel metot; istatistiksel regresyon veya yapay sinir ağları (neural computing) teknikleri kesme performansı

ile kesme parametreleri arasındaki ilişkiyi kurmak için inşa edilmiştir. Bunun ötesinde, matematiksel model oluşturmak için birçok defa deney yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla, yapılacak deney sayısı kadar zaman ve malzeme harcanacağı için maliyetde artacaktır.

Son yıllarda, çeşitli materyallerin HT yöntemiyle işlenmesinde ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğü üzerine uygun kesme parametrelerin etkisini belirlemek amacıyla deneysel metotların analizi ve tasarımını temel alan çeşitli istatistiksel ve deneysel çalışma yapılmıştır [11]. Şahin ve Motorcu CBN ve seramik kesici takımlar ile AISI 1050 çeliğinin torna tezgâhında işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülüğü hakkında araştırmalarda bulunmuşlardır. Şahin ve Motorcu, Response Surface Metodunu (RSM) kullanarak ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkin parametrenin ilerleme hızı olduğunu tespit etmişlerdir. Şahin ve Motorcu, 484 Vickers sertlik değerine sahip sertleştirilmiş malzemeyi CBN kesici takım ile işlediklerinde, 0,823 μm Ra yüzey pürüzlülük değerini elde etmişlerdir [12]. Bouacha ve diğ., 64 HRC sertlik değerindeki AISI 52100 rulman çeliğinin CBN kesici takım ile tornalama işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerinde araştırmalarda bulunmuşlardır. Bouacha ve diğ., Taguchi deneysel tasarım yöntemi L_{27} ortangonal dizilimine göre çalışmalarını gerçekleştirdiler. Elde ettikleri sonuçlar, Ra üzerinde en etkili kesme parametrelerinin ilerleme hızı ile kesme hızı olduğunu bulmuşlardır [13]. Gopalsamy ve diğ. 55 HRC sertlikteki malzemeden talaş kaldırma işlemi sırasında kesme parametrelerinin optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Gopalsamy ve diğ. L_{18} ortangonal dizilimine göre çalışmalarını uygulamışlardır. Yapılan çalışma, takım ömrüne ve R_a (Yüzey Pürüzlülüğü) etki eden en etkin parametrenin kesme hızı olduğunu göstermiştir [14]. Aslan ve arkadaşları 63 HRC sertlik değerine sahip AISI

4140 çeliğinin işlenmesi çalışmasında Taguchi L_{27} ortogonal dizilimine göre R_a ve takım aşınmasını ANOVA yöntemin kullanarak ölçmüşlerdir. Kullandıkları yönteme göre, takım aşınmasına en çok etki eden faktörün kesme hızı parametresi (%30) olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca yaptıkları çalışmada R_a değerini minimize etmek için kullanılacak kesme hızı 250 m/dak, kesme derinliği 0.25 mm ve ilerleme hızını 0.05 mm/dev alınarak talaş kaldırma işleminin yapılmasını önermişlerdir [15].

Bu çalışmada, imalat sanayinin bir çok alanında (otomotiv, makine elemanları üretimi, hava ve uzay sanayi, rulmanlar, vb.) sıklıkla kullanılan AISI 4340 çeliği ısıtılma işlemi tabi tutulmuş, bu işlem sonrasında AISI 4340 çeliği 52 HRC sertlik derecesine ulaştırılmıştır. Kesici takım olarak, imalat sektöründe son zamanlarda sıklıkla kullanılan yeni nesil kesicilerden kaplamasız CBN kesici takım kullanılmıştır. Yapılan çalışmada sanayinin ihtiyacı olan, verimliliğin artırılması için AISI 4340 çeliğinin CBN kesici takımıyla işlenmesi sırasında kesici uçta oluşan aşınma işlem süresince kesintisiz izlenmiş, dolayısıyla bu yolla kesici uçun kullanım ömrünün maksimum seviyede olması amaçlanırken aynı zamanda işlem gören parçanın yüzey kalitesinin istenilen değer aralıklarında olması için araştırmalar yapılmıştır. Çalışmada optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. HT işleminde kullanılan kesme parametreleri belirlenirken, CBN kesici takımların tedarik edildiği Sandvik-Coromat firmasının önerdiği kesme parametreleri ve literatür araştırması sonucunda belirlenmiştir.

CBN kesici takım uçların, kesme performansları ve kesme esnasında ortaya çıkacak aşınma etkilerine karşı gösterecekleri direncin belirlenmesi işlemi; tüm deneylerde [60] tarafından tasarlanıp kurulan bir on-line izleme sistemiyle gerçekleştirilmiştir.

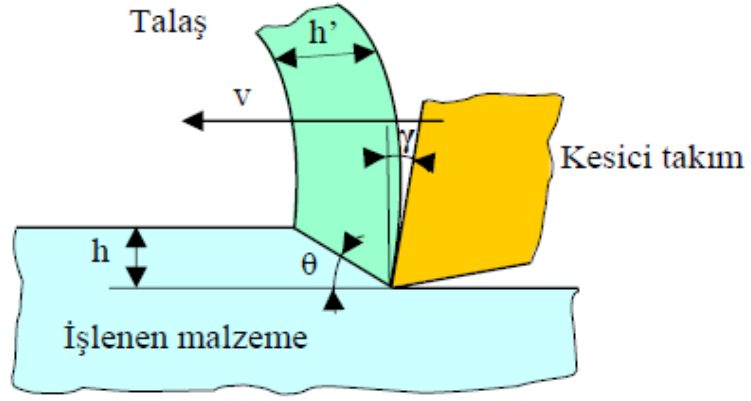
2. TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİNİN ESASLARI

Talaş kaldırma, kesici takım vasıtasıyla belirli bir boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip olmayan malzemenin istenmeyen kısmının malzeme yüzeyinden uzaklaştırılması işlemidir. Bu işlem sonrasında malzeme yüzeyinden kaldırılan parçaya talaş denir [16]. Talaş kaldırma işleminin gerçekleşmesi için takım ile iş parçası arasında izafi bir hareket oluşturmak gerekir. Bu işlem kesme, ilerleme ve ayar olmak üzere üç hareketten oluşur. Genellikle kesme hareketi dönme veya doğrusal, ilerleme ve ayar hareketi ise doğrusal hareketlerdir. Yapılacak bu hareketler talaş kaldırma işleminde kullanılacak makine teçhizatına göre farklılık göstermektedir. Bu yöntemler tornalama, frezeleme, delme, planyalama, vargelleme ve taşlama olmak üzere beş farklı talaş kaldırma yöntemi makine imalat sanayisinde uygulanmaktadır. Makine imalat sektöründe talaş kaldırma işlemleri yukarıda belirtilen yöntemler ile optimum kesme hareketleri inceleyen bir çok çalışma ve araştırma yapılmıştır [17], [18], [19], [20], [21].

2.1. Talaş Kaldırma Mekanikliği

Bir parçanın üzerinden bir malzeme tabakası kaldırılması için, kesici takımın o malzeme yüzeyine nüfuz etmesi gerekmektedir. Bu nüfuz etme olayı ise, ancak kesici takıma uygulanan kuvvetlerin yeterli olması ve takım malzemesinin parça malzemesinden daha sert olması halinde gerçekleşmektedir [22]. Fiziksel bakımdan

talaş kaldırma işlemi elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun aşınması durumlarını kapsayan karmaşık fiziksel bir durumdur [23]. Talaş kaldırma olayını incelemek için kama şeklinde bir kesme ağzından meydana gelen ve şekil 2.1’ de gösterilen bir takım modeli oluşturulur. Bu takımla talaş kaldırma işlemine ortogonal kesme denir.

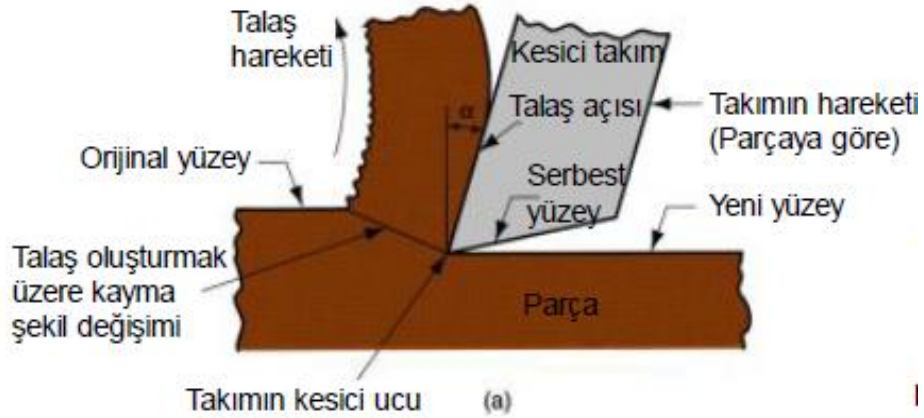


Şekil 2.1. Takım modeli ve ortogonal kesme

Kesme hız vektörünün, takımın kesici kenarına dik olduğu talaş kaldırma işlemi uygulamasına ortogonal kesme denir. Kesici takımın bir parça üzerinde belli bir kuvvet etkisi ile bastırılarak hareket ettirilmesi sonucunda takım ucunun temas ettiği metal tabakasında önce elastik ve ardından oluşan plastik şekil değişimleriyle, metal tabakada akma başlar. Gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda kesilen tabaka, talaş şeklinde belirli bir yüzey boyunca parçadan ayrılır. Bu işlemler sonucu oluşan talaşın biçimi, parça malzeme özellikleri ve işleme koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Malzeme üzerinden talaşın ayrılması işlemi bir mekanik kopmadır. Bu kopma olayı esasen kesme şeklindedir. Bilindiği üzere kopma, gevrek ve sünek olma üzere iki çeşittir. Sünek kopmada malzeme, büyük bir plastik şekil değiştirmeler göstermektedir. Sünek şekilde kopma eğilimi gösteren malzemelere ise sünek malzemeler denir. Gevrek malzemelerde ise kopmada hemen önce az veya hiç plastik şekil değişimi görülmemektedir. Bu tür kopmalara da gevrek kopmalar denir.

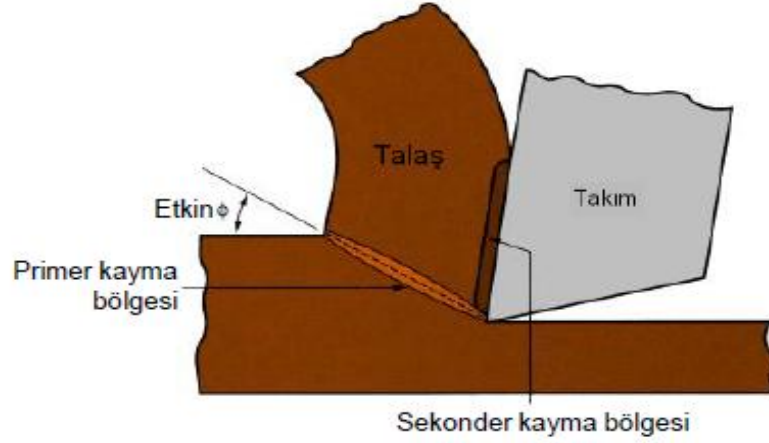
Buna göre işlenen malzemenin cinsine göre talaş kaldırma işlemleri şu şekilde ortaya çıkar. Sünek malzemeler şekil 2.2’de gösterildiği gibi kesme ağzının hemen başlangıcında, bir plastik şekil değiştirme bölgesi meydana gelmekte ve bu bölgede malzeme talaş şeklinde sürekli olarak iş parçasında ayrılmakta, fakat zaman zaman talaş akışında bir kopma meydana gelmektedir.



Şekil 2.2. Talaş kaldırma işleminin kesit görünüşü

Talaşın ayrılması bir bölge içerisinde vuku bulmaz, konu basit bir şekilde teorik olarak tasvir edilirse kesme işlemi kesme düzleminde gerçekleşmektedir. Şekil 2.3’de talaş oluşumunun gerçeğe daha uygun görünüşü mevcuttur. Kayma düzlemi

yerine kayma bölgesi gösterilmiştir. Ayrıca takım-talaş sürtünmesinden doğan seconder kayma bölgesi de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Talaş oluşumunun gerçeğe uygun gösterimi

Pratikte talaş kaldırma işlemlerinde üç çeşit talaş şekli görülmektedir. Bunlar ise; sürekli, yapışık ve kesintili olarak adlandırılırlar.

2.1.1. Sürekli talaş tipi

Talaş, devamlı kuvvet ile deforme olmadan kesici takım ağzından seconder kayma bölgesine doğru geçer. Bu tip talaş, sünek parça malzemelerde, kesme hızının yüksek olduğu işlemlerde, düşük ilerleme hızlarında ve talaş derinliğinde ayrıca düşük takım-talaş sürtünmesinin olduğu durumlarda görülmektedir. Şekil 2.4' de sürekli talaş tipi gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Sürekli talaş tipi

2.1.2. Kesintili talaş tipi

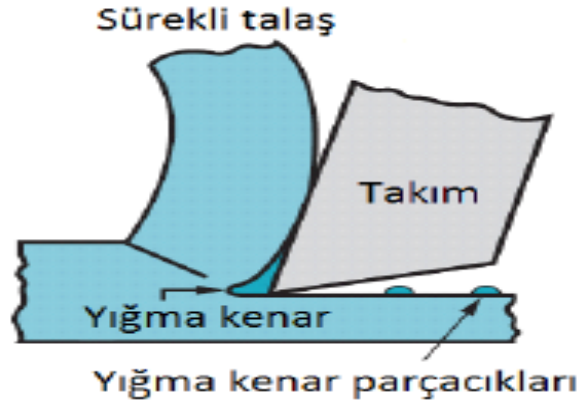
Bu tip talaş ise, kesici takım ağzından parça parça veya parçalar halinde seonder kayma yüzeyinden birbirine çok zayıf bir şekilde yapışmış durumda ana malzemeden ayrılırlar. Kesintili talaş tipi gevrek malzemelerin işlenmesinde, düşük kesme hızlarında, sünek malzemelerin işlenmesi sırasında büyük ilerleme hızı ve kesme derinliğinde ve yüksek takım-talaş arası sürtünmenin olduğu yerlerde görülmektedir.Şekil 2.5’de kesintili talaş tipinin oluşumu gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Kesintili talaş tipi

2.1.3. Yığma kenarlı sürekli talaş tipi

Sünek malzemeler orta veya düşük kesme hızlarında işlendiğinde takım ile talaş arasındaki sürtünme iş parçası malzemesinin bir kısmının kesme kenarı yakınındaki talaş yüzeyi üzerine bağlanmasına neden olur. Bu oluşuma yığma kenar denir (Şekil 2.6). Yığma kenar oluşumu periyodik olarak devam eder (büyür ve kopar). Birçok durumda yığma kenar oluşumu talaş ile uzaklaştırılır. Bazen, takımın talaş yüzeyinin bir kısmının da aşınmasına neden olur. Bu durum takım ömrünün kısılmasına yol açar. Talaş ile uzaklaştırılamayan yığma kenar parçacıkları yeni oluşturulan yüzey üzerine tutunarak yüzey kalitesini düşürür [24].

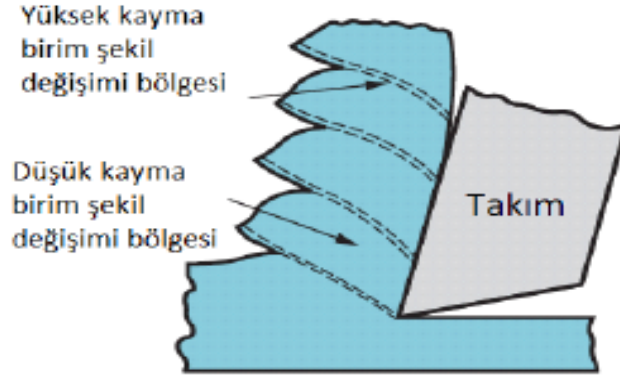


Şekil 2.6. Yapışık talaş tipi

2.1.4. Testere dişi şekilli talaş tipi

Bu tip talaşlar testere dişi görünümlü olan yarı sürekli talaşlardır (Şekil 2.7). Bu talaş tipi yüksek kayma birim şekil değişiminin ardından düşük kayma birim şekil

değişiminin periyodik olarak etkimesiyle oluşur. Bu talaş tipi, talaşlı imalatı zor olan titanyum alaşımları, nikel esaslı super alaşımlar ve ostenitik paslanmaz çelikler gibi metallerin yüksek kesme hızlarında işlenmesinde ortaya çıkar [24].



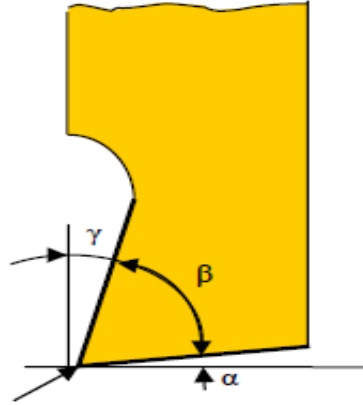
Şekil 2.7. Testere dişi şekilli talaş oluşumu

2.2. Talaş Kaldırmaya Etki Eden Faktörler

2.2.1. Kesici takım geometrisi

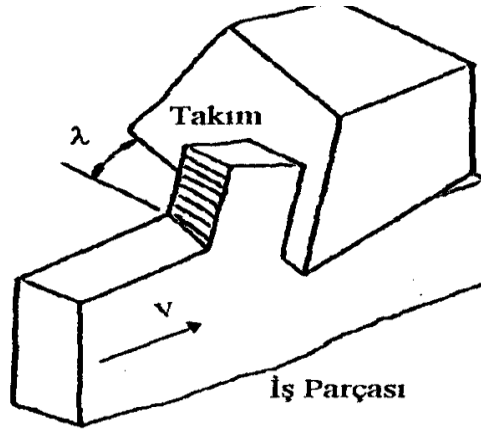
Kesici takımlar, talaş kaldırma işleminde en önemli rol oynayan elemanlardır. Kesici takımlar görünüşte birbirlerinden çok farklı olmalarına karşın, tüm takımlar kesici uç bölgesi ve sap olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Kesici uç, ağız ya da diş denilen kısım; tüm takımlar için aynı özellik taşır. Kama şeklinde olan kesici kısım, talaşın temas ettiği talaş yüzeyi, parçanın işlenmiş yüzeyine dönük serbest yüzey ile sınırlıdır. Kesici ucun talaş açısı (γ), kama açısı (β) ve serbest açısı da (α)'dır (Şekil 2.8). Bu açılar arasında;

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^0 \quad (2.1)$$



Şekil 2.8. Kesici takım geometrisi [26]

bağıntısı vardır. Eğik kesmede takım ağzının kesme hızı doğrultusu ile yaptığı ve eğim açısı (λ) denilen bir açı daha vardır (Şekil 2.9). Bu açı dik kesmede $\lambda=0$ 'dır. Takım ucu hafifçe yuvarlatılır. Yuvarlatma yarıçapının değeri, takım geometrisini tamamlayan bir faktördür [25].



Şekil 2.9. Talaş kaldırma işleminde eğim açısının(λ) gösterimi

2.2.2. Talaş geometrisi

İş parçası üzerinden kaldırılan malzeme tabakasının talaşa dönüşmesi kesme bölgesi denilen bir bölgede meydana gelmektedir. Ancak basitleştirilmiş amacı ile bu bölge yerine kesme düzlemi denilen bir düzlem alınmaktadır [26].

Buna göre kesme bölgesine dayanan talaş kaldırma teorisine ‘Kalın Bölge Teorisi’ ve kesme düzlemine dayanan ‘İnce Bölge Teorisi’ denilmektedir. Burada talaş kaldırma mekaniği kurucusu M.E. Merchant olan ince bölge teorisine dayanarak incelenecektir.

İnce bölge teorisine göre, kesici takım ‘kesme yönü’ denilen doğrultuda parça üzerinden talaş kaldırır. Talaşın işlenen malzeme yüzeyinden ayrıldığı yüzeye ise ‘Kesme Yüzeyi’ denir. Kesme yüzeyi, kesme yönü ile ‘Kesme Açısı’ (ϕ) adını taşıyan bir açı meydana getirir. Kesme yüzeyi boyunca işlenen malzeme yüzeyinden ayrılacak talaşın boyutları, genişliği (b) ve kalınlığı (h) ile gösterilmektedir.

Metal tabakasının talaşa dönüşmesi sırasında meydana gelen 14adial14 şekil değiştirmeler nedeniyle, talaş genişliği (b) aynı kalmasına karşın talaş kalınlığında (h boyutu h' olur) bir artış görülürken, talaşın uzunluğunda (l boyutu l' olur) ise bir büzülme oluşmaktadır [24].

$$V = b.l.h = b.l'.h' \quad (2.2)$$

$$\lambda = \frac{h}{h'} = \frac{l}{l'} \quad (2.3)$$

$$h = A.B.\sin(\phi) \quad (2.4)$$

$$h' = A.B.\cos(\phi - \gamma) \quad (2.5)$$

$$\lambda = \frac{h}{h'} = \frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi - \gamma)} \quad (2.6)$$

$$\tan(\phi) = \frac{\lambda - \cos(\phi)}{1 - \lambda \sin(\gamma)} \quad (2.7)$$

$$\tan(\phi) = \frac{\cos(\phi)}{\lambda - \sin(\gamma)} \quad (2.8)$$

$$A_s = b.h \quad (2.9)$$

V = talaş hacmi

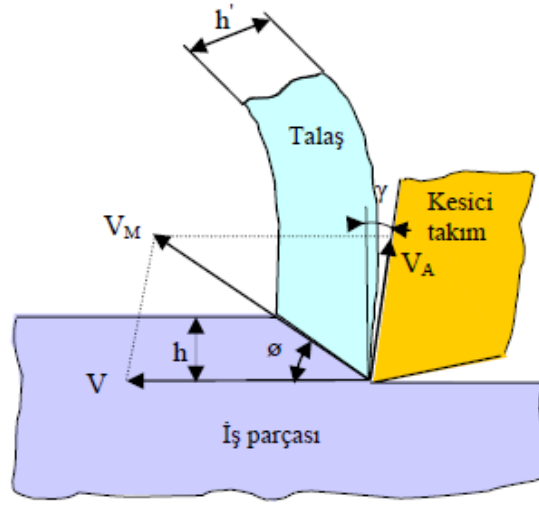
l = boy

b = genişlik

h = kalınlık

λ = büzölme faktörü ϕ = kesme açısı

A_s = talaş kesit alanı



Şekil 2.10. Talaş Geometrisi [26]

2.2.3. Kesme hızı

Talaş kaldırma işlemi sırasında kesici takım, yüzeyinden talaş kaldırılan malzemeye kesme yönü doğrultusunda V hızı ile yaklaşırken, talaşın parçanın yüzeyinden uzaklaştırılması hızı ise V_A 'dır. Bu iki hızın bileşkesinden, kesme yüzeyi boyunca talaş kaldırma hızı denilen V_m hızı oluşmaktadır.

Talaş büzülmesinden olayından dolayı, tahmin edileceği üzere V_A hızı V hızından daha küçük olacaktır.

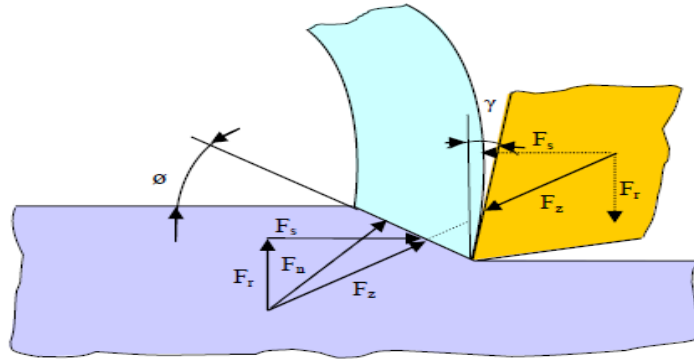
$$\frac{V_A}{V} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)} \quad (2.10)$$

Veya $V_A = V \cdot \lambda_s$ bağıntısı yazılabilir.

Yukarıdaki denklemlerden anlaşılacağı gibi talaşın, işlenen malzemenin yüzeyinden ayrılma hızı (λ_s) büzülme faktörüne bağlıdır. Genellikle, $\lambda_s = 0.3, \dots, 0.5$ aralığında değişmektedir. Bu bağıntıya göre $\lambda_s = 0.5$ için $V_A = 0.5 V$ 'dir; yani talaş işlenen parçanın üzerinden talaş kesme hızının yarısı kadar bir hız ile parçanın üzerinde ayrılmaktadır. Boyut bakımından m/dak olarak ifade edilen ve talaş kaldırma işleminde önemli bir rol oynayan kesme hızı, kesme zamanını ve dolayısıyla işlem maliyetini belirtir [27].

2.2.4. Kesme kuvveti

Malzeme yüzeyinde talaş kaldırma işleminin icra edilebilmesi için kesici takıma, kesme düzleminde meydana gelen dirençlere karşı 'talaş kaldırma kuvveti' (F_z) adını taşıyan bir kuvvet uygulanır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Talaş kaldırma kuvvetleri[26]

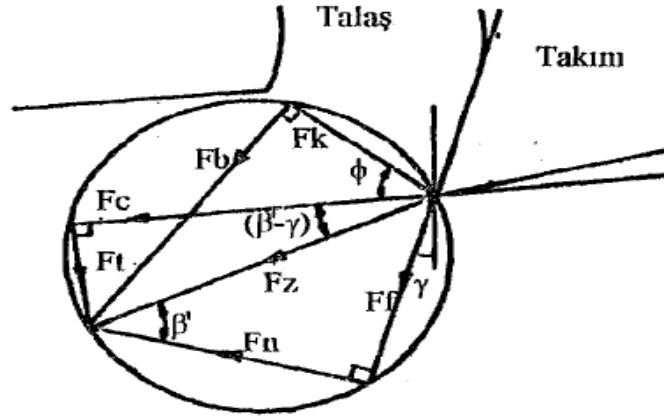
Kesme düzlemindeki kuvvetler; kesme kuvveti, takım ile talaş ve takım ile iş parçası arasındaki sürtünme kuvvetlerinden oluşmaktadır. Düzlem boyunca yayılmış durumda olan bu kuvvetler, kesme düzleminin ortasında veya Merchant'ın varsayımına göre, takımın ucuna uygulanan tek bir kuvvet olarak gösterilebilir. Bu durumda kesici takım ucuna uygulanan talaş kaldırma kuvveti; F_z olursa, bu kuvvetin bileşenleri (Şekil 2.11) gösterildiği gibi olduğu aşağıdaki ifadelerde belirtilmiş olmaktadır.

Kesme yönünde 'Kesme Kuvveti' (F_c) ve bu yöne dik doğrultuda 'Radyal Kuvvet' (F_t); kesme düzleminde 'Makaslama Kuvveti' (F_k) ve bu yöne dik doğrultuda 'Basma Kuvveti' (F_b); 'Sürtünme Kuvveti' (F_f) ve bunu meydana getiren 'Normal Kuvvet' (F_n), F_n ile F_z arasındaki β' açısı 'sürtünme açısıdır [27].

Sürtünme katsayısı μ ile ifade edilirse;

$$\mu = \frac{F_f}{F_n} = \tan(\beta'); \quad \beta' = \arctan(\mu) \quad (2.11)$$

Yukarıda tanımlanan kuvvetlerden 17adial uygulamada kullanılan en önemli iki tanesi 'Kesme Kuvveti' (F_c) ve 'Radyal Kuvvet' (F_t)'dir. Şekil 2.11'de gösterildiği üzere kesme düzleminde, kesmeye karşı oluşan kesme direnç kuvvetinin yanında kesici takımı, işlenen malzemeden ayırmaya çalışan bir 17adial direnç oluşmaktadır. Dolayısıyla, kesici takımı işlenen parça üzerinde tutmak için kesici takıma bir 17adial kuvvet uygulanması kaçınılmazdır. Bunun yolu da kesici takımın, takım tutturma aparatına bağlanmasıyla giderilmektedir.



Şekil2.12. Talaş kaldırma kuvvetleri gösterimi

Kesme düzleminde makaslama (kesme) kuvveti F_k , kesme kesiti A_k ve malzemenin kesme mukavemeti τ_k olmak üzere;

$$F_k = A_k \cdot \tau_k \quad ; \quad A_k = h \cdot b / \sin(\phi) \quad (2.12)$$

İfade edilirse. Şekil 2.12’de kesme ve radyal kuvvetler;

$$F_c = h \cdot b \cdot \tau_k \frac{\cos(\beta - \gamma)}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \gamma)} \quad (2.13)$$

$$F_t = h \cdot b \cdot \tau_k \frac{\sin(\beta - \gamma)}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \gamma)} \quad (2.14)$$

olarak bulunur.

(2.13) denkleminde referans alınır; bir malzeme üzerinden talaş kaldırma işleminde harcanan en düşük enerji gereksinimi (minimum enerji ilkesine göre) ϕ kesme açısının optimum (ϕ_o) değeri bulunur. Buna göre;

$$\frac{dF_c}{d\phi} = 0 \text{’dan} \quad \longrightarrow \quad \phi_o = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} (\beta - \gamma) \quad (2.15)$$

bulunur. Yukarıdaki gösterilen denklem ile F_c ve F_t kuvvetleri;

$$F_c = h \cdot b \cdot \tau_k \cdot \frac{2}{\tan \phi_o} \quad (2.16)$$

$$F_t = h \cdot b \cdot \tau_k \cdot \frac{1}{\tan 2\phi_o} - 1 \quad (2.17)$$

şeklinde yazılır.

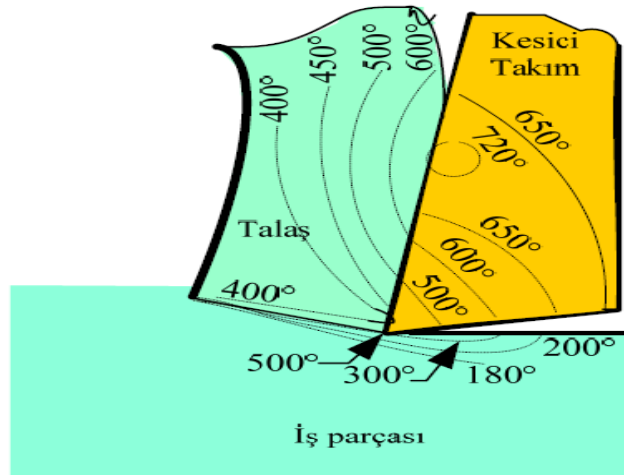
Yukarıda ki denklemlerden de çıkarılacağı üzere, parça üzerinden talaş kaldırmak için harcanan güç için en önemli husus F_c kesme kuvveti; malzemenin kesme mukavemetine (τ_k), talaşın boyutlarına (b, h), talaş açısı (γ), kesme açısı (ϕ) ve sürtünme açısına (β') bağlıdır.

Kesme açısı optimum (ϕ_o) olduğu durumda 2.15 bağıntısındaki denklemde belirtildiği üzere, belirli bir malzeme ve talaş boyutları için en düşük kesme kuvveti dolayısıyla, en düşük talaş kaldırma kuvveti elde edilecektir [28].

2.2.5. Kesme işleminde oluşan ısı

Talaş kaldırma işleminde, kesici takım ile işlenen parça arasında sürtünmeden dolayı ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu ısı enerjisi kesici takımın aşınmasına neden olmaktadır. Oluşan ısıнын büyük bir kısmı (%50-80) parça yüzeyinden kaldırılan talaş ile uzaklaştırılmaktadır. Kalan ısı enerjisinin belirli bir kısmı (%3-10) işlem gören parçaya, geriye kalan (%10-40) ısı enerjisi ise kesici takımın ısınmasına neden olmaktadır (Şekil 2.13). İşlenen malzemeye ve kesici takıma geçen bu ısı enerjisi, talaş kaldırma işleminde kesici takımın ömrünü tayin etmekte bizlere yardımcı olmaktadır.

Bununla beraber, kesici takım malzemesi, işlenen parçanın malzemesi ve talaş kaldırma işlemi sırasında kesme sıvısı kullanıp kullanılmaması gibi faktörler takım ömrü üzerinde etki göstermektedir.



Şekil 2.13. Talaş kaldırma işleminde ısı dağılımı [26].

Kesme hızının artmasıyla talaş ile ortamdan uzaklaştırılan ısı miktarı doğru orantılı olarak artmakta, aynı zamanda parçaya geçen ısı miktarı ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Takım üzerinde sıcaklık dağılımında en yüksek sıcaklık, takımın uç kısmına yakın talaş üzerinde meydana gelmektedir.

2.3. Kesici Takımın Aşınması

Talaş kaldırma işlemi icra edilirken, parça ile kesici takım arasında oluşan sürtünmeden dolayı ortaya ısı açığa çıkar. Açığa çıkan bu ısı enerjisi ise kesici takımın ısınmasına dolayısıyla, aşınmasına neden olur.

Sürtünme, talaş ile takımın talaş yüzeyi ve işlenen yüzey ile takımın serbest yüzeyi arasında meydana geldiği için aşınma da bu yüzeylerde oluşmaktadır. Burada bahsedilen sürtünme, makine elemanları arasında oluşan sürtünmeden farklı özellikler taşımaktadır. Farklılık; kesme sürtünmesinin sürekli olarak farklı yüzeylerde, yüksek sıcaklık, yüksek basınç koşulları ve nispeten küçük temas

alanlarında oluşmasındandır.Bu nedenle kesici takımların aşınması; abrasif, adhezif, yenme, difüzyon (atom hareketleri) ve korozyon gibi çeşitli aşınma türlerini içermektedir.Talaş yüzeyi ve serbest yüzeylerdeki sürtünmelerin farklı olması deneniyle, yüzeylerin aşınmaları da birbirinden farklılık gösterir.Normal yüzeyde aşınma bir talaş kaldırılması şeklinde olurken, talaş yüzeyinde yüksek sıcaklıktaki talaş akmasının neden olduğu bir krater şekilli bir oyuk oluşmaktadır.

Kesici takımın aşınarak körleşmesini belirleyen durumlar; serbest yüzeyde aşınma bölgesinin belirli bir boyuta ulaşması, talaş yüzeyinde krater oluşumu, kesici kenardan küçük parçacıkların kopması, işlenen yüzey kalitesinin bozulması, kesme kuvvetinin ve gücünün ani artışı olarak sıralanmaktadır. Bunlardan birinin veya birkaçının olduğu durumlarda takım ya bilenir ya da değiştirilir.

2.4. Kesici Takım Ömrü

Kesici takımın ömrü, takımın önceden belirlenen aşınma değerine kadar geçen süre zarfında talaş kaldırma süresi olarak betimlenmiştir. İşlem biçimine göre takım ömrü delme, vargel, planya vb. işleme uzunluğu ile (L), frezeleme de ise talaş hacmi ile ifade edilmektedir.Takım ömrünü etkileyen en önemli faktör kesme hızıdır. Kesme hızının takım ömrüne etkisini Taylor bağıntısı;

$$V = \frac{C_t}{T^n} \quad (2.18)$$

V = Kesme Hızı

n =Parça ve takım malzeme sabiti

T = Takım ömrü

C_t =Taylor sabiti, ile belirtilmektedir.

3.AŞINMA

Makine parçalarının görevini yerine getirememesi ve hasar görmesinin en önemli nedenlerinden birisi de aşınmadır. Aşınma, birbirine temas halinde bulunan ve birbirine göre izafi hareket yapan cisimlerden sürtünme etkisiyle oluşan malzeme ve kütle kaybıdır. Başka bir ifadeyle aşınma malzeme yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların etkisi neticesinde malzemenin yüzeyinde mikro taneciklerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulmasıdır [29].

DIN 50320'ye göre yapılan aşınmanın tanımı ise; “katı, sıvı veya gazın karşı cisme göre izafi hareket ve temas şeklinde mekanik bir etkiden dolayı katı bir cismin yüzeyinden malzemenin ileri derecede kaybı” olarak tanımlanmıştır [30,31].

Genellikle aşınma, makine elemanlarının kullanıldığı bütün makine ve imalat sektörlerinde görülür ve en önemli sorunlardan biridir. Aşınma sonucunda aşınmanın görüldüğü alanlar; yataklar, balatalar, subablar, pistonlar, kesici takım uçlarında, dişli çarklarda, türbin kanatlarında,iş makinelerinde, vb. yerlerde aşınma olayı ceryan eder.

Aşınma sonucunda makine elemanları şekillerini, yüzey kalitelerini ve boyutlarını koruyamaz ve yüzeyleri değişiklik meydana gelir.

Aşınmanın görünüm şekli de yalnız parçacıkların kopması değil, aynı zamanda sürtünme süreci esnasında yüzeyde kaynak olma, yapışma, bağlanma, şekil değiştirme, dayanım artışı, ergime, absorpsiyon, difüzyonla yayınma, yapı dönüşümü, oksitlenme vb. dönüşümler olabilir [23]. Bu nedenle aşınma teriminin

yeni bir yaklaşımla ifadesi; sürtünme sonucu oluşan, katı cisimde teknolojik olarak bilinen şekil değiştirme ya da madde değişimi dışında kalan kalıcı biçimlenme ve madde değişimidir [32]. Aşınmanın gerçekleşmesi için tribolojik olarak aşağıdaki etkenlerin mutlaka var olması gerekir. Bunlar esas malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük, izafi hareket ve ortam şeklinde sıralanabilir.

3.1. Aşınmada Etkili Olan Faktörler

3.1.1. Esas malzeme

Temel sürtünme elemanının kimyasal ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra yüzey kalitesi, geometrik şekli ve aşınma direnci, aşınma sırasında büyük önem arz etmektedir.

3.1.2. Karşı malzeme

Aşınmanın meydana gelmesinde önemli bir rol oynayan temel sürtünme elemanına karşı izafi hareket halinde bulunan karşı sürtünme elemanıdır. Katı, sıvı veya gaz halinde olabilirler.

3.1.3. Ara malzeme

Temel sürtünme elemanı ile karşı malzeme arasında bulunan katı, sıvı ve gaz yada bunların hepsini içeren maddedir.

3.1.4 Yük

İki parçanın etkileşim içerisinde olduğu aşınma sistemde, sisteme uygulanan yükün şiddeti, türü (statik, dinamik, darbeli), yönü ve zamana göre değişim aşınma üzerinde etkili olduğu bilinmektedir.

3.1.5. İzafi hareket

Temel sürtünme elemanı ile karşı malzeme arasındaki hareketin farkına izafi hareket denir. Bu izafi hareketin cinsi (kayma, yuvarlanma), kuvveti ve yönü aşınma üzerine büyük bir etkiye sahiptir.

3.1.6. Ortam

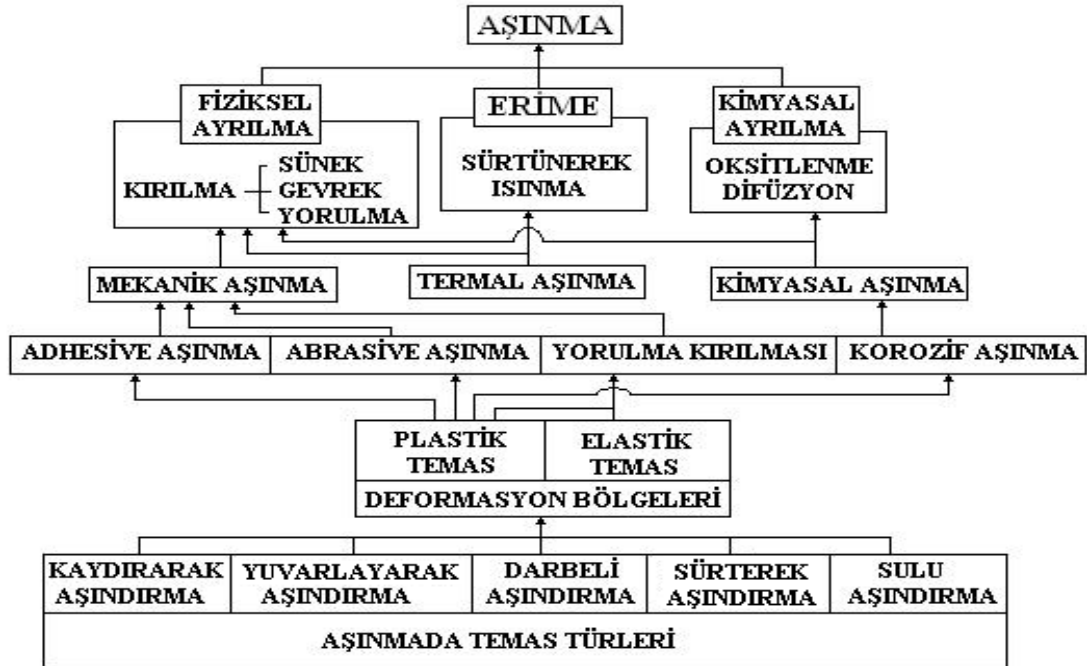
Sistemin içerisinde bulunan ortam aşınmayı etkileyen faktörlerden biridir. Ortamın sıvı veya gaz ihtiva etmesine göre aşınma olayının oluşumunun meydana gelmesinde büyük bir rol oynamaktadır.

Birbiri ile temas halinde olan iki cismin gerçekte temas yüzeyi görünenden

daha azdır. Çünkü temas eden parçaların yüzeyleri ne kadar ince işçiliklerle islenirse işlensin, bu parçaların yüzeylerinde pürüz diye bilinen girinti ve çıkıntılar mutlaka bulunacaktır. Temas halinde bulunan iki cisim pürüzler vasıtası ile birbirlerine temas ederler [33].

3.2. Aşınma Mekanizmaları

Aşınma mekanizmaları, iki cisim arasındaki izafî hareket neticesinde oluşan sürtünme süresince vuku bulan kompleks değişikliklere bağlı olarak tanımlanmaktadır. Aşınma, kimyasal bozulma veya iletişim ara yüzeyinde erime suretiyle mikro çatlama sebebiyle, fiziksel ayrılma olarak, malzemenin kaldırılması sonucuyla vuku bulmaktadır [35].

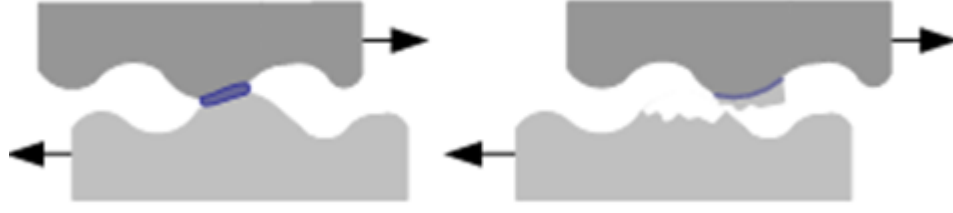


Şekil 3.1. Aşınma mekanizmalarının ve temas tiplerinin tanımlanması [35]

Aşınmada temas türleri; aşınma sistemleriyle ilişkili olduğundan, temas ara yüzeyindeki gerçek ve anlaşılır temas koşulları, bu temas yapılandırmalarıyla ilgili ayrıntılar olmaksızın ortaya çıkmaktadırlar. Temasın şiddeti, bu aşınma mekanizmalarının en basit şekilde ve direkt olarak anlaşılması bakımından elastik temas veya plastik temas olmaktadır [35].

3.2.1. Adhezif aşınma

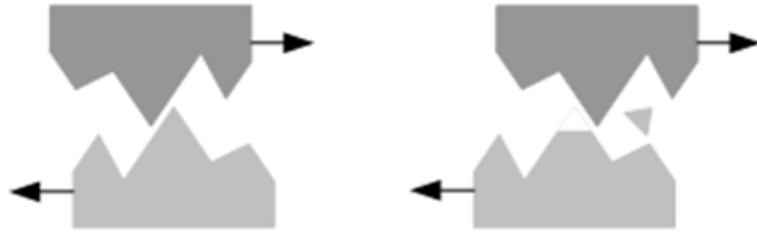
Birbirine temas eden cisimlerin temas yüzeylerinin, normal bir kuvvet etkisi altında izafi hareket yapması sonucunda görülür. Cisimlerin gerçek temas yüzeylerinin yüzey pürüzlülüğü nedeniyle temas ettikleri yüzeyler oldukça küçüktür. Bu noktalardaki gerilmeler çok küçük olsa dahi akma gerilimi sınırına erişirler. Bu olay neticesinde malzeme plastik deformasyona uğrar. Bu sırada temas eden yüzey tabakalarında kopma, mikro ergime ve mikro düzeyde kaynak olayı meydana gelir. İki cisim arasında devam eden izafi hareket nedeniyle bu mikro kaynak bağı kopar. Kopma sonucunda yumuşak malzemeden imal edilmiş parçanın yüzeyinde boşluklar oluşurken diğer cisim de yüzey çıkıntıları oluşur. Sürtünme olayının ilerleyen safhalarında, tam kitlenmeye ya da yatak sarma adı verilen durum ortaya çıkabilir [34].



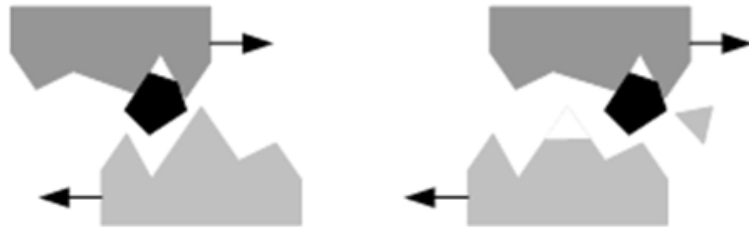
Şekil 3.2. Adhezif aşınmanın gösterimi

3.2.2. Abraziv aşınma (Mikro kesilme, şekil değiştirme aşınması)

Birbirlerine göre izafi hareket yapan iki cisim arasında sert olan malzemenin aşınma çıktılarının yumuşak malzeme yüzeyine batar, ya da sisteme dışarıdan giren sert parçacıklar yumuşak malzeme yüzeyini çizme veya yüzeyden mikro talaş kaldırmasıyla kendini gösteren aşınma türüdür.



Şekil 3.3. Abrazif aşınmanın gösterimi (İki gövde aşınma)



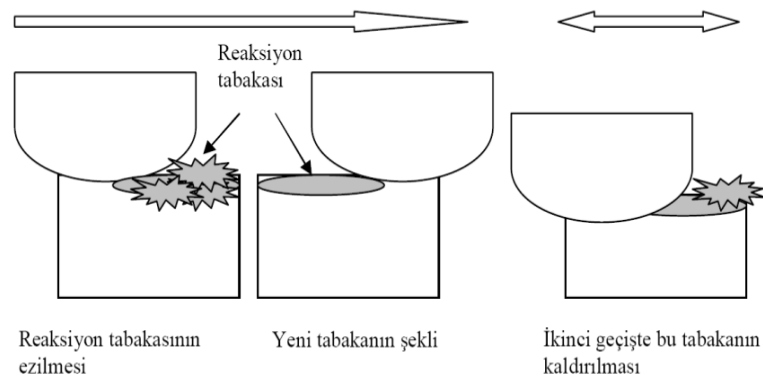
Şekil 3.4. Abrazif aşınmanın gösterimi (üç gövde aşınma)

3.2.3. Yorulma aşınması

İki makine elemanının çalıştığı bir sistemde yüzeylerin mikro alanına tekrar eden elastik ve plastik deformasyonlar durumunda kritik gerilme ve dislokasyonlara neden olur. Bunun sonucunda mikro çatlak oluşabilir. Deformasyon sonucunda sistemin çalışmaya devam etmesinin sonucu olarak çatlakta büyüme olur ve aşınma parçacıkları kopar.

3.2.4. Korozyon aşınma

Tribolojik zorlamada oluşan enerji aşınma çiftinde kimyasal veya fiziksel-kimyasal reaksiyonlar meydana getirebilir. Burada ortamda bulunan yağ ve ara madde gibi değerler reaksiyona katalizör (aktifleştirici) etki yapabilir. Bu sırada yüzeyin özelliklerinde değişimler olabilir. Yüzeye sıkı tutunan filmleri meydana getiren kimyasal oluşumlar aşınmayı önleyebilir, aksi durumda aşınma hızlanabilir [23].



Şekil 3.5. Korozyon aşınma şeması [36]

3.2.5. Termik aşınma

Yüksek sıcaklığın görüldüğü ortamlarda meydana gelen aşınma türüdür. Termik aşınmada, ortamda bulunan gazların etkisi olduğundan söz edilebilir. Bu aşınma türünün görüldüğü durumlar sıcak hadde silindirleri, valf klapeleri vb. makina elemanlarıdır.

3.2.6. Kativasyon aşınma

Belirtilen önemli aşınma mekanizmalarının yanında aşırı zorlamalardan oluşan temas yüzeylerinde yumuşama ve ergime gibi ilave aşınma durumlarında görülebilir.

3.3. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

Endüstri ve sanayi alanında ilerleyen ve büyüyen teknolojik gelişmelerle beklenen sonuçlardan biri de bu alanlarda kullanılan alet, makine ve malzemelerin uzun dayanım sürelerinin olmasıdır. Makine parçalarının kısa sürede aşınmaya maruz kalması makinelerin ömrünü kısaltarak maliyetlerin arttırıldığı gibi aynı zamanda, onarım süresi boyunca üretimin gerçekleşmemesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, aşınmaya maruz kalan makine elemanlarının seçiminde ve imalatında aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılması elzemdir.

Aşınmada esas olan, sabit kayma hızında ve sabit basınç kuvveti altında kütleli aşınma kaybının kayma yoluna göre tespit edilmesidir. Ayrıca aşınma

süresince; sürtünme katsayısı ya da buna bağlı olarak sürtünme kuvveti, aşınan taneciklerin şekli, aşınan yüzey sıcaklığı, yüzey oksidasyonu ve yüzeyin sertlik değişimleri de değişken olarak kullanılmaktadır [37].

Uygun malzemenin tespiti için bir çok labratuvarda testlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Yapılan testler sırasında ana malzemedan üretilen bir model üzerinde çalışma yapılmaktadır. Bu model, basit geometric şekle sahip olup, fazla bir maliyete katlanılmadan üretilabilir. Sonrasında, deney düzeneğine yerleştirilerek her hangi bir aşınma ölçme işlemleri bu malzeme üzerinde uygulanabilmektedir. Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür.

- a. Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemelerinin adhesif aşınma dirençlerinin ölçüldüğü deneyler.
- b. Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma değerinin ölçüldüğü deneyler.

ASLE (American Society of Lubricant Engineers) tarafından aşınmanın belirlenmesinde yözlerce deney uygulaması belirlenmiştir. Bu deney metodlarından en çok kullandığı yöntemler; ağırlık farkı metodu, kalınlık ölçme metodu, iz değişiminin izlenmesi yöntemi, radio izotoplarla ölçme metodu ve on-line izleme metodu.

3.3.1. Ağırlık farkı metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Deneyde kullanılan

örnekler her ölçüm için örneklerin yerinden çıkartılarak yapılması gerekmektedir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı numune cihaz üzerindeyken ölçüm yapılamaz. Aşınma kaybının ölçülmesi 10^{-3} veya 10^{-4} gr. hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazide yapılmalıdır. Aşınma miktarı gram veya milligram cinsinden ifade etmek gerekirse, metre veya kilometre olarak uygulanan sürtünme yoluna göre, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı hesap edilecek olursa, (gr/km), (mg/m) ile ifade edilmektedir. Ağırlık kaybı, birim alan için ifade edecek olursak (gr/cm^2) olarak yazılır. Ağırlık kaybı, hacimsel aşınma miktarı olarak belirtmek istendiği zaman, yine ağırlık kaybından hareket edilerek kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığını hesaba katmak suretiyle birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybindan giderek de bulunabilir.

Bu tanımlardan hareketle malzemenin özgül aşınması aşağıda verilen bağıntıyla ifade edilebilir.

$$W_s = \frac{\Delta V}{F_n L} = \frac{\Delta m}{\rho F_n L} \quad (3.1)$$

Burada;

W_s : Özgül aşınma miktarı,

ΔV : Hacimsel malzeme kaybı,

Δm : Ağırlık kaybı,

ρ : Yoğunluk,

F_n : Uygulanan normal kuvvet,

L : Katedilen toplam yol uzunluğu

3.3.2. Kalınlık farkı yöntemi

Aşınma süresince oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi başlangıç değeriyle

karşılaştırılması neticesinde elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden hareket edilerek hacimsel kayıp ve birim hacimdeki aşınma miktarı tespit edilir [38].

Kalınlık hassas ölçme aletleri yardımıyla $-1, +1 \mu\text{m}$ duyarlılıkta ölçülmelidir.

3.3.3. İz değişim metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon yöntemiyle, geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney süresince oluşturulan izin karakteristik bir boyutunun (çapının) değişimi ölçülür. Uygulamada iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet Vickers veya Brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas piramit veya bilyenin bıraktığı iz boyutlarındaki değişim mikroskop yardımıyla ölçümü yapılarak belirlenmektedir.

3.3.4. Radyo izotoplarla ölçme yöntemi

Sürtünmenin yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü α – parçacıkları ile bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınma miktarının yüksek derecede hassasiyetle ölçülmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi en büyük avantajıdır [39].

3.3.5. Akustik emisyon tekniği ile aşınmanın ölçülmesi (AET)

Akustik emisyon (AE), bir malzemenin şekil değiştirme enerjisinin hızla serbest kalması ile meydana gelen transient elastik gerilmesi olarak 32lasti

edilir. Radyasyon gerilim dalgaları, uygun bir sensörle yüzeyde tespit edilir. Akustik emisyon verileri, pürüzlerin teması, mikro çatlakların başlaması ve gelişmesi, elastik deformasyon ve akma gibi temas yüzeylerinde meydana gelen olaylara bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir [40].

Aşınma esnasında yüzey pürüzlerinin teması sonucu ortaya çıkan giriş akustik emisyon voltajı $A_{e_{rms}}$ (rms: root mean square'in kısaltılmışıdır) voltajı ölçülür. Bu voltaj, aşınma mekanizmalarına göre değişmektedir ve doğrudan aşınma mekanizmalarını ortaya koymaktadır. Çoğunlukla bu değişimin analizi hiç de kolay değildir. Çünkü temas eden pürüzlerin arasında oluşan muhtemel aşınma mekanizmalarının tümü birlikte oluşabilir. Bu durum akustik emisyon sinyalinin oldukça karmaşık olması anlamına gelir. Böyle bir halde, akustik emisyon sinyalinin analizi ve yorumlanması daha fazla bilgi ve tecrübe gerektirir [40].

Ayrıca aşınma kaybı ile r.m.s.sinyali arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir. Buna göre aşınma miktarı, rms sinyalin integrali ile sabit bir katsayının çarpımına eşittir (aşınan malzeme hacmi (mm^3) = sabit katsayı * $\int V_{rms}.dt$] [40].

3.3.6. On-Line izleme yöntemi

Yöntem; lazer diyot tarafından üretilen ışığın fiber optik vasıtasıyla iş parçası üzerine gönderilmesi ve iş parçası üzerinden yansıyan ışığın başka bir fiber optik vasıtasıyla alınarak foto diyot üzerine düşürülmesi sonucunda foto diyot çıkışından alınan voltaj değerlerinin A/D dönüştürücü vasıtasıyla bilgisayarda depolanması esasına bağlı dolaylı bir ölçme yöntemidir. Yöntemin uygulanmasında fiber optik

uçlarının iş parçası eksenine sabit bir uzaklıkta eksene paralel hareket ettirilmesi zorunludur. Kesici takımındaki aşınmaya bağlı olarak iş parçasının işlenen yüzeyinde oluşan boyutsal değişim ile bu yüzeylere çarparak yansıyan lazer ısınlarnının algılayıcı fiber optiğe yansımasında en önemli etkenlerdir. Kesici takımındaki aşınma, yansıyan ışık şiddeti ile orantılıdır [41].

Fiber optik, algılayıcı-yükseltici (foto diyot) ve analog dijital dönüştürücü, optik algılama sisteminin temel elemanlarını oluşturmaktadır. Bu iki fiberin görüş alanı, sistemin çalışma prensibini oluşturmaktadır.

4. SERTLEŞTİRİLEBİLİR ALAŞIMLI ÇELİKLER

Geçmişten günümüze genellikle çelik alaşımların en çok üretilen ve tüketilen tipi karbon oranı %0,25-0.55 arasındaki çelik alaşımlardır. Alaşımlı çeliklerin sertlik ve tokluğunu arttırmak için su verme ve temperleme işlemi uygulanmaktadır. Çeliklerin su verme ve temperleme işlemi ile özelliklerini arttırmak için içerisine magnezyum, silisyum, nikel, krom, molibden, vanadium ve alüminyum gibi alaşım elementleri karıştırılabilir.

Alaşılandırılan çeliklerden istenilen dayanım miktarı, normal çeliklerin dayanımı kadar veya daha düşük olsa bile, sıcak dövme ve normalizasyon işlemi uygulandıktan sonra iç yapısı geliştirilerek mühendislik uygulamalarında ekonomik açıdan üstün dayanımlı ve talep edilen çelikler geliştirilebilir.

Su verme ve temperleme işlemleri uygulanarak iç yapısında martenzit ve beynit oluşturulan bu çelikler, yük altında daha fazla dayanım, tokluk ve kopma olmadan deformasyon kapasitesine sahip olmasıyla nitelendirilir. Benzer bir şekilde, temperlenmiş martenzitik yapı kırılma geriliminin aşağısında bir gerilim test sıcaklığının çok altında yani, aynı dayanımda perlitik çeliğin gevrek kırılma gösterdiği durumda, akma gösterebilir [42]. Isıl işlemler ile gelişen bu olumlu mikro yapının, sade karbonlu çeliklerde ise küçük bir bölümde ortaya çıkmasıdır. Dolayısıyla alaşımlı çeliklerde alaşım elementlerinin en büyük etkisi, istenen mikro yapıya ulaşılmasına ve beraberinde üstün dayanıklılığa sahip olmasıdır

Alaşım elementleri östenit içerisinde özünür. Östenit içerisinde çözülen elementlerin genel etkisi, kritik altı sıcaklıkta östenit dönüşüm hızını azaltmaktır. Alaşımlı elikler içersinde dönüşüm geçirmesi istenen ürünler, düşük sıcaklıklarda oluşan, martenzit ve alt beynittir, bu düşürülen dönüşüm hızı önemlidir. Bunun anlamı, mikro yapılar daha yavaş soğutulabilir veya büyük parçalara su verme işlemi uygulanabilir. Dönüşüm sıcaklığının yavaşlatılması, martenzit ve alt beynit oluşumuna yardımcı olmaktadır. Alaşım elementleri sertleşdirilmiş ve temperlenmiş çeliklerin özelliklerini büyük oranda arttırarak geniş bir uygulama sahasında kullanılmalarına olanak sağlamaktadır.

Sade karbonlu çeliklerin aksine alaşımlı çeliklerde su ile soğutma yapıldığında küçük bölgelerde termal ve değişimsel gerilimlerin daha çok olması yönünde eğilim vardır. Genel olarak, bu büyük değişim çatlama riski anlamına gelmektedir.

Alaşım elementleri bu dezavantajı dengelemek için iki fonksiyona sahiptirler. Bu fonksiyonlardan belkide en önemlisi ve birincisi, belli uygulamalarda düşük karbon içeriği kullanılmasına izin vermesidir. Karbon içeriğinin azalmasıyla birlikte sertleşebilirliğin azalması, eklenen alaşım elementlerinin sertleştirilebilirlik etkisi ile kolayca dengelenebilir. Tavlama atlağı, karbon içeriği %0.25 veya daha düşük çeliklerde nadiren karşılaşılan bir durumdur. Düşük karbonlu çelikler tavlama işleminde çok daha düşük duyarlılıkta çatlama riski gösterecektir. Fakat karbon içeriğinin artmasıyla beraber artan bir şekilde çatlamaya karşı olan eğilim artmaktadır.

Alaşım elementlerinin genel etkisi yumuşama hızını yavaşlatmaktadır, böylece alaşım çelikleri, aynı karbon miktarına sahip karbon çeliklerinden belirli sertlik

derecesine ulaşılması için daha yüksek temperleme sıcaklığına gerek duymaktadırlar. Karbür oluşturan krom, molibden ve vanadium, özellikle yüksek temperleme sıcaklıklarında, yumuşama (sertlik giderme) geçikmesine neden olmaktadır. Bu elementler, sadece temperleme sıcaklığını yükseltmezler; bu alaşım elementlerinin çelik içerisinde yüzde oranları arttığı zaman, yumuşama hızı temperleme sıcaklığının devamlı fonksiyonu olmaktan çıkar. Alaşım çelikleri için yumuşama eğrisi temperleme sıcaklığı aralığında ile yumuşamanın yavaşlaması veya göreceli olarak yüksek alaşım içeriği faktörlerine bakılarak artan temperleme sıcaklığı ile sertliğin artabileceğini göstermektedir. Karbür oluşturu elementleri kapsayan alaşımlı çeliklerin bu karakteristik davranışı ‘ikincil sertleşme’ olarak bilinmektedir ve ince alaşım karbürlerin çökelmesinin geçikmesi sonucu ortaya çıkar [42].

5. METALLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ

İşlenebilirlik, bir metalin tezgah ile işlenmeye karşı gösterdiği tepkidir. İşlenme kabiliyeti talaş kaldırma faktörlerinin aldığı değere göre değişir. Bununla beraber malzemenin aynı işleme şartları altında birbirleri ile mukayese etmek mümkündür.

Malzemelerin fiziksel ve formasal özellikleri, malzemenin işlenebilirliğine etki etmektedir. Bunların yanında, çalışma koşulları, takım malzemesi, takım geometrisi ve işlenecek alzeme özellikleri ve geometrisi gibi hususlarda, işlenebilirlik üzerine dolaylı etkileri göz önünde bulundurulması gereklidir [43, 44]. Diğer taraftan yukarıda belirtilen hususlar göz ardı edilmesi durumunda iş parçasının makinalarda işlenmesi sırasında duruma bağlı olarak işleme zorlukları artacaktır.

5.1. İşlenen Parçanın Durumu

Malzemenin iç yapısı, tane büyüklüğü, ısıtma işlemi, imal yöntemi, sertliği, akma mukavemeti ve çekme mukavemeti gibi faktörler işlem görecektir malzemenin durumunu belirlemektedir.

5.1.1. Malzemenin iç yapısı

Metalin iç yapısı, gelişmiş mikroskop altında bakıldığında parlak veya bozulmuş yüzeyler, metalin kristal yapısı ve tane büyüklüğü hakkında bilgi vermektedir. İç yapıları benzer metallerin, işlenebilirlik özellikleride benzer olmaktadır. Fakat, işlenebilirliği etkileyecek olan, iş parçasındaki mikro yapı farklılıkları olacaktır.

5.1.2. Tane büyüklüğü

Bir metalin tane büyüklüğü ve yapısı, o malzemenin işlenebilirliği üzerine fikir vermektedir. Küçük bozulmamış tane büyüklüğü metalin kolay kesilme eğilimi olduğunu gösterir. Orta seviyede büyüklüğe sahip tane yapısına sahip metaller kesme ve yüzeyinden talaş kaldırma işlemlerine yatkınlık göstermektedirler. Bir metalin sertlik derecesi tane yapısı ile korelasyon içerisinde olmalıdır ve bu korelasyon aynı zamanda işlenebilirlik indikatörü olarak da kullanılmaktadır.

5.1.3. Isıl işlem

Metallerde arzu edilen özellikleri sağlamak için, katı halde ısıtma ve soğutmaya tabi tutulmasına ısıl işlem denir. Bir malzemenin gevrekliğini azaltmak, iç yapısındaki gerilmeleri gidermek, süneklik ve tokluğunun artırılması, dayanım değerini arttırmak, belirli bir mikro yapı elde etmek, tokluğunun değiştirilmesi veya işlenebilirliğini sağlamak amacıyla ısıl işleme tabi tutulabilir.

5.1.4. Kimyasal bileşenler

Metallerin kimyasal bileşenleri, işlenebilirliği etkileyen en önemli ana etkenlerden biridir [43]. Malzemenin içerisindeki bileşimlerinin etkisine rağmen, işlenebilirlik her zaman tam olarak belirgin değildir, çünkü alaşım elementleri, çeliklerin içerisinde ya kendi başına veya birlikte bulunurlar. İşlenebilirlikle ilgili çelik içerisinde kimyasal yapılarına bakılarak işlenebilirlikleri hakkında genellemeler yapılabilir. Fakat demir dışı alaşımlar böyle genelleştirmeye izin vermeyecek kadar çok fazla ve çeşitlidirler.

5.1.5. Üretim yöntemi

Bir metalin sıcak haddeleme, soğuk haddeleme, sıcak çekme, dövme yöntemi ile üretilip üretilmediği, o malzemenin iç yapısını, sünekliğini, dayanımını, sertliğini, yapısını dolayısıyla işlenebilirliğini etkileyen faktörlerdir.

5.1.6. Sertlik

Sertlik, malzemenin deformasyona (batma ezilme çizilme vb) karşı gösterdiği direncin ifadesidir. Tahribatlı yada tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak malzemenin sertlik özelliği belirlenebilmektedir, Endüstride, malzemelerin sertliklerinin belirlenmesinde Brinell, Rockwell, wickers ölçek birimi yaygın olarak kullanılmaktadır. Sertliğin ölçülebilmesi için kullanılan bu yöntemlerde, önceden belirlenmiş bir yük veya ağırlık kullanılarak, test malzemesinin üst yüzeyine belirli

bir boyut ve şekle sahip olan batıcı uç batırılarak uygulanır. Malzeme yüzeyine nüfuz eden bu batıcı ucun battığı miktar hesaplanarak Brinell, Rockwell veya Wickers sertlik derecesi cinsinden hesaplanır. Batıcı ucun deney numunesine nüfuz ettiği nihai alt düzeyi Brinell, Rockwell veya Wickers değerinin, dolayısıyla alt seviye sertlik derecesinin düşük olduğunu göstermektedir. Bu sonuca istinaden Brinell, Rockwell veya Wickers değerinin yüksek olduğu durum ise batıcı ucun malzeme yüzeyine battığı miktarın minimum olduğu durumdur.

Genel olarak talaşlı imalat uygulamasında, kesme parametrelerinin en önemlisi olan kesme hızının işlenecek malzemenin sertlik değeride göz önüne alınarak belirlenmesi nedeniyle, düşük malzeme sertliği daha yüksek kesme hızı seçimine olanak tanımaktadır. Yüksek kesme hızı ise üretkenliği ve verimliliği artırmaktadır. Delme ve tornalama işleminde meydana gelen yüksek sıcaklık kesici uç aşınmasının hızlanmasına neden olmaktadır. Frezeleme işleminde ise sertleştirilmiş malzemenin işlenmesi sırasında malzeme ile freze çakısı arasında yüksek darbe kuvveti oluşacağından bu yük genellikle kesici ucun vaktinden önce kırılmasına neden olmaktadır.

5.1.7. Akma Mukavemeti

Çekme testi, metal malzemelerin durumunu karşılaştırma aracı olarak kullanılmaktadır. Malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı hakkında bilgi verdiği gibi aynı zamanda malzemelerin ısıtılmış hallerindeki akma ve çekme mukavemeti hakkında da bilgi vererek iki durum arasındaki farkın görülmesinde yardımcı olur. Buna ilaveten, farklı malzemeler arasında farkı

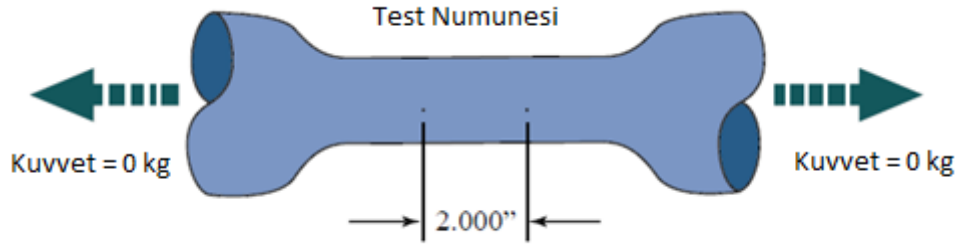
incelerken yine bu çekme testi bize yardımcı olur. Malzeme elastik bölgede yük boşaltılırsa tekrar ilk durumdaki halini geri alır. Fakat testin ilerlemesine devam izni verilirse, yani elastik bölgeyi aştığı anda yük bırakılırsa numune artık ilk baştaki uzunluğundan daha uzun bir halde olacaktır. Bu noktada test numunesi deformasyonu kalıcı olmuştur.

Akma mukavemeti, test numunesi kalıcı deformasyona uğramadan hemen önceki noktada ölçülür. Akma mukavemetin birimi Newton/mm^2 olarak ifade edilir ve kalıcı deformasyona uğramadan önceki kuvvetin numune kesit alanına bölünmesiyle bulunur. Malzeme özelliği ısıtma işlemi sırasında değiştirilebilir. Isıtma işlemi sonucunda sertliği arttırılmış parçanın akma mukavemetinde artacağından, kalıcı hasara yani plastik deformasyona uğraması için numunein daha büyük bir yük ile test yapılması gerekmektedir.

Talaş kaldırılarak yapılan üretimde parça üzerinden tabakalar halinde mekanik olarak koparılan malzemeler (talaş) söz konusudur. Yüksek akma mukavemetine sahip malzemelerde işleme sırasında talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilirken yüksek bir kesme kuvvetine ihtiyaç duyulur. Dolayısıyla, nispeten yüksek akma mukavemetine sahip malzemeler daha zor işlenebilmekte ve takım ömrünü kısaltmaktadır.

5.1.8. Çekme Mukavemeti

Isıtma işlemi tabi tutularak yüksek sertlik değerine ulaşmış malzemenin çekme mukavemeti ve akma mukavemeti artar. Seçilen malzemeye bağlı olarak, farklı çekme ve akma mukavemet değeri her bir sertlik değerinde farklılık göstermektedir.



Şekil 5.1. Çekme ve akma mukavemeinin ölçümünün gösterimi [45].

Talaş kaldırma, malzemedan mikro ölçekte çekme prosesiyle (elastik şekil değişimi, akma, plastik şekil değişimi ve kopma) mekanik olarak parçanın sürekli olarak koparılmasıdır [23]. Çekme dayanımının küçük olması talaşın parçadan daha düşük kuvvetle koparılmasını sağlamaktadır. İşlenecek parçanın çekme mukavemetindeki artış, verimli bir şekilde malzemenin işlenebilmesi ve kabul edilebilir bir takım ömrü için üstün özelliklere sahip kesici takım malzemesini ve dayanım artışına katkı sağlayacak takım uç geometrisini zorunlu kılar.

5.2. Çalışma Malzemesinin Fiziksel Özellikleri

Fiziksel özellikler, malzemenin elastisite modülü, ısı iletkenlik, ısı ıl genleşme katsayısı ve pekleşme olarak sınıflandırılabilir.

5.2.1. Elastisite modülü

Elastisite modülü çekme testi sonucunda belirlenen bir özellik olup sertlik, akma ve çekme mukavemetinden farklı olarak, malzemenin sabit bir özelliğidir. Dolayısıyla, ısı işlemden etkilenmez. Bu belirli özellik, elastik deformasyondaki birim uzama ile normal gerilme (çekme yada basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup birim uzama başına gerilme olarak da tanımlanır.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ olarak ifade edilir.} \quad (5.1)$$

E = Elastisite Modülü,

σ = Normal Gerilme,

ε = Birim Uzama

Genel olarak üretim uygulamaları nispeten orta dereceli elastisite modülüne sahip çalışma parçası için pozitif veya yüksek derecede eğim açısına sahip kesici takım geometrisi ile uygun çalışacağını göstermiştir. Pozitif takım geometrisi düşük kesme kuvveti üretmektedir ve bundan dolayı, talaş oluşumu elastik malzemelerde artmaktadır. Keskin pozitif kesme açıları malzeme üzerinden talaş kaldırılmasını geliştirme eğilimindedirler.

5.2.2. Isıl iletkenlik

Metal malzemeler çoğu kez ısı iletkenler ve yalıtkanlar olarak sınıflandırılmaktadır. İletken metaller yüksek oranda sıcak veya soğuk objeden ısı transferi eğilimindedir, aynı zamanda yalıtkan metaller ise ısı akışını engellemektedir. Dolayısıyla, nispeten yüksek bir ısı iletkenliğine sahip olan bir

malzeme, bir iletken olarak düşünülebilir, buna karşın düşük ısı iletkenliğe sahip olan malzeme de, bir yalıtkan olarak kabul edilecektir.

Düşük iletkenlik gösteren metaller talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan ısıyı sistemden uzaklaştıramayacaktır ve dolayısıyla kesici takım ve işlenen parça aşırı derecede ısınmaktadır. Bu yüksek sıcaklık artışı kesici ucun aşınmasını artışı ve takım ömrünün azalmasını hızlandıracaktır.

5.2.3. Termal genleşme

Metaller sıcaklık artışına maruz kaldığında boyutlarında değişim görülmektedir. Bu fiziksel özellik termal genleşme olarak adlandırılmaktadır. Metallerin genleşme oranı, malzemenin türüne ve içerdiği alaşım oranına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Metalin genleşme hızı metalin genleşme katsayısı olarak kullanılır. Bu katsayının yüksek olması, sıcaklık artışına maruz kaldığında daha fazla genleşme gösterecek, sıcaklık düşmeye bağlı olarak malzemede geri çekilme görülecektir.

Yüksek termal genleşme katsayısına sahip malzemelerin talaşlı imalatında, küçük sıcaklık değişimlerinde bile yüksek miktarda boyut değişikliği görüldüğünden bu malzemelerin toleranslar dahilinde hassas imalatlarında sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu tip malzemelerin işlenmesinde sıcaklık ve boyutlarının sabit kalması için uygun bir soğutucu ile soğutulması zorunluluğu vardır. Ayrıca, bu tür malzemelerde pozitif kesme geometrisi kullanılması malzemenin işlenmesi sırasında ortaya çıkan ısıyı azaltmaktadır.

5.2.4. Şekil verme sertleştirmesi

Bir çok metal malzeme soğuk çalışma koşulları nedeniyle sertliklerinde dramatik bir artış üreten fiziksel özellik gösterir. Soğuk şekil verme, rekristalizasyon sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta ($T_b < 0.5T_e$) malzemenin bükülerek şekillendirilmesi, form verilmesi ve haddelenmesi yoluyla şeklindeki değişimleri kapsar. Metallerin şekillendirilmesi sırasında parçayı sertleştirmede rol oynayan iç gerilmeler artar. Bu i sertleşme hızı ve büyüklüğü malzemedен malzemeye farklılıklar gösterebilir.

6. LİTARATÜR ARAŞTIRMASI

Sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesi üretim mühendisleri ve araştırmacılar için bugünün endüstriyel dünyasında en önemli konulardan birini oluşturmaktadır. Sertleştirilmiş çelikler, miller, dişli çarklar, rulmanlar başta olmak üzere çok sayıda makina elemanının yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel olarak, sertleştirilmiş çelikler taşlama yöntemiyle işlenmektedir. Fakat, taşlama işlemi zaman alıcı bir proses olmasının yanında sınırlı bir geometrinin üretilmesi söz konusudur. Sertleştirilmiş malzemelerin taşlama yerine tornalanması işlemi, üretim maliyetinin azaltılması, üretim süresinin kısaltılması, geliştirilmiş yüzey bütünlüğü, soğutucu olarak kullanılan ürünlerin çevreye verdikleri zararı azaltıcı veya tamamen bertaraf edecek, parçada ısıtılmalardan kaynaklı bozukluklar azaltacak bir çok pozitif avantaj sunmaktadır [46-51].

HT, sertleştirilmiş malzemeler işlenmesinde oldukça yüksek hassasiyet sunabilir, fakat yüzey pürüzlülüğün ve kesici takımın aşınması yöntemin dezavantajını oluşturmaktadır [52,53]. HT işleminde kullanılan kesici aletler taşlama işlemiyle karşılaştırıldığında zaman nispeten daha pahalıdır, bundan dolayı takım ömrü üzerindeki işleme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) her bir malzemenin sertlik değeri üzerinde etkilerin incelenmesini gerektirmektedir.

Son yıllarda, yüzey pürüzlülüğü ile kesme parametrelerinin ilişkisini belirlemek amacıyla deneysel metotların analizi ve tasarımını temel alan çeşitli istatistiksel ve deneysel çalışmalar yapılmaktadır [11]. Şahin ve Motorcu [12] kübik

born nitrür (CBN) ve seramik kesici takımlar ile orta karbonlu çeliğinin torna tezgâhında işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğü hakkında araştırmalar yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada, Response Surface Metodunu (RSM) kullanarak ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkin kese parametresinin ilerleme hızı olduğunu tespit etmişlerdir. Bouacha ve ark.,[13] 64 HRC sertlik değerindeki AISI 52100 krom çeliğinin CBN kesici takım ile tornalama işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Çalışmalarında, Taguchi deneysel tasarım yöntemi L_{27} ortangonal dizimine göre gerçekleştirmişlerdir. R_a üzerinde en etkili kesme parametrelerin ilerleme hızı ile kesme hızı olduğunu saptamışlardır. Gopalsamy ve ark., [14] 55 HRC sertlikteki malzemeden talaş kaldırma işlemi sırasında kesme parametrelerinin optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarını L_{18} ortangonal dizilime göre gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada, takım ömrü ve R_a (Yüzey Pürüzlülüğü) etki eden en etkin parametrenin kesme hızı olduğu bulgusuna ulaşmışlardır. Aslan ve ark., [15] yaptığı çalışmada Taguchi L_{27} ortangonal dizilime göre deneyde 63 HRC sertlik değerine sahip AISI 4140 çeliğinin işlenmesinde R_a ve takım aşınmasını irdelemişlerdir. Kullandıkları ANOVA yöntemine göre, takım aşınmasına en çok etki eden faktörün kesme hızı parametresi olduğu (%30) sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca yaptıkları çalışmada R_a değerini minimize etmek için kullanılacak kesme hızı 250 m/min, kesme derinliği 0.25 mm ve ilerleme hızını 0.05 mm/rev alınarak talaş kaldırma işleminin yapılmasını önermişlerdir.

Aouici H, Yallese MA, ve ark., farklı değerlerde sertleştirilmiş AISI H11 çeliğinin kübik born nitrür (CBN 7020 from Sandvik-Company) kesici takımı ile işlenmesinde kesme hızının, ilerleme hızının, işlenen parçanın sertliğinin ve kesme

derinliği parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrelerin ilerleme hızı ve işlenen malzeme sertliğinin olduğu sonucuna ulaşmışlardır [54].

Lima ve ark., [55] AISI 4340 (42HRC) ve AISI D2 (50HRC) eliklerinin sırasıyla seramik ve kaplamalı karbür uçlar ile işlenebilirliği üzerene araştırmalarda bulunmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre bu çalışma koşullarında, esas aşınma mekanizmasının sırasıyla abrazyon ve difizyon olduğu ifade edilmiştir.

Ozel ve ark., [56], AISI HB eliğinin sert tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine araştırmalarda bulunmuşlardır. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli faktörler, işlenen malzemenin sertliği, kesi uç geometrisi, ilerleme hızı ve kesme hızının olduğunu belirlemişlerdir.

Federico ve ark., [57] sırasıyla TiCN/AL₂O₃/TiN kaplı karbür uç ve PCBN kesici takımları kullanarak sertleştirilmiş çeliklerin işlenebilirliği üzerine testler yapmışlardır. Ortaya çıkan sonuçlara göre TiCN/AL₂O₃/TiN kaplı karbür kesici takımlar ile orta sertlikteki malzemelerin torna tezgahında işlenmesindeki verimliliğe dikkat çekmişlerdir. Mandal ve ark., [58], AISI 4340 eliğinin Zirkonyum sertleştirilmiş alümina (ZTA) seramik kesici uç ile işlenebilirliğini irdelemişlerdir. Kesici uç aşınmasında kesme derinliği ve kesme hızı parametrelerinin önemli rol oynadığını belirtmişlerdir.

Sertleştirilmiş malzemelerin seramik ve CBN kesicilerle tornalanmasında takımların performansı, takım aşınması, kesme kuvvetleri, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesici takım geometrisinin kombinasyonuna bağlıdır [60]. Bu süreçteki gelişmeler öncesine göre daha az maliyetli ve zaman harcayan bir yöntem olmasıyla

aynı zamanda daha kesin, verimli sonuçlara götürmektedir. Kesici takımın işlem sırasında hiçbir şekilde durmadan işlenen parçanın yüzey aşınmasının gerçek zamanlı görüntülenmesinde güvenilir ve hassas teknikler çok büyük önem teşkil etmektedir [60, 61] . Cakan [59] sertleştirilmiş AISI 4340 ve 52100 çeliklerin seramik kesici takım kullanarak tornalanmasında takımda oluşan aşınmayı belirlemek için lazer diyot ve foto diyottan oluşan on-line izleme sistemini kullanmıştır.

On-line izleme sistemi ile kesici takım aşınması yaklaşık % 94'lük doğrulukta tespit edilebilmektedir [60].

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Endüstriyel sanayide; hava araçlarında, otomobillerde, büyük taşıtlarda ve genel mühendislikte yüksek gerilmeye maruz kalan parçalarda, dişliler, miller, krank milleri, pistonlar, piston kolları, bağlantı rotları, aks, aks kovanı, direksiyon parçaları, eksantrik mili, çeşitli miller, tarak pimi vb. gibi bir çok alanda kullanılan AISI 4340 çeliğinin işlenmesinde hem maliyet hem de işlem süresi istenilen ölçütler içerisinde olmalıdır.

AISI 4340 çeliğinden 300 mm boyunda ve 60 mm çapında hazırlanan 18 adet numune Bodycote İştaş Isıl İşlem Sanayi firması tarafından ticari olarak (51-53 HRC) sertlik değeri için ısıtıl işlem gerçekleştirilmiştir. Sertleştirilen numuneler, Sandvik-Coromat firmasından temin edilen CBN kesici uç ile CNC tezgahında farklı kesme parametreleri kullanılarak aşınma testlerine tabi tutulmuşlardır. Bu çalışmada; sertleştirilmiş malzemelerin CBN kesici uç ile işlenmesinde on-line izleme yöntemi vasıtasıyla hem kesici takım aşınması hem de işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğü optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışma aşamaları Şekil 7.1’de gösterilmektedir.



Sekil 7.1. Deneysel çalışmalarda uygulanan işlem sırası

7.1. Kesme Koşullarının Belirlenmesi

Kesme testleri, kuru kesme koşullarında Ler. Tc. 150B CNC torna tezgahı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesici takım ile; 180 ve 250 m/dak olarak seçilen kesme hızları, 0.04, 0.08 ve 0.12 mm/dev ilerleme hızlarında testler gerçekleştirilmiştir. Test işlemleri süresince, tüm kesme işlemlerinde kesme derinliği 0.2 mm olarak alınmıştır.

7.2. İş parçası

AISI 4340 çeliği; sertlik, yüksek dayanım ve yeterli süneklik özelliklerinin yanı sıra, sınırlı işlenebilirlik ve hemen her çeşit ısıtıl işlem türlerine yatkınlığından dolayı, bu çalışmada ana malzeme olarak kullanılmıştır. Kullanılan ana malzemenin

kimyasal analiz değerleri Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. AISI 4340 eliğinin kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr	Mo	Ni	V
0.30 - 0.38	0.15 - 0.40	0.40 - 0.70	0.035	0.035	1.40 - 1.70	0.15 - 0.30	1.40 - 1.70	-

7.3. Kesici takım

Deneyler de Sandvik-Coromat firması tarafından üretilen CBN 7025 kodlu kesiciler kullanılmıştır. Bu kesici uç % 60 oranında CBN ve % 40 oranında tane dağılımlı (1-3 μ m) seramik bağlayıcılardan oluşmaktadır. CBN 7025 kesici uç yüksek kırılma direncine sahiptir. CBN 7025 kesiciler sert parçaların tornalanmasında değişik seviyelerde kesme işlemini gerçekleştirmektedir. Kesintisiz kesme işlemi sırasında yüksek takım ömrüne sahiptirler.

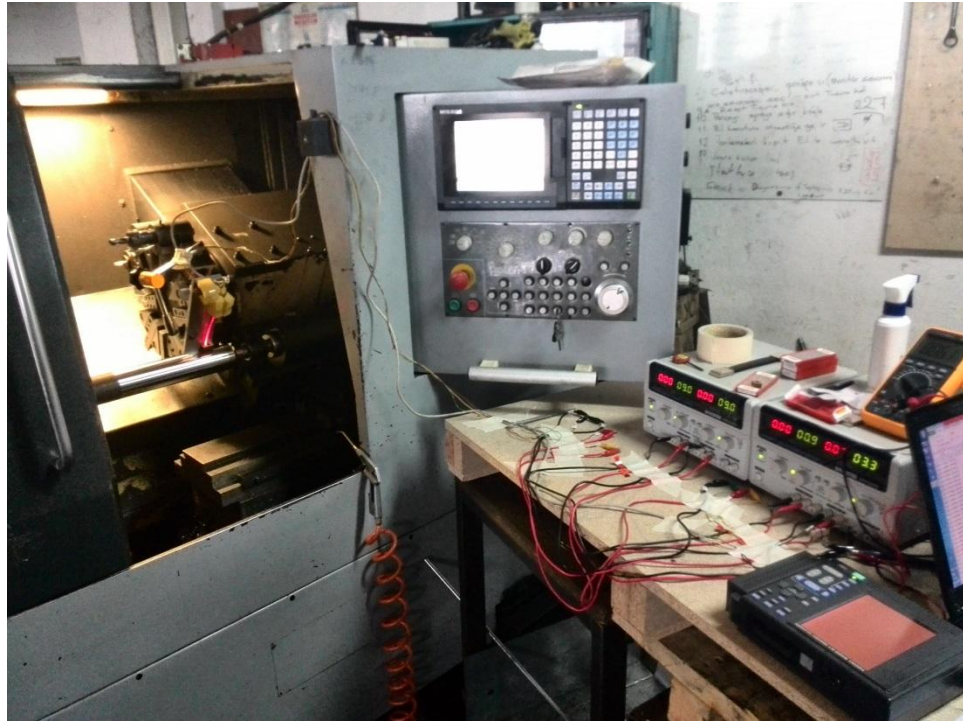
7.4. Deneysel Teknikler

Kesme performans testleri, farklı kesme hızı ve farklı ilerleme hızlarında olmak üzere, toplam altı farklı deneyi içermektedir. Kesici takım numunelerin 180 ve 250 m/dak kesme hızı ve üç değişik ilerleme hızlarında (0.04, 0.08 ve 0,12 mm/dev) yapılan tornalama deneylerinde; kesme hızı-aşınma, ilerleme hızı-aşınma ilişkisi

bakımından gösterdikleri performanslar, on-line izleme yöntemi kullanılarak belirlendi.

7.5. On-Line İzleme Yöntemi

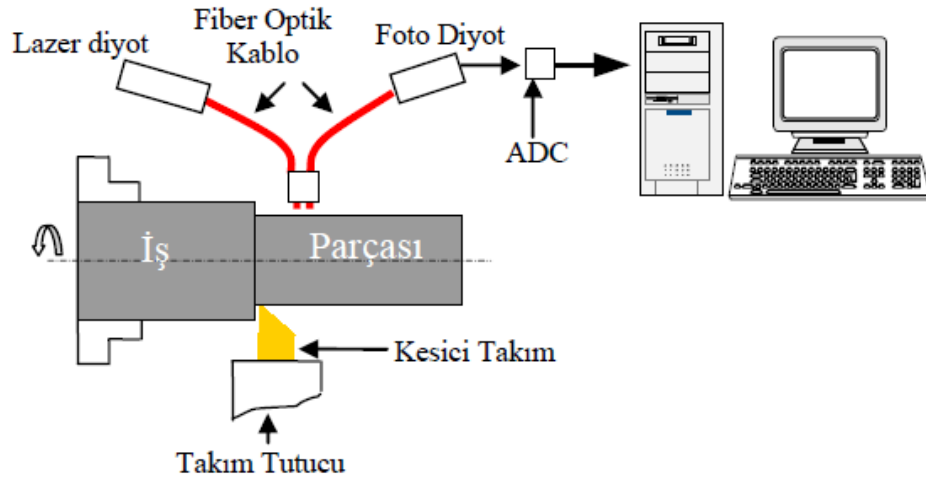
CBN kesici takım uçların, kesme performanslarını incelemek ve kesme esnasında ortaya çıkacak aşınma etkilerine karşı gösterecekleri direncin belirlenmesi işlemi; tüm deneylerde Şekil 7.2’de verilen, tarafımızdan kurulan bir on line izleme sistemiyle gerçekleştirildi. On-line izleme sistemiyle ilgili açıklayıcı ayrıntılı bilgi aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 7.2. Tarafımızdan kurulan deney düzeneğinin fotoğrafı

Bu yöntemde; bir lazer diyot tarafından üretilen ışık, fiber optik vasıtasıyla iş parçası üzerine gönderilmekte ve iş parçası üzerinden yansıyan ışık başka bir fiber optik vasıtasıyla alınarak foto diyot üzerine düşürülmektedir. Bu iki fiber optik iş parçası eksenine sabit bir uzaklıkta eksene paralel olarak hareket ettirilmektedir. Kesici takımdaki aşınmaya bağlı olarak iş parçasının işlenen yüzeyinde oluşan boyutsal değişimle pürüzlülük, parlaklık vb. değişimler, bu yüzeylere çarparak yansıyan lazer ışınlarının algılayıcı fiber optiğe yansımada en önemli etkenlerdir. Kesici takımdaki aşınma, yansıyan ışık şiddeti ile orantılıdır [59,60].

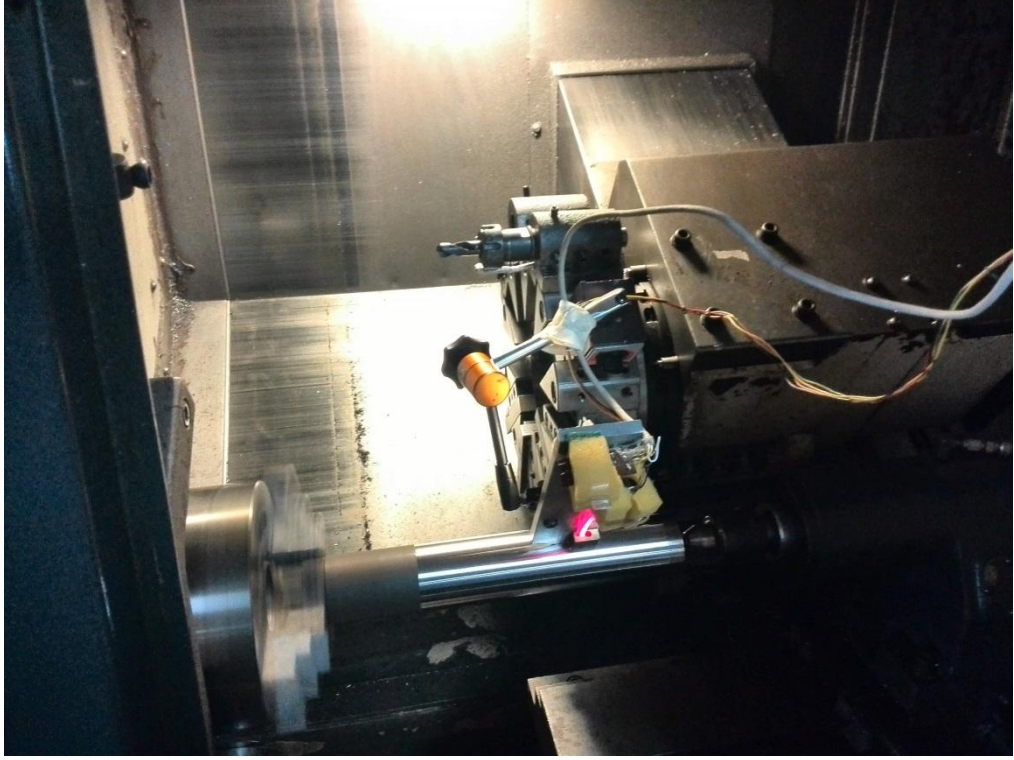
Fiber optik, algılayıcı-yükseltici (foto diyot) ve analog dijital dönüştürücü; optik algılama sisteminin temel elemanlarını oluşturmaktadır. Bu iki fiberin görüş alanı, sistemin çalışma prensibini oluşturmaktadır. Fiber optiğin iş parçasına temas etmesi durumunda, fiber boyunca gelen ışığın (lazer) tamamı iş parçası yüzeyine çarpar ve aynı fibere geri yansır. Algılayıcı fibere hiç ışık yansımaz. Bu yüzden foto diyot çıkışında herhangi bir voltaj değişimi elde edilmez. İş parçası ile fiber optik uçları arasındaki boşluk artırıldıkça, algılayıcı fiber optik üzerine düşen ışık miktarı da artmaktadır. Foto diyot çıkışında elde edilen işaretler analog-dijital dönüştürücü (ADC) vasıtasıyla bilgisayarda (PC’de) depolanmaktadır. Optik algılama sisteminin şematik gösterimi Şekil 7.3’de verilmiştir.



Şekil 7.3. Optik algılama sistemi [61]

7.6. Tornalama Testleri

Sertleştirilmiş AISI 4340 (51-53 HRC) çeliğinden üretilen numuneler CBN kesi uç yardımıyla tornalama işlemine tabi tutulmuşlardır. Deneysel çalışmasında her deney üç kez tekrarlanarak 18 adet tornalama testi gerçekleştirilmiştir. Tablo 8.1’de gösterilen DIN 34CrNiMo6 veya AISI 4340 çeliğinden 60mm çapında ve 300 mm boyunda numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler işlemin gerçekleşeceği Ler. Tc. 150B CNC torna tezgâhına bağlanmışlardır. Ardından, işlem süresince kesici uçtaki aşınmayı izlemek için Şekil 8.1 de gösterilen on-line izleme sistemi, CNC tornaya uygun bir şekilde bağlanarak işlenecek malzeme üzerinden veriler toplanmıştır.



Şekil 7.4. Aşınma test sisteminin görüntüsü

Tornalama işlemi boyunca kesme sıvısı kullanılmamıştır. Deneyler sonucunda kesici takımdaki aşınmaların görüntüsü alınmak üzere TÜBİTAK MAM araştırma merkezine gönderilmiş ve bu kurum tarafından SEM görüntüleri çekilmiştir.

8. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE ANALİZİ

8.1. CBN Kesici Takımların Aşınma Deney Sonuçları

Sandvik-Coromat firması tarafından geliştirilen ve içeriğinde % 60 CBN ve % 40 oranında tane dağılımlı seramik bağlayıcılardan oluşan 7025 kodlu kesici takımlar, farklı kesme parametreleri kullanılarak sertleştirilmiş AISI 4340 (51-53 HRC) çeliğinden üretilen numunelerin tornalanmasında aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Tornalama testleri Şekil 8.1 görülen Ler. Tc. 150B CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Tornalama işlemi süresince kesici takımında oluşan aşınmaya karşılık voltaj değişimlerinin tesbitinde, torna tezgahına hasas şekilde monte edilen ve 0.1s aralıklarla veri kaydı gerçekleştirebilen on-line izleme sistemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan kesme parametrelerinin belirlenmesinde, Sandvik-Coromat firmasının önerisi ve literatürden yararlanılmıştır. Kesici uçlardaki aşınma, CNC torna tezgahına monte edilen bir on-line izleme sistemi aracılığı ile takip edilmiş; çalışmalar 180 ve 250 m/dak kesme hızlarında, 0.04, 0.08 ve 0.12 mm/dev arasında değişen ilerleme hızlarında ve 0,2 mm kesme derinliğinde 60 mm çapında AISI 4340 düşük alaşımlı çelik üzerinde tornalama testlerine tabi tutulmuştur.



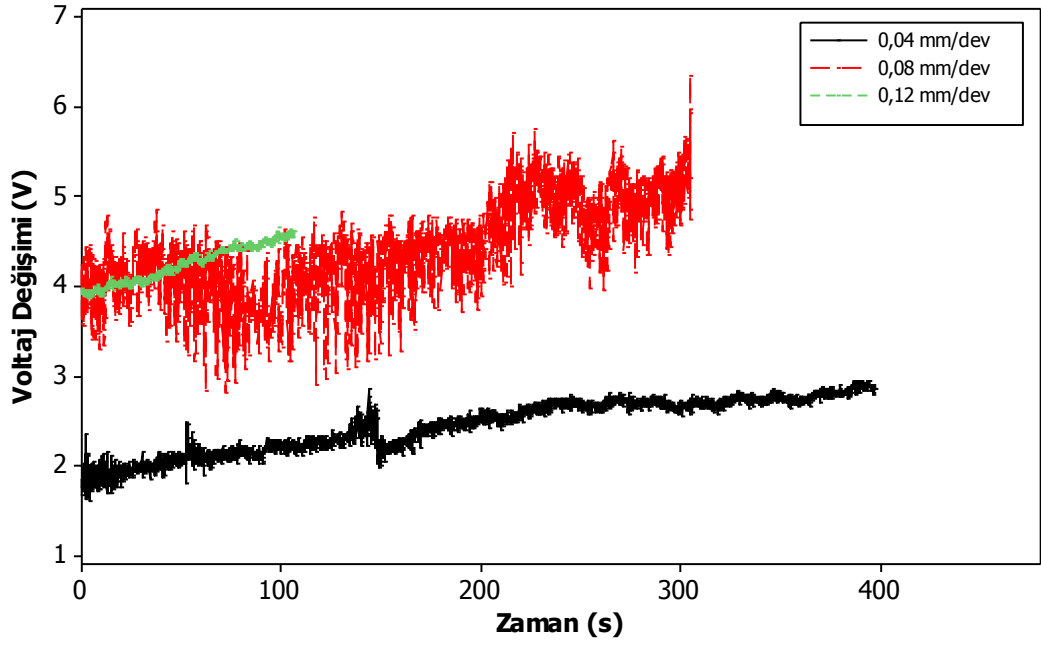
Şekil 8.1. Deneyisel çalışmada kullanılan Ler. Tc. 150B CNC torna tezgahı

8.1.1. CBN kesici takımların 180 m/dak kesme hızı, 0.04, 0.08 ve 0.12 mm/dak ilerleme hızları ve 0.2 mm kesme derinliğinde yapılan aşınma deney sonuçları

Kesici takımlardaki aşınma, CNC torna tezgahına monte edilen bir on-line izleme sistemi aracılığı ile takip edilmiş; bu çalışmalarda kullanılan kesiciler, 180 m/dak kesme hızlarında, 0.04, 0.08 ve 0.12 mm/dev arasında değişen ilerleme hızlarında ve 0,2 mm kesme derinliğinde 60 mm çapında sertleştirilmiş AISI 4340 düşük alaşımlı çelik üzerinde tornalama testlerine tabi tutulmuştur.

CBN kesici takım numunelerinde 0,04 mm/dev ilerleme hızı, 0,2 mm kesme derinliği ve 180 m/dak kesme koşullarında düşük alaşımlı AISI 4340 çeliği üzerinde

uygulanan tornalama testlerinde, kesici takımlarda elde edilen aşınma deney sonuçları Şekil 8.2’de verilmiştir. Datalogger da kayıt edilen aşınma verilerinden, Microsoft excell programı ve minitab 16 bilgisayar programı kullanılarak grafikler oluşturulmuştur.



Şekil 8.2. Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin, 180 m/dak kesme hızı, 0.04, 0.08, 0.12 mm/dev ilerleme hızı ve 0.2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan tornalama işlemi süresince kesici takımında oluşan aşınmaya karşılık zaman voltaj değişim grafiği

İş parçası torna tezgahında ayna-punta arasına bağlanarak, parça üzerinde 15 mm’lik bir uzunluk yeni bir kesici takım ile 0,2 mm kesme derinliğinde işlendikten sonra, kesme işlemi durdurulmuştur. Elde edilen bu yüzey ile fiber optik arasındaki boşluk ~ 2.5 mm’ye ayarlanmış, ardından CBN kesici takım numunesi takım tutucuya (katere) ve uç kısmı işlenen yüzeye temas edecek şekilde bağlandıktan sonra, iş parçasının üzerinde ~ 150 mm’lik bir uzunluğun $\varnothing 60$ mm çapa kadar

tornalanması için tezgah çalıştırılarak işleme başlanmıştır. İşlem süresince foto diyet çıkışı sürekli olarak kaydedilerek işlem tamamlanmıştır. Başlangıçta mevcut referans yüzeyinden itibaren, kesme işlemi süresince çıkış voltajının gösterdiği değişimler, Şekil 8.2’de görülmektedir.

Deneylerde; kesme işlemi başlangıcında sinyallerde beklenen azalmanın aksine, voltaj değerinde bir artma gözlenmiştir. İş parçası yüzeyinden yansıyan ışığın miktarı, fiber optik ile iş parçası yüzeyi arasındaki mesafe ve yüzey pürüzlülüğü ya da iş parçasının yansıtma özelliğine bağlı olarak değişmektedir [60]. Yeni bir kesici takım ile başlanan kesme işleminin ilerleyen safhasında kesme işleminden kaynaklanan takımın kesici kenarı ile kesilen malzeme arasında sıcaklık artışı ortaya çıkmaktadır. Grzesik [61], kesme işlemlerinin termal karakteristikleri üzerinde, yaptığı çalışmada; talaş ile takım arasındaki temasla oluşan kesme sıcaklığının termal bir yük oluşturduğunu ileri sürmüş, minimum sıcaklık değeri olan (450-500 °C) sıcaklıklara, ancak farklı malzemelerle kaplanarak üretilen kesici takımlarla yapılan kesme işleminde ulaşıldığını belirtmiştir. Tarafımızdan yapılan kesme işlemlerinde, takım üzerindeki keskin kenarda aşınma ve takım ucunda küçük bir yarıya ulaşıldığı görülmüştür. Bu da, iş parçasında daha iyi ve düzgün bir yüzeyin oluşumu ile daha etkin bir yansıtma özelliği sağlamıştır. Kesme işleminin ilerleyen evresinde görülen voltaj sinyallerindeki azalma; kesici takım üzerinde gittikçe azalan kesici kenar aşınmasının neden olduğu, fiber optikle iş parçası arasındaki mesafenin azalan değişiminden ileri gelmiştir. Kesici takım numuneleriyle yapılan tornalama deneylerinden elde edilen sonuçlarda, artan kesme hızı ve ilerleme hızları ile aşınma miktarında beklendiği gibi, artma gözlenmiştir. Şekil 8.2 ’den de görüleceği gibi; aynı kesme koşullarında yapılan deneylerde en düşük aşınma 180

m/dak kesme hızı 0.04 mm/dev ilerleme hızında gerçekleşirken, en büyük aşınma 180 m/dak kesme hızı, 0.12 mm/dev ilerleme hızında yapılan aşınma deneyinde kullanılan kesici takım numunesinde gerçekleşmiştir. Bu durum Çakan [59] tarafından oluşturulan voltaj değişimi aşınma bağıntısı 9.1 kullanılarak aşınma miktarı mm olarakta ortaya konulmuştur.

$$\text{Flank wear (mm)} = -0.0061 + 0.0472 \text{ wear rate (V)} \quad [71] \quad (9.1)$$

$$(R^2 = 86.3 \%; \text{RMSE} = 0.003; P < 0.001)$$

Eşitlik 9.1'e göre; 0.2 mm sabit kesme derinliğinde 180 m/dak kesme hızında, 0.04, 0.08, 0.12 mm/dev ilerleme hızlarında yapılan deneylerde başlangıç ve bitiş voltaj değerleri esas alınarak, deney sonunda kesici takımlarda oluşan aşınma miktarları;

$$\text{Kesici uç aşınma miktarı (mm)} = -0.0061 + 0.0472 * 1.14(\text{Voltaj değişim farkı})$$

$$FW_{180-0.04} = 0.000378848 \text{ mm,}$$

$$FW_{180-0.08} = -0.0061 + 0.0472 \text{ aşınma miktarı (V)}$$

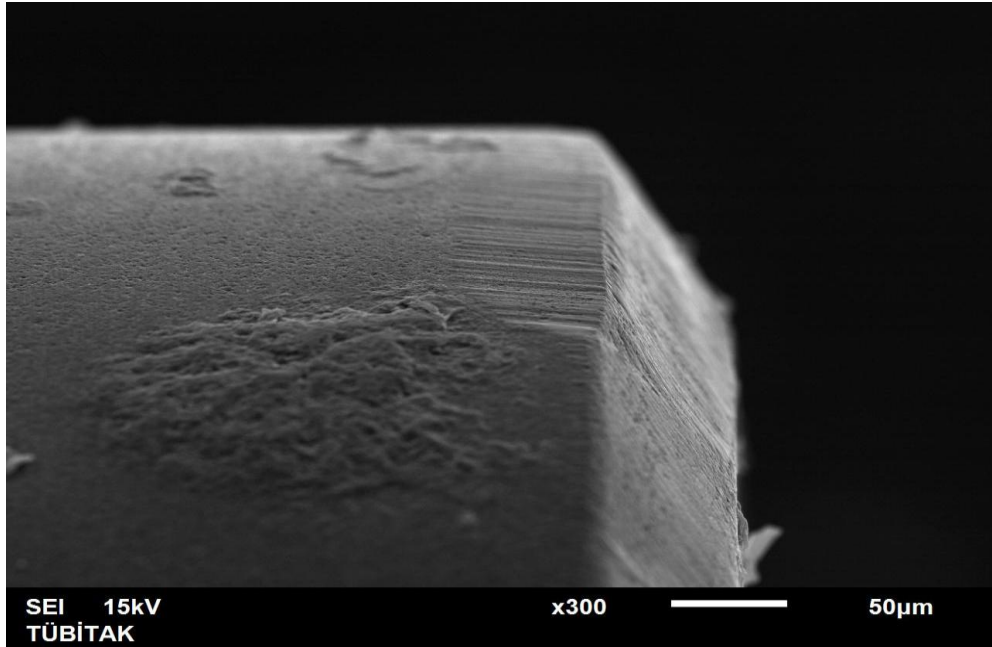
$$= 0.017854 \text{ mm,}$$

$$FW_{180-0.12} = -0.0061 + 0.0472 \text{ aşınma miktarı (V)}$$

$$= 0.0248868 \text{ mm, olarak bulunmuştur.}$$

Şekil 8.2 'de kesme esnasında on line olarak ölçülen voltaj değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi; kesme işleminin başından itibaren voltaj değeri yükselmekte, deneyin sonlarına doğru azalma göstererek oldukça kararlı bir şekilde devam etmektedir. Ölçülen voltaj değerinin yüksek olması, kesmenin o bölgede doğurduğu aşınmanın fazla olduğunu

ve işlenen malzeme yüzeyinin parlak olduğunu göstermektedir. Başlangıçtan itibaren deneyin sonlarına kadar voltaj değerindeki artmanın nedeni; kesici ucun ilk kesmeye başladığı andan itibaren zorlanmalarla uçta mikro ölçekte kırılmaların ve kopmaların meydana gelmesi ve buna bağlı olarak malzeme boyutunun farklılaşmasıdır. Kesmenin ilerleyen safhalarında voltajın fazla değişmemesi, kesici uçta bir süre sonra radyus oluştuğunu; kesici takım üzerinde aşınma ve kopmanın azaldığını ve son evrede kararlı kesme periyoduna geçildiğini göstermektedir. Bu periyotta; iş parçası ile fiber optik arasındaki mesafe korunmakta, bunun sonucunda algılayıcı fiber üzerine düşen ışık miktarındaki değişim azalmakta ve buna bağlı olarak voltaj değerinde de az oranda değişim oluşmaktadır. Sonuçta kesici takımda oluşan aşınmaya bağlı olarak foto diyot çıkışından alınan voltaj değerlerindeki değişimler, on-line izleme yönteminin de temelini oluşturmaktadır.



Şekil 8.3. CBN 7025 kesici takımın kesme işlemi sonunda aşınmasını gösteren SEM görüntüsü

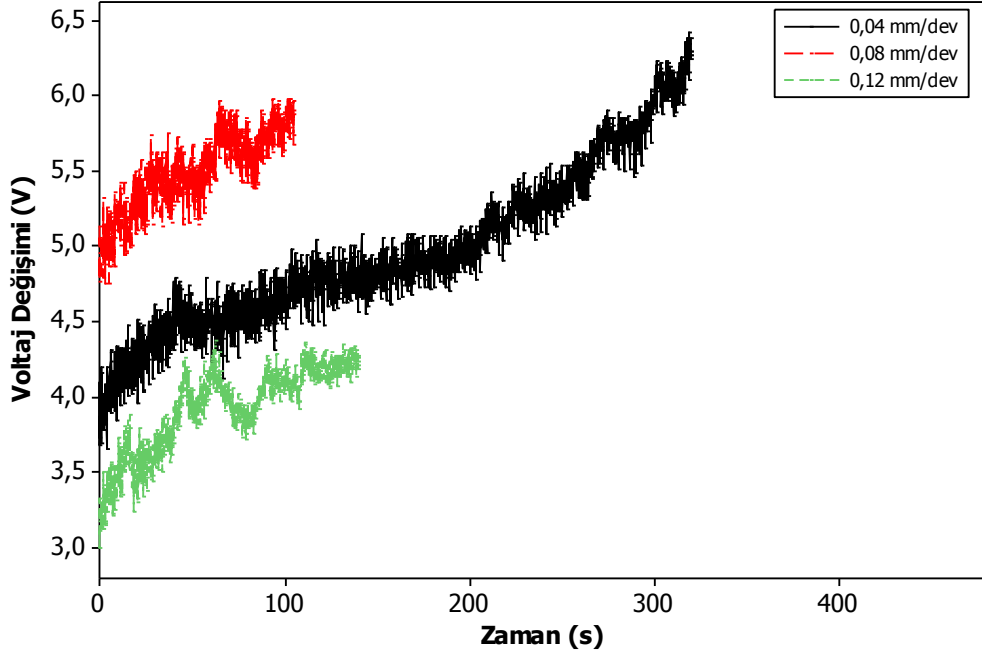
Şekil 8.3’de ise, kesme işlemi süresince kesici takım üzerinde oluşan aşınma görülmektedir. Şekilden görüleceği gibi; en büyük aşınma, sırasıyla kesici takımın burun kısmı ile kesici kenarında gerçekleşmiştir. Kesme işlemi süresince kesme bölgesinde ortaya çıkan ısıнын büyük bir kısmı talaşla bu bölgeden uzaklaşırken; kesici takımın talaş yüzeyine sürekli olarak temas etmesi sonucunda, takım yüzeyi ile sürekli yüksek sıcaklıkta akan talaşın temas ettiği bölgede, az da olsa bir aşınmanın meydana geldiği görülmüştür.

8.1.2. CBN kesici takımın 250 m/dak kesme hızı, 0.04, 0.08 Ve 0.12 mm/dev ilerleme hızları ve 0.2 mm kesme derinliğinde yapılan aşınma deney sonuçları

250 m/dak kesme hızı, 0.04, 0.08 ve 0.12 mm/dev arasında değişen ilerleme hızlarında ve 0,2 mm kesme derinliğinde 60 mm çapında sertleştirilmiş AISI 4340 düşük alaşımlı çelik üzerinde tornalama testlerine tabi tutulan CBN 7025 kesici uçların aşınma davranışlarını gösteren zaman-voltaj değişim grafiği Şekil 8.4’de verilmiştir.

Diyagramdan da görüleceği gibi, seçilen tüm ilerleme hızlarında yapılan kesme işleminde, aşınma başlangıçtan itibaren gittikçe artan oranlarda bir süreklilik gözlenmiş ve bu durum daha sonra işlem süresince devam etmiştir. Burada da yine kesme işleminin ilerleyen evresinde görülen voltaj sinyallerindeki azalma; kesici takım üzerinde gittikçe azalan kesici kenar aşınmasının neden olduğu, fiber optikle iş parçası arasındaki mesafenin azalan değişiminden ileri gelmiştir. Artan kesme hızı ve ilerleme hızları ile aşınma miktarında beklendiği gibi, artma gözlenmiştir. Şekil 8.4’den de görüleceği gibi; aynı kesme koşullarında yapılan deneylerde en düşük aşınma

250 m/dak kesme hızı 0.04 mm/dev ilerleme hızında gerçekleşirken, en büyük aşınma 250 m/dak kesme hızı, 0.12 mm/dev ilerleme hızında gerçekleşmiştir. Bu durum voltaj değişimi aşınma bağıntısı 9.1 kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 8.4. Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin, 250 m/dak kesme hızı, 0.04, 0.08, 0.12 mm/dev ilerleme hızı ve 0.2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan tornalama işlemi süresince kesici takımında oluşan aşınmaya karşılık voltaj değişim grafiği

Eşitlik 9.1'e göre; 0.2 mm sabit kesme derinliğinde 250 m/dak kesme hızında, 0.04, 0.08, 0.12 mm/dev ilerleme hızlarında yapılan deneylerde başlangıç ve bitiş voltaj değerleri esas alınarak, deney sonunda kesici takımlarda oluşan aşınma miktarları;

$$FW_{250-0.04} = -0.0061 + 0.0472 \text{ aşınma miktarı (V)}$$

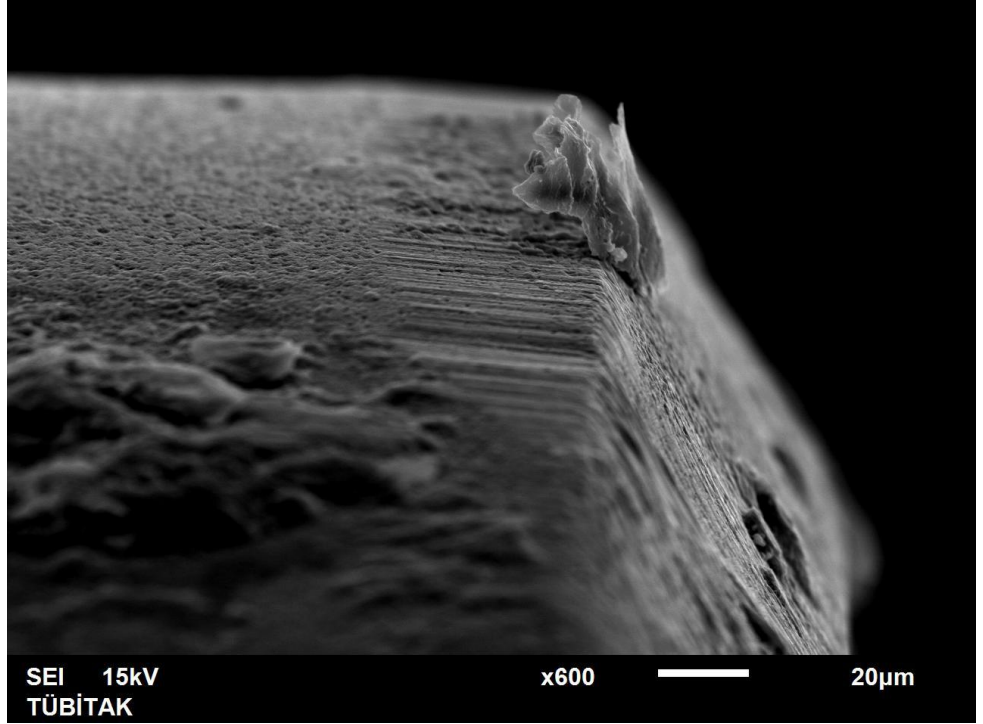
$$= 0.026232 \text{ mm}$$

$$FW_{250-0.08} = -0.0061 + 0.0472 \text{ aşınma miktarı (V)}$$

$$= 0.0329816 \text{ mm}$$

$$FW_{250-0.12} = -0.0061 + 0.0472 \text{ aşınma miktarı (V)}$$

$$= 0.0469292 \text{ mm olarak hesaplanmıştır.}$$



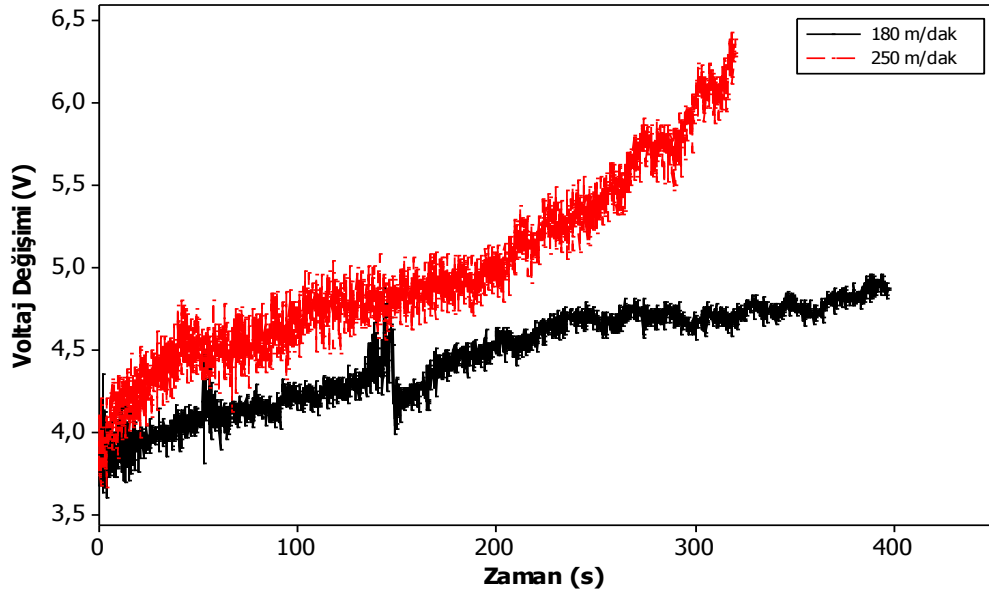
Şekil 8.5. Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin, 250 m/dak kesme hızı, 0.12 mm/dev ilerleme hızı ve 0.2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan tornalama işlemi süresince CBN kesici uçta oluşan aşınmanın SEM resmi

Şekil 8.5’de görüldüğü gibi; CBN kaplı kesici ucun kesme bölgesinde belirgin derecede kırılma ve kopmalar meydana gelmiş, kesici uç üzerinde kesilen malzeme kalıntısı olarak az oranda sıvanmalar gözlenmiştir. Sıvanan malzemeler kesici üzerinden ayrılana kadar işlenen parça yüzeyinde arzu edilmeyen yüzey özelliklerinin oluşmasına neden olmaktadır. Parça yüzeyindeki bu kısımlar grafikte voltaj düşmesi olarak görülmektedir.

8.2. Farklı Kesme Parametreleri Kullanılarak CBN Kesici Takımlarla Yapılan Kesme Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

8.2.1. 0.04 mm/dev ilerleme hızında oluşan aşınmaların karşılaştırma sonuçları

Şekil 8.6’de 180 ve 250 m/dak’lık sabit kesme hızları ve 0.04 mm/dev ilerleme hızında CBN kesici uçlarla yapılan kesme deneyleriyle elde edilen kesici uç aşınmalarında karşılaştırmasında en iyi sonuç, 180m/dak’lık sabit kesme hız parametresinin kullanıldığı kesici uçta elde edilmiştir. Her iki deneyde de başlangıçtan itibaren kesme işleminin sonuna kadar voltaj değerinde artma görülmüştür.



Şekil 8.6. Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin, 180 ve 250 m/dak kesme hızı, 0.04 mm/dev ilerleme hızı ve 0.2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan tornalama işleminde kesici takımların aşınmalarının karşılaştırılması

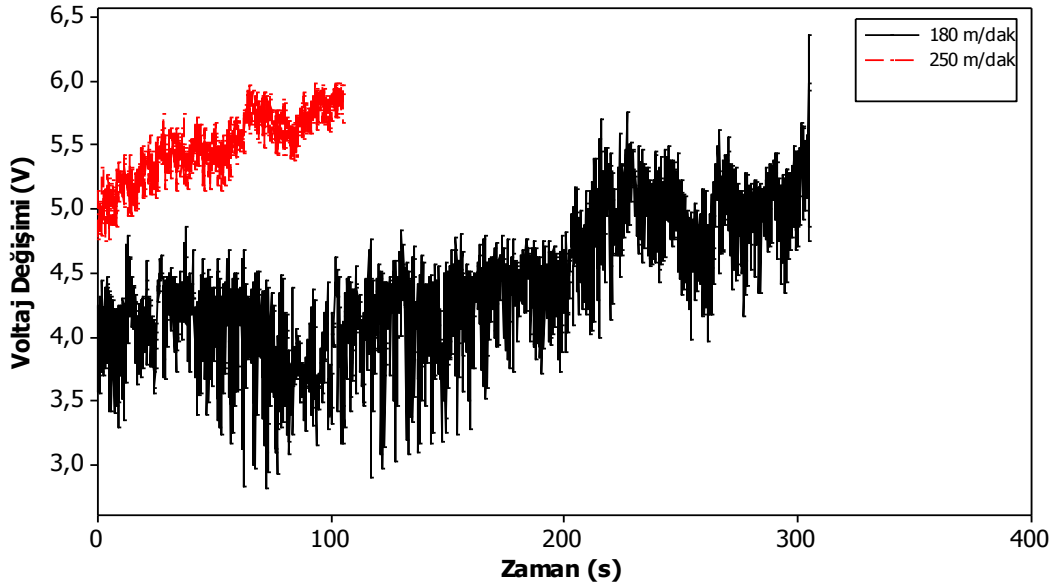
Ancak, bu karşılaştırmada enbüyük voltaj değişimi, 250 m/dak'lık sabit kesme hızı ve 0.04 mm/dev ilerleme hızında kullanılan CBN kesici uçla yapılan kesme deneylerinde elde edilmiştir. Bu durum Şekil 8.6' da verilen grafite de görülmektedir.

İki deneyden elde edilen grafiklerden de görüleceği gibi kesmenin sonlarına doğru voltaj değerlerindeki artış başlangıç evresindeki artışa oranla daha az olarak gerçekleşmiştir. Yapılan tornalama testlerinin tamamında az yada çok görülen bu durum, kesicide oluşan radyüse bağlı olarak aşınmanın bu evrede azalması ve kesmenin kararlı bir hale gelmesindendir.

8.2.2. 0.08 mm/dev ilerleme hızında oluşan aşınmaların karşılaştırma sonuçları

Şekil 8.7'de görüldüğü gibi; CBN kesici uçlarda ilerleme hızının 0.08 mm/dev'e yükselmesi ile, başlangıçta görülen ve düşük aşınma oranına işaret eden voltaj pikini takip eden kesici takımında oluşan mikro kırık ve kopmaların oluşması nedeniyle ortaya çıkan voltajda artma görülmüş ve aşınma zamanla azalarak kararlı hale geçme eğilimi göstermiştir. 0.08 mm/dev'de yapılan deneylerde kullanılan kesici uçlarda 0.04mm/dev kullanılan uçta olduğu gibi aşınma, mikro kırık ve kopmaların süreklilik arz etmesi nedeniyle, zamanla azalarak kararlı aşınma sürecine geçme eğilimi göstermiştir.

Şekil 8.7'de 180 ve 250 m/dak'lık sabit kesme hızları ve 0.08 mm/dev ilerleme hızında CBN kesici uçlarla yapılan kesme deneyleriyle elde edilen kesici uç aşınmalarında en iyi sonuç, 180 m/dak'lık sabit kesme hız parametresinin kullanıldığı kesici uçta elde edilmiştir.



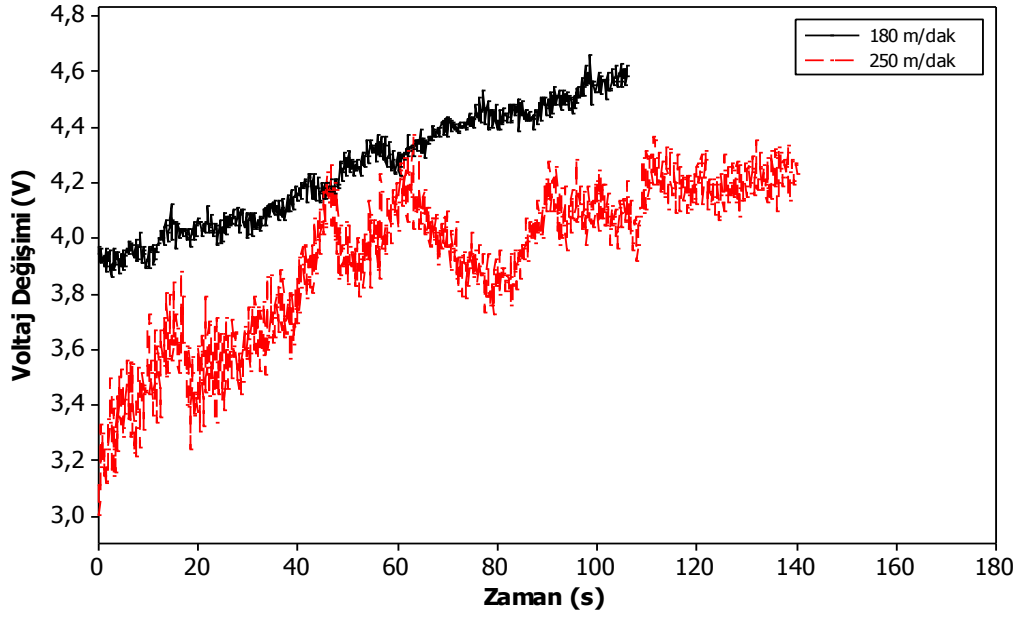
Şekil 8.7. Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin, 180 ve 250 m/dak kesme hızı, 0.08 mm/dev ilerleme hızı ve 0.2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan tornalama işleminde kesici takımların aşınmalarının karşılaştırılması

8.2.3. 0.12 mm/dev ilerleme hızında oluşan aşınmaların karşılaştırma sonuçları

CBN kesici uçlarla en yüksek ilerleme hızı olarak seçilen 0.12 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme ve aşındırma işlemlerinde; CBN kesici uça, başlangıç evresindeki hızlı voltaj artışının hemen ardından bu evrede takım ucunda oluşan mikro düzeydeki kırılmalar nedeniyle voltajdaki artma yavaşlamakta ve dolayısıyla takımdaki aşınma düzeyide azalmaktadır. Bunu takip eden süre içerisinde kesici uça radius oluşması ve kesici uçtaki pürüzlülüğün azalması ile aşınma dahada azalmakta ve kesme işleminin sonlarına doğru zamanla kararlı hale gelmektedir.

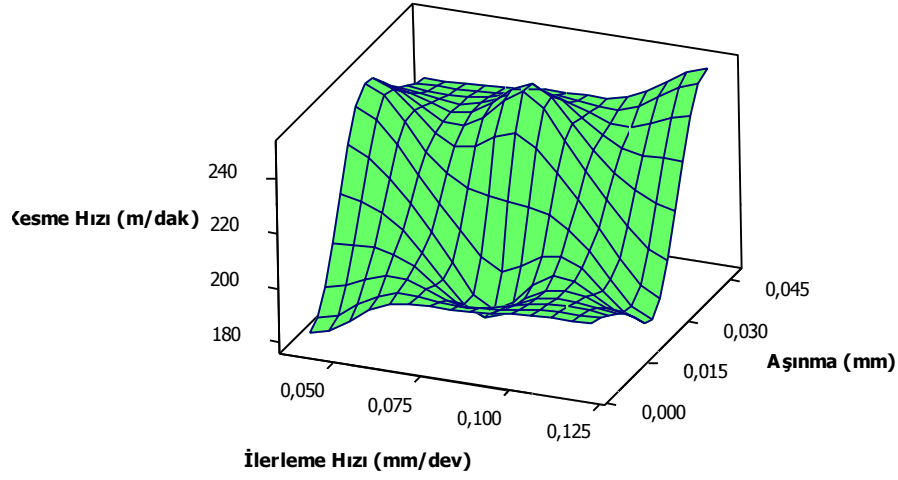
Şekil 8.8’de 180 ve 250 m/dak’lık sabit kesme hızları ve 0.12 mm/dev ilerleme hızında CBN kesici uçlarla yapılan kesme deneyleriyle elde edilen kesici uç

aşınmalarında birbirine yakın sonuçlar elde edilmiş olup, 250m/dak'lık sabit kesme hızında elde edilen aşınma değerine göre 180m/dak'lık sabit kesme hız parametresinde kullanılan kesici uçta oluşan aşınma değerinin daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 8.8. Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin, 180 ve 250 m/dak kesme hızı, 0.12 mm/dev ilerleme hızı ve 0.2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan tornalama işleminde kesici takımların aşınmalarının karşılaştırılması

Deneylerde kullanılan kesme parametrelerinin aşınma ilişkisi, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesici uç aşınmasının bir arada verildiği üç botlu grafiksel gösterim ise Şekil 8.9'da verilmiştir.



Şekil 8.9. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesici uç aşınması ilişkisinin üç boyutlu grafiksel gösterimi

8.3. Varyans Analizi

Deney faktörlerinin, deneydeki katkı değişkenliğini analiz etmede yarar sağlayan varyans analizi çalışmada kullanılmıştır.

Tablo 8. 1. Kesici uç aşınması için varyans analizi

Kaynak	Kareler toplamı	Df	Kareler Ortalaması	Var. Comp.	Yüzde
TOPLAM (DÜZELTİLMİŞ)	0,00104593	5			
Kesme Hızı m/dak	0,000592297	1	0,000592297	0,000159629	58,46
İlerleme Hızı mm/dev	0,000453637	4	0,000113409	0,000113409	41,54

Tablo 8.1’de gösterildiği üzere yapılan çalışmada, kesici uç aşınmasında değişimi etkileyen en büyük faktör kesme hızı olarak belirlenmiştir. Kesme hızının, kesici uç aşınması değişim varyansı % 58,46 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, sert malzemelerin CBN kesici takımlarla işlenmesinde, aşınma üzerine yapılacak çalışmalarda optimum kesme koşullarının belirlenmesinde kullanılacak en etkin parametre kesme hızı olacaktır.

Kesici uç aşınmasının tespiti için yapılan 6 deneyin ortalaması, her bir faktörün seviyelerinin ortalaması ve standart sapması Tablo 8.2’de gösterilmektedir.

Tablo 8.2. Kesici uç aşınmasının istatistiksel özeti

			<i>Standart</i>
<i>Seviye</i>	<i>Sayma</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Sapma</i>
BÜYÜK ORTALAMA	6	0,0254453	0,0144633
Kesme Hızı m/dak			
180	3	0,0155097	0,0107428
250	3	0,0353809	0,0105551
İlerleme Hızı mm/dev			
0,04	1	0,0037884	
0,08	1	0,017854	
0,12	1	0,0248868	
0,04	1	0,026232	
0,08	1	0,0329816	
0,12	1	0,0469292	

9. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; Sandvik firmasından temin edilen CBN 7025 kesici uçların farklı kesme parametreleri kullanılarak sertleştirilmiş AISI 4340 çelik numunelerin CNC torna tezgâhında tornalanması işleminde aşınma davranışları belirlenmiştir. Kesici uçlarda oluşan aşınmalar taramalı elektron mikroskopunda (SEM) görüntülenmiştir. Kesici uçların, yaklaşık 52 HRC sertleştirilmiş düşük alaşımlı AISI 4340 çelik üzerinde kesme performansları, on-line izleme teknikleriyle aşınmaya karşı gösterecekleri direnç belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan araştırma ve incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- 1- CBN kesici ucun kesme bölgesinde belirgin derecede kırılma ve kopmalar meydana gelmiş, kesici uç üzerinde kesilen malzeme kalıntısı olarak sıvanmaların oluşması dikkati çekmiştir.
- 2- Kesme işlemlerinde en büyük aşınmanın, sırasıyla kesici takımın burun kısmı ile kesici kenarında gerçekleştiği belirlenmiştir. Kesme işlemi süresince kesme bölgesinde ortaya çıkan ısının büyük bir kısmı talaşla bu bölgeden atılırken; kesici takımın talaş yüzeyine sürekli olarak teması sonucunda, takım yüzeyi ile sürekli yüksek sıcaklıkta akan talaşın birbirine temas ettiği bölgede, renkte bir değişimin (tufallaşmanın) yanı sıra az da olsa bir aşınmanın da meydana geldiği tespit edilmiştir.

3- Kesici takımın üzerinde keskin kenarla yapılan kesme işlemi, işlenen parça yüzeyinin o kısmında temiz ve parlak bir yüzey vermiş; oluşan bu parlak yüzey ise ışığı daha iyi yansıttığından foto diyot çıkışından alınan voltajın değerinde yükselmeye neden olmuştur. Yani, kesmenin başında minimum bir aşınma söz konusu iken, işlem süresince takım ucunda mikro kopma ve kırıkların ortaya çıkması ile birlikte takımdaki aşınma artarak devam etmiştir. Bu da voltaj değerinde yükselmeye neden olmuştur bu durum on-line izleme sisteminde voltajdaki artışla kendini belli etmektedir. İlerleyen safhalarda kesici uçta radyus oluşması, aşınma ve kopmanın azalması ve kararlı kesme periyoduna geçilmesi nedenleriyle voltajda önemli bir değişiklik olmamıştır.

4- Kesici uçlarla yapılan kesmelerde; seçilen tüm parametrelerde, aşınma gittikçe artan oranlarda bir süreklilik göstermiş ve bu durum daha sonra işlemin son evresine kadar devam etmiştir. En büyük aşınma etkisi, deneylerin başlangıç evresinde görülmüştür.

5- Tüm deneylerde elde edilen işlenmiş malzeme yüzeyi ve kesici uç ömrü açısından en iyi sonuç, en düşük ilerleme hızında yapılan kesme işlemlerinde elde edilmiştir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda öneri olarak;

1- Kesme esnasında kendiliğinden oluşan radyus, takım üzerinde farklı boyutlarda oluşturularak, yapılan bu işlemin ucun aşınma ömrünü nasıl değiştirdiği araştırılabilir.

2- İşlenecek malzeme, çalışmada kullanılan malzemedan daha farklı bir malzemedan seçilerek, uçların kesme performansları maliyet etkeni de dikkate alınarak, belirlenebilir.

3- Kesme esnasında oluşan kuvvetlerin büyüklüğü ve değişimleri belirlenebilir.

4- Kesme esnasında ortaya çıkan sıcaklığın değişimi ve kesici takım aşınmasına olan etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Sobiecki, J.R., Mankowski, P., Patejuk, A., Improving the performance properties of valve martensitic steel by glow discharge-assisted nitriding, Vacuum 76, 2004, pp. 57-61.
- [2] Günay M., Yücel E., Application of Taguchi method for determining optimum surface roughness in turning of high-alloy white cast iron, Measurement, 2012.
- [3] Bartarya G., Choudhury S.K., Effect of cutting parameters on cutting force and surface roughness during finish hard turning AISI52100 grade steel, 5th CIRP Conferance on High Performans Cutting, 2012.
- [4] Poulachon et al., 2001 G. Poulachon, A. Moisan, I.S. Jawahir Tool wear mechanisms in hard turning with PCBN tools Wear, 250 (2001), pp. 576–586.
- [5] Huddle, D., New Hard Turning Tools and Techniques Offer a cost-effective Alternative to Grinding, Tooling and Production Magazine, 2001.
- [6] Y. Sahin, Comparison of tool life between ceramic and cubic boron nitride (CBN) cutting tools when machining hardened steels, Journal of Materials Processing Technology, 2009.
- [7] Derakhshan, E. D., Akbari, A. A., Experimental Investigation on the Effect of Workpiece Hardness and Cutting Speed on Surface Roughness in Hard Turning With CBN Tools, World Congress On Engineering 2009.
- [8] <http://www.hembrug.com/Hard-turning-services.html>
- [9] Y. Sahin, Comparison of tool life between ceramic and cubic boron nitride (CBN) cutting tools when machining hardened steels, Journal of Materials Processing Technology, 2009.
- [10] Yang W. H., Tarng Y.S., Desing optimization of cutting parameters for turning operations based on Taguchi method, Journal of Metarials Processing Technology, 1998.

- [11] Günay M., Yücel E., Application of Taguchi method for determining optimum surface roughness in turning of high-alloy white cast iron, *Measurement*, 2012.
- [12] Y. Sahin, A.R. Motorcu, Surface roughness model in machining hardened steel with cubic boron nitride cutting tool, *Int. J. Refract. Met. Hard*, 26 (2008), pp. 84–90
- [13] K. Bouacha, M.A. Yallese, T. Mabrouki, J.F. Rigal Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool *Int. J. Refract. Met. Hard*, 28 (3) (2010), pp. 349–361
- [14] B.M. Gopalsamy, B. Mondal, S. Ghosh, Taguchi method and ANOVA: an approach for process parameters optimization of hard machining while machining hardened steel, *J. Sci. Ind. Res. India*, 68 (8) (2009), pp. 686–695.
- [15] E. Aslan, N. Camuşcu, B. Birgören, Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRC) with $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiCN}$ mixed ceramic tool, *Mater. Des.*, 28 (2007), pp. 1618–1622.
- [16] Akkurt, M., Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998, pp. 18-42.
- [17] José C. Camargo, Dany Sanchez Dominguez, Emmanuel O. Ezugwu, Álisson R. Machado, Wear model in turning of hardened steel with PCBN tool, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Volume 47, November 2014, Pages 61–70.
- [18] Shihab S. K., Khan Z. A., Mohammad A., Siddiquee A. N., Optimization of surface integrity in dry hard turning using RSM, *Sadhana*, October 2014, Volume 39, Issue 5, pp 1035-1053.
- [19] Bartarya G., Choudhury S. K., Influence of machining parameters on forces and surface roughness during finish hard turning of EN 31 steel, *Journal of Engineering Manufacture*, 2014.
- [20] Grzesik, W., The role of coatings in controlling the cutting process when turning with coated indexable inserts, *Journal of Materials Processing Technology* 79, 1998, pp. 133-143.
- [21] Yih-fong, T., Parameter design optimisation of computerised numerical control turning tool steels for high dimensional precision and accuracy, *Materials and Design* 27, 2006, pp. 665-675.
- [22] Bayram H., Octagonal Ring Dinometresi ile üç farklı malzemede kesme kuvvetlerinin incelenmesi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998.

- [23] Çakan A., AISI 1070 çeliğinden üretilen işlemsiz, yüzey işlemlili ve sert yüzey kaplamalı kesici takımların mekanik özelliklerinin, Mikro yapı ve kesme performanslarının incelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [24] Groover M. P., Fundamentals of Modern Manufacturing 3rd edition, 2010.
- [25] Bruins, D.H., Drager, H.J., Çeviren; Dincmen, Mç, Werkzeuge und werkzeugmaschinen fur die spanende Metallbearbeitung, Carl Hanser Verlag, Viyana, 1995.
- [26] Akkurt, M., Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsan Yayınevi, İstanbul, 1992.
- [27] Thomas, J., Drazda, P.E., Tool and Manufacturing Engineers Handbook, USA, 1976.
- [28] Kirk, J.A., Matrix representation and prediction of three dimensional cutting forces, Journal of Engineering for Industry, Transactions of ASME, 1977.
- [29] Sellars, C.M., Whiteman, M., , The Metallurgist and Materials Technologist, 1974, 6 (10) 441.
- [30] Ramesh, C. S., Seshadri, S. K., Iyer, K. J. L., A Survey of Aspects of Wear of Metals, Indian Journal of Technology, Vol. 29(4), 1991, pp. 179-185.
- [31] Zumgahr, K. H., Microstructure and Wear of Materials, Tribology Series, Vol. 10, Elsevier, 1987, pp. 560.
- [32] Topbaş, M.A., , Endüstri malzemeleri II, Prestij Yayıncılık, İstanbul 1993, pp. 219-229.
- [33] Çakan, A., Yıldırım, M.M., Yüksek krom-nikelli AISI 304 ostenitik paslanmaz çeliğin aşınma davranışları, 9. Denizli Malzeme Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 2002, pp. 524-530.
- [34] Topbaş, M.A., Endüstri malzemeleri II, Prestij Yayıncılık, İstanbul, 1993, pp. 219-229.
- [35] Yıldız T., GÜR A.K., Aşınma Sistemleri, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 2006, sayfalar 86-91.
- [36] Koç, R., “Vagon Boji Bagalarına Alternatif Polimer Malzemelerin Deneysel İncelenmesi”, Doktora Tezi (yayımlanmamış), SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2004, pp. 121-142.
- [37] İpek, R. ve Karamış, M.B., Aşınma test yöntemleri ve gelişmeler, Mühendis ve Makina, 40, Ankara, 1999, pp. 469.

- [38] Korkut, M.H., Paslanmaz eliklerin mikro yapısı ve aşınma üzerine karbür yapıcı elementlerin etkileri, Fırat Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elâzığ 1997, sayfa 127.
- [39] Keleştimur, M.H., “Makine Yapı eliklerinde Abrasif Aşınma Direncine Yüzey Sertliğine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, (1989).
- [40] Boness, A.J., McBride, S.L., Adhesive and abrasive wear studies using acoustic emission technique, Wear, 149, 1991, pp. 41-53.
- [41] Choudhury, S.K., Jain, V.K., Rama Rao, Ch.V.V., On-Line monitoring of tool wear in turning using a neural network, International Journal of Machine Tools and Manufacture 39, 1999, pp. 489-504.
- [42] www.keytometals.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=91
- [43] Groover, M.P., A survey on the Machinability of Metals, SME Technical Paper, (1976), 82.
- [44] Cakir, M., C., Bayram, Ali., Isık, Y., Salar, B., The effects of austempering temperature and time onto the machinability of austempered ductile iron, Materials Science and Engineering, Volume 407, 25 October 2005, Issues 1-2, Pages 147-153.
- [45] Schneider G., Cutting Tool Applications, Chapter 3, Machinability of Metals, Page 2-3, 2008.
- [46] Davim JP. Machining of Hard Materials, London; 2011.
- [47] Tönshoff HK, Arendt C, Ben Amor R, Cutting of hardened steel, Ann CIRP 2000; 49: 547-66.
- [48] Kolcke F, Brinksmeier E, Weinert K, Capability profile of hard cutting and grinding processes, Ann CIRP 2005; 54:557-80.
- [49] Gaitonde VN, Karnik SR, Figueria L, Davim JP. Machinability investigations in hard turning of AISI D' cold work tool steel with conventional and wiper ceramic inserts, Int J Refract Met Hard Mater 2009;27:754-63.
- [50] Gaitonde VN, Karnik SR, Figueria L, Davim JP. Analysis of machinability during hard turning of cold work tool steel (Type: AISI D2). Mater Manuf Process 2009;24:1373-82.
- [51] Sharma VS, Dhiman S, Sehgal R, Sharma SK, Estimation of cutting forces and surface roughness for hard turning using neural networks. J Intell Manuf 2008;19:473-83.

- [52] Byrne G, Dornfeld D, Denkane B. Advancing cutting technology, *Ann CIRP* 2003;52(2):483-507.
- [53] Klocke F, Brinskmeier E, Weinert K, Capability profile of hard cutting and grinding processes, *Ann CIRP* 2005;54(2):557-80.
- [54] Aouici H, Yallese M. A, Chaoui K, Mabrouki T, Rigal J. F, Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool: Prediction model and cutting conditions optimization, *Measurement* 45;2012:344-53.
- [55] G. Lima, R.F. Ávila, A.M. Abrao, M. Faustino, J.P. Davim, Hard turning: AISI 4340 high strength alloy steel and AISI D2 cold work tool steel, *Journal of Materials Processing Technology* 169 (3) (2005) 388–395.
- [56] T. Ozel, T.K. Hsu, E. Zeren, Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 25 (2005) 262–269.
- [57] M.A. Federico, T. Coelho Reginaldo, C. Brandao Lincoln, Turning hardened steel using coated carbide at high cutting speeds, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 30 (2) (2008) 104–109.
- [58] N. Mandal, B. Doloi, B. Mondal, R. Das, Optimization of flank wear using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) cutting tool: Taguchi method and regression analysis, *Measurement* 44 (2011) 2149– 2155.
- [59] Cakan A, Real-time monitoring of flank wear behavior of ceramic cutting tool in turning hardened steel, *International Advanced Manufacturing Technology*, 2011;52:897-903.
- [60] Choudhury SK, Jain VK, Rama Rao ChVV, On-line monitoring of tool wear in turning using a neural network. *Int J Mach Tools Manuf* 39, 1999, pp. 489–504.
- [61] Çakan, A., Yıldırım. M.M., Investigation of tribologic behaviours of cutting tools produced from surface hardened AISI 1070 steel, *Proceedings of 11th International Materials Symposium, 2006, Denizli/Türkiye.*
- [62] Grzesik, W., Experimental investigation of the cutting temperature when turning with coated indexable inserts, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 39, 1999, pp. 355-369.

