



**Ph13-8Mo PASLANMAZ ÇELİĞİNİN
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

İlhan ERCAN

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Halil DEMİR**

**Ph13-8Mo PASLANMAZ ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

İlhan ERCAN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Halil DEMİR**

**KARABÜK
Haziran 2020**

İlhan ERCAN tarafından hazırlanan “Ph13-8Mo PASLANMAZ ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil DEMİR

.....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 10/06/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA (AÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“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.”

İlhan ERCAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Ph13-8Mo PASLANMAZ ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

İlhan ERCAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Haziran 2020, 61 sayfa

Bu çalışmada özellikle havacılık sektöründe kullanılan PH13-8Mo çökelme ile sertleşebilen martensitik paslanmaz çelik tercih edilmiştir. Yapılan tornalama deneylerinde kesme hızının, ilerleme miktarının ve talaş derinliğinin kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüklerine etkileri incelenmiştir. Tornalama deneyleri kuru işleme şartlarında CVD yöntemi ile TiCN-Al₂O₃-TiOCN kaplanmış sementit karbür kesici takımlar ile yapılmıştır. Deneylerde işleme parametreleri olarak beş farklı kesme hızı (60; 90; 120; 150; 180 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,1; 0,15; 0,2 mm/dev) ve iki farklı talaş derinliği (0,7; 1,2 mm) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinde azalma görülürken ilerleme miktarının artmasıyla da kesme kuvvetlerinde artış meydana gelmiştir. Ayrıca ilerleme miktarının artması kesme kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır. 0,7 mm kesme derinliğinde en düşük esas kesme kuvveti 180 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 176,38 N ölçülmüştür. 1,2 mm kesme derinliğinde en yüksek esas

kesme kuvveti 180 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 548,86 N ölçülmüştür. 0,7 mm kesme derinliğinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü 180 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 0,56 μm olmuştur. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü 180 m/dak kesme hızında, 0,2 mm/dev ilerleme miktarında ve 1,2 mm kesme derinliğinde 2,77 μm ölçülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Ph13-8Mo paslanmaz çelik, işlenebilirlik, kesme kuvveti.

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE INVESTIGATION INTO THE MACHINABILITY OF Ph13-8Mo STAINLESS STEEL

İlhan ERCAN

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Manufacturing Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Halil DEMİR

June 2020, 61 pages

In this study, martensitic stainless steel, which can harden with PH 13-8Mo precipitation, which is used especially in the aviation industry, is preferred. In turning tests, the effects of cutting speed, feed rate and depth of cut on the cutting forces and surface roughness were investigated. Turning experiments were carried out with TiCN-Al₂O₃-TiOCN coated cementite carbide cutting tools by CVD method in dry processing conditions. As the machining parameters in the experiments, five different cutting speeds (60; 90; 120; 150; 180 m/min), three different feed rates (0.1; 0.15; 0.2 mm/rev) and two different depth of cut (0.7; 1.2 mm) was used. As a result of the experiments, cutting forces decreased with increasing cutting speed, while increasing cutting amount increased cutting forces. In addition, increasing the amount of feed increased the cutting force and surface roughness. At the depth of cut 0.7 mm, the lowest basic cutting force was measured at a cutting speed of 180 m/min and at a feed rate of 0.1 mm/rev 176.38 N. At the depth of cut 1.2 mm, the highest basic cutting

force was measured at a cutting speed of 180 m/min and a feed rate of 0.2 mm/rev 548.86 N. The lowest average surface roughness at depth of cut 0.7 mm was 0.56 μm at a cutting speed of 180 m/min and a feed rate of 0.1 mm/rev. The highest average surface roughness was measured at a cutting speed of 180 m/min, a feed rate of 0.2 mm/rev and depth of cut 1.2 mm, 2.77 μm .

Key Word : Ph13-8Mo stainless steel, machinability, cutting force.

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Kendisi ile alıőma olanağı tanıyıp, bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında ve yürütülmesinde olumlu düşünceleri ile beni yönlendiren, ilgi ve desteğini esirgemeyen alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Halil DEMİR'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İşlenebilirlik deneylerinin yapılmasında bana kapılarını açan yardımlarını esirgemeyen, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliğinde görev yapan hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca deneylerin yapılmasında desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Halil DEMİR ve Dr.Öğr.Grv, Barıő ÖZLÜ'ye teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. LİTERATÜR ÖZETİ	2
BÖLÜM 2	5
PASLANMAZ ÇELİKLER.....	5
2.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ÜSTÜNLÜKLERİ.....	6
2.2. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI	7
2.2.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler	7
2.2.2. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	8
2.2.3. Ferritik - Östenitik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler	9
2.2.4. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	10
2.1.5. Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler	11
2.3. PASLANMAZ ÇELİKLERE ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ	11
BÖLÜM 3	14
TALAŞLI İMALAT VE TORNALAMA.....	14
3.1. TALAŞLI İMALAT	14
3.1.1 İşlenebilirlik.....	15

	<u>Sayfa</u>
3.1.2. İşlenebilirliğe Etkiyen Faktörler	15
3.2. TORNALAMA İŞLEMİ	17
3.2.2. Tornalama İşleminde Meydana Gelen Kesme Kuvveti ve Güç	18
3.2.2. Talaş Kaldırma Mekanığı	19
3.3. TALAŞ OLUŞUMU	21
3.3.1. Talaş Çeşitleri	22
3.3.1.1. Sürekli Talaş	23
3.3.1.2. Süreksiz Talaş	23
3.3.1.3. Yığıntı Talaş.....	24
3.3.2. Talaş Kaldırma Olayına Etkiyen Faktörler.....	24
3.3.2.1. Kesme Kuvveti.....	25
3.3.2.2. Isı Oluşumu	27
3.3.2.3. Kesme Hızı.....	28
3.3.2.4. Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarı	28
3.3.2.5. Kesici Takım Geometrisi	29
3.3.2.6. Takım Ömrü.....	30
3.4. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ	31
3.3.1. Yüksek Hız Çelikleri	31
3.3.2. Sementit Karbürler.....	31
3.3.3. Sermetler.....	32
3.3.4. Kübik Kristal Bornitrür.....	32
3.3.5. Seramikler.....	33
3.3.6. Çoklu Kristal Elmas (PCD) Takımlar.....	34
BÖLÜM 4	36
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	36
4.1. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN MALZEME VE ÖZELLİKLERİ	36
4.2. KULLANILAN KESİCİ TAKIMLAR VE TUTUCU	36
4.3. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TEZGAHI	37
4.4. KESME PARAMETRELERİ	38
4.5. KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜMÜ.....	38

	<u>Sayfa</u>
4.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜMÜ	38
BÖLÜM 5	40
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	40
5.1. KESME KUVVETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	40
5.1.1. Kesme Hızının Esas Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	41
5.1.2. İlerleme Miktarının Esas Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	43
5.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	46
5.2.1. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi	47
5.2.2. İlerleme Miktarının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi.....	50
BÖLÜM 6	52
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	52
6.1. SONUÇLAR	52
6.2. ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan krom oksit tabakası.	6
Şekil 2.2. Ferritik çeliğin mikro yapısı.	8
Şekil 3.1. Malzemelerin mekanik özelliklerinin karbon ihtiva etmesiyle değişimi... ..	16
Şekil 3.2. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri.	18
Şekil 3.3. Dik kesme modeli.	19
Şekil 3.4. Plastik deformasyon bölgeleri.	20
Şekil 3.5. a) Talaş oluşumunda kart modeli, b) Dik kesmenin şematik gösterim.	21
Şekil 3.6. Talaş tiplerinin şematik gösterimi (a) Sürekli talaş (b) Kesintili talaş (c) Yığıntı talaş.	22
Şekil 3.7. Talaş kaldırma kuvvetleri.	26
Şekil 3.8. İşleme sırasında ısının oluşumu.	28
Şekil 3.9. Kesici takım açılarının etkisi.	29
Şekil 4.1. CNC torna tezgahı ve deney düzeneği.	37
Şekil 4.2. MAHR-Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.	39
Şekil 5.1. 0,7 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde kesme hızının esas kesme kuvveti üzerine etkisi.	42
Şekil 5.2. 1,2 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde kesme hızının esas kesme kuvveti üzerine etkisi.	42
Şekil 5.3. 0,7 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde ilerleme miktarının esas kesme kuvveti üzerine etkisi.	44
Şekil 5.4. 1,2 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde ilerleme miktarının kesme kuvveti üzerine etkisi.	45
Şekil 5.5. 0,7 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi.	48
Şekil 5.6. 1,2 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi.	49
Şekil 5.7. 0,7 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi.	51
Şekil 5.8. 1,2 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi.	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Mevcut çalışmada kullanılan Ph 13-8Mo paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi.....	36
Çizelge 4.2. Ph 13-8Mo martenzitik paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri.	36
Çizelge 4.3. Çalışmada kullanılan kesici takımlara ait geometrik bilgiler.	37
Çizelge 4.4. Tornalama deney parametreleri ve seviyeleri.	38
Çizelge 4.5. Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri.	39
Çizelge 5.1. Esas kesme kuvveti değerleri.....	40
Çizelge 5.2. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri.	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- $Cr_{eş}$: krom eşdeğerliliği
 $Ni_{eş}$: nikel eşdeğerliliği
Ag : gümüş
Al : alüminyum
Ar : argon
Au : altın
Cu : bakır
 H_2 : hidrojen
He : helyum
Mo : molibden
Ni : nikel
erf(z) : hata işlevi
 γ : birim hacim ağırlığı
 $\Gamma(x)$: gama işlevi
 θ : kutupsal açı
 σ : normal gerilme
 σ_c : tek eksenli basınç dayanımı

KISALTMALAR

- AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ANOVA : Analysis of Variance (Varyans Analizi)
CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayımlı Yönetim)
CBN : Kübik Kristal Bornitrür
PCD : Çoklu Kristal Elmas
CVD : Chemical Vapour Deposition (Kimyasal Buhar Biriktirme)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Çağımız endüstrisinin gelişmesi ile beraber paslanmaz çeliklerin kullanım alanları günümüzde giderek artmış ve birçok alanda vazgeçilmez malzemeler arasında yer almış bulunmaktadır. Özellikle kimya, petro-kimya, gıda, uçak ve ilaç endüstrisinde kullanılan depolama tankları, basınçlı kaplar ve paslanmaz boruların üretiminde çok sayıda paslanmaz çelik türü kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler, esas olarak çok iyi bir korozyon direncine sahip olduklarından dolayı tercih edilmektedirler. İçerisinde ağırlıkça en az %10,5 oranında krom ve en çok %1,2 oranında karbon içeren demir esaslı alaşımlar “paslanmaz çelik” olarak adlandırılırlar. Kromun oksijen ile etkileşiminden dolayı malzeme yüzeyinde ince bir koruyucu krom oksit tabakası meydana gelir ve bu tabaka çeliği korozyona karşı korur. İçerisinde bulunan krom oranının artması ile çeliğin Young Modülü E 'nin arttığı söylenebilir. Muhteviyatındaki karbon oranı yeteri kadar yüksek olan paslanmaz-krom çelikleri, karbon çelikleri gibi sertleştirilebilmektedir. Paslanmaz çelikler kroma ek olarak Mo, Cu, Ti, Si, Mn, Al, N ve S gibi alaşım elementlerini de içermektedirler. Bu alaşım elementleri malzemenin korozyon direncini, iç yapısını ve diğer mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılırlar.

Paslanmaz çeliklerin kullanım amaçlarına göre istenen kimyasal ve mekanik özellikleri karşılamak amacıyla bileşiminde yapılan değişiklikler malzemenin işlenebilirliğini de oldukça etkilemektedir. Paslanmaz çelikler krom-nikel ve molibden gibi mukavemet arttırıcı elementleri içermektedirler. Yüksek korozyon direncine ve çekme mukavemetine, düşük ısı iletkenliğe ve sünek bir yapıya sahip olması ile beraber işleme esnasında pekleşme özelliği göstermesi de paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini zorlaştıran başlıca etmenlerdir [1-4].

1.1. LİTERATÜR ÖZETİ

Korkut ve arkadaşları yüksek mukavemet, yüksek süneklik ve düşük ısı iletkenliğine sahip olmasından dolayı işlenebilirliği zor olan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği üzerine çalışmalar yapmışlardır. Sementit karbür kesici takımlar kullanarak yaptıkları tornalama çalışmasında optimum kesme hızını belirlemek istemişler ve kesme hızının takım aşınması ile yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. 120 m/dak, 150m/dak, 180 m/dak kesme hızlarında, 0,24 mm/dev ilerleme hızında ve 2,5 mm kesme derinliğinde işlem yapmışlardır. Belirlenen kesme parametrelerinde yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu arasında kolerasyon yapmışlardır. Kesme hızının artması ile takım aşınmasında bir azalma ve yüzey pürüzlülüğünde azalma gözlemlediklerini belirtmişlerdir [5].

Nalbant ve Korkut Ç1030 ve Ç1060 malzemeleri üzerine işlenebilirlik çalışmaları yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada, Ç1030 ve Ç1060 malzemeleri normalizasyon işlemine tabi tutmuşlar ve kesme kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Sabit ilerleme hızında yapmış oldukları deneylerde kesme hızı, kesici takım, iş parçası malzemesini değişken olarak kullanmışlar ve bu değişkenlerin işlenen yüzeyin pürüzlülük değerine etkilerini incelemişlerdir [6].

Altinkaya ve Güllü AISI 316 paslanmaz çeliğin frezelenmesi esnasında kesme parametrelerinin ve kesici takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğü ve takımda oluşan aşınmaya etkilerini incelemek amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında kesme derinliğini sabit tutarak 180 m/dak, 225 m/dak, 270 m/dak kesme hızlarında ve üç farklı talaş kırıcı forma sahip kesici takım kullanmışlardır. Yapmış oldukları deneysel çalışmalarda optimum yüzey pürüzlülüğü ile aşınma davranışı sergileyen kesici takımı önermişlerdir [7].

Maranhão ve Paulo Davim, AISI 316 paslanmaz çeliğinin talaşlı imalat ile işlenmesi esnasında termo mekanik davranışın modellenmesi ve takım-talaş ara yüzündeki sürtünme katsayısının kesme kuvveti ve ilerleme kuvvetleri, kesme sıcaklığı ve plastik şekil değiştirme, plastik gerilme oranı, maksimum kayma gerilmesi üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Sonlu elemanlar yöntemi ile modelleme yaparak elde

etmiş oldukları sayısal verileri, deneysel veriler ile doğrulama yapmışlardır. Takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme modellenmesinin nihai sonuçlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir [4].

Gennari ve arkadaşları, AISI 316 paslanmaz çeliğinin tornalanması esnasında soğutma sıvısının etkilerini karşılaştırmak amacıyla deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu yöntemde geleneksel sıvı uygulaması (150 lt/saat) ile neredeyse kuru işleme (60 ml/saat) yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda ise geleneksel sıvı uygulaması birkaç ağır ısıl şartlarda daha iyi takım ömrü sunduğunu, incelenen koşulların çoğu için ise püskürterek sıvı uygulamasında takım-talaş ara yüzeyini yağlama ve yeterli soğutma gerçekleştirilmesi bakımından daha iyi performans sergilediğini ve takım ömrünü mükemmel bir seviyede iyileştirdiğini belirtmişlerdir [8].

Ranganathan ve arkadaşları, AISI 316 paslanmaz çeliğinin WC kesici uçlar ile sert tornalanmasında kesme parametrelerinin etkilerini incelemek amacıyla matematiksel modelleme yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemde yüzey pürüzlülüğünü ve takım aşınmasını tahmin etmek için regresyon analizi ve ANOVA kullanmışlardır. AISI 316 paslanmaz çeliğini parçasını farklı işleme parametrelerinde tungsten karbür kesici takımlar ile işleyerek kesme parametrelerinin etkileşimlerini belirlemişlerdir. Korelasyon katsayısı hesaplayarak geliştirmiş oldukları modelin yeteneklerini doğrulayarak, tungsten karbür uçlardaki aşınmayı ve iş parçası yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için etkin olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir [9].

Akasawa ve arkadaşları katkı maddelerinin östenitik paslanmaz çeliğin işlenebilirliği üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deney malzemeleri olarak SUS303, SUS303Cu, SUS316 kullanmışlar ve S, Ca ve Bi gibi katkı maddeleri ile malzemelerin bileşimini değiştirmişlerdir. İşlenebilirlik deneylerini kesme sıvısı kullanarak K10 karbür kesici takımlar ile CNC torna tezgahında yapmışlardır. Kesme parametreleri olarak 0,05-0,1 mm/dev ilerleme hızı ve 12,5-100 m/dak kesme hızı kullanmışlardır. İşlenmiş yüzeyden mikro sertlik ölçümü ve gerilmeye bağlı martensitik dönüşüm ölçmüşlerdir [10].

Lin paslanmaz çeliğin yüksek hızda işlenmesi üzerine deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. TiN kaplamalı karbür kesici takımlar ile yüksek hızda delme işlemi gerçekleştirerek takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve çapak oluşumunu araştırmıştır. Deneysel çalışmaları sonucunda yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliği bakımından en uygun kesme hızını belirlemiştir. Helisel kanallardaki aşınma ve dış köşe aşınması matkapta görülen en etkin aşınma olduğunu belirtmiştir [11].

Ay ve arkadaşları Ç1040, Ç1045 ve Ç1050 malzemelerinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörleri belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Kesme işlemi esnasında meydana gelen titreşim ve kuvvetleri ölçmüşlerdir. Deneysel çalışmalar neticesinde sonuç olarak kesme derinliğinin artması ile yüzey kalitesinin kötüleştiğini ve kesme kuvvetlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarlarında ise yüzey kalitesini iyileştirdiğini belirtmişlerdir [12].

Boy ve arkadaşları Vanadis10 soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmak amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Deneyleri sekiz farklı kesme hızı, beş farklı ilerleme hızı ve sabit kesme derinliğinde ve CVD kaplı iki çeşit sementit karbür kesici takım kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalar neticesinde kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını belirtmişlerdir fakat takımında oluşan aşınmaya bağlı olarak yüksek kesme hızlarında pürüzlülük değerinin arttığını belirtmişlerdir [13].

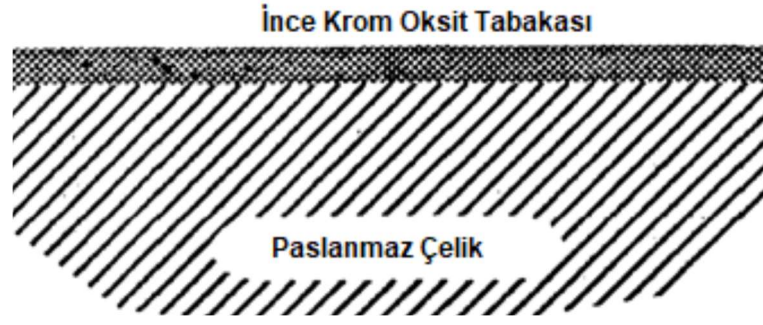
BÖLÜM 2

PASLANMAZ ÇELİKLER

Çağımız endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasında olan paslanmaz çeliklerin yapıları esas olarak demir, karbon, molibden olup çoğunlukla nikel içeren alaşımlardır ve başlıca özelliklerini ise kromdan alırlar. Paslanmaz çelikler farklı kalite ve özelliklerde üretilebilmektedirler. Demir alaşımlarının korozyon dirençlerinin artırılması amacıyla geliştirilmiş bir alaşım türü olan paslanmaz çelikler korozif ortamlarda mekanik özelliklerini yitirmemektedirler ve bu nedenle mutfak eşyalarından ağır sanayi endüstrisine kadar uzanan geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Paslanmaz çeliklerin paslanmazlık özelliğini sergileyebilmeleri için bileşimlerinde en az %12 Cr içermesi gerekmektedir [14].

Demir alaşımlarının çoğunluğu gibi çelikler de atmosfer ortamında oksitlenir ve yüzeylerinde pas olarak isimlendirilen korozyona bağlı oksit tabakası oluşur. Çeliklerin dış yüzeyinde oluşan oksit pas, korozyonun iç kısımlara ilerlemesine engel olmamaktadır. Paslanmaz çeliklerde ise artan Cr miktarına bağlı olarak korozyon direnci yükselmektedir. Paslanmaz çeliklerde oluşan korozyon sıkı ve ince bir krom oksit tabaka halinde görülmektedir. Paslanmaz çeliklerin dış yüzeyinde oluşan krom oksit tabakası diğer çeliklerin aksine oksidasyonun ve korozyonun iç kısımlara ilerlemesine engel olmaktadır.

Paslanmaz çeliklerin atmosfer ile teması sonucu yüzeyinde koruyucu krom oksit (Cr_2O_3) tabakası oluşmakta ve bu tabaka sayesinde korozyona karşı dirençli hale gelmektedirler. Yüzeyde oluşan krom oksit tabakası Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Yüzeyinde bu şekilde krom oksit tabakası oluşumu gösteren çeliklere paslanmaz çelik adı verilmektedir.



Şekil 2.1. Paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan krom oksit tabakası.

2.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ÜSTÜNLÜKLERİ

Paslanmaz çeliklerin diğer çeliklere göre üstünlükleri bulunmaktadır. Bu üstünlükler, korozyon dayanımı, üretim kolaylığı, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirliği, mekanik dayanımı, görünümü ve hijyenik özelliğinin olmasıdır.

Korozyon dayanımı

Paslanmaz çeliklerinin tamamı korozyona karşı dayanıklıdır. Düşük alaşımlı çeşitleri atmosferik korozyona, yüksek alaşıma sahip çeşitleri ise asit, alkali çözeltiler ile klorür içeren ortamlarda dahi dayanım göstermektedir. Bunun yanı sıra paslanmaz çelikler, yüksek basınca ve sıcaklığa sahip çalışma şartlarında da kullanılabilir.

Üretim kolaylığı

Paslanmaz çeliklerin istisnalar haricinde neredeyse bütün türlerinin şekillendirilebilirlikleri, kaynak ve kesme işlemleri oldukça kolaydır.

Düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirliği

Paslanmaz çeliklerin bazı türlerinde yüksek sıcaklıklarda tufalanma görülmediği gibi mekanik dayanımlarında da düşme meydana gelmemektedir. Bazı türlerinde de çok düşük sıcaklıklarda dahi tokluklarında ve gevrekleşmesinde düşüş oluşmaz.

Mekanik dayanımı

Paslanmaz çeliklerin birçoğu soğuk şekillendirme yöntemleriyle pekleşir ve dayanımlarının artmasıyla tasarım işlemlerinde malzeme kalınlıklarının azaltılmasıyla

parça ağırlıklarında ve maliyette düşüşler sağlanabilir. Bazı türlerinde ise ısı işlemlerin vasıtasıyla dayanımlarının artırılması olasıdır.

Görünümü

Paslanmaz çeliklerin temini farklı yüzey kalitelerinde olabilir. Yüzeylerin kalitesi ve görünümünün bakım kolaylığından dolayı uzun süre korunabilir.

Hijyenik özelliği

Paslanmaz çeliklerin kolay temizlenebilme özelliği mutfak, hastane, ilaç ve gıda endüstrisinde yaygın kullanım alanını sağlamaktadır.

2.2. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Paslanmaz çelikler genel olarak demir alaşımıdır ve yapılarında bulunan krom metali sayesinde pasifleşme özelliği göstermektedirler. Alaşımı oluşturan nikel ve molibden gibi diğer bileşenler paslanmaz çeliğin diğer mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılır. Eğer çeliğin yüzeyinde pasif film katmanı oluşmaz ise paslanmaz çelikler de diğer demir alaşımları gibi korozyona uğrayabilirler.

Kristal yapı ve mukavemet davranışlarına göre paslanmaz çelikler beş ana grupta toplanırlar:

1. Ferritik paslanmaz çelikler
2. Östenitik paslanmaz çelikler
3. Ferritik-Östenitik (Çift Fazlı) paslanmaz çelikler
4. Martenzitik paslanmaz çelikler
5. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler [5].

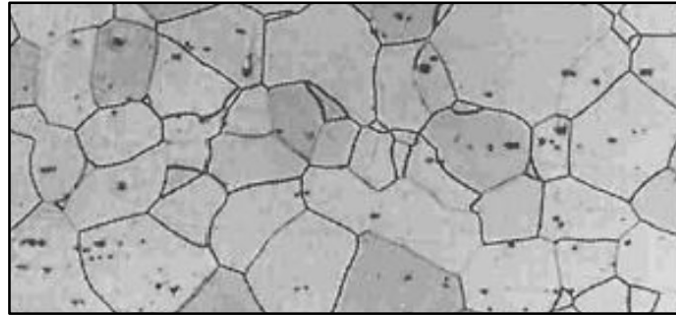
2.2.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler yapılarında %0,12 den daha az karbon ve %12-30 civarında krom içeren demir-krom alaşımlarıdır. Bu çeliklerin işlenebilirlik ve korozyon dirençlerini arttırmak amacıyla diğer alaşım elementleri de eklenebilir. Hacim merkez

kübik yapıya sahip olan bu çelikler az miktarda karbona sahip oldukları için faz dönüşümü göstermezler ve ısıtılma işlemi uygulandığında çoğu zaman ferritik yapıda kalırlar. Bu nedenle ısıtılma işleminin uygulanmadığı malzemeler olarak bilinirler. Fakat ferritik paslanmaz çelikler yüksek sıcaklıklardan hızlı bir şekilde soğutulduğunda düşük karbon miktarları az da olsa sertleşme sağlamaktadırlar. Ferritik paslanmaz çelikler alaşım elementi olarak nikel ihtiyacı duymamalarına karşın, nikel içeren paslanmaz çeliklere benzer korozyon direnci sağlamaktadırlar ve bu nedenle düşük maliyetlidirler. Karbon ve azot miktarının oldukça az tutulmasından dolayı süneklik, korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik özelliklerini arttırır [15-17].

Ferritik paslanmaz çeliklerin diğer özellikleri ise şu şekildedir.

- Yüksek akma mukavemetine sahiptir.
- Manyetikleşme özelliğine sahiptirler.
- Klorür içeren çözeltilerde gerilmeli korozyon oluşumuna oldukça mukavemetlidirler.
- Düşük miktardaki soğuk şekil değiştirme işleminde sertleşme gösterir [18].



Şekil 2.2. Ferritik çeliğin mikro yapısı [19].

2.2.2. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerin içinde yeterli düzeyde nikel olması halinde iç yapısı oda sıcaklığında östenitik yapıda olur. Östenitik çeliklerin bileşenlerinde %8 nikel ve %18 krom bulunur. Bu tür çelikler şekillendirme, mekanik özellikler ve korozyon direnci yönünden çok uygun kombinasyonu sunmaktadır. Toklukları, süneklikleri ve

şekillendirme özellikleri düşük sıcaklarda bile oldukça yüksek düzeydedir. Manyetik olmayan bu tip çelikler, östenitik iç yapılarının dönüşüm göstermemesi nedeniyle sertleştirme veya normalleştirme ısıl işlemleri uygulanamamaktadır. Mekanik dayanımlarının artırılması yalnızca soğuk şekillendirmeyle yapılabilir. Paslanmaz çeliklerin üretimleri arasında %70 paya sahiptir ve aralarında en yaygın kullanım alanı 304 kalitesine sahip olan çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çeliklerin özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- Korozyon dirençleri oldukça yüksektir,
- Kaynak edilme kabiliyetleri epey yüksektir,
- Sünek olması nedeniyle şekillendirilmesi kolaydır,
- Hijyenikliğin yanı sıra temizliği ve bakımı kolaydır,
- Yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri yüksektir,
- Mekanik dayanımları sadece pekleşme ile iyileştirilebilir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin kullanıldığı alanlar;

- Asansörlerin mekanik uygulamalarında,
- Dış cephelerin kaplanmasında,
- Gıda işleme ekipmanlarında,
- Mutfak araç ve gereçlerinde,
- Kimyevi tesislerde,
- Bilgisayar klavyelerinde kullanılan yaylarda,
- Mutfak evyelerinde kullanılmaktadır.

2.2.3. Ferritik - Östenitik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

Bu tür çelikler, yüksek oranda krom (%18-28) ve orta miktarda nikel (%4,5-8) içermektedir. Nikel miktarının en çok %8 olması çeliğin bütün iç yapının östenitik olması için yeterli düzeyde değildir. Östenit ve Ferrit fazlarından oluşan iç yapı nedeni ile çeliklere dubleks çelikler de denilmektedir. Dubleks çelikler %2,5-4 molibden içermektedir. Bunlar hem iyi mukavemet hem de iyi süneklik özelliklerini beraber sağlamaktadır. Bunun yanı sıra korozif koşullarda dahi çok uygun yorulma

dayanımları vardır. Genelde kimyasal aparat üretiminde, arıtma tesislerinde ve deniz veya off-shore teknolojilerinde kullanılmaktadır.

Östenitik-Ferritik paslanmaz çeliklerinin özellikleri aşağıda verilmiştir;

- Gerilmeli korozyona karşı yüksek dayanıklılığı bulunmaktadır,
- Klor iyonunun olmadığı ortamlarda daha yüksek korozif dayanım özelliğini göstermektedirler,
- Östenitik ve ferritik çeliklerden daha yüksek mekanik dayanımı vardır,
- İyi kaynak edilebilme ve şekil alma özellikleri bulunmaktadır.

2.2.4. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerin içerdiği karbon miktarı %0,1'den fazlaysa yüksek sıcaklıklarda östenitik fazda iç yapıya sahip olurlar. Östenitlenme sıcaklığı çelik türüne 905-1050 °C arasında değişim göstermektedir. Bu sıcaklık düzeylerinde çeliğe su verilme işlemiyle çeliğin iç yapısının martenzitik iç yapı elde edilmesi sağlanır. Bu yöntemle çeliğin iç yapısının değiştirilmesi çeliğin yüksek sertliğe sahip olmasını ve mekanik dayanımının artırılması sağlanır. Martenzitik iç yapıya sahip paslanmaz çeliklerin başlıca özellikleri;

- Orta seviyede korozyon direncine sahiptir,
- Isıl işlem uygulanabildiğinden dolayı yüksek dayanım ve sertlik elde edilebilir,
- Kaynak edilebilme özelliği düşüktür,
- Manyetik özelliği bulunmaktadır.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin başlıca kullanıldığı alanlar;

- Bıçak üretiminde,
- Ameliyat aletlerinin üretiminde,
- Pim ve millerde kullanılmaktadır.

2.1.5. Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin, yüksek akma gerilmesi ve sertleşebilir paslanmaz çeliklere göre daha üstün korozyon direnci bulunmaktadır. Bu alaşımların mekaniksel özellikleri, Cu, Ti, Al, Nb ve Mo gibi elementlerin biri veya birkaçının kullanılması ile ve çökeltme sertleşmesi ısıl işlemiyle artırılmaktadır. Çökeltme sertleşmeli (PH) paslanmaz çeliklerin martenzitik, yarı östenitik ve östenitik olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Östenitik PH çelikleri düşük martenzit ve başlangıç sıcaklığına sahip olup martenzit yapıya dönüştürülemez. Yarı östenitik çökeltme sertleşmeli çeliklerin ısıl işlem sıcaklığından soğutuldukları zaman rahatlıkla şekillendirilebilen yapıya sahip olurlar. Şekillendirme işlemi sonrasında martenzite dönüşüm, uygun bir ısıl işlemle karbon ve diğer alaşım elementlerinin çökeltmesi neticesinde elde edilir.

17-4 PH gibi martensitik paslanmaz çelikler, yüksek östenitleme sıcaklığında havada soğutulması ile tamamen martenzite dönüşmekte ve en yaygın çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerdir. Bu çelikler oda sıcaklığının hemen üzerinde bulunan bir martenzit bitiş sıcaklığına sahiptir. Bu nedenle oda sıcaklığında martenzitiktirler. Bu tip çeliklerde ana çökelti oluşturuca element ise bakırdır. 17-4 PH tipi çeliklerde martenzit yapı matris içerisinde ferritten oluşan iki fazlı bir yapı bulunmaktadır [20].

2.3. PASLANMAZ ÇELİKLERE ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ

Çelikler demir (Fe) ve karbon (C) alaşımından meydana gelmektedir. Karbon (C) elementinden farklı olarak düşük oranlarda farklı alaşım elementleri de ilave edilerek çeliğe farklı özellikler kazandırılmaktadır [21]. Çelik, doğadan demir cevherinin alınması ile yapıldığı gibi geri dönüşüm yoluyla da üretilmektedir. Çeliğe ilavesi yapılan alaşım elementleri ve bu alaşım elementlerinin etkileri de aşağıda verilmektedir.

Niyobyum (Nb)

Tane inceltici etkisi bulunan bu element, ayrıca akma sınırını da yükseltmektedir. Kuvvetli karbür yapıcı özelliği ile de çeliğin sertliğini arttırmaktadır.

Karbon (C)

Çelik için gerekli olan esas alaşım elementidir. Çelik içinde bulunan C miktarının artması sertliği ve dayanımı arttırmaktadır. Ancak karbon oranı %0,8'i geçerse kırılabilirlik artmaktadır [21].

Mangan (Mn)

Çeliğe mangan ilave edilmesiyle çeliğin sünekliği azaltılarak dayanımı artırılır.

Silisyum (S)

Çeliğin üretilmesi esnasında oksijen giderici olarak kullanılmasının yanında döküm çeliklerinde akıcılığın sağlanması için eklenmektedir.

Kükürt (S)

Otomat çeliklerinde kükürt talaşlı imalatta şekillendirilmesinin iyi olması nedeniyle kullanılmaktadır. Bunun dışında istenmeyen bir alaşım elementidir.

Fosfor (P)

Çelikte dayanım ve sertlik artırıcı olmasının yanında süneklik ve darbe dayanımını düşürmektedir.

Krom (Cr)

Çeliklerin içinde en fazla kullanılan alaşım elementidir. Çeliğin oksidasyon, korozyon ve aşınma direncini artırmasının yanı sıra çeliğin sertleştirilebilir özelliğini arttırmaktadır.

Nikel (Ni)

Nikel elementi, çelikte mukavemet ve tokluk arttırmaktadır. Bunun yanı sıra tane küçültme etkisine de sahiptir. Sıcağa ve tufalleşmeye karşı iyileştirici özelliğine sahip olmasının yanı sıra, krom ile beraber kullanılmasıyla sertleşmeyi, sünekliği ve yorulma direncini de arttırmaktadır.

Vanadyum (V)

Vanadyum elementi, sertlik ve sıcaklık dayanımının artmasını sağlamaktadır.

Molibden (Mo)

Molibden elementi çeliklerde temper gevreklik eğiliminin giderilebilmesi amacıyla kullanılmasının yanında çekme ve akma dayanımının artırılması için kullanılmaktadır.

Wolfram (W)

Çelik dayanımını arttırmaktadır. Takım çeliklerinde, kesici kenar sertliğinin korunmasını, takım ömrünün artmasına ve yüksek ısıya dayanımını sağlamaktadır.

Titanyum (Ti)

Kuvvetli karbür yapma özelliği ile çeliğin sertliğini arttırmaktadır. Çelik üretimi esnasında deoksidan olarak da kullanılmaktadır. Tane inceltme özelliğide bulunmaktadır.

Alüminyum (Al)

Çelik için gerekli deoksidanı en çok bu alaşım elementi sağlamaktadır. Bunun yanı sıra tane inceltici özelliği de vardır.

Bakır (Cu)

Sünekliğin düşmesine sebep olmasına rağmen korozyon direncini ve sertliği arttırdığı için eklenir.

Azot (N)

Mekanik dayanımı ve korozyona direncini arttırmasına rağmen yaşlanma meydana getirir.

BÖLÜM 3

TALAŞLI İMALAT VE TORNALAMA

3.1. TALAŞLI İMALAT

İmalatın amacı, hammaddeyle nihai ürünün arasındaki dönüşümü sağlamasıdır. Bu dönüşümün sağlanması için birden fazla imalat yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemler talaşlı ve talaşsız imalat olarak ayrılmaktadır. Talaşlı ve talaşsız imalat yöntemlerinin arasındaki fark ise talaşlı imalatta (frezeleme, tornalama, delme, raybalama vb.) iş parçası malzemesinden talaş kaldırarak (kütle kaldırarak üretim yapması) gerçekleştirilmesi, talaşsız imalatta ise (kaynaklı üretim, döküm yolu ile üretim, dövme vb.) iş parçası malzemesinden talaş kaldırılmaksızın (kütle kaldırarak değil de kütle ekleyerek üretim) yapılmasıdır [22].

Talaşlı imalat yöntemi malzemenin istenilen geometriye sahip olmasını sağlamak için malzemede bulunan istenilmeyen fazlalıkların uygun takım tezgâhı ve kesici takımlar vasıtasıyla talaş kaldırarak istenilen boyutlarda ve yüzey kalitesinde işlemedir [23]. Talaşlı imalatın diğer yöntemlere göre avantajları bulunmaktadır. Bunlar;

1. Çok çeşitli iş parçası malzemeleri talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirilebilir. Polimer ve polimer bazlı kompozit malzemelerde talaşlı imalat yöntemiyle işlenerek şekillendirilebilir.
2. Talaşlı imalat yöntemiyle dairesel ve düz geometriye sahip yüzeyli ürünler elde edilebilir. Birden fazla talaşlı imalat yönteminin kullanılması ile neredeyse tüm karmaşık geometriye sahip parçaların elde edilmesi mümkün olabilir.
3. Talaşlı imalat yöntemi ile iş parçasının nihai ürüne ulaşması neticesinde ölçüleri ve boyutsal doğruluğu çok yakın toleranslar dahilinde elde edilerek işlenen yüzeyin yüzey kalitesi diğer yöntemlere göre daha iyidir [23].

3.1.1 İşlenebilirlik

İşlenebilirlik araştırmalarının ana amacı, ürün kalitesinin en iyi olması ve en düşük işleme maliyetinin oluşmasını sağlayan optimum kesme şartları için iş parçası malzemesi ile kesici takım etkileşiminin araştırılmasıdır. İşlenebilirlik bir malzemenin takımlama ve işleme aşamaları açısından tasarlanan biçimde (yüzey kalitesi ve toleransı) kolaylıkla işlenebilmesini tanımlamak amacıyla kullanılan bir terimdir. Bir işleme operasyonunda işlenebilirliği ölçmek için talaş biçimlerinin yanı sıra ulaşılan takım ömrü, talaşın kaldırılma oranı, oluşan kuvvetin bileşenleri, güç tüketimi ve işlenmiş iş parçalarının yüzey kalitesi ve yüzey bütünlüğü kullanılabilir. İşlenebilirlik, seçilen işleme parametreleri, kesici takımın geometrisi ve özellikleri, iş parçası malzemesinin özellikleriyle işleme ortamı, takım tezgahının rijitliği gibi etkenlerden önemli derecede etkilenebilmektedir. İşleme verimliliği, işlenen parçaların toleranslar dahilinde ve bütünlüğünü bozmadan yüksek hızda işlenmesini sağlayacak kesici takım, kesme şartları ve takım tezgâhı kombinasyonunun doğru seçilmesiyle önemli oranda iyileştirilebilir [24].

İşlenebilirlik, talaşlı imalat ile şekillendirilmek üzere seçilen malzemenin özelliklerinin, seçilen talaşlı imalat yöntemindeki parametrelere bağlı olarak, malzemenin ve talaşlı imalat yönteminin değişkenlerinin ayrı ayrı ve bütün olarak sergiledikleri davranışlardır. İşlenebilirlik, malzemenin bir özelliği gibi olarak algılansa da yalnızca işlenen malzemeye bağlı değildir aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerini de kapsamaktadır [25].

İşlenebilirlik, kesinlik olmadan bir malzemenin istenilen biçimde, boyutsal doğruluk ve yüzey kalitesinde işlenebilmesinin kolaylığının ve/veya zorluğun gösterilmesidir [26].

3.1.2. İşlenebilirliğe Etkiyen Faktörler

İş parçasının mikro yapısı, kimyasal bileşimi, yapılan ısı işlemin türü ve saflığı gibi değişkenler işlenebilirliği etkileyen faktörlerdir. Talaş oluşumu, kesici takımın

aşınması, bitirme yüzeyinin kalitesi ve kesme kuvvetleri gibi işlenebilirlik karakteristikleriyle malzemenin işlenebilirliği belirlenebilmektedir [26].

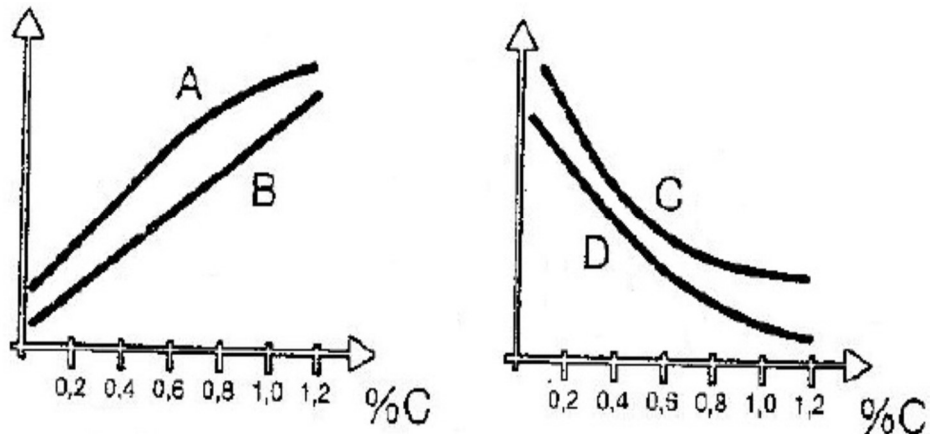
Malzeme mikro yapısının etkisi

Metal ve metal alaşımlarının işlenebilirliği, mikro yapısıyla alakalı olup, yapısında sert parçacıkların yer alması kesici takımın ömrünü düşürürken, yapısındaki tanelerin büyümesi takım ömrünü arttırmaktadır [26].

İşlenebilirliğin değerlendirilmesi ve işleme koşullarının optimizasyonu maksadıyla yaygın olarak kullanılan iş parçaları gözden geçirildiğinde öncelikle ana malzeme özellikleri ve bunların işlenebilirliği nasıl etkilediğinin dikkate alınması gereklidir [27].

Şekil 3.1’de malzemenin karbon ihtiva etmesiyle malzemenin değişim gösterdiği dört esas mekanik özelliğindeki genel eğilim verilmiştir. Bu özellikler:

- A. Çekme Dayanımı
- B. Sertlik
- C. Darbe Dayanımı
- D. Uzama (Süneklik) [28]



Şekil 3.1. Malzemelerin mekanik özelliklerinin karbon ihtiva etmesiyle değişimi [28].

Isıl işlemin etkisi

Metal ve metal alaşımlarının çeşitli ısıl işlemlere maruz bırakılması neticesinde malzeme sertliği, sünekliliği ve dayanımı gibi özelliklerinde de değişim meydana gelmektedir. Bu özelliklerdeki değişim de işlenebilirlik özelliğini etkilemektedir [26].

Alaşım elementlerinin etkisi

İşlenecek malzemenin içerdiği alaşım elementleri işlenebilirlikleri etkilemektedir. Örneğin karbon (C) elementi ele alınırsa C miktarının azalmasıyla malzemenin işlenebilirliğini düşecektir. Bunun sebebi C miktarının düşmesiyle malzeme sünekleşecek ve kesici takım üzerinde yığıntı talaş oluşumu (BUE) meydana gelir. Oluşan BUE ile yüzey kalitesi de azalacaktır. C miktarının yükselmesiyle malzeme sertleştireceğinden dolayı kesici takımın da aşınması hızlanacaktır [26].

Mekanik özelliklerin etkisi

Malzemenin dayanımının ve sertliğinin artması o malzemenin işlenebilirlik özelliğinin düşmesine sebep olmaktadır [26].

BUE oluşmasına neden olan sünek malzemeler bu durumun haricinde kalmaktadır. Sünek malzemelerin işlenebilirliğinin artırılmasında malzemeye soğuk çekme ve benzer işlemlerle sertlik kazandırılarak sağlanmaktadır [28].

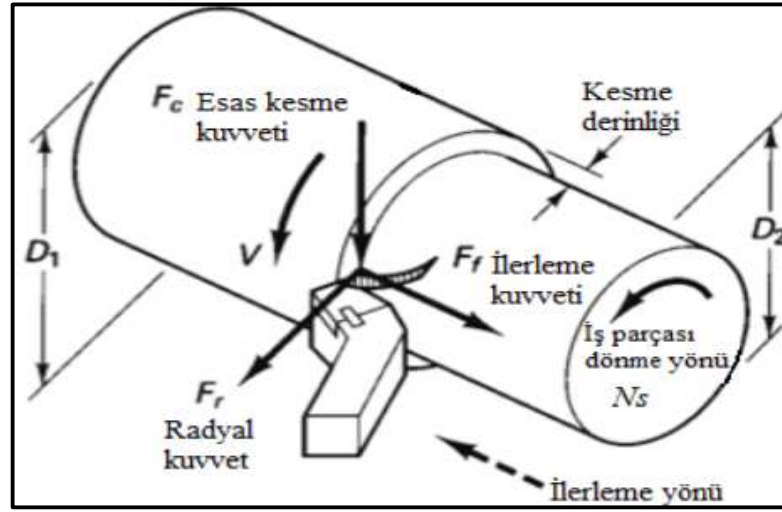
3.2. TORNALAMA İŞLEMİ

Tornalama, belirli geometrik yapıya sahip ve kesici kenarları bulunan kesici uçlarla aynaya bağlanarak dönen iş parçası malzemesinden dairesel olarak talaş kaldırma işlemidir. Genel anlamda iş parçası malzemesine dönme hareketi uygulanır. Tornalama işlemi, konvansiyonel torna tezgâhları ya da seri imalatta CNC torna tezgâhlarında gerçekleştirilmektedir. Tornalamayla iç ve dış silindirik tornalama, profil tornalama, alın tornalama, vida çekme, kanal açma, konik tornalama, kesme işlemi, kavisli ve pah kırma işlemi, delik işleme gibi işlemler yapılmaktadır. Torna tezgâhları temel imalat işlemlerinde kullanılan temel tezgâhlardan biridir. Özellikle CNC torna tezgâhlarının gelişimi ve kesici takım teknolojinin gelişimiyle birlikte talaş kaldırma potansiyelinde artış olmuştur. Bu tezgâhlarda, özellikle kısa sürede hassas

ölçü ve düşük yüzey pürüzlülüğünde parçaların işlenmesi başarıyla yapılmaktadır [29].

3.2.2. Tornalama İşleminde Meydana Gelen Kesme Kuvveti ve Güç

Kesici takımlar, takım tezgâhlarının ve bağlama kalıplarının tasarımında kullanılan ve talaş kaldırma esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri, işlenen yüzeyin kalitesi, malzemenin boyutları ve takım ömrü üzerinde önemli etkiye sahiptir[30]. Tornalama işlemi eğik bir kesme işlemi olup, bu metot ile talaş kaldırma esnasında meydana gelen kuvvetin F_c , F_f ve F_r olmak üzere üç farklı bileşeni vardır (Şekil 3.2). Bunlardan F_c esas kesme kuvveti olmakta olup kesme hızı vektörü yönünde etki etmektedir. İşlem esnasında harcanan gücün yaklaşık %99'unu F_c oluşturmaktadır ve en büyük kuvvettir. F_f ilerleme kuvveti olup, kesici takımın ilerlemesinin yönündedir ve F_c 'nin yaklaşık %50'si kadardır. Son olarak, F_r ise radyal kuvvet olup, işlenen yüzeye dik etki etmekte ve genellikle F_c 'nin yaklaşık %25'i kadardır.



Şekil 3.2. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [25].

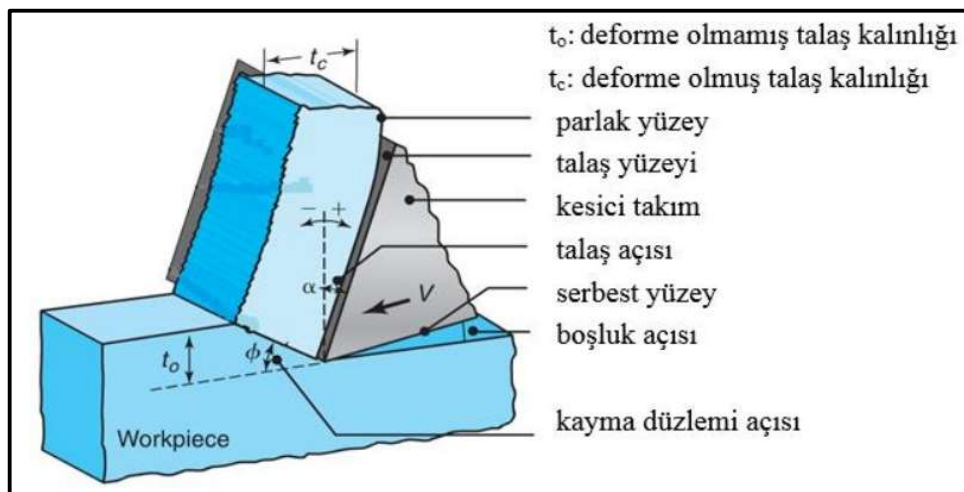
Bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması sonucunda bileşke kuvvet (F_R) elde edilir.

$$F_R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (3.1)$$

Kesme kuvvetleri; kesme derinliği, ilerleme hızı ve kesme hızı gibi işleme parametrelerinden küçük ya da büyük oranda ancak doğrudan etkilenmektedir. Bunun yanı sıra kesme kuvvetleri, üretilen parçanın kalitesini, kesici takım aşınmasını ve üretim maliyetini de etkilemektedir. Kesme ve ilerleme hızı gibi işleme parametreleri takım tezgâhının gücünü belirlemekte ve dolayısıyla tezgâh tasarımında büyük önem arz etmektedir [31].

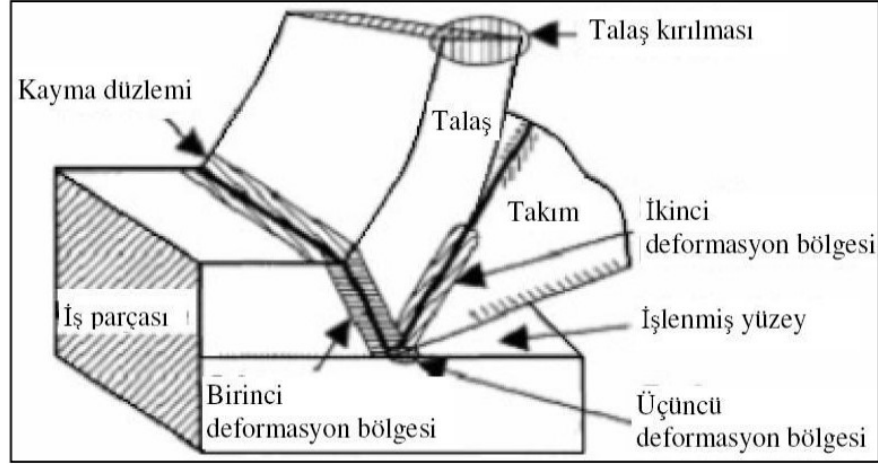
3.2.2. Talaş Kaldırma Mekanîği

Metal kesme işlemi en karmaşık imalat yöntemlerinden biri kabul edilmektedir. Temel mekanîği diğer tüm metal kesme işlemleri ile aynı olmasına karşın, her bir işlem pek çok geometrik faktör ve malzeme özelliklerinden meydana gelen karmaşıklık nedeniyle farklı kabul edilmektedir [32]. Talaşlı imalat işlemi gerçekte yeterince karmaşık ve üç boyutlu olması nedeniyle, metal kesme mekanîğinin tanımlanmasında Şekil 3.3'te görüldüğü üzere genelde iki boyutlu ortogonal (dik) kesme modeli kullanılmaktadır [33]. Dik kesme işleminde, talaş kaldırmanın gerçekleşebilmesi için kesici takım ile iş parçası malzemesinin arasında bağıl bir hareket olmalıdır. Bu modele göre, iş parçası malzemesinin kayma gerilmesi değerinin aşılması ile iş parçası malzemesinin kesici takımı zorlaması ile kayma düzleminde talaş oluşumu gerçekleşmektedir.



Şekil 3.3. Dik kesme modeli [34].

Talaş oluşumu plastik deformasyonun önemli derecede rol oynadığı bir süreç olup, gerçekte ince bir bölgede gerçekleşir. Talaşlı imalat işleminde talaş oluşumu, iş parçası malzemesinin kesici takımın önündeki bölgesel deformasyonuyla gerçekleşmektedir. Şekil 3.4'te dik kesme işlemi esnasında meydana gelen plastik deformasyon bölgeleri verilmiştir.



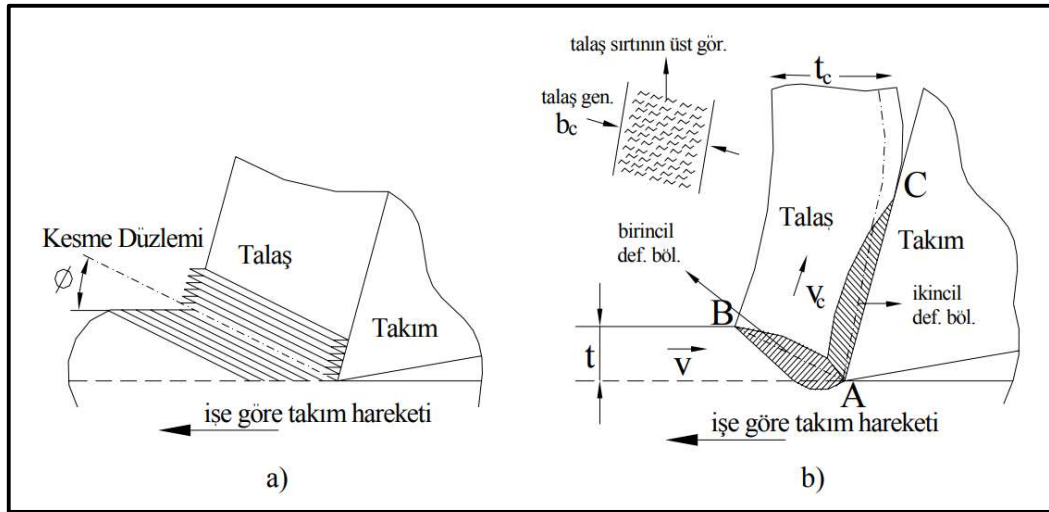
Şekil 3.4. Plastik deformasyon bölgeleri [35].

Birinci deformasyon bölgesi, iş parçası malzemesinin kesici takımın önünde hareketi ile meydana gelen ve kayma düzleminde oluşan bölgedir. İkinci deformasyon bölgesi, sürtünme kuvveti ve takım-talaş teması boyunca oluşan basınçtan kaynaklanan takım-talaş ara yüzeyindeki bölgedir. Birinci deformasyon bölgesinde meydana gelen talaş kesici takımın talaş yüzeyinden geçmesi sırasında kayma ya da yapışma neticesi ikinci defa deformasyona uğrayarak kesme bölgesinden atılır. İşleme sürecine göre incelendiğinde ikinci deformasyon bölgesinin önemi büyüktür. Bu bölgenin alanı gerilme, gerinim ve sıcaklıktan çok fazla etkilenmektedir. Dolayısıyla, maksimum kayma gerilmesi, maksimum kayma gerinim oranı ve talaşta oluşan sıcaklığın en yüksek olduğu yer ikinci deformasyon bölgesidir. Üçüncü deformasyon bölgesiyse, işlenen yüzeye kesici takımın yan yüzeyinin teması neticesinde meydana gelen sürtünmenin etkisi ile oluşan bölgedir.

3.3. TALAŞ OLUŞUMU

Talaş kaldırılması işlemi dik kesmede (ortogonal kesme); kayma doğrultusu boyunca yoğunlaşmayı gerektirmektedir. Malzeme kayma düzlemi üzerine yaklaşıncaya kadar deformasyona uğramaz. Ancak ince bir kayma bölgesi geçtiğinde fazla miktarda basit kayma oluşarak Şekil 3.5’ de gösterildiği gibi elastik ve plastik şekil değişimine uğrayarak talaş oluşumu meydana gelir. Talaş arkası homojen olmayan uzama sebebiyle kabadır. Bu durum da malzeme kesilirken meydana gelen gerilme yığılmaları ya da zayıf noktaların olması sebebiyle meydana gelmektedir. Gerilmeli bir nokta üzerinden geçen kayma düzlemi gerilme olmayan kısımdaki bir noktadan daha düşük bir gerilme ile deformasyona uğrar. Verilen kayma düzlemi üzerindeki deformasyon bir kez başladığında malzeme deformasyon sertleşmesi göstermiş olsa dahi devam etmektedir. İş parçasının gerilim altındaki gerilme davranışı, meydana gelecek talaşın tipini belirlemektedir [36,37].

Talaşın oluşumu, Şekil 3.5.a’da gösterilen “kart modeli” teorisine göre birincil deformasyon bölgesi içerisinde meydana gelen belirli kesme düzlemi boyunca oluşur. Kesme düzlemine kadar malzeme elastik bir şekilde uzatılır. İlk deformasyon, meydana gelen deformasyonun üzerinde başlayarak kesme yönüne yönelmiş ardışık kesme düzlemlerinin boyunca devam etmektedir. Kesme esnasında böyle kaldırılan malzemenin tabakasına ise talaş denilmektedir [38].

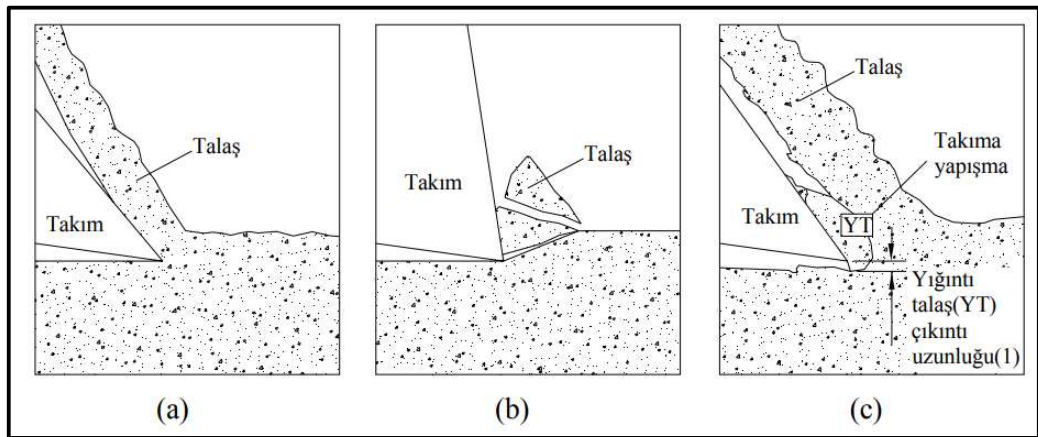


Şekil 3.5. a) Talaş oluşumunda kart modeli, b) Dik kesmenin şematik gösterim.

Talaşın malzeme üzerinden atıldığı düzleme kesme düzlemi, bu düzlemin kesme yönüyle gerçekleştirdiği açığa (\emptyset) ise kesme açısı denilmektedir. Kesme düzleminin boyunca malzemeden atılacak deformasyona uğramamış talaşın genişliği (b) kalınlığı (t) ile belirtilirken, meydana gelen talaşın (deforme edilmiş kalınlığı t_c) t'den daha fazladır. Talaş kaldırma esnasında takım, kesme yönünde kesme hızı (V) ile ilerler ve talaş, parçadan (V_c) hızıyla uzaklaşmaktadır. Kesici takımın yüzeyi boyunca yapışmanın ve sürtünmenin etkisi ile meydana gelen bölge ikincil deformasyon bölgesidir (Şekil 3.5.b) [26,39].

3.3.1. Talaş Çeşitleri

Talaş tipleri kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, kesici takımın geometrisi, büzülme faktörü ve işlenen iş parçası malzemesinin mikro yapısına göre değişim göstermektedir. Talaşın tipi, kesme koşullarına göre değişmektedir. Talaşın tipi, kesme koşulları ve yüzey kalitesinin hakkında bilgi veren faktördür. Bunun yanı sıra talaşın tipi, talaşlı imalatın zorluğu ya da kolaylığında da etkili olmaktadır. Zira, uzun ve sürekli talaşın çıkması kesici takıma ya da tezgâha dolaşmasına, malzemenin yüzey kalitesinde bozukluğun oluşmasına ve kesici ucun aşınmasına sebep olur. Talaş, oluşum mekanizmasına göre; sürekli, kesintili ve yığıntı talaş olmak üzere üç tip olarak oluşmaktadır (Şekil 3.6) [40,41].



Şekil 3.6. Talaş tiplerinin şematik gösterimi. (a) Sürekli talaş, (b) Kesintili talaş, (c) Yığıntı talaş [40,41].

3.3.1.1. Sürekli Talaş

Sabit koşullarda ve genellikle sünek özelliğe sahip iş parçalarının yüksek kesme hızlarında işlenmesi esnasında makro seviyede çatlaksız olarak oluşur (Şekil 3.6.a). Sürekli talaş, yüksek deformasyon sebebiyle sertleşerek yüksek sertlik değerine ulaştığında takım aşınmasını arttırmaktadır. Sünek iş parçalarında talaşın yoğun plastik deformasyonu, t' ye oranla t_c' nin artmasına neden olur ve hacmin aynı kalmasına karşın toplam talaş boyunda kısılma oluşur. Eğer büzülme faktörü (r), $r = t / t_c = 1/2$ civarındaysa, sünek malzeme ve sürekli talaş için akma, iyi yüzeyle sonuçlanacaktır.

Sürekli talaşlar, bant biçiminde ya da spiral ve değişik helisel biçimlerde meydana gelmelerine karşın, uzun talaş oluşumu kesme işlemi ve operatörü olumsuz etkilemesi açısından istenmemektedir.

Bu tip talaş, sünek malzemelerde, düşük talaş derinliği ve ilerleme hızında, keskin uçlu kesici takımda, büyük talaş açısına sahip kesici uçta, yüksek kesme hızlarında, kesme sıvısı kullanılarak kesici uç ve malzemenin soğuk tutulması durumunda, talaş akma direncinin en az olduğu durumlarda meydana gelmektedir [36].

3.3.1.2. Süreksiz Talaş

Talaş oluşumu esnasında iş parçası aşırı plastik deformasyona uğrarsa ve eğer iş parçası kırılğan ise kısmen şekillenen talaş ile birlikte birinci deformasyon bölgesinde kırılma meydana gelir. Bu koşulların altında talaş dilimlenmiştir ve meydana gelen talaş ise kesintilidir (Şekil 3.6.b). Kesme esnasında değişen ayrılma hızı (V_c) sıkışmada en düşük, talaş kopmasında en büyük değeri almaktadır. Takım talaş yüzeyinin yüklenmesiye bunun tam tersinedir. Sürekli talaş tipine göre, periyodik olarak değişen kesme kuvvetinin genliği büyük frekansı ise küçüktür [26].

Süreksiz talaşın meydana gelmesini etkileyen faktörler ise şu şekilde sıralanabilir; gevrek iş malzemelerinde, negatif ya da küçük talaş açılı kesici takımın kullanılmasında, talaş derinliğinin fazla olması ve yüksek ilerleme hızında, düşük

kesme hızlarında, aşırı tezgah titreşimi ve takım otlaması bulunduğu ve otomat çeliklerinde manganez sülfür kalıntıları ya da grafit lamelli dökme demirleri gibi gerilim konsantrasyonu içeren iş parçaları işlendiğinde meydana gelmektedir [36].

3.3.1.3. Yığıntı Talaş

İşlenen yüzeyin sürekli olarak iş parçasından çıkan talaşın kesici takım yüzeyine yapışması ile meydana gelen talaşın tipidir. Soğutma sıvısının kullanıldığı durumlarda, sıcaklığın düşük olduğu kesme hızlarında, kesici takımın önündeki metale uygulanan basma kuvvetinin ve aşırı sürtünme nedeniyle talaş şeklinin deformasyona uğramasıyla, kesme düzlemine dik açıdaki düzlem boyunca talaştan kopmalar oluşur. Talaş üzerinden kopan küçük parçacıklar kesici takım üzerine yapışır. Kesici takıma tedrici olarak katmanlar şeklinde sinterlenerek yığılan bu parçacıklar kesici takıma yapışan talaş ya da yığıntı talaş (YT) olarak ifade edilir (Şekil 3.6.c). Bu tip talaş ikinci deformasyon bölgesinde meydana gelmektedir.

Takım-talaş yüzeyinde yapışan bu katman bazen kesici uç geometrisini korumaktadır, ancak kesici takımın geometrisini de değiştirebilmektedir. Talaş yapışması kararlı değildir ancak talaşa yapışarak ve takımın altından geçerek ya da işlenmiş yüzeye yapışarak periyodik bir biçimde kopmaktadır. Yığıntı talaş çevrimli bir değişimin yükselmesini sağlayarak YT dışarıya ve içeriye doğru büyüdüğü için bu kesilen yüzeyin talaş derinliğinde bir değişim oluşturur. Bu durum yüzey pürüzlülüğün kötü oluşmasına neden olur [36].

3.3.2. Talaş Kaldırma Olayına Etkiyen Faktörler

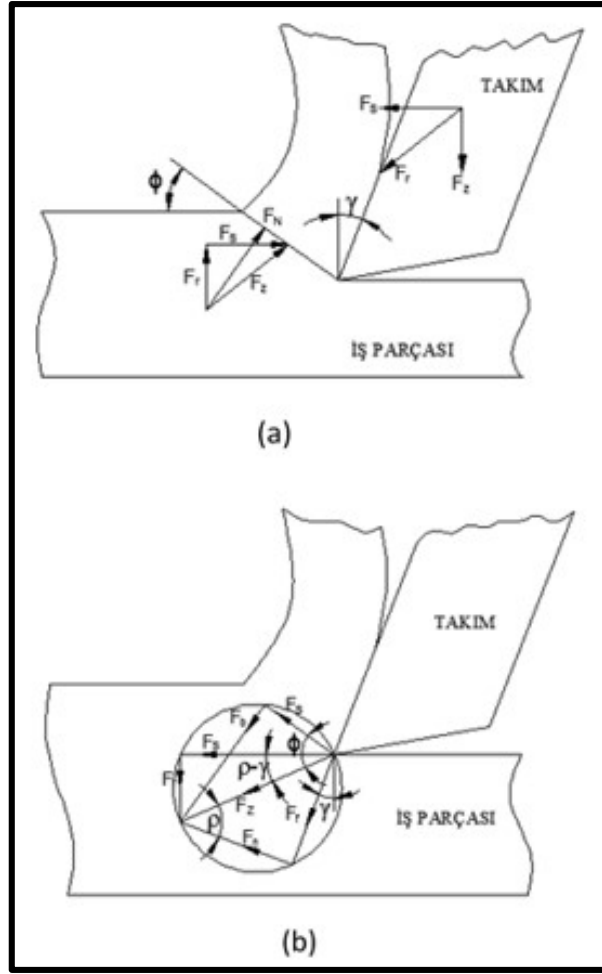
Talaş kaldırma, iş parçası malzemesinden belirli bir boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip ürün meydana getirmek amacıyla kesici takım ve gücün uygulanmasıyla, iş parçasının üzerinden katmanlar biçiminde malzeme kaldırma işlemidir. Fiziki bakımdan bu işlem, elastik ve plastik şekil değişimine, sürtünmeden dolayı ısının meydana gelmesine, talaşın kırılmasına ve büzülmesine, iş parçası yüzeyinde sertleşmenin meydana gelmesi, kesici takım ucunun aşınması gibi durumların olduğu karmaşık bir olayların bütünüdür [42].

3.3.2.1. Kesme Kuvveti

Talaş kaldırma işleminin yapılabilmesi için kesici takıma, kesme düzlemi üzerinde oluşan dirençlere karşı, talaş kaldırma kuvveti (F_z) olarak ifade edilen bir kuvvet uygulanmaktadır (Şekil 3.7.a). Kesme düzlemi üzerindeki kuvvetler kesme kuvveti, takımla talaş ve takımla parçanın arasındaki sürtünme kuvvetlerinden meydana gelmektedir. Düzlem boyunca yayılmış durumdaki bu kuvvetler, kesme düzleminin ortasında (Şekil 3.7.a) ya da Merchant'ın varsayımına göre kesici takım ucuna (Şekil 3.7.b) uygulanan tek bir kuvvetle gösterilebilir. Bu son durumda, takımın ucuna uygulanan kuvvet talaş kaldırma kuvveti F_z olur ise, bu kuvvetin aşağıda gösterilen bileşenlerden oluştuğu düşünülebilir. Kesme yönündeki kesme kuvveti (F_s) ve bu yöne dik yöndeki radyal kuvvet (F_r), kesme düzlemindeki makaslama kuvveti (F_k) ve bu yöne dik yöndeki basma kuvveti (F_b), sürtünme kuvveti (F_f) ve bunu oluşturan normal kuvvet F_n ile F_z arasındaki ρ açısı sürtünme açısıdır, bilindiği gibi sürtünme katsayısı μ ile ifade edilirse

$$\mu = F_f / F_n = \tan \rho ; \quad \rho = \arctan \mu \quad (3.2)$$

dir. Denklem 3.2'de ifade edilen kuvvetlerden pratik açıdan en önemli kesme kuvveti F_s ve radyal kuvvet F_r dir. Şekil 3.7'den görüldüğü üzere kesme düzleminde, kesme direnç kuvvetinin yanında kesici takımı iş parçası malzemesinden ayırmaya çalışan bir radyal direnç oluşmaktadır. Bu nedenle kesici takımı iş parçası malzemesi üzerinde tutabilmek amacıyla kesici takıma radyal kuvvet uygulanmalıdır, bu da kesici takımın takım tutturma tertibatına bağlanmasıyla gerçekleştirilebilir [43].



Şekil 3.7. Talaş kaldırma kuvvetleri [43].

Kesme kuvveti ve kesme kesiti τ_k malzemenin kesme mukavemeti olmak üzere

$$F_k = A_k \tau_k \quad ; \quad A_k = hb / \sin \phi \quad (3.3)$$

olarak ifade edilir ise, Şekil 3.7.b'den kesme ve radyal kuvvetleri

$$F_s = hb \tau_k \frac{\cos(\rho - \gamma)}{\sin \phi \cos(\phi + \rho - \gamma)} \quad (3.4)$$

$$F_t = hb \tau_k \frac{\sin(\rho - \gamma)}{\sin \phi \cos(\phi + \rho - \gamma)} \quad (3.5)$$

olarak elde edilir.

Denklem 3.4'e dayanarak, bir malzemeden en düşük enerji ile talaş kaldırılabilmesi için (minimum enerji ilkesine göre) ϕ kesme açısının optimum (ϕ_0) değeri bulunur.

Buna göre;

$$\frac{dF_s}{d\phi} = 0 \text{ dan } \phi_0 = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}(\rho - \gamma) \quad (3.6)$$

bulunur. (3.6) denklemini ile F_s ve F_t kuvvetleri,

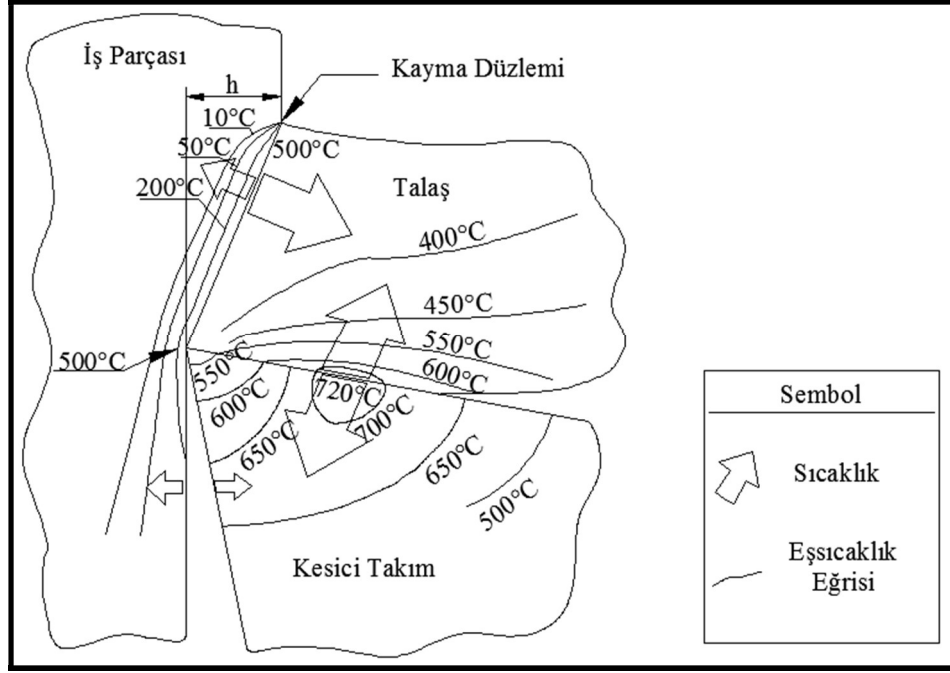
$$F_s = hb\tau_k = \frac{2}{\tan \phi_0}; \quad F_t = hb\tau_k \left[\frac{1}{\tan^2 \phi_0} - 1 \right] \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilir.

Yukarıda verilen denklemlerde görüldüğü üzere, talaş kaldırılması için harcanan güç için önemli olan F_s kesme kuvveti; iş parçasının kesme mukavemetine (τ_k), talaşın boyutlarına (b, h) talaş açısı (γ), kesme açısı (ϕ) ve sürtünme açısına bağlıdır. Kesme açısı optimum kesme açısı olduğu durumda (denklem 3.7), belirli bir malzeme ve talaş boyutları için en düşük kesme kuvveti ve dolayısıyla en düşük talaş kaldırma gücü elde edilmektedir [43].

3.3.2.2. Isı Oluşumu

İşleme esnasında iş parçalarından kaldırılan talaş nedeniyle meydana gelen ısı, malzemeden kaldırılması gerekli olan talaş için ihtiyaç duyulan enerjiden, kesici takım ile kaldırılan talaşın arasındaki sürtünmeden ve kesici takım ile iş parçası yüzeyinin arasındaki sürtünmeden meydana gelmektedir. Meydana gelen ısının bir kısmı, iş parçası malzemesinden kaldırılan talaşla atılır, kalan ısıysa kesici takıma ve iş parçası malzemesine geçer. Kesici takım ve iş parçası malzemesine geçen ısıyla sıcaklık artışı oluşur ve kesici takımın aşınmasına sebebiyet verir. Bu da takım ömrünün azalmasına neden oluşturur. Isı oluşumunun gösterimi Şekil 3.8'de gösterilmiştir [44].



Şekil 3.8. İşleme sırasında ısının oluşumu [45].

3.3.2.3. Kesme Hızı

Kesme hızı (v), talaş kaldırılması sırasında kesici takımın kesme yönüne doğru hızla ilerlemesidir. Sıcaklığı etkileyen faktörler arasında olduğundan talaş kaldırılması sırasında ideal kesme hızı takım ömrünün ve talaş kaldırma miktarının dengelenebilmesi için seçimi iyi yapılmalıdır [46].

3.3.2.4. Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarı

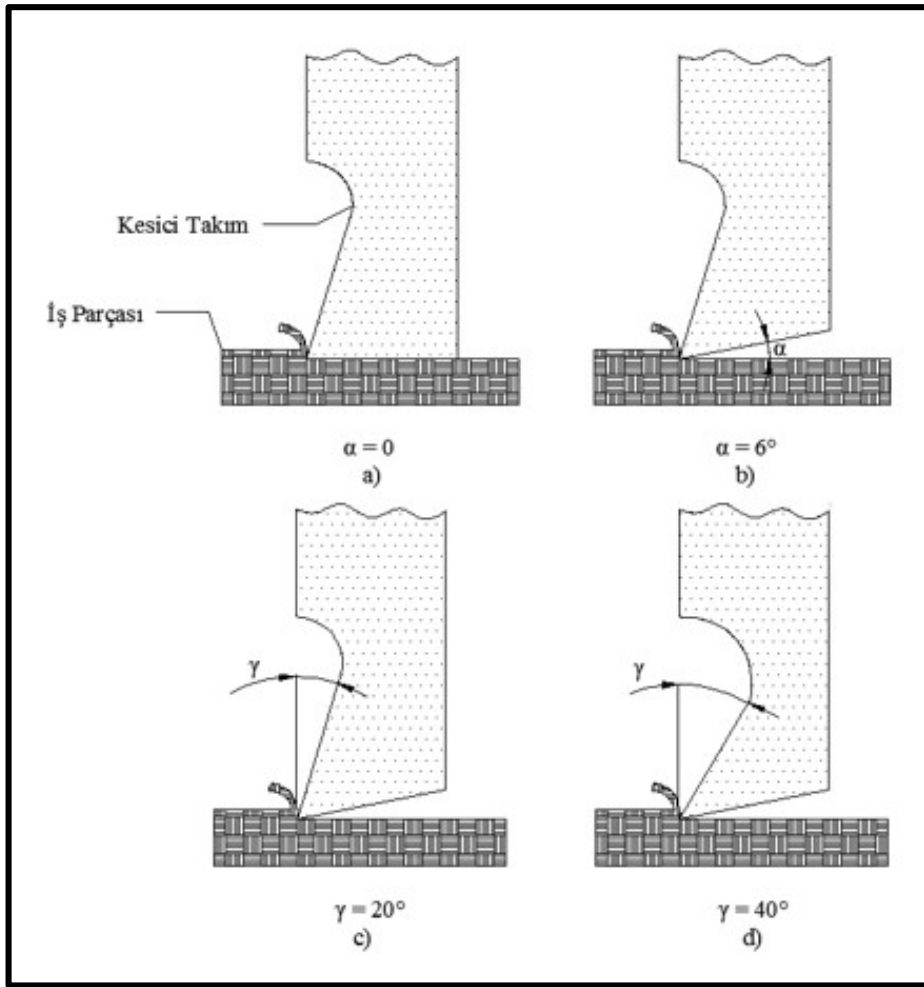
Talaşın kaldırılmasında diğer faktörler ise talaş derinliği (a) ve ilerleme miktarı (f)'dir. Bu parametrelerden birisinin değişmesi durumunda kaldırılan talaş miktarında da değişiklik meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra bu parametrelerdeki her değişiklik, takım ömrünün de değişimine neden olmaktadır [47].

Uygun bir işlemenin yapılabilmesi amacıyla alınabilecek maksimum talaş derinliği ve en düşük ilerleme miktarının seçilmesi gereklidir. Bunun nedeni kesme hızına göre kesici takım ömrünün değişiminde talaş derinliği en az etkiye sahip olmalarıdır. İdeal

ilerleme miktarı, kesici takımın ömrünü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir [48].

3.3.2.5. Kesici Takım Geometrisi

Kesici takımın geometrisini talaş açısı (γ), boşluk açısı (α), kama açısı (β) ve takım ucunun yarıçapı (r) belirlemektedir. Şekil 3.9'da α değerlerine göre kesici takımın durumları verilmiştir.



Şekil 3.9. Kesici takım açılarının etkisi [43].

Kesici takımla iş parçası malzemesi yüzeyinin arasındaki sürtünmenin engellenebilmesi için α değerinin yaklaşık olarak 6° olması gerekmektedir. Genel anlamda α değeri kesici takıma ve iş parçasına bağlı olarak 3° ile 7° arasında seçilmesi gereklidir [49].

Şekil 3.9.c'deki gibi γ küçükse iş parçası malzemesinin işlenmesi zor olacağından, ısının oluşumu ve kesme kuvvetinin artmasının yanı sıra kesici takım aşınması daha hızlı gerçekleşir.

Şekil 3.9.d'deki gibi γ büyükse kesici takım ucu daha ince olacak ve iş parçası malzemesinin işlenmesi kolaylaşır. Kesici takımın ucu ince olduğunda daha düşük kesme kuvveti yeterli olacaktır, talaş kolay atılır ve yüksek kesme hızlarında işleme yapılabilir. Ancak kesici takım ucunun ince olması kuvvetlere karşı mukavemeti düşüreceğinden dolayı takımın kırılma ihtimalini arttırır [45].

3.3.2.6. Takım Ömrü

Talaşlı imalatta önemli unsurlardan biri de kesici takımın ömrüdür. Takımın ömrü kesici takım ve iş parçasına, kesme parametreleri ve takım tezgahının gücüne bağlıdır. Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan sürtünmelerden ve sıcaklık artışından kesici takımlarda aşınma meydana gelir. Meydana gelen sürtünme kesici takımdaki aşınmanın en önemli sebebidir. Artan sıcaklıksa kesici takımın dayanımını azaltacağından aşınmanın meydana gelmesini hızlandıran bir etkidir [44].

Meydana gelen takım aşınması, kesici takım ve iş parçası malzemesi, kesici takım ve çıkan talaş geometrisi, kesme hızı ve ortam koşulları (kuru ya da soğutma sıvısı kullanılması) gibi etkenlere bağlıdır. Kesici takımın ömrü de aşınmaya bağlı olduğundan dolayı aşınmayı etkileyen etkenler kesici takımın ömrü içinde geçerlidir. Kesici takımın ömrünü etkileyen faktörlerden en önemlisi ise kesme hızıdır. Taylor'ın yaptığı çalışmaların neticesinde takım ömrü (T) ve kesme hızı (v) arasında bir ilişki vardır ve buna bağlı olarak Taylor takım ömrü modeli olarak bilinen

$$v = C_t / T^n \quad (3.1)$$

eşitliğini belirlemiştir. Buradaki, kesme hızı (V) mm/dk, takım ömrü (T) dk, iş parçası ve kesici takım malzemesine göre sabit (n) ve C_t ise Taylor sabitidir [45].

3.4. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımlar, talaşlı imalat işlemlerinin maliyeti ve ürün kalitesinin üzerinde önemli etkilere sahiptir. Kesici takımlar, kesme işlemlerini etkili bir şekilde gerçekleştirebilmeleri için talaşlı imalat esnasında oluşan yüksek gerilmelere, sıcaklığın artışına ve sürtünme etkilerine uzun süre dayanacak özelliğe sahip olmalıdır [23].

Talaşlı imalat işlemi esnasında meydana gelen yüksek sıcaklığın ve gerilmelerin nedeniyle kesici takımların uzun ömürlü olmasını sağlayabilmek için kesici takım malzemelerinin aşağıdaki özellikleri taşıması gereklidir;

1. Yüksek sertlik,
2. Yüksek tokluk,
3. İş parçası malzemesine karşı kimyasal kararlılık,
4. Oksidasyona karşı direnç,
5. Isıl direncin kararlılığı [50].

3.3.1. Yüksek Hız Çelikleri

Yüksek hız çelikleri, İngilizce High Speed Steel (HSS) olarak bilinmektedir. HSS takımlar, Co, W, V, Mo ve Cr gibi alaşım elementleri ile sertleştirilmiş olan kesici takım çelik türleridir. Diğer kesici takım çeşitlerine göre kolaylıkla şekil alabilirler ve mükemmel kırılma tokluğu sergilemektedirler. Fakat bu kesici takım malzemeleri yaklaşık olarak 500 °C sıcaklıklarda sertliklerini kaybeder ve artan aşınma davranışı sergilemektedirler. Günümüzde HSS kesici takımları düşük sertlikteki alaşımsız çeliklerin ve diğer yumuşak malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. HSS kesici takımlarının tipik kesme hızı aralığı 5-10 m/dk'dır [51].

3.3.2. Sementit Karbürler

Sementit karbür kesici takımlar toz metalurjisi yönteminin kullanılmasıyla üretilmektedir. Bu tür kesici takımlarda abrasiv eleman olarak tungsten karbür (WC),

tantalyum karbür (TaC), titanyum karbür (TiC) ve niyobyum karbür (NbC) de mikro yapının içinde yer alabilir. Bu karbürlerin difüzyon dirençlerinin olması nedeniyle kesici takımlarda oluşan kraterleşme engellenmektedir. Bazı özel sert metallerin içinde sert faz halinde molibden karbür, krom karbür ve bağlayıcı metal olarak da nikel bulunabilir. Sadece tungsten karbür içeren kesici takımlar dökme demir, östenitik çelik, demir esaslı ve demir dışı malzemelerin işlenmesi esnasında kullanılırken tungsten karbürün yanı sıra titanyum karbür ve tantalyum karbürün de bulunduğu kesici takımlar ferritik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kullanılmaktadır [52].

3.3.3. Sermetler

Sermet kesici takımları, metalik fazla birbirlerine bağlanan seramiklerdir. Esasında sementit karbür kesici takımları sermet kesici takımların bir alt sınıfıdır. Çeliğin işlenmesinde nikel ve molibden ile bağlanan TiC tercih edilmektedir. Sermet kesici takımlarının ana bileşimi %8-25 Ni, %15-8 Mo₂C ve %60-80 TiC şeklindedir. Bunun yanı sıra küçük miktarlarda da olsa WC, Co, TiN içerirler. Sermetler, sementit karbür kesici takımlarına göre daha gevrek yapıdadır. Sermet kesici takımları yüksek krater ve oksidasyon direncine, düşük sürtünme katsayısına ve termal iletkenliğe ve düşük yoğunluğa sahip olan kesici takımlardır. Ayrıca sertlik derinliği de oldukça yüksektir [52].

Sermetlerin bağlayıcıları %20'den daha azdır. Bu kesici takımlar çelik ve dökme demirler için özellikle orta ve hafif yüklerin altında ve yüksek hız gereken yüzey işlemlerinde kullanılmaktadır [53].

3.3.4. Kübik Kristal Bornitrür

CBN olarak bilinen ve en sert ikinci kesici takım malzeme çeşididir. Ayrıca, kimyasal inertlik, kırılma tokluğu ve sertlik özelliklerini yüksek sıcaklarda da koruma özelliğine sahiptirler. CBN, seramik kesici takımlara göre daha yüksek termal iletkenlik ve kırılma tokluğu gösterir. Bu özellikleri nedeniyle mekanik ve termal şok direnci seramik kesici takımlara nazaran daha üstündür. Fakat demir esaslı alaşımlarının yüksek hızda işlenmesinde oluşan kimyasal tepkime nedeniyle difüzyon aşınması

maruz kalabilir. Dökme demir ve nikel esaslı süper alaşımların yüksek hızlarda işlenmesinde iyi neticeler vermektedirler. Fakat seramik kesici takımlara göre CBN kesici takımların maliyeti daha yüksektir. Tek parça takım olarak üretilmeleri aşırı maliyetli olacağından, sadece kesici uç olarak üretilmektedir. CBN takımlar, içindeki CBN oranına göre yüksek içerikli CBN (yCBN) ve düşük içerikli CBN (dCBN) olarak gruplandırılabilir. yCBN matrisinin içerisinde yaklaşık olarak %90 oranında CBN ve %10 oranında da bağlayıcı metal fazı bulunur. yCBN takımların yüksek termal iletkenlik ve kırılma mukavemeti gösterdiği bilinmektedir. Matris yapısındaki CBN oranı yaklaşık olarak %60 düzeyinde olan dCBN'de bağlayıcı faz genellikle TiN veya TiC seramiktir. Bu nedenle bu malzemelerin daha düşük kırılma tokluğu ve daha yüksek basma mukavemeti gösterdiği bilinmektedir. yCBN takımların, özellikle nikel esaslı süper alaşımlar ve işlenebilirliği güç titanyum ve alaşımlarının yüksek hızlarda işlenmesinde başarılı neticeler verdiği belirtilmiştir [54].

3.3.5. Seramikler

Seramik bazlı kesici takım malzemelerinin en belirgin özellikleri sert ve pek çok metale karşı kimyasal anlamda kararlı yapı göstermeleridir. Yüksek sıcaklıklarda dahi sertliklerini koruyabilmeleri özelliğiyle, Tungsten Karbür (WC) kesici takımların kesme hızlarının 5 ile 10 katı düzeylerinde kesme kabiliyetine sahiptirler. Seramik kesici takımların en zayıf yönü ise termal iletkenliklerinin ve kırılma tokluklarının düşük olmasıdır. Bu durum mekanik ve termal şok dirençlerinin de düşük olmasına ve vuruntulu kesim işlemlerinde çok çabuk mikro dökülme aşınmasıyla kırılma oluşmasına sebep olur. Bu durumun iyileştirilmesi için bazı kompozit yapıya sahip seramik malzemeler geliştirilmiştir. Genellikle esas içeriği A_2O_3 ve Si_3N_4 olan seramik kesici takımlar aşağıda belirtilmiş olan başlıklar altında incelenebilir.

Alümina esaslı seramikler

Alüminyum oksit, A_2O_3 , olarak bilinen en eski kesici takım seramik malzemesidir ve kullanımı 1900'lü yılların başlarına dayanmaktadır. Bu malzemenin basma mukavemeti ve sertliği oldukça yüksektir ve pek çok malzemenin işlenmesinde kimyasal anlamda kararlı yapıdadır. Fakat tungsten karbür ile karşılaştırıldığında oldukça düşük düzeyde mekanik ve termal şok dayanımı olduğu görülmektedir. ZrO_2

ilavesiyle kırılma tokluğunun ve bu nedenle mekanik şok özelliğinin bir miktar arttırıldığı bilinmektedir. A_2O_3 matrisine TiN ya da TiC ilavesiyle de termal şok özelliklerinin arttırılması sağlanabilir. Kompozit seramik olarak bilinen bu malzemeler yüksek sıcaklıklarda dahi sertliklerini koruyabildikleri belirtilmektedir.

Silikon karbür whisker ile güçlendirilmiş alümina

$SiC_w - A_2O_3$ seramikleri, kesici takımlarındaki kırılma, termal şok ve aşınma dirençlerini arttırabilmek amacıyla geliştirilmiştir. İçeriğinde %25 oranında bulunan ve çekme mukavemeti yüksek SiC lifleri sayesinde kırılma tokluğu saf alüminanın iki katına çıkarılmıştır. Endüstride Whisker seramikler adıyla da bilinmekte olan bu kesici takımları özellikle nikel esaslı süper alaşımlar gibi yüksek sıcaklık alaşımlarında üstün performans sergilemektedir. Kesilmesi güç alaşımların, Whisker seramikleriyle 200 m/dk ile 500 m/dk arasındaki kesme hızlarında işlenebildiği bilinmektedir.

Silikon nitrat seramikleri

Si_3N_4 seramikleri diğerlerine göre daha iyi aşınma ve çentik direnciyle termal şok yeteneği sergilemektedirler. Fakat yüksek hızlarda sünek malzemelerin işlenebilmesinde yüksek aşınma sergiledikleri bilinmektedir. Yapısına ilave edilen A_2O_3 ile SiAlON seramikleri elde edilmektedir. SiAlON seramiklerinin en büyük avantajı ise yapısı itibarıyla sergilediği yüksek kırılma tokluğudur. Ayrıca termal iletkenliklerinin yüksek olması da termal şok dayanımlarını arttırmaktadır. Bu tür kesici takımlar özellikle, nikel alaşımları ve dökme demirlerin yüksek hızlarda işlenmesinde başarıyla kullanıldığı belirtilmiştir [51].

3.3.6. Çoklu Kristal Elmas (PCD) Takımlar

Talaşlı imalat endüstrisinde bilinen en sert kesici takım malzemesi PCD'dir. Yüksek aşınma direnci özelliğinin yanı sıra kesici kenarının keskinliğini koruması, kırılma mukavemetinin yüksek oluşu, işleme sırasında en düşük düzeyde sürtünme davranışı ve termal iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle iyi bir kesici takım malzemesi çeşididir. Özellikle metal matrisli kompozit malzemelerinin ve demir dışı metallerin (alüminyum, bronz, bakır, magnezyum ve titanyum alaşımları) işlenmesinde yüksek kesme hızları ve uzun takım ömrüyle artan üretkenlik sağladıkları belirtilmektedir.

Yapısında bulunan demir içerisinde çözünebilir olması nedeniyle, demir esaslı malzemelerin işlenmesinde kullanılmamaktadırlar. PCD kesici takımları titreşimlere hassas olmaları sebebiyle için rijit tezgâh konstrüksiyonu gerektirmektedirler. Zira makinede ya da kesimde oluşabilecek istenilmeyen titreşimler kesicinin kenarında mikro dökülmelere ve kırılmalara sebebiyet verebilir. Maliyeti ise diğer kesici takımlara nazaran daha yüksek olan PCD kesici takımları, sağladıkları verim artışı ve yüksek ömürle bu durumu telafi etmektedirler [51].

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN MALZEME VE ÖZELLİKLERİ

Yapılan çalışmada kullanılan Maraging çeliği olarak da adlandırılan PH13-8Mo, düşük karbonlu çökelme ile sertleşebilen martensitik paslanmaz çelik gurubunda yer almaktadır. Maraging çelikleri, farklı yaşlandırma yöntemleri ile dayanım, sertlik ve tokluk gibi özelliklerinde iyileştirmeler sağlanmaktadır. Ayrıca bu çelikler yüksek dayanım ve korozyon direncine sahiptir.

Deneylerde Ø50x300 mm ebatlarında Ph 13-8Mo martenzitik paslanmaz çelik numuneleri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan numuneye ait kimyasal bileşim değerleri ile mekanik özellikler sırası ile Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Mevcut çalışmada kullanılan Ph 13-8Mo paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi.

Material	Element (wt %)							
	C	Mn	Al	Si	Cr	Ni	Mo	Fe
PH 13-8Mo	0.046	0.06	1.02	0.08	12.54	8.23	2.06	Balance

Çizelge 4.2. Ph 13-8Mo martenzitik paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri.

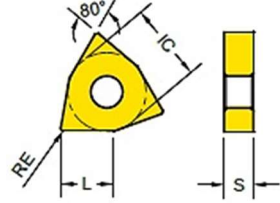
Kopma Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Yüzde Uzaması (%)	Sertlik (HRC)
1410	1310	13	43

4.2. KULLANILAN KESİCİ TAKIMLAR VE TUTUCU

Tornalama deneylerinde ISO’ya göre WGNM 080408 FN geometrisine sahip CVD yöntemi ile TiCN-Al₂O₃-TiOCN kaplanmış sementit karbür kesici takımları

kullanılmıştır. Kesici uçlar, M10-M30'a eşdeğer olan paslanmaz çeliklerin tornalanmasında kullanılmaktadır. Her bir kesici takımla sadece bir deney gerçekleştirilmiştir. Kesici takımlar DWLNR 2525 M08 KC04 kodunda bir takım tutucuyla bağlanmıştır. Kesici takımlara ait geometrik bilgiler Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çalışmada kullanılan kesici takımlara ait geometrik bilgiler.



WNMG 080408-FN	
L	7.8
IC	12.7
S	4.76
RE	0.4

4.3. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TEZGAHI

Deneyler Gazi Üniversitesi Teknoloji fakültesi İmalat Mühendisliği Anabilimdalı CNC atölyesinde bulunan FANUC kontrol ünitesine sahip Johnford TC35 CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın gücü 10 KW olup, tezgâh değişken kademesiz hıza sahip iş mili 3500 dev/dak hızı çıkabilmektedir. Deneylerde kullanılan CNC tezgâhı ve deney düzeneği Şekil 4.1'de verilmiştir



Şekil 4.1. CNC torna tezgahı ve deney düzeneği.

4.4. KESME PARAMETRELERİ

Tornalama deneyleri, kesici takım üretici firması tarafından tavsiye edilen değerler dikkate alınarak beş farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ve iki farklı kesme derinliğinde yapılmıştır. Tornalama deneylerinde kullanılan işleme parametreleri ve seviyeleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Tornalama deney parametreleri ve seviyeleri.

Kesme Parametreleri	Seviyeler				
	1	2	3	4	5
Kesme Hızı, V_c (m/dak)	60	90	120	150	180
İlerleme Miktarı, f (mm/dev)	0,1	0,15	0,2		
Kesme Derinliği, a_p (mm)	0,7	1,2			

4.5. KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜMÜ

Tornalama deneylerinde oluşan kesme kuvveti bileşenlerini aynı anda ölçebilen Johnford TC35 tipi CNC torna tezgâhının taretine sabitlenmiş A KISTLER 9257B tipi piezoelektrik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometreden gelen sinyallerin veri okuma kartına aktarılmasında KISTLER 5070A çok kanallı amplifier kullanılırken, ölçülen kesme kuvveti bileşenlerini DynoWare yazılımı ile sayısal değerlere dönüştürülmüştür.

4.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜMÜ

Tornalama deneyleri sonucu oluşan yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin ölçümü için MAHR-Perthometer M1 cihazı kullanılmış olup, sırası ile yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ve özellikleri Şekil 4.2’de ve Çizelge 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.2. MAHR-Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.

Çizelge 4.5. Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri

Tarama hızı	0,5 m/sn
Tarama kuvveti	0,75 mN
İğne uç yarıçapı	2 μ m
Ölçüm aralıkları	100 -150 μ m
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre Gausion	Filtre Gausion
Örnekleme uzunluğu	0,25 - 0,8 - 2,5 (mm)
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 - 5,6 - 17,5 (mm)
Ölçülen parametreler	Ra, Rz, Rmax
Güç kaynağı Entegre	NiCd şarj edilebilir pil
Boyutlar	190x170x75 mm

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. KESME KUVVETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ph 13-8Mo paslanmaz çelik için beş farklı kesme hızında, üç farklı ilerleme miktarın ve iki farklı kesme derinliğinde tornalama deneyleri yapılmıştır. Tornalama deneylerinde meydana gelen kesme kuvveti bileşenleri A KISTLER 9257B tipi dinamometre ile ölçülmüştür. Deneyler sonucu meydana gelen esas kesme kuvveti değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Esas kesme kuvveti değerleri.

Deney No	Kesme Derinliği (mm)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dak)	Esas Kesme Kuvveti (N)
1	0,7	0,1	60	207,63
2			90	197,68
3			120	186,13
4			150	183,5
5			180	176,38
6		0,15	60	298,13
7			90	276,5
8			120	267,75
9			150	253,95
10			180	231,88
11		0,2	60	417,5
12			90	414,8
13			120	387,2
14			150	363,2
15			180	352,1
16	1,2	0,1	60	245,94
17			90	224,5
18			120	204,13
19			150	193,5
20			180	232,3
21		0,15	60	349,75
22			90	322,82
23			120	282,11
24			150	297,63
25			180	339,88

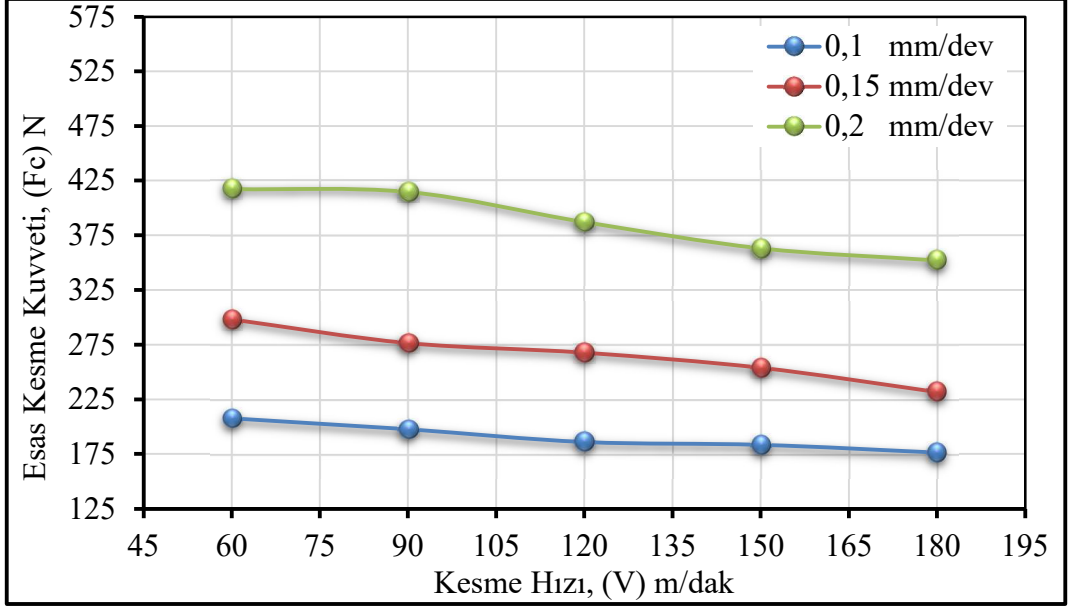
Çizelge 5.1. Devam ediyor.

26	1,2	0,2	60	519,5
27			90	437,5
28			120	435,63
29			150	476,75
30			180	548,86

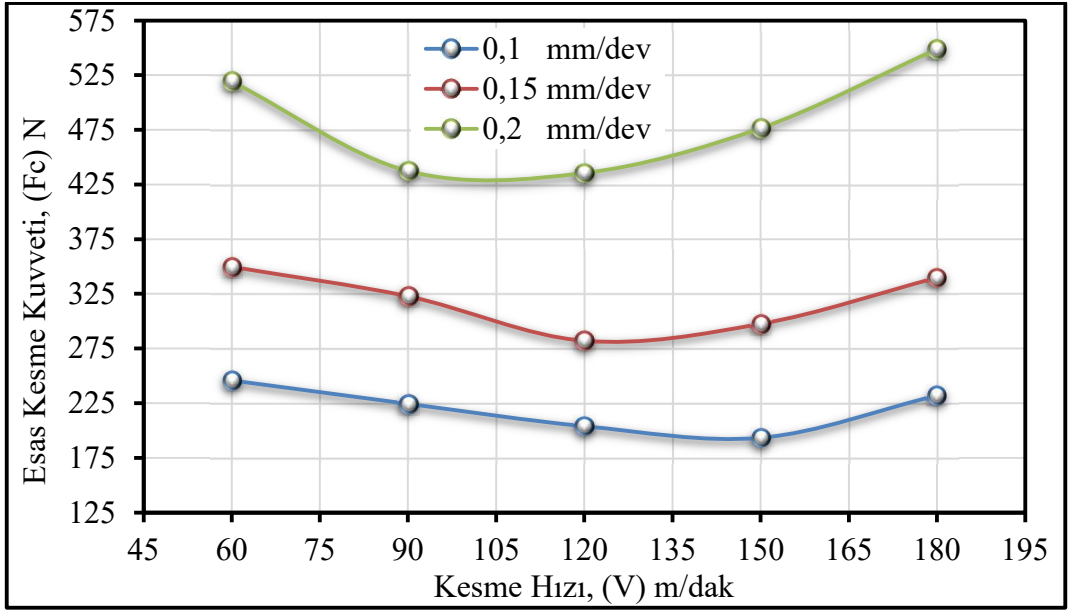
5.1.1. Kesme Hızının Esas Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi

Kaplamalı karbür kesici takım ile Ph 13-8Mo paslanmaz çelik bes farklı kesme hızında (60, 90, 120, 150 ve 180 m/dak), üç farklı ilerleme miktarlarında (0,1, 0,15 ve 0,2 mm/dev) ve iki farklı kesme derinliğinde (0,7 ve 1,2 mm) tornalama deneyleri yapılmıştır. Tornalama deneyleri sonucu kesme hızlarına, ilerleme miktarlarına ve farklı kesme derinliklerine göre esas kesme kuvveti değerlerindeki değişimin etkisi Şekil 5.1 ve 5.2’de verilmiştir.

Ph 13-8Mo paslanmaz çeliğin 0,7 mm kesme derinliğinde kaplamalı karbür kesici takım kullanılarak beş farklı kesme hızında ve üç farklı ilerleme miktarında yapılan tornalama deneylerinde kesme hızının esas kesme kuvveti üzerine etkisi Şekil 5.1’de görülmektedir. 60 m/dak kesme hızında 0,1 mm/dev ilerleme miktarında esas kesme kuvveti 207,63 N ölçülmüştür. Aynı kesme hızında ilerleme miktarının 0,15 mm/dev ve 0,2 mm/dev çıkarılması ile esas kesme kuvvetlerinde sırası ile ortalama % 43,6 (298,13 N) ve % 101,1 (417,5 N) oranlarda artma olmuştur. Bütün ilerleme miktarlarında kesme hızının 60 m/dak’dan 180 m/dak’ya kadar artırılması ile esas kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür. Kesme hızının 180 m/dak’ya çıkarılması ile 0,1 mm/dev, 0,15 mm/dev ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarlarında sırası ile ortalama % 17,65 oranında bir azalma görülmüştür.



Şekil 5.1. 0,7 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde kesme hızının esas kesme kuvveti üzerine etkisi.



Şekil 5.2. 1,2 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde kesme hızının esas kesme kuvveti üzerine etkisi.

Ph 13-8Mo paslanmaz çeliğin 1,2 mm kesme derinliğinde kaplamalı karbük kesici takım kullanılarak beş farklı kesme hızında ve üç farklı ilerleme miktarında yapılan tornalama deneylerinde kesme hızının esas kesme kuvveti üzerine etkisi Şekil 5.2’de verilmiştir. 60 m/dak kesme hızında 0,1 mm/dev ilerleme miktarında esas kesme kuvveti 245,94 N ölçülmüştür. Kesme hızının 150 m/dak’ya kadar artırılmasıyla esas kesme kuvveti

ortalama % 21,32 oranında azalarak 193,5 N ile en düşük esas kesme kuvveti elde edilmiştir. Kesme hızının 150 m/dak'dan 180 m/dak'ya çıkarılması ile esas kesme kuvvetinde ortalama % 20 oranında bir artış olmuştur. 60 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının % 50 ve % 100 artırılması ile 0,15 mm/dev ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında esas kesme kuvvetleri sırası ile ortalama % 42,2 (349,75 N) ve % 111,23 (519,5 N) oranlarında artma görülmüştür. 0,15 mm/dev ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarlarında kesme hızının 60 m/dak'dan 120 m/dak kadar artırılması ile esas kesme kuvvetlerinde ortalama % 17,75 oranında azalma tespit edilmiştir. Kesme hızının 120 m/dak'dan 180 m/dak kadar artırılması ile esas kesme kuvvetlerinde ortalama % 23,2 oranında artma olmuştur.

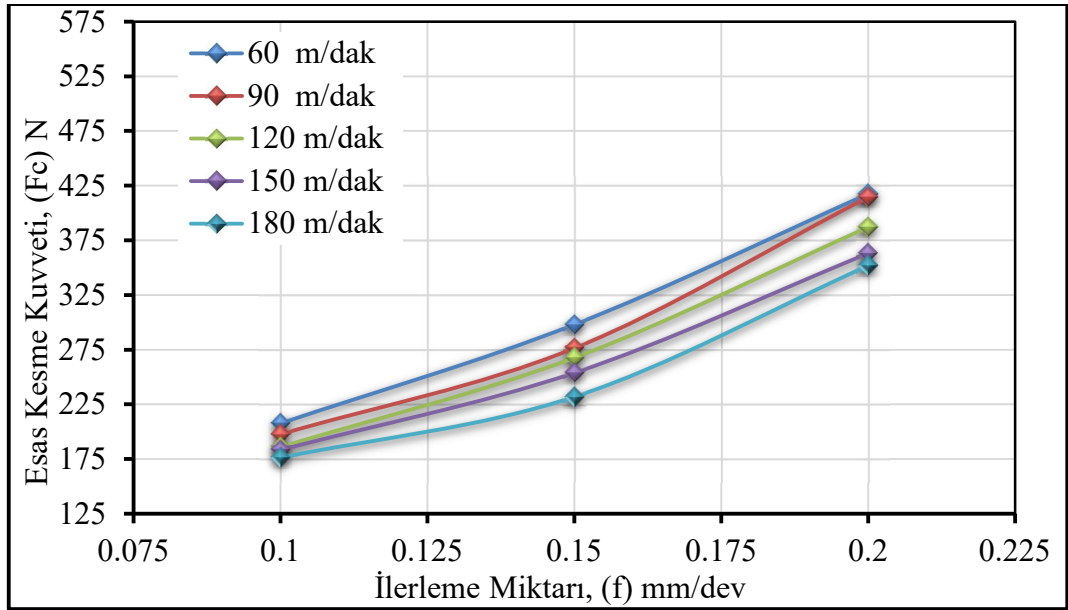
Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de Ph 13-8Mo paslanmaz çeliğin düşük kesme hızlarında ve farklı ilerleme miktarlarında yapılan deneylerde ölçülen esas kesme kuvvetleri diğer kesme hızlarında yapılan deneylere göre daha yüksek çıkmasını, düşük kesme hızlarında esas kesme kuvvetlerinde meydana gelen artış takım talaş ara yüzeyinde meydana gelen ısının düşük olması ve iş parçasının sertliğinin azalmaması ile açıklanabilir [55][56]. Yapılan çalışmada kesme hızının artması ile esas kesme kuvvetlerinin azalması beklenen bir sonuçtur. Esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı azalmasını, azalan takım talaş arayüzeyi temas alanı ve artan kesme hızı ile kesme bölgesi ısısının artması takım talaş arayüzeyinde yapışan malzemenin kayma dayanımının azalması ile açıklanabilir [57,58]. Özellikle Şekil 6.2'de 0,1 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının 150 m/dak'dan sonra ve 0,15 mm/dev ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarlarında kesme hızının 120 m/dak'dan sonra 180 m/dak kesme hızına çıkarılması ile esas kesme kuvvetlerindeki bu artışı, kesme hızının artması ile kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklığın artması ile kesici takımda kimyasal aşınma ve takım kırılmalarının bir sonucu olarak açıklanabilir [59].

5.1.2. İlerleme Miktarının Esas Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi

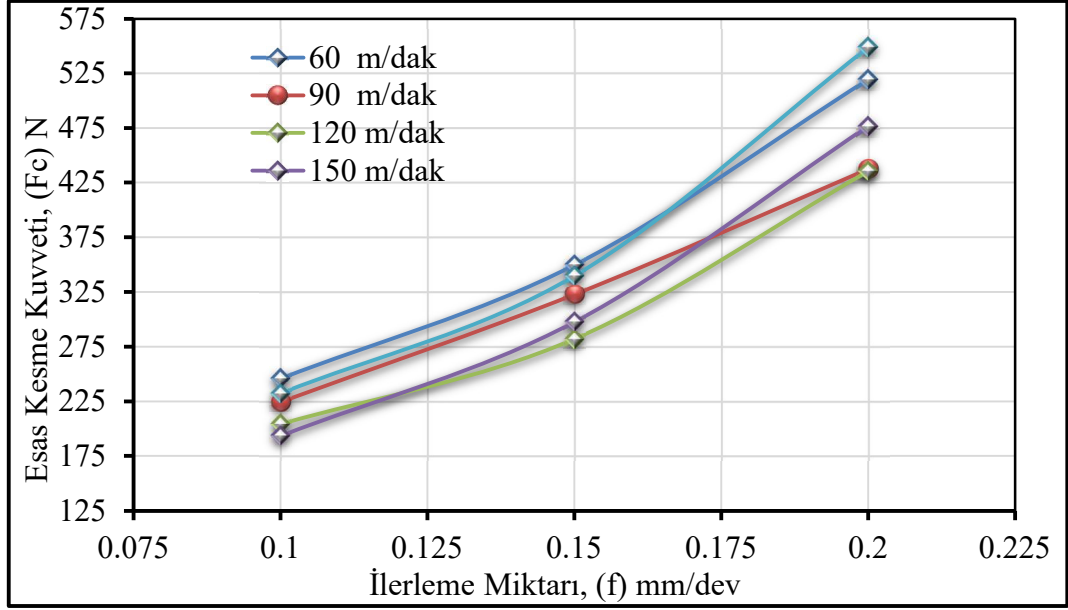
Ph 13-8Mo paslanmaz çelik malzemesinin kaplamalı karbür kesici takım ile beş farklı kesme hızlarında (60, 90, 120, 150 ve 180 m/dak), üç farklı ilerleme miktarlarında (0,1 mm/dev, 0,15 mm/dev ve 0,2 mm/dev) ve iki farklı kesme derinliğinde (0,7 ve 1,2 mm) tornalama deneyleri yapılmıştır. 0,7 mm ve 1,2 mm kesme derinliğinde yapılan

tornalama deneyleri sonucu kesme hızlarına ve ilerleme miktarlarına bağlı esas kesme kuvveti değerlerindeki değişimin etkisi Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de verilmiştir.

0,7 mm kesme derinliğinde Ph 13-8Mo paslanmaz çeliğin kaplamalı karbük kesici takım kullanılarak beş farklı kesme hızında ve üç farklı ilerleme miktarında yapılan tornalama deneylerinde ilerleme miktarının esas kesme kuvveti üzerine etkisi Şekil 5.3’de görülmektedir. 0,1 mm/dev ilerleme miktarında en yüksek esas kesme kuvveti 60 m/dak kesme hızında 207,63 N olurken, kesme hızının 180 m/dak kadar artırılması ile en düşük esas kesme kuvveti 176,38 N ölçülmüştür. İlerleme miktarının 0,15 mm/dev ve 0,2 mm/dev çıkarılması ile 60 m/dak kesme hızında esas kesme kuvvetlerinde ortalama %43,58 ve % %101,1 oranlarında artma görülmüştür. 0,15 mm/dev ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarlarında kesme hızının 60 m/dak’dan 180 m/dak çıkarılması ile esas kesme kuvvetlerinde sırası ile %22,2 ve %15,6 oranlarında azalma olmuştur.



Şekil 5.3. 0,7 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde ilerleme miktarının esas kesme kuvveti üzerine etkisi.



Şekil 5.4. 1,2 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde ilerleme miktarının kesme kuvveti üzerine etkisi.

Ph 13-8Mo paslanmaz çeliğin kaplamalı karbük kesici takım kullanılarak beş farklı kesme hızında, üç farklı ilerleme miktarında ve 0,7 mm sabit kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde ilerleme miktarının esas kesme kuvveti üzerine etkisi Şekil 5.4'de verilmiştir. 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 60 m/dak kesme hızında esas kesme kuvveti 254,94 N ölçülmüştür. 60 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının % 50 ve % 100 artırılması ile esas kesme kuvvetlerinde sırası ile ortalama % 42,2 ve % 111,2 oranlarda artma görülmüş. İlerleme miktarının artması ile esas kesme kuvvetinin artması arasında doğrusal bir ilişki olduğu açıktır. 0,1 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının 60 m/dak'dan 150 m/dak kadar çıkarılması ile esas kesme kuvveti ortalama % 21,3 (193,5 N) oranında azalma olurken, kesme hızının 180 m/dak'ya çıkarılması ile esas kesme kuvvetinde ortalama % 20 oranında bir artma olmuştur. 0,15 mm/dev ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarlarında kesme hızının 60 m/dak'dan 120 m/dak çıkarılması ile esas kesme kuvvetlerinde ortalama %21,6 oranında azalma olmuştur. Kesme hızının 120 m/dak'dan, 180 m/dak'ya çıkarılması ile 0,15 mm/dev ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarlarında esas kesme kuvveti sırası ile ortalama % 20,47 ve % 26 oranında görülmüştür. 0,2 mm/dev ilerleme miktarlarında ve 180 m/dak kesme hızında 548,86 N ile en yüksek esas kesme kuvveti ölçülmüştür.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa; 0,7 mm ve 1,2 mm kesme derinliğinde yapılan tormalama deneylerinde ilerleme miktarının artması ile bütün kesme hızlarında esas kesme kuvveti değerlerinin arttığı Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te görülmektedir. Artan ilerleme miktarı ile, büyüyen talaş kesit alanının deforme edilmesi için ihtiyaç duyulan enerjinin artması esas kesme kuvvetinin de artmasına sebep olur [60].

5.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

İşlenen malzemelerin işlenebilirlik açısından değerlendirilmesinde en önemli ölçütlerden birisi de yüzey pürüzlülük değerleridir. Bu nedenle, tormalanan her bir numune eksenlerine paralel olacak şekilde 90° döndürülerek dört farklı yüzeyde gerçekleştirilen yüzey pürüzlülük değerleri ölçümlerinin aritmetik ortalamaları hesaplanarak Ra değerleri bulunmuştur. Deneyler sonucu hesaplanan ortalama yüzey pürüzlülük Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Deney No	Kesme Derinliği (mm)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dak)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)
1	0,7	0,1	60	1,48
2			90	1,34
3			120	0,97
4			150	0,84
5			180	0,56
6		0,15	60	1,88
7			90	1,66
8			120	1,39
9			150	1,26
10			180	1,14
11		0,2	60	2,43
12			90	2,21
13			120	1,94
14			150	1,61
15			180	1,21
16	1,2	0,1	60	1,67
17			90	1,42
18			120	1,31
19			150	1,12
20			180	1,49
21		0,15	60	2,12
22			90	1,91
23			120	1,79
24			150	1,53
25			180	2,02

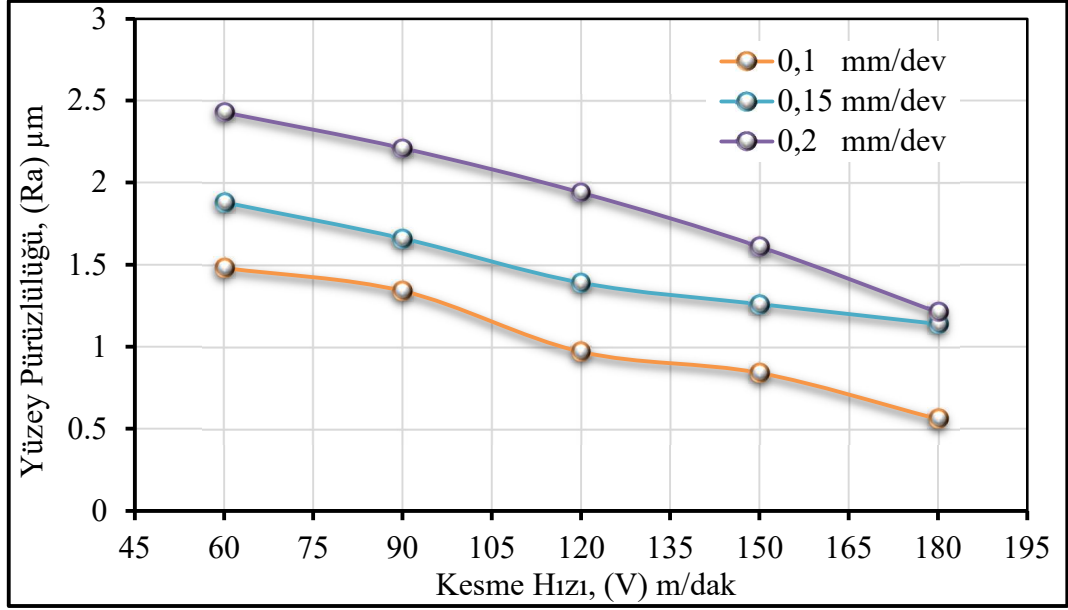
Çizelge 5.2. Devam ediyor.

26	1,2	0,2	60	2,68
27			90	2,39
28			120	2,09
29			150	2,24
30			180	2,77

5.2.1. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi

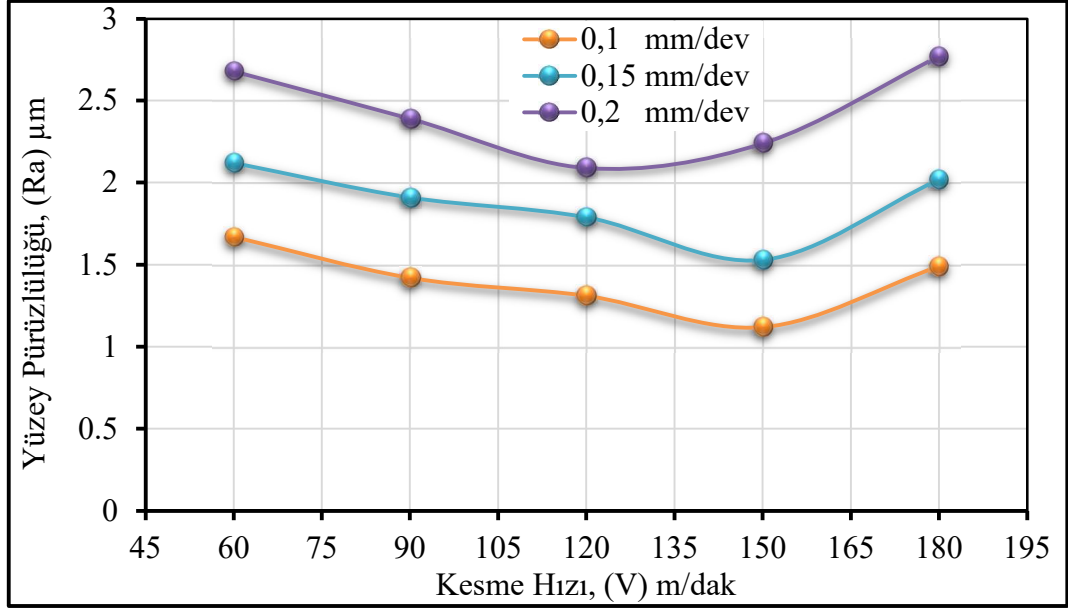
Ph 13-8Mo paslanmaz çeliğin kaplamalı karbür kesici takım ile bes farklı kesme hızında (60, 90, 120, 150 ve 180 m/dak), üç farklı ilerleme miktarlarında (0,1, 0,15 ve 0,2 mm/dev) ve iki farklı kesme derinliğinde (0,7 ve 1,2 mm) tornalama deneyleri yapılmıştır. Tornalama deneyleri sonucu kesme hızlarına, ilerleme miktarlarına ve farklı kesme derinliklerine göre ortalama yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişimin etkisi Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.

0,7 mm kesme derinliğinde, beş farklı kesme hızında ve üç farklı ilerleme miktarında yapılan deneylerde kesme hızının ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi Şekil 5.5'de verilmiştir. 60 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü 1,48 μm ölçülmüştür. İlerleme miktarı sırası ile % 50 (0,15 mm/dev) ve % 100 (0,2 mm/dev) artırılması ile yüzey pürüzlülük değerleride % 27 ve % 64,2 oranlarında artmıştır. Kesme hızının 60 m/dak'dan 180 m/dak'ya kadar artırılması ile 0,1 mm/dev, 0,15 mm/dev ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülük değerlerinde sırası ile ortalama % 62,16, % 39,36 ve % 50,2 oranlarında azalma olmuştur. Ayrıca 0,7 mm kesme derinliğinde, 180 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 0,56 μm ile en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir.



Şekil 5.5. 0,7 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi.

1,2 mm kesme derinliğinde, beş farklı kesme hızında ve üç farklı ilerleme miktarında yapılan deneylerde kesme hızının ortalama yüzey pürüzlülüğü değişimi Şekil 5.6'da sunulmuştur. 60 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü 1,67 µm ölçülmüştür. İlerleme miktarı sırası ile % 50 (0,15 mm/dev) ve % 100 (0,2 mm/dev) artırılması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerleride 2,11 µm ve 2,68 µm olmuştur. Kesme hızının 60 m/dak'dan 150 m/dak'ya kadar artırılması ile 0,1 mm/dev ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarlarında ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde sırası ile ortalama % 49,1 (1,12 µm) ve % 38,56 (1,53 µm) oranlarında azalmış ve kesme hızının 180 m/dak'ya çıkarılması ile ortalama yüzey pürüzlülük değeri % 32,53 oranında artma olmuştur. Kesme hızının 60 m/dak'dan 120 m/dak'ya kadar artırılması ile 0,2 mm/dev ilerleme miktarlarında ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ortalama % 28,23 (2,09 µm) oranında azalmıştır. Kesme hızının 120 m/dak'dan, 180 m/dak'ya çıkarılması ile 2,77 µm en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir.



Şekil 5.6. 1,2 mm kesme derinliğinde yapılan tornalama deneylerinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi.

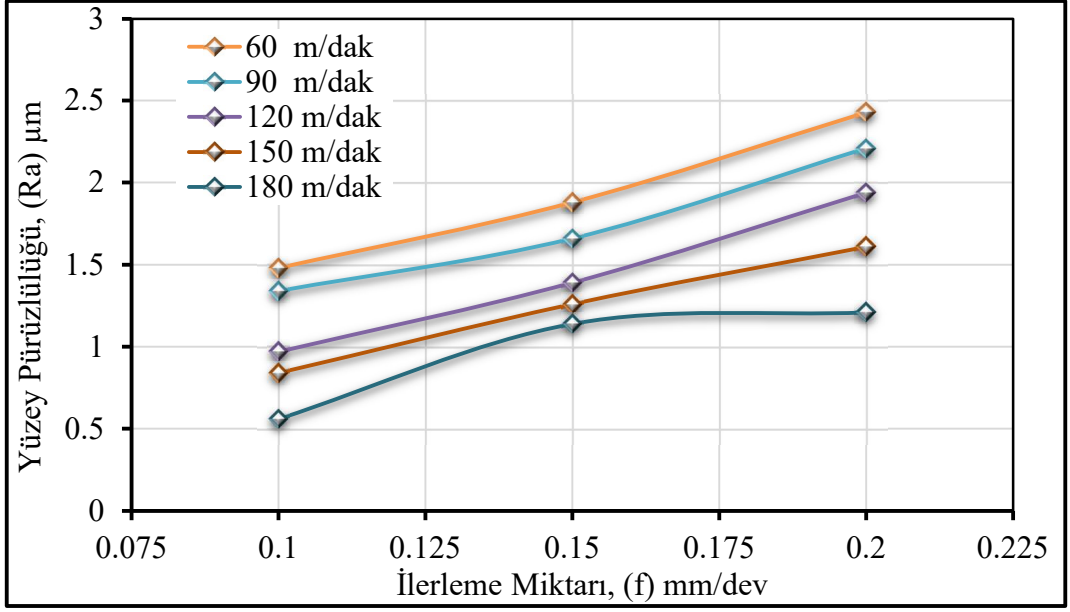
Düşük kesme hızlarında (60 m/dak) ve farklı ilerleme miktarlarında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğünün yüksek çıkması ve kesme hızının artırılması ile azalma gösteren yüzey pürüzlülüğünü, artan kesme hızı ile BUE oluşum eğiliminin azaltılmasıyla kolayca açıklanabilir. Bununla birlikte yapılan literatür araştırmasında kesme hızının artışına bağlı, yüzey kalitesindeki iyileşme, beklenen bir özellik olup iş parçasının yüzey kalitesini iyileştirmek için kesme hızının artırılması literatürde karşılaşılan en yaygın yöntemdir [61,62]. Ancak Şekil 5.6'da bütün ilerleme değerlerinde kesme hızının 120 m/dak ve 150 m/dak'dan sonra kesme hızının 180 m/dak kadar artırılması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin artışı; aşırı kesme hızının artırılması kesici takım aşınmasının daha erken meydana gelmesine neden olacağından, kesme hızının belli bir noktaya kadar artırılması yüzey kalitesi olumlu etkiler iken, kesme hızının daha fazla artırılması yüzey kalitesinde tekrar kötüleşmesine neden olmaktadır [28,63,64]. Kesici takımın aşınma sürecine girerek yüzey pürüzlülüğünün belli değerlerden sonra tekrar artışa geçmesi özellikle kuru işleme şartlarında daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır.

5.2.2. İlerleme Miktarının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi

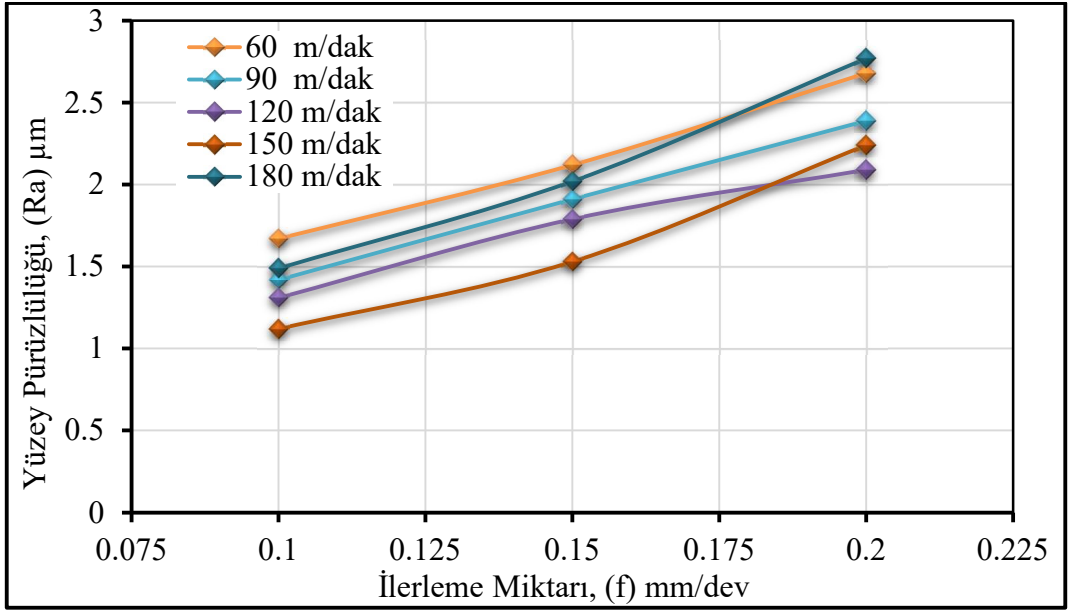
Ph 13-8Mo paslanmaz çeliğin kaplamalı karbür kesici takım ile beş farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve iki farklı kesme derinliğinde (0,7 ve 1,2 mm) yapılan tornalama deneyleri sonucu kesme hızlarına, ilerleme miktarlarına ve farklı kesme derinliklerine göre ortalama yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişimi Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmiştir.

0,7 mm kesme derinliğinde, beş farklı kesme hızında ve üç farklı ilerleme miktarında yapılan deneylerde ilerleme miktarının ortalama yüzey pürüzlülüğü değişimi Şekil 5.7’de sunulmuştur. Şekil 5.7 incelendiğinde bütün kesme hızlarında ilerlemenin artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. 180 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 0,56 µm en düşük yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Yapılan deney sonuçlarında en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 60 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 2,43 µm olduğu görülmüştür. 0,7 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerin sonucu yapılan literatür araştırması ile paralellik göstermektedir [65-67].

Şekil 5.8 incelendiğinde bütün kesme hızlarında ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. İlerleme miktarının artması kesici takımın iş parçası yüzeyinden kaldıracığı talaş hacminin artmasına neden olacağından kesici takımda oluşan tırlamayı artıracığından, ilerleme miktarının artması işlenen yüzeyin pürüzlülüğünü arttırmaktadır. Ayrıca literatürde, ilerleme miktarının artırılması ile yüzey pürüzlülük değerinin artması arasında doğrusal artan bir ilişki olduğu, beklenen bir durum olduğu belirtilmiştir [28]. Şekil 5.8’de verilen deney sonuçlarına göre en yüksek yüzey pürüzlülüğü 180 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 2,77 µm ölçülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü 150 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 1,12 µm olmuştur. Fakat literatür araştırmasına göre, en düşük yüzey pürüzlülüğünün 180 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ölçülmesi beklenirken, en düşük yüzey pürüzlülüğünün 150 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında çıkmasının nedeni 150 m/dak kesme hızından sonra kesici takım ucunda oluşan aşınmalarla açıklanabilir.



Şekil 5.7. 0,7 mm kesme derinliğinde yapılan tormalama deneylerinde ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi.



Şekil 5.8. 1,2 mm kesme derinliğinde yapılan tormalama deneylerinde ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, PH 13-8 Mo çökelme sertleşmeli paslanmaz çelik kaplamalı karbür kesici takımlar ile kuru işleme şartlarında tornalanmasında işleme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. 0,7 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde bütün ilerleme miktarlarında kesme hızının artması ile esas kesme kuvvetlerinde ve ortalama yüzey pürüzlülüklerinde azalma meydana geldiği görülmüştür.
2. 1,2 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde bütün ilerleme miktarlarında kesme hızının belli bir noktaya kadar artırılması ile esas kesme kuvvetlerinde ve ortalama yüzey pürüzlülüklerinde azalma meydana geldiği görülmüştür. Ancak kesme hızının daha da artırılması ile esas kesme kuvvetlerinde ve ortalama yüzey pürüzlülüklerinde artma görülmüştür.
3. 0,7 mm kesme derinliğinde en düşük esas kesme kuvveti 180 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 176,38 N ölçülmüştür. Aynı kesme derinliğinde en yüksek esas kesme kuvveti 60 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 417,5 N olmuştur.
4. 0,7 mm kesme derinliğinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü 180 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 0,56 µm olukun, en yüksek

ortalama yüzey pürüzlülüğü 60 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 2,43 μm ölçülmüştür.

5. 1,2 mm kesme derinliğinde en düşük esas kesme kuvveti 150 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 193,5 N ve en yüksek esas kesme kuvveti 180 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 548,86 N ölçülmüştür.
6. 1,2 mm kesme derinliğinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü 150 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 1,12 μm ve en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü 180 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 2,77 μm ölçülmüştür.
7. Tornalama deneyleri iki farklı kesme derinliğinde gerçekleştirilmiş olup talaş derinliğinin artırılması esas kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini arttırmıştır.

6.2. ÖNERİLER

1. Deneylerde kullanılan Ph 13-8Mo paslanmaz çelik çökelti ile sertleşebilen bir çelik olduğu için farklı ısıl işlemler sonrası işlenebilirliğine incelenebilir.
2. Gerçekleştirilen tornalama deneylerinde tek tip kesici takım kullanılmıştır. Ph 13-8Mo paslanmaz çelik için daha kapsamlı araştırmalar yapılabilmesi amacıyla farklı kesici takım kaplaması ve farklı kesici takım geometrileri kullanılabilir.
3. Yapılan tornalama deneyleri kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın farklı kesme sıları ile işlenmesinde kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılabilir.

4. Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan ısının, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülükleri ile birlikte ölçülerek, ısının işlenebilirlik üzerine etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Odabaş, C., “Paslanmaz Çelikler,” *Kaynak Tek. Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, 3-14 (2004).
2. Can, A. Ç., “Tasarımcı Mühendisler İçin Malzeme Bilgisi” İstanbul (2006).
3. Reiter, A. E., Brunner, B., Ante M. and Rechberger, J., “Investigation of Several PVD Coatings for Blind Hole Tapping in Austenitic Stainless Steel”, *Surf. Coatings Technol.*, (2006).
4. Maranhão, C., and Paulo Davim, J., “Finite element modelling of machining of AISI 316 steel: Numerical simulation and experimental validation”, *Simul. Model. Pract. Theory*, 139-156 (2010).
5. Korkut, İ., Kasap, M., Çiftçi, İ. and Seker, U., “Determination of Optimum Cutting Parameters During Machining of AISI 304 Austenitic Stainless Steel”, *Mater. Des.*, 303-305 (2004).
6. Nalbant, M., Korucu, S. ve Korkut, İ., “Ç1030 ve Ç1060 Malzemelerinin Hidrolik Kopya Aparatı ile İşlenerek Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi”, *7. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, ODTÜ, ANKARA, 1999 (1996).
7. Altınkaya, E., ve Güllü, A., “AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliğin İşlenmesinde Talaş Kırıcı Formunun Takım Aşınmasına ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, *Politek. Derg.*, 11(1): 13-17 (2008).
8. Gennari, W., Pereira, A. A. and Santos, H. L. A., “Application of minimum amount of fluid by spray in turning of AISI 316 stainless steels”, *American Society of Mechanical Engineers, Manufacturing Engineering Division*, MED, 16(1): 69-74 (2005).
9. Ranganathan, S., Senthilvelan, T. and Sriram, G., “Mathematical modeling of process parameters on hard turning of AISI 316 SS by WC insert”, *J. Sci. Ind. Res. (India)*, 68, 592-596 (2009).
10. Akasawa, T., Sakurai, H., Nakamura, M., Tanaka, T. and Takano, K., “Effects of free-cutting additives on the machinability of austenitic stainless steels”, *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144(1): 66-71 (2003).
11. Lin, T. R., “Cutting behavior of a TiN-coated carbide drill with curved cutting edges during the high-speed machining of stainless steel”, *J. Mater. Process. Technol.*, 127, 8-16 (2002).

12. Ay, M., Erdoğan, O. ve Kurt, M., “CNC freze tezgahlarında yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin belirlenmesi”, **3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, 317-329 (2003).
13. Boy, M., Demir, H. ve Korkut, İ., “Vanadis 10 soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)**, Karabük (2009).
14. Develi, K., “Ostenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında argon hidrojen karışımının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 6-26 (2003).
15. Çakır, M. C., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, **Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayını**, Bursa, 35-42 (1999).
16. Güventürk, F., “Çelik El Kitabı”, **Güven Çelik San. ve Tic. Ltd. Sti. Yayınları**, İzmir, 35-41 (1990).
17. Erdoğan, M., “Mühendislik Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Cilt 1”, **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara, 235-237 (1998).
18. Aydın, T., “Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında kullanılan gazlar ve etkileri” Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 140-145 (2002).
19. Aran, A. ve Temel, M. A., “Paslanmaz Çelik Üretimi”, **Sarıtaş Teknik Yayın**, İstanbul, 22-29 (2004).
20. Gülsoy, H. Ö., “Toz Enjeksiyon kalıplama metodu ile üretilmiş 17-4 pH paslanmaz çelik parçalara yapılan iki tip bor ilavesinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi”, Doktora Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 150-168 (2003).
21. Pınar, A. M. ve Güllü, A., “Dairesellik Hatası Ölçümünde Kullanılan Yöntemlerin İncelenmesi”, **Politeknik Dergisi**, 137-144 (2007).
22. Özdemir, U. ve Erten, M., “Talaşlı imalat sırasında kesici takımında meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri”, **Havacılık ve Uzay Teknol. Derg.**, 37-38 (2003).
23. Çiftçi, İ., “Kesici takımlar ve kesme teorisi, ders notları”, **Karabük Üniversitesi Tek. Eğitim Fakültesi**, Karabük (2011).
24. Ezugwu, E. O., “Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys”, **Int. J. Mach. Tools Manuf.**, 45:12-13, 1353-1367 (2005).
25. DeGarmo, E. P., Black, J. T. and. Kohser, R. A., “Materials and Processes in Manufacturing” **Prentice-Hall Inc.**, New Jersey (1997).

26. Özçatalbaş, Y., “1050, 4140, 8620 Çeliklerinin ısıtılma işlemle değişen mikroyapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlikleri”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 52-163 (1996).
27. Uzun, G., “Farklı ısıtılma işlemlerinin Ç 5140 çeliğinin işlenebilirliğine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 10-50 (2008).
28. Sandvik C., “Modern metal cutting-a practical handbook, English Edition”, **Sandvik Coromant Sweden**, 20-100 (1994).
29. Korkmaz, M. E., “Nikel esaslı alaşımın (Nimonic 80A) malzeme yapısal denklem parametrelerinin belirlenmesi ve uygulanabilirliğinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük (2018).
30. Zhang, J. H., “Theory and Technique of Precision Cutting”, **Pergamon Press**, 1-50 (1991).
31. Remadna, M. and Rigal, J. F., “Evolution during time of tool wear and cutting forces in the case of hard turning with CBN inserts” **J. Mater. Process. Technol.**, 175:1-3, 67-75 (2006).
32. Al-Athel, K. S. and Gadala, M. S., “The use of volume of solid (VOS) approach in simulating metal cutting with chamfered and blunt tools”, **Int. J. Mech. Sci.**, 53(1): 23-30 (2011).
33. Shaw, M. C., “Metal cutting principles”, **Oxford University Press**, Oxford (1989).
34. Kalpakjian, S. and S. R. Schmid, “Manufacturing Processes for Engineering Materials”, **Prentice Hall**, New Jersey (2003).
35. Sundaram, S., Senthilkumar, P., Kumaravel, A. and Manoharan, N., “Study of Flank Wear Monitoring in Single Point Cutting Tool using acoustic emission sensor techniques”, **ARPJ. Eng. Appl. Sci.**, 32-36 (2008).
36. Şahin, Y., “Talaş kaldırma prensipleri, 1. Cilt”, **Nobel Yayıncılık Ltd. Şti.**, Ankara, 170-306 (1993).
37. Asil Çelik A. Ş., “İşlenebilirlik ve kalsiyum uygulaması”, Ful Ajans, **Teknik Yayınlar**, Ankara, 1-25 (1994).
38. Liew, W. Y. H., Hutchings, I. B. and Williams, J. A., “The Interaction Between Tool Material, Environment and Processes Conditions in The Machining of Aluminium Alloy”, **Mach. Sci. Technol.**, 3, 273-286 (1999).
39. Mills, B. and Redford, A. H., “Machinability of Engineering Materials”, **Applied Science Publishers Ltd.**, New York (1993).

40. Aydın, B., “AA 2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşlemleri ile Değiştirilen İşlenebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2002).
41. Geoffrey, B. and Winston, A. K., “Fundamentals of Machining and Machine Tools”, *Springer London*, London (1989).
42. Lin, W. S., Lee, B. Y. and Wu, C. L., “Modeling the surface roughness and cutting force for turning”, *J. Mater. Process. Technol.*, 286-293 (2001).
43. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları”, *Birsan Yayın Evi*, İstanbul (1998).
44. Yontar, A. A., “AISI 304 Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2011).
45. Yeyen, H. E., “AISI 303 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2006).
46. Yaşar, N., “Plastik Kalıp Çeliklerinin Özgül Kesme Direncinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2011).
47. Sürücü, S., “Tornalamada kesme parametrelerindeki değişime göre kesme kuvvetlerinin tahmini için matematiksel bir model geliştirme”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2010).
48. Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri”, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara (1999).
49. Mendi, F., “Takım Tezgâhları Teori ve Hesapları”, *TDFD Ltd. Şti. Yayınları*, Ankara, (1996).
50. Şirin, Ş., “Al₂O₃ Seramik malzemenin talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirilmesinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2012).
51. Kaya, E., “Farklı Kesici Takım Malzemeleri Kullanarak NiTi Şekil Hafızalı Alaşımların İşlenebilirlik Davranışlarının Araştırılması ve Performans Parametrelerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Teknik Üniversitesi*, Eskişehir (2019).
52. Kuş, A., “AISI 52100 rulman çeliğinin tornalanmasında uygun kesici takım ve kesme parametrelerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2013).
53. Özdemir, Ö., İpek, M. ve Zeytin, S., “Kesici takım malzemeleri”, *MMO Mühendis ve Makine*, 2-9 (2000).

54. Costes, J. P., Guillet, Y., Poulachon, G. and M. Dessoly, "Tool-life and wear mechanisms of CBN tools in machining of Inconel 718", *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 47(7): 1081-1087 (2007).
55. Basavarajappa, S., Suresh, R., Gaitonde V. N. and Samuel, G. L., "Analysis of cutting forces and surface roughness in hard turning of AISI 4340 using multilayer coated carbide tool", *Int. J. Mach. Mach. Mater.*, 2(16): 169-185 (2014).
56. Ebrahimi, A. and Moshksar, M. M., "Evaluation of machinability in turning of microalloyed and quenched-tempered steels: Tool wear, statistical analysis, chip morphology", *J. Mater. Process. Technol.*, 910-921 (2009).
57. Philip Selvaraj, D., Chandramohan, P. and Mohanraj, M., "Optimization of surface roughness, cutting force and tool wear of nitrogen alloyed duplex stainless steel in a dry turning process using Taguchi method", *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, 49, 205-215 (2014).
58. Sivaraman, V., Sankaran, S. and Vijayaraghavan, L., "The effect of cutting parameters on cutting force during turning multiphase microalloyed steel", *Procedia CIRP*, 157-160 (2012).
59. Çiçek, A., Kıvak, T., Turgut, Y., Uygur, İ. ve Ekici, E., "Derin kriyojenik işlemin kesme kuvvetleri, delik çapları ve takım ömrü üzerine etkileri", *6th Int. Adv. Technol. Symp. (IATS'11)*, Elazığ, 33-36 (2011).
60. Işık, Y., "Investigating the machinability of tool steels in turning operations", *Mater. Des.*, 1417-124 (2007).
61. Ciftci, I., "Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools", *Tribol. Int.*, 39(6): 565-569 (2006).
62. Gökkaya, H., Sur, G. ve Dilipak, H., "PVD ve CVD kaplamalı sementit karbür kesici takımların işleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi", *Karabük Üniversitesi Teknol. Derg.*, 7:3, 473-478 (2004).
63. Günay, M., "Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması" Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2009).
64. Trent, E. M., "Metal Cutting", *Butterworths Press*, 1-171 (1989).
65. Yeyen, H. E., Korkut, İ., Turgut, Y. ve Çiftçi, İ., "AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri", *5. Uluslararası İleri Teknol. Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük (2009).

66. Abdullah, M. F., Sulong, A. B., Chua, I. H., Haron, C. H. C. and Ghani, J. A., "Effects of insert nose radius and machining parameters on the surface roughness of stainless steel 316L", *Key Engineering Materials*, 51-54, 447-448 (2010).
67. Philip Selvaraj, D. and Chandramohan, P., "Optimization of surface roughness of AISI 304 austenitic stainless steel in dry turning operation using Taguchi design method", *J. Eng. Sci. Technol.* (2010).

ÖZGEÇMİŞ

İlhan Ercan, 1989 yılında Zonguldak'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini tamamladıktan sonra Zonguldak Endüstri Meslek lisesinde CNC bölümü okudu. 2006-2008 yılları arasında Ankara Üniversitesi Çankırı Meslek Yüksek okulunda Makine bölümünde okudu. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliğine başladı ve 2014 yılında mezun oldu. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Tepebaşı Mah. Hakkı Hilalci Sk. No:28/A
Zonguldak/Merkez
Tel : (537) 6870532
E-posta : ilhanercann@hotmail.com