

**SERT DOLGU KAYNAĞI UYGULANAN AISI H13
KESME BIĞAĞININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
VE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**2018
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

İbrahim ÖZBEY

**SERT DOLGU KAYNAĞI UYGULANAN AISI H13 KESME BIÇAĞININ
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

İbrahim ÖZBEY



**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Mayıs 2018

İbrahim ÖZBEY tarafından hazırlanan “SERT DOLGU KAYNAĞI UYGULANAN AISI H13 KESME BIÇAĞININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa GÜNAY
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 31/05/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Yakup TURGUT (GÜ)

Üye : Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ (KBÜ)



...../...../2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

İbrahim ÖZBEY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SERT DOLGU KAYNAĞI UYGULANAN AISI H13 KESME BIÇAĞININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

İbrahim ÖZBEY

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Mayıs 2018, 71 sayfa

Bu çalışmanın ilk aşamasında, AISI H13 takım çeliğinden imal edilen kesme bıçağının aşınan bölgelerine elektrik ark kaynak yöntemi sert dolgu kaynağı yapılmıştır. Elektrot türü seçilirken, kesme bıçağı malzemesinin kimyasal bileşimine uygun sert dolgu kaynağı malzemesi belirlenmiş ve karbon eşdeğerliği tespit edilmiştir. Kaynak işlemi sonrasında, tahribatsız muayene ve sertlik ölçümleri ile kaynak dikişinin kalitesi kontrol edilmiştir. Malzeme karakterizasyon işlemlerinin son aşamasında, sert dolgu yapılmış kesme bıçağı malzemesinin aşınma karakteristiği incelenmiştir. Aşınma deneyleri sırasında malzemede oluşan deformasyon sertleşmesine bağlı olarak maksimum yük miktarına rağmen aşınma derinliğinde bir azalma olduğu belirlenmiştir.

İkinci aşamada, sert dolgu yapılan yüzeye frezeleme işlemi uygulanarak kesme bıçağı orijinal boyutlarına getirilmiş ve son olarak kesme bıçağının gerçek çalışma şartlarındaki ömrü tespit edilmiştir. Frezeleme işlemleri, iki farklı kaplamalı karbür kesici takım (CVD-TiCN/Al₂O₃/TiN ve PVD-ALTiCrN) ile değişik kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği) kullanılarak yapılmıştır. Talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülükleri ölçülerek sert dolgu kaynağının işlenebilirliği değerlendirilmiştir. En küçük bileşke kuvvet değeri, ilerleme miktarı ve kesme hızının en küçük olduğu deney sonrasında ALTiCrN kaplamalı kesici takımla 424 N olarak ölçülmüştür. En küçük yüzey pürüzlülük değeri 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 125 m/dak kesme hızında ALTiCrN kaplamalı kesici takımla 0,242 µm olarak belirlenmiştir. Ayrıca, ana malzemeye sert dolgu yapılarak kullanılan kesme bıçaklarının performansı değerlendirilmiş olup, gerçek çalışma şartlarında kesme bıçağı ömründe %50'ye varan bir artış sağlandığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : AISI H13, sert dolgu kaynağı, aşınma, frezeleme, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü

Bilim Kodu : 914.3.028

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF AISI H13 SHEAR BLADE APPLIED HARDFACING WELDING

İbrahim ÖZBEY

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

May 2018, 71 pages

In the first step of this work, the hardfacing welding with electric arc welding method was made to the wear areas of the cutting tool manufactured of AISI H13 tool steel. The carbon equivalent and hard fill material suitable for the chemical composition of the shear blade material was determined when selecting the electrode type. After welding process, the quality of the weld seam was checked by non-destructive testing and hardness measurements. At the end of the material characterization process, the wear characteristics of the hard-filled shear blade material were investigated. It was determined that there is a decrease in wear depth despite the maximum load due to the deformation hardening of the material during the wear tests.

In the second step, the shear blade was bringing to original dimensions by milling the surface applied hardfacing welding, and finally the life of the shear blade under

actual operating conditions was determined. Milling operations were carried out using different cutting parameters (cutting speed, feed rate and cutting depth) with two different coated carbide cutting tools (CVD-TiCN / Al₂O₃ / TiN and PVD-AlTiCrN). The machinability of the hardfacing welding was evaluated by measuring the cutting forces and surface roughness occurred during machining. The smallest value of resultant force was measured as 424 N with the AlTiCrN coated cutting tool at the lowest feed rate and cutting speed. The smallest value of surface roughness was determined to be 0,242 µm with AlTiCrN coated cutting tool at cutting speed of 0.1 mm/rev and cutting speed of 125 m/min. In addition, the performance of shear blade was assessed, and it was shown that under actual operating conditions is achieved up to 50% improvement in the shear blade life.

Key Words : Hardfacing welding, wear, milling, cutting force, surface roughness

Science Code :914.3.028

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında ve yürütülmesinde desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendirerek çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasına başlamamda en büyük destekçim olan sevgili amcam Şerafettin ÖZBEY'e sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmaya başlamam ve çalışmalarım sırasında her türlü desteği sağlayan çok değerli başta sayın Cengiz ÖZER olmak üzere tüm Kardemir A.Ş. yöneticileri ve mesai arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında teknik desteğini esirgemeyen Castolin A.Ş. çalışanı sayın Mehmet SALMAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Sadece akademik çalışmam süresince değil, hayatım boyunca maddi-manevi tüm destek ve yardımlarını esirgemeyen, bugünlere gelmemde büyük emeği olan başta anne ve babama sonsuz şükran ve minnetlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşım Wannapa Manus'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	iv
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	4
2.1. SERT DOLGU KAYNAĞI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	4
2.2. İŞLENEBİLİRLİK ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR	8
BÖLÜM 3	13
DOLGU KAYNAĞI VE MUAYENE YÖNTEMLERİ.....	13
3.1. DOLGU KAYNAĞI	13
3.1.1. Sert Dolgu Kaynağı Uygulama Alanları	13
3.1.2. Sert Dolgu Kaynak Yöntemleri	14
3.1.3. Kaynak Yöntem Seçimi.....	14
3.1.4. Sert Dolgu Alaşımlarının Sınıflandırılması	15
3.1.4.1. Östenitik Sert Dolgu Alaşımları.....	16
3.1.4.2. Martenzitik Sert Dolgu Alaşımları.....	17
3.1.4.3. Karbürlü Sert Dolgu Alaşımları.....	17

	<u>Sayfa</u>
3.1.4.4. Demir Dışı Sert Dolgu Alaşımları	18
3.2. TAHRİBATSIZ MUAYENE.....	18
3.2.1. Radyografik Muayene	19
3.2.2. Ultrasonik Muayene Yöntemi	20
3.2.2.1 Yöntemin Avantaj ve Dezavantajları.....	21
3.2.3. Sıvı Penetrant ile Muayene.....	22
3.2.3. Görsel Muayene.....	23
3.2.4. Manyetik Parçacık Testi	23
BÖLÜM 4	25
FREZELEME İŞLEMİ	25
4.1. FREZELEME MEKANİĞİ.....	25
4.1.1. Alın Frezeleme	26
4.2. KESME KUVVETLERİ	28
4.2.1. Frezelemede Kesme Kuvvetleri.....	29
4.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....	32
4.3.1. Yüzey Hatalarının İncelenmesinde Genel Kurallar	344
4.3.2. Yüzey Kalitesinin Değerlendirilmesi	34
4.3.2.1. Ortalama Çizgi Sistemi	35
4.3.2.2. Zarf Sistemi.....	356
4.3.3. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri.....	377
4.3.3.1. Ortalama Eksen Çizgi Değeri	37
4.3.3.2. Maksimum Tepe-Dip Yüksekliği (R _{max} , R _t)	38
4.3.3.3. Profil Maksimum Tepe Yüksekliği (R _p) ve Dip Derinliği (R _m).....	38
4.3.3.4. On Nokta Yüksekliği (R _z)	38
4.3.3.5. Örnekleme Uzunluğu	39
4.3.3.6. Yüzey Yapısı ve Gerçek Yüzey	39
4.3.4. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler	40
BÖLÜM 5	43
MATERYAL VE YÖNTEM	43
5.1. KAYNAK NUMUNELERİ VE EKİPMANLAR.....	43

	<u>Sayfa</u>
5.1.1. Malzeme	43
5.1.2. Kaynak Parametreleri ve Dolgu Kaynağı	44
5.1.3. Deney Numunesinin Karakterizasyonu	46
5.1.3.1. Manyetik Test	46
5.1.3.2. Mikroyapı Görüntüleri	47
5.1.3.3. Sertlik Ölçümü	47
5.1.3.4. Aşınma Deneyleri	49
5.2. İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİ	50
BÖLÜM 6	52
DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA	52
6.1. MALZEME KARAKTERİZASYON SONUÇLARI	52
6.2. FREZELEME SONUÇLARI	54
6.2.1. CVD Yöntemi İle Kaplanmış Kesici Takımla Elde Edilen Sonuçlar	54
6.2.1.1. Kesme Kuvvetinin Değerlendirilmesi	55
6.2.1.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi	56
6.2.2. PVD Yöntemi İle Kaplanmış Kesici Takımla Elde Edilen Sonuçlar	58
6.2.2.1. Kesme Kuvvetinin Değerlendirilmesi	58
6.2.2.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi	60
6.2.3. Kesici Takım Performanslarının Karşılaştırılması	61
BÖLÜM 7	64
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Fe bazlı sert dolgu alaşımlarının mikro yapılarına göre uygulama alanları.....	16
Şekil 3.2. X ışını ile muayene.....	20
Şekil 3.3. Penetrant Uygulamasına Örnek.....	22
Şekil 3.4. Manyetik Parçacık Uygulama Biçimler.....	24
Şekil 4.1. Simetrik alın frezeleme.....	27
Şekil 4.2. Asimetrik alın frezeleme; a) Aynı yönlü, b) Zıt yönlü.....	27
Şekil 4.3. a) Takım/iş parçası hareketleri, b) Kesme kuvveti bileşenleri ve yönleri.....	30
Şekil 4.4. Yüzey pürüzlülük profili.....	34
Şekil 4.5. Ortalama çizgi konumu.....	35
Şekil 4.6. Zarf eğrisinin elde edilişi.....	36
Şekil 4.7. Ortalama zarf eğrisi.....	36
Şekil 4.8. Yüzey pürüzlülüğü için sayısal değerler.....	37
Şekil 4.9. Alanlar ile Ra'nın gösterimi.....	38
Şekil 4.10. On nokta yükseklik hesabı için ortalama ölçümler.....	39
Şekil 4.11. Yüzey karakteristikleri.....	40
Şekil 4.12. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler.....	41
Şekil 5.1. Aşınmış makas bıçağı fotoğrafı.....	43
Şekil 5.2. Makas bıçağı imalat resmi.....	45
Şekil 5.3. Kaynak ağzı geometrisi.....	45
Şekil 5.4. Kaynak işlemi sonrası makas bıçağı.....	46
Şekil 5.5. Manyetik test cihazı.....	47
Şekil 5.6. Sertlik ölçüm cihazı.....	48
Şekil 6.1. Manyetik Test Aşaması.....	52
Şekil 6.2. Numune mikroyapı görüntüleri.....	53
Şekil 6.3. Aşınma deneyi sonuçları.....	54
Şekil 6.4. TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN kaplamalı takım ile ölçülen F _R 'nin değişimi.....	55
Şekil 6.5. TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN kaplamalı takım ile ölçülen Ra'nın değişimi.....	57

Sayfa

Şekil 6.6. AlTiCrN kaplamalı takım ile ölçülen F_R 'nin değişimi	59
Şekil 6.7. AlTiCrN kaplamalı kesici takım ile ölçülen R_a 'nın değişimi.....	60
Şekil 6.8. Bileşke kuvvet açısından takım kalitelerinin karşılaştırılması.....	62
Şekil 6.9. Yüzey pürüzlülüğü açısından takım kalitelerinin karşılaştırılması	63



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Tahribatsız Muayene Yöntemi Uygulama Alanları.....	19
Çizelge 3.2. Ultrasonik Muayene Yöntemi avantaj ve dezavantajları.....	21
Çizelge 5.1. Malzemeye ait karbon eşdeğeri.	44
Çizelge 5.2. Kaynak sırasında kullanılan kaynak parametreler	44
Çizelge 5.3. Sertlik ölçüm cihazı teknik özellikleri	48
Çizelge 5.4. Aşınma cihazı teknik özellikleri	49
Çizelge 5.5. Kesici Takım ve Takım Tutucu Bilgileri.....	50
Çizelge 6.1. CVD yöntemi ile kaplanmış kesici için F_R 'nin ANOVA sonuçları.....	56
Çizelge 6.2. CVD yöntemi ile kaplanmış kesici için R_a 'nın ANOVA sonuçlar	58
Çizelge 6.3. PVD yöntemi ile kaplanmış kesici için F_R 'nin ANOVA sonuçları	60
Çizelge 6.4. PVD yöntemi ile kaplanmış kesici için R_a 'nın ANOVA sonuçları.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C _{eş}	: Karbon eşdeğerliliği
Al	: Alüminyum
V	: Vanadyum
Si	: Silisyum
Cu	: Bakır
Mn	: Mangan
W	: Wolfram
Mo	: Molibden
Ni	: Nikel
Fe	: Demir
C	: Karbon
Ar	: Argon
TiAlN	: Titanyum Alüminyum Nitrit
TiSiN	: Titanyum Silisyum Nitrit
Co	: Kobalt

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası standartlar örgütü)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
IIW	: International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
TS	: Türk Standardı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sürekli mekanik ve ısı yükleri altında çalışarak aşınmaya maruz kalan, boyutsal ölçü toleranslarını kaybeden ve görev yapamaz duruma gelen mekanik sistemlerden birisi de demir-çelik sanayisinde kullanılan kesme bıçaklarıdır. Bu takımalar, genellikle sıcak iş takım çeliklerinden imal edilmekte olup, kısa sürelerde aşınmakta ve yenisi ile değiştirilmektedir. Bu süreç, demir-çelik sanayisinin ilgili alanında malzeme sarfiyatı ve takımlama maliyetlerinin yükselmesine neden olmaktadır.

Takım çeliklerinin en belirgin özelliği yeterli tokluğunun yanında sertliğinin yüksek olmasıdır. Yüksek tokluk, malzemenin kırılmasını engellerken sertlik ise aşınma direnci sağlamaktadır. Ayrıca, takım çeliklerinin işlenmesi sırasında ortaya çıkan sıcaklık nedeniyle sertliğinde bir azalma olmaması istenmektedir. Sertlik, aşınma direnci için en önemli özelliktir ve tüm takım çelikleri işlediği malzemeden daha sert olmalıdır. Bu sayede, takım çelikleri aşınan taraf değil aşındıran taraf olarak işlevini yerine getirir [1].

Kesme, bükme, şekil verme, talaş kaldırma vb. işlemler için kullanılan takımalar, çeşitli kalitelerde takım çeliğinden üretilmektedir. Kimyasal kompozisyon içeriğine göre alaşımsız, alaşımlı ve yüksek alaşımlı takım çelikleri olarak gruplandırılır. Kullanım alanı ve çalışma sıcaklığına göre sıcak, soğuk, plastik ve yüksek hız takım çelikleri olarak gruplandırılır.

Soğuk iş takım çelikleri, malzemelerin soğuk şekillendirildiği ortamlarda kullanılır ve işleme esnasında meydana gelen çalışma sıcaklığı 200 °C'yi geçmez. DIN normlarına göre bazı soğuk iş takım çelikleri şunlardır: 1.2379, 1.2767, 1.2363, 1.2550, 1.2436. Sıcak iş takım çelikleri, demir ve demir dışı metallere şekil verme için kullanılır. Bu takımalar 200°C-600°C civarındaki sıcaklıklarda kullanılır.

Üretimdeki dövme, metal enjeksiyon, metal ekstrüzyon vb. kalıpları sıcak iş takım çeliklerinden üretilir. DIN normlarına göre sıklıkla kullanılan sıcak iş takım çelikleri şunlardır: 1.2343, 1.2344, 1.2367, 1.2714, 1.2365. Plastik takım çelikleri, plastik ürünlerin üretiminde kullanılan kalıpların imal edildiği çeliklerdir. Bu çeliklerin korozyon dayanımı, parlatılabilirliği, işlenebilirliği ve boyutsal kararlılığı önemli bir kullanım kriteridir. DIN normlarına göre bazı plastik kalıp çelikleri şunlardır: 1.2738, 1.2311, 1.2312, 1.2083. Yüksek hız takım çelikleri, talaşlı imalat veya kesme işlemlerinde kullanılan kesici takımlar bu çeliklerden üretilmektedir. Torna, freze, matkap gibi makinelerin talaş kaldıran kesici takımları genellikle yüksek hız takım çeliklerinden imal edilir. DIN normlarına göre bazı yüksek hız takım çelikleri şunlardır: 1.3343, 1.3243, 1.3207. Genel olarak dört başlıkta gruplandırılrsa da her grubun içinde kullanım yerine göre farklı kalitede takım çeliği tercih edilebilmektedir. Örneğin; plastik kasa üretiminde eğer kasa üzerinde desen olmayacaksa 1.2311 ya da 1.2312 kalite çelik kullanılabilir, fakat üretilecek olan plastik kasa desenli olacaksa kalıbında 1.2738 kalite çelik tercih edilmelidir [2].

Takım çeliklerinden takım üretiminde; kullanım alanına göre kesme kabiliyeti öne çıkarılarak takım malzemesi için gerekli mekanik özellikleri (sertlik, tokluk, aşınma dayanımı) kazandırabilmek amacıyla ısıl işlem uygulanmaktadır. Şekil verme ve sertleştirmeden önce bütün yüksek hız çelikleri bileşimine göre 760-850 °C'de 2-4 saat tavlansak yumuşatılır ve 600 °C'ye kadar fırında soğutulduktan sonra havada oda sıcaklığına kadar soğutulurlar.

Yüksek hız çeliğinin yapısındaki kararlı karbürlerin su vermeden önce yeteri kadar çözünmesi gerektiği için su verme sıcaklığı 1200-1320 °C aralığındadır. Diğer taraftan çelik yüksek sıcaklığa çok yavaş veya kademeli olarak ve çoğunlukla kontrollü tuz banyosunda ısıtılmaktadır. Bu ısıtma ile östenitleme sıcaklığına ulaşan çeliğin yapısındaki karbürlerin çoğu, bu sıcaklıkta çözünür ve östenit fazı oluşması için gerekli karbon ve alaşım elamanlarını yapıya verirler. Çeliğin soğutma ortamında hızla soğutulması ile martenzitik yapı oluşur. Sertleştirme sonrası çeliğin iç yapısında %70 martenzit, %10 çözünmemiş karbür ve %20 artık östenit bulunur. Martenzit çeliğe sertlik ve aynı zamanda gerilimli bir yapı olduğu için kırılma verirken, artık östenitin düşük sertliği sebebiyle yapıda sertlik bakımından bir

dengesizlik oluşur. Artık östenitin sertliğe olumsuz etkisini gidermek için martenzite dönüştürmek ve gevrek martenzit fazının sertliğini giderip tokluğunu arttırmak amacıyla menevişleme işlemi uygulanır [3].

Bu tez kapsamında, AISI H13 takım çeliğinden imal edilen kesme bıçağının aşınan bölgelerinin sert dolgu kaynağı ile doldurulması ve böylece takım malzemesinin aşınma direncinin artırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, farklı kaynak parametrelerine göre sıcak iş takım çeliğinin aşınma karakteristiği incelenmiştir. Sert dolgu kaynağı ve ardından talaşlı imalat işlemi ile gerçek ölçülerine getirilecek kesme bıçağının yeniden kullanımının sağlanması ile takımlama maliyetlerinin daha düşük seviyelerde gerçekleştirilebilmesi amacıyla deneysel ve istatistiksel çalışmalar yapılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR İNCELEMESİ

2.1. SERT DOLGU KAYNAĞI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Mil, aks, dişli çark vb. makina elemanları, ziraat aletlerinin toprakla temas eden yüzeyleri, toprak hafriyat makinelerinin ağızları, makas bıçakları, değirmen kırıcıları ve sürtünerek çalışan diskler, sert yüzeylerden meydana gelirler. Bu yüzeyler termal ve mekanik yükler etkisi altında zamanla aşınmaya maruz kalırlar. Aşınan kırılan veya çatlayan bu makina parçalarını satın almak veya imal ettirmek bazen mümkün olmadığı gibi ekonomik de değildir [4,5].

Sert dolgu kaynağı, modern mühendislik alanlarında önemi sürekli artan bir imalat sürecidir. Aşınma, korozyon ve diğer biçimde yüzey bozulmalarının yaşandığı durumlarda, sert dolgu kaynakları metalik parçaların ekonomik şekilde yenilenmesine imkân vermektedir. Bu süreçte, sert dolgu metalinin nitelikleri ve kalitesi, her şeyden önce sert dolgu alaşımına ve sonrasında ana metal bileşimi, kullanılan kaynak süreci ve yönetimi, dolgu uygulanan tabaka sayısı ve diğer kaynak karakteristiklerine bağlıdır [6].

Özellikle, dolgu kaynağı metalinin karbon eşdeğerliğinin bilinmesi, kaynak işlemi öncesinde ön tavlama gerekliliğinin sorgulanması açısından önemlidir. Bu bağlamda, sert dolgu kaynağı uygulanarak yenilenmiş makine parçasının mekanik özelliklerinin istenilen seviyede elde edilmesi için Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW)'nün IX numaralı Kaynak Kabiliyeti Komisyonunun kabul ettiği $Ceş = C + Mn/6 + Cr/5 + Mo/5 + V/5 + Ni/15 + Cu/15$ eşitliğine göre karbon eşdeğerliği hesaplanmalıdır [7].

Elektrik ark kaynağı ile dolgu kaynağı yapıldığı gibi, tozaltı ve gazaltı yöntemleri ile metal parçaların yüzeylerine dolgu yapılabilir. Ark kaynağı düşük donanım maliyeti ve birçok işe yatkınlığı sebebi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynak her pozisyonda ve durumda küçük işlerden büyük işlere kadar her boyutta yapılabilir. Bu yöntem, kaynakçının çatlamayı azaltmak üzere ark gücünü aşağıda tutması, aşım elementi kaybını engellemek için kısa arka çalışması, aşırı kaynak banyosundan kaçınması, ana metalle karışmayı asgaride tutması ve özellikle alçak hidrojen elektrotları ile rutubeti sınırlaması gibi önlemleriyle faydalı bir yöntem olarak kabul edilmektedir [8,9].

Dolgu kaynağı, lokomotif tekerleği, krank milleri, karıştırıcılar, kırıcı çeneler, iş makinesi parçaları, hadde silindirleri, kesme kalıpları ve hacim kalıpları gibi birçok endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle takım çeliklerinden imal edilen makaslama bıçakları, zimbalar ve kesme kalıpları gibi keskinlik dışında boyutsal ölçülerin korunmasının önemli olduğu yerlerde sert dolgu kaynağı uygulamaları vazgeçilmez bir araçtır. Çatlayan veya aşınan kalıpların onarımı, aşınan kenarların yenilenmesi, kesici kenarların veya boşluklu yüzeylerin doldurulması, kalıpların işlenmesinde meydana gelen hataların düzeltilmesi için öncelikle kaynakla doldurma işlemi uygulanmaktadır [10,4].

Kaynaklı bölgenin sıcaklığı normal sıcaklık değerine ulaşmadan önce, talaşlı imalat işlemleri uygulanmamalıdır. Kaynak işleminin ardından, kaynaklı bölgenin sertliği ve kalitesi kontrol edilmelidir. Bu kontroller sırasında uygulanacak olan muayene yöntemleri, parçaya zarar vermeyecek şekilde seçilmelidir [10, 11]. Kaynak işleminin amacı, parçayı tamir etmek ve daha dayanıklı hale getirmek olduğundan, kaynak dikişi ana metale göre daha kaliteli olmalıdır. Kaynak dikişinde istenilen geometriyi veya düz bir yüzey elde etmek için tornalama, taşlama, frezeleme, delme vb. talaşlı imalat işlemlerine gerek duyulmaktadır [12].

Sert dolgu kaynağı üzerine ulusal ve uluslararası alanda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Albaraz, farklı kimyasal kompozisyonlara sahip üç farklı sıcak iş takım çeliği üzerinde sertlik, darbe dayanımı, aşınma dayanımı ve mikroyapı araştırmaları yapmıştır. Araştırmalar sonucunda, DIN 1.2344 çeliğinin en yüksek sertlik değerine sahip olduğu, DIN 1.2714 ve E38K kalite çeliklerin ise sertlik değerlerinin daha düşük olduğu bulunmuştur. X-ışınları testi ile malzemelerin tümünde martenzitik yapı ve krom karbür bulunduğu tespit edilmiştir. Deneyle sonucunda, en yüksek aşınma E38K kalite malzemede belirlenmiş olup, DIN 1.2344 ve DIN 1.2714 malzemelerin aşınma dirençleri nispeten yüksek çıkmıştır. Darbe testleri sonucunda, tüm malzemelerin oda sıcaklığında daha düşük enerjilerde kırıldıkları görülmüştür. DIN 1.2714 kalite malzemenin tokluğu sıcaklık artışı ile birlikte ani değişim göstermemiş olup, E38K malzemede ise tam tersi bir eğilimde artış göstermiştir. DIN 1.2344 malzemede ise oda sıcaklığından 200 °C'ye geçişte ani bir yükselme tespit edilmiştir [11].

Gülenç, tozaltı kaynağı ve sert dolgu işlemlerinde yaygın olarak kullanılan OP 1250 A kaynak tozu ve toza ilave edilen bor ve grafit tozlar kullanmıştır. Numunelere azot gazlı ve gazsız ortamda kaynak dikişleri çekilerek kaynak dikişlerinin aşınma, sertlik, mikro yapı numuneleri çıkartarak numune üzerinde sertlik ölçümü, aşınma deneyi ve metalografik incelemeler yapmıştır. İncelemeler sonunda aşınma ve sertlik değerlerinin ilave edilen bor, grafit tozu ve azot gazı ilavesi ile arttığı görülmüştür. Deneyle neticesinde, %40 bor + %10 grafit ve %50 OP 1250 A toz karışımı kullanılarak, azot gazı ilaveli numunede en iyi sertlik ve aşınma direncine ulaşılmıştır [13].

Fouilland vd., sıcak dövme takımları için kobalt bazlı sert dolgu uygulamasının sürtünme esaslı deformasyon sertleşmesi kabiliyetini araştırmıştır. Bu amaçla, 55NiCrMoV7 sıcak iş takım çeliği üzerine MIG yöntemi ile kobalt bazlı Stellite 21 süper alaşımını dört katman olarak biriktirmişlerdir. Araştırmacılar, kaynak enerjisi ve kaynak işlemi uygulamasına (yarı otomatik ve otomatik) göre değerlendirmeler yapmışlardır. Kimyasal analizlere göre en yüksek ergime oranının ilk katmanda oluştuğunu ve yüksek enerji kullanımında ergime oranının arttığını belirlemişlerdir. En son katmanda en düşük ergimenin meydana geldiği belirlenirken, aynı zamanda bu katman sürtünmeye bağlı deformasyonun en fazla olduğu yer olarak bulunmuştur.

Buna göre sürtünme esaslı deformasyon sertleşmesinden dolayı malzeme aşınma direncinin arttığını tespit etmişlerdir [14].

Lazic vd., hasar görmüş rotatif kırıcıların çarpma kırışlerinin östenit-çelik elektrotlarla sert dolgu yapılarak tamir edilebilirliği üzerinde çalışmışlardır. Öncelikle numuneler hazırlanarak yüzeye östenit manganez ve özel elektrotlarla dolgu yapılarak çalışma şartlarında aşınma davranışları periyodik olarak izlenmiştir. Aynı zamanda yeni parçalarda denenmiştir. Kaynak bölgelerinin E Mn17Cr13 elektrodu ile doldurularak çalışma ömrünün yaklaşık iki kat artırıldığını ve böylece hem bakım süresinin azaltıldığını hem de ciddi ekonomik kazanç sağlandığını belirtmişlerdir [15].

Gualco vd., yarı otomatik gaz altı ark kaynağı ile modifiye edilen AISI H13 takım çeliğinin mikroyapı ve aşınma direncinin kaynak parametrelerine göre değişimini incelenmişlerdir. Kullanılan kaynak parametreleri; Ar-%2 CO₂ ve Ar-%20 CO₂ koruyucu gazları, iki seviye (2 ve 3 kJ/mm) ısı girdisi ve kaynak sonrası ısıl işlem (550 °C'de 2 saat) şeklindedir. Araştırmada, numunelere 500 N yük altında aşınma testleri uygulanmış olup, aynı zamanda mikrosertlik ve mikroyapı değerlendirmeleri yapılmıştır. Kaynaklı numunelerin ısıl işlem görmüş numunelere göre daha yüksek aşınma direnci gösterdiği belirlenmiştir. En iyi aşınma davranışı, en düşük oksijen potansiyeline sahip koruyucu gaz altında ve düşük ısı girdisi ile elde edilen numunelerde gözlemlenmiştir [16].

Brezinova vd., aşınma şartlarında sertlik sonuçlarının araştırılması üzerine incelemeler yapmışlardır. Üç katlı sertleştirilmiş metal oluşturulmasında farklı iki tip kimyasal elektrot kullanılarak baz metal ile dolgu metalinin karıştırılmasının ve sert dolgu kaynak yapısının aşınmaya karşı direnci üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları, sertlik ve aşınma değerlerinin üçüncü katmana kadar optimum özelliklerinin başarıyla ulaşılamayacağını doğrulamıştır. Ayrıca aşınma yoğunluğunun, aşınma parametrelerine ve sert metal yapılarına oldukça bağlı olduğunu göstermiştir [17].

Kang vd., tezek kırma makine bıçağının periyodik olarak değiştirilebilmesi için gereken zamanı sağlamak ve bıçağın kullanım ömrünü artırmak için bıçaklara sert

dolgu yaparak sert yüzeylerin aşınma davranışını incelemişlerdir. Bıçağın ön kenar kısmına tungsten gazaltı ark kaynağı yöntemi ile dört farklı elektrot kullanılarak sert dolgu kaynağı yapılmıştır. Sert yüzeyli bıçaklar ile sert olmayan yüzeylerin sahada ve laboratuvar ortamındaki performanslarını karşılaştırmak için testler uygulanmıştır. 50 dönümlük kuru kumla kaplı bir pirinç tarlasında saha testi yapılmıştır. Sert yüzü olmayan bıçağın ortalama aşınma oranı 7,08 mg/dönüm olarak bulunurken, 5HCr, 7.5HCr, 12HCr ve 8HCr sert yüzeyler için sırasıyla 5.02, 4.3 2.84 ve 4.22 mg/dönüm olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, sert yüzeyli olmayan bıçaklar üzerine uygulanan sert dolgu kaynağı ile aşınma direncinde önemli bir artış sağlandığı görülmüştür [18].

2.2. İŞLENEBİLİRLİK ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Talaşlı imalat yöntemlerinden olan tornalama, frezeleme ve taşlama vb. yöntemler ile karmaşık geometriye sahip parçaların istenilen boyut, tolerans ve yüzey kalitesinde imal edilebilmesi için en uygun kesme şartlarının sağlanması gerekir. Bu süreçte, kesme kuvveti, yüzey kalitesi, takım ömrü, talaş tipi, kesme sırasında harcanan enerji, kesme sıcaklığı gibi bağımlı değişkenler ile iş parçası ve takım malzemesi, kesme parametreleri (kesme derinliği, ilerleme miktarı, kesme hızı), takım geometrisi ve kesme sıvısı gibi bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin doğru tespit edilmesi son derece önemlidir [19].

Yüksek aşınma direnci, yüksek tokluğa ve yüksek sertleşme kabiliyetine sahip olan takım çelikleri kalıplar, zımbalar, makas bıçakları, çapak alma takımları gibi kırılmaya maruz kalan elemanların imalatında yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerden imal edilen makine parçaları genellikle ısıtılma tabii tutulmakta olup, ısıtılma işlemlerden sonra parça geometrisine bağlı olarak bir miktar çarpılmaya maruz kalırlar. Parçalar, bu durum dikkate alınarak gerçek boyutsal ölçülerinden bir miktar büyük olacak şekilde üretilmektedir [20].

Isıl işlemde sonra çoğu kez taşlama ve diğer talaşlı imalat işlemlerine tabi tutulurlar. Taşlama işleminin birçok geometriye uygulanmasındaki sınırlamalar ve gelişen takım teknolojisi sayesinde sertleştirilmiş çeliklere frezeleme, tornalama vb. talaşlı imalat işlemleri uygulanabilmektedir. Bu imalat yöntemlerinde, maliyetleri ve birçok

kesme şartına uygun geometrilerde üretilmeleri bakımından, talaşlı imalat sektöründe farklı malzemeler ve farklı amaçlar için çeşitli kaplamalı veya kaplamasız karbür kesici takımlar oldukça yaygın kullanılmaktadır [21-23].

Dolgu kaynağı uygulanmış veya uygulanmadan kullanılan takım çeliklerinin işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Ulaş vd., endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan AISI H13 sıcak iş takım çeliği üzerinde yüksek hız çeliği (HSS) testere freze çakıları kullanarak frezeleme işlemi yapmışlardır. Frezeleme deneyleri, beş farklı kesme hızı (20-50 m/dak) ve ilerleme hızı (20-100 mm/dak) ile 1 mm sabit kesme derinliğinde soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Frezeleme işlemleri sırasında oluşan kesme kuvveti bileşenleri ile yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Düşey yönde oluşan kesme kuvvetlerinin (F_z) yatay yönde oluşan kesme kuvvetlerinden (F_x) yaklaşık olarak %50 daha fazla olduğu görülmüştür. Kesme hızı 20 m/dak olan deneylerde tabla ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin önemli derecede arttığı belirlenmiştir [24].

Cui vd., sertleştirilmiş çeliğin yüksek hızda frezelenmesinde karbür takım ömrünü artırmak için kesme parametrelerinin optimizasyonu üzerine bir araştırma yapmışlardır. Ortalama tane büyüklüğünü ve numune boyutlarını belirlemek için takım malzemesi mikroyapısının görüntü analizi yapılmıştır. Takım malzemesinin başlangıç durumu, mikro-mekanik ve hasar mekanizmasına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca, takım eşdeğer gerilmelerini incelemek için frezeleme işleminin sonlu eleman simülasyonu yapılmıştır. Zıt yönlü frezelemede, aynı yönlü ve simetrik frezelemeye göre daha düşük eşdeğer gerilme hasarı meydana geldiği belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, optimum kesme parametrelerini bulmak için önerilen optimizasyon yönteminin kullanılabilir olduğunu göstermiştir [25].

Öztürk vd., seramik ve tungsten karbür takımlarla Stellite-6 kaplamanın işlenebilirliğini incelemiştir. Takım malzemelerinin tornalama işlemindeki performansı analiz edilmiştir. İki malzeme, farklı kesme hızlarında ve ilerleme oranlarında yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve

kesme parametreleri arasındaki ilişkilerin analizi için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Deneyler ve analiz sonuçları, Stellite-6 kaplamalı malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü açısından lif-takviyeli seramik uçların tungsten karbür kesici takımından daha uygun olduğunu göstermiştir [26].

Demirci vd., DIN 1.2344 takım çeliği üzerindeki dışbükey ve içbükey yüzeylerin TiAlN kaplamalı küresel parmak freze ile frezelenmesinde takım sehimine bağlı form hatalarını değerlendirmişlerdir. Farklı takım yolu stratejileri ve kesme parametrelerinin farklı seviyeleri için frezeleme deneyleri yapılmıştır. Deneylerde, endüktif sensörler ile işleme süresince dinamik takım sehim kaydedilmiştir. Ölçülen takım sehim değerleri ve 3B optik tarama form hata ölçüm değerleri karşılaştırılmıştır. Dışbükey ve içbükey yüzey formları için frezeleme pozisyon açısının 45° ile 60° aralığında en fazla takım sehim ve form hatası tespit edilmiştir. Ayrıca, en büyük sehimin olduğu bölgeler, optik taramalardan elde edilen en büyük form hata bölgeleri olarak belirlenmiştir. Sonuçlar ışığında, kesici takım sehimine bağlı form hatalarının tespitinde, dinamik ölçümler ile optik tarama sonucunda elde edilen değerlerin örtüştüğü vurgulanmıştır [21].

Zeyveli vd., AISI H13 takım çeliğinden hazırlanan iş parçaları üzerinde işlenebilirlik deneyleri yapmışlardır. Deneyler, sekiz farklı kesme hızında (120-400 m/dak), dört farklı ilerleme miktarında (0,5-0.20 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliğinde soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerleri ve kesme kuvvetleri ölçülmüştür. En iyi yüzey pürüzlülük değerleri ilerleme miktarı 0,5 mm/dev olan deneylerde elde edilmiştir. Ancak ilerleme miktarı 0,5 mm/dev’de yapılan deneylerde talaş kalınlığı az olduğu için meydana gelen sürekli talaş oluşumunun bir problem olduğu belirtilmiştir. Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin önemli miktarda azaldığı belirlenmiştir [27].

Benghersallah vd., sıcak takımlama imalatı için nikel bazlı sert kaynak dolgusunun yüksek hızda işlenebilirliği ile ilgili deneysel sonuçları değerlendirmiştir. Yazarlar, dövme işinde aşırı darbe, kuvvet, gerilme ve sıcaklık oluştuğu için kalıpların son derece dayanıklı olması gerektiğini belirtmiştir. Bu bağlamda, plazma ark kaynağı ile 55NCDV7 çeliği üzerine Stellite-6 sert dolgu kaplama yapılarak dövme işlemine

cevap veren bir prototip imalat süreci hedeflenmiştir. Beş farklı kalitede (H13A, 3040, 1030, 4240 ve 4030) kesici takım kullanılarak aynı yönlü frezeleme ile dolgu malzemesinin yüksek hızda işlenebilirliği araştırılmıştır. Frezeleme süresince oluşan güç tüketiminin takım aşınmasına bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Kesme kuvvetleri açısından en uygun kesme hızı 190 m/dak olarak belirlenmiştir [28].

Mansori vd., sıcak takımlama imalatında kullanılan nikel bazlı sert dolgunun işlenebilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla, 60 mm kalınlığında 56 CrNiMoV7 çelik blok üzerine, yarı otomatik MIG kaynağı kullanılarak kalınlıkları 2-3 mm arasında değişen 5 katman şeklinde Hastelloy C tipi alaşım biriktirilmiştir. Frezeleme deneyleri, 80 m/dak kesme hızı, 0,12 mm aksel kesme derinliği, 12 mm radyal kesme derinliği ve 0,05 mm ilerleme hızında, kaplamalı karbür freze (TiAlN ve MoS₂) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında, iş parçası yüzeyinin yüksek sertliğinden dolayı kesici takımların zamanından önce aşındığı tespit edilmiştir. Bu oluşumun, talaşların takıma yapışması, kesici kenarda şiddetli çentiklenme ve ardından takım malzemesinde ufalanmaya neden olduğu belirlenmiştir. Nikel esaslı sert tabakaların işlenmesinde, takım aşınmasının vaktinden önce meydana gelmesinden dolayı yüksek hızda kuru ortamda işlenebilmesinin sınırlı oranda kaldığı vurgulanmıştır [12].

Uzun ve Turgut farklı amaçlar için tasarlanmış ve imal edilmiş konstrüksiyonlarda zamanla aşınmalar veya kopmalar oluşabileceğini belirtmişlerdir. DIN 1.2344 sıcak takım iş çeliği ve DIN 1.2379 soğuk takım iş çeliği numune malzemelere (20x20x100 mm) kaynaklı birleştirme işlemi ile kaynak işlemi yapmışlardır. Dolgu işlemi sonucunda oluşan yüzeyleri CNC freze tezgahında frezeleme yöntemiyle işlemişlerdir. Dolgu kaynağı sonucunda, DIN 1.2379 malzemede 550 HBN, DIN 1.2344 malzemede ise 590 HBN sertlik oluştuğu belirlenmiştir. İşleme deneyleri sonucunda, kesme hızının artışı ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı, kesme kuvvetlerinde ise tam tersi bir eğilimin meydana geldiği bulunmuştur [29].

Liu vd., sertleştirilmiş takım çeliklerinin frezelenmesinde toplam enerji tüketimine odaklanmışlardır. Sertleştirilmiş iş parçalarının frezelenmesinde takım ömrünün çok kısa olması nedeniyle kesici takımların gömülü enerji tüketiminin çok yüksek

olduğuna vurgu yapan araştırmacılar, bu konuda çok az çalışmanın yapıldığını belirtmişlerdir. Bu bağlamda, kesici takım ve iş parçasının gömülü enerjisi ile birlikte makine enerjisine bağlı olarak sert frezelemede toplam enerji tüketimini araştırmışlardır. Bunun için AISI H13 takım çeliği üzerinde (Ti,Al)N/TiN kaplamalı tungsten karbür uçlar ile aynı ve zıt yönlü frezeleme işlemi uygulayarak takım aşınması ve enerji tüketimini ölçmüşlerdir. Yüksek talaş kaldırma oranının makine spesifik enerji tüketimini azalttığını ve dolayısıyla daha az toplam enerji tüketime sağladığını tespit etmişlerdir. İşleme sistemlerinde bir kesme sürecinin toplam enerji tüketime değerlendirilirken, kesici takım ve iş parçası malzemesi tüketime katkısının dikkate alınmasını önermişlerdir [30].

Wang vd., kalıpcılık endüstrisinde sertleştirilmiş çeliğin yüksek hızda işlenmesinde, kaplanmış karbür takımların aşınmasının azaltılması, işleme veriminin ve kalitesinin iyileştirilmesinin önemli olduğunu vurgulamışlardır. Bu bağlamda, sertleştirilmiş eliklerin (SKD11/HRC 62, S136/HRC 51) TiAlN ve TiSiN kaplamalı karbür takımlar ile yüksek hızda işlenmesinde; takım çapı, takım açısı, takım bağlama uzunluğu, kesme kuvveti ve kesme kaynaklı titreşimin kesici takım aşınması ve kırılması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, karbür kaplı takımlarda baskın olan aşınma modellerinin yan yüzey aşınması, kırılma ve mikro-çentiklenme olduğunu göstermiştir. Serleştirilmiş eliğin işlenmesinde kullanılan kaplamalı karbür takımın kırılma tipleri kaplama soyulması, pullanma ve uç kırılması şeklinde gerçekleşmiştir. TiSiN ile kaplanmış kesici takımların ömrü, abrasiv aşınmanın azalması nedeniyle TiAlN ile kaplanmış takımlardan daha uzun llmştir. Araştırmacılara göre optimal takım bağlama uzunluğunun seçimi, minimum kesme kuvveti ve takım aşınmasını ile en iyi işleme kalitesini sağlayabilir. Kk talaş açısı, uygun boşluk açısı ve büyük helis açısı olan bir takım sadece kesme kuvvetini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda düzgün bir kesme süreci ve daha az kesici takım aşınması sağlar [31].

BÖLÜM 3

DOLGU KAYNAĞI VE MUAYENE YÖNTEMLERİ

3.1. DOLGU KAYNAĞI

Aşınma direnci yüksek parçalar oluşturmak ya da parçaları orijinal boyutlarına getirmek için metal parçaların yüzeylerinin farklı kaynak yöntemleri kullanarak özel alaşımlı malzemeler ile biriktirilmesi dolgu olarak adlandırılır. Sert dolgu, parçaların çalışma ömürlerini uzatmak ve aşınma direnci yüksek yüzey oluşturmak amacıyla uygulanan düşük maliyetli bir yöntemdir. Yedek parça değişim ihtiyacının azalması, bakım süresinin azalması, ana parçanın düşük maliyetli malzemelerden yapılabilirliği, demontaj-montaj süresinin azalması, stok bulundurma miktarının ve genel maliyetlerin azalmasını sağlamaktadır. Sert dolgu alaşımları, tüm metal malzemelerin ihtiyaç duyduğu aşınma dayanımını karşılayacak geniş bir alanı kapsamaktadır. Sert dolgu alaşımlarının bazıları çok sert olup bazıları ise yumuşak bir matrise ve bu matris içinde aşınma dayanımını sağlayacak parçacıklar bulundurmaktadır. Bazı alaşımlar sert dolgu katmanı elde etmek, bazıları ise parçaları gerçek ölçülerine getirmek amacıyla kullanılmaktadır. Sert dolgu, metal-metal sürtünme, darbe, darbe ve abrazyonu kapsayan ciddi aşınma şartları için uygulanabilmektedir [32].

3.1.1. Sert Dolgu Kaynağı Uygulama Alanları

Sert dolgu kaynağı, parçanın yüzeyine, farklı özellikte bir malzemenin bir kaynak dikişi şeklinde uygulanmasıyla yapılır. Parçanın tamamının pahalı malzemelerden oluşması yerine, yüzeyini aşınmaya, korozyona veya kimyasal etkilere karşı daha dayanıklı bir malzemeyle kaplamak daha ekonomik bir yoldur. Sert dolgu kaynağı aşınma, korozyon ve diğer tür yüzey bozulmaları yaşandığı durumlarda metal parçalarının ekonomik şekilde yenilenmesine imkân sağlar. Sert dolgu kaynağı

yalnız parça yenilemek için değil, aynı zamanda yeni parçaların ve takımların üretilmesi için yaygın olarak kullanılır. Bu işlemde, alaşimsız veya düşük alaşımli çelik malzemelerin yüzeyleri istenen özelliklere sahip bir malzeme katmanı sağlayacak dolgu malzemesi ile kaplanır. Sert dolgu kaynaklarında kullanılacak kaynak malzemesinin seçimi; mineral, korozyon, kavitasyon, erozyon veya yüksek sıcaklık şartlarına bağlıdır. Bunun yanısıra, ana metalin kimyasal kompozisyonunun bilinmesi, ön tav ve son tav sıcaklıklarının belirlenmesi için oldukça önemlidir. Maliyetleri yüksek parçaların sadece aşınan kısımlarının sert dolgu ile kaplanması hem ekonomik açıdan hem de zaman tasarrufu sağlar [33].

3.1.2. Sert Dolgu Kaynak Yöntemleri

Sert dolgu alaşımları herhangi bir kaynak yöntemi ile uygulanabilmekte olup seçilen yöntemin uygulanabilirliği ve ihtiyaçlara cevap vermesi açısından en makul yöntem olmalı gerekir. Oksi-Asetilen ve TIG kaynağı sert dolgu için kullanılmakla birlikte düşük yığıma miktarları sebebi ile uygulama alanları azdır. Metal yığıma hızını arttırmak için çeşitli uygulamalar yapılabilmektedir. Bu yöntemlerin kendilerine özgü avantajları ve sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu nedenle sert dolgu uygulanacak parçaya ve uygulamaya en uygun yöntemin seçilmesiyle başarıya ulaşılır [32].

3.1.3. Kaynak Yöntem Seçimi

Dolgu kaynak yönteminin seçimi kaynak yönteminin seçiminde mevcut kaynak malzemeleri, kaynak operatörünün deneyimi, parçaların şekli ve boyutları, kaynatılacak parçaların bulunduğu ortam ve sert dolgu kaynak ekipmanları göz önünde değildir. İş parçasının boyutu, biçimi ve ağırlığı kaynak yöntemi seçimini her zaman etkiler. Sert yüzey dolgusu ya da ölçüsüne getirilmeyi gerektiren çok büyük, boyutlu ağır olan parçalarda, parçanın bulunduğu yere kolay taşınmasını sağlayan yöntem uygulanır. Bu uygulamalarda, özellikle zor yerlerin dolgusu söz konusu olduğunda kaynak daha çok elle veya yarı otomatik olarak yapılır. Ark kaynağı ile birim zamanda daha çok metal yığımak mümkün olabilir. Bu sebeple bu yöntem büyük yüzeylerin kaplanması için uygundur. Küçük parçaların doldurulması, kenar ve köşelerin tamamlanması ise üfleç ile daha hassas olarak yapılmaktadır. Ark ile

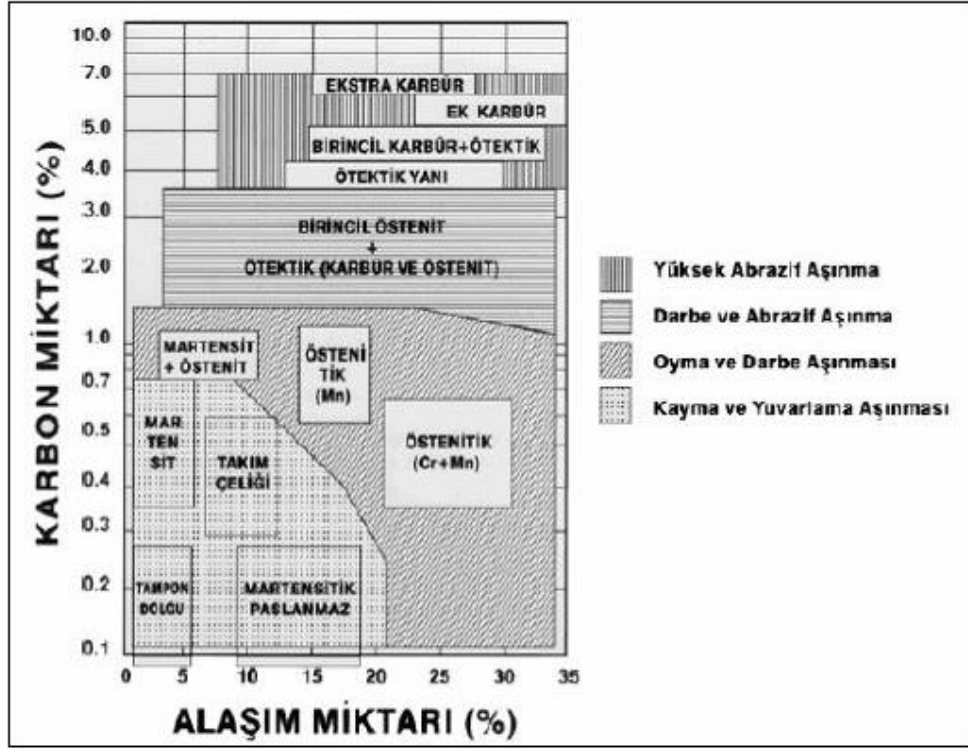
yapılan doldurmada, biriktirilen ilk tabakanın bileşimi esas metal ile karışması nedeniyle birden fazla tabaka halinde doldurma yapmak gerekmektedir. Sert metal üzerine sert dolgu yapılması durumunda, dolgu tabakası ve esas metal arasında bir tampon tabaka kullanılmalıdır. Bu tampon malzemesinin seçimi, tabakanın yatak görevi görüp çatlamaya sebep olabileceğinden çok önemlidir. Ark ile yapılan doldurmada; kuru elektrot kullanılır, mümkün olduğu kadar akım şiddeti düşük ve ark boyu kısa, elektrot dik tutularak doldurma yapılmalıdır. İyi elektrotlar, düşük kaynak akımında kolayca erir ve geniş dikişler oluştururlar [34].

3.1.4. Sert Dolgu Alaşımlarının Sınıflandırılması

Demir bazlı sert dolgu alaşımları metalürjik fazlarına veya mikro yapılarına göre alt gruplara ayrılabilir ve her biri belli bir aşınma tipi için diğerlerine göre daha fazla direnç göstermektedir. Bu alaşımlar üç grupta toplanırlar.

- 1) Östenitik alaşımlar
- 2) Martenzitik alaşımlar
- 3) Karbürlü alaşımlar

Elektrotlardaki gelişmeler, karşılaşılan spesifik aşınma türüne göre, en yüksek direnç sağlayacak malzemenin seçimine imkân sağlamaktadır. Bazı uygulamalarda aşınma türlerinin kombinasyonu etkilidir. Örnek olarak tek bir örtülü elektroda, birincil östenit ile ötektik karbürleri birleştirerek, darbe ve aşınma direnci özelliği kazandırılabilir. Alternatif olarak, manganlı çelik dolgu üzerine bir paso krom-karbür kaynak metali yığılarak darbe ve aşınma direnci birleştirilebilir. Bileşik elektrot, darbe direncinin daha önemli olduğu yerde tercih edilirken, östenitik manganlı çelik üzerine krom-karbür malzemede aşınmanın daha önemli olduğu yerde tercih edilebilir. Çeşitli elektrotların mikro yapılarına göre uygulama alanları Şekil 3.1'deki diyagramda verilmiştir. Diyagramda karbon miktarı dikey eksen ve alaşım miktarı da yatay eksen gösterilmiş ve diyagram mikroyapı ve alaşım türüne göre bölünmüştür. Sert dolgunun, mikroyapısal özelliği ve direnç göstereceği aşınma türü diyagramdan bulunabilir [4].



Şekil 3.1. Fe bazlı sert dolgu alaşımlarının mikro yapılarına göre uygulama alanları.

3.1.4.1. Östenitik Sert Dolgu Alaşımları

Bu alaşımların mikro yapıları oda sıcaklığında bile östenit yapıda olduğundan, isimleri bu şekildedir. %0,5-1 C ve %13-20 alaşımlı çelikler manganlı östenitik çelikler olarak adlandırılır. Bu alaşımlar genellikle temiz bir yüzey elde edilmesi istenen dolgular ve karbürlü alaşımlar ile doldurulacak manganlı östenitik çeliklerde tampon katmanı olarak kullanılmaktadır. %0,7 C ve %20-30 alaşım elementi içeren östenitik alaşımlar, düşük alaşımlı ve karbonlu çelikler üzerine yapılan ve ana metalden fazla karışma olan durumlarda bile özelliklerini korurlar. Bu durum, bu tür sert dolgu alaşımlarını karbonlu ya da düşük alaşımlı çeliklerin manganlı çeliklerle birleştirmeleri veya karbonlu çeliklerin sert dolgusunda manganlı östenitik çeliklerden daha avantajlı kılmaktadır. Bu alaşımlar oldukça toktur ve soğuk sertleşme sağlarlar. Darbe ve abrazyon dayanımları oldukça iyidir [13].

3.1.4.2. Martenzitik Sert Dolgu Alaşımları

Martenzit, eliklerin hızlı soğuması neticesinde meydana gelen bir fazdır. Martenzitik alaşımlar havada sertleşebildiğinden soğuma hızı oluşacak sertliği etkilemektedir. atlaksız bir kaynak metali için 100-350  C arasında bir  n tav uygulanmalı ve bu işlem yapılırken ana malzeme de göz önüne alınmalıdır. Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı martenzitik alaşımlar, çeliklerin sert dolgu kaynaklarında kullanılır. Biraz daha yüksek karbonlu ve daha yüksek alaşımlı martenzitik alaşımlar, kaynak sonrası oldukça yüksek sertliğe sahiptir. Bu sertlik, metal-metale sürtünme ile abrazyon dayanımını artırır, ancak tokluğu azaltır. Diğer bir grup martenzitik alaşımlar ise %0,25'e kadar C ve %18 alaşım elementi bulunduran martenzitik paslanmaz çeliklerdir. Bu alaşımlar ısıl şoklara karşı çok iyi dayanım göstermektedirler. Ayrıca, metal-metale sürtünme dirençleri iyi olup, orta seviyede korozyon direncine sahiptirler [35].

3.1.4.3. Karbürlü Sert Dolgu Alaşımları

Aşınma faktörünün yalnızca abrazyon olduğu durumlarda krom ve diğer karbürleri en az %12 oranında içeren dolgu alaşımları kullanılır. Karbürler kendilerini çevreleyen matristen daha sert olmasının yanı sıra mükemmelen abrazyon dayanımı sağlarlar. Abrazyon ve darbenin birlikte olduğu hallerde karbon oranı %3'ten az olmalıdır. Bu malzemedeki, karbürler matris içinde az miktarda dağılmış olup, tokluk değerinin iyi olmasının yanında iyi bir abrasif direnç sağlarlar. Abrazyon ve sıcaklığın yüksek olduğu durumlarda, karbür alaşım içindeki C oranı (%7 gibi) arttığında abrazyon direnci yükselir, ancak tokluk azalır. Bu alaşımlar birleştirme amaçlı kaynaklarda kullanılmamalıdır. Karbonu düşük alaşımlı, manganlı östenitik çelikler ve dökme demirler için özel kaynak prosedürleri ile uygulanır. Karbürlü sert dolgu alaşımları, kaynak dikişinin pullanarak dökülmesini önlemek amaçıyla 2-4 paso şeklinde uygulanmalıdır [13].

3.1.4.4. Demir Dışı Sert Dolgu Alaşımları

Östenitik, martenzitik ve karbürlü sert dolgu alaşımları demir dışı sert dolgu alaşımlarına göre daha fazla kullanılmaktadır. Demir dışı sert dolgu alaşımları, genellikle servis sıcaklığının karbürlü alaşımların kullanım sınırları üzerine çıktığı durumlarda kullanılırlar. Ni ve Co bazlı olan bu alaşımlar bütün aşınma türlerine karşı iyi direnç gösterirler, fakat yüksek maliyetleri nedeniyle özel durumlarda kullanılmaktadırlar [35].

3.2. TAHRİBATSIZ MUAYENE

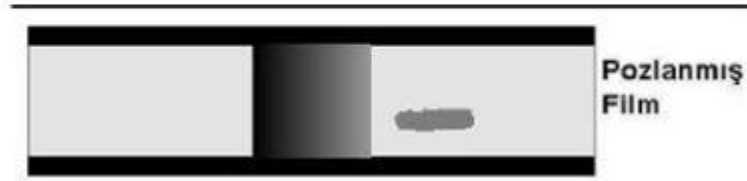
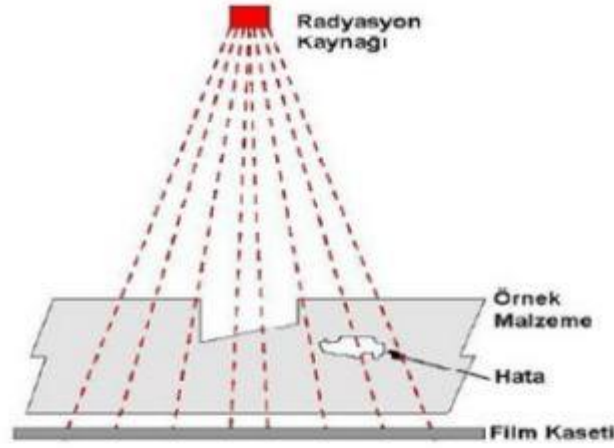
Tahribatsız muayene yöntemleri yaygın kullanım alanına sahiptir. Tahribatsız olması ve tahribatlı yöntemlere göre daha hızlı olması nedeniyle bu yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Tahribatsız test yöntemleri iki temel hususa dayanmaktadır. Bunlardan birisi nüfuziyet diğeri ise algılama şeklindedir. Algılama fonksiyonu, nüfuz ediciden aldığı bilgileri test operatörünün algılayacağı belirtiler haline getirmek, nüfuziyet fonksiyonu ise nüfuz edici elemanın test malzemesi içine sızması ve fiziksel süreksizliği algılama elemanına aktarmaktır.

Çizelge 3.1. Tahribatsız muayene yöntemleri uygulama alanları [36].

Uygulama Alanı	İşlevi	Uygulama Örnekleri
Araştırma/Geliştirme	Malzemelerin yapısal değerlendirilmesi, üretim ve montaj yöntemlerinin karşılaştırılması ve bulguların değerlendirilmesi.	Metallerin iç yapılarının ve yorulma belirtilerinin incelenmesi, kaynak dikişlerinde çatlakların tespiti.
Üretim Yöntemi Kontrolü	Üretim yöntemi değişkenliklerinin belirlenmesi ve kontrolünün sağlanması.	Radyoaktif ve ultrasonik yöntemle kalınlık ölçme ve imalat parametrelerinin tespiti.
Kalite Kontrolü	Kusurlu parçaların ve anormalliklerin tespiti, üretim montaj kusurlarının, yerlerinin ve yönteminin değerlendirilmesi.	Zayıf yapışma, kaynaklarda çatlama, metallerde homojen olmayan gözenekler ve malzeme hatalarının belirlenmesi.
Servis Süresince Değerlendirme	Kullanım süresince aşınma ve anormalliklerin erken belirlenmesi.	Depolarda ve borularda korozyonun ve yerinin tespiti, çeşitli araçlarda erken uyarı sistemleri

3.2.1. Radyografik Muayene

Radyografik muayene, incelenecek malzeme parçaları görüntülerinin X veya gama ışınları kullanılarak elde edilmesidir. X ve gama ışınları yüksek enerjili elektromanyetik dalgalardır. Bu dalgaların doğrusal ilerleme, zayıflama, iyonlaştırma ve nüfuz edebilme özelliklerinden yararlanılarak radyografik muayenelerde kullanılması sağlanmaktadır. Bu yöntemde, X ışınları elektronik bir cihaz tarafından; gama ışınları ise radyoaktif bir element tarafından üretilir. Bu ışınlar, malzemenin geçerken malzemenin kalınlığına ve yoğunluğuna bağlı olarak bir kısmı absorbe edilir. Malzeme tarafından absorbe edilmeyen enerji, film üzerine etki eder, film üzerinde görülen koyu renkler o bölgeye çok fazla enerjinin gittiğini gösterir. Malzeme içinde gözenek, çatlak, boşluk gibi süreksizlikler o noktada malzeme kalınlığının azalmasına neden olduklarından, film üzerinde koyu şekiller halinde görülür. Buna karşın malzeme içinde tungsten gibi ağır metal kalıntısının bulunması ise film üzerinde beyaz olarak görülür.



Şekil 3.2. X ışını ile muayene [37].

3.2.2. Ultrasonik Muayene Yöntemi

Ultrasonik kontrol en yaygın tahribatsız muayene metotlarından biri olup yöntemin teknik detayları ve teorisi karmaşık olsa da tahribatsız muayene uygulamalarında bilinmesi gereken içerik son derece basittir. Ultrasonik ses dalgalarının malzeme içerisine gönderilmesi neticesinde malzeme özellikleri, kalınlık ve süreksizlikler hakkında bilgi sahibi olunur. Ultrasonik kontrol havacılıktan boru hatlarına, demiryollarından üretim sektörüne kadar çok geniş uygulama alanına sahiptir.

Ultrasonik dalgaların yardımıyla yapılan kontrollerde ana prensip, bu dalgaların süreksizlikten geri yansiyarak probda bulunan piezoelektrik kristale dönmesi ve sinyal olarak cihaz ekranına yansımadır. Ultrasonik dalgalar 20 KHz ve üzeri frekansa sahip yani saniyede 20000 kez titreşim gösteren ses dalgaları olup, GHz mertebesine dahi çıkabilmektedirler. Bu tip ses dalgalarını insan kulağının ayırtması imkansızdır. İnsan kulağı en fazla 20 Hz frekansa sahip sesleri ayırt edebilir. Ultrasonik ses dalgalarından yararlanılarak malzemenin kompozisyonu, yapısı, yoğunluğu ve geometrisi hakkında bilgi sahibi olunacağı gibi süreksizlik tespiti rahatlıkla yapılabilir.

3.2.2.1 Yöntemin Avantaj ve Dezavantajları

Yüzey altı süreksizliklerinin tespitinde kullanılabilir olması ultrasonik yöntemin en önemli özelliğidir. Hacimsel hataların tespitinde kullanılan diğer yöntem olan X-Ray metoduna göre avantajı ise hiçbir çevresel risk oluşturmaması, canlı sağlığına zarar vermemesidir. Ayrıca tüm malzemelere uygulanabilir olması bir diğer büyük avantajıdır.

Doğrudan temas gerektirmeyen yöntemler olmasına rağmen birçok durumda prob ile malzeme arasında hava bulunmaması için kuplaj malzemesi kullanmak şarttır. Bu ortamlar su veya viskozitesi yüksek jel kullanılır. Ses dalgalarına paralel hataların tespit edilmesi olanaksızdır. Yöntemin avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Ultrasonik muayene yöntemi avantaj ve dezavantajları [38].

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
Yüksek Çalışma Derinliği	Operatör eğitimi kapsamlıdır
Küçük hataların bulunmasındaki hassasiyet	Uygulama sırasında kuplaj gereklidir
Uygulamada hızlı bir yöntem olması	Ses dalgasına paralel hatalar saptanamaz
Karmaşık parçaların kontrolüne imkan tanınması	Geometri kısıtlaması vardır
Malzeme özelliklerinin tespiti	Pahalı bir metottur
Tüm malzemelere uygulanabilir	
Taşınabilir	
Tamamen emniyetli	

3.2.3. Sıvı Penetrant ile Muayene

Sıvı penetrant, yüzey hatalarının belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde sırasıyla temizleyici, penetran ve geliştirilmiş spreyleyiciler kullanılır. Penetrant sıvısının özelliği yüzey çatlakları ve boşluklarına girebilmesidir. Penetrant sıvıları genellikle kırmızı renklidir. Floresan penetrant sıvıları girişkenliği yüksek ve ultraviyole ışınları altında çalışılabilir özelliğine sahiptir. Floresan sıvı kontrol edilecek malzeme yüzeyine uygulanır ve boyanın fazlası yüzeyden uzaklaştırılır. Bu işlem sonucunda malzemede çatlaklara nüfus etmiş floresan boyanın hacminin artırılmasını sağlamak için geliştirici boya uygulanarak, floresan ışık altında ya da çıplak göz ile muayene yapılarak raporlandırılır.

Avantajları; birçok farklı malzemeye uygulanabilen, kolay ve ucuz bir yöntemdir, gözle muayeneye nazaran daha hassastır, hızlı uygulanabilen bir yöntemdir, ekipmanları kolay taşınabilir özelliktedir. Dezavantajları; sadece yüzeye açık süreksizliklerin tespit edilebildiği bir yöntemdir, kontrol edilecek yüzeyin uygun şekilde hazırlanmış olması ve temizlenmesi gerekmektedir, Sıcak, kirli, boyalı veya pürüzlü yüzeylerde uygulanamaz, kapalı bir alanda muayene yapılacaksa iyi bir havalandırmaya ihtiyaç duyulmaktadır [39].



Şekil 3.3. Penetrant uygulamasına örnek.

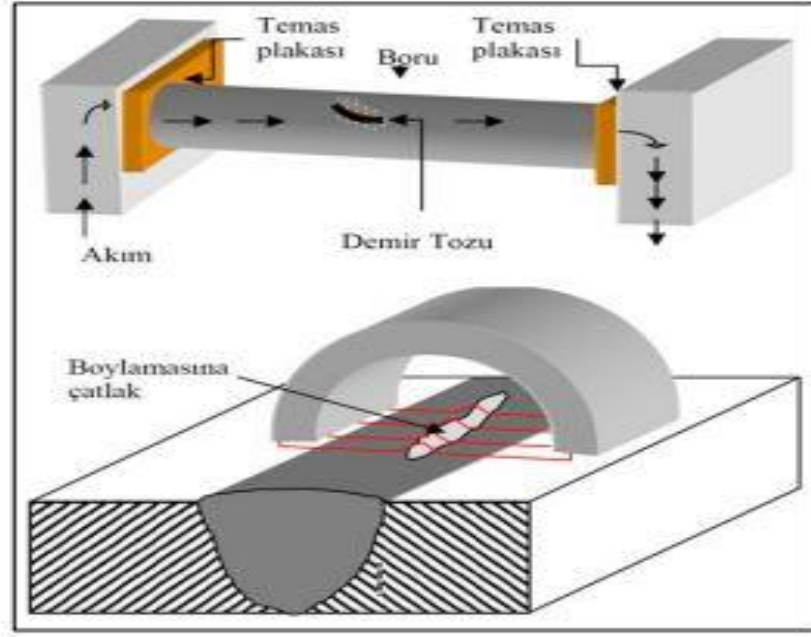
3.2.3. Görsel Muayene

Gözle muayene en eski ve en ekonomik muayene yöntemidir. Genel yapının, bir sistemin ve ya belirli bir parçanın muhtemel kusurunu, hasarını bulmak veya bir harici hasarın derecesini saptamak için kullanılır. Bu metot ile çatlak, korozyon, kalkmış boya, bozulmuş bağlama elemanı gibi olumsuzluklar saptanabilir [40].

Bu muayene yöntemi basit bir yöntem olarak görünse de kendine özgü hassasiyetleri vardır. Genelde başka bir tahribatsız muayene yönteminin uygulanmasından önce yapıldır. Farklı tahribatsız muayene yöntemleri için hazırlanmış olan uygulama standartlarının birçoğunda da öncelikle gözle muayene yapılması ve sonuçlarının kayıt altına alınması beklenir [41].

3.2.4. Manyetik Parçacık Testi

Bu yöntem ferromanyetik malzemeler (demir, nikel, kobalt gibi manyetikliği yüksek olan malzemeler) manyetize edildiğinde manyetik akımın yüzey süreksizliklerinde değişmesi veya kesilmesi esasına dayanır. Manyetik parçacık testi, çelik konstrüksiyon, otomotiv, petrokimya, güç santralleri, havacılık gibi çok farklı endüstriyel sektörde uygulama alanı bulmaktadır. Test parçası önce bir sürekli mıknatıs veya bir elektro-mıknatıs ile hatta test parçasının içinden veya etrafından elektrik akımı geçirilerek magnetize edilir. Böylece malzemedeki manyetik kuvvet çizgileri oluşur. Bu çizgileri kesen herhangi bir süreksizlik olması durumunda, kuvvet çizgileri süreksizliğin üzerinden atlayarak yoluna devam eder, dolayısıyla süreksizlik üzerinde yoğun bir kaçak manyetik alan oluşur. Süreksizliğin göz ile görünür hale gelmesi için test yüzeyine ince demir tozları serpilir. Yoğun kaçak alan demir tozlarını süreksizlik üzerinde toplayarak süreksizliğin görünür hale gelmesini sağlar. Böylece, süreksizliğin yeri, şekli ve boyutu tespit edilmiş olur. Şekil 3.4'de manyetik parçacık deneyinin uygulama biçimleri verilmiştir.



Şekil 3.4. Manyetik parçacık uygulama biçimleri [18].

BÖLÜM 4

FREZELEME İŞLEMİ

4.1. FREZELEME MEKANİĞİ

Frezeleme işlemi; çok sayıda kesici ağız (diş) sahip olan takımın dönme hareketine karşılık, iş parçasının öteleme hareketi yapmasıyla gerçekleştirilen talaş kaldırma yöntemidir. Talaş kaldırma işlemi takım ve iş parçası arasındaki hareketlerin (kesme hareketi, ilerleme hareketi ve yardımcı hareketler) sonucu olarak meydana gelmektedir. Diğer talaşlı imalat yöntemlerine göre frezeleme, kesici takımda bulunan diş sayısına bağlı olarak verimliliği yüksek bir talaş kaldırma işlemidir. İş parçası yüzeyinin işlenmesine göre frezeleme işlemleri, çevresel ve alın frezeleme olarak iki grupta incelenmektedir [42]. Aslında bir freze çakısı, çok sayıda torna ucunun silindirik bir bloğun çevresine eşit aralıklarla monte edilmiş halinden başka bir şey değildir. Bu nedenle frezeleme işlemi sırasında talaş kesit alanı sürekli değişmekte olup, tornalama işlemine göre daha karışıktır [43].

Frezeleme, genel olarak düzgün yüzeyler oluşturmak amacıyla kullanılır. Günümüzde frezeleme, eskiden tornalamayla işlenen delik, oyuk, vida dişi vb. oluşturmak için önemli bir alternatif haline gelmiştir. Frezeleme yöntemi ile çeşitli kanal açma, dişli açılması, cep işlenmesi, delik büyütülmesi, büyük adımlı vida açılması, helisel ve açılı yüzeyler oluşturması, kör delik delinmesi, delik delinmesi vb. birçok işlem hızlı ve hassas olarak yapılmaktadır [44]. Diğer yandan, kesici takım malzemesi ve geometrisi alanındaki gelişmeler işleme verimliliği ve kalitede ciddi katkıda bulunmuştur.

Genel olarak frezeleme işlemi ile talaş kaldırma işlemine dört ana başlık altında incelenmektedir:

1- Silindirik freze çakısı ile çevresel frezeleme

- Aynı yönlü çevresel frezeleme
- Zıt yönlü çevresel frezeleme

2- Takma uçlu alın freze çakısı ile düzlem yüzeylerin frezelenmesi

- Simetrik frezeleme
- Asimetrik frezeleme

3- Form ve biçim freze çakısı ile frezeleme

- Modül freze çakısı ile frezeleme
- Değişik geometrilere sahip iç bükey ve dış bükey yüzeylerin frezelenmesi

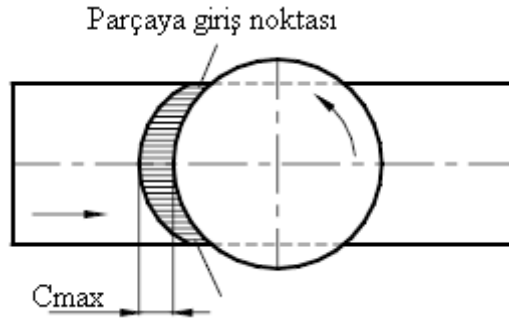
4- Saplı freze çakısı ile frezeleme

- Parmak uçlu freze çakısı ile frezeleme
- Küresel uçlu freze çakısı ile frezeleme [45].

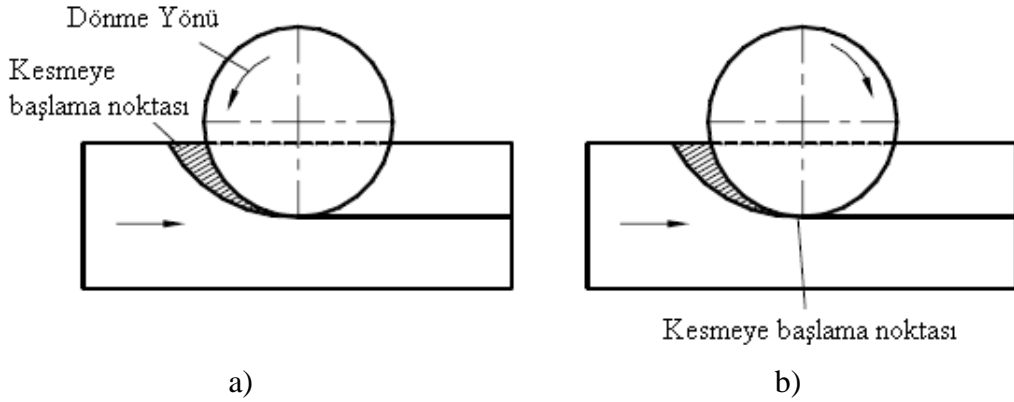
4.1.1. Alın Frezeleme

Alın frezeleme işleminde, kesici takım (freze çakısı) eksenine dik olup, genel olarak aynı ve zıt yönlü işleme olmak üzere iki işleme metodu kullanılır. Aynı yönlü frezelemede iş parçasının ilerleme yönü ile takımın dönüş yönü aynıdır. Bu yöntemde kesici takım, kesme işlemine büyük bir talaş kalınlığı ile başlar. Böylece, daha az ısı oluşumu ve minimum deformasyon sertleşmesi eğilimine bağlı olarak ezme etkisi meydana gelmez. Kesme kuvvetleri iş parçasını kesici uca doğru çekerek kesici uç ile iş parçasının sürekli temasta olmasına yarar. Zıt yönlü frezelemede ise iş parçasının ilerleme yönü ile takımın dönüş yönüne terstir. Burada, kesme işlemine sıfır talaş kalınlığı ile başlanmakta olup, kesici uç ile iş parçasını birbirinden ayırmaya çalışan yüksek kesme kuvvetleri meydana gelir. Bu yöntemde, talaş kalınlığının sıfırdan başlaması nedeniyle kesici takım parçayı ezerek kesmeye çalışır ve dolayısıyla aşırı sürtünme ve ısı oluşumuna sebep olur. Bundan dolayı, işleme sırasında kesici takım bir önceki işlem nedeniyle deformasyon sertleşmesine uğramış yüzeyle temas etmek durumundadır [46].

Alın frezelemede ise kesici takımın boyutları önemli bir etkidir. İşlenen yüzey genişliği kesici takım çapından küçükse frezeleme işlemi simetrik veya asimetrik olarak yapılmalıdır. Simetrik alın frezelemede kesici takımın (freze) yatay eksenini işlenen yüzeyin orta çizgisi ile çakışmaktadır (Şekil 4.1). Asimetrik alın frezelemede ise frezenin yatay eksenini, işlenen yüzeyin orta çizgisi ile çakışmaz (Şekil 4.2). Simetrik alın frezelemenin asimetrik alın frezelemeden en önemli farkı, talaş oluşumu sırasında talaş kalınlığının aynı kalmasıdır. Buda aynı yönlü ve zıt yönlü frezeleme yönteminin uygulamasını ortadan kaldırır [47].



Şekil 4.1. Simetrik alın frezeleme.



Şekil 4.2. Asimetrik alın frezeleme; a) Aynı yönlü, b) Zıt yönlü.

Aynı ve zıt yönlü frezeleme yöntemleri karşılaştırıldığında; takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, enerji sarfiyatı ve iş parçası bağlama kolaylığı gibi faktörler açısından birbirlerine göre avantajlı ve dezavantajlı yönleri bulunmaktadır. Zıt yönlü frezelemede, kesme kuvvetleri ile iş parçasının tepki kuvveti zıt olduğundan meydana gelen bileşke kesme kuvveti artar ve böylece tezgâhın enerji sarfiyatı

artmaktadır. Aynı yönde frezeleme yönteminde, kesme kuvvetinin başlangıçta yüksek olması bir dezavantaj olurken, parçayı tablaya bastırmaya çalışması ise bir avantajdır. Bu durumda, iş parçasının titreşimi azalarak yüzey kalitesinin artmasına katkı sağlar. Döküm ile üretilen parçaların yüzeylerinde sert tabaka olduğundan aynı yönlü frezelemede kesici ağız (diş) başlangıçta sert tabakaya nüfuz eder. Bu sebeple kesici takım daha çabuk aşınır. Zıt yönlü frezelemede diş daha yumuşak olan işlenmiş yüzeye etki eder. Ancak kesici kenarın azda olsa yuvarlatılmış olması nedeniyle diş ilk olarak kayar ve daha sonra malzemeye nüfuz eder. Bu kayma, takım aşınmasına ve dolayısıyla takım ömrünün azalmasına neden olur. Bu bağlamda, zıt yönlü frezeleme sırasında iş parçasının yüzeyinde oluşan plastik deformasyondan dolayı işlenen yüzey kalitesi bozulacaktır [47].

4.2. KESME KUVVETLERİ

Talaşlı imalatta kullanılan takım tezgahlarının, kendilerinden beklenen fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri amacıyla bu makinaların dizayn ve üretiminin amaca uygun olarak yapılması esastır. Tezgahın mekanik yapısı, tezgah üzerindeki takım ve aparatların rijitliğini bozmadan taşıyabilecek kapasite olmalıdır. Ayrıca, tezgah çalışırken kesici takımın maruz kaldığı kesme kuvvetlerinin etkisiyle tezgah parçaları rijitliğini koruyabilmelidir. Özellikle hareketli parçaların yüzeylerinde oluşabilecek aşınmanın önlenmesi tezgahın daha uzun süre kullanımını sağlayacaktır. Diğer yandan, talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin güvenle sağlanabilmesi için kesici takımın dayanımının ve tezgah gücü gereksinimleri çok iyi araştırılmalıdır. Bu bağlamda, takım tezgahlarının uzun ömürlü olarak hassasiyetini koruyabilmesi ve imalatın kalitesini artırabilmek için tezgahı etkileyen yük, kuvvet ve zorlanmalarıyla oluşan gerilmelerin iyi incelenmesi gereklidir.

Tezgah tasarımı ve boyutları yukarıda bahsedilen analiz ve değerlendirmelere göre belirlenebilmektedir. Bu amaçla kesme kuvvetlerinin ölçülmesine ihtiyacı gündeme gelmektedir. Malzemelerin maruz kaldığı iç ve dış gerilmeler, basınç ve yükün sebep olduğu kuvvetlerin ölçümü tasarımda büyük önem taşır. Bu analiz ve değerlendirmeler teorik olarak yapılabilmekte olup, tezgah tasarımı bu hesaplamalara göre şekillenmektedir. Ancak, tüm parça ve sistemlerin dayanım hesaplarının teorik

olarak yapılması her zaman kolay değildir. Hesaba katılmayan ve belirlenemeyen iç veya dış kuvvetler çeşitli olumsuzluklara neden olabilir. Bu sebeple, mühendislik faaliyetlerinin sürdürüldüğü bütün alanlarda emniyetli bir çalışma ortamının sağlanması, imal edilecek parça ve sistemlerin uzun ömürlü, kaliteli, emniyetli ve ekonomik olabilmesi için takım ve tezgâhı etkileyen tüm kuvvetlerin doğru ve hassas bir şekilde ölçülmesi esastır [48].

Talaşlı imalat yöntemlerinde, talaş kaldırmak için gerekli enerji/güç miktarı ve yüzey oluşumunun mekanizması kesme kuvvetleri ile belirlenebilmektedir. Ayrıca, kesme kuvvetleri ile kesici takım aşınmaları arasında bir bağ kurabilmek amacıyla kesme kuvvetlerinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Özellikle, kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme miktarı gibi kesme parametrelerine göre kuvvet değişimlerinin analizi açısından, kesme kuvvetlerinin hassas bir ölçüm sistemi ile belirlenmesi gerekir. Böylece, kesme kuvveti değişimlerinin işlenen yüzeyin pürüzlülüğü ve takım tezgahlarının rijitliği üzerindeki etkileri kontrol altına alınabilmektedir.

4.2.1. Frezelemede Kesme Kuvvetleri

Frezeleme işleminde, talaş kaldırma sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetleri talaş kalınlığının farklı olması nedeniyle değişkendir. Bundan dolayı, pratikte hesaplamaları kolaylaştırmak için ortalama talaş kesimine karşılık gelen ortalama kesme kuvvetleri göz önüne alınmakta olup aynı zamanda frezeleme sırasında aynı anda birden fazla kesici ağız talaş oluşumuna katkı sağlar. Dolayısıyla kesme kuvvetleri; ortalama kesme kuvveti (F_c), ortalama radyal kuvvet (F_r) ve ortalama ilerleme kuvveti (F_f) olmak üzere üç bileşene ayrılır [49].

Aynı anda parçadan talaş kaldıran kesici ağız sayısı (Z_e);

$$Z_e = Z (\phi_s / 360) \quad (4.1)$$

Burada, ϕ_s kesme kavrama açısı olup, dişin malzemeye giriş ile çıkış konumları arasındaki açı değeridir. Freze çakısına ait ortalama kesme kuvvetleri;

$$F_c = Z_e \cdot F_{cz} \quad (4.2)$$

$$F_f = Z_e \cdot F_{fz} \quad (4.3)$$

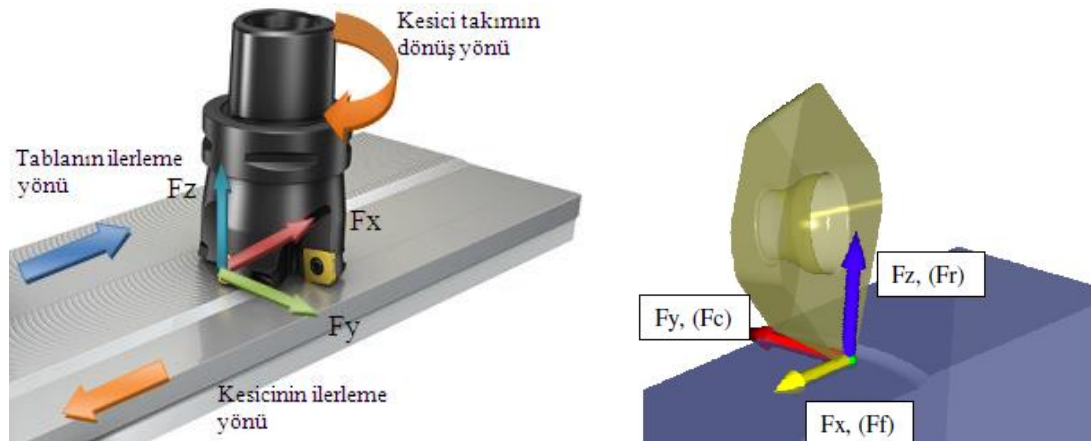
$$F_r = Z_e \cdot F_{rz} \quad (4.4)$$

bağıntıları ile bulunur.

Helisel silindirik frezelemede F_c , F_r , F_f kuvvetlerine ek olarak aksel kuvvet olan F_a meydana gelir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$F_a = F_c \cdot \tan \lambda \quad (4.5)$$

Alın frezeleme sırasında kesici takım ve iş parçası hareketleri ile kesme işlemi esnasında oluşan kuvvet yönleri ve kesme kuvveti bileşenleri iş parçasının bağlama konumuna göre Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3. a) Takım/iş parçası hareketleri, b) Kesme kuvveti bileşenleri ve yönleri [47].

$F_x = F_f$, ilerleme yönünde oluşan ilerleme kuvveti, N

$F_y = F_c$, takımın dönme yönüne zıt yönde oluşan ortalama kuvvet, N

$F_z = F_r$, takımın dönme eksenine paralel yönde oluşan radyal kuvvet, N

Burada kesici uca karşılık ortalama kesme kuvveti (F_{cz});

$$F_{cz}=A_s.k_s=b.h_m.k_s \quad (4.6)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Kesici takıma denk gelen toplam ortalama kesme kuvveti ise;

$$F_c=Z_e.F_{cz}=Z_e.b.h_m.k_s \quad (4.7)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada; Z_e : Aynı zamanda talaş kaldıran kesici uç sayısı, b : Kesme derinliği, h_m : Ortalama talaş kalınlığı, k_s : Özgül kesme kuvvetidir.

Teorik hesaplamalarda, ortalama radyal kuvvet (F_r) ve ortalama ilerleme kuvveti (F_f) deneylere dayalı aşağıdaki bağıntılara göre elde edilir [49]:

Simetrik frezelemede;

$$F_f=(0,3 \dots 0,4).F_c \quad (4.8)$$

$$F_r=(0,85 \dots 0,95).F_c \quad (4.9)$$

$$F_a=(0,5 \dots 0,55).F_c \quad (4.10)$$

Zıt yönlü asimetrik frezelemede;

$$F_f=(0,6 \dots 0,9).F_c \quad (4.11)$$

$$F_r=(0,45 \dots 0,7).F_c \quad (4.12)$$

$$F_a=(0,5 \dots 0,55).F_c \quad (4.13)$$

Aynı yönlü asimetrik frezelemede;

$$F_f=(0,15 \dots 0,3).F_c \quad (4.14)$$

$$Fr=(0,9\dots1).Fc \quad (4.15)$$

$$Fa=(0,5\dots0,55).Fc \quad (4.16)$$

Kesme kuvvetlerini etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Frezeleme tipi
- Kesici takımın konumu
- İş parçası malzemesi
- Kesici takım geometrisi
- Talaş kalınlığı
- Kesici takım aşınma tipi
- Kesme parametreleri

Frezeleme yönteminde istenilen kalitede parçanın işlenmesi için kesme kuvvetlerinin ölçülmesi ve buna bağlı olarak iş mili ve iş bağlama aparatının boyutlandırılması çok önem arz etmektedir. Kesme kuvvetlerinin ölçümü iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Bu sistemlerden birincisi, adaptif kuvvet ölçme yöntemi olup, tezgâh kontrol sistemi veya kesici takımın bağlı bulunduğu motordan alınan akım veya elektrik sinyallerinin analizi ile kuvvetlerin ölçülmesidir. İkinci yöntem ise iş parçası veya kesici takım üzerine yerleştirilen dönüştürücüler (gerinim ölçerler, yük hücreleri, dinamometreler) sayesinde kuvvetlerin ölçülmesidir [49,50].

4.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaş kaldırma sırasında işleme yöntemi, kesici takım cinsi ve işleme koşullarına bağlı olarak fiziksel, kimyasal ve ısı faktörleri ile kesici–iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisine bağlı olarak işlenen yüzeylerde istenmediği halde işlemenin izleri oluşmaktadır. Nominal yüzey çizgisinin altında ya da üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denilmektedir [3]. Farklı parçaların bir araya gelmesiyle oluşan ürünler veya endüstriyel makinelerin performansını arttırmak için yeterli seviyede hassas işlenmiş yüzeyler gereklidir. Aynı malzemenin, farklı talaşlı imalat yöntemleriyle aynı yüzey pürüzlülük

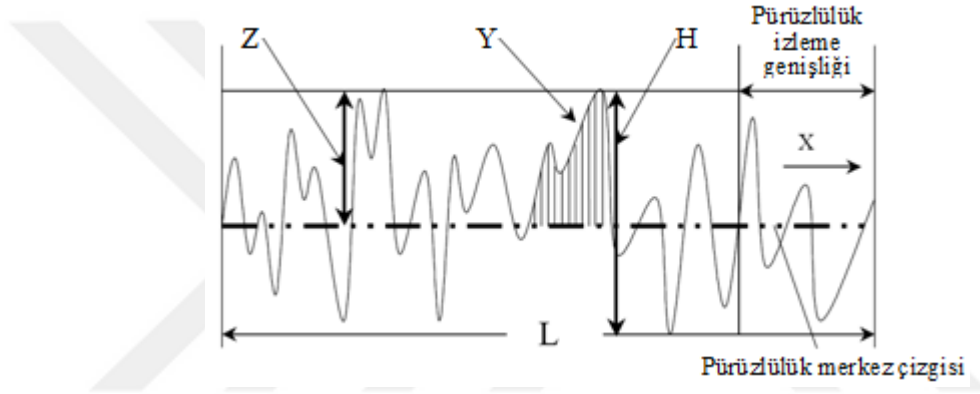
değerinde işlenmesine rağmen, bunların korozyon, sürtünme, aşınma ve yorulma dayanımı açısından farklı davranışlar gösterdiği bilinmektedir. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğünden başka, yüzeydeki işleme izlerinin yönü ve dağılımları malzemenin performansını önemli derecede etkiler. Bu sebeple, talaşlı imalat ile işlenecek parçaların bazılarında yüzey pürüzlük değerinin yanı sıra işleme yönteminin belirtilmesi önemlidir [51,52].

Diğer taraftan, yüzey pürüzlülüğü parça yüzeylerinde sürtünmeye neden olan temas, aşınma, ışık yansıtma, ısı iletimi, yağ filmi oluşumu ve dağıtılması kabiliyeti, kaplama veya direnç ömrü gibi parçaların çeşitli özelliklerini etkiler. Bunun için, yüksek kalitede makine parçalarının imalatı için en uygun yüzey pürüzlülük değerinin elde edilmesi gerekir. Talaşlı imalat sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğünü birden fazla faktör etkilemekte olup, talaş kaldırmada etkili olabilecek en önemli hususlar aşağıdaki gibi söylenebilir [3].

- Bağlamadan dolayı işlenen malzemede oluşan deformasyon,
- Tezgâh ilerleme mekanizması düzensizlikleri,
- Kırılgan malzemelerin işlenmesinde düzensiz talaş akışı,
- Kolay şekillendirilebilir malzemeler düşük kesme hızlarında işlendiğinde, işlenen malzeme yüzeyindeki yırtılmalar,
- Talaş akışının sebep olduğu bozukluk,
- Kesme hızına bağlı oluşan düzensizlikler,
- İlerleme hızına bağlı oluşan düzensizlikler,
- Kesici takım soğutma ve yağlama şartları,
- İşlenen malzemenin kimyasal bileşimi ve metalürjik yapısı,
- Kesici tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi,
- Takım tezgâhının tipi, rijitliği ve çalışma şartları,
- Kalıp ve bağlama aparatları,
- İşlenen malzemedan talaş kaldırma şekli vb.

4.3.1. Yüzey Hatalarının İncelenmesinde Genel Kurallar

Talaş kaldırma işleminde elde edilen yüzey üç boyutlu (3B) olup, yüzeyin hatasız kabul edilen diğer yüzeye göre analiz edilmesi 3B bir geometri problemidir. Fakat yüzeye dik kesit düzlemi üzerinde hata profillerinin incelenmesiyle problem iki boyuta indirgenebilmektedir. Buna göre, yüzey pürüzlülük profilinde oluşabilecek dalgalılık ve pürüzlülüğün iki boyuta indirgenmiş durumu Şekil 4.4'teki grafikte gösterilmiştir. Burada; Y, profil eğrisini; X, profil yönünü; Z, ortalama pürüzlülük yüksekliğini; L, örnekleme uzunluğunu ve H, profil yüksekliğini göstermektedir.



Şekil 4.4. Yüzey pürüzlülük profili [53].

İşlenen yüzeylerde, pürüzlerin doğrultusuna paralel ölçüm yapıldığında ulaşılan pürüzlülük değerinin, doğrultuya göre dik ölçümle elde edilen sonuca göre düşük olması normaldir. Bu durum, tek doğrultulu pürüzlü yüzeyler için de doğrudur. Çok yönlü karmaşık izlerde, iki ayrı yönde yapılan ölçüm sonuçları arasındaki fark daha azdır. Tek yönde izlere sahip yüzeylerde, herhangi bir yön belirtilmediğinde pürüzlülük ölçümü iz doğrultusuna dik yapılmalı, çok yönlü izlere sahip yüzeylerde ise birkaç farklı yönde yapılan ölçümlerin ortalaması alınmalıdır. Tatminkâr bir ölçüm değeri için esas pürüzlülük izlerinin dalga boyu büyüklüğüne göre numune uzunluğu seçilmelidir [54].

4.3.2. Yüzey Kalitesinin Değerlendirilmesi

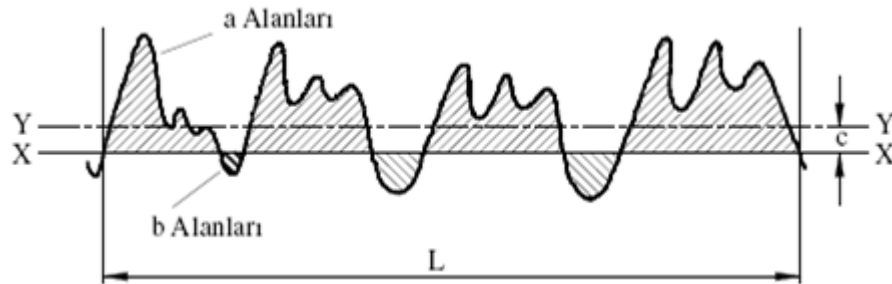
Yüzey kalitesinin belirlenmesinde, yüzey durumunu 3B'den iki boyuta indirgemek ve grafik ortalamasıyla sonucu göstermek mümkündür. Ancak, tasarımcının bu

şekilde gerekli olan yüzey kalitesini net olarak belirleyebilmesi zordur. Bu bağlamda, grafik yöntemi imalat mühendisi ve/veya kalite kontrol elemanı tarafından kolaylıkla yorumlanamaz. Bu nedenle, yüzeyin fonksiyonel özelliklerine ait bazı ilişkilerin sayısal olarak yorumlanması gerekir. Yüzey kalitesinin sayısal olarak ifade edilebilmesinde kullanılan iki yöntem; ortalama çizgi ve zarf sistemi olarak bilinmektedir [54].

4.3.2.1. Ortalama Çizgi Sistemi

Ortalama çizgi sistemi (M), elde edilen geometrik profili onaylayan bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemde, ortalama çizgi ile profil arasındaki ordinatların kareleri toplamının minimum olması gerekir. Dolayısıyla ortalama çizgi profilin genel yönüne paralel bir çizgi olarak belirlenmekte olup, bu çizginin altında ve üstündeki profili oluşturan alanlar (a ve b) birbirlerine eşittir (Şekil 4.5). Profil ortalama çizgisinin konumu (c) için uygun örnekleme uzunluğu (L)'nin üzerindeki profilin genel yönüne paralel olan XX doğrusu çizilmektedir. Bir düzlem ölçer veya ordinat yöntemi kullanılarak a ve b alanları ölçülmektedir. Sonunda olarak, XX ve istenen ortalama çizgi YY arasındaki c mesafesi Eş. 4.17 ile hesaplanmaktadır.

$$c = \left(\sum \text{Alan}(a) - \sum \text{Alan}(b) \right) / L \quad (4.17)$$



Şekil 4.5. Ortalama çizgi konumunu [55].

4.3.2.2. Zarf Sistemi

Zarf sistemi (E), işleme izlerine karşı yuvarlanan bir dairenin yarıçapına bağlı üretilen bir çizgi esasına dayanmaktadır. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi zarf eğrisi, optimum geometrik profile dik açılarda en yüksek profile doğru çizilen ordinatlarla oluşturulmaktadır. R’nin dairesel yayları ordinatlar üzerindeki merkezler ile birlikte tepelere doğru çizilip zarf eğrisi oluşturulur. Eğri oluşumunda, yüzey pürüzlülüğünün grafik çıktısının düşey ve yatay ekseninde oransal olarak büyütüldüğü kabul edilir.



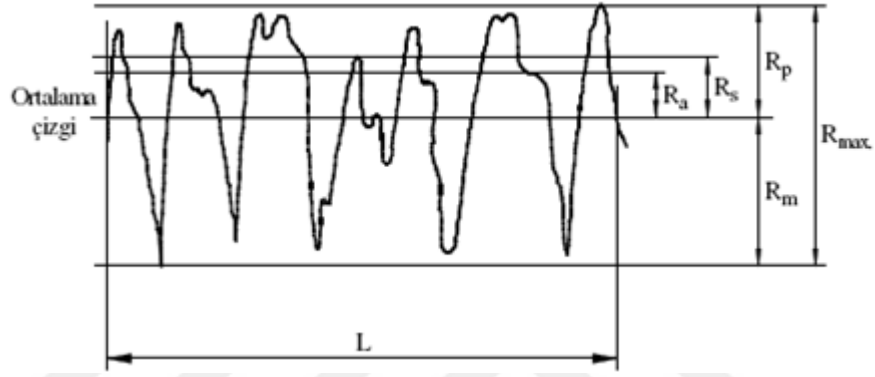
Düşey büyümelerin yataydaki büyümelere göre önemli miktarda çok olması ve dairesel yayların eliptik şekle dönüşmesi normaldir. Düşey ve yatay büyüme sırasıyla V ve H ile gösterilirse; zarf eğrisi yayların yarıçapları yerlerine $(R.H^2)/V$ olarak yazılmasıyla tekrar elde edilmiş olur. Daha sonra üretilen temas halindeki zarf çizgisinin altında ve üstünde eşit olan yüzey profili tarafından kapatılmış yayların pozisyonu ile değiştirilebilmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Ortalama zarf eğrisi [55].

4.3.3. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

Birçok gelişmiş ülke ortalama çizgi yöntemini kullanmakta olup, bu ülkelerinde bir kısmı ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), bir kısmı ise en büyük pürüzlülüğü (R_{max}) yüzey kalitesi ölçme parametresi olarak kabul etmiştir (Şekil 4.8). Yüzey pürüzlülüğü, pürüzlülük değerine bağlı olarak değişen ve “değerlendirme uzunluğu” olarak tanımlanan standart bir aralıkta ölçülmektedir [56].



Şekil 4.8. Yüzey pürüzlülüğü için sayısal değerler [55].

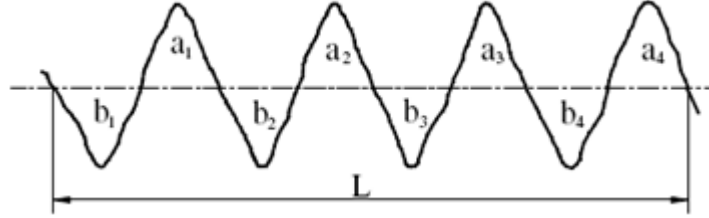
4.3.3.1. Ortalama Eksen Çizgi Değeri

Bu parametre, pürüzlülük değerinin aritmetik ortalaması (R_a) olarak bilinmekte olup, seçilen örnekleme uzunluğunda, eksen çizgisinin altında ve üstünde oluşan profil sapmalarının aritmetik ortalama değerini göstermektedir. Şekil 4.8’de işaret edilen durumun matematiksel olarak ifadesi aşağıda verilmiştir:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (4.18)$$

Formülde; L, örnekleme uzunluğu y, ortalama eksen çizgisinden bağımsız düşeydeki yer değiştirme değerlerini gösterir. R_a ’nın değeri, düzensiz bir alanın eşit uzunlukta parçalara bölünmesi ve bu uzunluklara karşılık gelen orta çizginin üstündeki ve altındaki alanların (sırasıyla a ve b) ölçülmesi ve toplam alanın örnek uzunluğa bölünmesi ile de belirlenebilmektedir (Şekil 4.9) [57].

$$R_a = \left(\frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + b_1 + b_2 + b_3 + b_4}{L} \right) \times \frac{10^3 \mu m}{\text{DüŖsey büyütmeye}} \quad (4.19)$$



Şekil 4.9. Alanlar ile Ra'nın gösterimi.

4.3.3.2. Maksimum Tepe-Dip Yüksekliği (Rmax, Rt)

Örnekleme uzunluğuna göre dikkate alınan en yüksek tepe ile en düşük dip arasındaki mesafe, tepe-dip yüksekliği olarak tanımlanır. (Şekil 4.8). Rt değeri, örnekleme uzunluğundaki yüzey düzensizliklerinin frekansı göz önüne alınmadığında yüzey pürüzlülüğünü tam olarak tanımlar. Tepe-dip yüksekliği değerini iyileştirmek için en yüksek tepe ve en düşük dip dikkate alınmaz.

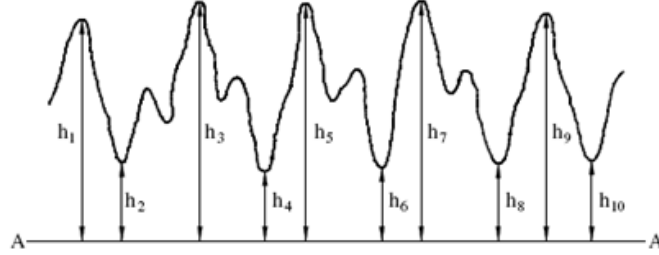
4.3.3.3. Profil Maksimum Tepe Yüksekliği (Rp) ve Dip Derinliği (Rm)

Seçilen örnekleme uzunluğundaki en yüksek tepeyle temas eden ve eksene paralel olan çizgiyle eksen arasındaki mesafedir. Buna göre Rp, geniş çıkıntı-dar girintilere sahip yüzeylerde küçük, dar çıkıntı-geniş girintilere sahip yüzeylerde ise büyük olmaktadır. Seçilen örnekleme uzunluğundaki en dip girintiye temas edecek şekilde ve eksen çizgisine paralel olarak çizilen doğru ile eksen çizgisi arasındaki mesafedir.

4.3.3.4. On Nokta Yüksekliği (Rz)

Profilin seçilen örnekleme uzunluğundaki en yüksek beş tepe noktasının yüksekliği ile en alt beş dip arasının derinliklerinin mutlak değerleri ortalamasıdır (Şekil 4.10).

$$R_z = \frac{[(h_1 + h_3 + h_5 + h_7 + h_9) - (h_2 + h_4 + h_6 + h_8 + h_{10})]}{5} \quad (4.21)$$



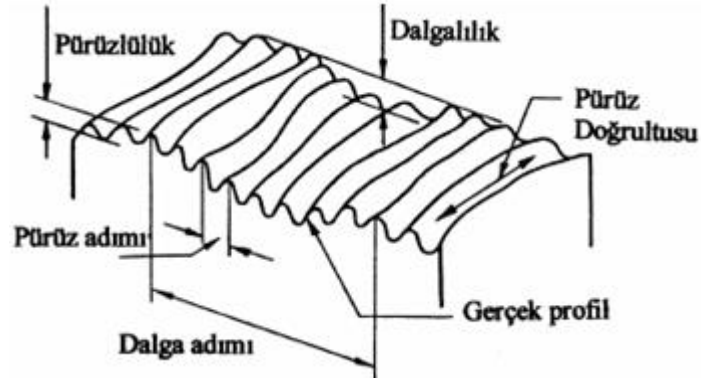
Şekil 4.10. On nokta yükseklik hesabı için ortalama ölçümler [58].

4.3.3.5. Örnekleme Uzunluğu

Pürüzlülük sayısal olarak belirleneceğinde, seçilen profil uzunluğu etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Basit periyodik biçimli yüzeyler için seçilen örnekleme uzunluğunun önemi yoktur. Bir örnekleme uzunluğu $L1$, maksimum tepe-dip değeri $Rt1$ değeri ile bağlantılıdır. Eğer örnekleme uzunluğu $L2$ 'ye artırılırsa tepe-dip değeri de $Rt2$ 'ye artırılmış olacaktır. Bu sebeple, birbiriyle uyumlu sonuçlara ulaşmak için yapılan ölçmeye göre örnekleme uzunluğu seçilmelidir. Bu seçilen örnekleme uzunluğu yüzey yapısının görünümünü temsil edecek kadar büyük olması gerekmektedir.

4.3.3.6. Yüzey Yapısı ve Gerçek Yüzey

Yüzey tamlığı ve yüzey pürüzlülüğü, sanayide sık kullanılan terimler olup, genelde yüzey bütünlüğünü belirtmek için kullanılır. Yüzey yapısı nominal bir yüzeyden sapan yüzeyin modelidir (Şekil 4.11). Bu sapmalar tekrarlı veya rasgele olabildiği gibi yüzey pürüzlülüğü; dalgalılık, konum ve yüzey kusurlarından da kaynaklanabilmektedir. Bir cismin gerçek yüzeyi, yüzey form hataları, dalgalılık ve yüzey pürüzlülüğü olarak sınıflandırılan yapısal sapmaları aynen yansıtmaktadır [59].



Şekil 4.11. Yüzey karakteristikleri [57].

Yüzey pürüzlülüğü, yüzey yapısının çok küçük düzensizliklerini içermekte ve bu düzensizlikler talaş kaldırmanın doğasından kaynaklanmaktadır. Pürüzlülük genişliği, takip eden tepe veya pürüzlülüğün kendi modelini oluşturan keskin noktalar arasındaki nominal yüzeye olan paralel mesafedir.

Pürüzlülük izleme genişliği, tekrarlı yüzey düzensizliklerinin en büyük aralığını gösteren ortalama pürüzlülük yüksekliğidir. Standart pürüzlülük izleme değerleri 0,08-0,25-0,8-2,5 mm şeklindedir. Değer belirtilmezse 0,8 mm şeklinde kabul edilir [57].

Dalgalık, bütün düzensizlikleri içermektedir. Dalgalık aralığı, örnekleme uzunluğundan daha büyük ve dalgalık ise daha küçüktür. Dalgalık yüksekliği, dip ve tepe değerleri arasındaki mesafedir. Dalgalık genişliği ise ardışık dalga tepe veya dip noktaları arası mesafedir.

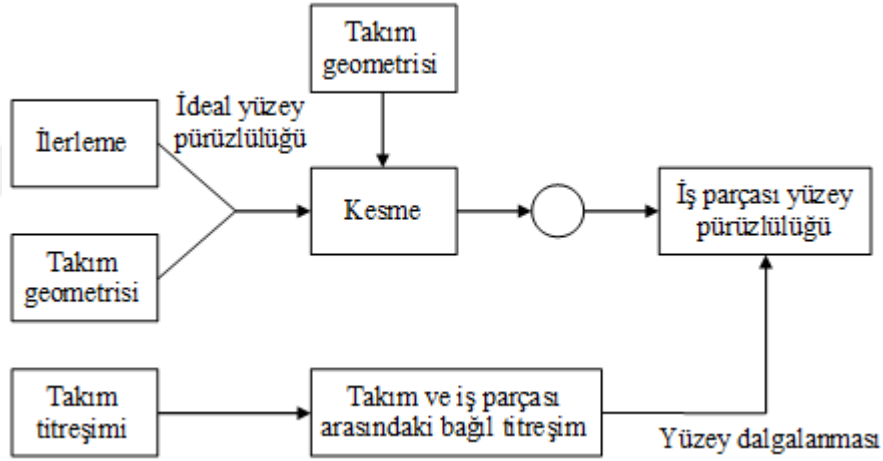
İşleme yöntemi ile belirlenen yüzey modelinin doğrultusudur. Hatalar, parçanın iç yüzeyinde beklenmedik ve istenmeyen kesintilerdir [57].

4.3.4. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler

Talaşlı imalatta, istenilen geometrik yapı ve yüzey pürüzlülüğü olarak iki önemli kalite karakteristiği göz önünde bulundurulmaktadır. Talaş kaldırma işleminde talaş oluşması ve akışı çok karmaşıktır. Bu karmaşık yapıya rağmen, yüzey

pürüzlülüğünün kontrolü öncelikli olarak kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği parametrelerinin uygun değerleri ile sağlanabilir. Genelde kesme derinliği ve ilerleme miktarının artmasına bağlı yüzey pürüzlülüğü miktarı artarken, buna zıt olarak kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerleri azalmaktadır [60].

Genelde yüzey kalitesini etkileyen husular; takım tezgahlarının yeteri kadar rijit olmayışı, tezgâhın kinematik sistemi, yataklama sistemine bağlı hatalar, kesici takım ve tutucunun rijit olmamasına bağlı imalat hatalar, takım konumlama ve bağlama kusurları, takım aşınmasından kaynaklanan kusurlar ve çevreyle oluşan kusurlar şeklinde sıralanmaktadır. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler Şekil 4.12’de gösterilmiştir. İş parçasının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bu faktörler; ilerleme, takım geometrisi ve titreşim olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır.



Şekil 4.12. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler [61].

Yüzey yapısı, esas itibarıyla işleme yöntemi, titreşim, tezgâh kayıt-kızak yapısındaki hatalar, kesici takım tipi ve durumu, kesme parametreleri, iş parçası malzemesine bağlı olarak değişmektedir. Kesici ucun yuvarlatılmasından dolayı gerçek talaş kesiti, teorik talaş kesitinden daha küçük olur. Talaş kesitleri arasındaki fark, yani kaldırılmamış talaş kesiti yüzey pürüzlülüğünü oluşturmaktadır [62].

Geleneksel talaşlı imalat yöntemleri (Tornalama, frezeleme, delme vb.) ile yapılan talaş kaldırma işlemlerinde farklı yüzey şekilleri elde edilir. Aynı zamanda, talaşın

sürekli veya kesikli oluşumuna bağlı olarak farklı yüzey yapısı oluşacaktır. Bu bağlamda, yüzey kalitesi, farklı işleme yöntemleri için takım geometrisi, takım özellikleri ve kesme parametrelerine bağlı olarak ifade edilebilmektedir. Genel olarak yüzey pürüzlülüğü, tormalama ve frezeleme için sırasıyla:

$$R_t = f^2 / (8r) \quad (4.22)$$

$$R_t = f \cdot r^2 \cdot 1000 / (4 \cdot D) \quad (4.23)$$

şeklinde yazılabilir [63].

Takım-iş parçası etkileşimine bağlı titreşimler nedeniyle, pürüzlülük değeri, yukarıdaki eşitlikler ile hesaplanan değerden küçük olur. Tormalama işleminde, R_a ile kesici takım geometrik özellikleri ve kesme parametreleri teorik olarak bağlandığında;

$$R_a = \frac{f}{4 \cdot (\tan C_s + \cos C_e)} \quad (4.24)$$

elde edilir. Burada, f ilerleme miktarını (mm/dev), C_s takımın yardımcı kesici kenar açısını ve C_e takım ayar açısını gösterir. Bu bağlamda, uç yarıçapı r olan bir kesici takım için Eş. 4.24,

$$R_a = 0,0642 \cdot f^2 / r \quad (4.25)$$

olur. Eş. 4.25'den anlaşılacağı gibi yüzey pürüzlülüğü ilerleme miktarı ve takımın uç yarıçapıyla doğrudan ilişkilidir.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. KAYNAK NUMUNELERİ VE EKİPMANLAR

5.1.1. Malzeme

Bu çalışmada, DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinden imal edilen ve demir çelik endüstrisinde kesme bıçağı olarak kullanılan parçanın, aşınan veya kırılan kısımlarının onarılarak yeniden kullanımı amaçlanmıştır. Bu amaçla, iş parçası olarak seçilen makas bıçakları Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilmiş olup, parçanın görüntüsü Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Aşınmış makas bıçağı fotoğrafı.

Karbon ve mangan, alaşımsız çeliğin sertleşme kabiliyetine etki eden en önemli iki elementtir. Düşük alaşımlı çeliklerde ise, çeliğin bileşiminde bulunan karbon ve mangana ek olarak, krom, molibden, vanadyum, nikel ve bakır gibi alaşım elementleri de sertliğe katkıda bulunur. Bu elementlerin sertliğe katkılarını belirlemek için “Karbon Eşdeğeri” kavramı oluşturulmuştur. Karbon eşdeğeri ifadesinde, çeliğin bileşimindeki alaşım elementlerinin oluşturduğu sertliğe eşdeğer sertliği veren karbon miktarına Karbon Eşdeğeri denilmektedir. Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW) tarafından oluşturulan ve tüm dünyada yaygın olarak kullanılan karbon eşdeğeri formülü aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır [64-28].

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (5.1)$$

Temin edilen malzemeye ait kimyasal bileşim ve Eşitlik 5.1 ile hesaplanan karbon eş değeri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Malzemeye ait karbon eşdeğeri.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ni	Ceş
0,39	1	0,38			5,2	1,4	1			1,9475

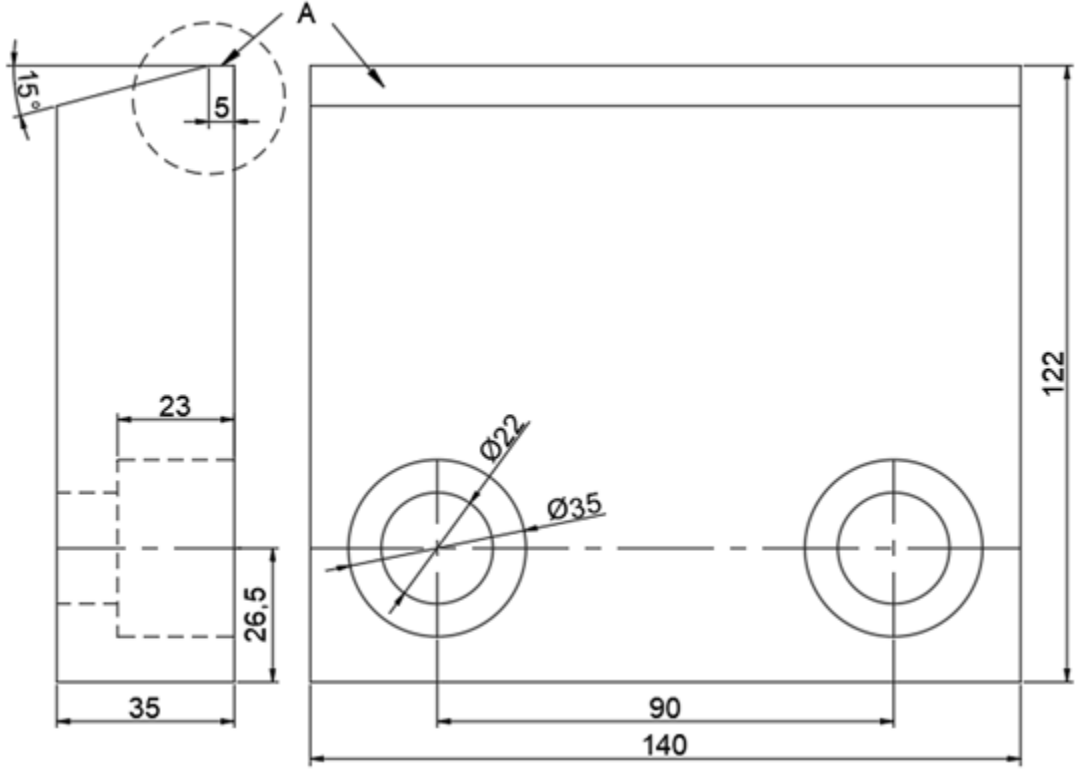
5.1.2. Kaynak Parametreleri ve Dolgu Kaynağı

Kaynak işlemi öncesinde malzemenin kimyasal bileşimi ve karbon eşdeğerliği dikkate alınarak elektrod türü belirlenmiş ve Castolin Kaynak Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.’den temin edilmiştir. Kaynak parametreleri, literatürde yapılmış olan benzer çalışmalardan edinilen bilgiler ile birlikte kaynak elektrodlarının temin edildiği firmanın önerileri doğrultusunda belirlenmiştir. Çizelge 5.2’de kaynak parametreleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kaynak sırasında kullanılan kaynak parametreleri.

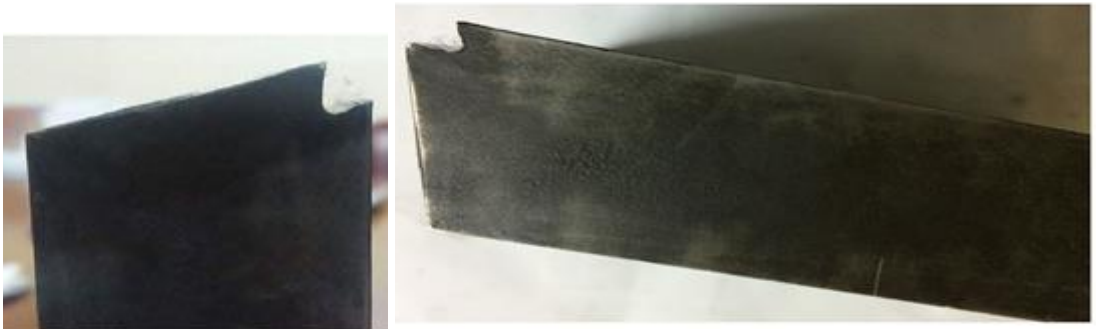
Elektrod çapı (mm)	Akım (A)	Malzeme sıcaklığı (C°)
2,5	60	400

İş parçasının imalat resmi Şekil 5.2’de verilmiş olup, parçanın aşınmış olan kesici kenar (A) olarak kullanılan bölümüne kenar boyunca elektrik ark kaynağı yöntemi ile sert dolgu kaynağı uygulanmıştır.



Şekil 5.2. Makas bıçağı imalat resmi.

Dolgu kaynağında ilk olarak, makas bıçaklarının aşınan kenarı boyunca mukavemetin artırılması amacıyla freze ile kaynak ağzı açma işlemi uygulanarak dolgu kaynağına hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Kaynak ağzı geometrisi.

Firma tarafından önerilen sert dolgu kaynağı elektrodu (Castolin-6804 XHD) 2,5 mm çapında olup, dolgu kaynağı öncesinde iş parçası 400 °C’de tavllanmış ve kaynak ağzı açılan kısım üç paso uygulanarak Nuriş 650C marka model kaynak makinesi kullanılarak serbest elle doldurulmuştur. Her bir kaynak paso işleminden sonra serbest (açık kalıpta) dövme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sayesinde, daha kontrollü bir tane akışının meydana gelmesi sağlanarak, makas bıçağının yüksek mukavemet ve toklukta onarımı hedeflenmiştir. Sert dolgu kaynağı sonrasında oluşan makas bıçağının fotoğrafı Şekil 5.4’te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Kaynak işlemi sonrası makas bıçağı.

5.1.3. Deney Numunesinin Karakterizasyonu

Makas bıçağına uygulanan sert dolgu kaynağı sonrası malzemenin karakterizasyon işlemleri; manyetik test, mikro yapı, sertlik ölçümü ve aşınma deneyi başlıkları altında yapılmıştır.

5.1.3.1. Manyetik Test

Malzeme kaynak yüzeyinin hassas temizliği yapıldıktan sonra, kaynak dolgusu yapılan bölgenin çatlak veya boşluk kontrolü için tahribatsız muayene yöntemlerinden manyetik test yöntemi kullanılmıştır. Bu işlem için Kardemir A.Ş. bünyesindeki Parker marka DA-400 S model manyetik test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.5. Manyetik test cihazı.

5.1.3.2. Mikroyapı Görüntüleri

Kaynak bölgesinin metalografik incelemeleri için 10 mm çap ve 10 mm yüksekliğinde üç adet numune tel erozyon tezgahında kesilmiştir. Metalografik incelemeler öncesinde, standart numune hazırlama işlemleri (zımparalama ve parlatma) uygulanmıştır. Metalografik numuneler sırasıyla 600, 1000, 1500 ve 2000 mesh zımpara ile zımparalama ve ardından elmas solüsyonla (6 μm ve 1 μm) parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Son olarak, numunelere %2 Nital dağlayıcısında 5 saniye süre ile dağlama işlemi yapılarak optik mikroskopta incelemeye hazır hale getirilmiştir. Mikroyapı görüntüleri, ZEISS marka optik mikroskop kullanılarak elde edilmiştir.

5.1.3.3. Sertlik Ölçümü

Dolgu kaynağı sonrasında malzemenin sertlik ölçümü Proceq Equotip 3 taşınabilir dinamik sertlik ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.6). Çizelge 5.3'te sertlik ölçüm cihazının teknik özellikleri verilmiştir. Kaynak dolgusu boyunca altı farklı noktadan ölçüm yapılmış olup, elde edilen sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 5.6. Sertlik ölçüm cihazı.

Çizelge 5.3. Sertlik ölçüm cihazı teknik özellikleri.

Test metodu	Leeb
Küresel test ucu	Tungsten karbür, 3 mm çap (C, D, DC, DL proplar) 5 mm çap (G prop) Polikristal elmas/seramik, 3 mm çap (E, S proplar)
Eğimli yüzey min radyus	10 mm
Çözünürlük	1HL, 1 HV, 0.1 HRC, 0.1 HRB, 0.1 HRA, 0.1 HS (1 N/mm ²)
Hassasiyet	±4 HL (800 HL de %0.5)
Gösterge	QVGA LCD ayarlanabilir arka ışık
Dâhili hafıza	~100000 değer
Haberleşme	Ethernet, USB ve RS232
Gövde malzemesi	Şoklara dayanıklı ABS plastik
PC uygulamaları	Equolink3 yazılımı
Çalışma sıcaklığı	0 ~ 50 °C
Nem	%90 maksimum
Besleme	Şarj edilebilir 'C' tipi 3 adet LiION pil
Boyutlar	170x200x45 mm
Ağırlık	780 g

5.1.3.4. Aşınma Deneyleri

Makina elemanları, tarım makinalarının toprakla temas eden yüzeyleri, toprak hafriyat makinelerinin ağızları, makas bıçakları, değirmen kırıcıları, sürtünerek çalışan diskleri sert yüzeylerden meydana gelirler. Bu yüzeyler termal ve mekanik etkiler sonucunda zamanla aşınmaya maruz kalırlar. Aşınan, çatlayan veya kırılan makina parçalarını yeniden almak veya yaptırmak bazen mümkün olmadığı gibi ekonomik de değildir. Bu nedenle aşınan makas bıçaklarına sert dolgu kaynağı uygulanarak daha verimli hale getirilmesi hedeflenmiştir. Dolgu kaynağı yapılan numunelerin en önemli mekanik özelliklerinden birisi aşınma dayanımı olup, numuneler üzerinde aşınma deneyleri uygulanmıştır. Aşınma deneyleri KBÜ Demir Çelik Enstitüsü'nde bulunan UTS TRIBOMETER T30M-HT marka doğrusal ileri-geri (Reciprocating) hareket modülü kullanılarak yapılmıştır. Bu cihaz ile ASTM G-133 standardına uygun aşınma deneyleri yapabilmekte olup, cihazın teknik özellikleri Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Aşınma cihazı teknik özellikleri.

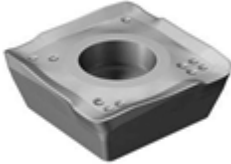
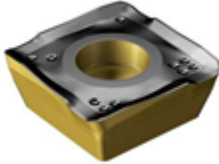

Özellikler	Değer
Pin tutucu	3-10 mm
Bilye tutucu	4-10 mm
Strok	0-60 mm
Frekans	1-10 Hz
Yük	1-60 N
Sürtünme kuvveti	0-60 N
Aşınma derinliği	0-4 mm
Yazılım	Turquoise V3.0
Ölçüm/Grafik seçenekleri	Sürtünme katsayısı - zaman/yol/ çevrim sayısı Sürtünme kuvveti – zaman/yol/ çevrim sayısı Aşınma derinliği - zaman/yol/ çevrim sayısı Sıcaklık - zaman/yol/çevrim sayısı

Dolgu kaynağı uygulanan bölgeden tel erozyon ile $\sim 10 \times 15$ mm boyutlarında 3 adet aşınma test numunesi kesilmiştir. Aşınma numuneleri üzerinde, sabit hız (90 mm/s) ve kayma mesafesi (2000 mm) ile üç farklı yük (10,20 ve 40 N) kullanılarak aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

5.2. İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİ

Kesme bıçağının sert dolgu kaynağı yapılmış bölgesine simetrik alın frezeleme işlemi uygulanarak malzemenin işlenebilirliği araştırılmıştır. Dolgu kaynağı uygulanan malzemenin işlenebilirlik kriterleri olarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlüğü dikkate alınmıştır. Frezeleme işlemleri, 5,5 kW gücüne sahip CNC dik işleme merkezinde kuru kesme şartında yapılmıştır. Deneyleerde, Sandvik Coromant ürünü iki farklı kaplama yöntemi (PVD ve CVD) ile kaplanmış 490R-08T308M kodlu sementit karbür kesici uçlar kullanılmıştır. Kesici takımların bağlanmasında silindirik saplı 90° yanaşma açısına sahip CoroMill 490-032A25-08L kodlu takım tutucu kullanılmıştır. Frezeleme deneylerinde, sabit kesme derinliği (0,4 mm) kullanılmış olup, kesici takım firması önerileri ve literatür incelemeleri doğrultusunda üç farklı kesme hızı (75, 100 ve 125 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,1, 0,15 ve 0,2 mm/dev) seçilmiştir. Deneyleerde kullanılan takım tutucu ve kesici takım resimleri ve bilgileri Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Kesici takım ve takım tutucu bilgileri.

Takım 1	Takım 1	Takım Tutucu
		
Kalite: GC 1130 Kaplama yöntemi: PVD Kaplama: AlTiCrN	Kalite: GC 4230 Kaplama yöntemi: CVD Kaplama: TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN	Takım tutucu kod: A490-025M25-08M

Kesme kuvveti ölçümleri, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarındaki Kistler 9257B tipi dinamometre ve ekipmanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bölgesinin işlenmesinde simetrik yüzey frezeleme yöntemi uygulanmıştır. Yüzey frezeleme sırasında oluşan anlık kesme kuvveti bileşenleri, ilerleme yönünde oluşan F_f (F_x), takımın dönme yönüne zıt veya ilerlemenin normali doğrultusunda oluşan F_c (F_y) ve takım dönme eksenine paralel

oluşan F_r (F_z)'dir. Elde edilen kesme kuvveti bileşenleri kullanılarak bileşke kesme kuvveti (F_R) hesaplanmış (Eş.5.1) olup, kesme parametrelerinin etkisi bileşke kuvvete göre değerlendirilmiştir.

$$F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (5.1)$$

Frezeleme deneyleri sonucunda oluşan yüzeylerin kalitesi ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) dikkate alınarak yapılmış olup, pürüzlülük ölçümünde Mahr Perthometer M300 cihazı kullanılmıştır. Her bir deney sonrasında yapılan üç pürüzlülük ölçüm değerinin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

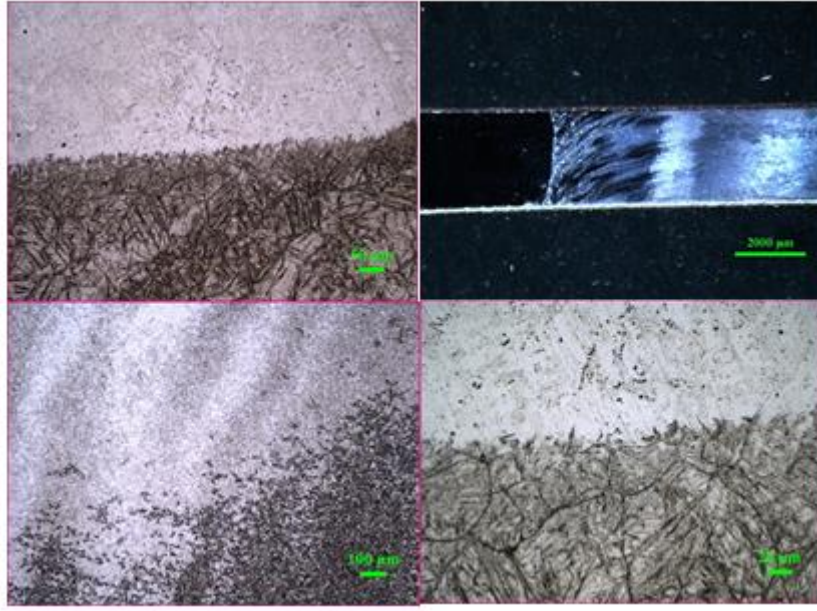
6.1. MALZEME KARAKTERİZASYON SONUÇLARI

Sert dolgu kaynağı sonrasında, öncelikle kaynak kalitesini belirlemek amacıyla manyetik test yapılmış olup, kaynak dolgusunda herhangi bir kusur görülmemiştir.



Şekil 6.1. Manyetik test aşaması.

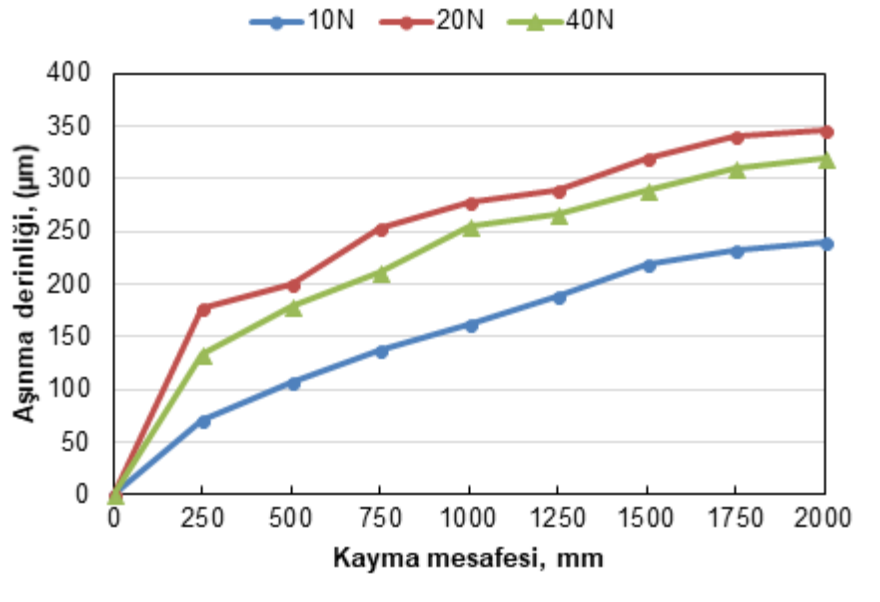
Kaynaklı yüzeyden dinamik sertlik ölçüm cihazı ile yapılan ölçüm sonucunda, sertlik değeri 52 ± 1 HRC olarak tespit edilmiştir. Kaynaklı bölgeden çıkarılan metalografi numunesinden alınan çeşitli mikroyapı görüntüleri Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Numune mikroyapı görüntüleri.

Dolgu kaynağı uygulanan makas bıçağının aşınma davranışı, doğrusal ileri-geri (Reciprocating) hareket modülü kullanılarak, sabit hız (90 mm/sn) ve üç farklı yük altında gerçekleştirilen aşınma testleri ile incelenmiştir. Aşınma testleri sonucunda, kayma mesafesine göre aşınma derinliğinin değişimi Şekil 6.3'te grafik olarak gösterilmiştir.

Şekil 6.3'ten görülebileceği gibi, aşınma derinliğinin değişimi 10N ve 20N yükleri için benzer eğilimde olup, kayma mesafesinin artmasıyla artış göstermiştir. Ancak, yük miktarındaki artışla birlikte aşınma derinliğinin belirli bir oranda artması beklenirken, 40N yük altında tam tersi bir sonuçla karşılaşmıştır. Yük miktarı, 20 N'dan 40 N'a artırıldığında aşınma derinliğinde bir azalma olduğu görülmektedir. Bu sonuç, aşınma deneyi sırasında malzemede oluşması muhtemel deformasyon sertleşmesine atfedilmektedir. Deformasyon sertleşmesine bağlı olarak malzeme dayanımının artmasıyla, dolgu kaynağı uygulanan kesme bıçağının aşınma direncinin artmasını sağlamış ve böylece 20N'a göre daha düşük aşınma derinliği meydana gelmiştir.



Şekil 6.3. Aşınma deneyi sonuçları.

6.2. FREZELEME SONUÇLARI

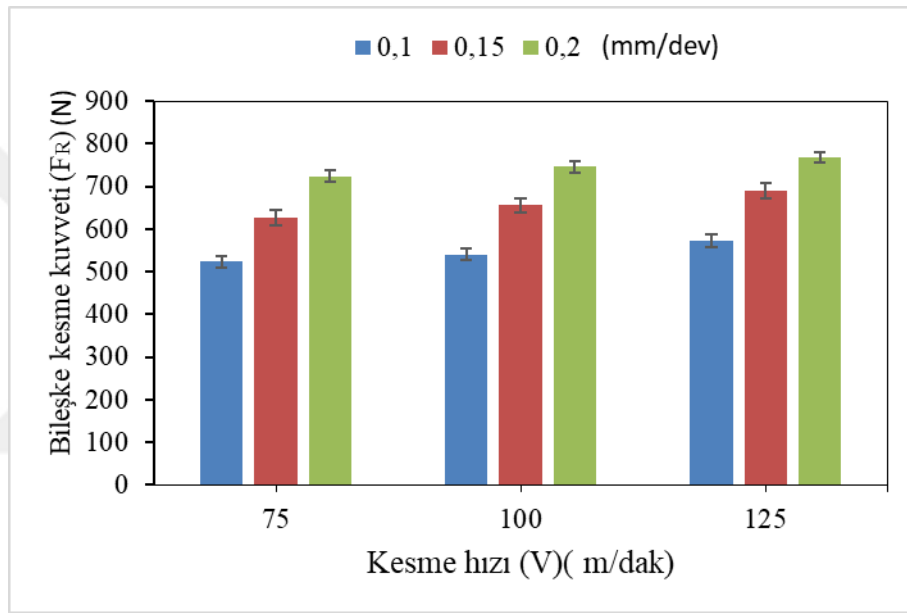
Kesme bıçağının sert dolgu kaynağı yapılmış bölgesine simetrik alın frezeleme işlemi uygulanarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından malzemenin işlenebilirliği incelenmiştir. Frezeleme işlemleri, CVD ve PVD yöntemi ile kaplanmış karbür kesici takımlar ile sabit kesme derinliği (0,4 mm), üç farklı kesme hızı (75, 100 ve 125 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,1, 0,15 ve 0,2 mm/dev) kullanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen bileşke kesme kuvveti (F_R) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerinde kesme parametrelerinin etkileri varyans analizi (ANAVO) ile değerlendirilmiştir.

6.2.1. CVD Yöntemi İle Kaplanmış Kesici Takımla Elde Edilen Sonuçlar

DIN 1.2344 çeliğinden imal edilen makas bıçağına uygulanan sert dolgu kaynağı sonrasında, kaynaklı bölgenin CVD kaplamalı karbür kesici uçlar ile frezelenmesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

6.2.1.1. Kesme Kuvvetinin Değerlendirilmesi

Kaynaklı bölgenin işlenmesinde simetrik yüzey frezeleme yöntemi uygulanmıştır. Frezeleme sırasında oluşan kesme kuvveti ölçümleri Kistler 9257B tipi dinamometre ve ekipmanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Makaslama/Kesme bıçağının frezelenmesi sırasında oluşan kesme kuvveti bileşenleri (F_f , F_c ve F_r) kullanılarak Eşitlik 5.1 yardımıyla bileşke kesme kuvveti (F_R) hesaplanmış olup, kesme parametrelerine göre bileşke kuvvetin değişimi Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4. TiCN/Al₂O₃/TiN kaplamalı takım ile ölçülen F_R 'nin değişimi.

Şekil 6.4 incelendiğinde, ilerleme miktarının artmasıyla birlikte bileşke kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir. Bu sonuç, ilerleme miktarının artmasıyla beraber talaş kesitinin artmasına bağlı olarak meydana gelen talaş oluşumuna atıf edilmektedir. Ancak, sert dolgu kaynağı yapılan bu malzemenin işlenmesinde kesme hızının artmasına bağlı olarak bileşke kuvvetin bir miktar arttığı belirlenmiştir. Bu sonucun, frezeleme işleminin doğası gereği kesintili talaş kaldırma işlemi olması ve bunun sonucunda malzemenin yumuşaması için yeterli düzeyde ısı oluşmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. DIN 1.2344 çeliğine uygulanan sert dolgu kaynaklı malzemenin frezelenmesinde, en düşük kesme kuvveti değeri ilerleme miktarı ve kesme hızının en küçük olduğu deney sonrasında elde edilmiştir.

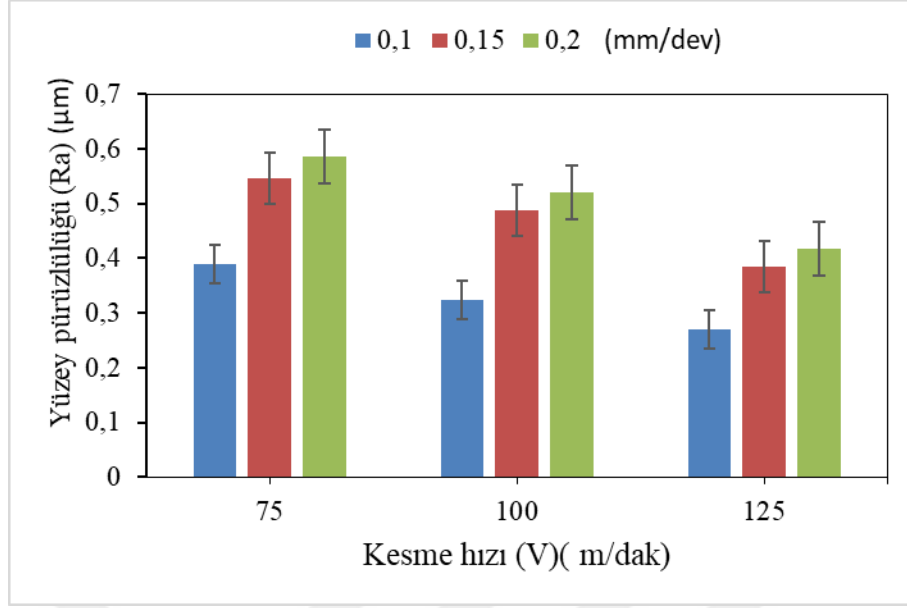
Frezeleme işleminde, kesme parametrelerinin bileşke kesme kuvveti üzerindeki etkilerini belirleyebilmek adına %95 güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır (Çizelge 6.1). Burada, her bir değişkenin serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO), F değerleri ve yüzde katkı oranları (PCR) görülmektedir. ANOVA tablosunda verilen PCR değerleri, parametrelerin F_R üzerindeki etki seviyelerini göstermektedir. Çizelge 6.1’de verilen ANOVA sonuçlarına göre, F_R üzerinde en etkin parametre %93,57 PCR ile ilerleme miktarıdır. Ayrıca, kesme hızı (V)’nin bileşke kuvvet üzerinde %6,28 PCR’lik bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Buna göre, istatistiksel analiz sonuçlarının deneysel çalışmadan elde edilen sonuçları doğrular nitelikte olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.1. CVD yöntemi ile kaplanmış kesici için F_R ’nin ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
İlerleme miktarı (f)	2	60382,1	30191	1245,7	93,57
Kesme hızı (V)	2	4050,3	2025,1	83,55	6,28
Hata	4	96,9	24,20		0,15
Toplam	8	64529,3			100

6.2.1.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

Farklı kesme parametrelerine göre frezelenmiş yüzeylerin kalitesi ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) dikkate alınarak yapılmış olup, pürüzlülük ölçümünde Mahr Perthometer M300 cihazı kullanılmıştır. Her bir deney sonrasında yapılan üç pürüzlülük ölçüm değerinin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. CVD yöntemi ile TiCN/Al₂O₃/TiN kaplamalı kesici takım kullanılarak elde edilen Ra değerlerinin değişimi Şekil 6.5’te verilmiştir.



Şekil 6.5. TiCN/Al₂O₃/TiN kaplamalı takım ile ölçülen Ra'nın değişimi.

Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme miktarındaki artışla birlikte arttığı görülmektedir (Şekil 6.5). İlerleme miktarındaki artışın Ra değerlerini artırması beklenen bir sonuç olup, bunun esas nedeni teorik yüzey pürüzlülüğü denklemi ($Ra=0,321f^2/8r$) gereği ilerleme ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğrusal ilişkinin olmasıdır. Diğer yandan, frezeleme işleminde kesme kuvvetlerinin takım dönüş yönü ve ilerleme yönüne bağlı olarak değişkenlik göstermesi yüzey pürüzlülük değerlerini olumsuz etkilemektedir. Kesme kuvvetlerindeki dalgalanmaların muhtemelen titreşimleri artırdığı ve böylece yüzey kalitesinin kötüleştiği düşünülmektedir [65].

Ayrıca, kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinin oransal olarak azaldığı tespit edilmiştir. DIN 1.2344 çeliğinin CVD yöntemi ile kaplanmış karbür kesici takımla frezelenmesinde, en düşük yüzey pürüzlülük değeri en düşük ilerleme miktarı ve en yüksek kesme hızının olduğu deney sonrasında elde edilmiştir.

Sert dolgu kaynağı uygulanan sıcak iş takım çeliğinin frezelenmesinde, kesme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi kullanılmıştır (Çizelge 6.2). Çizelge 6.2'de verilen ANOVA sonuçlarına göre, Ra üzerinde en önemli parametrenin %61,20 PCR ile ilerleme miktarı olduğu görülmektedir. Deneysel sonuçların analizinde kesme hızının yüzey

pürüzlülüğü üzerindeki katkı oranının ANOVA sonucuna göre %37,66 PCR'lik bir oranda olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.2. CVD yöntemi ile kaplanmış kesici için Ra'nın ANOVA sonuçları.

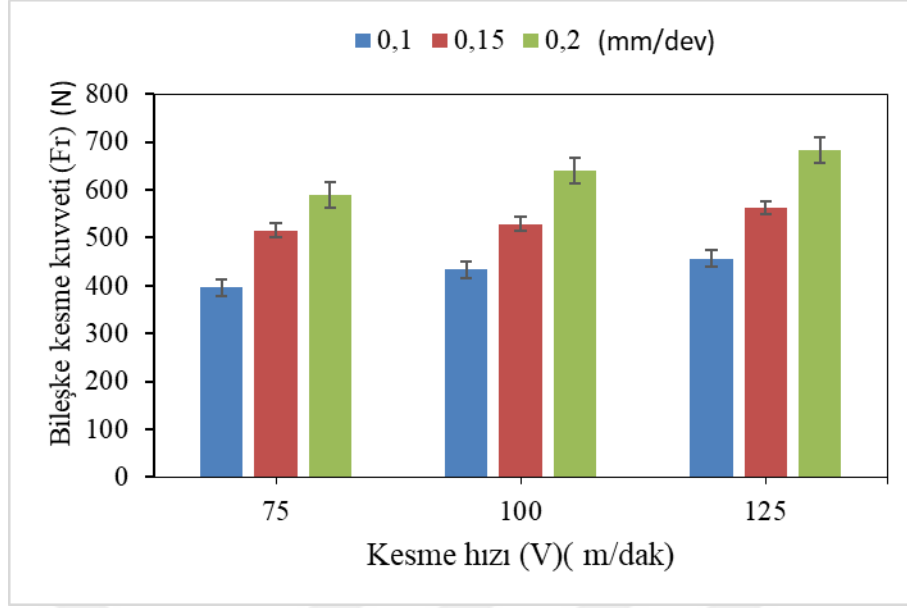
Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
İlerleme miktarı (f)	2	0,05503	0,02752	107,53	61,20
Kesme hızı (V)	2	0,03387	0,01694	66,18	37,66
Hata	4	0,00102	0,00		1,14
Toplam	8	0,08993			100

6.2.2. PVD Yöntemi İle Kaplanmış Kesici Takımla Elde Edilen Sonuçlar

PVD yöntemi ile AlTiCrN kaplamalı karbür kesici uçlar kullanılarak dolgu kaynağı uygulanan DIN 1.2344 çeliğinin frezelenmesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki başlıklar altında değerlendirilmiştir.

6.2.2.1. Kesme Kuvvetinin Değerlendirilmesi

Kesme bıçağının AlTiCrN kaplamalı karbür kesici uçlar ile simetrik frezeleme yöntemi kullanılarak işlenmesinde oluşan kesme kuvveti bileşenleri (F_f , F_c ve F_r) kullanılarak bileşke kesme kuvveti (F_R) hesaplanmış olup, kesme parametrelerine göre bileşke kuvvetin değişimi Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6. AlTiCrN kaplamalı takım ile ölçülen F_R 'nin değişimi.

Şekil 6.6 incelendiğinde, F_R değerlerinin PVD yöntemi ile kaplanmış kesici takımla elde edilen sonuçlara benzer eğilimde olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla birlikte bileşke kesme kuvvetinin arttığı belirlenmiştir. Bu sonuç, literatürde bahsedildiği gibi ilerleme miktarının artmasıyla beraber talaş kesitinin artması ve böylece talaş oluşumu için gerekli gücün artmasına atıf edilmektedir. Kesme hızının artmasına bağlı olarak bileşke kesme kuvvetinin bir miktar arttığı belirlenmiştir. Bu sonucun, frezeleme işleminin doğası gereği kesintili talaş kaldırma işlemi olması ve bunun sonucunda malzemenin yumuşaması için yeterli düzeyde ısı oluşmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. DIN 1.2344 çeliğine uygulanan sert dolgu kaynaklı malzemenin frezelenmesinde, en düşük kesme kuvveti değeri ilerleme miktarı ve kesme hızının en küçük olduğu deney sonrasında elde edilmiştir.

Simetrik frezeleme işleminde, kesme parametrelerinin bileşke kesme kuvveti üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 6.3'te verilmiştir. Burada, her bir değişkenin serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO), F değerleri ve yüzde katkı oranları (PCR) görülmektedir. ANOVA tablosunda verilen PCR değerleri, parametrelerin F_R üzerindeki etki seviyelerini göstermektedir. ANOVA sonuçlarına göre, F_R üzerinde en etkin parametrenin %93,46 PCR ile ilerleme miktarı olduğu

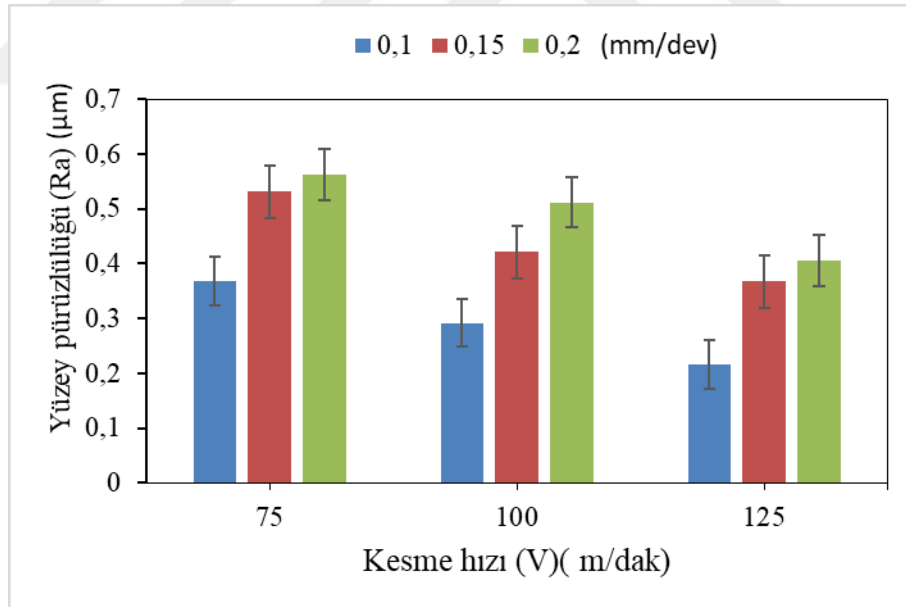
belirlenmiştir. Ayrıca, kesme hızı (V)'nin bileşke kuvvet üzerinde %6,49 PCR'lik bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.3. PVD yöntemi ile kaplanmış kesici için F_R 'nin ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
İlerleme miktarı (f)	2	59953,5	29976,5	3556,48	93,46
Kesme hızı (V)	2	4160,9	2080,5	247,52	6,49
Hata	4	33,6	8,4		0,05
Toplam	8	64147,5			100

6.2.2.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

PVD yöntemi ile AlTiCrN kaplamalı kesici uçlar kullanılarak elde edilen Ra değerlerinin değişimi Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.7. AlTiCrN kaplamalı kesici takım ile ölçülen Ra'nın değişimi.

Farklı kesme parametrelerine göre frezelenmiş yüzeylerin kalitesi ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) dikkate alınarak yapılmış olup, pürüzlülük ölçümünde Mahr Perthometer M300 cihazı kullanılmıştır. Her bir deney sonrasında yapılan üç

pürüzlülük ölçüm değerinin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü ilerleme miktarındaki artışla birlikte artmıştır (Şekil 6.7). İlerleme miktarındaki artışın Ra değerlerini artırmasının esas nedeni teorik yüzey pürüzlülüğü denklemine ($Ra=0,321f^2/8r$) göre ilerleme miktarı ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğrusal bir ilişkinin bulunmasıdır. Diğer yandan, her bir ilerleme miktarı dikkate alındığında, kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir. PVD yöntemi ile kaplanmış kesici takımın frezelenmesinde, en düşük yüzey pürüzlülük değeri en düşük ilerleme miktarı ve en yüksek kesme hızının olduğu deney sonrasında elde edilmiştir.

Sert dolgu kaynağı uygulanan sıcak iş takım çeliğinin AlTiCrN kaplamalı kesici takımın frezelenmesinde, kesme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini belirlemek için varyans analizi kullanılmıştır (Çizelge 6.4). Çizelge 6.4'te verilen ANOVA sonuçlarına göre, Ra üzerinde en önemli parametrenin %61,18 PCR ile ilerleme miktarı olduğu görülmektedir. Deneysel sonuçların analizinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu, ANOVA sonucuna göre bu etkinin %38,09 PCR'lik bir oranda olduğu belirlenmiştir.

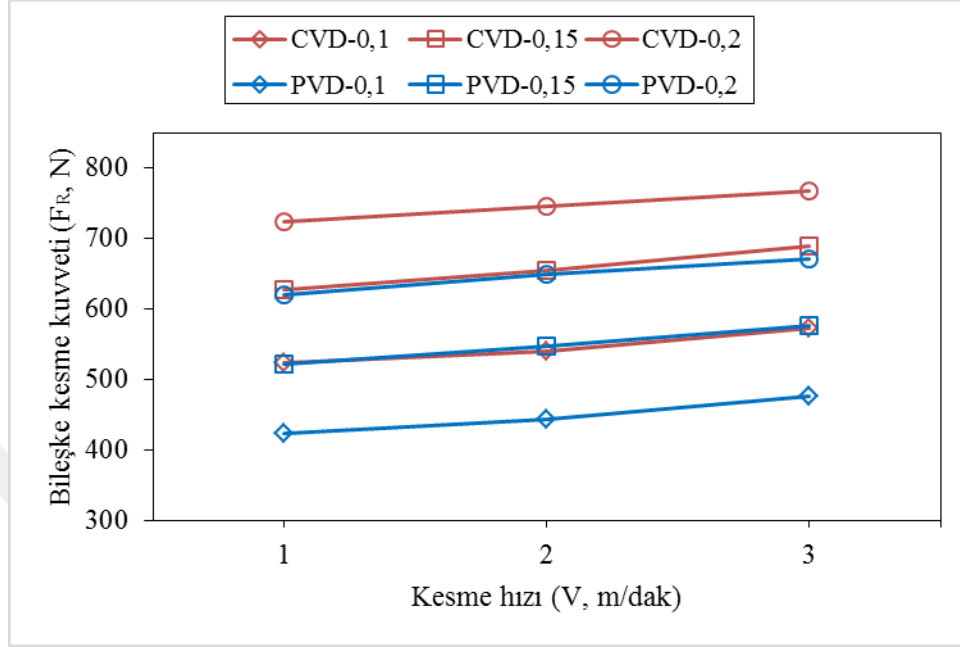
Çizelge 6.4. PVD yöntemi ile kaplanmış kesici için Ra'nın ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
İlerleme miktarı (f)	2	0,043117	0,021558	167,55	61,18
Kesme hızı (V)	2	0,026841	0,01342	104,30	38,09
Hata	4	0,000515	0,000129		0,73
Toplam	8	0,070472			100

6.2.3. Kesici Takım Performanslarının Karşılaştırılması

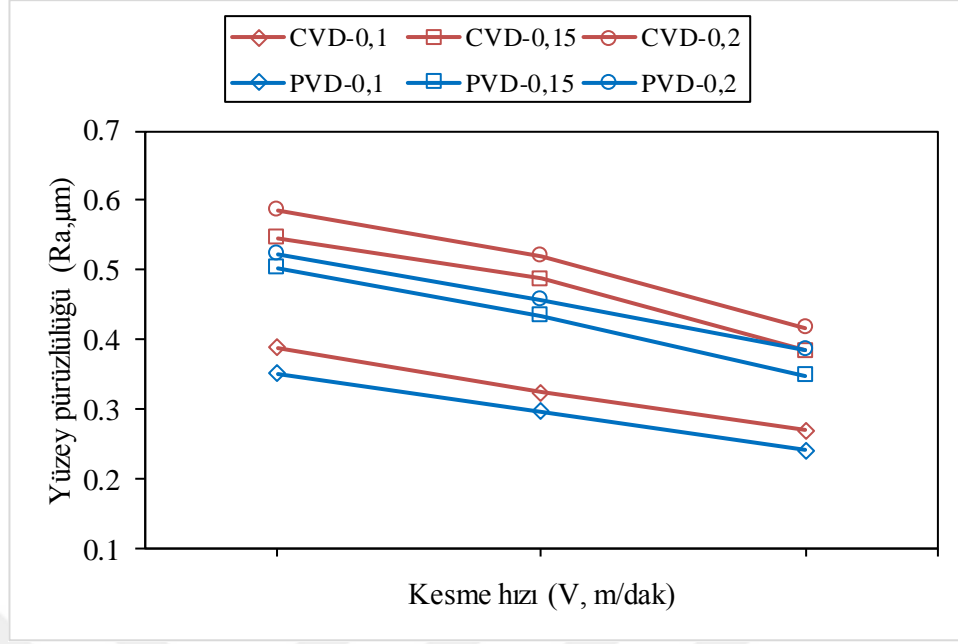
CVD ve PVD yöntemleri ile sırasıyla TiCN/Al₂O₃/TiN ve AlTiCrN kaplamalı karbür kesici takım performansları bileşke kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü açısından kıyaslanmıştır. Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da CVD ve PVD kaplamalı kesici takımlar ile

frezeleme sonucunda elde edilen bileşke kuvvet ve yüzey pürüzlülüğünün kesme parametrelerine göre değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Bileşke kuvvet açısından takım kalitelerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.8 incelendiğinde, ilerleme miktarının artmasıyla birlikte her iki yöntemle kaplanmış kesici takım ile frezeleme işleminde bileşke kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir. Diğer yandan, kesme hızının artmasıyla birlikte bileşke kuvvet değerlerinde az da olsa bir artış eğilimi meydana gelmiştir. F_R değerindeki bu artış, literatürde belirtildiği gibi kesme hızının artmasıyla birlikte muhtemelen kesici takım titreşimlerinde meydana gelen artışa atfedilmektedir. PVD yöntemi ile kaplanmış karbür kesici takımla frezelemede elde edilen bileşke kuvvet değerlerinin CVD yöntemiyle kaplamalı takımla elde edilen F_R değerlerine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu sonucun esas nedeni olarak PVD yöntemiyle kaplamalı takımın sahip olduğu sürtünme katsayısının daha düşük olması gösterilebilir. En küçük bileşke kuvvet değeri (424 N) ilerleme miktarı ve kesme hızının en küçük olduğu deney sonrasında AlTiCrN kaplamalı kesici takımla ölçülmüştür. Tüm deneyler dikkate alındığında, AlTiCrN kaplamalı kesici takımla ölçülen F_R değerleri ortalama %18,9 daha küçük elde edilmiştir.



Şekil 6.9. Yüzey pürüzlülüğü açısından takım kalitelerinin karşılaştırılması.

Yüzey pürüzlülüğüne göre kesici takım kaliteleri kıyaslandığında, kuvvet değişimindeki eğilime benzer sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 6.9'dan, PVD yöntemi ile kaplanmış karbür kesici takımla frezeleme sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin CVD yöntemiyle kaplanmış takıma göre daha düşük olduğu görülmektedir. Her iki kaplama malzemesi için ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artarken, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı belirlenmiştir. Bu sonucun nedeni olarak, PVD yöntemiyle kaplamalı takımın sahip olduğu sürtünme katsayısının daha düşük olmasını göstermek mümkündür. En küçük yüzey pürüzlülük değeri (0,242 µm) 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 125 m/dak kesme hızında AlTiCrN kaplamalı kesici takımla ölçülmüştür. Tüm deneyler dikkate alındığında, AlTiCrN kaplamalı kesici takımla ölçülen Ra değerleri ortalama %10,6 daha küçük elde edilmiştir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma şartları neticesinde aşınmaya uğrayan DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiş bir makine parçasının mekanik özelliklerinin işlenebilirliği üzerine çalışmalar yapılmıştır. Aşınan parçaların yenisi ile değiştirilmesi ekipmana bağlı olarak ciddi maliyet gerektirmesi ve spesifik bölgelerde aşınmaya karşı daha dirençli hale getirilmesi sert dolgu kaynağı ile mümkündür. Sert dolgu kaynağı endüstride yaygın kullanım alanına sahip bir yöntem olmakla birlikte bu çalışma kapsamında da aşınmış hadde uçar makas bıçaklarına ark kaynak yöntemi ile uygulanmış ve deneysel çalışmalar neticesinde aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

- Kaynak dolgusu yapılmış numunelerde, sıvı penetrant ve manyetik test sonuçlarına göre malzemelerin dolgu yüzeylerinde herhangi bir kaynak kusuruna rastlanmamıştır.
- Aşınma deneyleri sırasında, yük miktarındaki artışla birlikte aşınma derinliğinin belirli bir oranda artması beklenirken, yük miktarı 20 N'dan 40 N'a artırıldığında aşınma derinliğinde bir azalma olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, aşınma deneyi sırasında malzemedeki oluşan deformasyon sertleşmesine atfedilmiştir.
- CVD yöntemi ile TiCN/Al₂O₃/TiN kaplanmış takım ve PVD yöntemi ile AlTiCrN kaplanmış takım kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda, en düşük yüzey pürüzlülüğü, en düşük ilerleme miktarı ve en yüksek kesme hızında ölçülmüştür.

- TiCN/Al₂O₃/TiN ve AlTiCrN kaplanmış takım kullanılarak yapılan frezeleme işlemleri sonucunda, en düşük bileşke kuvvet en düşük ilerleme miktarı ve kesme hızında elde edilmiştir.
- En küçük bileşke kuvvet değeri (424 N) ilerleme miktarı ve kesme hızının en küçük olduğu deney sonrasında AlTiCrN kaplamalı kesici takımla elde edilmiştir. En küçük yüzey pürüzlülük değeri (0,242 µm) 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 125 m/dak kesme hızında AlTiCrN kaplamalı kesici takımla elde edilmiştir.
- Ana malzemeye sert dolgu yapılarak kullanılan kesme bıçaklarının performansının işletme ortamındaki çalışma şartlarına bağlı olarak %50 oranında daha uzun ömürlü olduğu belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda ulaşılan veriler doğrultusunda bu konu üzerinde yapılabilecek çalışmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir.

- Ark kaynağı ile sert dolgu yapılan malzemenin mekanik özellikleri kaynak parametrelerine göre optimize edilebilir.
- Kesici takım geometrisi ve diğer kesme parametrelerinin dikkate alındığı bir deney tasarımı yapılarak frezelemede kullanılan işleme parametrelerinin optimizasyonu yapılabilir.
- Aynı kaliteye sahip malzemenin işlenmesinde, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve tüketilen enerji miktarı için deneysel verilere dayalı tahmini matematiksel modeller oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

1. *İnternet: <http://www.muhandisalemi.com/takim-celikleri-veozellikleri/>, (2017).*
2. *İnternet: <http://malzemebilimi.net/takim-celikleri.html>, (2017).*
3. Güllü, A., Özdemir, A., Demir, H., “Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri ve mukayesesi”, *Teknoloji*, 6 (1-2): 79-92 (2003).
4. MEGEP, “Metal Teknolojisi: Dolgu Kaynağı”, *MEB Yayınları*, Ankara, (2011).
5. Oğuz B. “Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları”, *Oerlikon Yayınları*, İstanbul (1993).
6. Cavcar, M. M. “Sert Dolgu Malzemelerine Genel Bir Bakış”, *Oerlikon Yayınları*, İstanbul (2004).
7. Kurt, A., Avcıoğlu, E.” Karbon eşdeğerliği yüksek çeliklerin kaynağında ön tav sıcaklığının kaynak metali morfolojisine etkisi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 1-6 (2004).
8. Bektaş, H. “Aşınan aks mafsalsının dolgu kaynağı ile tamiri”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (2011).
9. Dikicioğlu, A., “Vural, M. Sert Dolgu Kaynağı ile Tamir Bakım”, *İTÜ Makine Fakültesi*, 35-65s (1993).
10. Öz Saraç, U. “Raylı taşıtlarda teker bandajı-ray sisteminde dolgu kaynağı ve sabo parçaların aşınma ve yorulma davranışlarının incelenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Sakarya (2005).
11. Albaraz, Z. “Isıl işlem parametrelerinin ve kimyasal kompozisyonun sıcak iş takım çeliklerinin mekanik özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).
12. Mansori, M., Nouari, M. “Dry Machinability of Nickel-Based Weld-Hardfacing Layers for Hot Tooling”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 1715–1727 (2007).
13. Apay, S. “Tozaltı Sert Dolgu Kaynağına Bor Tozu İlavesinin Aşınma Özellikleri Üzerine Etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2007).

14. L. Fouilland, M., El Mansori, A. Massa. "Friction-induced work hardening of cobalt-base hardfacing deposits for hot forging tools". *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 3336-3373(2009).
15. Lazic, V., Sedmak, A., Milosavljevic, D., Nikolic, I., Aleksandrovic, S., Nikolic, R., Mutavdzic, M. "Theoretical and experimental estimation of the working life of machine parts hard faced with austenite-manganese electrodes", *Materials and Technology*, 46 (5), 547–554 (2012).
16. Gualco, A., Svoboda H.G., Surian E.S., Vedia L.A. "Effect of Welding Procedure on Wear Behaviour of a Modified Martensitic Tool Steel Hardfacing Deposit", *Materials and Design* 31 , 4165–4173 (2010).
17. Brezinova, J., Draganovska, D., Guzanova, A., Balog P. and Vi, J. "Influence of the Hardfacing Welds Structure on Their Wear Resistance", *Metals* 2016, 6, 36; doi:10.3390/met6020036 (2016).
18. Kang, A.S., Cheema, G.S., Singla, S., "Wear Behavior of Hardfacings on Rotary Tiller Blades", *Procedia Engineering*, 97: 1442 – 1451 (2014).
19. DeGarmo E.P., Black, J.T., Kohser R.A. "Materials and Processes in Manufacturing, Prentice-Hall Inc.", New Jersey, 533-600 (2013).
20. Şirin, E., Turgut, Y., Korkut, İ. "Farklı Sertlikteki AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezeleme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkisi", *Politeknik Dergisi*, 15 (1), 9-14 (2012).
21. Gök, A., Göloğlu, C., Demirci, H.İ. "Dışbükey ve içbükey yüzeylerin küresel parmak frezelenmesinde takım sehimine bağlı form hatalarının belirlenmesi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 29 (2), 365-374 (2014).
22. Vivancos, J., Luis, C. J., Costa, L., Ortiz, J. A." Optimal machining parameters selection in high speed milling of hardened steels for injection moulds", *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156, 1505-1512 (2004).
23. Gopalsamy, B. M., Mondal, B., Ghosh, S." Taguchi method and ANOVA: an approach for process parameters optimization of hard machining while machining hardened steel". *Journal of Scientific Industrial Research*, 68, 686-695 (2009).
24. Ulaş, H.B., Mihmat, F., Demir, H. "DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin testere freze çakılarıyla işlenebilirliğinin araştırılması". *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 26(2): 170-178 (2010).
25. Cui, X., Wang, D., Guo, J. "Performance optimization for cemented carbide tool in high-speed milling of hardened steel with initial microstructure considered", *International Journal of Mechanical Sciences* 114, 52–59 (2016).

26. Öztürk, S. “Machinability of Stellite-6 Coatings with Ceramic Inserts and Tungsten Carbide Tools”, *Arab J Sci. Eng.*, 39:7375–7383 (2014).
27. Zeyveli, M., Demir, H., Ulaş, H.B., Güllü, A., **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu** (IATS’09), 13-15 (2009).
28. Benghersallah, M., Boulanouar, L., Coz, Le., G., Devillez, A., Dudzinski., D., “Machinability of Stellite 6 hardfacing”, *EDP Sciences* (2010).
29. Uzun G., Turgut, Y. “DIN 1.2344 ve DIN 1.2379 Takım çeliklerine uygulanan dolgu kaynaklarının frezelenmesinde kesme parametrelerinin incelenmesi”. **4. Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Sergisi**, Gaziantep,1437-1446 (2016).
30. .Liu, Z.Y., Guo, Y.B., Cao, H.J., Zhao, G.Y., Liu, Z.Q. “Embodied Energy in Dry Cutting under Consumption of Tool and Materials”, *Procdia CIRP*, 61, 535-540 (2017).
31. Wang, C.Y., Xie, Y.X., Quin, Z., Lin, H.S., Yuan Y.H., Wang, Q.M., “Wear and Breakage of TiAlN and TiSiN Coated Carbide Tools During High-Speed Milling of Hardened Steel”, *Wear*, 336-337, 29–42 (2015).
32. Cavcar, M. “Sert Dolgu Kaynakları”, *Oerlikon Yayınları*, İstanbul (1998).
33. Atabey, M.,”Sıcak Dövme Kalıplarında Sert Dolgu Kaynağı Uygulamasıyla İyileştirmeler” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).
34. Kiseçik, İ. “Sertleştirilmiş ve sert dolgu kaynağı yapılmış AISI 1050 çeliğinin aşınma direncinin araştırılması”, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas (2010).
35. Hıdıroğlu, M. “Aşınan makine parçalarına uygulanan sert dolgu kaynağının aşınma özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2012).
36. Seçim, C. “Tahribatsız Muayene Yöntemleri ve Uygulama Alanları”, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay (2011).
37. Akay, A. A. “Farklı özellikteki malzemelerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve birleştirmelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2014).
38. Onursal, M., “Uçaklarda kullanılan metal malzemelere uygulanan tahribatsız muayeneler” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).

39. Yılmaz, Z., “CdTe/CdSe Kuantum dotlarının Tc-99m ile radyo işaretlenerek tahribatsız muayene yöntemi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bornova-İzmir (2014).
40. Doğru, A., “Uçak gövde ve kanatlarında oluşan hasarların tahribatsız muayene yöntemleriyle tespiti” Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa (2014).
41. *İnternet: <http://ankalite.com.tr/genel-ndt-hizmetleri/>*, (2018).
42. Altıntaş, Y., “Manufacturing Automation”, 1th ed. Vancouver, England: *Cambridge University Pres*, 2000, ch. 2, pp. 4-62 (2012).
43. Mendi, F., “Takım Tezgâhları Teori ve Hesapları”, *2. baskı, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi*, ss. 112-130 (2006).
44. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhlar”, *1. baskı, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi*, böl. 1, ss. 12-25(2004).
45. Yürekli, Y., “Frezeleme işleminde eş yönlü ve ters yönlü talaş kaldırmanın cvd/pvd kaplanmış sert metal uçların ömrüne etkisi”, Yüksek lisans tezi, *Makine Mühendisliği Bölümü*, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye (2012).
46. Çakır, M. C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, 1. baskı, İstanbul, *Türkiye: Birsen Yayınevi*, ss. 219-262 (2000).
47. Ekici, E., “Alüminyum matrisli B4C takviyeli ve grafit katkılı kompozitlerin üretilmesi, mekanik özellikleri ve frezede işlenebilirliğinin incelenmesi”, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, *Makine Eğitimi Bölümü*, Ankara, Türkiye, (2012).
48. Dönertaş, M. A., Korkut, İ. “Kesme parametrelerinin frezelemede oluşan kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 6 (1), 385-389 (2003).
49. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi, CNC Takım Tezgâhları Ve Üretim Otomasyonu”, 2. baskı, İstanbul, *Türkiye: Birsen Yayınevi*, ss. 152-204 (2012).
50. Yurtkuran H., “Tornalamada kesme parametrelerindeki değişime göre yüzey pürüzlülüğünün tahmini için model geliştirme”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2010).
51. Thomas, T.R., “Characterizing of Surface Roughness”, *Precision Enging*, 1-3 (2): 97-104 (1981).
52. Sherington, I., Smith, E.H., “Parameters for Characterizing The Surface Topography of Engineering Components” *Proc. Instn Mech. Engrs*, Part C, 201 (c4), 297-360 (1987).

53. Yang, J.L., Chen, J.C., “A systematic approach for identifying optimum surface roughness performance in end-milling operations”, *Journal of Industrial Technology*, 17 (2): 2-8 (2001).
54. Güllü, A., “Silindirik taşlamada istenen yüzey pürüzlüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-30 (1995).
55. Scarr A.J.T., “Metrology and Precision Engineering”, *Mc. Graw-Hill Publishing Company Limited*, New York (1991).
56. King, T.G., Spedding, T.A., “On The Relationships Between Surface Profile Height Parameters”. *Wear*, 83, 91-108 (1982).
57. Galyer, J.F.W., Shotbolt, C.R., “Metrology For Engineers”, *Cassel Publishers Limited*, London, 9: 191-194 (1993).
58. Yim, D.Y., Kim, S.W., “Optimum Sampling for Ra Roughness Measurement”, *Journal of Mechanical Engineering Science*, 205: 139-142 (1991).
59. Lou, M.S., Chen, J.C., Li, C.M., “Surface roughness prediction technique for cnc end-milling”, *Journal of Industrial Technology*, 15 (1): 2-6 (1998).
60. Kwon, Y., “Robust control of surface roughness in a turning operation”, *Bell and Howell Information and Learning Company*, The University of Iowa (2000).
61. Cheung, C.F., Lee, W.B., “A theoretical and experimental investigation of surface roughness formation in ultra-precision diamond turning”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, C: 40, 979-1002 (2000).
62. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 104-105 (2000).
63. Sandvik, “Modern Metal Cutting-A Practical Handbook”, *Sandvik Coromant*, Sandviken, Sweden, V1: 18-24 (1996).
64. Vural, M., Piroğlu, F., Çağlayan, Ö.B., Uzgider, E., “Yapı Çeliklerinin Kaynaklanabilirliği”, *TMH-Türkiye Mühendis Haberleri*, Sayı 426/4 (2003).
65. Yılmaz, V., Dilipak, H., Sarıkaya, M., Yılmaz, C.Y., Özdemir, M., “Frezeleme işlemlerinde kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının modellenmesi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(4), 220-226 (2014).

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim ÖZBEY 1987 yılında İstanbul’ da doğdu. İlköğrenim ve ortaöğrenimini aynı şehirde tamamladı. Lisans öğrenimini Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde tamamladı. Askerlik görevini 2012 yılında kısa dönem olarak yerine getirdi. 2013 KARDEMİR A.Ş ‘de Kontinü Haddehane Mekanik Bakım Mühendisi olarak göreve başladı ve 2018 yılı Mayıs ayından itibaren Demiryolu Teker Üretim Tesisinde Mekanik Bakım Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Yenişehir mahallesi, Çamlık Caddesi, No: 2/12 Merkez / KARABÜK

Tel : (535) 207 8125

E-posta: ozbey1903@hotmail.com