

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI 4140 ÇELİK MALZEMENİN
İŞLENMESİNDE SERAMİK KESİCİ TAKIMDA OLUŞAN
AŞINMANIN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALPER ÖZCAKCIOĞLU

BOLU, TEMMUZ - 2016

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI 4140 ÇELİK MALZEMENİN
İŞLENMESİNDE SERAMİK KESİCİ TAKIMDA OLUŞAN
AŞINMANIN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALPER ÖZOCAKCIOĞLU

BOLU, TEMMUZ - 2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

Alper ÖZOCAKCIOĞLU tarafından hazırlanan “SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI 4140 ÇELİK MALZEMENİN İŞLENMESİNDE SERAMİK KESİCİ TAKIMDA OLUŞAN AŞINMANIN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 06.06.2016 tarihinde Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
DOÇ. Dr. Ahmet ÇAKAN

Üye
Prof. Dr. Fatih EVRENDİLEK

Üye
Prof. Dr. Ali Naci ÇELİK

İmza

.....

.....

.....

.....

Prof. Dr. Duran KARAKAŞ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Saygı Değer Hocam,
Sevgili Ailem
Ve
Canım Eşime**

ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Alper ÖZCAKCIOĞLU

ÖZET

**SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI 4140 ÇELİK MALZEMENİN İŞLENMESİNDE
SERAMİK KESİCİ TAKIMDA OLUŞAN AŞINMANIN İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ALPER ÖZOCAKCIOĞLU
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. AHMET ÇAKAN)**

BOLU, TEMMUZ - 2016

İmalat sanayinde kullanılan kesici takımlarda meydana gelen aşınmaların değerlendirilmesi, üretim maliyetleri açısından büyük öneme sahiptir. Gelişen tezgah teknolojisi ile beraber malzemeler çok yüksek kesme ve ilerleme hızlarında işlenebilmektedir. Kesici takımın aşınmaya karşı göstereceği davranışların bilinmesi, maliyet analizi için bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu çalışmada, seramik kesici takım ile sertleştirilmiş AISI 4140 (51-53 HRC) çeliği üzerinde sertleştirilmiş malzemelerin tornalanması yöntemi ile kesme işlemi gerçekleştirilmiş, farklı kesme parametreleri için kesici takımın aşınmaya karşı gösterdiği davranışlar On-line izleme yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çalışmalar, 150 ve 180 m/dak kesme hızında, 0,04, 0,08, 0,12 mm/dev ilerleme hızlarında ve 0,2 mm kesme derinliğinden oluşan kesme parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların çoklu ortalamaları, varyans analiz (ANNOVA) yöntemi ile birbirlerinden anlamlı derecede farklı bulunmuş ve belirlenen deney koşulları için, ilerleme hızı parametresi, kesici takım uç aşınmasında en önemli faktör olarak belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Seramik Kesici Takımlar, Sert Tornalama, AISI 4140 Çeliği, On-Line İzleme Yöntemi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF FLANK WEAR OF CERAMIC CUTTING TOOL DURING THE MACHINING OF HARDENED AISI 4140

MSC THESIS

ALPER ÖZOKACIOĞLU

**ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. AHMET ÇAKAN)**

BOLU, JULY 2016

The financial assessment of the abrasion occurring in the cutting tools which are used in the manufacturing industry has a great importance in terms of production costs. With the development in CNC machine technology, materials can be processed at very high cutting speeds. Therefore, estimation of the behaviors of the cutting tool, which results in abrasion, has become a necessity in order that production costs are determined. In this work, ceramic cutting tools were used during the hard turning processes of hardened AISI 4140 steel (51-53 HRC). Behaviors of the cutting tool that are shown against the abrasion were monitored with on-line monitoring method for different cutting parameters.

These experiments were made in 150 and 180 m/min cutting speeds, 0.04, 0.08 and 0.12 mm/rpm feed rate and 0.2 mm depth of cut. The effectiveness of cutting parameters was investigated in the wear of cutting tool. The multiple averages of results obtained by the method of variance analysis (ANNOVA) were found significantly different from each other. For the determined experimental conditions, the parameter of the feed rate was obtained as the most important factor that affects the wear of cutting tool.

KEYWORDS: Ceramic Cutting Tools, Hard Turning, Hardened AISI 4140 Steel, On-Line Monitoring System.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xii
TEŞEKKÜR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR	4
3. TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİNİN ESASLARI.....	7
3.1 Talaş Kaldırma Mekanizması.....	7
3.1.1 Kesintili Talaş	9
3.1.2 Sürekli Talaş	10
3.1.3 Yığma Kenarlı Sürekli Talaş	10
3.1.4 Testere Dişi Şekli Talaş.....	11
3.2 Talaş Kaldırmaya Etki Eden Faktörler	12
3.2.1 Talaş Geometrisi	13
3.2.2 Kesme Hızı	15
3.2.3 Kesme Kuvveti	15
3.2.4 Kesme İşleminde Oluşan Isı	16
3.2.5 Kesici Takımın Aşınması.....	17
3.2.6 Kesici Takım Ömrü	18
4. AŞINMA.....	19
4.1 Aşınmada Etkili olan Temel Faktörler	20
4.1.1 Esas Malzeme	20
4.1.2 Karşı Malzeme	20
4.1.3 Ara Malzeme.....	20
4.1.4 Yük.....	20
4.1.5 İzafi Hareket	20
4.1.6 Ortam	21
4.2 Oluş Mekanizmaları Açısından Aşınmanın Sınıflandırılması.....	21
4.3 Aşınma Mekanizmaları	22
4.3.1 Adhesiv Aşınma.....	22
4.3.2 Abrasiv Aşınma	23
4.3.2.1 Malzeme karakteristiklerinin Abrasiv Aşınmaya Etkileri.....	24
4.3.3 Korozyon Aşınma.....	25
4.3.4 Termik Aşınma	25
4.3.5 Yorulma Aşınması	25
4.4 Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri	26

4.4.1	Ağırlık Farkı Metodu	27
4.4.2	Kalınlık Farkı Metodu	28
4.4.3	İz Değişim Metodu	28
4.4.4	Akustik Emisyon Tekniği ile Aşınmanın Ölçülmesi (AET).....	29
4.4.5	On-line İzleme Yöntemi	29
5.	SERTLEŞTİRİLEBİLİR ALAŞIMLI ÇELİKLER	30
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
6.1	Kesme Koşullarının Belirlenmesi.....	33
6.2	İş Parçası.....	33
6.3	Kesici Uç	33
6.4	Deney Metodu	34
6.5	On-line İzleme Yöntemi	35
6.6	Sertleştirilmiş Parça Tornalama İşlemleri	36
7.	DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE ANALİZLERİ.....	38
7.1	Seramik Kesici Uçların Aşınma Deney Sonuçları	38
7.1.1	0,2 mm lik Sabit Kesme Derinliği 150 m/dak Kesme Hızı, 0,04, 0,08 ve 0,12 mm/dev İlerleme Hızlarında Yapılan Tornalama Testlerinde Keramik Kesici Takım Aşınması	38
7.1.2	0,2 mm lik Sabit Kesme Derinliği 180m/dak Kesme Hızı, 0,04, 0,08 ve 0,12 mm/dev İlerleme Hızlarında Yapılan Tornalama Testlerinde Keramik Kesici Takım Aşınması.....	41
7.2	Farklı Kesme Parametreleri kullanılarak Keramik Kesici Takımlarla Yapılan Kesme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	44
7.2.1	0,04 mm/dev İlerleme Hızında Oluşan Aşınma Sonuçlarının Karşılaştırılması	44
7.2.2	0,08 mm/dev İlerleme Hızında Oluşan Aşınma Sonuçlarının Karşılaştırılması	45
7.2.3	0,12 mm/dev İlerleme Hızında Oluşan Aşınmaların Karşılaştırma Sonuçları	46
7.3	Varyans Analizi	47
8.	GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER	50
9.	KAYNAKLAR.....	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Tornalama işlemi	2
Şekil 3.1	Takım modeli ve ortogonal kesme.....	8
Şekil 3.2	Kayma ve deformasyonun gösterimi	9
Şekil 3.3	Kesintili talaş tipi	9
Şekil 3.4	Sürekli talaş tipi	10
Şekil 3.5	Yığma kenarlı sürekli talaş tipi	11
Şekil 3.6	Testere dişi şekilli talaş tipi	11
Şekil 3.7	Kesici takım geometrisi	12
Şekil 3.8	Kesici takım geometrisi üst görünüm	13
Şekil 3.9	Kesmede kesme kuvveti	16
Şekil 3.10	Kesme işleminde oluşan ısı.....	17
Şekil 4.1	Aşınma mekanizmaları	21
Şekil 4.2	Adhesiv aşınma	22
Şekil 4.3	Abrasiv aşınma	23
Şekil 4.4	Korozif aşınma.....	25
Şekil 4.5	Yağlamalı yağlamasız adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri (Tabur,2003).....	26
Şekil 4.6	Çeşitli abrasiv maddeler ile malzemelerin aşınmasının araştırılmasında kullanılan deney yöntemleri (Tabur, 2003).	27
Şekil 6.1	Süreçte izlenen işlem sırası.....	32
Şekil 6.2	Kesici uç geometrisi.....	34
Şekil 6.3	Deney düzeneği.....	35
Şekil 6.4	On-line izleme sistemi şematik gösterim	36
Şekil 7.1	Sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin 150 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 takımda oluşan aşınmaya karşılık zaman voltaj değişim grafiği.	39
Şekil 7.2	150 m/dak ve 0,04 mm/dev ilerleme hızında seramik kesici takımın üzerinde meydana gelen aşınmaları gösteren SEM resmi.	41
Şekil 7.3	Sertleştirilmiş AISI 4140 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 takımda oluşan aşınmaya karşılık zaman voltaj değişim grafiği	42
Şekil 7.4	180 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme hızında seramik kesici takımın üzerinde meydana gelen aşınmaları gösteren SEM resmi.....	43
Şekil 7.5	Sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin, 150 ve 180 m /dak kesme hızı, 0,04 mm/dev ilerleme hızı ve 0,2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde kesici takım aşınmalarının karşılaştırılması	44
Şekil 7.6	Sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin, 150 ve 180 m /dak kesme hızı, 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 0,2 kesme derinliği kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde kesici takım aşınmalarının karşılaştırılması.....	45
Şekil 7.7	Sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin, 150 ve 180 m /dak kesme hızı, 0,12 mm/dev ilerleme hızı ve 0,2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde kesici takım aşınmalarının karşılaştırılması	46

Şekil 7.8 Farklı kesme parametreleri arasındaki ilişkinin 3 boyutlu grafiksel gösterimi	47
---	----



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Kesici takım malzemeleri yaklaşık olarak ilk kullanım tarihleri ve kabul edilebilir kesme hızları	4
Tablo 6.1 Kesici uç özellikleri	33
Tablo 6.2 Kesici uç özellikleri	34
Tablo 6.3 Deneylerde kullanılan kesme parametreleri	37
Tablo 7.1 Tek yönlü Anova analizi 150 m/dak ($p < 0.001$; veri boşluğu sayısı: 5564).....	48
Tablo 7.2 Tukey çoklu karşılaştırma analizi 150 m/dak	48
Tablo 7.3 Tek yönlü Anova analizi 180 m/dak ($p < 0.001$; veri boşluğu sayısı: 5564).....	48
Tablo 7.4 Tukey çoklu karşılaştırma analizi 180 m/dak	49
Tablo 7.5 Kesici uç aşınmasına etki eden faktörlerin analizi.....	49

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

HT	: Hard Turning (Sert Tornalama)
AE	: Akustik Emisyon
Df	: Serbestlik Derecesi
SD	: Standart Sapma
KT_{düz}	: Düzeltilmiş Kareler Toplamı
KO_{düz}	: Düzeltilmiş Kareler Ortalaması
<i>n</i>	: Örneklem Büyüklüğü



TEŞEKKÜR

Ülkemiz gençlerinin aydınlık bir geleceğe sahip olabilmeleri adına bizleri üniversitemiz ile buluşturan Bolu ilimizi birbirinden farklı eserleriyle taçlandıran, ömrünü memleketine hizmet etmeye adanmış, büyük vefa sahibi merhum İzzet BAYSAL’a ve çok değerli vakfına bizler için gerçekleştirmiş olduğu tüm hizmetler adına teşekkürü ve kendisini bir kez daha rahmetle anmayı bir borç bilirim.

Yüksek lisansa başladığım ilk günden, tez çalışmamın tamamlanmasına kadar, bilgi ve tecrübesini öğrencileri ile paylaşmayı ilke edinmiş saygı değer hocam Doç. Dr. Ahmet ÇAKAN’ a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarımızın uygulama sürecinde, bizlerle her türlü imkanını paylaşan ve üniversiteler ile sanayinin birlikteliğini sonuna kadar desteklemiş/destekleyen Yeni Öztürk Kalıp firmasının sahibi değerli büyüğüm sayın Mehmet ÖZTÜRK’e, beraber çalıştığım çok değerli büyüğüm USX-RAY Röntgen A.Ş. Genel Müdürü sayın İsmet TANES’e ve analiz çalışmalarında benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Fatih EVRENDİLEK’e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında ve her zaman yanımda olan Elektrik Elektronik Müh. kardeşim Akın ÖZOCAKCIOĞLU’na, sevgili eşim Ayşegül ÖZOCAKCIOĞLU’ na ve bugüne gelmemde büyük desteği olan sevgili annem ve babama en içten dileklerimle teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Günümüz imalat teknolojisinde, çeşitli fiziksel ve kimyasal etkiler ile özellikleri iyileştirilebilen yüksek teknoloji ürünü malzemeler ile sanayi maliyetlerini düşürebilmek her zaman araştırmacıların en temel hedeflerinden 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 bu optimum büyüklüklerden hareket edilerek, malzemelerin değişik amaçlar için üstün bir verimle kullanılabilirliği mümkün olabilmektedir (Sobiecki vd., 2004).

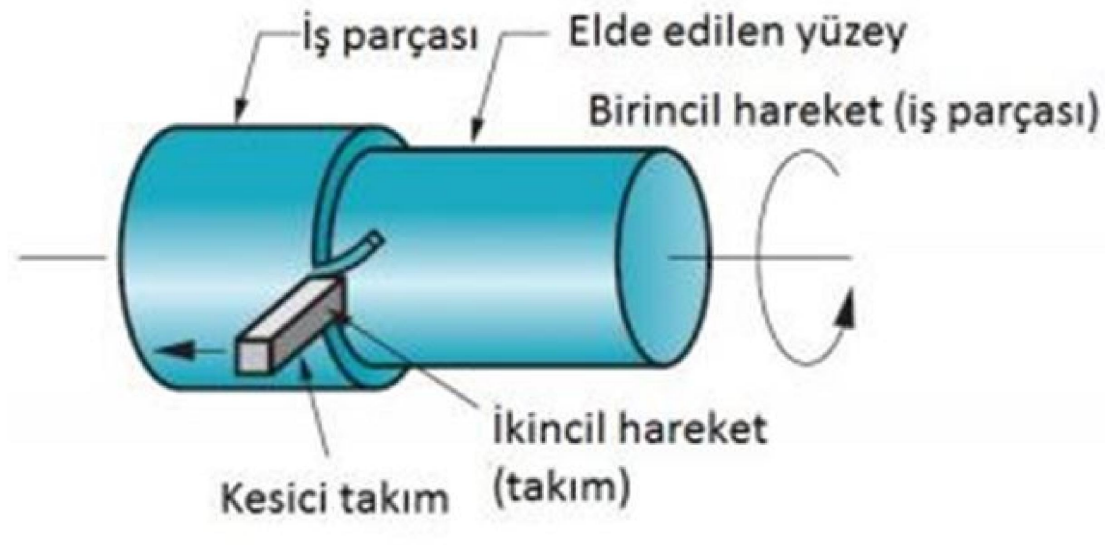
Makine malzemeleri seçilirken; hammaddenin kolay ve ucuz temin edilmesi, ürünün mümkün mertebe kaliteli olması, kendisinden istenecek bazı mekanik ve kimyasal özellikleri büyük ölçüde sağlaması, standartlara az çok uygunluğu ve özellikle ısı işlemleriyle özelliklerinin değiştirilip geliştirilebilmesi istenir (Yıldırım vd., 2001). Sertleştirilmiş çelikler gibi ısı işlemleriyle özellikleri değiştirilen malzemeler sahip oldukları yüksek aşınma dirençleri ve dayanımları ile imalat sektöründe birçok uygulamada tercih edilmektedir. Ancak geleneksel kesici takımlar, bu malzemelerin işlenmesi sırasında kesme boyunca oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı hızlı bir şekilde aşınmaktadır. Takımlarda meydana gelen hasara bağlı olarak uygulamada yaklaşık %20 zaman kaybının meydana geldiği, kesici takım ve değiştirme maliyetlerinin toplam üretim maliyetinin %3 ile %12 arasında yere sahip olduğu raporlanmıştır (Kurada ve Bradley, 1997; Castejon vd., 2007).

Seramik kesici takımlar benzersiz kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir ve bu takımlar; daha fazla talaş kaldırma oranları, uzun takım ömrü ve paslanmaz çelik, sertleştirilmiş çelik gibi sert iş parçası malzemelerini işleyebilme olanağı sağlarlar.

Kırılma direnci, tokluk, termal şok dayanımı, sertlik ve aşınma direnci gibi mikroyapı mühendisliği tarafından kesici takım özelliklerinde yapılan geliştirmeler, seramik takımlar ile değişik türde çelikler, dökme demir, demir olmayan metaller, ısı dirençli nikel alaşımlar gibi malzemelerin yüksek hızlarda işlenebilmesine imkan

verir. Seramik kesici takımların kullanılmasının avantajı, karmaşık şekilli sert malzemelerin bir adımda işlenebilmesi ve sert tornalama işlemi ile taşlama işlemi kalitesinde yüzey elde edilmesidir (Senthil vd., 2006).

Yüksek sertlikteki malzemeler geleneksel olarak son geometrilerine taşlama işlemi ile getirilirler. Bu işlem sırasında yüksek kesme hızına bağlı olarak kaliteli yüzey elde edilmektedir. Ancak sert tornalama, taşlama ile karşılaştırıldığında; parça üzerinden daha fazla talaş kaldırma, işlem süresinin daha kısa olması, kesme sıvısının bazı durumlarda kullanılmaması, karmaşık geometrili parçaların kolaylıkla işlenmesi ve işlenmiş parçalarda basma tipinde kalıcı gerilmeler oluşturması gibi üstünlüklere sahiptir. Sertleştirilmiş parçaların tornalama ile işlenmesi, parçalarda yüksek seviyede basma tipinde kalıcı gerilmenin oluşmasına yol açmaktadır. Tornalama süresince parça üzerinde oluşan bası gerilmesi, parçanın yorulma ömrünü önemli derecede arttırmaktadır (Boy vd., 2012).



Şekil 1.1 Tornalama işlemi

HT işlemi düşük kesme derinliklerinde 45 HRC' den daha fazla sertliğe sahip malzemelerin tornalanması olarak tanımlanmaktadır (Ucun ve Aslantaş, 2009). Tornalama işlemi, ısıl işlemden sonra sertleştirilmiş çeliklerin, talaş kaldırma işleminden sonra yüksek yüzey kalitesi amaçlayan bir işlem süreci olarak kabul edilir (Groover, 1996).

HT işlemi ile üretilen parçalarda ulaşılan yüzey kalitesi, taşlama işlemiyle üretilenlerle karşılaştırılabilecek kalitededir (Cakan, 2006). HT yöntemi, taşlama işleminin uzun işlem süresi, çevreyi kirletici özelliği ve yüksek başlangıç maliyetinden dolayı endüstride rulmanların, hareket ileten millerin, aksların, kalıp malzemelerinin ve çeşitli motor ekipmanlarının imalatında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Zhou vd., 2003, 2004).

Bu çalışmada, imalat sektöründe geniş bir kullanım alanı olan AISI 4140 çeliği iş parçası olarak kullanılmıştır. AISI 4140 çeliği ısıtılma işlemiyle 51-52 HRC sertlik değerine ulaştırılmıştır. Kesici uç olarak, sinterlenmiş alüminyum oksitlerden oluşan, özellikle ekonomik maliyeti ile imalat sektöründe tercih sebebi olan Seramik kesiciler kullanılmıştır. Gerçekleştirilen HT işlemi sırasında kesici uçta oluşan aşınma araştırmacılar tarafından tasarlanıp üretilen on-line izleme sistemi vasıtasıyla tornalama işlemi süresince kesintisiz olarak izlenmiş bu sayede farklı kesme parametrelerinin kesici takım aşınmasına etkileri araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR

Günümüze kadar yapılan bilimsel çalışmalarda; kesici uç malzemelerinin performans özellikleri, mümkün olan optimizasyon sınırları içerisinde genişleyen ölçüde belirlenmeye çalışılmaktadır. Endüstrinin talep ettiği özelliklerde kesici takımların üretilmesi, kesici takım malzemelerinde sağlanan gelişmelere bağlı olarak gerçekleşmektedir. Konvansiyonel kesici takım malzemelerinin sahip oldukları düşük kesme hızlarının üretimde yetersiz kalması, karbür, seramik ve Kübik Bor Nitrür (CBN) gibi aşınmaya karşı dirençli, yüksek kesme hızına sahip, yeni nesil kesici takım malzemelerinin bulunmasına yol açmıştır. 1900' lü yılların başlarında seramik esaslı malzemeler kesici uç olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda özellikleri daha iyi olan alümina esaslı seramiklerin kırılmaya karşı daha dirençli olduğu keşfedilmiş ve kesici uç olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kesici takımların ilk kullanım tarihleri ve kabul edilebilir kesme hızları Tablo 2.1'de verilmiştir (Ucun ve Aslantas, 2009).

Tablo 2.1 Kesici takım malzemeleri yaklaşık olarak ilk kullanım tarihleri ve kabul edilebilir kesme hızları

Kesici Uç Malzemesi	İlk Kullanılma Tarihi	Müsaade Edilen Kesme Hızı (m/dak.)
Karbon Çeliği - Çelik olmayan malzemeler - Çelik Malzemeler	1800	>10 >5
Yüksek Hız Çeliği - Çelik olmayan malzemeler - Çelik Malzemeler	1900	25-65 17-33
Kobalt Döküm Alaşımı - Çelik olmayan malzemeler - Çelik Malzemeler	1915	50-200 33-100
Sementit Karbür - Çelik olmayan malzemeler - Çelik Malzemeler	1930 1940	330-650 100-300
Sermet (TiC) Çelik Malzemeler	1950	165-400
Seramik (Al ₂ O ₃) Çelik Malzemeler	1955	330-650
Yapay elmas Çelik Olmayan malzemeler	1954,1973	390-1300

Aşınma direnci, takımın kesici kenarına etki eden faktörlere (mekanik, termal, kimyasal ve abrasiv) takımın dayanma kabiliyetidir. (Sandvik Coromant, 1996). Takım aşınması, iş parçasının takım ile temas ettiği yüzeylerinde meydana gelen, takım malzemesinin aşamalı kaybı olarak tanımlanır (Konig ve Essel, 1975). Kesici takım, kesme işlemi sürecinde, farklı aşınma mekanizmaları ile karşılaşmaktadır. Bunlar, abrazyon, adhezyon, difüzyon, yorulma ve kimyasal aşınmalardır (Altintas, 2000). Tipik aşınma durumları, bu aşınma çeşitlerinin, birden fazlasını içerebilir. Serbest yüzey aşınması olarak da belirtilen kesici kenar aşınması, takım aşınma durumunun ölçülmesinde kullanılan en genel değişkendir (Cakan, 2006).

Makine parçalarının kalitesini geliştirmek, üretim zamanını düşürmek ve maliyetlerini azaltmak amacıyla, araştırmacılar tarafından 1980'lerden bu zamana, kesici takım aşınmasını izleyen sistemler üzerine geniş kapsamlı çalışmalar yapılmıştır (Byrne vd., 1995).

Kesici takım aşınmasını izlemek için doğrudan ve dolaylı ölçme yöntemleri kullanılmaktadır. Takım durumunu izleme (TCM) yaklaşımları, kesici takımın geometrik parametrelerini ölçen optik ve görüntü yöntemleridir. Doğrudan ölçme yapılan yöntemler, kesme sürecinde takımda gerçekleşen aşınmanın doğrudan belirlenmesini amaçlamaktadır. Kesme işleminde, takım ile iş parçası arasında sürekli temasın olması, kesme bölgesinde talaşın ve soğutma sıvısının varlığı yöntemin uygulanmasını zorlaştırmaktadır.

Dolaylı ölçme yöntemleri ise akım, sensör sinyalleri vb. ile kesici takımda oluşan aşınma durumlarının ilişkilendirilmesini esas almaktadır. Bu yöntemlerde, takımın aşınma durumu ölçülebilir sinyal özelliklerinden yararlanılarak değerlendirilmektedir. Kesme işlemi sırasında sensör sinyallerinden yararlanarak takım aşınmasını izlemişlerdir (Dimla, 2000; Cakan vd., 2015). Krishnakumar vd.,(2015), titanyum alaşımının yüksek hızlarda işlenmesi sırasında, kesici takımda meydana gelen aşınmayı titreşim sinyallerinden yararlanarak belirlemeye çalışmışlardır. Houshmand vd., (1995), akustik emisyon sinyallerini kullanarak kesici uçta meydana gelen aşınmanın durumunu tespit etmeye çalışmışlar, benzer şekilde Srinivasa ve Ramakrishna (2002), akustik emisyon sinyalleri üzerinde analizler gerçekleştirmişlerdir. Ghosh vd., (2007), çeşitli algoritmalar geliştirilerek

besleme motorundan alınan sinyallerden yararlanarak kesici takımda meydana gelen aşınma durumunu gerçek zamanlı olarak incelenmişlerdir. Benzer bir çalışmayı Sulaiman vd., (2005) gerçekleştirmiş, kesici takım durumunu online izlemede elektrik gücünü kullanmışlardır. Dilma ve Lister (2000), kesme kuvvetinin dik bileşenlerinin ve titreşim sinyallerinin karşılıklı olarak ölçüldüğü deneysel bir yöntem gerçekleştirerek, birbirini takip eden frekans bölgesi analizleri ile elde edilen sinyallerin takım aşınması ile doğrudan ilişkisini ortaya koymuşlardır. Oldukça karmaşıklık içeren kesme prosesinde kesici takımlarda oluşan aşınmaların belirlendiği çalışmalar ile ilgili özellikle yüzey kalitesi, uygun kesme parametreleri, kesici takım geometrisi, takım aşınması ve takım ömrü, kesme kuvvetleri ve modellenmesi gibi konularda karşılaştırmalı araştırmalar da yapılmıştır. Lin ve Liao (2008), CBN kesici takım ile AISI 4140 (50-59 HRc) çeliğinin 58 m/dak-180 m/dak kesme hızı aralıklarında sert tornalama işlemini gerçekleştirmiş, 80 m/dak kesme hızında takım ömrünün en yüksek değere ulaştığını belirtmişlerdir.

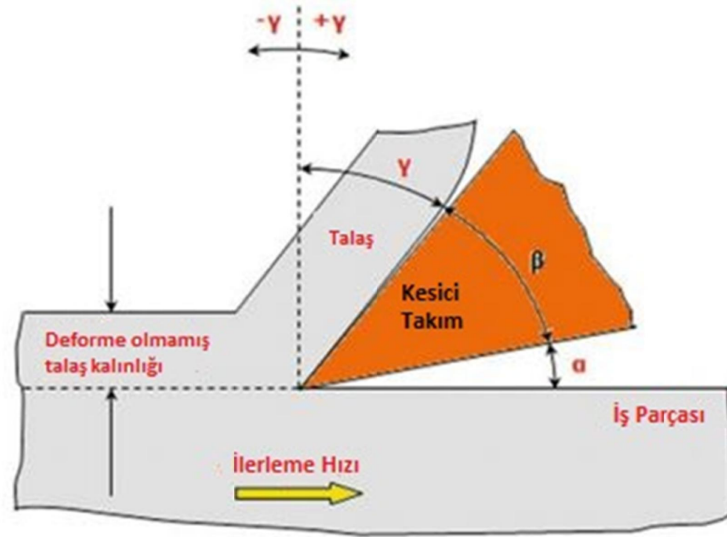
On-line izleme yöntemi ile kesici takımdaki aşınma yaklaşık % 94 doğrulukta tespit edilebilmektedir (Chodhury ve diğ., 1999; Cakan, 2006).

3. TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİNİN ESASLARI

Talaş kaldırma; ucu keskin bir takım ile parça üzerinden malzeme kaldırma işlemidir. Bu işlemde kaldırılan malzemeye talaş denilir (Akkurt, 1998). Talaş kaldırma işleminin meydana gelmesinde, takım ile parça arasındaki hareketler, takım ucunun geometrisi ve bazı kesme işlemlerinde kesici uç sayısı belirleyicidir. Talaş kaldırma işlemi takım ile iş parçası arasında meydana gelen, birbiriyle ilişkili hareketlerin sonucunda gerçekleşir. Bu hareketler kesme, ilerleme ve ayar olmak üzere üç farklı hareket türünden oluşur. Genellikle kesme hareketi dönen veya doğrusal, ilerleme ve ayar hareketi ise doğrusal hareketlerdir. Talaş kaldırma işlemi sırasında tanımlanan bu hareketlerin, iş parçası veya kesici takım tarafından yapılması çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini meydana getirmektedir. Bu yöntemler tornalama, frezeleme, delme, planyalama, vargelleme ve taşlama olmak üzere beş farklı şekilde sıralanabilir (Cakan, 2006).

3.1 Talaş Kaldırma Mekaniği

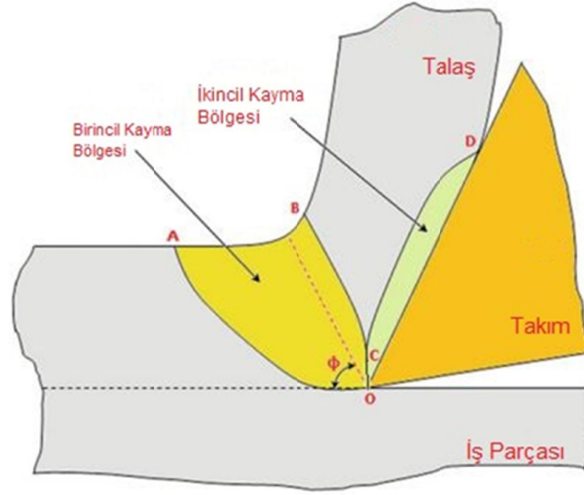
Talaş kaldırma; istenilen amaca uygun olarak iş parçasının belirli bir boyut, şekil ve yüzey kalitesi kazanması için, amaca göre biçimlendirilmiş bir kesici takım ile kuvvet kullanarak işlenmesidir. İşlem sırasında iş parçasının yüzeyinden ayrılan malzemeye talaş denir. Talaşın oluşumu elastik ve plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği karmaşık bir fiziksel durumdur (Cakan, 2006). Ayrıca süreç sırasında meydana gelen sürtünmeler, ısı oluşumu ve kesici takım aşınması diğer açığa çıkan etmenlerdir. Talaş kaldırma olayını incelemek için kama şeklinde bir kesme ağzından meydana gelen ve Şekil 3.1'de gösterilen bir takım modeli oluşturulur. Talaş kaldırma, kesici kenarda talaşın oluşturulduğu bölgeden alınan düzlemsel kesit ile açıklanır. Bu takım ile talaş kaldırma işlemine ortogonal kesme denir.



Şekil 3.1 Takım modeli ve ortogonal kesme

Şekilde görüldüğü üzere, kesme hız vektörü takımın kesme kenarında diktir. İş parçasından daha sert bir malzemeden imal edilen takım belirli bir kuvvet ile parça üzerinde hareket ederken temas noktasında meydana gelen gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda talaş iş parçasından ayrılır. Parçadan ayrılan talaş takımın talaş yüzeyi denilen yüzeyinden akar. Bu işlemlerin sonucunda oluşan talaşın biçimi, parça malzeme özellikleri ve işleme koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Talaşlı imalat süreci ile ortogonal kesme modeli arasında farklılıklar vardır. Kesme işleminde, kayma deformasyonu bir düzlem boyunca değil, Şekil 3.2’ de gösterildiği gibi ince bir kayma bölgesinde meydana gelmektedir. Kaymanın gerçekleştiği bu bölgenin kalınlığının küçük olması nedeniyle, uygulamada bu bölge düzlem olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3.2 Kayma ve deformasyonun gösterimi

Diğer bir farklılık ise, talaş tipinin iş parçasının malzemesine ve kesme koşullarına bağlı olarak değişmesidir. Dört farklı talaş tipi tanımlanmıştır.

3.1.1 Kesintili Talaş

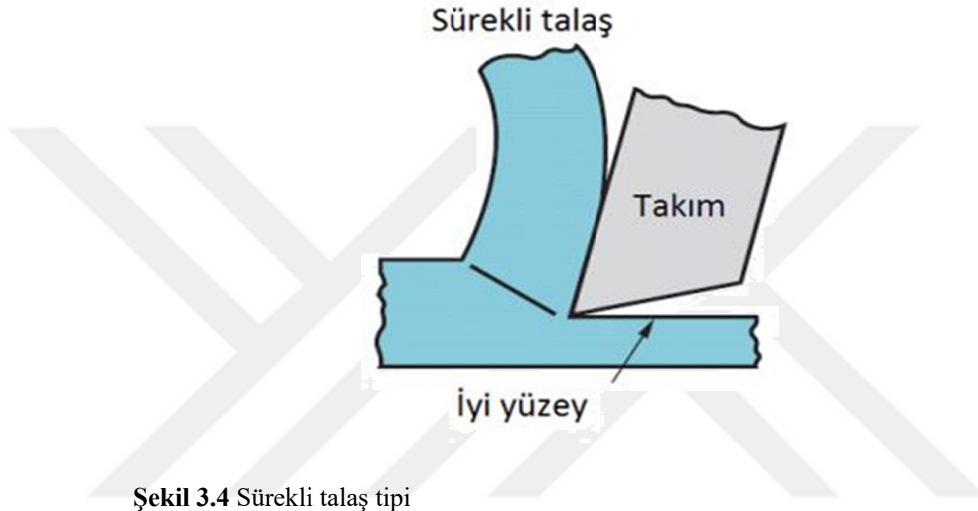
Gevrekliği yüksek malzemeler düşük kesme hızlarında işlendiğinde talaşın parça parça oluştuğu talaş tipidir Şekil 3.3. Bu süreçte işlenen parça yüzeyinde düzensiz doku oluşumu meydana gelir. Takım ile iş parçası arasında oluşan yüksek sürtünme, ilerleme ve pasonun fazla oluşu talaşın bu şekilde oluşmasına katkı sağlar.



Şekil 3.3 Kesintili talaş tipi

3.1.2 Sürekli Talaş

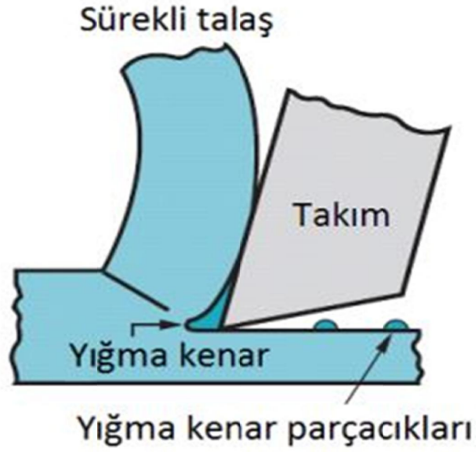
Sünek malzemeler yüksek kesme hızlarında ve düşük ilerleme hızlarında işlendiğinde uzun sürekli talaş oluşur Şekil 3.4. Bu talaş formu ile iyi bir yüzey kalitesi elde edilir. Talaş ile talaş yüzeyi arasındaki sürtünmenin az olması bu formda talaş oluşmasına izin verir ancak bu durum tornalama sırasında talaşın tahliye edilmesi ve talaşın takıma sarması gibi problemlere neden olur. Bu problemler talaş kırıcı takım donanımları ile önlenabilir.



Şekil 3.4 Sürekli talaş tipi

3.1.3 Yığılma Kenarlı Sürekli Talaş

Sünek malzemeler orta veya düşük kesme hızları ile işlendiğinde takım-talaş sürtünmesi yeni yüzeye yapışan talaş parçacıklarına neden olur. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi bu talaş parçalarının yüzeye yapışmasının artarak devam etmesi sonucunda yığılma kenarları oluşarak belirli aralıklarla kopar ve yüzey kalitesini olumsuz etkiler (Groover, 2010).



Şekil 3.5 Yığılma kenarlı sürekli talaş tipi

3.1.4 Testere Dişi Şekilli Talaş

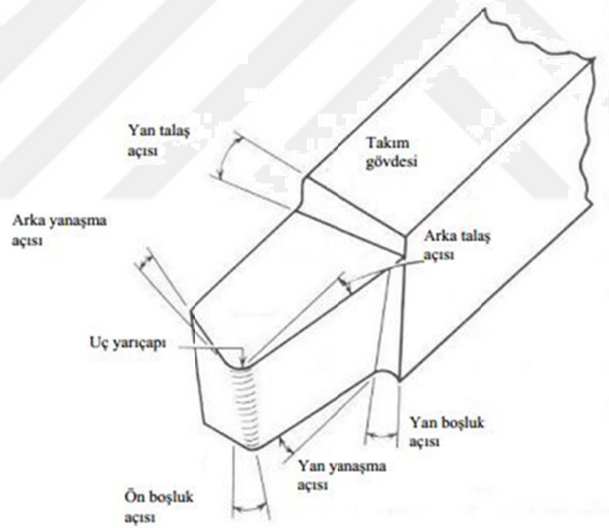
Sürekli testere dişi talaş oluşumunda oluşan çatlak parça yüzeyine doğru ilerler. Şekil 3.6’ da görüldüğü gibi sürekli olan kısmı takım tarafından desteklenir ve talaş kırılmadan uzun süre devamlılığını korur. Görünümünden dolayı testere dişi adını alan yarı sürekli talaşlardır. Bu talaş tipi genellikle, talaşlı imalatı zor olan titanyum alaşımları, nikel esaslı alaşımlar ve östenitik paslanmaz çelikler gibi metallerin yüksek kesme hızlarında işlenmesinde ortaya çıkar (Groover, 2010).



Şekil 3.6 Testere dişi şekilli talaş tipi

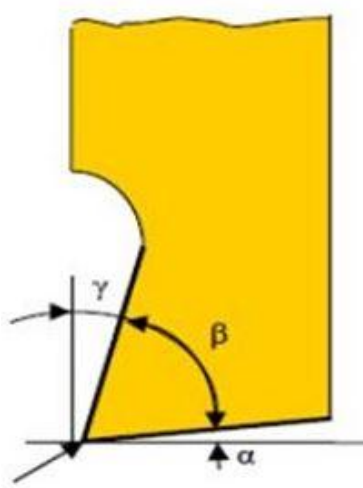
3.2 Talaş Kaldırmaya Etki Eden Faktörler

Talaşlı kesme işlemlerinde, kesme işleminin etkin bir şekilde gerçekleşebilmesi için kesici takım, uygun bir geometriye sahip olmalıdır. Kullanım yerlerine göre kesici takımlar birbirlerinden çok farklı görünümlere sahip olmalarına rağmen, tek noktadan kesme işlemi yapan ve çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar olmak üzere iki kısma ayrılırlar. Tornalama işlemlerinde genellikle tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar kullanılır. Bununla birlikte, bütün talaşlı imalat işlemlerinde talaş oluşum mekanizması temelde aynı olduğu için tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar, genelde çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar ile aynıdır. Şekil 3.7’de tek noktadan kesme işlemi yapan bir kesici takımın perspektif görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.7 Kesici takım geometrisi

Şekil 3.7’ de perspektif görünüşü verilen kesici takıma üstten bakacak olursak Şekil 3.8’ de ki görüntüye benzer bir görünüm elde ederiz.



Şekil 3.8 Kesici takım geometrisi üst görünüm

Kesici uç ağzı yada diş olarak adlandırılan kısım, bütün kesici takımlarda aynı özelliği gösterir. Talaşın temas ettiği , parçanın işlenmiş yüzeyine dönük serbest yüzey ile sınırlıdır. Kesici ucun talaş açısı (γ), kama açısı (β) ve serbest açısı da (α)'dır. Bu açılar arasında

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (3.1)$$

bağıntısı vardır.

3.2.1 Talaş Geometrisi

Talaş kaldırma olayı teoride kesme bölgesine dayanmaktadır. Şekil 3.2'de gerçek kayma bölgeleri temsili olarak gösterilmiş ve kayma bölgesinin kalınlığının çok küçük olması sebebiyle bu bölgenin pratikte bir düzlem olarak kabul edildiğinden bahsedilmiştir. Kesme düzlemine dayanan talaş kaldırma teorisine ince bölge teorisi adı verilir ve bu teori talaş kaldırma mekaniğini üzerine önemli çalışmalar yapmış M. E. Merchant tarafından geliştirilmiştir.

Bu teoriye göre kesici takım iş parçası üzerinden belirli bir doğrultuda talaşı kaldırırken, talaşın parça üzerinden ayrıldığı yere kesme düzlemi denir. Şekil 3.9'da görüleceği üzere, kesme yüzeyi, kesme yönü ile (ϕ) açısına sahiptir. Kesme işlemi

sırasında iş parçasında ayrılacak olan talaşın boyutları genişlik için (b) ve kalınlık için (h) ile ifade edilebilir.

Metal tabakasının talaşa dönüşmesi sırasında meydana gelen plastik şekil değiştirmeler nedeniyle, talaş genişliği aynı kalmasına karşın talaş kalınlığındaki bir artış görünürken (h kalınlığı h' olur), talaşın uzunluğunda ise bir büzülme oluşmaktadır (L boyu L' olur) (Groover, 2010).

Kaldırılacak tabaka hacmi kaldırılan talaş hacmine eşit olacağına göre;

$$V = b.l.h = b.l'.h' \quad (3.2)$$

bağıntısından,

$$\lambda = \frac{h}{h'} = \frac{l}{l'} \quad (3.3)$$

oranı elde edilir. Aradaki (ϕ) açısı dikkate alınır aşağıdaki bağıntılar elde edilebilir.

$$h = A.B.\sin(\phi) \quad (3.4)$$

$$h' = A.B.\cos(\phi - \gamma) \quad (3.5)$$

$$\lambda = \frac{h}{h'} = \frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi - \gamma)} \quad (3.6)$$

$$\tan(\phi) = \frac{\lambda.\cos(\gamma)}{1 - \lambda.\sin(\gamma)} \quad (3.7)$$

$$\tan(\phi) = \frac{\cos(\gamma)}{\lambda - \sin(\gamma)} \quad (3.8)$$

Pratik hesaplamalarda talaş boyutları h (kalınlık) ve b (genişlik) olarak ifade edilir ve bu boyutlara göre talaş kesiti;

$$A_s = b.h \quad (3.9)$$

olur.

3.2.2 Kesme Hızı

Talaş kaldırma işleminde kesici takım, kesme yönünde V hızı ile ilerlerken, iş parçasından ayrılan talaş ise (V_T) hızı ile uzaklaşır. Bu iki hız vektörünün bileşkesi V_R , talaş kaldırma hızını meydana getirirler. Talaşta meydana gelen büzülmeden dolayı V_T hızı, V hızından küçük olacaktır.

$$\frac{V_T}{V} = \frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi-\gamma)} \quad (3.10)$$

$$V_T = V\lambda \quad (3.11)$$

Kesme hızı parametresi, kesme işlem süresini ve maliyetini doğrudan etkileyen bir faktördür. Kesme hızının belirlenmesinde ise, işlenecek malzeme türü, kullanılacak kesici uç ve biçimi gibi etkenler belirleyici olmaktadır.

3.2.3 Kesme Kuvveti

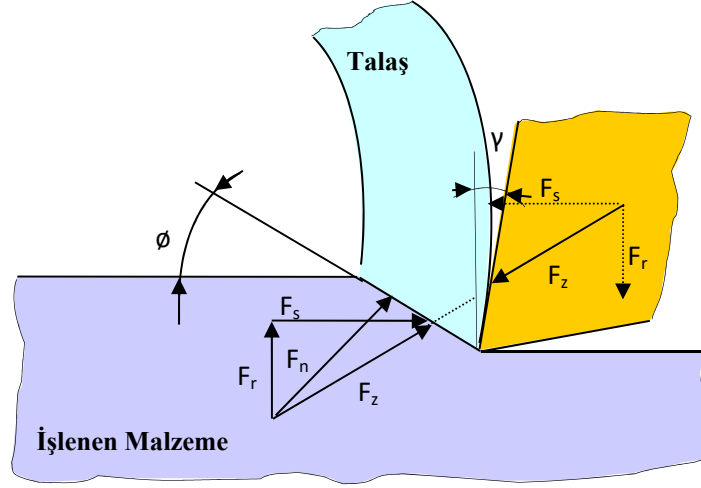
Kesme düzlemindeki kuvvetler; kesme kuvveti, takım ile talaş ve takım ile iş parçası arasındaki sürtünme kuvvetlerinden oluşmaktadır. Düzlem boyunca yayılmış bu kuvvetler, kesme düzleminin ortasında veya takımın ucuna uygulanan tek bir kuvvet olarak gösterilebilir. Bu durumda talaş kaldırma kuvveti; kesme kuvveti (F_s), bu kuvvete dik yönde radyal kuvvet (F_r), kesme düzleminde makaslama kuvveti (F_k) ve bu yöne dik basma kuvveti (F_b), sürtünme kuvveti (F_f) ve bunu oluşturan normal kuvvet (F_n) parametreleri etkili olmaktadır (Cakan, 2006).

$$\mu = \frac{F_f}{F_n} = \tan(\rho) \quad (3.12)$$

$$F_k = A_k \cdot \tau_k \quad (3.13)$$

$$A_k = hb/\sin(\phi) \quad (3.14)$$

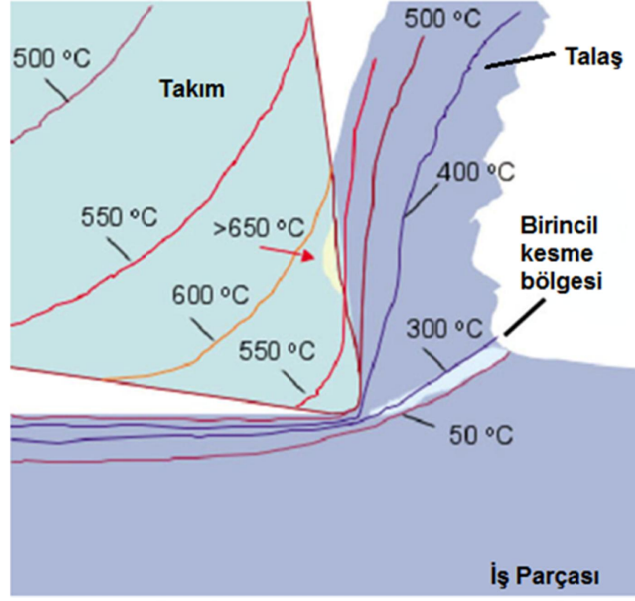
$$F_s = hb \cdot \tau_k \frac{\cos(\rho-\gamma)}{\sin(\phi)\cos(\phi+\rho-\gamma)} \quad (3.15)$$



Şekil 3.9 Kesmede kesme kuvveti

3.2.4 Kesme İşleminde Oluşan Isı

Kesme işlemlerinde meydana gelen sürtünmelerden dolayı açığa çıkan ısı faktörünün etkisi ile kesici takımda aşınmalar meydana gelmektedir. Açığa çıkan ısının önemli bir bölümü dışarı atılırken, geri kalan bölümünün bir kısmı (%3-%10) iş parçasına, (%10-%40) bölümü ise kesici takıma geçerek kesici takımın ısınmasına neden olur. Oluşan ısı sonucu sıcaklık artışı kesici takım performansını ve iş parçası kalitesini etkiler. Bu durum doğrudan kesici takımın ömrüne etki ederken, kesme işlemi sırasında kullanılan kesme sıvısı, ısının kesici takım üzerindeki olumsuz etkilerini önlemek açısından önemli bir faktördür.



Şekil 3.10 Kesme işleminde oluşan ısı

Kesme hızındaki artış ile talaşla birlikte ortamdan ayrılan ısı artışı doğru orantılıdır. Şekil 3.10’da görüldüğü gibi işlem sırasında meydana gelen en yüksek sıcaklık, takımın uç kısmına yakın talaş yüzeyinde meydana gelmektedir (Cakan, 2006).

3.2.5 Kesici Takımın Aşınması

Kesme işleminde meydana gelen sürtünmeler takım aşınmasının ana nedenini oluştururken, sürtünmeler dolayısıyla meydana gelen sıcaklık, kesici takımın aşınma direncini olumsuz yönde etkilediği için ikinci faktördür.

Sürtünme talaş ile takımın talaş yüzeyi arasında ve takımın serbest yüzeyi ile işlenen yüzey arasında meydana geldiği için, aşınmalarda genellikle bu yüzeylerde meydana gelir. Aşınma kesme işlemi boyunca sürekli olarak farklı yüzeylerde, küçük temas noktalarında yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleştiği için, birbirleri ile çalışan makina parçaları arasında meydana gelen sürtünmeden farklı özellikler gösterir. Bu nedenle kesici takım aşınmasında; adheziv, abrasiv, korozyon, termik ve yorulma aşınması gibi birçok aşınma türüne rastlamak mümkündür. Farklı yüzeylerde meydana gelen çeşitli aşınma türleri nedeni ile yüzeylerin aşınmaları da farklılık gösterecektir. Kesme işlemi sırasında gerekli tedbirler alınmaz ise, belirli bir

süre sonra kesici takımda meydana gelen aşırı aşınma işlenen parçanın yüzey kalitesini ve kesici takım ömrünü olumsuz etkileyecektir.

3.2.6 Kesici Takım Ömrü

Kesici takım ömrünü en iyi tanımlayan parametrenin, kesici takımın önceden bilinen bir aşınma değerine kadar talaş kaldırma zamanı olduğunu söyleyebiliriz. Takım ömrünü ifade eden faktörler işlemin biçimine göre farklılık gösterir; delme, vargel, planya vb. işlemlerde bu faktör işleme uzunluğu (L) iken, frezeleme de ise talaş hacmi ile ifade edilmektedir. Takımın ömrünü etkileyen en önemli faktör kesme hızıdır.

Kesme hızının takım ömrüne etkisi Taylor bağıntısı ile açıklanmaktadır.

$$V = \frac{C^t}{T^n} \quad (3.16)$$

4. AŞINMA

Aşınma mühendislik malzemelerinin birbiriyle etkileşimi sırasında bir yüzeyden diğer bir yüzeye malzeme transferi veya aşınma partiküllerinin oluşumu sonucunda ortaya çıkan malzeme kaybı olarak tanımlanabilir. DIN 50320' ye göre ise aşınma; “ kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişiklik” olarak tanımlanmaktadır (Zumgahr, 1987; Ramesh vd., 1991).

Temas halinde bulunan yüzeyler arasında malzeme kaybı; bölgesel erime, kimyasal çözünme ve yüzeyden fiziksel anlamda ayrılma ile gerçekleşirken, aşınma kapsamında daha çok fiziksel anlamda ayrılan malzemenin sebep olduğu hasarlar ele alınmaktadır.

Bütün aşınma unsurlarının sebep olduğu sistem teknikte, “Tribo Sistem” olarak isimlendirilir. Bu sistemde, ana malzeme (aşınan), karşı malzeme aşındıran, ara malzeme, yük ve hareket gibi aşınmanın temel unsurları yer alır.

Bir aşınma sistemindeki önemli etkenlerden biri de çevre şartlarıdır. Sistem elemanlarının nem ve korozyon etkileri ile karşı karşıya kalması aşınmayı hızlandırır.

Aşınma genellikle önceden bilinen bir hasar tipidir. Birbirleri ile temasta olan malzeme yüzeyleri oksit filmleri veya yağlayıcılar ile korunsalar bile, mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbirine doğrudan temasına sebep olabilir. Bu temas sonucu oluşan sürtünme malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya sebep olur. Bu hasar uygun yağlama, filtreleme, uygun malzeme seçimi ve uygun tasarım gibi faktörlerle en aza indirilebilir, fakat kesinlikle önlenemez.

4.1.1 Yük

Sistemin bütününe etki eden kuvvetlerin büyüklüğü, yönü, türü ve frekansı aşınma üzerinde etkilidir.

4.2 Aşınmada Etkili olan Temel Faktörler

4.2.1 Esas Malzeme

Sürtünme elemanının sahip olduğu kimyasal ve fiziksel özelliklerin beraberinde yüzey yapısı gösterdiği aşınma direnci ve geometrik şekli büyük önem taşıyan esas katı cisimdir.

4.2.2 Karşı Malzeme

Katı, sıvı ve gaz halinde bulunabilen karşı sürtünme elemanı olup, esas malzemeye karşı gösterdiği izafı hareket nedeniyle aşınmanın meydana gelmesinde önemli bir rol oynar.

4.2.3 Ara Malzeme

Esas malzeme ile karşı malzeme arasında bulunur. Maddenin üç fiziksel halinde yada bunların karışımı şeklinde bulunabilir.

4.2.4 İzafı Hareket

Karşı malzeme ile esas malzeme arasındaki hareketin farkı olarak tanımlanabilir. Bu hareketlerin türü, yönü ve büyüklüğü aşınma üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

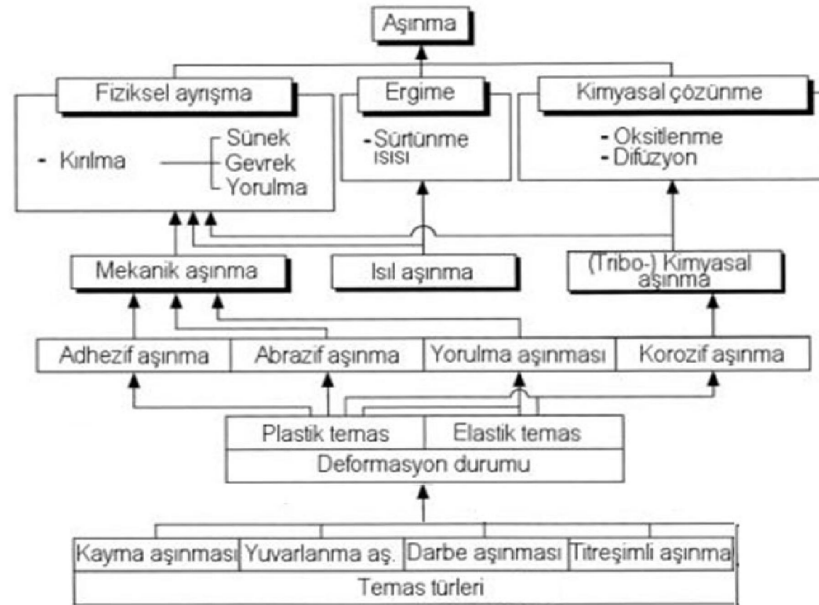
4.2.5 Ortam

Sistemin içerisinde bulunduğu ortam genellikle sıvı veya gazdan oluşur ve aşınmanın oluşmasında büyük önem taşır.

Birbiri ile temas halinde olan iki cismin gerçekte temas yüzeyi görünenden daha azdır. Çünkü temas eden parçaların yüzeyleri ne kadar ince işçiliklerle işlenirse işlensin, bu parçaların yüzeylerinde pürüz diye bilinen girinti ve çıkıntılar mutlaka bulunacaktır. Temas halinde bulunan iki cisim pürüzler vasıtası ile birbirlerine temas ederler (Cakan ve Yıldırım, 2002).

4.3 Oluş Mekanizmaları Açısından Aşınmanın Sınıflandırılması

Aşınma mekanizmaları, iki cisim arasındaki izafi hareket neticesinde oluşan sürtünme süresince gelişen kompleks değişikliklere bağlı olarak tanımlanmaktadır. Aşınma, kimyasal bozulma veya ara yüzeyde erime suretiyle mikro çatlamaya bağlı fiziksel ayrılma olarak malzemenin kaldırılması neticesinde gerçekleşmektedir (Yıldız ve Gür, 2006).



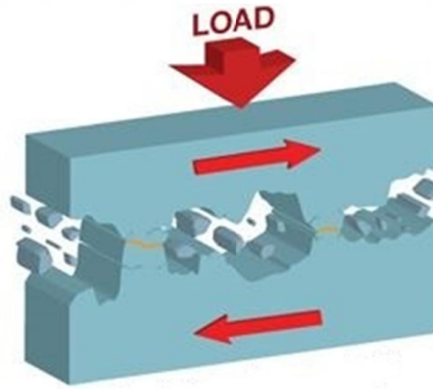
Şekil 4.1 Aşınma mekanizmaları

Mekanik, kimyasal ve ısı aşınma bakımından yapılan makroskopik sınıflandırma, aşınmanın kapsamlı bir şekilde anlaşılması ve irdelenmesi için oldukça önemlidir. Bunun sebebi, hemen hemen tüm aşınma modellerinin bu üç türde bulunmasıdır. Şekil 4.1, aşınma mekanizmalarını ve birbirleri arasındaki ilişkileri özetlemektedir.

4.4 Aşınma Mekanizmaları

4.4.1 Adhesiv Aşınma

Metal-metal aşınma çiftinde meydana gelen özellikle birbiriyle kayma sürtünmesi yapan malzemelerin meydana getirdiği bir aşınma türüdür Şekil 4.2. Birbiri üzerinde kayan yüzeylerdeki gerilmeler küçük yüklemelerle dahi akma gerilmesi sınırına, erişirler veya geçerler. Böylece temas eden metaller arasında yapışma kuvvetleri kendini gösterir. Bu nedenle bir parçadan diğerine malzeme geçişi, soğuk kaynak oluşumu ve ardından parçalardaki hareketin devamı ile küçük parça kopmaları meydana gelir.

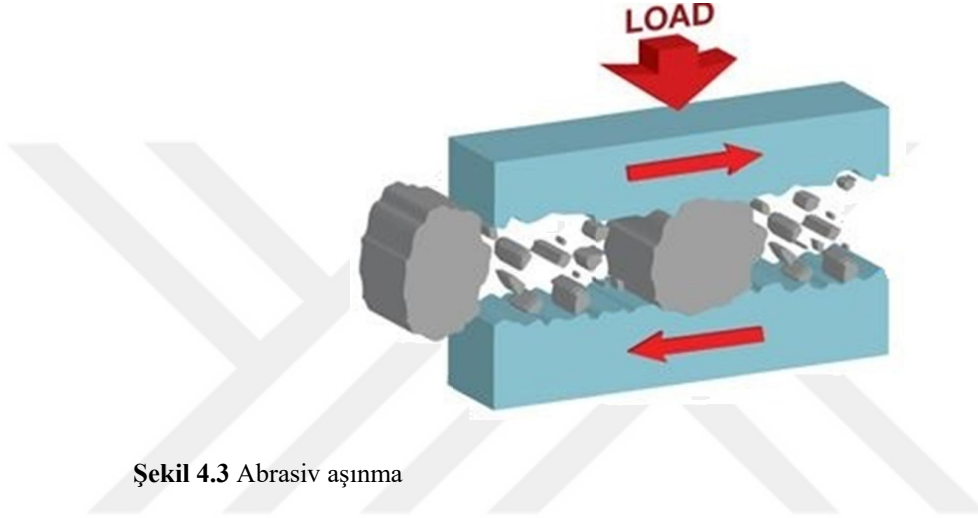


Şekil 4.2 Adhesiv aşınma

Adhesiv aşınma, en sık rastlanan aşınma türü olmasına rağmen genellikle hasarı hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhesiv aşınma metal yüzeyinin başka bir metal yüzeyindeki bağıl hareketi sırasında birbirlerine kaynamış veya yapışmış yüzeydeki pürüzlerin kırılması sonucu ortaya çıkar. Eğer iki metal aynı sertlikte ise aşınma her iki yüzeyde de oluşur. Sonuç olarak adhesiv aşınma; yüzeye etkiyen normal yük, kayma yolu ile ve aşınan malzemenin yüzey sertliği ile orantılıdır.

4.4.2 Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma, sistemlerde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da bilinir. Abrasiv aşınma; biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbiriyle temas halindeyken kayma sırasında meydana gelir. Sisteme dışardan giren toz parçacıkları veya bir motorda oluşan yanma ürünleri gibi sert parçacıkların yumuşak metale batması gibi etkiler abrasiv aşınmaya neden olur Şekil 4.3.



Şekil 4.3 Abrasiv aşınma

$$W = A \cdot d \quad (4.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte: W ; parçadan ayrılan malzemenin hacmi, d ; kayma mesafesi, A ; meydana gelen kanalın kesit alanıdır ve aşağıdaki eşitlik ile açıklanır.

$$A = k_1 p \quad (4.2)$$

Burada k_1 şekle bağlı bir sabit olup, p ise girim derinliğidir ve aşağıda eşitlik ile ifade edilir.

$$p = k_2 \frac{L}{H} \quad (4.3)$$

Burada L yükü ifade ederken, H malzeme sertliğidir. k_2 parametresi kesme aralığına bağlı bir sabittir.

Yukarıda verilen eşitliklerin kombine edilmesiyle;

$$W = k_3 \frac{Ld}{H} \quad (4.4)$$

Archard denklemi olarak bilinen eşitlik elde edilir. Bu ilişki gerçekte adhesiv aşınma için türevlenseda abrasiv aşınma için de doğruluğu ispatlanmıştır (Ekberg vd., 1997).

Yukarıdaki denklemden de anlaşılacağı üzere, abrasiv aşınma hızı malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırılması sırasında daha az iz bırakması sağlanır.

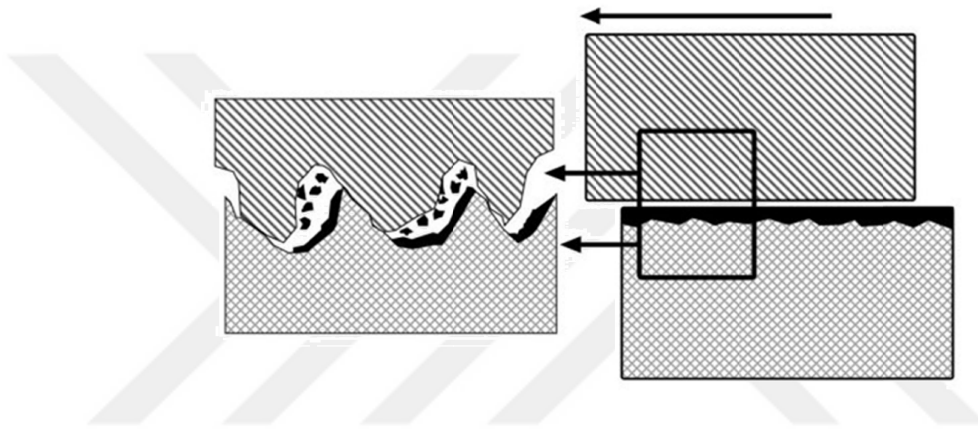
4.4.2.1 Malzeme karakteristiklerinin Abrasiv Aşınmaya Etkileri

- ❖ **Sertlik:** Aşınan yüzeyin sertliği ve aşınma direnci arasında doğrusal bir ilişki vardır.
- ❖ **Akma Dayanımı:** Yüksek akma dayanımı muhtemelen daha az kopma nedeniyle aşınmayı arttırsa da, pekleşmenin meydana gelmesiyle bu durum değişebilir.
- ❖ **Erime Sıcaklığı:** Yüksek erime sıcaklıkları aşınma direncini daha az yumuşama nedeniyle arttırır.
- ❖ **Mikro yapı:** Yüksek pekleşme ve süneklik değerleri aşınma direncini olumlu yönde etkiler.
- ❖ **Kırılma tokluğu:** Yüksek kırılma tokluk değerleri malzemenin aşınma direncini arttırır. Özellikle kırılma malzemelerde aşınma oranı büyük bir ölçüde kırılma tokluğuna bağlıdır.
- ❖ **Kompozisyon:** Alaşımlar genellikle aşınma direncini arttıran bir unsur olarak kullanılır.

4.4.3 Korozi Aşınma

Aşınan yüzeyler, aynı zamanda korozi etkilere de maruz kalırsa buna korozi aşınma denir (Şekil 4.4). Kimyasal korozyon kendi başına oluşabildiği gibi diğer aşınma türleri ile birlikte meydana gelebilir.

Meydana gelen kimyasal reaksiyonlar yüzeye sıkıca yapışan film tabakaları oluşturur, yüzey aşınmasını önler fakat film kırılınca ise aşınma büyük ölçüde hızlanır. Çünkü sürtünme hareketi sırasında filmler çatlar ve yerinden kopar.



Şekil 4.4 Korozi aşınma

4.4.4 Termik Aşınma

Sıcaklığın etkili bir parametre olduğu ortamlarda görülen aşınma türüdür. Bu ortamlarda sürtünme ısısı nedeniyle yüzeysel ergime veya ısıl gerilmelerin neden olduğu yüzey çatlakları tarafından malzeme kaybı meydana gelir.

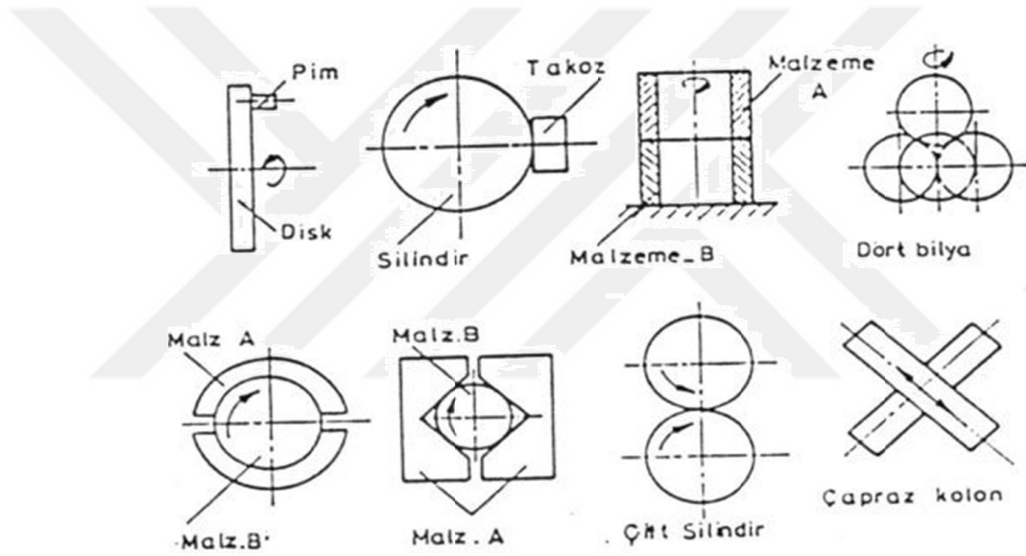
4.4.5 Yorulma Aşınması

Yorulma, titreşim aşınması olarak da adlandırılır. Bu aşınmada, lokal ayrılımlar, çatlamlar ve içyapı tahribatları meydana gelir. Genellikle periyodik yüklemeler sonucunda, yüzeyden ya da yüzeye yakın yerlerde içyapının parçalanarak

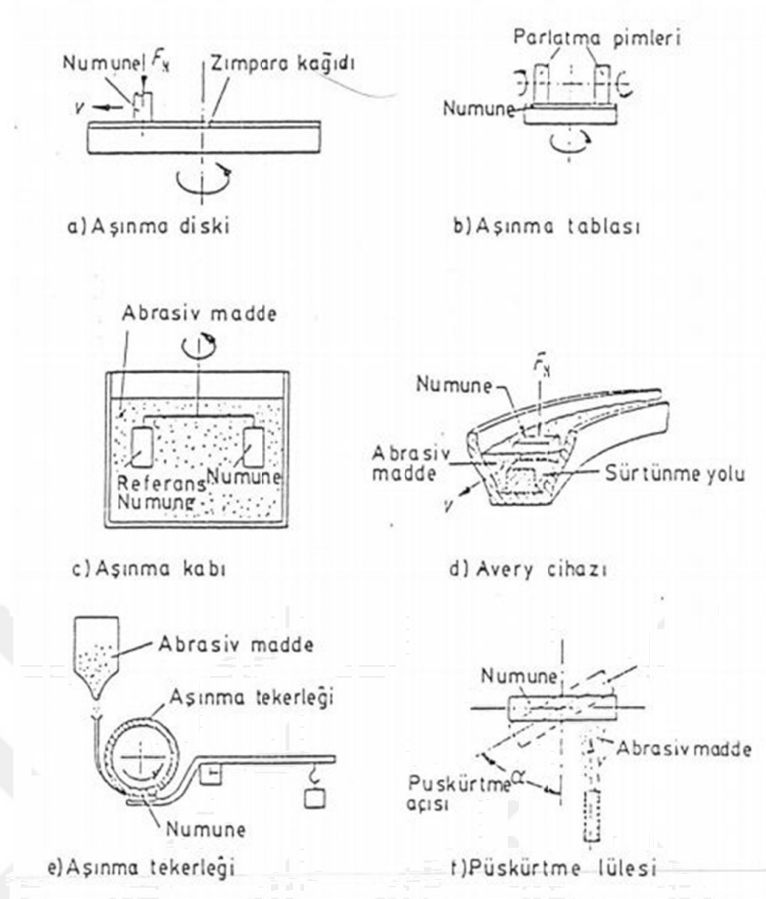
yırtılmalar oluşturması sebebiyle yüzeyden kısmi çözülmelerin olmasıyla meydana gelir.

4.5 Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

Aşınma imalat sanayinde maliyetler açısından önemli bir unsurdur. Makine parçalarının çabuk aşınması istenmeyen bir olaydır bu yüzden aşınmaya maruz kalacak makine parçalarında aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemelerin amacına uygun olarak kullanılabilmesi için Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görüleceğı gibi çeşitli deneysel yöntemler geliştirilmiştir.



Şekil 4.5 Yağlamalı yağlamasız adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri (Tabur, 2003).



Şekil 4.6 Çeşitli abrasiv maddeler ile malzemelerin aşınmasının araştırılmasında kullanılan deney yöntemleri (Tabur, 2003).

4.5.1 Ağırlık Farkı Metodu

Aşınma deneylerinin ölçüm yöntemleri arasında en yaygın olarak bilinen yöntem ağırlık farkı ile ölçüm yöntemidir. Bu yöntem oldukça ekonomik ve pratik bir metottur. Ağırlık farkı ile ölçüm yönteminin saptanabilirlik sınırı genellikle 10^{-4} g dolaylarındadır. Meydana gelen aşınmaları ölçmek için 10^{-4} g hassasiyetindeki teraziler kullanılmaktadır.

Ağırlık farkı metoduna göre, aşınma miktarı veya miligram olarak ifade edildiğinde, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (g/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı birim alan içinde hesap edilecekse (g/cm^2) gibi bir birim kullanılabilir.

Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybından hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerinde etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle birim yol ve yükleme ağırlıklarına karşılık gelen hacim kaybından gidilerek de bulunabilir (Tabur, 2003).

$$W_a = \frac{\Delta G}{d.M.S} \quad \left[\frac{mm^3}{N.m} \right] \quad (4.5)$$

Burada:

- ❖ W_a : Aşınma oranı ($mm^3 / N.m$)
- ❖ ΔG : Ağırlık kaybı (mg)
- ❖ M : Yükleme ağırlığı
- ❖ S : Aşınma yolu (m)
- ❖ d : Yoğunluk (g/cm^3)

ifade etmektedir. Aşınma oranının tersini, aşınma direnci olarak gösterebiliriz.

$$W_r = \frac{1}{W_a} \quad \left[\frac{N.m}{mm^3} \right] \quad (4.6)$$

4.5.2 Kalınlık Farkı Metodu

Aşınma esnasında oluşacak boyut değişikliklerinin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karşılaştırması sureti ile elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık, hassas aletleri yardımıyla $\pm 1 \mu m$ duyarlılıkta ölçülmelidir (Tabur, 2003).

4.5.3 İz Değişim Metodu

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 (Kelestimur, 2006).

4.5.4 Akustik Emisyon Tekniği ile Aşınmanın Ölçülmesi (AET)

Akustik emisyon (AE), bir malzemenin şekil değıştirme enerjisinin hızla serbest kalması ile meydana gelen transient elastik gerilmesi olarak tarif edilir. Radyasyon gerilim dalgaları, uygun bir sensör ile yüzeyde tespit edilmektedir.

4.5.5 On-line İzleme Yöntemi

Yöntem; lazer diyot tarafından üretilen ışığın fiber optik kablo vasıtasıyla iş parçası üzerine gönderilmesi ve iş parçası üzerinden yansıyan ışığın başka bir fiber optik kablo 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 (Cakan, 2006). Uygulamada fiber optik uçların iş parçası ile aralarındaki mesafeyi koruyarak, iş parçası eksenini boyunca kesme işlemini takip etmesi esastır. Kesici takımdaki aşınmaya bağlı olarak iş parçasının işlenen yüzeyinde oluşan boyutsal değışim ile bu yüzeylere çarparak yansıyan lazer ışınlarının algılayıcı fiber optiğe yansımasında en önemli etkenlerdir. Kesici takımdaki aşınma, yansıyan ışık şiddeti ile orantılıdır (Choudhury vd., 1999).

5. SERTLEŞTİRİLEBİLİR ALAŞIMLI ÇELİKLER

Çelik malzemelerin endüstriyel uygulamalarında, hem aşınma dirençlerinin, hem de darbe dayanımlarının yüksek olması istenir. Bu yüzden çeliklere su verme ve temperleme gibi ısıl işlemler uygulanmaktadır. Bu işlemler sayesinde çeliklerin mekanik özelliklerinde önemli ölçüde gelişmeler de sağlanmaktadır. Çeliğin kimyasal bileşiminde bulunan magnezyum, silisyum, nikel, krom, molibden, vanadyum ve alüminyum gibi alaşım elementleri mekanik özelliklerin geliştirilmesinde önemli rol oynarlar. Çeliğin içerisinde bulunan karbon oranı mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde de önemli rol oynarken, bileşiminde bulunan magnezyum, silisyum, nikel, krom, molibden, vanadyum ve alüminyum gibi diğer alaşım elementleri bu özelliklerin gelişmesine katkı sağlar.

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.

Alaşım elementleri östenit içerisinde çözünür. Östenit içerisinde çözülen elementlerin genel etkisi, kritik altı sıcaklıkta östenit dönüşüm hızını azaltmaktır. Alaşımli çelikler içerisinde 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 sertleştirilmiş ve temperlenmiş çeliklerin özelliklerini büyük oranda arttırarak geniş bir uygulama sahasında kullanılmalarına olanak sağlamaktadır (Kahraman, 2015).

Alaşım elementlerinin genel etkisi yumuşama hızını yavaşlatmaktadır, böylece alaşımli çelikler, aynı karbon miktarına sahip karbon çeliklerinden belirli sertlik derecesine ulaşılması için daha yüksek temperleme sıcaklığına gerek

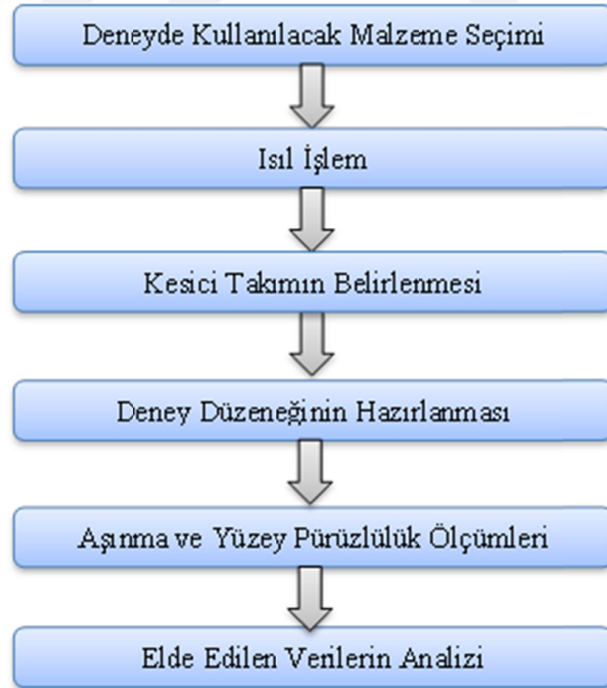
duymaktadırlar. Karbür oluşturan krom, molibden ve vanadyum, özellikle yüksek temperleme sıcaklıklarında, temper gevrekliğine neden olmaktadır. Karbür oluşturuıcı elementleri kapsayan alaşımlı çeliklerin bu karakteristik davranışı ‘ikincil sertleşme’ olarak bilinmektedir ve ince alaşım karbürlerin çökelmesinin gecikmesi sonucu ortaya çıkmaktadır (Kahraman, 2015).



6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

İmalat sanayisinde; Krank mili ve kovan gibi tokluk değeri yüksek olan parçalarda, otomobil ve uçak yapımında, dişli ve çark yapımında, inşaat ve ziraat makinalarında, takım tezgahlarında, çeşitli millerin, cıvata, somun ve benzeri parçaların yapımında kullanılan AISI 4140 çeliği aynı zamanda yüzey sertleştirmeye uygun olup, yüksek tokluk özelliği gösteren bir çeliktir.

AISI 4140 çeliğinden 300 mm boyunda ve 60 mm çapında hazırlanan 18 adet numunenin 51-53 HRC sertlik değerleri için ısıtım işlemi Bodycote İstaş firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Sertleştirilen numuneler ön hazırlık işlemi yapılarak, Sandvik-Coromat firmasından temin edilen 650 kalite seramik kesici uç ile, kuru kesme koşullarında Ler. Tc. 150B CNC torna tezgâhında farklı kesme parametreleri ile işlenmiş, kesme işlemi süresince, kesici takım aşınması on-line izleme yöntemi vasıtasıyla izlenmiştir. Çalışmada, kesici takım aşınması irdelenmiştir. Süreçte izlenen işlem sırası Şekil 6.1'deki gibidir.



Şekil 6.1 Süreçte izlenen işlem sırası

6.1 Kesme Koşullarının Belirlenmesi

Kesme işlemi, Ler. Tc. 150B CNC torna tezgahında, 0,2 mm sabit kesme derinliğinde, 150 m/dak ve 180m/dak kesme hızları, 0,04 mm/dev, 0,08 mm/dev, ve 0,12 mm/dev ilerleme hızlarından oluşan kesme parametrelerinde, soğutma sıvısı kullanılmaksızın gerçekleştirilmiştir.

6.2 İş Parçası

İş parçası olarak, yüzey sertleştirmeye uygun, yüksek tokluk özelliği gösteren düşük alaşımlı AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal analiz değerleri Tablo 6.1 'de verilmiştir.

Tablo 6.1 İş parçası özellikleri

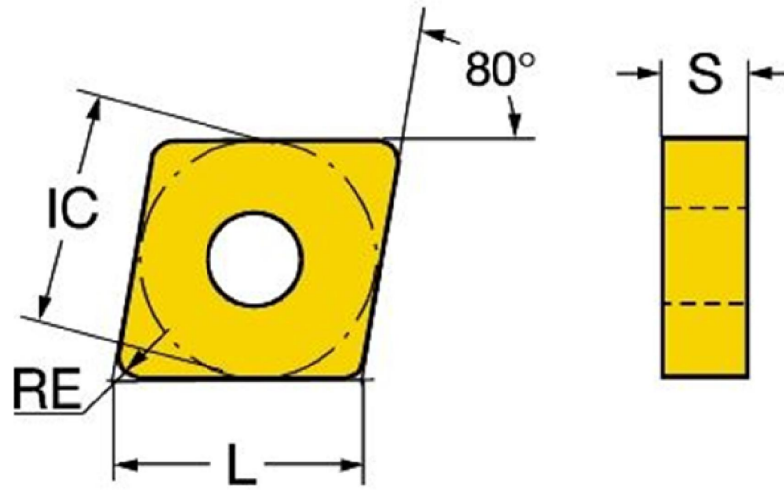
C	Si	Mn	P _{max}	S _{max}	Cr	Mo	V
0,38- 0,45	0,15- 0,40	0,50- 0,40	0,035	0,035	0,90- 1,20	0,15- 0,30	–

6.3 Kesici Uç

Deneylerde, Sandvik firmasından temin edilen sinterlenmiş alüminyum oksitlerden oluşan CNGA 120408T01020 650 kodlu seramik kesiciler kullanılmıştır.

Seramik takımlar; yüksek çalışma sıcaklığına sahip, iş parçası malzemesi ile kolay reaksiyona girmeyen, sert takımlardır. Seramik kesiciler tokluk değerlerinin çok düşük olması nedeniyle özellikle darbeli işlemler ile derin talaş kaldırılan işlemlerde kullanımları sınırlıdır. Genellikle düşük talaş derinliği ile son bitirici işlemlerde kullanılırlar. Belli başlı uygulama alanları: gri dökme demir, ısıl dirençli alaşımlar, sertleştirilmiş çelikler, sfero dökme demir malzemelerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Can, 2003; Cakan, 2006).

Deneylerde kullanılan seramik kesicinin geometrisi Şekil 6.2'de, özellikleri ile ilgili bilgiler ise Tablo 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.2 Kesici uç geometrisi

Tablo 6.2 Kesici uç özellikleri

L	Kesme Kenarı Uzunluğu	12,8959 mm
S	Kesici Uç Kalınlığı	4,7625 mm
IC	İç teğet daire çapı	12,7 mm
RE	Köşe radyüsü	0,8 mm
EPSR	Uç dahil açısı	80°
	Kalite	650

6.4 Deney Metodu

Kesme işlemleri, 0,2 mm lik sabit talaş derinliği kullanılarak, 150 m/dak ve 180 m/dak kesme hızı ve 0,04, 0,08 ve 0,12 mm/dev oluşan üç farklı ilerleme hızlarında gerçekleştirilen tornalama deneylerinde; ilerleme hızı-aşınma, kesme hızı-aşınma ilişkileri on-line izleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Optimum değerlerin elde edilebilmesi için her bir deney üç kez tekrarlanmıştır.

6.5 On-line İzleme Yöntemi

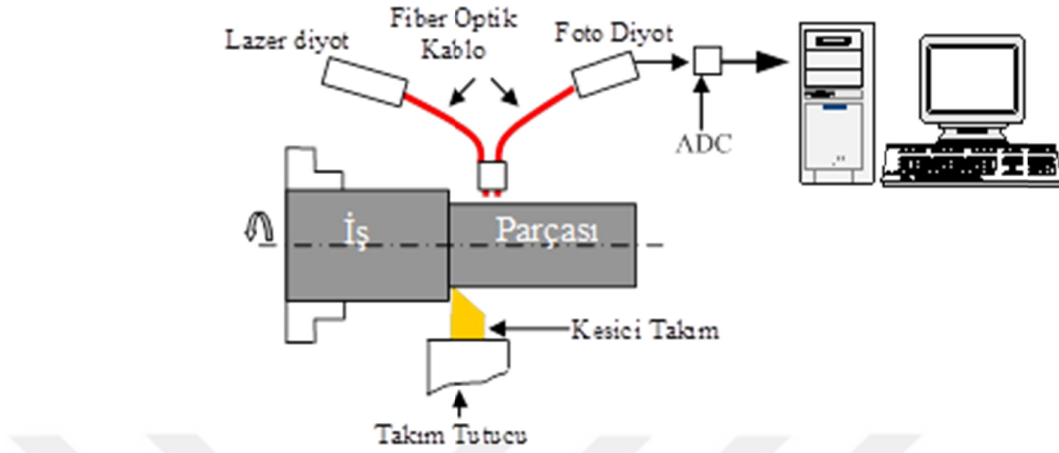
Deneylerde, seramik kesici uçların işlem sırasında gösterecekleri aşınma davranışlarının gözlenmesi ve optimum kesme parametrelerini belirleyerek, kesme performanslarının incelenmesi Şekil 6.3 'de verilen ve tarafımızca hazırlanan bir on-line izleme sistemiyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.3 Deney düzeneği

Bu sistemde, voltaj değerleri ile şiddeti ayarlanabilen ve bir lazer diyot vasıtasıyla üretilen ışık, fiber optik ile iş parçası üzerine taşınmakta ve iş parçası üzerinden geri yansıyan ışık, başka bir fiber optik ile alınarak foto diyot üzerine düşürülmektedir. Foto diyot çıkışından alınan voltaj değerleri bir analog dönüştürücü vasıtası ile bilgisayarda depolanmaktadır. On-line izleme sistemi ve uygulaması Şekil 6.4'de verilen şematik resimde görülmektedir. Algılayıcı fiber ile lazer diyottan ışığı iş parçasının üzerine nakleden fiber bir pirinç kaplin ile bağlanmış olup, kesicinin hemen ardında işlenen yüzeye 2 mm mesafede, paçanın eksenine paralel hareket edecek şekilde tezgahın araba aksamına tespit edilmiştir. Bu bağlantı ile, fiber uçlarının parçanın eksenine paralel olarak eksen boyunca hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Kesici takımındaki aşınmaya bağlı olarak iş parçasının işlenen yüzeyinde oluşan boyutsal değişimler, parlaklık vb. değişimler, bu yüzeylere çarparak algılayıcı

fiber optiğe yansımada en önemli etkidir. Kesici takımdaki aşınma, yansıyan ışık şiddeti ile orantılı olmaktadır (Choudhury vd., 1999; Cakan, 2011).



Şekil 6.4 On-line izleme sistemi şematik gösterim

6.6 Sertleştirilmiş Parça Tornalama İşlemleri

60 mm çapında ve 300 mm boyunda sertleştirilmiş (51-53 HRC) AISI 4140 çeliğinden oluşan test numuneleri, CNC Ler. Tc. 150B tezgahına bağlanmış ve Şekil 6.4’ de görülen on-line izleme sistemi, oluşacak voltaj değişimlerini kaydetmek üzere torna tezgahı üzerine kurulmuştur. Seramik kesici uçlar ile kesme işlemlerine başlanmış ve her deney Tablo 6.3’de gösterildiği gibi farklı kesme parametreleri için üç kez tekrarlanmış olup, toplamda 18 adet kesme deneyi gerçekleştirilmiştir.

Tornalama işlemi kuru kesme koşullarında gerçekleşmiş ve işlem boyunca kesme sıvısı kullanılmamıştır. Deneyler neticesinde kesici takımlarda oluşan aşınmaların görüntülenmesinde ise tarayıcı elektron mikroskobu SEM kullanılmıştır.

Tablo 6.3 Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

DENEY NO	KesmeHızı(m/dak)	Devir(dev/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Kesme Derinliği(mm)
DENEY_1	150		0,0	0,2
	150	796	0,0	0,2
	150		0,0	0,2
DENEY_2	150		0,0	0,2
	150	796	0,0	0,2
	150		0,0	0,2
DENEY_3	150		0,1	0,2
	150	796	0,1	0,2
	150		0,1	0,2
DENEY_4	180		0,0	0,2
	180	956	0,0	0,2
	180		0,0	0,2
DENEY_5	180		0,0	0,2
	180	956	0,0	0,2
	180		0,0	0,2
DENEY_6	180		0,1	0,2
	180	956	0,1	0,2
	180		0,1	0,2

7. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE ANALİZLERİ

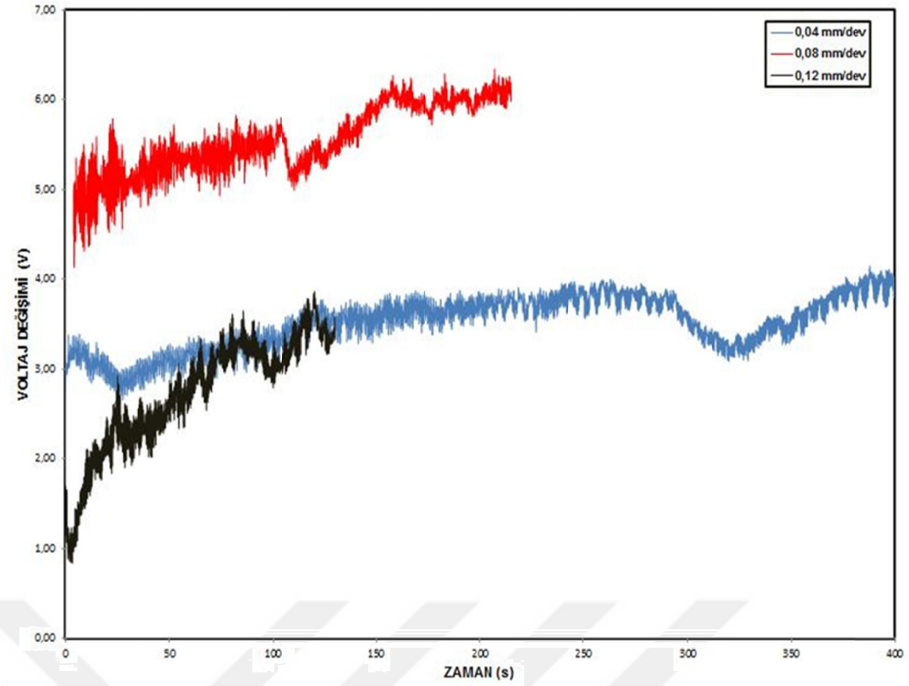
7.1 Seramik Kesici Uçların Aşınma Deney Sonuçları

Sandvik-Coramat firmasından temin edilen ve yapısı sinterlenmiş alüminyum oksitlerden oluşan 650 kalite kesici takımlar, farklı kesme parametreleri kullanılarak sertleştirilmiş AISI 4140 (52-54 HRC) çeliklerin tornalanmasında aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Kesme işlemleri, Ler. Tc. 150B CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. İşlem sırasında, foto diyot vasıtası ile aşınmaya karşılık gelen voltaj değişim verileri, 0.1s aralıklar ile veri kaydetme özelliğine sahip olan datalogger cihazı ile kayıt altına alınmıştır.

7.1.1 0,2 mm lik Sabit Kesme Derinliği 150 m/dak Kesme Hızı, 0,04, 0,08 ve 0,12 mm/dev İlerleme Hızlarında Yapılan Tornalama Testlerinde Seramik Kesici Takım Aşınması

Seramik kesici uçlardaki aşınma, tezgaha manyetik bağlama aparatı ile tutturulan on-line izleme sistemi ile takip edilmiştir. Kesiciler, 150m/dak kesme hızında, 0,04, 0,08 ve 0,12 mm/dev ilerleme hızlarında ve 0,2 mm kesme derinliğinde 60 mm çapında 300 mm boyunda AISI 4140 düşük alaşımlı çelik malzemeler üzerinde sert tornalama deneylerine tabi tutulmuştur.

Voltaj değişimleri sonucu elde edilen veriler datalogger cihazında kayıt edilmiş ve Microsoft Excell programında grafikler oluşturulmuştur. 150 m/dak kesme hızında farklı ilerleme hızları için elde edilen sonuçlar Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1 Sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin 150 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.

Lazerden foto diyota yansıyan ışınların kararlılığını sağlamak üzere, parça üzerinde punta tarafından 15-20 mm'lik bir uzunlukta 0,2 mm kesme derinliğinde işleme yapılmıştır. Elde edilen bu referans yüzeyi ile fiber optik arasındaki boşluk 2 mm' ye ayarlanmıştır ve yeni kesici takım katere (tutucu) yerleştirilerek tornalama işlemine başlanmıştır. Kesme işlemi süresince çıkış voltajının gösterdiği değişimler Şekil 7.1'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 (Choudhury vd., 1999).

Test numuneleriyle, yapılan çalışmalarda, artan kesme hızı ve ilerleme hızlarında kesici takımında meydana gelen aşınmada artma gözlenmiştir. Şekil 8.1'den de anlaşılabacağı üzere en düşük aşınma miktarı 150m/dak kesme hızı, 0,04 mm/dev ilerleme hızında kullanılan kesici takım ucunda gerçekleşirken, en büyük aşınma ise 150m/dak kesme hızı, 0,12 dev/dak ilerleme hızında gerçekleşmiştir. Bu sonuca Cakan (2011) tarafından oluşturulan voltaj değişimi aşınma bağıntısı 7.1

kullanılarak, aşınma miktarının mm cinsinden ifade edilmesiyle ulaşılmıştır. Burada FW mm cinsinden kesici kenar aşınmasını göstermektedir.

$$(FW)(mm) = -0,0061 + 0,0472 * (\text{Voltaj değişimi } (V)) \quad (7.1)$$

Eşitlik 7.1'e göre 150 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm kesme derinliği parametreleri sabit olmak üzere, 0,04, 0,08, 0,12 mm/dev farklı ilerleme hızları için hesaplamalar yapılarak kesici takımlarda oluşan aşınma miktarları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- ❖ 150 m/dak kesme hızında 0,04 mm/dev ilerleme hızında aşınma:

$$FW_{150-0,04} = -0,0061 + (0,0472 * (1,65)) = 0,07178 \text{ mm} \quad (7.2)$$

- ❖ 150 m/dak kesme hızında 0,08 mm/dev ilerleme hızında aşınma:

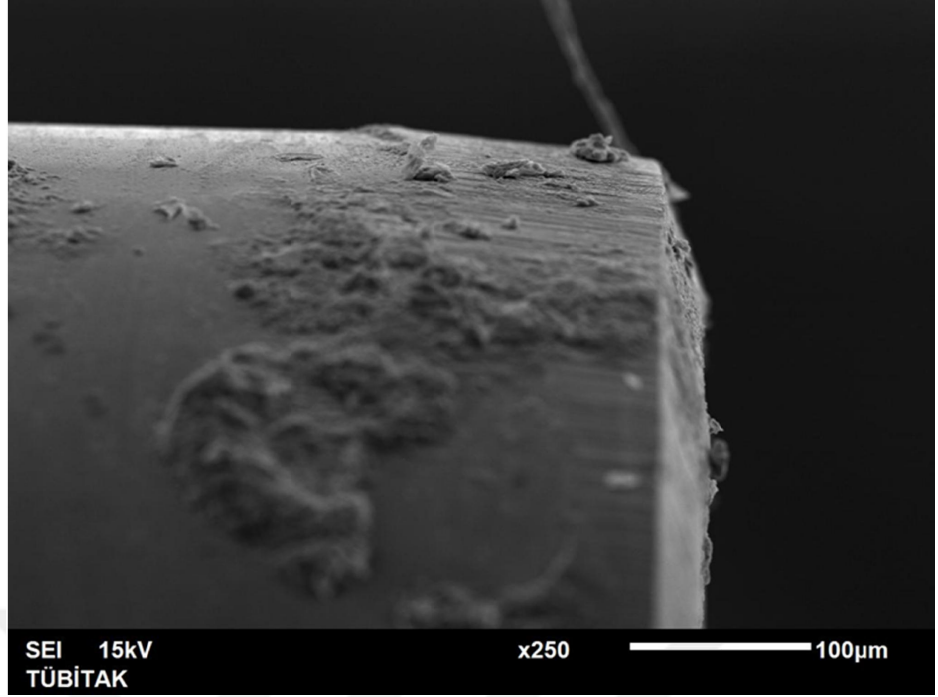
$$FW_{150-0,08} = -0,0061 + (0,0472 * (2,21)) = 0,098212 \text{ mm} \quad (7.3)$$

- ❖ 150 m/dak kesme hızında 0,12 mm/dev ilerleme hızında aşınma:

$$FW_{150-0,12} = -0,0061 + (0,0472 * (3,03)) = 0,13916 \text{ mm} \quad (7.4)$$

Şekil 7.1'de verilen voltaj değerlerinin zamana karşı değişimi grafiğinde, her üç ilerleme hızı için, kesme işleminin başlangıcından itibaren voltaj değerlerinde yukarıya doğru bir artış söz konusudur. Voltaj değişiminin daha yüksek olduğu bölümler, o bölgede oluşturduğu aşınmanın fazla, yüzeyin daha parlak olduğunun göstergesidir. Deneyin ilerleyen bölümlerinde voltaj değişimindeki artışın azalarak devam ettiği görülmektedir. Bunun en büyük sebebi kesme işleminin kararlı bir hal almasıdır. İşlemin başlangıcından belirli bir süre sonra, kesici uçta oluşan yarıçapın bir neticesi olarak kesici takım üzerinde aşınma ve kopmaların azaldığı ve kararlı bir kesme safhasına geçildiği görülmektedir.

Bu evrede algılayıcı fiber ile iş parçası arasındaki mesafe sabit kaldığından, foto diyot üzerine düşen ışık miktarındaki değişim azalmakta ve buna bağlı olarak voltaj değerindeki değişim de azalmaktadır.



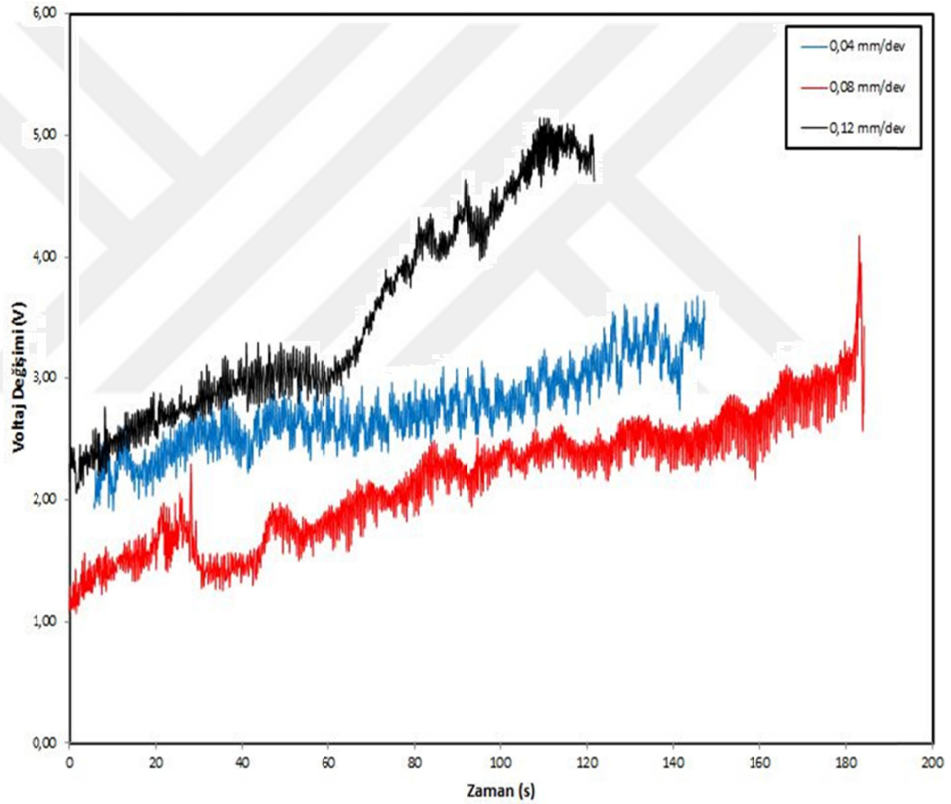
Şekil 7.2 150 m/dak ve 0,04 mm/dev ilerleme hızında seramik kesici takımın üzerinde meydana gelen aşınmaları gösteren SEM resmi.

Şekil 7.2’ de görülebileceği gibi en büyük aşınma kesici takımın kesici kenarı ile ona komşu olan yüzeylerde meydana gelmiştir. Ayrıca kesici uç üzerinde sıvanmış bir şekilde, işlenen malzeme kalıntıları da görülmektedir. Sıvanan malzemeler kesici uç yüzeyinden ayrılana kadar iş parçasının yüzey kalitesinde olumsuzluklara neden olmaktadır. Parça yüzeyinde bu kısımlar, elde ettiğimiz grafiklerde voltajda düşme olarak görülmektedir.

7.1.2 0,2 mm lik Sabit Kesme Derinliği 180m/dak Kesme Hızı, 0,04, 0,08 ve 0,12 mm/dev İlerleme Hızlarında Yapılan Tornalama Testlerinde Seramik Kesici Takım Aşınması

60 mm çapında sertleştirilmiş AISI 4140 çeliği; 180 m/dak kesme hızı, 0,2 mm kesme derinliği, 0,04, 0,08 ve 0,12 mm/dev arasında değişen ilerleme hızlarında tornalama işlemine tabi tutularak, seramik kesici takımın aşınma davranışları belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen voltaj değişim grafiği Şekil 7.3’ de ki gibidir.

Elde edilen grafik incelendiğinde, kesme işleminin başlangıcından itibaren her üç ilerleme hızı içinde voltaj değerlerindeki yükselişin işlem süresince başlangıç evresinde daha fazla işlemin ilerleyen evresinde azalan oranda olmak üzere, artarak devam ettiği gözlenmiştir. 0,12 mm/dev ilerleme hızında 60. saniyeden sonra meydana gelen artış yönündeki ivmelenme bu bölgede kesici takım üzerinde büyük kopmaların meydana geldiğini göstermektedir. İşlemin ilerleyen safhalarında voltaj değişiminin azalan oranda artması, kesme işleminin kararlı hale geçme eğiliminden kaynaklanmaktadır. 180 m/dak kesme hızında gerçekleşen deneyde, farklı ilerleme hızlarında elde edilen grafik incelendiğinde en düşük aşınmanın 0,04 mm/dev ilerleme hızında, en büyük aşınma ise 0,12 mm/dev ilerleme hızında gerçekleşmiştir.



Şekil 7.3 Sertleştirilmiş AISI 4140 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 takımda oluşan aşınmaya karşılık zaman voltaj değişim grafiği

Eşitlik 7.1' e göre 180 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm kesme derinliğinde, 0,04, 0,08, 0,12 mm/dev farklı ilerleme hızları için yapılan hesaplamalar neticesinde kesici takımlarda oluşan aşınma miktarları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- ❖ 180 m/dak kesme hızında 0,04 mm/dev ilerleme hızında aşınma:

$$FW_{180-0,04} = -0,0061 + (0,0472 * (1,77)) = 0,07744 \text{ mm} \quad (7.5)$$

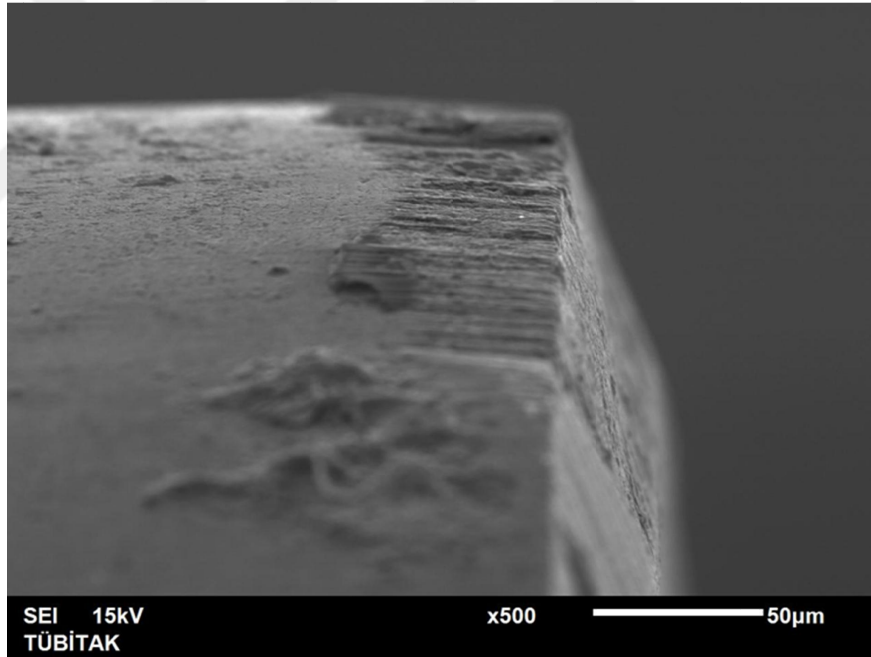
- ❖ 180 m/dak kesme hızında 0,08 mm/dev ilerleme hızında aşınma:

$$FW_{180-0,08} = -0,0061 + (0,0472 * (3,09)) = 0,139748 \text{ mm} \quad (7.6)$$

- ❖ 180 m/dak kesme hızında 0,12 mm/dev ilerleme hızında aşınma:

$$FW_{180-0,12} = -0,0061 + (0,0472 * (3,20)) = 0,14494 \text{ mm} \quad (7.7)$$

Yapılan hesaplamalar neticesinde de en küçük aşınmanın 0,0774 mm ile 0,04 mm/dev ilerleme hızında, en büyük aşınmanın 0,1449 mm ile 0,12 mm/dev ilerleme hızında gerçekleştiği görülmektedir.



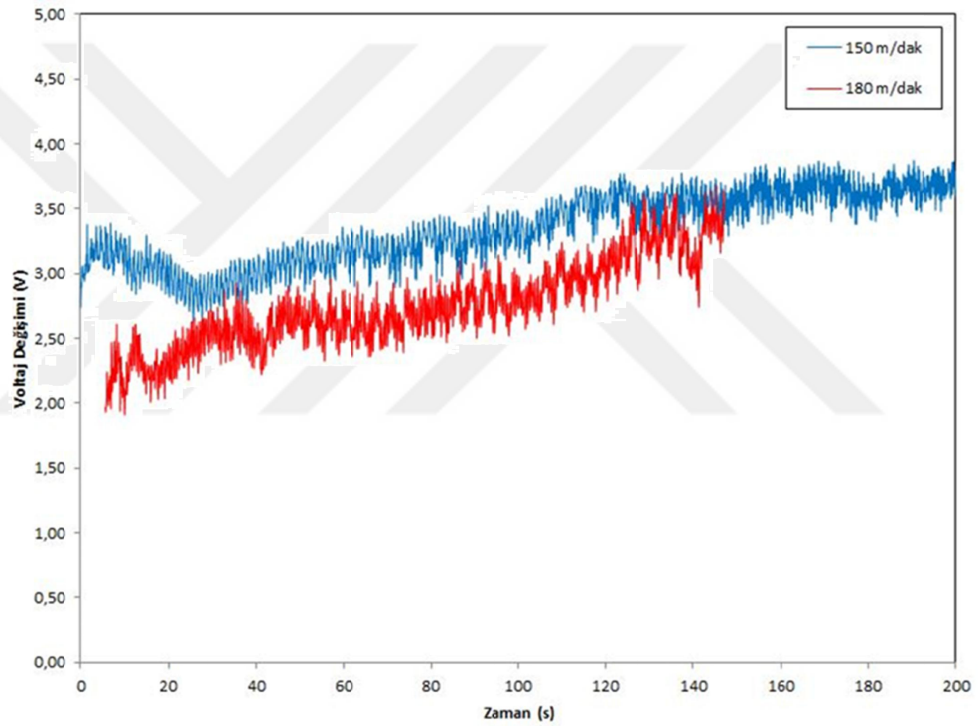
Şekil 7.4 180 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme hızında seramik kesici takımın üzerinde meydana gelen aşınmaları gösteren SEM resmi.

Seramik kesici takımın kesme bölgesinde belirgin derecede aşınmaların meydana geldiği Şekil 7.4’ de görülmektedir. Kesici uç üzerinde yine az oranda sıvanmış iş parçası malzeme kalıntılarının varlığı da görülmektedir.

7.2 Farklı Kesme Parametreleri kullanılarak Seramik Kesici Takımlarla Yapılan Kesme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması

7.2.1 0,04 mm/dev İlerleme Hızında Oluşan Aşınma Sonuçlarının Karşılaştırılması

150 ve 180 m/dak kesme hızlarında, 0,04 mm/dev ilerleme hızı için seramik kesici takım ile gerçekleştirilen aşınma deneyinde voltaj-zaman değişiminin grafiği Şekil 7.5’ de verilmiştir.

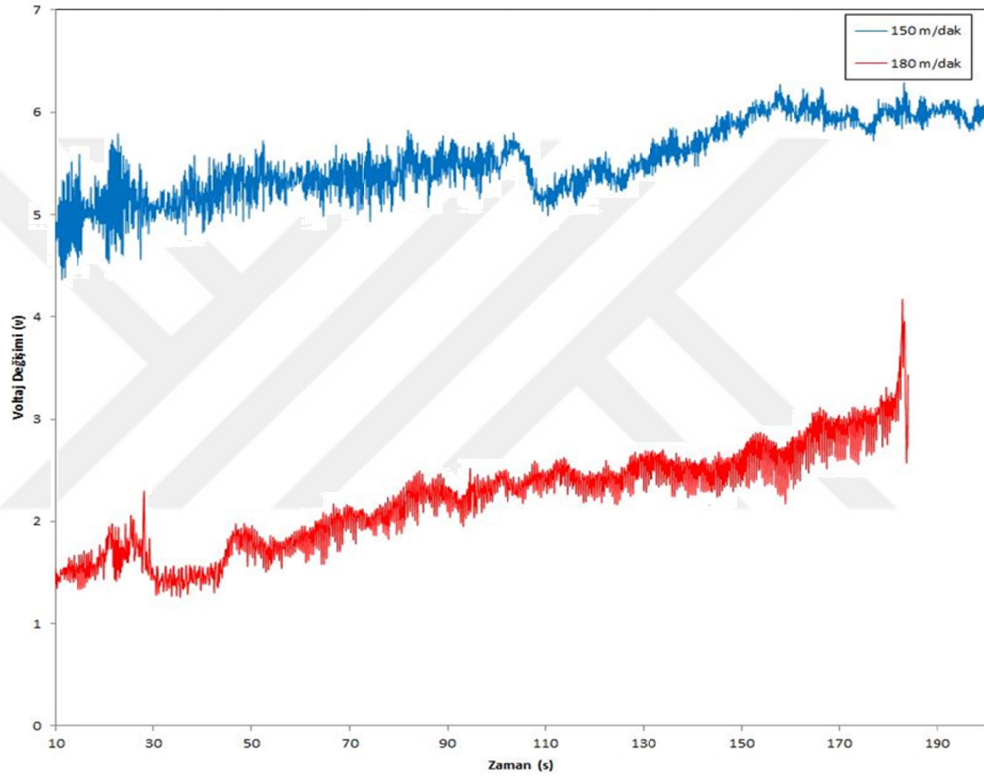


Şekil 7.5 Sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin, 150 ve 180 m /dak kesme hızı, 0,04 mm/dev ilerleme hızı ve 0,2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde kesici takım aşınmalarının karşılaştırılması

Her iki deneyin başlangıcından itibaren voltaj değerinde artma görülürken, 150 mm/dev ilerleme hızında meydana gelen aşınmanın daha az olduğu görülmektedir. Bu durumda, 150mm/dev ilerleme hızının takım ömrü açısından daha ideal bir parametre olduğunu söyleyebiliriz. Her iki grafik incelendiğinde, kesme işlemi, ilerleyen safhalarda kesicide oluşan radyus ile daha kararlı bir hale geçme eğilimi göstermektedir.

7.2.2 0,08 mm/dev İlerleme Hızında Oluşan Aşınma Sonuçlarının Karşılaştırılması

Şekil 7.6’ da görüleceği üzere ilerleme hızının 0,08 mm/dev e artırılması sonucunda kesici takımında oluşan kopmaların ve aşınmanın artmasıyla, ortaya çıkan voltaj değerlerinde artma görülmüştür. Bu bölümde voltaj piklerinde oluşan keskin iniş ve çıkışlar, iş parçasından kaynaklanan ve kesici takıma sıvanan malzeme kalıntılarının göstergesidir.

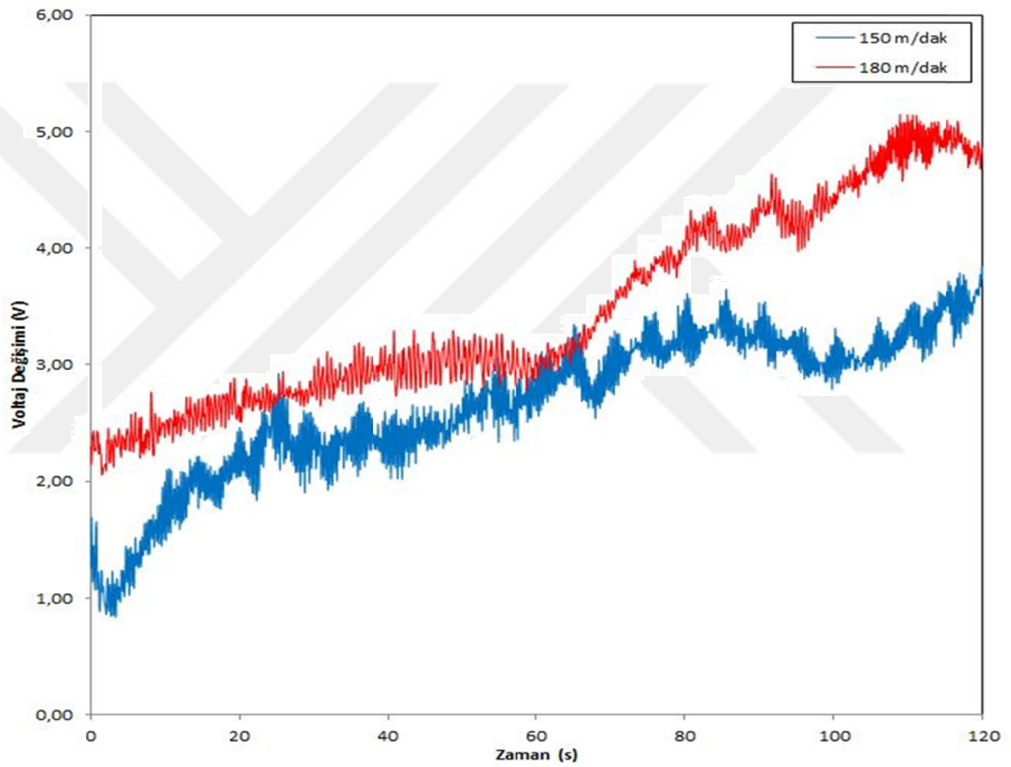


Şekil 7.6 Sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin, 150 ve 180 m /dak kesme hızı, 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 0,2 kesme derinliği kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde kesici takım aşınmalarının karşılaştırılması

150 ve 180 m/dak’lık kesme hızlarında 0,08 mm/dev ilerleme hızı için elde edilen kesici uç aşınmalarında en iyi sonuç 150 m/dak kesme hızı parametresinin kullanıldığı uçta elde edilmiştir.

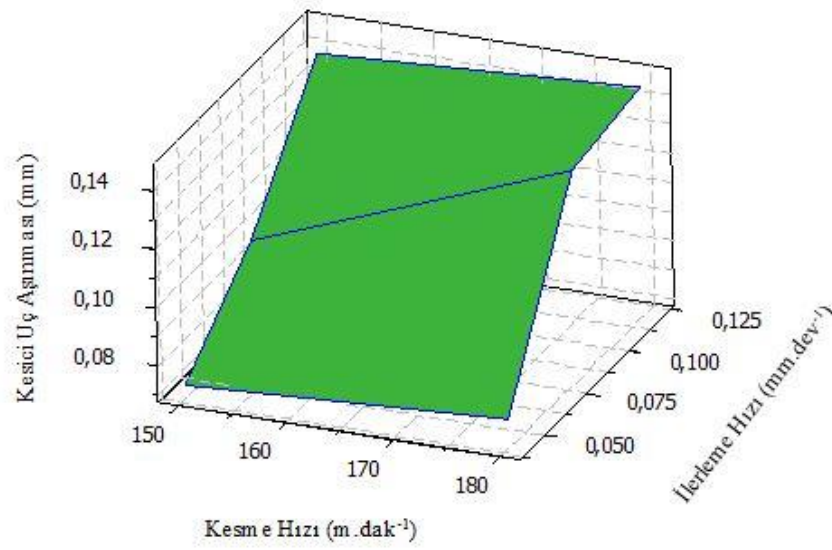
7.2.3 0,12 mm/dev İlerleme Hızında Oluşan Aşınmaların Karşılaştırma Sonuçları

Seramik kesici uçların aşınma davranışlarının incelenmesi sırasında en yüksek ilerleme hızı olarak seçilen 0,12 mm/dev ile 150 m/dak ve 180 m/dak kesme hızlarında yapılan deneylerde elde edilen voltaj değişim grafiği Şekil 7.7’ de ki gibidir. Deney sonucunda birbirine yakın sonuçlar elde edilmiş olup, 180 m/dak’lık kesme hızında elde edilen aşınma değerine göre, 150 m/dak kesme işleminde elde edilen aşınma değerinin daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 7.7 Sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin, 150 ve 180 m /dak kesme hızı, 0,12 mm/dev ilerleme hızı ve 0,2 mm kesme derinliği kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde kesici takım aşınmalarının karşılaştırılması

Yapılan deneyler de kullanılan ilerleme hızı, kesme hızı ve kesici uç aşınması gibi kesme parametrelerinin birbirleri arasındaki ilişkinin verildiği üç boyutlu grafik Minitab 17 programı kullanılarak elde edilmiştir Şekil 7.8.



Şekil 7.8 Farklı kesme parametreleri arasındaki ilişkinin 3 boyutlu grafiksel gösterimi

7.3 Varyans Analizi

Farklı deney parametrelerinin kullanılması sonucu elde edilen sonuçlar arasında anlamlı bir fark olup olmadığını tespit etmek için varyans analiz yöntemi kullanılmıştır. Tek-yönlü ANOVA testinin ve devamında Tukey çoklu karşılaştırma testinin uygulanabilmesi için sınanması gerekli olan üç varsayım aşağıda sıralanmıştır.

1. Varyansların homojenliği
2. Normal dağılım sergilemesi
3. Ölçüm değerlerinin birbirinden bağımsız olması
4. H_0 (Sıfır Hipotezi): Tüm grupların ortalamaları birbirine eşittir.
5. H_a (Alternatif Hipotez): $p = 0,05$ önem düzeyinde en az 2 grup ortalaması önemli derecede birbirinden farklıdır (Pagano, 2004).

Minitab 17 programıyla analizler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar aşağıdaki tablolar ile açıklanmıştır.

150 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm kesme derinliğinde 0,04, 0,08 ve 0,12 mm/dev farklı ilerleme hızları grup ortalamalarının tek yönlü ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testine göre karşılaştırma sonuçları Tablo 7.1 ve 7.2’ de görüldüğü gibidir.

Tablo 7.1 Tek yönlü Anova analizi 150 m/dak ($p < 0.001$; veri boşluğu sayısı: 5564).

	DF	KT _{düz}	KO _{düz}	F değeri
Faktör	2	8084	4041,93	20428,04
Hata	7897	1563	0,2	
Toplam	7899	9646		

Tablo 7.2 Tukey çoklu karşılaştırma analizi 150 m/dak

	n	ortalama	SD	R ² _{düz} (%)	R ² _{tah} (%)
Faktör				83,8	83,7
0,04	4488	3.54 ^a	0,39		
0,08	2111	5.55 ^b	0,38		
0,12	1301	2.72 ^c	0,63		

180 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm kesme derinliğinde 0,04, 0,08 ve 0,12 mm/dev farklı ilerleme hızları grup ortalamalarının tek yönlü ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testine göre karşılaştırma sonuçları Tablo 7.3 ve 7.4’ de görülmektedir.

Tablo 7.3 Tek yönlü Anova analizi 180 m/dak ($p < 0.001$; veri boşluğu sayısı: 5564)

	DF	KT _{düz}	KO _{düz}	F değeri
Faktör	2	1269	634,717	1856,20
Hata	4470	1528	0,342	
Toplam	4472	2798		

Tablo 7.4 Tukey çoklu karşılaştırma analizi 180 m/dak

	<i>n</i>	ortalama	SD	$R^2_{düz}$ (%)	R^2_{tah} (%)
Faktör				45,35	45,29
0,04	1216	3.48 ^a	0,34		
0,08	1416	2.74 ^b	0,51		
0,12	1841	2.17 ^c	0,84		

Sonuç olarak, gerçekleştirmiş olduğumuz analizlerde *p* değeri, 0,001 altında kalmış ve çoklu ortalama değerleri birbirinden farklı bulunmuştur.

Elde edilen sonuçların anlamlı olduğunu belirledikten sonra, kesici uç aşınmasına etki eden faktörlerin etkinliğini belirlemek için Minitab 17 programı vasıtasıyla varyasyon analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçları Tablo 7.5’ de gösterilmiştir.

Tablo 7.5 Kesici uç aşınmasına etki eden faktörlerin analizi

	Kareler toplamı	DF	Kareler Ortalaması	Var. Comp.	Yüzde
İlerleme Hızı mm/dev	0,0047	2	0,0023	0,001	77,46
Kesme Hızı m/dak	0,0009	3	0,0003	0,000	22,54
TOPLAM (DÜZELTİLMİŞ)	0,0056	5			

Gerçekleştirilen analizde yapmış olduğumuz çalışma için, kesici uç aşınmasına etki eden en önemli faktörün ilerleme hızı olduğu görülmüştür. İlerleme hızının, kesici uç aşınması değişim varyansı % 77,46 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin, sinterlenmiş alüminyum oksitlerden oluşan seramik kesici takımlarla işlenmesinde optimum kesme koşullarının belirlenmesinde kullanılacak en etkin parametre ilerleme hızı olacaktır.

8. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneyisel çalışmada, seramik kesici uçların farklı kesme parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen tornalama testlerindeki aşınma davranışlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinden oluşan deney numuneleri üzerinde CNC torna tezgahında gerçekleştirilen sert tornalama işleminde incelenmiştir. Sistem üzerine kurulan online izleme deney düzeneği ile kesicilerin aşınmaya karşı göstereceği direnç belirlenmeye çalışılmış, çalışma sonrasında aşınan kesici uçların elektron mikroskobunda elde edilen SEM görüntüleri incelenerek kesme performansları hakkında bilgiler elde edilmiştir.

Deneylerin başlangıcında kesici ucun keskin yüzeyi deney numunesi üzerinde parlak bir yüzey vermiş bunun neticesinde foto diyot tarafından daha etkili bir şekilde algılanan ışınlar, foto diyot çıkışından alınan voltajın değerlerinde artışa neden olmuştur. Bu durum datalogger tarafından kaydedilen voltaj değişimlerinden elde ettiğimiz grafiklerde de açıkça görülmektedir. Deneyin ilerleyen kısımlarında kesici uçta meydana gelen radyus ile aşınma ve kopmaların azalması sonucu voltaj değişiminde önemli bir değişiklik gözlenmez iken, kesme işleminde kararlı bir yapıya geçme eğilimi kendini göstermiştir. Elde ettiğimiz bu bulgular en büyük aşınma eğilimlerinin deneylerin başlangıç evresinde gerçekleştiğini göstermektedir.

Deneylerde belirgin olarak göze çarpan sonuçlardan bir diğeri ise, kesici takımın ömrü açısından en iyi sonucun, en düşük ilerleme hızında yapılan kesme deneylerinde elde edilmesidir.

Ayrıca, SEM görüntüleri incelendiğinde, kesme deneyleri sırasında meydana gelen en büyük aşınmaların, kesici takımın uç kısmında ve kesme kenarında olduğu gözlenirken, kesme bölgesinde oluşan sıcaklığında etkisi ile kesici uç üzerine sıvıyan iş parçasının kalıntıları görülmüştür. Bu kalıntılar, elde edilen grafiklerde voltaj piklerinde oluşan keskin iniş ve çıkışları meydana getirmiştir.

9. KAYNAKLAR

- Akkurt M (1998) Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Al-Sulaiman FA, Baseer Ma Sheikh AK (2005) "Use of Electrical Power for Online Monitoring of Tool Condition", Journal of Materials Processing Technology, 166: 364–371.
- Altıntaş Y ve Yellowley I (1989) "In Process Detection of Tool Failure in Milling Using Cutting Force Models", ASME Trans. J. Eng. Ind. 111: 149-157
- Altıntaş Y (1988) "In-process Detection of Tool Breakages Using Time Series Monitoring of Cutting Forces", International Journal of Machine Tools & Manufacture 28: (2) 157–172.
- Altıntaş Y (2000) "Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibration, and CNC Design", Cambridge University Press, New York.
- Berger BS, Minis I, Harley J, Rokni M ve Papadopoulos M (1998) "Wavelet Based Cutting State Identification, J. Sound Vib. 213 (5):813–827.
- Boy M, Çiftçi İ, Demir H, Günay M ve Özhan F (2012) "Sertleştirilmiş Çeliklerin Sert Tornalama Yöntemi ile İşlenmesi", Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Ankara.
- Byrne G, Dornfeld D, Inasaki I, Ketteler G, König W ve Teti R (1995) "Tool Condition Monitoring (TCM) – the Status of Research and Industrial Application", Annals of the CIRP 44: 541–567.
- Cakan A (2011) "Real-time Monitoring of Flank Wear Behavior of Ceramic Cutting Tool in Turning Hardened Steel", International Advanced Manufacturing Technology, 52:897-903.
- Cakan A (2006) AISI 1070 Çeliğinden Üretilen İşlemsiz, Yüzey İşlemli ve Sert Yüzey Kaplamalı Kesici Takımların Mekanik Özelliklerinin, Mikroyapı ve Kesme Performanslarının İncelenmesi, Doktora Tezi, FÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Cakan A ve Yıldırım MM (2002) "Yüksek Krom-nikelli AISI 304 Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Aşınma Davranışları", 9. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli.
- Cakan A, Evrendilek F ve Ozkaner V (2015) "Data-driven simulations of flank wear of coated cutting tools in hard turning", Mechanika. 21(6): 487–493.
- Can A (2003) AISI 5140 Çeliğinin Sermet, PVD ile TiAlN-CVD ile TiN Kaplanmış Kesici Uçlarla Tornalanmasında Kesme Değişkenleri, Kaplama Cinsi ve

Takım Aşınmasının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Castejon M, Alegre E, Barreiro J ve Hernandez LK (2007) “On-line Tool Wear Monitoring Using geometric Descriptors from Digital Images”, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 47:1847–1853.

Choudhury SK, Jain VK ve Rama Rao ChVV (1999) “On-line Monitoring of Tool Wear in Turning Using a Neural Network”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 39: 489-504.

Dilma DE ve Lister PM (2000) “On-line Metal Cutting Tool Condition Monitoring I: Force and Vibration Analyses”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 40: 739–768.

Dimla E ve Dimla SNR 2000 “Sensor Signals for Tool-wear Monitoring in Metal Cutting Operations - a Review of Methods”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 40: 1073-1098.

El-Wardany TI, Gao D ve Elbestawi MA (1996) “Tool Condition Monitoring in Drilling Using Vibration Signature Analysis”, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 36:687–768.

Fidan HE (2015) Gerçek Zamanlı Görüntüleme Sistemi Vasıtasıyla Sertleştirilmiş AISI 4140 Çeliğinin Farklı Kesme Parametreleri Kullanılarak İşlenmesinde CBN Kesici Takımların Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aİ BÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu.

Ghosh N, Ravi YB, Patra A, Mukhopadhyay S, Paul S, Mohanty AR ve Chattopadhyay YB (2007) “Estimation of Tool Wear During CNC Milling Using Neural Network-based Sensor Fusion”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21: 466–479.

Groover MP, (2010) “Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems”, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

Houshmand A, Kannatey Asibu E ve Herrin GD (1995) “A Dynamic Model for Tool Detection Using Acoustic Emission”, *Mech. Syst. Signal Process* 9: (4) 415–428.

Kahraman MF (2015) “Gerçek Zamanlı Görüntüleme Sistemi Vasıtasıyla Sertleştirilmiş AISI 4340 Çeliğinin Farklı Kesme Parametreleri Kullanılarak İşlenmesinde CBN Kesici Takımların Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Aİ BÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu.

Kelestimur MH (1989) Makine Yapı Çeliklerinin Abrasiv Aşınma Davranışları ve Direncine Yüzey Sertliği ve diğer Mekanik Özellikleri İlişkisi, Yüksek Lisans Tezi, FÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Konig W ve Essel K (1975) “New tool materials – wear mechanism and application”, *Ann. CIRP* 24,1:1–5.

Krishnakumar P, Rameshkumar K ve Ramachandran I (2015) “Tool Wear Condition Prediction Using Vibration Signals in High Speed Machining (HSM) of Titanium (Ti-6Al-4V) Alloy”, *Procedia Computer Science* 50: 270 – 275.

Kurada S ve Bradley C (1997) “ A Review of Machine Vision Sensors for Tool Condition Monitoring”, *Comput. Ind.*, 34:55–72.

Li X (1999) “On-line Detection of the Breakage of Small Diameter Drills Using Current Signature Wavelet Transform” *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 39: 157–164.

Li X (2001) “Detection of Tool Flute Fracture in end Milling Using Feed-motor Current Signatures”, *ASME Trans. Mechatron.* 6: 491–498.

Li X, Tso SK ve Wang J (2000) “Real-time Tool Condition Monitoring Using Wavelet Transforms and Fuzzy Techniques”, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.* 30 3: 352-357

Lin HM, Liao YS ve Wei CC (2008) “Wear Behavior in Turning High Hardness Alloy Steel by CBN Tool”, *Wear* 264:679-684.

Pagano RR (2004) *Understanding Statistics in the Behavioral Sciences*, 7th Edition, Belmont, CA., Thomson/Wadsworth.

Ramesh CS, Seshadri SK ve Iyer KJL (1991) “A Survey of Aspects of Wear of Metals”, *Indian Journal of Technology*, Vol. 29(4):179-185.

Rehorn AG, Jiang J ve Orben PE (2005) “State-of-the-art Methods and Results in Tool Condition Monitoring: A Review”, *International Advanced Manufacturing Technology*, 26: 693–710.

Salgado DR ve Alonso FJ (2007) “An Approach Based on Current and Sound Signals for In-process Tool Wear Monitoring”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 2140–2152.

Sandvik Coromant (1994) *Modern metal cutting – A practical handbook*, English Edition I-III, Sweden.

Sandvik Coromant, (1996) *Modern Metal Cutting*, Tofters Tryckeri AB, Sweden.

Senthil Kumar A, Raja Durai A ve Sornakumar T (2006) “Wear Behaviour of Alumina Based Ceramic Cutting Tools on Machining Steels”, *Tribology International*, 39: 191–197.

Sobiecki JR, Mankowski P ve Patejuk A (2004) “Improving The Performance Properties of Valve Martensitic Steel by Glow Discharge-Assisted Nitriding”, *Vacuum* 76:57-61.

Srinivasa P ve Ramakrishna PK (2002) “Acoustic emission analysis for tool wear monitoring in face milling”, International Journal of Production Research, 40:1081–1093.

Tabur M (2003) Farklı Isıl işlemlerdeki 8620 Sementasyon Çeliğinin Abrasiv aşınma davranışları, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ucun İ ve Aslantaş K (2009) ”Sertleştirilmiş 52100 Takım Çeliğinin Tornalanmasında Karbürlü Kesici takımın Performansının Araştırılması”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs 2009, Karabük.

Yıldırım MM, Doğantan ZS, Çakan A ve Pakdil M (2001) Mühendislik Malzemeleri III, MKÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İskenderun.

Yıldız T ve GÜR AK (2006) “Aşınma Sistemleri”, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 86-91.

Zhou JM Andersson M Stahl, JE (2004) “Identification of Cutting Errors in Precision Hard Turning Process”, Journal of Materials Processing Technology, 153–154, 746–750.

Zhou JM, Walter H, Andersson M ve Stahl JE (2003) “Effect of Chamfer Angle on Wear of PCBN Cutting Tool”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 43: 301–305.

Zhu K, Wong YS ve Hong GS (2009) “Wavelet Analysis of Sensor Signals for Tool Conditionmonitoring: A Review and Some New Results”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 49: 537–553.

Zumgahr KH (1987) “Microstructure and Wear of Materials”, Tribology Series, 10: 560-569.