

**DEMİR BAZLI SÜPER ALAŞIMLARIN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Osman BIYIK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİMDALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2016

Osman BIYIK tarafından hazırlanan “DEMİR BAZLI SÜPER ALAŞIMLARIN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Gazi Üniversitesi İLERİ TEKNOLOJİLER Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Ahmet TAŞKESEN

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Başkan : Prof. Dr. Kürşad DÜNDAR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Atılım Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Doç. Dr. Adnan AKKURT

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi: 29/04/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

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

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

Osman BIYIK

29/04/2016

DEMİR BAZLI SÜPER ALAŞIMLARIN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Osman BIYIK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2016

ÖZET

Bu çalışmada, üç farklı kaplamalı karbür matkap kullanılarak A 286 demir bazlı süper alaşımının kuru şartlar altında delme testleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici takımların uç açıları 120° ve 140° ve kaplama çeşitleri TiN, TiAlN ve AlCrN olarak belirlenmiştir. Kesme parametreleri gri ilişki analizi ile optimize edilmiştir. Kesme hızı, ilerleme, kesici takım malzemesi ve bunların etkileşimlerinin itme kuvveti, tork ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri belirlenmiştir. Deneylerde Taguchi'nin L18, 3-seviyeli, 3-faktörlü ortogonal dizisi kullanılmıştır. Ayrıca, minimum delme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve çap hatası elde edebilmek için en uygun delme parametreleri belirlenmiştir. Genel olarak, 120° uç açısına sahip TiAlN kaplı matkaplar düşük kuvvetlerde çalışmıştır. İlerlemenin artışına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin artışı gözlenmiştir. İlerleme miktarının artışı yüzey pürüzlülüğünü de arttırmış, kesme hızının artması ise yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü AlCrN kaplı matkaplarla yapılan deneylerde ölçülmüştür. Aynı kesici takım ile ikinci kez delme işlemi gerçekleştiğinde; işlem esnasında meydana gelen sıcaklıkla, kaplaması kalkmış matkaplarda talaş yapışmasının arttığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : Demir bazlı süper alaşım, işlenebilirlik, delme, optimizasyon
Sayfa Adedi : 108
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Ahmet TAŞKESEN

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE MACHINABILITY OF IRON BASED SUPERALLOYS

(M.Sc. Thesis)

Osman BIYIK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2016

ABSTRACT

In this study, A 286 iron-based super alloy was tested for drilling with three different coated carbide tools in dry cutting conditions. The point angles of the cutting tools used in the experiments were specified as 120° and 140°, and the coatings were chosen as TiN, TiAlN and AlCrN. Cutting parameters were optimized with Grey Relational Analysis. The effects of cutting speed, feed, tool material and their interactions on drilling forces, torque and surface roughness were determined. In the experiments, Taguchi's L18 3-Level and 3-Factor Orthogonal Array were used. Moreover, in order to obtain minimum drilling force, surface roughness and diameter error, optimum drilling parameters were found. Generally, TiAlN coated drills having 120° point angle produced lower drilling forces. Increasing the feed rate caused an increase in the cutting forces. The increase in the feed increased the surface roughness while the increase in cutting speed decreased the surface roughness. The minimum surface roughness was measured with AlCrN coated drills. When the second drilling attempt with the same cutting tools was done, more built-up edge was observed in the drilling tools due to the increasing cutting temperature.

ScienceCode : 91438
KeyWords : Iron based superalloy, machinability, drilling, optimisation
PageNumber : 108
Adviser : Assoc. Prof. Dr. Ahmet TAŞKESEN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarında ve hayatımda bana desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca beni yönlendiren ve katkılarını hiç esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Ahmet TAŞKESEN'e yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım ve çalışmalarına katkılarından dolayı Doç. Dr. Yunus KAYIR'a ayrıca teknik anlamda katkılarını esirgemeyen NAVİGA mühendislik ile Hakkı Usta Oğulları Mak. San. Tic. Ltd. Şti ve deney sonuçlarının ölçümlerinde ve laboratuvar alanının kullanımında (Çekme testi, sertlik, mikro yapı ve SEM ölçümlerinde) bana katkı sağlayan Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Malzeme ve Metalürji mühendisliği bölümü hocalarıma tüm katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1. Nikel, Kobalt ve Demir Bazlı Süper Alaşımların İşlenebilirliği Üzerine Yapılan Çalışmalar	3
2.1.1. Kesme kuvvetleri ve modelleme ile ilgili çalışmalar	6
2.1.2. Yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve oluşan sıcaklıklar üzerine yapılan çalışmalar.....	9
2.2. Demir Bazlı Süper Alaşımların Delme İşlenebilirliği Üzerine Yapılan Çalışmalar	14
2.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi	14
2.4. Genel Değerlendirme	15
3. SÜPER ALAŞIMLARIN SINIFLANDIRILMASI VE İŞLENEBİLİRLİĞİ	17
3.1. Süper Alaşımların Sınıflandırılması	17
3.1.1. Demir bazlı süper alaşımlar ve A 286 süper alaşımı	21
3.1.2. Kobalt bazlı süper alaşımlar	26

	Sayfa
3.1.2. Nikel bazlı süper alaşımlar	27
3.2. Delme İşlenebilirliği.....	28
3.2.1. Süper alaşımların işlenmesinde kullanılan kesici takımlar	33
3.2.2. Delme esnasında oluşan kuvvetler ve bunların ölçülmesi.....	41
3.2.3. Yüzey pürüzlülüğü.....	43
3.2.4. Delik daireselliği ve silindirikliği	46
4. DENEYSEL İŞLEMLER VE METOT	47
4.1. A 286 Süper Alaşımının Karakterizasyonu	47
4.1.1. Mikroyapı incelemeleri	47
4.1.2. Sertlik ölçme deneyi	48
4.1.3. Çekme deneyi.....	48
4.2. Delme Deneyleri.....	49
4.2.1. Delme deneylerinde kullanılan kesici takımlar.....	49
4.2.2. Delme deneylerinde kullanılan takım tezgahı ve işleme parametreleri....	51
4.2.3. İlerleme kuvveti ve kesme momentinin ölçümü	54
4.2.4. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü	56
4.2.5. Dairesellik ve silindirikliğin ölçümü	56
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	57
5.1. Mikroyapı ve Mekanik Özellikler	57
5.2. A 286 Süper Alaşımının Delinebilirlik Özellikleri	59
5.2.1. İlerleme kuvveti ve kesme momentinin değerlendirilmesi	59
5.2.2. Delme sonrası oluşan deliklerin ölçüsü.....	63
5.2.3. Delme sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu.....	64
5.3. Deney Sonuçlarının Optimizasyonu.....	71

	Sayfa
5.3.1. Faktörlerin tekli performans analizi.....	72
5.3.2. Gri ilişki analizi ile çoklu optimizasyon.....	77
5.3.3. Anova analizi	85
6.SONUÇ VE ÖNERİLER	87
6.1. İlerleme Kuvveti ve Kesme Momenti	87
6.2. Delik Ölçüsü	87
6.3. Yüzey Pürüzlülüğü ve Talaş Oluşumu.....	88
6.4. Çoklu Optimizasyon.....	88
6.5. Öneriler	88
KAYNAKLAR	91
EKLER.....	99
EK-1. A 286 Süper alaşımına ait sertifika	100
EK-2. A 286 Süper alaşımına ait standartlar	101
EK-3. Deneylerde kullanılan matkaba ait detaylar	102
EK-4. Delme deneyleri sonrası deliklerin SEM görüntüleri.....	103
EK-5. Deney sonucu oluşan talaşlar	106
ÖZGEÇMİŞ	108

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Süper alaşımların sınıflandırılması.....	18
Çizelge 3.2. Süper alaşımlarda gözlenen bileşenler.....	19
Çizelge 3.3. A 286 Süper alaşımının bileşenleri.....	23
Çizelge 3.4. A 286 Süper alaşımının fiziksel özellikleri	23
Çizelge 3.5. A 286 Süper alaşımının elektriksel ve termal özellikleri.....	24
Çizelge 3.6. Ticari olarak kullanılan nikel esaslı süper alaşımlar.....	28
Çizelge 3.7. Kesici takım malzemeleri	40
Çizelge 3.8. Karbür uçların kullanım alanları.....	41
Çizelge 3.9. TSE tarafından belirlenen tolerans çeşitleri ve sembollerin bir kısmı.....	46
Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan matkaplar	50
Çizelge 4.2. Deney için hazırlanan parametreler (L18-2*1 ve 3*3).....	52
Çizelge 4.3. İşleme şartları.....	53
Çizelge 4.4. Deney planı	53
Çizelge 4.5. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu	54
Çizelge 5.1. Sertlik ölçüm sonuçları (HV).....	58
Çizelge 5.2. Çekme testi sonuçları (MPa)	58
Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan faktör ve seviyenin Taguchi'nin L18 ortogonal dizisine yerleştirilmiş hali ve elde edilen sonuçlar	72
Çizelge 5.4. İtme kuvveti ve kesme momenti için cevap tablosu	73
Çizelge 5.5. Yüzey pürüzlülüğü ve toplam çap hatası için cevap tablosu	73
Çizelge 5.6. İtme kuvveti, kesme momenti ve yüzey pürüzlülük değerine ait normalizasyon gri ilişki katsayı ve gri ilişki derecesi değerleri.....	80
Çizelge 5.7. Doğrulama deneyleri	82
Çizelge 5.8. Faktörlere ait gri ilişki derecelerinin etkileri	82

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.9. Gri ilişki derecesinin varyans analizi.....	86
Çizelge 5.10. Faktörlerin etkisi dikkate alındığında gri ilişki derecesinin varyans analizi	86

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Periyodik tablo üzerinde elementlerin süper alaşımlardaki işlevleri	17
Şekil 3.2. Yaşlandırılmış A 286 alaşımının çekme özellikleri.....	25
Şekil 3.3. Yaşlandırılmış A 286 alaşımının kopma mukavemeti ve akma dayanımı	25
Şekil 3.4. Delme performansını belirleyen kriterler	30
Şekil 3.5. Matkap özelliklerinin delme işlemine etkisi.....	31
Şekil 3.6. İş parçasının özelliklerinin delme işlemine etkisi.....	31
Şekil 3.7. Soğutma sıvısının delme işlemine etkisi.....	32
Şekil 3.8. Tezgah tasarımının delme işlemine etkisi.....	32
Şekil 3.9. Matkabin kısımları.....	34
Şekil 3.10. Matkaptaki kesici kenarlar.....	35
Şekil 3.11. Matkaptaki yüzeyler	35
Şekil 3.12. Matkaptaki uç, helis ve enine kesme açıları	36
Şekil 3.13. Matkaptaki kesme açıları.....	36
Şekil 3.14. Delme işleminde oluşan kesme kuvvetleri	42
Şekil 3.15. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin tanımlanması	45
Şekil 4.1. Delme deneylerinde kullanılan deney düzeneği	55
Şekil 5.1. Grafik üzerinde çekme testi sonuçları (MPa)	59
Şekil 5.2. Matkaba gelen kuvvetler.....	60
Şekil 5.3. Dinamometreden alınan kuvvet ve moment grafiği	60
Şekil 5.4. 120°'lik matkapların Fz (N) kuvvetleri	61
Şekil 5.5. 140°'lik matkapların Fz (N) kuvvetleri	61
Şekil 5.6. Deneyler sonrası oluşan delik çapları	64

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. 120°'lik matkapların farklı ilerleme oranlarındaki yüzey pürüzlülüğü Ra(μm).....	65
Şekil 5.8. 140°'lik matkapların farklı ilerleme oranlarındaki yüzey pürüzlülüğü Ra(μm).....	65
Şekil 5.9. Kaplamalara ve uç açlarına göre yüzey pürüzlülüğü	68
Şekil 5.10. Faktörlerin itme kuvvetine etkisi	74
Şekil 5.11. Faktörlerin kesme momentine etkisi.....	75
Şekil 5.12. Faktörlerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	75
Şekil 5.13. Faktörlerin çap hatasına etkisi	77
Şekil 5.14. Her faktör ve seviyelerin ortalama gri ilişki dereceleri etki grafiği.....	83
Şekil 5.15. Doğrulama deneylerinin gri ilişki derecesi.....	85

RESİMLERİN ÇİZELGESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Çekme testi sonrası numuneler	49
Resim 4.2. Deneylerde kullanılan malzemenin boyutu (mm)	50
Resim 4.3. Deneylerde kullanılan TiN kaplı 120°'lik matkap.....	50
Resim 4.4. TiN kaplı 140°'lik matkap.	51
Resim 4. 5. TiAlN kaplı 120°'lik matkap.	51
Resim 4.6. TiAlN kaplı 140°'lik matkap.	51
Resim 4. 7. AlCrN kaplı 120°'lik matkap.	51
Resim 4.8. AlCrN kaplı 140°'lik matkap.	51
Resim 4.9. Dikey işlem merkezi	52
Resim 4.10. Kistler dinamometre	55
Resim 5.1. A 286 süper alaşımının mikro yapı görüntüsü.....	57
Resim 5.2. TiN kaplamalı 120°'lik matkap (İkinci tekrarda kırılan matkap).....	62
Resim 5.3. TiN kaplamalı 140°'lik matkabın SEM görüntüsü.	63
Resim 5.4. Yüksek sıcaklık sonucu matkap ucunda meydana gelen deformasyon	66
Resim 5.5. En kötü yüzey pürüzlülüğü ölçülen deliğin SEM görüntüsü.....	67
Resim 5.6. En iyi yüzey pürüzlülüğü ölçülen deliğin SEM görüntüsü.....	67
Resim 5.7. Farklı kesme hızlarında oluşan talaş tipleri	70
Resim 5.8. Delme işlemi sonrasında takıma sarılan talaş.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Al	Aluminum (Alüminyum)
AlN	Alüminyum nitrür
Al₂O₃	Aluminum oxide (Alüminyum oksit)
Al7XXX	7000 serisi alüminyum alaşımı
Al7075	7075 serisi alüminyum alaşımı
AlCrN	Aluminium chromium nitride (Alüminyum krom nitrür)
AlTiN	Aluminium titanium nitride (Alüminyum titanyum nitrür)
BUE	Talaş sıvanması
cph	kapalı paket hegzagonal yapı
Cr	Chromium (Krom)
CrCN	Krom karbonitrür (Chromium carbonitride)
Cu	Copper (Bakır)
D	Çap (mm)
d	Yoğunluk (g/cm ³)
de	Toplam çap hatası
E	Elastikiyet modülü (MPa)
f	İlerleme hızı (mm/dev)
F_a/F_z	İlerleme kuvveti (N)
F_c/F_s	Kesme kuvveti (N)
Fe	Ferrite (Demir)
f_e	Hatanın serbestlik derecesi
Fr/F_{rz}	Radyal kuvvet
Ft	Teğet kuvvet
F_{test}	Varyans analizi
FT	Kesme kuvvetlerinin tamamı

Simgeler	Açıklama
F-tablo	F değerlerine ait standart tablo
F_x	X eksenindeki tepki kuvveti (N)
F_y	Y eksenindeki tepki kuvveti (N)
F_α(1,f_e)	%95'lik önem aralığındaki F-tablo değeri olup
GKT	Toplama ait genel kareler toplamı
gcp	Geometrik sıkı paket
h	Talaş kalınlığı (mm)
HCL	Hydrochloric acid (Hidrolik asit)
HNO₃	Nitric acid (Nitrik asit)
HRC	Rockwell hardness (Rokvel sertliği)
HSS	High speed steel (Yüksek hız çeliği)
HV (VHN)	Vickers hardness (Vickers sertliği)
H₂	Hidrojen
k	Performans karakteristiğini önemli derecede etkileyen işleme parametrelerinin sayısı
k_s	Özgül kesme basıncı (N/mm ²)
m	Metre
mm	Milimetre
M_c (M_z)	Kesme momenti (Ncm)
Mg	Magnesium (Magnezyum)
Mn	Manganese (Mangan)
Mo	Molybdenum (Molibden)
n	Devir sayısı (dev/dak)
NaCl	Sodium Chloride (Sodyum klorür)
Ni	Nickel (Nikel)
N₂	Azot
P	Pressure (Basınç)
Pb	Lead (Kurşun)
r	Radyal mesafe
R	Doğrulama deneylerinin tekrar sayısını
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (μm)

Simgeler	Açıklama
R_i	O merkezli çemberin yarıçapı
Si	Silicon (Silisyum)
SiAlON	Silisyum-Alüminyum oksinitrür
SiC	Silicon carbide (Silisyum karbür)
Si_3N_4	Silikon nitrat
SiO_2	Silisyum dioksit
S/N (η)	Signal/Noise (Sinyal/Gürültü)
sph	Sıkı paket hegzagonal yapı
Ti	Titanium (Titanyum)
TiAl	Titanium aluminum (Titanyum alüminyum)
TiAlC	Titanium aluminum carbon (Titanyum alüminyum karbon)
TiAlN	Titanium aluminium nitride (Titanyum alüminyum nitrür)
TiCN	Titanium carbonitride (Titanyum karbonitrür)
TiN	Titanium nitride (Titanyum nitrür)
Ti6Al4V	%6 Al, %4 V geri kalan kısmını da titanyumun oluşturduğu alaşımlı malzeme
V	Vanadium (Vanadyum)
Var	Varyans
Var_e	Hatanın varyansı
VB	Yanak aşınması (flankwear) mm
V_B	Serbest yüzey aşınma miktarı (mm)
V_{Bmax}	Maksimum serbest yüzey aşınma miktarı (mm)
V_c	Cutting speed (Kesme hızı, m/dak)
V_i	Her hangi bir noktanın kesme hızı
$x_i(k)$	k. performans karakteristiğinin i. deneyine ait normalleştirme sonucunu
$x_j(k)$	Özgül karşılaştırma serisi
$x_i^0(k)$	k. performans karakteristiğinin i. deneyine ait normalleştirilecek değeri
x^0	İstenilen ideal değer

Simgeler	Açıklama
$x_0(k)$	Referans serisi
y_{ij}	Ölçülen karakteristik değer
Y_{tahmin}	S/N değerine karşılık gelen gerçek değer
Zn	Zinc (Çinko)
Zr	Zirconium (Zirkonyum)
α	alfa
β	Delme vuruş açısı
dB	Desibel
Φ	Kesme açısı($^{\circ}$)
ε	Kayma açısı ($^{\circ}$)
ψ	Uç açısı ($^{\circ}$)
φ	Enine kesici kenar açısı ($^{\circ}$)
θ	Helis açısı($^{\circ}$)
η	Eğim açısı($^{\circ}$)
γ'	İlk gama fazı
γ''	İkinci gama fazı
$\gamma(x_0, x_i)$	Gri bir sistemdeki x_i serisi ile x_0 serisi arasındaki geometrik bezerliğin ölçüsü
$\hat{\gamma}$	Gri ilişki derecesi
$\bar{\gamma}_i$	Optimum seviyedeki gri ilişki derecesi ortalamasını
$\hat{\gamma}_{egg}$	Gri ilişki derecesi değeri
γ_m	Gri ilişki derecelerinin toplamının ortalaması
ε	Matkabın uç açısı
ε_U	Kopma uzaması (%)
μ	Hesap edilen seviyedeki aritmetik ortalama
ξ	Ayırt etme katsayısı
Σ	Matematikte toplama sembolü
σ	Ortalama kareler toplamı
σ_U	Çekme mukavemeti (MPa)
σ_f	Eğilme mukavemeti (MPa)

Kısaltmalar	Açıklama
AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzemeler Derneği)
CBN	Cubic Boron Nitride (Kübik Bor Nitrür)
C.I.	Confidence Interval (Güven aralığı)
CMM	Coordinate Measuring Machine (Koordinat Ölçme Tezgâhı)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
CVD	Chemical Vapor Deposition (Kimyasal Buhar Yoğuşturma)
DIN	Deutsches Institut für Normung (Alman Standartlar Enstitüsü)
EDM	Electrical Discharge Machining (Elektro Erozyon ile İşleme)
EN	European Norm (Avrupa Standardı)
FEM	Finite Element Model (Sonlu Eleman Modeli)
GİK	Gri İlişki Katsayısı
HMT	Hacim Merkezli Tetragonal
HSM	High Speed Machining (Yüksek hızlı işleme)
KYM	Kübik Yüzey Merkezli
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilâtı)
MMK	Metal Matrisli Kompozit
MQL	Minumum Quantity Liquid (Minimum Miktarda Yağlayıcı)

Kısaltmalar	Açıklama
PVD	Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Yoğuşturma)
RSM	Response Surface Methodology (Yanıt Yüzey Metodu)
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TEM	Transmission Electron Microscope (Geçişli Elektron Mikroskobu)
TIG	Tungsten Inert Gas
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
USB	Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)
vb.	ve benzeri
YMK	Yüzey Merkezli Kübik Yapı
XRD	X-Ray Diffraction (X-Işını Kırınımı)

1. GİRİŞ

Giderek kullanım alanı artan süper alaşımlar bileşimindeki malzeme yoğunluğuna göre demir, nikel ve kobalt bazlı olarak üç ana grupta toplanmıştır. Süper alaşımların ana yapısında demir, nikel ve kobalt bulunmakta; bunun yanı sıra yüksek miktarda krom, düşük miktarda wolfram, molibden, magnezyum, alüminyum ve titanyum içermektedir. Süper alaşımlar, yüksek sıcaklık dayanımına, iyi bir korozyon direncine, sürtünme dayanımına ve yüksek sıcaklıklarda metalürjik değişimlere karşı koyabilme özelliğine sahiptir [1].

Süper alaşımlar ilk olarak 1950-1970 arasında östenitik paslanmaz çelikten faydalanılarak geliştirilmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte farklı malzemeler bir araya getirilerek çeşitli mekanik özellikler kazandırılmıştır ve kullanım alanları genişlemiştir. Geliştirilen süper alaşımlar; uçak, gemi, roket tahrik sistemleri, petrol, kimya, nükleer reaktörler, denizaltı uygulamaları gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır [2].

Talaşlı imalatta işlenebilirlik, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi kesme şartları altında işleme kolaylığı veya zorluğu olarak tanımlanmaktadır. İşlenebilirlik: (1) takım ömrü, (2) yüzey kalitesi, (3) kuvvet ve güç gereksinimleri, (4) talaş kontrolü ve oluşan sıcaklık miktarı ile ifade edilir ve bir malzemenin işlenebilirliği bu dört parametrenin ölçümüyle değerlendirilmektedir [2]. Süper alaşımların yukarıda belirtilen malzeme özellikleri, düşük termal iletkenliği ve mükemmel sertliğinden dolayı takım sıcaklığı kolayca yükseltilmekte ve pekleşme meydana gelmektedir [3]. Aynı şekilde imalat sırasında meydana gelen yoğun sıcaklıkla birlikte metalürjik değişim sonucu beyaz katman adı verilen bir katman oluşmaktadır. Oluşan beyaz katman, yüzey tamliğini ve işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden, karbür ve seramik takımlarla süper alaşımların işlenmesinde doğru parametrelerin seçimi oldukça önemlidir.

Talaşlı imalatın bir parçası olan delme işlemi, helisel yapıya sahip matkap kullanılarak klasik tezgâhlarda veya Bilgisayarlı Sayısal Denetimli (CNC) tezgâhlarında malzeme üzerinden talaş kaldırmak şeklinde tanımlanabilir. Talaş kaldırma esnasında önemli ölçüde oluşan sıcaklığı azaltmak için soğutma sıvısı da kullanılmaktadır. Bu sayede işleme esnasında meydana gelen sıcaklığın, kullanılan takıma ve malzemeye vereceği zarar azaltılmaya çalışılır. Uzun zamandır kullanılan bu soğutma tekniğinin yanı sıra son yıllarda

gelişen teknolojiyle kuru işleme (dry machining) ve minimum miktarda yağlayıcı (MQL) teknikleri de uygulanmaktadır.

Demir esaslı süper alaşımların delinmesi ile ilgili literatürde oldukça az çalışma bulunmaktadır.

Klocke ve arkadaşları yaptıkları çalışmada süper alaşımlarda delme işleminin zorluğunu gösteren bazı sonuçlara ulaşmıştır [4]. Bu zorlukları;

- * Takımın dış çapından merkeze gidildikçe sifıra yaklaşan kesme hızına,
- * Matkap üzerindeki kanalların oluşturduğu zıt yöndeki ilerlemenin talaş kaldırılmasını zorlaştırmasına,
- * Sürtünme ve talaş yapışmasının, kesici takım ile delik duvarı arasında oluşması ve dışarıdan uygulanan soğutma sıvısının matkabın ucuna yeterli miktarda ulaşamamasına, bağlamışlardır.

Bu tez çalışmasında, demir esaslı A286 süper alaşımına, dik işleme merkezinde kuru kesme şartlarında delme işlemi uygulanarak, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, daireselliği ve silindirikliği incelenmiştir. Deneylerde kullanılan karbür kesici takımların uç açıları 120° ve 140° ve kaplama çeşitleri TiN, TiAlN ve AlCrN olarak belirlenmiştir. Üç farklı ilerleme ve kesme hızı değerleri seçilmiştir. Deney sayısını azaltmak amacıyla, Taguchi deney tasarımı yapılmış ve deney sonuçları bilgisayar ortamında kayıt altına alınarak yorumlanmıştır. Matkap uç açısı ve kesici takım malzemesinin, işleme esnasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür araştırması, demir esaslı süper alaşımların işlenebilirliği ile ilgili yapılan çalışmaların oldukça az olması sebebiyle diğer süper alaşımların incelenmesiyle desteklenmiştir. Demir bazlı A286 süper alaşımın mekanik özelliklerinden yararlanılarak, Inconel ve paslanmaz çelik malzemelerin işlenmesi ile ilgili araştırmalar literatür araştırmasına dahil edilmiştir. Dolayısıyla, bu bölümde nikel, kobalt ve demir bazlı süper alaşımlar ile paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğine dair literatürde yapılan çalışmalar irdelenmiştir. Literatür araştırması, süper alaşımların işlenmesinde oluşan kesme kuvvetleri ve modelleme, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve oluşan sıcaklıklar ve demir esaslı süper alaşımların delme işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalar şeklinde aşağıda verilen ana başlıklarda irdelenmiştir.

2.1. Nikel, Kobalt ve Demir Bazlı Süper Alaşımların İşlenebilirliği Üzerine Yapılan Çalışmalar

Rahim, E.A. ve Sasahara, H. çalışmalarında, yüksek hızlı işleme (high speed machining) koşullarında Inconel 718'in yüzey yapısını incelemiştir. Minimum yağlama miktarı şartlarında 140° uç açısına sahip, TiAlN kaplı 14 mm lik karbür matkaplarla delme işlemi yapılmıştır. Delme testleri için 30,40 ve 50m/dak kesme hızı, 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme kullanılmıştır. Kesme kuvveti ve tork ölçümleri için piezoelektrik özellikli dinamometre ile işlenen parçanın sıcaklık ölçümü K tip ısı çifti (thermocouple) ile, takım aşınması ve yüzeyin mikro yapısal özelliklerinin incelenmesi SEM (taramalı elektron mikroskobu) kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda, talaş kaldırma ve serbest yüzey aşınmasında tek tip takım bozulması görülmüştür. Ayrıca kesme hızı ve ilerleme arttıkça kesme sıcaklığının da arttığı görülmüştür. Kesme hızı arttıkça itme kuvveti ve tork azalmıştır ama ilerlemenin artması itme kuvveti ve torkta önemli ölçüde artış göstermiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme hızının etkisi vurgulanmıştır [5].

Herbert, C. ve arkadaşları çalışmalarında, nikel bazlı süper alaşımda kesme işlemiyle oluşan bozuk beyaz katman yapılarını incelemiştir. İmalat sırasında meydana gelen yoğun sıcaklıkla birlikte metalürjik değişim sonucu oluşan tabakaya beyaz katman denmektedir. Bu çalışmada oluşan beyaz katmanı incelemek için; SEM, transmisyon elektron mikroskobu ve X-ray ışın kırınımı kullanılmıştır. Delme işlemi için TiN/ TiAlN kaplı

merkezinden iki oluklu, helis açısı 30° olan karbür matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri; kesme hızı $V_c=35\text{m/dak}$, ilerleme miktarı $f=0,12\text{ mm/dev}$; takım yanak aşınması; $VB=0,1\text{ mm}$ kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre malzeme kütlesindeki tane boyutlarında önemli ölçüde azalma görülmüştür (yaklaşık $22\text{-}63\text{ }\mu\text{m}$). Aynı zamanda analiz sonuçlarında sertlik değerinde % 45 artma görülmüştür. Bu sonuçlara göre imalatla oluşan beyaz katmanların sadece ısıl etkiden olmadığını, mekanik etkilerinde etkili olduğu tavsiyelerinde bulunmuştur [6].

Ezilarasan, C. ve arkadaşları çalışmalarında, Nimonic C-263 alaşımının işlenebilirliğini deneysel olarak analiz etmiştir. Deneyler için Taguchi deney tasarımından faydalanılmıştır. Nikel bazlı süper alaşımların işlenmesi için sementit karbür ve SiAlON seramik takımların daha uygun olduğundan bu çalışmada güçlendirilmiş seramik takımlar kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, kesme kuvvetlerinin, serbest yüzey aşınmasının ve yüzey bütünlüğü değerlerinin üzerinde farklı parametrelerin etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, ilerleme miktarının, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinde, kesme hızı ve kesme derinliğinden daha önemli olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, seramik takımlar kullanılarak, yüksek ilerleme ve düşük kesme hızında yapılan deneylerin yüzey pürüzlülüğü ve aşınma değerleri SEM’de incelenmiştir. Kesme kuvvetlerini, serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü baz alarak en uygun işlenebilirlik değerleri; kesme hızı 210 m/dak , ilerleme miktarı 0.05 mm/dev , kesme derinliği 0.50 mm olarak tavsiye edilmiştir [7].

Folea, M. ve arkadaşları çalışmalarında, kobalt bazlı FSX 414 süper alaşımını, normal deneysel prosedürler ve yüksek hızlı işleme teknikleriyle incelemişlerdir. Geleneksel yöntemle yapılan deneylerde kesme hızı $15\text{-}40\text{ mm/dak}$, ilerleme $0,025\text{-} 0,2\text{ mm/diş}$, kesme derinliği $0,5\text{-}2,5\text{ mm}$ arasında kullanılmıştır. Yüksek hızlı işlemede kesme hızı $80\text{-}125\text{mm/dak}$, ilerleme $0,025\text{-} 0,085\text{ mm/diş}$, kesme derinliği $0,25\text{-}0,85$ arasında kullanılmıştır. Deneyler için 16 mm çapında PVD takımlar ile karbür kaplanmış takımlar kullanılmıştır. Yüksek hızlı işleme sonunda süper yüzey kalitesi elde edilmiş, ancak kesici takımlar çabuk aşınmıştır. Sonuç olarak yüksek hızlı işlemede kesme kuvvetlerinin geleneksel işlemeye göre oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Enerji ve güç durumlarına baktığımızda iki yöntem arasında önemli derecede farklılıklar vardır. Yüksek hızlı işlemenin en büyük dezavantajı ani ve hızlı takım aşınmasıdır. Bu malzemenin işlenmesinde, yüksek hızlı işleme yöntemini ekonomik hale getirmek için öngörülen takım

ömrü modelleri baz alınarak, kesme parametrelerinin optimize edilmesini tavsiye etmişlerdir [8].

Bebghersallah, M. ve arkadaşları çalışmalarında, kobalt bazlı Stellite 6 süper alaşımının kuru şartlarda yüksek hızlı frezelenmesini incelemiştir. Tek ve çift katmanlı olarak yüzey PTA (plazma tungsten ark) ile 5 farklı kaplama ile kaplanmıştır. Yüksek hızla yapılan işlemler piezoelektrik dinamo metre yardımıyla kaydedilmiştir. Bu işlemlerde 16mm çapında karbür freze çakıları kullanılmıştır. Bulunan sonuçlara göre kesme hızı 190 m/dak iken kesme kuvvetleri kabul edilebilir değerlerde olmasına rağmen, kesme hızı 80 m/dak olduğunda takım ömrü artmaya başlamaktadır. Sonuç olarak bu yeni yüzey kaplamanın Stellite 6 için uygulanabilir olduğu şeklinde yorumlanmıştır [9].

Girardot, J. ve arkadaşları çalışmalarında, kaplamalı kobalt bazlı Haynes 188 süper alaşımın lazerle delinmesinde oluşan arayüz çatlaklarını incelemiştir. İş parçası yüzeyine termal bariyer kaplamak için nikel/ krom püskürtülmüştür. Seramik kaplamanın kalınlığı (BC) 0,2 mm dir, zirkonyum itriyum oksit seramik kaplamayla 0,5 mm kalınlığa ulaşmıştır. Bu süreç geleneksel plazma püskürtmeyle yapılmıştır. Deneylerde darbe süresi olarak 1 ms, ışın çapı 300 μ m, delme(vuruş) açısı $\beta = 40^\circ$, 30° ve 20° , tekrarlama frekansı 10 Hz kullanılmıştır. İkinci lazer ışını çarptığında çatlaklar ve katmanlarda ayrılma görülmüştür. Yüksek sıcaklıktan dolayı delik profilinde çıkıntılar olduğu şeklinde yorumlanmıştır [10].

Kumar, V. ve Khamba, J.S. çalışmalarında, ultrasonik imalat yöntemiyle stellite 6 üzerinde talaşlı imalat ve malzeme kaldırma oranı incelemiştir. Talaşlı imalata uygun değerleri bulmak için Taguchi optimizasyon tekniğinden faydalanılarak F testi yapılmıştır. Yapılan deneyler ve analizler Istatistica7.0 versiyonuyla doğrulanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre; kötü sinyal gürültü oranı tahmini ve deneysel optimum değerleri 3,053 dB başlangıç ayarlarına karşı, 2,784 ve 4,876 dB aralığında bulundu. Bu nedenle, kötü sinyal-gürültü oranı (1,823 dB) önemli artış görüldü. Malzeme kaldırma ve aşınma oranı deneysel değerler (0,185 mm³/dak, 0,064 mm³/dak) ile ilk parametreler (0,170 mm³/dak, 0,100 mm³/dak) karşılaştırıldığında önemli ölçüde gelişme olduğu yorumlarında bulunmuşlardır [11].

Ezugwua, E. O., Wanga, Z. M. ve Machadob, A. R. çalışmalarında, nikel esaslı süper alaşımlar ve süper alaşımların kullanımı hakkında genel ve ayrıntılı bilgi sunmuştur. Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde takımı olumsuz yönde etkileyen birçok durumun, zengin oksijen ortamı ya da soğutma sıvısı ortamında en aza indirilebildiği görülmüştür. Yüksek basınçlı soğutmanın kullanımı ile zengin nitrojen ve argon ortamında talaş akışının rahat olması ve işleme kolaylığı görülmüştür. Takımdaki performansı arttırmak için kesici takımın burun açısını arttırarak kesme kenarının gücünün arttırılması sonucu, takım talaş temas alanını genişletmek ve yaklaşma açısını azaltmak gerektiği ifade edilmiştir. Son zamanlarda geliştirilen whisker takviyeli seramik uçlu takımlar ile SiAlON seramikler ve çok katlı sementit karbürler ile geleneksel karbür takımları geride bırakarak, yüksek kesme hızlarında üstün işleme performansları görüldüğü yorumlanmıştır [12].

2.1.1. Kesme kuvvetleri ve modelleme ile ilgili çalışmalar

Aykut, S. ve arkadaşları çalışmalarında, kobalt bazlı süper alaşımların işlenmesinde kesme hızının, ilerlemenin ve kesme derinliğinin; takım aşınması, talaş morfolojisi ve kesme kuvvetlerine etkilerini incelemişlerdir. İşleme parametrelerinin belirlenmesi için genel tam faktöriyel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Talaş morfolojisi, kesme kuvveti ve takım aşınması, PVD ile kaplanmış ve kaplamasız takımlarla kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Bu araştırmalar Stellite 6 süper alaşımı ve TiN, TiCN ve TiAlC kaplamalı karbür matkaplar kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak, süper alaşımların kaba frezelenmesinde düşük ilerleme ve kesme hızı tercih edilmiştir. İlerleme ve kesme derinliği arttıkça kesme kuvvetleri de artmıştır, simetrik yüzey frezelemede kesme hızının etkisi görülmemiştir. Kesme kuvvetlerinin artışında kesme hızının etkisi görülmemiştir ancak kesme hızının artması takım aşınmasını arttırmıştır. Ayrıca deney sonuçlarına göre Stellite 6 süper alaşımının akma dayanımının yüksek olduğu yorumlanmıştır [13].

Nalbant ve diğerleri çalışmalarında, nikel esaslı Inconel 718 süper alaşımın, iki farklı geometride ve üç farklı malzeme kalitesinde seramik takımlar kullanılarak kuru kesme şartlarında CNC tornada kesme deneyleri yapmışlardır. Deneylerde, kesici takım geometrisinin, malzeme kalitesinin ve kesme hızının kesme kuvvetleri üzerine etkisi incelenmiştir. Araştırma sonucunda, kesme kuvvetlerinin büyük ölçüde takım geometrisine bağlı olduğu bulunmuştur. Kesme hızının etkisi kuvvetler üzerinde fazla olmamakla birlikte kesme hızının artışıyla kesme kuvvetlerinde düşüş gözlenmiştir. Ayrıca yüksek

kesme hızlarında plastik deformasyon, serbest yüzey aşınması, çentik ve yığılma kenarı takım bozukluğu oluştuğu şeklinde yorumlanmıştır [14].

Kuo ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, küresel uçlu parmak freze için temel kuvvet modeli geliştirilmiş ve kesme kuvvetleri analiz edilmiştir. Çalışma, kuru ve soğutmalı işleme şartlarında TiN kaplamalı ve kaplamasız takımlar kullanılarak değişik işleme koşullarında gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda kesme kuvvetleri, takım ömrü ve talaş oluşumu değerlendirilmiştir. İnceleme sonucunda kaplamalı takımların daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Kuru kesme koşulunda ilerleme hızının artışıyla birlikte kesme kuvvetlerinin artmakta olduğu belirtilmiştir. Bu kuvvet artışının kaplamasız takımda daha fazla olduğu gözlenmiştir. Inconel 718'in işlenmesinde soğutmalı kesmenin TiN kaplı takımlar kullanılarak yapılmasında daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Inconel 718'in işlenmesinde yüksek hızda ilerlemenin düşük hızda ilerlemeden daha iyi olduğu tavsiye edilmiştir [15].

Altın, A. ve diğerleri çalışmalarında, nikel esaslı süper alaşım Inconel 718'in işlenebilirliğini, yuvarlak formda kaplamasız sementit karbür kesici takımla CNC torna tezgâhında, kuru şartlar altında incelemiştir. Beş farklı kesme hızı kullanarak kesme hızının asıl kesme kuvvetlerine etkisini ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, en düşük kesme kuvveti; 75 m/dak kesme hızı kullanılarak 629 N, en yüksek kesme kuvvetinin ölçümü; 15 m/dak kesme hızı kullanılarak 1150 N olarak kaydedilmiştir. Minimum yüzey pürüzlülüğü 45 m/dak kesme hızında 0.45 μm , maksimum yüzey pürüzlülüğü ise 75 m/dak kesme hızında 0,88 μm olarak bulunmuştur. Delme esnasında üretilen talaş formlarının sürekli dar ve geniş adımlı olduğu görülmüştür [16].

Kıvak, T. ve Habalı, K. çalışmalarında, Inconel 718 süper alaşımının kaplamasız ve kaplamalı kesici takımlarla delme deneylerini yaparak, kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Deneyler, soğutma sıvısı kullanılmadan, kaplamasız ve kaplamalı (TiN, TiAlN) karbür matkaplar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetleri açısından en iyi performans kaplamasız takımlarda gözlenmiştir. Genel anlamda kesme kuvvetlerindeki artış miktarında, ilerleme oranının, kesme hızına göre nispeten daha fazla etkili olduğu vurgulanmıştır [17].

Pena ve diğerleri çalışmalarında, AI 7075-T6 alaşımında dönen takımdaki momenti, istenmeyen çapaklanma gibi parametreleri incelemiştir. Deneylerde kaplamalı (TiAlN) ve

kaplamasız 3 ağızlı karbür kesici takım kullanılmıştır. İlerleme ve kesme hızına göre takımdaki kuvvetleri ve bununla birlikte kaplamalı ve kaplamasız kesici takımın işlem sırasında ortaya çıkan sıcaklığa bağlı olarak çalışmalarını incelemiştir [18].

Korkut, İ. ve Dönertaş, M. A. çalışmalarında yüzey frezeleme işleminde kesme hızının ve ilerleme miktarının kesme kuvvetlerine ve talaş sıvanmasına (BUE) etkisini incelemiştir. AISI 1020 ve AISI 1040 çeliklerinden hazırlanan parçalar üzerinde CNC dik işleme merkezinde yüzey frezeleme ile kesme kuvvetlerinin üç bileşeni ölçülmüştür. Kuvvet verileri gerilim ölçer esaslı dinamometre ile gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülükleri, talaş kesitine ve kesme hızına bağlı olarak her iki çelik için de değerlendirilmiştir. Artan kesme hızlarında kesme kuvvetleri artarken düşük ve orta kesme hızı değerlerinde talaş sıvanması(BUE) eğiliminin arttığı yorumlanmıştır [19].

Ezilarasan, C. ve diğerleri çalışmalarında, Nimonic C-263 süper alaşımının tornalanmasında sinterlenmiş karbür kesici takım kullanılmıştır ve 3D Finite Element Model (FEM) ile simüle edilmiştir. FEM işleme simülasyonlarından Lagrangian Sonlu Elemanlar işleme modeli kullanılarak, teğet kesme kuvveti, sıcaklık dağılımına ait ipucu, etkin gerilme ve yorulma hakkında öngörude bulunmuşlardır. Kesme işleminin deneysel sonuçlarıyla simülasyon değerleri karşılaştırıldığında, teğetsel kesme kuvveti ve sıcaklıkla ilgili ipuçlarının, deneysel sonuçlara göre %6 hatalı olduğu ve sürtünme katsayısının 0,6 olduğu görülmüştür. Bu durumda simülasyon sonuçlarıyla deneylerde elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu yorumlanmıştır. En yüksek ilerleme miktarında, kesme hızı 22 m/dak'den 54 m/dak'e artırılarak, gerilmenin 6,5 mm/mm'e kadar genişlemesiyle maksimum basınç 810Mpa ve kesici takımın ucundaki bölgesel sıcaklığın 620°C olduğu gözlenmiştir. Ayrıca ilerleme değerinin Nimonic C-263 süper alaşımının tornalanmasında çok önemli olduğu yorumlanmıştır [20].

Aykut, Ş. ve diğerleri çalışmalarında, kistler dinamometre yardımıyla farklı kesme ve ilerleme oranlarında elde ettikleri verileri öngörebilmek için, yapay sinir ağırları modellemesini kullanarak tahmini değerler elde etmişlerdir. ISO 8688-1 takım ömrü test değerleri dikkate alınarak, kesme parametreleri ve bu verilere en uygun işleme parametreleri için fizibilite hazırlamışlardır. Deney verilerinin incelenmesiyle, yüzey pürüzlülüğü, ilerleme miktarı ve kesme hızı oranlarında gelişme olduğu ayrıca simetrik kesme işlemlerinde daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edildiği yorumlanmıştır [21].

Bağcı, E ve Özçelik, B. [22] çalışmalarında, delik işleminin lineer olmadığını vurgulamıştır. Soğutma sıvısı kullanarak yapılan çalışmada, sıcaklık hem deneysel hem de teorik olarak incelenmiştir. Çalışmada çelik AISI 1040 ve alüminyum AI 7075-T651 malzeme kullanılmıştır. Bir sonlu elemanlar programı (Third Wave Advantage) kullanılarak sıcaklık tahmin edilmiştir. Deneylerde iki kesici ağızlı matkap ile kuru işleme şartlarındaki sıcaklık dikkate alınmıştır. Kullanılan kesici takım, soğutmalı ve kaplamalı (TiN/TiAlN) karbür ve matkapların soğutma kanallarına termokupul yerleştirilerek ölçümler yorumlanmıştır.

Lin ve diğerleri çalışmalarında, kesme hızı (V), ilerleme (f) ve talaş derinliğini dikkate alarak yüzey bütünlüğü ve kesme kuvvetlerini modellemişlerdir. Deneysel olarak alınan sonuçlar modellemeye karşılaştırılıp kesme hızı ve ilerleme miktarının kuvvetler ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi incelenmiştir [23].

2.1.2. Yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve oluşan sıcaklıklar üzerine yapılan çalışmalar

Rahim, E.A. ve Sasahara, H. bir çalışmada, Inconel 718 süper alaşımın delme esnasında palmiye yağı ve sentetik ester kullanılarak yüzey kalitesini incelemiştir. Yüzey pürüzlülüğü, yüzey kusurları, mikro sertlik ve alt yüzey deformasyonları incelenmiştir. Sonuç olarak; bozulmuş malzeme yapısının, olukların, boşlukların, mikro çatlakların yüzey pürüzlülüğünü belirgin bir şekilde etkilediği görülmüştür. Düşük kesme hızı ve düşük ilerlemede çatlaklar ve kusurlar görülmüştür. 30 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerlemede, sentetik ester ve palmiye yağı kullanımında mikro çatlaklar görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü değerlerine bakılarak, sentetik ester yerine palmiye yağı kullanımı tavsiye edilmiştir [24].

Rahim, E.A. ve Sasahara, H. çalışmalarında, Inconel 718 süper alaşımını minimum yağlama (soğutma) kullanarak, 14 mm çapındaki AlTiN kaplı karbür matkaplarla delmiştir. Delinen parçaların yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak; yüzey yapısı üzerine işleme koşulları ve yağlayıcıların güçlü etkileri görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü, kesme hızının artmasıyla azalmış, ilerlemenin artmasıyla artış göstermiştir. Mikro sertlik profili palmiye yağında 100 μm , sentetik ester de ise 150 μm ölçülmüştür. En yüksek

ilerleme ve kesme hızında sentetik ester kullanımında sertlik değeri 438 Hv, palmiye yağı kullanımında 432 Hv ölçülmüştür. Palmiye yağının soğutucu ve yağlayıcı etkisi, iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkilediği yorumlanmıştır [25].

Jin, D., ve Liu, Z. bir çalışmada, FGH95 süper alaşımının talaşlı imalattaki yüzey değerleri incelemiştir. Deneyler karbür kaplı takımlarla yapılarak, işlenen yüzeyin incelenmesi ve kaydedilmesi için SEM, optik mikroskop ve interferometre kullanılmıştır. İşlenen yüzeyde kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi, beyaz katman kalınlığı, plastik deformasyon ve mikro sertlik incelenmiştir. Deneyler için TiN ve TiAlN kaplı matkaplar, kesme hızı; 40, 80, 120, 160, 200 m/dak, ilerleme 0,02 mm/dev, kesme derinliği 2 mm parametreleri kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde beyaz ışık interferometresi kullanılmıştır. Sonuçlar yüksek kesme hızında daha iyi yüzey pürüzlülüğü göstermiştir. Kesme hızı 40 m/dak den 200 m/dak e çıkınca yüzey pürüzlülüğünde %39,18 azalma görülmüştür. Beyaz katman kalınlığı, plastik kayma gerilimi ve mikro sertlik, kesme hızıyla birlikte artmıştır. Ayrıca kesme hızı arttıkça plastik deformasyon derinliği de azalmıştır şeklinde yorumlanmıştır [26].

Motorcu, A. ve diğerleri bir çalışmada, waspaloy süper alaşımı kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplar kullanılarak işlemiştir. Bu kapsamda kesme kuvvetlerinin, matkap uç açısının (A) ve yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkisi incelenmiştir. Deneysel parametreler Taguchi yönteminin Ortogonal serisi L18 dizisi kullanılarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan parametrelerin yüzey pürüzlülüğünün üzerindeki etkileri sırasıyla; uç açısı %49,44, ilerleme miktarı %15, kesme hızı %14,45 ve kesici takım tipi %13,47 şeklinde sıralanmıştır. Takım aşınmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmüştür. Bu çalışma sonucunda, genel olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri 0,99 bulunmuştur. TiN kaplı karbür matkaplar kaplamasız matkaplara göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü sağlamıştır. Kesme hızı ve matkap uç açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Ayrıca, spiral talaş, dize talaş ve kısa talaş şeklinde üç tip talaş oluşumu yorumlanmıştır [27].

Kıvak, T. ve diğerleri çalışmalarında, Inconel 718 süper alaşımına kuru kesme şartları altında, kaplamalı (TiN, TiAlN) ve kaplamasız karbür takımlar ile farklı kesme değerleri kullanarak delme işlemini uygulamışlardır. Çalışmanın amacı, değişik parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne ve talaş oluşumuna etkisini incelemektir. Deneylerde 5 mm'lik

matkaplar kullanılarak 8 mm'lik kör delikler delinmiştir. Ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri dikkate alınarak matkaplar arasında kıyaslama yapılmıştır. Sonuçlar, kaplamasız matkaplarla delinen deliklerde daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edildiğini göstermiştir. Delme sırasında oluşan talaşlar incelendiğinde, tüm deneylerde ilk olarak küçük adımlı helisel talaş veya kopuk talaş oluştuğu vurgulanmıştır [28].

Dursun, M. yüksek lisans tezinde Inconel 718 ve Titanyum malzemelerin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını incelemiştir. Deneyi kuru kesme koşulunda, 2 farklı geometriye sahip TiAlN kaplı karbür parmak freze ile yapmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için portatif yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanmış, takım aşınmasını mikroskopta incelemiştir [29].

Ezugwu, E. O. ve diğerleri çalışmalarında, uçak motorlarında kullanılan alaşımların işlenmesini incelemiştir. Kaplamasız ve kaplamalı karbür takımlar, seramik ve CBN takımlar kullanılarak, nikel bazlı alaşımlar ve titanyum alaşımları işlenmiştir. Belirtilen kesici takımlarla yapılan uygulamalarda kesme hızı, takım aşınması, talaş oluşumu, yüzey kalitesi, vb. konulara değinilmiştir. Kesici takım yorumlamasının ardından soğutma sıvısının etkileri anlatılmıştır. Son olarak sıcaklık artışının istenmeyen bir durum olduğu belirtilmiş, talaş oluşumu nedeniyle soğutma sıvılarının istenen bölgeye ulaşmadığı vurgulanmıştır. Bu durumun aşılabilmesi için alternatif soğutma sistemleri tavsiye edilmiştir [2].

Lalwani, D. I. ve diğerleri çalışmalarında, MDN250 çeliğin işlenmesinde farklı kesme parametreleri kullanarak, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini incelemiştir. Çalışmada ayrıca sert metallerin tornalanması ile ilgili bilgi verilmiştir. Literatürde 45 HRC'yi geçen metallerin sert metaller olduğu bilinmektedir. MDN250 çeliğinin sertliği 50 HRC olarak belirtilmiştir. Deneyler 2k faktöriyel metodu ile yapılmış ve analiz yardımıyla çözümlenmiştir. Deney sonuçlarını literatür ile karşılaştırmışlar ve elde ettikleri sonuçlardan bazıları:

- * Kesme parametrelerinden kesme hızının, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde kayda değer bir etkisi yoktur.

- * Kesme kuvvetleri üzerinde talaş derinliği ve ilerlemenin etkisi, ilerleme kuvveti dışında birbirine yakın değerlerdedir. Sadece ilerleme kuvvetinde en önemli faktör talaş derinliğidir.
- * Yüzey pürüzlülüğünde ilerleme en önemli faktördür. Bunu talaş derinliği takip eder, şeklinde yorumlanmıştır [30].

Gökkaya, H. ve diğerleri çalışmalarında AISI1030 çeliğini CNC tezgâhında işlemişler ve kaplamasız sementit karbür kesici takımlar ile deney parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini araştırmışlardır. Talaş sıvanması, yanak aşınması ve çentik aşınmalarının yüzey pürüzlülüğüne etkisini, optik mikroskop yardımıyla incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, kesme hızı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı, ilerleme oranının artmasıyla birlikte ise yüzey pürüzlülüğünde artış gözlenmiştir. Ayrıca, yüksek kesme hızıyla işlemede, kaplamasız sementit karbür takımların ömrünün azaldığı vurgulanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü, talaş sıvanması ve işleme esnasında meydana gelen aşınmaların olumsuz yönde etkilediği yorumlanmıştır [31].

Özses, B. Ve Çoğun, C. çalışmalarında, AISI 5140, AISI 4140 St37 malzemelerindeki, karbon miktarına bağlı olarak değişiklik gösteren sertlik ve mekanik özelliklerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Deney parametrelerinden kesme hızındaki artışın yüzey pürüzlülüğü üzerine olumlu etkileri gözlenmiştir. Kesme hızının artmasıyla birlikte matkaptaki aşınmanın arttığı ve bu sebepten dolayı aşınmayla birlikte kesici takım ömründe de azalma olacağı belirtilmiştir. Deney parametreleri arasında yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen parametrenin ilerleme olduğu ve ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı iddia edilmiştir [32].

Qiao, Y. ve diğerleri çalışmalarında, toz metalürjisiyle üretilen nikel bazlı süper alaşımın işlenebilirliğini, yüksek hız takım çeliği (M42) matkapla deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerle kesme kuvvetinin, kesme sıcaklığının ve takım aşınmasının işlenebilirliğe etkisi incelenmiştir. Ayrıca SEM analizleri ile takım aşınması incelenmiştir. Sonuçlara göre nikel bazlı süper alaşımlar için en uygun kesme hızı $v=5\sim7\text{m/dak}$, ilerleme miktarı $0,01\sim0,012\text{mm/r}$. Aşınma sonuçlarında yüksek hız takım çeliklerinde adhesiv aşınma, oksidasyon aşınma ve abrasiv aşınma görüldüğü yorumlanmıştır [33].

Davoodi, B. ve Eskandari, B. çalışmalarında, demir nikel bazlı N-155 süper alaşımını PVD ile TiAlN kaplanmış karbür takımlarla işlemiştir. İşleme esnasında takım aşınması ve kesme kuvvetlerinin takım ömrüne etkisini incelemişlerdir. İşleme parametreleri ve çıktılar arasındaki ilişki tepki yüzeyi metodu (RSM) kullanılarak incelenmiştir. Matematiksel olarak yeterliliği kontrol için varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, kaldırılan talaş miktarı ile takım ömrü arasında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir. Ayrıca SEM ile farklı kesme hızlarında çalışan kesici takımlarda oluşan aşınmalar incelenmiştir. Talaş yığılmasının en baskın hata olduğu görülmüştür. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş kaldırma miktarının takım ömrü üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir. Takım ömrü için en önemli faktörün %55,84 ile kesme hızı olduğu yorumlanmıştır [34].

Hood, R. ve arkadaşları bir çalışmada, karbür kaplı takımla birlikte, yüksek basınçlı kesme sıvısı kullanılarak Haynes 282 süper alaşımının işlenebilirliğini incelemiştir. Deneyler için 8mm TiAlN kaplı karbür matkap kullanılmıştır. İşleme parametreleri alt kombinasyonlarında yüzey aşınması genellikle tek tip ancak takım köşelerinde aşınma ve çatlaklar görülmüştür. İşlenmiş yüzeylerin tamamında, yaklaşık 250 µm uzunluğunda yapışmış malzemeler tespit edilmiştir. Aşınmış kesicilerde ve daha yüksek çalışma şartlarında, yüzeye yapışmış bu talaş miktarı artmıştır. Mikro sertlik sonuçlarına göre ise, parça yüzeyinden ilk 50 µm mesafede mikro sertliğin arttığı (50 HK0.05 değerine kadar) görülmüştür [35].

Chen, Y.C. ve Liao, Y.S. bir çalışmada, Inconel 718'in delinmesinde, takım ömrünü arttırma ve aşınma mekanizmalarını incelemiştir. Deneylerinde PVD ile TiAlN kaplanmış karbür matkaplar ve kesme sıvısı olarak, nitrit, fenol ve klor kullanılmıştır. Takım aşınması, delik çapı, yüzey pürüzlülüğü ve malzeme sertliğini incelemek için SEM ve optik mikroskop (OM) kullanılmıştır. Ölçülen malzeme sertliği 37 HRC iken, delik için 47 HRC sertlik ölçülmüştür. Malzemenin sertliğinin fazla olması delme gücünü ve takım aşınmasını arttırmıştır. Aşındırma mekanizması; kaplama katmanının aşınması, serbest yüzey aşınması, talaş oluşumu ve kesme kenarı 4 aşamada sınıflandırılmıştır. Son olarak soğutma sıvısının takım ömrünü uzattığı yorumlanmıştır [36].

Amini, S. ve Paktinat, H. çalışmalarında, Monel K500 süper alaşımının kuru kesme şartları altında seramik takımlar kullanılarak tornalanması incelemiştir. Deneylerde kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve kesme bölgesindeki sıcaklık incelenmiştir. Bu süper alaşımın

tornalanmasında kullanılan seramik takımların, kesme kuvvetlerini yaklaşık olarak %57 oranında azalttığı görülmüştür. MQL ile işlemede yüzey pürüzlülüğü %15 azalmıştır. Ayrıca, MQL kullanımı, kuru işleme şartlarına kıyasla işleme sırasında meydana gelen sıcaklığı azaltmaktadır. Sonuç olarak optimum değerler; 100 mm/dak kesme hızı, 0,18 mm/dev ilerleme ve 0,1mm kesme derinliği tavsiye edilmiştir [37].

Kwong, J. ve diğerleri bir çalışmada, nikel bazlı RR1000 süper alaşımının delinerek kalıntı gerilmesi ve yüzeyi incelemiştir. Aynı zamanda matkabin kesme ucunun iş parçası yüzeyine etkisini incelemiştir. Deneyler için kesme derinliği maksimum 0,3 mm, ilerleme 0,08- 0,1 mm/dev, ve 30 bar soğutucu sıvı kullanılmıştır. Malzemenin ileriki durumlarda nasıl olacağını tahmin etmek için ilerleme kuvveti, tork ve akustik emisyon dahil edilerek işlem izleme tekniği kullanılmıştır. Delinmiş yüzey işlem izleme sinyalleriyle incelenmiştir. Sonuç olarak, ilerleme kuvveti ve tork değerlerinde kesme ucunun etkisi görülmüştür. Ayrıca aşınmış takımda yeni takıma göre malzeme sürüklenme derinliğinin yaklaşık % 50 daha fazla olduğu yorumlanmıştır [38].

2.2. Demir Bazlı Süper Alaşımların Delme İşlenebilirliği Üzerine Yapılan Çalışmalar

Literatür taraması sonucunda demir bazlı süper alaşımların delme işlenebilirliği üzerine çalışmalara rastlanmamıştır.

2.3. Literatür Araştırmalarının Değerlendirilmesi

Literatür araştırması, demir esaslı süper alaşımların işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmaların oldukça az olması sebebiyle, diğer süper alaşımların işlenebilirliklerinin incelenmesiyle desteklenmiştir. Demir esaslı A 286 süper alaşımının mekanik özelliklerinden yararlanılarak, Inconel ve paslanmaz çeliklerin işlenebilirlikleri de literatüre eklenmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, en çok Inconel 718 süper alaşımının işlenebilirliği üzerinde yoğunlaşıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda, değişik kesme parametreleri kullanılarak; kesme kuvvetleri, yüzey tamlığı, talaş oluşumu, sıcaklık ve takım aşınmaları için optimum kesme şartlarının araştırıldığı görülmektedir.

Literatür çalışmalarının irdelenmesi sonucunda genel olarak, ilerleme miktarının kesme hızına oranla daha etkili ve önemli bir parametre olduğu görülmektedir. Ayrıca, kesme kuvvetlerinin büyük ölçüde takım geometrisine bağlı olduğu vurgulanmaktadır [14, 17]. Kullanılan soğutma sıvısının kesme kuvvetlerine olan etkilerinin yanında, iş parçası malzemesinin mikro yapısına ve yüzey kalitesine etkileri de vurgulanmaktadır.

Soğutma sıvısının kullanımı ile ilgili olarak ta, kuru kesme şartlarında işleme sonucunda daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edildiği ama bu durumda takım aşınmasının hızlandığı belirtilmektedir. Buna ilave olarak, kuru ve soğutma sıvılı kesme şartlarında kesme sonuçlarını tahmin edebilmek için literatürde değişik modelleme programları kullanılarak araştırmalar yapılmıştır. Modelleme programlarından faydalanılarak, işleme esnasında oluşacak kuvvetlerin ve mikro yapı analizlerinin öngörülmesi amaçlanmıştır.

Kesici takım tipi ile ilgili olarak literatürde, genellikle karbür matkaplar kullanıldığında, takımdaki mevcut kaplamanın; kesme kuvvetlerini, oluşan ısıyı ve takım aşınmasını büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcı görevi yaptığı iddia edilmektedir. Bundan dolayı, kaplamalı karbür matkapların kaplamasız matkaplara göre daha iyi yüzey pürüzlülüğü sağladığı vurgulanmaktadır. Karbür matkapların kaplama çeşidi incelendiğinde; TiN kaplı matkaplar literatürde daha çok yer almaktadır [39]. Kaplanmış karbür matkaplar daha uzun ömürlü ve dolayısıyla, üretim miktarında artış ve daha kolay talaş akışı sağladığı belirtilmektedir. Bu durum, özellikle daha kaliteli yüzey elde edilmek istendiğinde, kesme esnasında daha yüksek hızların kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Bu sayede süper alaşımların işlenmesinde kaplamalı karbür matkaplar yüksek kesme hızlarında kullanılabilir [40].

2.4. Genel Değerlendirme

Süper alaşımlar genellikle, yüksek sıcaklık direncinin, korozyon direncinin ve mukavemetinin gerektiği yerlerde tercih edilmektedir. Süper alaşımların bu üstün özelliklerinden dolayı işlenmesi oldukça zordur. Süper alaşımların işlenebilirliği ile ilgili literatür çalışmaları genel olarak değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- * Literatür çalışmalarının büyük çoğunluğunda, süper alaşımların işlenmesindeki zorluklardan dolayı karbür kesiciler tercih edilmiştir.

- * Kaplamalı takımlarda, kesme hızının takım ömrü üzerindeki etkisi, ilerleme hızı ve talaş derinliğinden daha fazladır. Kaplamasız takımlarda ise kesme hızının takım aşınması üzerinde etkisi en fazla olup, bunu talaş derinliği ve ilerleme hızı takip etmiştir.
- * Matkapla delme işleminde, kesici takım, takım tezgâhı, işleme parametreleri, soğutma sıvısı, delik boyutu gibi etkenler dikkate alınmalıdır.
- * Kesme kuvvetlerinin, yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır.
- * Modelleme programlarından yararlanarak elde edilen tahmini değerlerin işlenebilirlik açısından önemli olduğu belirtilmiştir.
- * İşleme sırasında meydana gelen sıcaklıkların yüzey tamlığı üzerinde olumsuz etkileri ve beyaz katman oluşumu gibi metalürjik değişimlere sebep olduğu vurgulanmıştır.
- * Delme işlemi sonrasında oluşan delik çapları ve talaş oluşumu, malzemenin işlenebilirliği hakkında bilgi verdiği literatür araştırmasında belirtilmiştir.

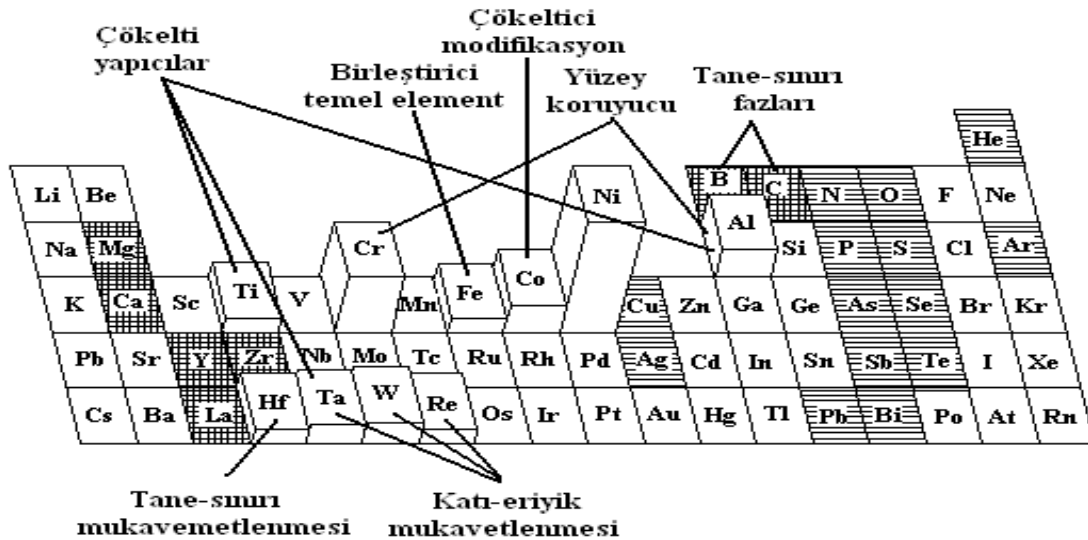
3. SÜPER ALAŞIMLARIN SINIFLANDIRILMASI VE İŞLENEBİLİĞİ

3.1. Süper Alaşımların Sınıflandırılması

Süper alaşımlar; yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmek için çoğu zaman 8A grubu elementlerinden faydalanılarak geliştirilen malzemelerdir. Yüksek sıcaklıkların olduğu ortamlarda kullanılan bu alaşımlardan, yüzeyin kararlılığı ile yüksek sıcaklık ve korozyon dayanımı özellikleri istenilmektedir [41, 42]. Süper alaşımlar, yüksek sıcaklıklara maruz kalan iş parçalarında ve üstün performans gerektiren; uçak parçalarında, türbin motorlarında ve süper turbo yükleyicilerde kullanılmak için geliştirilen alaşımlardır [43]. Bu alaşımlar temel olarak demir, nikel, kobalt ve krom'un farklı elementler ile farklı oranlarda kombinasyonu ile üretilirler. Bu temel elementlere ilave olarak düşük oranlarda molibden, tungsten, niyobyum, tantalum, alüminyum ve titanyum da kullanılmaktadır. Süper alaşımların en temel özellikleri;

*650 C° ve üzeri sıcaklıklarda mukavemetlerini koruyabilmeleri,

* Isıl direncinin ve erozyon dayanımının yüksek olmasıdır.



Şekil 3.1. Periyodik tablo üzerinde elementlerin süper alaşımlardaki işlevleri [44].

Günümüzde süper alaşımlar zamanla biriken bilgiler sayesinde istenilen özellikleri taşıyor hale gelmiştir. Süper alaşımlarda istenilen özellikler için ilave edilen çeşitli elementler Şekil 3.1’de verilmiştir.

Süper alaşımlar, alaşımı oluşturan malzemelerin oranına göre genel olarak 3 başlıkta toplanırlar. Bunlar; demir bazlı süper alaşımlar, kobalt bazlı süper alaşımlar, nikel bazlı süper alaşımlar olarak sınıflandırılır. Süper alaşımların sınıflandırılması ve çeşitleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Süper alaşımların sınıflandırılması [45].

Demir bazlı süper alaşımlar	Kobalt bazlı süper alaşımlar	Nikel bazlı süper alaşımlar
-INCOLOY (800, 801, 802, 807, 825, 903, 907, 909) -A 286 -ALLOY 901 -DISCALOY -HAYNES 536 -H-155 -V-57	-HAYNES 188 -L-605 -MAR-M918 -MP35N -MP159 -STELLITE 6B -ELGILOY	-INCONEL (587, 597, 600, 601, 617, 625, 706, 718, X750) -NIMONIC(75, 80A, 90, 105, 115, 263, 942, PE.11, PE.16, Pk.33) -RENE (41, 45) -UDIMET (400, 500, 520, 630, 700, 710, 720) -PYROMET 860 -ASTROLOY -M – 252 -HASTELLOY (C-22, G-30, S, X) -WASPALLOY -UNITEMP AF2-IDA6 - CABOT 214 -HAYNES 230

Çeşitli elementlerin ilavesiyle istenilen özelliklere getirilen süper alaşımların, bileşenlerine göre yapısında değişimler görülmektedir. Çizelge 3.2’de süper alaşımların bazı bileşenleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Süper alaşımlarda gözlenen bileşenler [46].

Faz	Kristal yapı	Formül	Açıklamalar
γ'	KYM	Ni_3Al $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$	Birçok nikel ve nikel-demir esaslı süperalaşım içinde belli başlı mukavemetlendirme fazıdır, austenit matris içindeki kristal kafesleri küçüktür, küreselden kübiğe değişik şekillerde, sıcaklık ve zamanın etkisiyle de değişik boyutlardır.
η	HSP	Ni_3Ti	Demir, kobalt, ve nikel-esaslı süperalaşımlarda yüksek titanyum / alüminyum oranlarına uzun süre maruz kalmasından sonra bulunur.
γ''	BCT	Ni_3Nb	Inconel 718 içinde ana mukavemetlendirme fazıdır; kararlı bir fazdır.
$\text{Ni}_3\text{Nb}(\delta)$	Ortorombik	Ni_3Nb	Aşırı yaşlanan Inconel 718 içinde gözlemlenir; 815 ve 980 °C arasında şekillendiğinde iğnemsî bir görüntüye sahiptir; yüksek yaşlanma sıcaklıklarında intragranular çöktürücüler tarafından ve düşük yaşlanma sıcaklıklarında gözenekli reaksiyonlar tarafından şekillenir
MC	Kübik	TiC , NbC , HfC	Titanyum karbür nitrojen, zirkonyum ve molibden için çözülebilirliğe sahiptir; bileşimi farklıdır; küresel olarak görülür, “M” elementleri Ti, Ta, Hf, Nb, Th ve Zr olabilir.
M_{23}C_6	KYM	Cr_{23}C_6 $(\text{Cr}, \text{FeW}, \text{Mo})_{23}\text{C}_6$	Çökelme şekli önemli olup; film, küresel, levha, lamelli ve hüresel olarak çökebilir; genellikle tane sınırlarında şekillenir; “M” elementi genellikle Cr, ancak Ni-Co, Fe, Mo ve Tu de yerine geçebilir.
M_6C	KYM	$\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$, $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$, $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$, $\text{Fe}_3\text{Nb}_3\text{C}$, $\text{Fe}_3\text{Nb}_3\text{C}$, $\text{Ta}_3\text{Co}_3\text{C}$	Gelişigüzel dağılan karbürlerdir; pembemsi görünebilir; “M” elementi genellikle Mo, Tu dir.
M_7C_3	Hegzagonal	Cr_7C_3	Genellikle intergranular bir blok şeklinde görülür; 1000°C sıcaklığın üstünde bir sıcaklığa maruz kaldıktan sonra Nimonic 80A gibi alaşımlarda ve bazı kobalt esaslı alaşımlarda görülür.
M_3M_2	Tetragonal	Ta_3B_2 , V_3B_2 , $\text{Nb}_3\text{B}_2(\text{Mo}, \text{Ti}, \text{Cr}, \text{Ni}, \text{Fe})$ $_3\text{B}_2$, Mo_2FeB_2	Yaklaşık %0.03 veya daha fazla B’lu, Fe-Ni, ve nikel esaslı alaşımlarda gözlemlenir; boridler karbürlerle benzer; “M” elementleri Mo, Ta, Nb, Ni, Fe ve V olabilir.
MN	Kübik	TiN , $(\text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr})\text{N}$, $(\text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr})(\text{C}, \text{N})$, ZrN , NbN	Nitridler, Ti, Nb ve Zr içeren alaşımlarda görülür; bunlar ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda erimezler; parlatıldıklarında kolayca tanınırlar. Dikdörtgen şekilli alana sahipler ve sarı renkten turuncuya kadar çeşitli renkleri mevcuttur.
μ	Rombohedral	Co_7W_6 , $(\text{Fe}, \text{Co})_7(\text{Mo}, \text{W})_6$	Genellikle yüksek oranda Mo den ve Tungsten içeren alaşımlarda görülür; kaba, düzensiz Widmanstent plakalar şeklindedir ve yüksek sıcaklıklarda şekillenirler.
Laves	Hegzagonal	Fe_2Nb , Fe_2Ti , Fe_2Mo , Co_2Ta , Co_2Ti	Fe ve Co esaslı süperalaşımlar içinde çok yaygındır; genellikle şekillenen düzensiz küreler olarak görülüp ve yüksek sıcaklıklarda plakalar halin-dedir.
σ	Tetragonal	FeCr , FeCrMo , CrFeMoNi , CrCo , CrNiMo	En çok Fe ve Co esaslı süper alaşımlar içinde, bir miktar da Ni esaslı süperalaşımlarda görülür şekilleri düzensiz kürelerdir; 540-980°C arasında arasındaki sıcaklıklarda uzun süre bekletildikten sonra şekillenirler.

Talaşlı imalat alanında, alternatif imalat yöntemleri ve ortaya çıkan atık malzeme oranını düşürmek için önemli yatırımlar yapılmaktadır. Bunun için kesici takımlar üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır. Doğru kesici takımın seçilmesi ve doğru işleme koşulunun belirlenmesi atık malzeme konusunda önemli tasarruf sağlamıştır. Talaşlı imalatın önemi bakımından bazı avantajlar maddeler halinde verilmiştir [47].

- * İstenilen üretim miktarına göre malzemelerin şekillendirilmesi
- * Şekillendirme esnasında malzemenin yapısına ve özelliklerine etkisinin az olması
- * İstenilen tolerans aralığında ve yüzey değerlerinde hassas numune üretilmesi
- * Mevcut birçok malzemelere uygulanabilir olması.

İşlenebilirlik kavramı, üretimin maliyeti, istenilen kalite ve standartlara uygunluğun imalat sonunda elde edilebilmesi sonucunda doğan bir kavramdır. Talaşlı imalatla işlenebilirliğin belirlenmesi, işlenecek malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerine uygun, kesici takım malzemesi ve kesici takım geometrisinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Böylece farklı özelliklere sahip malzemelerin, talaşlı imalat işlemlerinde, değişik takımlar ve talaş kaldırma parametreleri kullanılır. Bu sayede tespit edilen; takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, mikro yapı, mikro sertlik ve artık gerilmeler vb. değerler değerlendirilerek işlenebilirlik veri tabloları oluşturulmaktadır [48].

İşlenebilirlik durumunu; kullanılan takımın ömrü, işlenen parçanın yüzeyi ve işleme için harcanan güç tüketimi belirler. İş parçası üzerine uygulanan kuvvetler ve talaş oluşumu işlenebilirliği belirleyici parametrelerdir. Bu değerler uygun seçilmezse süper alaşımların işlenebilirliği zorlaşır. Süper alaşımların işlenmesindeki zorluklar aşağıdaki sebeplere dayanmaktadır.

- * Yüksek sıcaklık dayanımı ve sertliği işleme esnasında takımın bozulmasına sebep olmaktadır.
- * Kesme işlemi sırasındaki yüksek kayma kuvvetleri kayma gerilmelerinin bölgeselleşmesi ve aşındırıcı dişli köşelerin oluşumuna neden olur. Bu durum titanyum alaşımlarının işlenmesinde kesici uçlarda çentiklerin oluşumuna neden olmaktadır.
- * Östenitik matrisli nikel bazlı süper alaşımların yüksek hızlı işlenmesi sırasında malzemenin sertleşmesi söz konusudur. Bu durumda, kesici takım malzemesinde büyük oranda aşınmaya sebep olmaktadır.

- * Nikel bazlı süper alaşımların yapısında bulunan aşındırıcı karbürlerin (örneğin; MC, M23C6) etkisiyle, aşınmayla birlikte takım ucunun kırılmasına sebep olmaktadır.
- * Takım ucunda biriken kesme sıcaklığının (≥ 1000 °C) malzemenin düşük ısı iletkenliği özelliğinden kaynaklı olarak dağılmaması ısıf farklılıklar meydana gelmektedir.
- * Parça işlenmesi esnasında kesme kenarında oluşan ve kaynaklanma gelişii güzel oluşan talaş birikmesi, parçanın yüzey kalitesini ve bütünlüğünü olumsuz etkilemektedir.
- * Titanyum alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda işlenmesi genel olarak tüm kesici türlerinde hızlı bir aşınmaya neden olmaktadır [2, 49].

Teknolojideki ilerlemeye bağılı olarak; yağlayıcı özelliğe sahip, yüksek ısı dayanımı ve kimyasal kararlılık gösteren, ileri düzeyde kesici takımların geliştirilmesi süper alaşımların işlenebilirliğine katkı sağlamıştır. Bu takımlar; kaplamalı karbür takımlar, seramik kesici takımlar, kübik bor nitrür (CBN) ve katı yağlayıcı kaplamalı (SLC) takımlar olarak sıralanabilir [2].

3.1.1. Demir bazlı süper alaşımlar ve A 286 süper alaşımı

Demir bazlı süper alaşımlar, ana bileşen olarak demir içeren “karbür ve intermetalik bileşiklerin çökmesi sonucunda sertleşen alaşımlar” şeklinde ifade edilebilir [50]. Bu süper alaşımlar, demirin yanına ilaveten krom, nikel, tungsten, karbon, mangan, molibden, titanyum gibi çeşitli oranlarda element ilavesiyle elde edilmektedir.

Demir bazlı süper alaşımlarda; % 25-45 oranında Ni, % 15-60 oranında Fe elementleriyle birlikte, yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direncini arttırmak için % 15-28 oranında Cr, katı çözelti mukavemeti oluşturmak için % 1-6 oranında Mo elementlerinden takviye edilir. Nikel elementiyile kombine edilen alüminyum, niobyum ve titanyum sayesinde mukavemeti arttırıcı çökelti elde edilir. Ayrıca, titanyum ve alüminyum içermeleri sayesinde çökeltme sertleşmesi işleminle sertleştirilebilmeleri mümkündür.

Yüksek oranda demir elementi içeren birçok süper alaşım bulunmasına rağmen, bunların hepsi demir bazlı süper alaşım değildir. Bu süper alaşımlar ise, demir, kobalt, nikel, krom, az miktarda tungsten, niobiyum ve molibden vb elementlerin kombinasyonlarıyla elde edilmiştir. Bu örnek olarak; katı-eriyik dayanımlı, yaklaşık olarak %10-16 Fe ve %49Ni içeren Hastelloy X ile %18,5 oranında Fe ve %52,5 oranında Ni içeren Inconel 718

alaşımları verilebilir. Bu alaşımlara, Fe içeren nikel bazlı süper alaşımlar denir. Inconel 901 süper alaşımı %42,5 oranında Ni ve %36 oranında Fe bulunduran nikel bazlı veya karmaşık demir-nikel-krom bazlı süper alaşımdır. Bu alaşımlarda, yüksek mukavemetle birlikte, sürekli düşük termal genleşme katsayısı göze çarpmaktadır. Karmaşık bileşiklere örnek olarak Multimet (N-155) alaşımı düşünülebilir. Bu alaşımda, %21 oranında Cr, %20 oranında Ni, %20 oranında Co, %32,5 oranında Fe, %3 oranında Mo, %2,5 oranında W ve %1 oranında Nb bulunmaktadır [42].

Demir esaslı süper alaşımlar yaklaşık olarak 650°C civarındaki sıcaklıklarda kullanılabilmektedirler. Demir bazlı süper alaşımların mukavemeti, nikel bazlı alaşımlara kıyasla daha düşüktür. Bu özellikten dolayı, nikel ve kobalt alaşımları demir bazlı süper alaşımlara göre daha çok tercih edilirler.

Demir bazlı süper alaşımlar; gaz türbin motorlarında, disklerde, şaftlarda ve buhar türbinlerindeki bazı parçaların üretimde kullanılmaktadır. Nikel ve kobalt alaşımlı malzemelere göre daha az tercih edilse de diğer süper alaşımlı malzemelerden daha ucuzdur.

Demir esaslı süper alaşım Incoloy® A286, yüksek sıcaklığın bulunduğu çalışma ortamlarında yüksek mukavemet ve iyi bir korozyon direnci gerektiren uygulamalar için tasarlanmıştır. Demir bazlı süper alaşım olan A 286 alaşımı nikel, krom, demir karışımına molibden ve titanyum ilaveleriyle elde edilmiştir. Bu alaşım yaklaşık olarak 1300 °F (700 °C) sıcaklıklarında yüksek mukavemet ve iyi bir korozyon (oksidasyon) direnci gösterir. Aynı zamanda alaşım her türlü metalürjik koşulda östenitik davranış gösterir.

Incoloy A 286 süper alaşımı yüksek mukavemet aranan özel parçalarda kullanılır. Örneğin; uçak ve endüstriyel gaz türbinlerinin çeşitli bileşenlerinde kullanılırlar. Ayrıca otomotiv motoru uygulamalarında, petrol ve gaz sektöründe, jet motorları ve turbo kompresörlerin kanatlarında, parça ve bağlantı elemanlarında kullanılır. Çizelge3.3'de bu alaşımın bileşimlerinin oranları görülmektedir.

Süper alaşımların yapısındaki bazı elementler işlenebilirliği olumsuz etkilemektedir. Bu elementlerden, Ni elementi sıcak sertlik eğilimi sağlar. A286 süper alaşımı da yüksek oranda Ni içerdiği için işlenebilirliği daha zordur.

Çizelge 3.3. A 286 Süper alaşımının bileşenleri % [51].

Ni	Fe	Cr	Ti	Mo	V	C	Mn	Si	Al	S	B
24,0-27,0	Balance	13,5-16,0	1,90 - 2,35	1,0-1,5	0,10-0,50	0,08 max.	2,0 max.	1,0 max.	0,35 max.	0,030 max.	0,001-0,01

A 286 süper alaşımı Çizelge 3.3’de verilen elementlerin bileşimi sayesinde; fiziksel, mekaniksel, korozyon direncide istenilen ölçülere ulaştırılmıştır. Çizelge 3.4’de demir bazlı süper alaşım A 286 alaşımının fiziksel özellikleri, Çizelge 3.5’de elektriksel ve termal özellikleri verilmiştir.

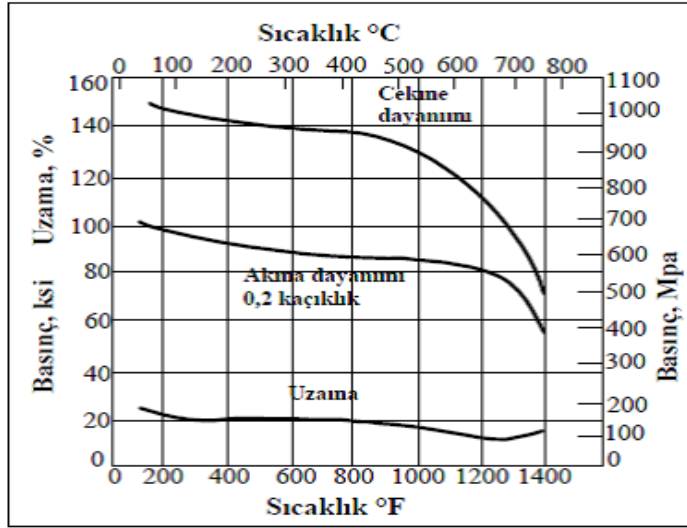
Çizelge 3.4. A 286 süper alaşımının fiziksel özellikleri [51].

Özellik	Birim	
Yoğunluk	lb/in ³	0,287
	g/cm ³	7,94
Erime Aralığı	°F	2500-2600
	°C	1370-1430
Özısı	Btu/lb °F	0,100
	J/kg °C	419
Elastikiyet katsayısı	10 ³ ksi	29,1
	GPa	201
Geçirgenlik	200 oersted (15,9kA/m)	1,007

Çizelge 3.5. A 286 Süper alaşımının elektriksel ve termal özellikleri [51].

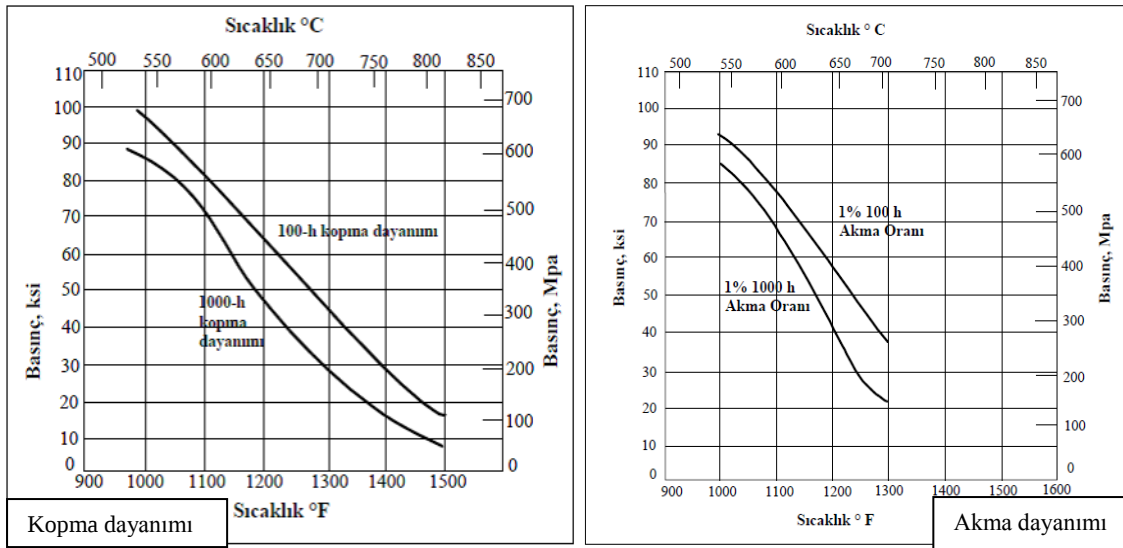
Sıcaklık	Genleşme Katsayısı	Isıl iletkenlik	Elektriksel Direnç
$^{\circ}F$	$10^{-6} \text{ in/in } ^{\circ}F$	$Btu \text{ in/ft}^2 \text{ h } ^{\circ}F$	$Ohm \text{ circ mil/ft}$
70	---	88	547
200	9,09	97	---
400	9,16	112	---
600	9,42	126	---
800	9,61	140	---
1000	9,74	155	695
1200	9,91	172	715
1350	---	---	722
1400	9,67	---	---
1500	---	---	736
$^{\circ}C$	$\mu\text{m/m } ^{\circ}C$	$W/m ^{\circ}C$	$\mu\Omega \text{ m}$
20	---	12,7	0,910
100	16,4	14,1	---
200	16,5	16,0	---
300	16,9	17,9	---
400	17,2	19,8	---
500	17,5	21,8	---
600	17,7	23,8	1,175
700	17,7	---	1,196
800	---	---	1,217

Yaşlandırılmış demir bazlı süper alaşım A 286 oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda mukavemetini korur. A 286 süper alaşımının sıcaklığa ve basınca bağlı çekme özellikleri Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Yaşlandırılmış A 286 alaşımının çekme özellikleri [51].

Yüksek sıcaklık altında bile A 286 alaşımının sürtünme ve kopma dayanımı yüksektir. Çeşitli sıcaklıklarda 100 saat ve 1000 saatlik yaşlandırılmış ve sertleştirilmiş A 286 alaşımının kopma mukavemeti ve akma dayanımı Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Yaşlandırılmış A 286 alaşımının kopma mukavemeti ve akma dayanımı [51].

3.1.2. Kobalt bazlı süper alaşımlar

Kobalt bazlı süper alaşımlar ağırlıklı olarak kobalt içermektedirler. Kobalt elementine ek olarak kobalt bazlı süper alaşımlarda ciddi miktarda nikel bulunmaktadır. Ayrıca krom, tungsten, molibden, niobiyum, tantal, titanyum gibi elementlerde içermektedirler. Bazı kobalt bazlı süper alaşımlar demir elementi de içermektedir. Kobalt bazlı süper alaşımların birçok fiziksel özelliği nikel esaslı süper alaşımlara benzediği bilinmektedir. Buna örnek olarak, kobaltın ergime sıcaklığının (1495 °C) ve yoğunluğunun (8.90 g/cm³) olması verilebilir.

Yoğun miktarda karbon içeren kobalt bazlı alaşımların mukavemetleri; krom, tungsten ve benzeri elementlerin takviyesinin yanı sıra 815° C üzerinde etkisi az olan karbür çökmesinden faydalanılarak arttırılmaktadır. Kobalt bazlı süper alaşımların yapısına; yüzey merkezli kübik (YMK) yapıyı kararlı hale getirmek için nikel elementi ilave edilmektedir. 980°C üzerindeki sıcaklıklarda mukavemet açısından, nikel bazlı alaşımlar kobalt bazlı alaşımlara göre daha çok tercih edilmektedirler [52]. Ayrıca, kaynaklanma ile kolay tamir edilebilirliği, yüksek korozyon direnci ve mukavemetinden dolayı yüksek basınçlı türbin kanatlarında çok fazla tercih edilmektedirler.

Kobalt esaslı süper alaşımlar ilk olarak 1943 yılında gaz türbinlerinde kullanılmaya başlanmış ve günümüze kadar önemli gelişim göstermiştir. Kobalt bazlı süper alaşımlar; yüksek sıcaklıkların meydana geldiği ve düşük gerilmelerin olduğu sabit iş parçalarında kullanılmaktadırlar. Kobalt bazlı süper alaşım malzemeleri geliştirildikçe endüstriyel ve uçak türbinlerinde de kullanılmaya başlamıştır. Daha uzun ömürlü türbinlere ihtiyaç duyulması bu malzemelerin gelişimini tetiklemiştir. Endüstriyel uygulamalarda kobalt esaslı alaşımlar döküm sonrası halleriyle kullanılabilmektedirler [53].

Kobalt bazlı süper alaşımların hiçbirisi tam katı eriyik alaşımı değildir. Çünkü tüm kobalt alaşımları ikincil karbür fazlar veya intermetalik bileşikler içermektedir. Kobalt alaşımlarının bu içeriği, yaşlanmaya ve oda sıcaklığında malzemenin sünekliğini kaybetmesine sebep olmaktadır. Kobalt alaşımları oda sıcaklığında sıkı paket hegzagonal (sph) yapıya sahiptir ve 417°C de allotropik dönüşüme uğrayarak kübik yüzey merkezli (kym) kafes yapıya dönüşmektedir [42, 53].

Genel olarak kobalt bazlı süper alaşımlar ısıtılma işlem ve yumuşatma esnasında (kym) kristal yapıda bulunmaktadır. Ama MP-35N ve MP-159 alaşımlarını kullanmadan önce, termomekanik işlem süresince kapalı paket hegzagonal (cph) yapının oranı kontrollü olarak artırılmaktadır. Stellite 6B ve Haynes 25 alaşımları 650⁰C ve 1050⁰C arasındaki sıcaklıklarda ısıtılma işlem uygulanarak kısmen cph yapıya dönüştürülebilmektedir [42]. Sonuç olarak ısıtılma işlem ve yumuşatma sırasında tanelerin şekli ve dağılımı değişmektedir.

Kobalt bazlı süper alaşımların günümüzdeki tercih nedenlerini incelersek;

- * Ergime sıcaklığının demir ve nikel bazlı süper alaşımlara göre daha yüksek olmasından dolayı yüksek sıcaklıklarda, diğer alaşımlara göre yüksek dayanım gösterirler.
- * Kobalt bazlı alaşımlar yüksek oranda krom içerirler ve bu durum alaşıma yüksek sıcaklık korozyon direnci sağlamaktadır. Bundan dolayı gaz türbinleri vb. parçalarda tercih edilirler.
- * Kobalt bazlı alaşımlar, nikel alaşımlarına göre daha mükemmel termal yorulma dayanımına sahiptirler.
- * Kaynaklanarak onarılabilmesi avantajdır.

3.1.3. Nikel bazlı süper alaşımlar

Tüm süper alaşımlarda nikel elementi bulunmaktadır ama nikel bazlı süper alaşımlarda nikel oranı %30 ila %70 arasındadır. Nikel elementinin yanı sıra çok ciddi oranda krom içeren nikel bazlı süper alaşımların dayanımı ve korozyon direncini arttırmak için değişik oranlarda molibden, titanyum, tungsten, alüminyum ve niobiyum ilave edilmektedir.

Krom ilavesiyle oksidasyon direnci arttırılan nikel esaslı süper alaşımlar, özellikle 650 °C üzerindeki sıcaklıklarda, mekanik dayanım açısından paslanmaz çeliklerden daha yüksek mekanik dayanıma sahiptir [53]. Isıl işlem ekipmanları ve fırın parçalarının yapımında, yüksek oksidasyon, korozyon direnci ve yüksek dayanıma sahip malzemelere ihtiyaç duyulduğundan nikel esaslı süper alaşımlar tercih edilmektedir. Bu alaşımlara; Inconel 600, RA 333 ve Inconel 601'e benzer katı eriyik alaşımları örnek verilebilir.

Gaz türbinlerinin ve uçak motorlarının yapımında, nikel esaslı süper alaşımlar, demir ve kobalt bazlı süper alaşımlara oranla daha çok tercih edilmektedirler [52]. Ayrıca, nikel esaslı süper alaşımlar, enerji jeneratörlerinde, nükleer enerji santrallerinde ve fosil yakıt tesislerinde (ısıtıcı tüplerde, kül-alıcı sistemlerde ve ısıl direnç-korozyon ihtiyacı olan

parçalarda) çok fazla kullanılmaktadırlar [42]. Nikel alaşımları, daha yoğun olan çeliklerle kıyaslandığında, nikel esaslı süper alaşımlar daha fazla mukavemet/ağırlık oranı sağlamaktadır. Nikel esaslı süper alaşımlar, yüksek korozyon direnci, yüksek sıcaklıklarda sürünme ve erozyon direnci, mekanik ve termal yorulma özelliklerinden dolayı diğer süper alaşımlara göre daha fazla tercih edilmektedirler. Bahsedilen özellikler, nikel bazlı alaşımların kullanıldığı alanlarda yüksek performans için gereklidir [52].

Yaygın olarak kullanılan nikel esaslı süper alaşımların ticari olarak en çok kullanılanları arasında Inconel, Rene, Nimonic, Pyromet ve Udimet bulunmaktadır. Çizelge 3.6'da ticari olarak bulunan nikel esaslı süper alaşımlar verilmiştir.

Çizelge 3.6. Ticari olarak kullanılan nikel esaslı süper alaşımlar [2].

Inconel (587, 597, 600, 601, 617, 625, 706, 718, X750, 901)
Nimonic (75, 80A, 90, 105, 115, 263, 942, PE11, PE16, PK33, C263)
Rene (41, 95)
Udimet (400, 500, 520, 630, 700, 710, 720)
Pyromet 860
Astroloy
M-252
Waspaloy
Unitemp AF2-IDA6
Cabot 214

Nikel esaslı süper alaşımlar, süper alaşımların arasında yapı ve özellik ilişkisi bakımından en çok bilinen alaşımlardır. Kullanım alanlarının geniş olmasında kısmen bunun etkisi vardır. Ayrıca bu alaşımlar, toz metalürjisi yöntemi ve tek kristal döküm yöntemi ile üretilmektedirler.

3.2. Delme İşlenebilirliği

Delme işlemi, talaşlı imalat tekniklerinden biri olup, matkap adı verilen iki ağza sahip kesici takımlarla iş parçası üzerinde silindirik delikler oluşturmaktır [39, 54].

Delme terimi, kısa veya derin delik delme işlemleri için kullanıldığı gibi; broşlama, raybalama, havşa başı açma işlemleri ve ovalama (veya parlatma) gibi çeşitli işlemler için de kullanılmaktadır [55]. Bu işlemlerin hepsinin ortak noktası, takımın kendi ekseninde etrafında dönme hareketi ile ilerleyerek yapılan bir talaş kaldırma süreci olmasıdır [56]. Delik delme çeşitlerine bakıldığında derin delik delme, kısa delik delme gibi birkaç delik delme işlemi bulunmaktadır. Bu metotlardan hangisine karar verileceği ise delik kalitesi için önemlidir. İstenilen özellikte bir delik; delik çapına, derinliğine, toleranslara ve bitiş işlemine bağlı olmakla birlikte üretim ihtiyacına, delme tezgâhının özelliklerine, operatörün performansına ve kullanılan takımın yapısına bağlıdır [54].

Fiziksel açıdan talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye bağlı olarak, talaşın kırılması ve/veya büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, sürtünme, ısı oluşumu, takım ucunun (ağzının) aşınması gibi olaylardan meydana gelen fiziksel olaylar zinciridir. Bu yüzden talaş kaldırma işlemine etkiyen çok sayıda faktör vardır. Bunlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir [57].

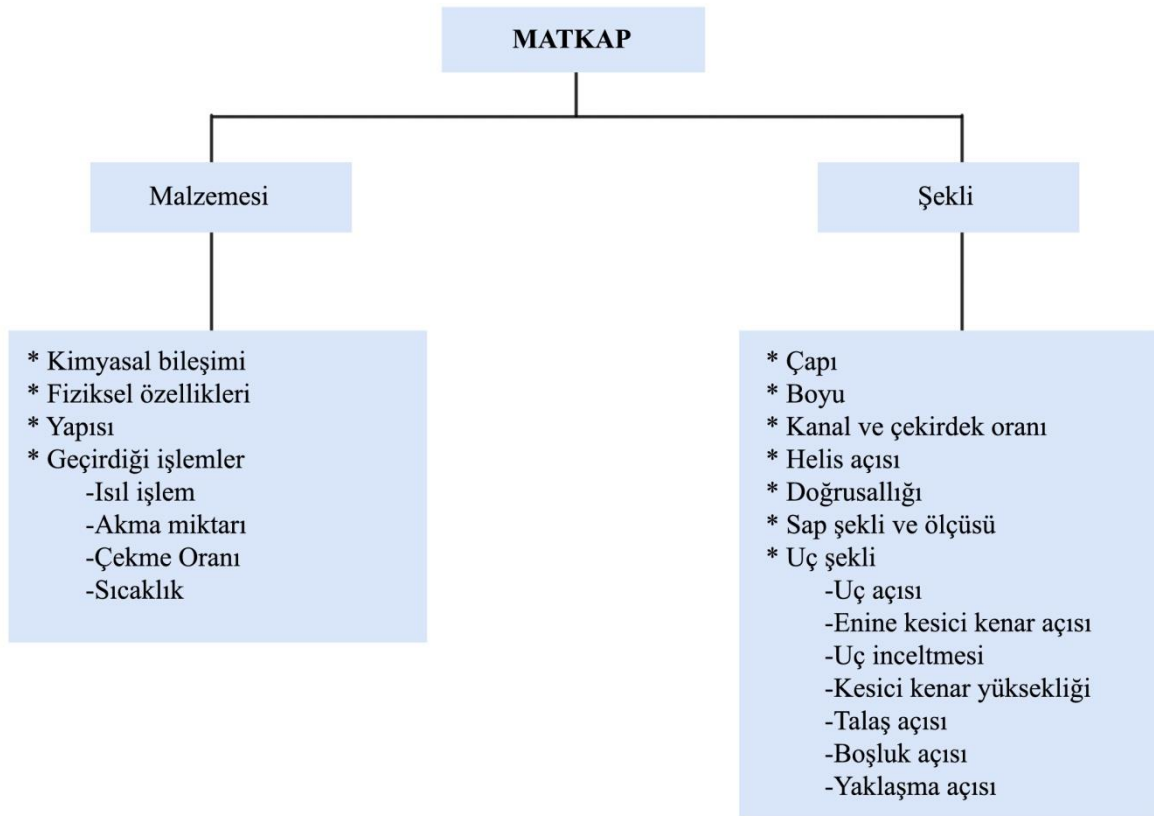
- * Kesici takımın ömrü, T (dak),
- * Kesme hızı, V (m/dak),
- * Kesme kuvvetleri FT
- * İlerleme miktarı, f (mm/dev),
- * Kesici takım geometrisi KAT
- * Titreşim miktarı, V_i ,
- * Soğutma sıvısı (yağlayıcı), S_s ,
- * İş parçasına uygun kesici takımın seçilmesi,
- * Takım burun yarıçapı, r (mm)

Delme işleminde geçmişten bugüne en temel problem kötü delik yüzeyi elde edilmesidir. Ancak günümüzde geliştirilen kesici takımlar sayesinde ikinci bir yüzey iyileştirme işlemine gerek kalmadan bu işlemin tek pasoda bitirilmesi söz konusudur [39]. Geliştirilen modern kesici takımlar delme işlemini, herhangi bir merkezleme deliğine veya kılavuz deliğine gereksinim duymadan gerçekleştirebilir. Delinmiş olan delik işin niteliğine göre hem boyut gerekse hem de yüzey kalitesi açısından ekstra bir işlem gerektirmeyebilir [58]. Delme işleminin verimi sadece kesici takıma göre yorumlanmamaktadır. Kesici takımın birlikte birçok etken bulunmaktadır. Kesici takım, ilerlemeler, kesme hızları, soğutma

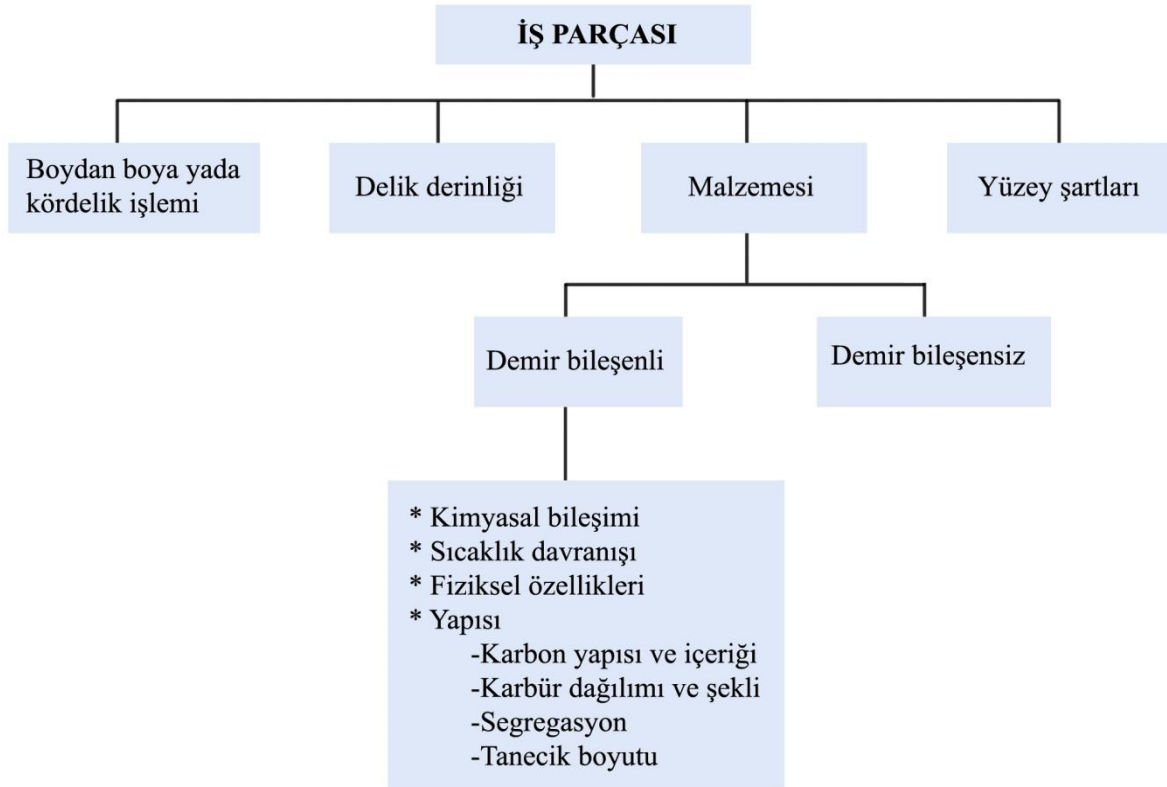
sıvıları ve takım geometrisi gibi birçok etken delme işleminin performansını etkilemektedir. Delik delme işleminde performans değerlendirmesi yapılacak olursa, delik delme performansı kesici takım ömrü, yüzeyin kalitesi, deliklerin silindirik ve daireselliği ve talaş kaldırma verimliliği ile nitelendirilebilir. Bu kriterleri etkileyen; matkabın, işlenen malzemenin ve kullanılan takım tezgâhının özellikleri ile kesme hızı, ilerleme gibi delik delme şartları ve soğutma sıvısının kullanılıp kullanılmadığı şayet kullanılıyorsa özellikleri gibi faktörlerdir [59]. Bu saydığımız değişkenler Şekil 3.4 ile Şekil 3.8 arasında detaylandırılmıştır.



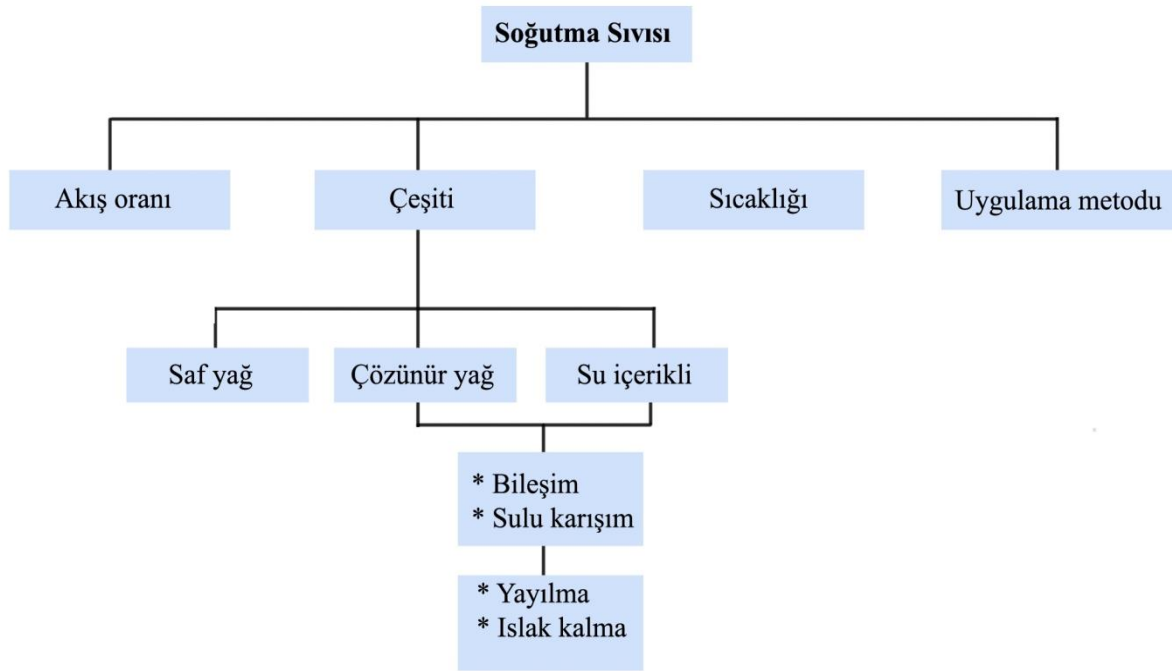
Şekil 3.4. Delme performansını belirleyen kriterler [59].



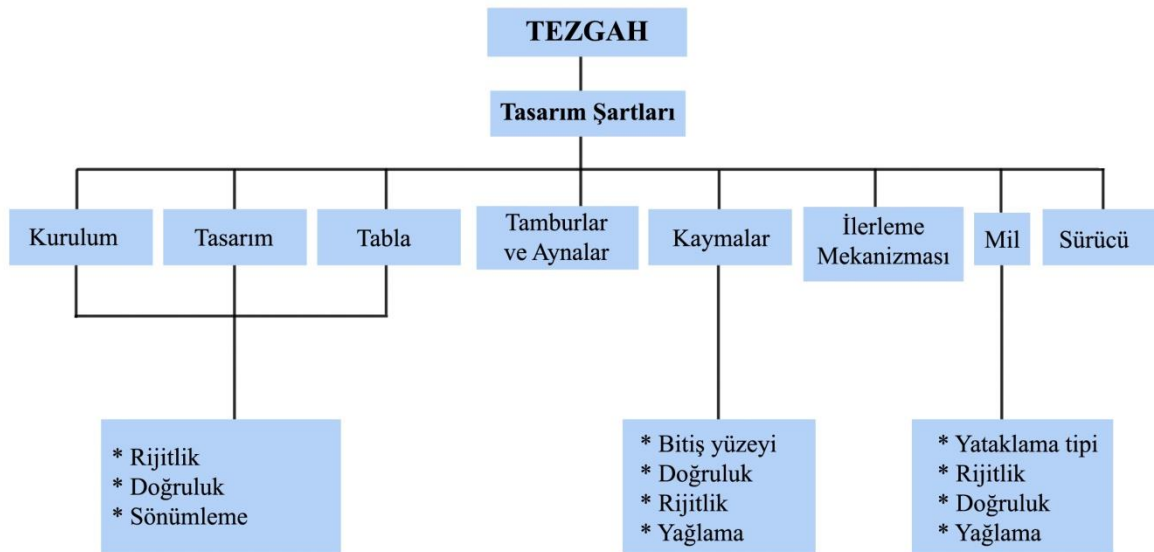
Şekil 3.5. Matkap özelliklerinin delme işlemine etkisi [59].



Şekil 3.6. İş parçasının özelliklerinin delme işlemine etkisi [59].



Şekil 3.7. Soğutma sıvısının delme işlemine etkisi [59].



Şekil 3.8. Tezgah tasarımının delme işlemine etkisi [59].

Delme işleminde yukarıda belirtilen özelliklerle birlikte, küçük çaplı delikler tek ilerlemede bir kerede delinebilmektedir. Ama iş parçası sert ise kademeli olarak ilerlemek gerekir bu sayede takımın kırılması önlenir ve sağlıklı bir delme işlemi yapılmış olur. Aksi durumda delik hassas bir şekilde delinmediği için alınan sonuçların geçerliliği ve kesici takımın ömrü azalmaktadır.

Delme işleminde etkili olan değişkenlerden kesme hızı, kesme ağzının çapına bağlı olarak ağız boyunca değişerek matkabın çevresinde maksimum, merkezinde sıfır olmaktadır. Bu durum talaş kaldırma olayını zorlaştırır. Kesme hızı değişken olduğundan pratikte D matkap çapına karşılık gelen değeri kullanılmaktadır [39].

$$V_c = \pi D n / 1000 \text{ [m/dak]} \quad (3.1)$$

3.2.1. Süper alaşımların işlenmesinde kullanılan kesici takımlar

Delme işlemlerinde kullanılan kesici takımlar matkap olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca, talaşlı imalat sektöründe en çok kullanılan kesici takımlardan biridir. Matkaplarda kesme prensibi matkabın (kesici takımın) hem kendi eksenini etrafında dönmesi hem de doğrusal olarak ilerlemesine dayanmaktadır [60]. Endüstride talaşlı imalatın önemli olmasından dolayı, büyük önem taşıyan matkaplar farklı malzemelerde ve farklı şekillerde üretilmiştir. Bunun yanı sıra uç değiştirebilmek için farklı malzemeli kesici takımın takılı olduğu takma uçlu matkaplarda mevcuttur [39].

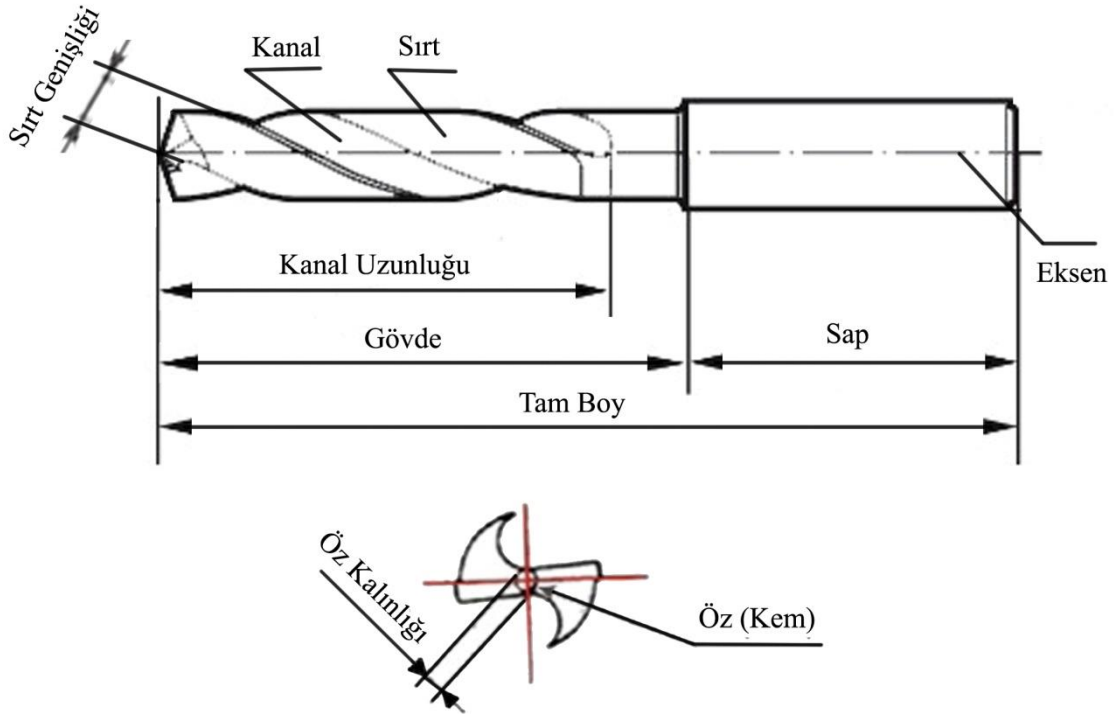
Kısa delik delme işleminde kullanılan matkaplar; tek parça (bilenebilir) matkaplar ve değiştirilebilir uçlu matkaplar olarak iki ana grupta toplanırlar. 2,5 mm 'den 17 mm 'ye kadar değişen delik çapları için yaygın olarak bilenebilir matkaplar kullanılmaktadır. Özellikle kısa delik matkapları için tasarlanmış takım geometrisi, merkezleme deliklerinin ve delme burçlarının kullanımını ortadan kaldırarak, kendi kendine merkezleme özelliği sağlamaktadır. Bunun anlamı oldukça yüksek talaş debilerinin elde edilmesi ve işleme zamanlarının klasik spiral matkaplara göre 3–4 kat azalmasıdır [39]. Bu durum kesici ucun ömrü boyunca yaklaşık olarak 30–40 defa değiştirilebilmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak çoğu delik çapı için değiştirilebilir uçlu matkap mevcut değildir. Bu nedenle klasik hız çeliği matkaplar küçük çaplı delikler için çok fazla tercih edilen takımlardır. Modern tezgâhlarda klasik yüksek hız çeliği (HSS) matkaplar ekonomik bir üretim için belirlenmiş ölçüt ve kriterleri karşılamazlar. Bu nedenle modern geometrilere sahip tekparça matkaplar, işletme maliyeti yüksek yeni tezgâhlarda önem kazanmıştır [56].

Matkapla delik delme işleminde;

- * Delik ortasına indikçe kesme hızının sıfıra doğru azalması
- * Talaşın dışarıya atılma durumu

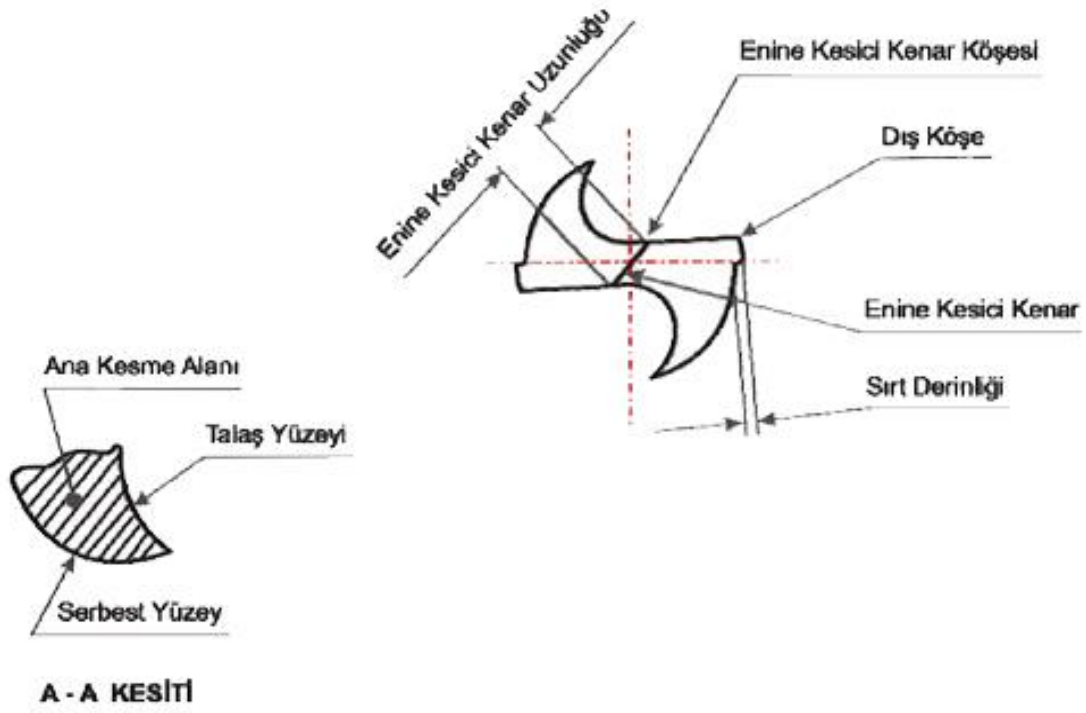
- * Kesme bölgesinde oluşan ısının dağılamaması
- * Takımın kesici köşelerinde oluşan aşınmalar
- * Matkap zırhının (fasetanın) delme esnasında sürtünmeyle aşınması, şeklinde yorumlanabilir [56].

Matkaplar genel olarak iki kısımdan oluşur. Tezgâha matkabı tutturmak için kullanılan sap kısmı konik veya silindirik şekildedir. Gövde kısmı ise kanallı ve heliseldir. Şekil 3.9 da bir matkap genel hatlarıyla gösterilmiştir.

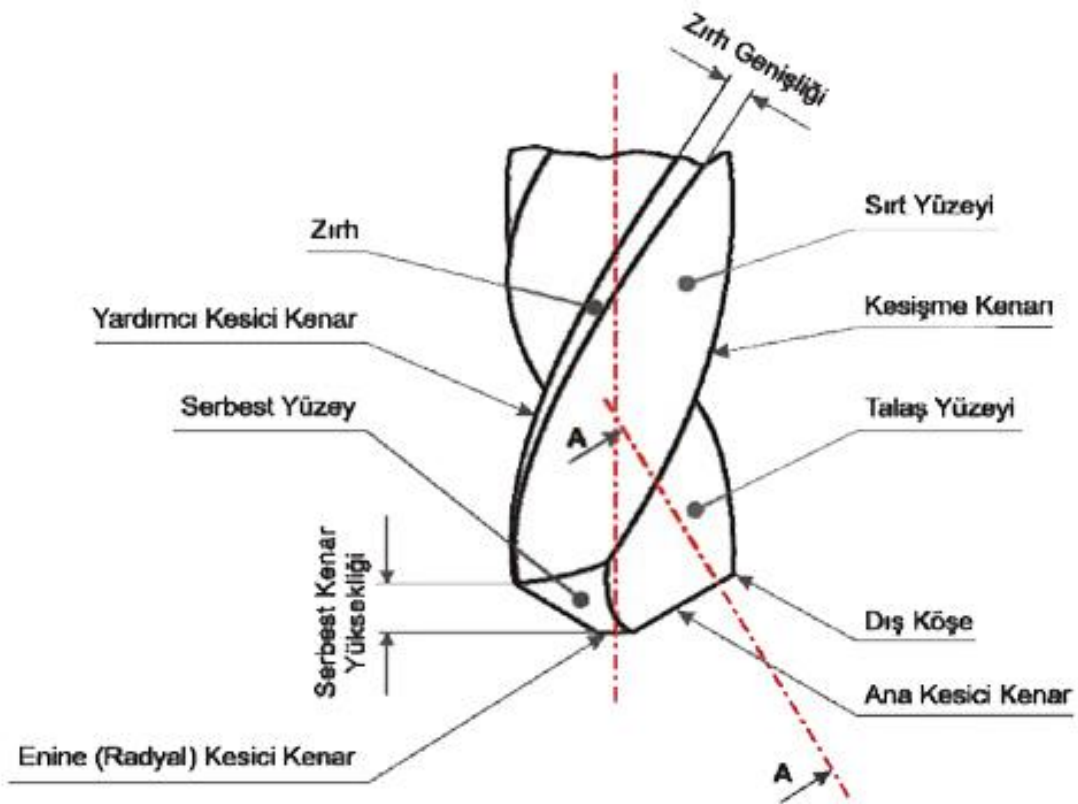


Şekil 3.9. Matkabın kısımları [59].

Matkapta asıl kesme işlemi, matkabın ucunda gerçekleşir. Ağız kısmına göre matkaplar iki ya da üç ağızlı olarak ayrılırlar. Her ağzın birer talaş yüzeyi, serbest yüzeyi ve ana kesici kenarı mevcuttur. Matkabın kanallı kısmında iki kanal arasında kalan yüzey sırt olarak adlandırılır. Serbest yüzey, uç kısmındaki konik kısımdır. Sırt üzerinde matkap kanalı boyunca helisel olarak uzayan yüzeye zırh denir ve zırh yüzeyinin kanal tarafındaki kenarı yardımcı kesici kenar olarak bilinir [61]. Şekil 3.10 ve 3.11’de matkaptaki yüzeyler ve kesici kenarlar gösterilmiştir.



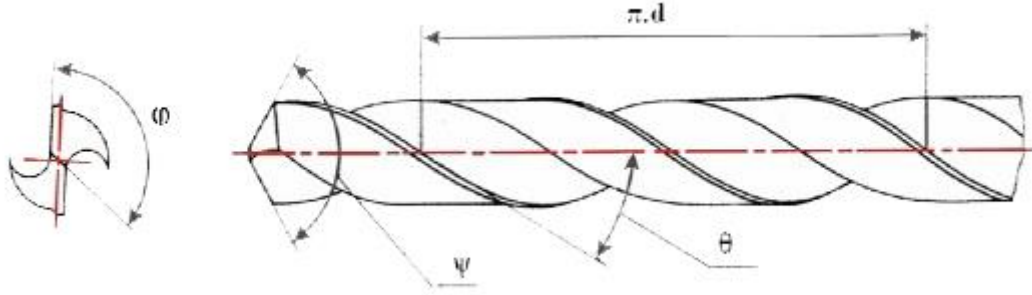
Şekil 3.10. Matkaptaki kesici kenarlar [59].



Şekil 3.11. Matkaptaki yüzeyler [59].

Matkaptaki açılar

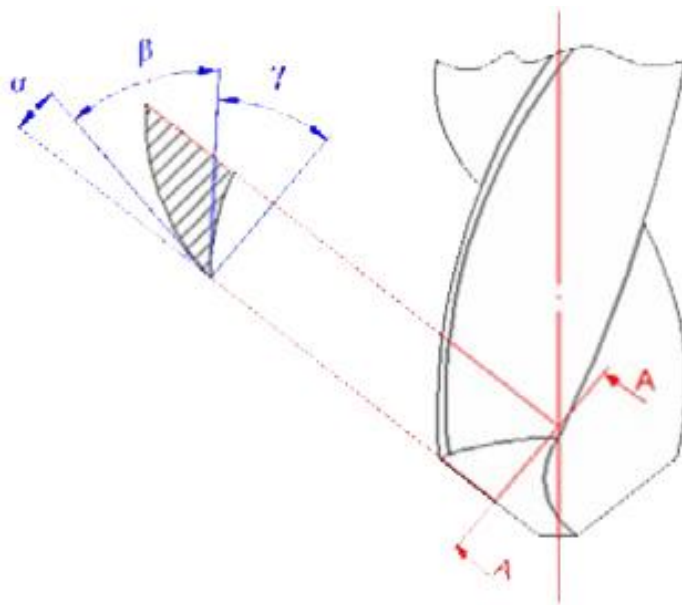
Matkaptaki ana kesici kenarların birbirlerine göre açısal konum farkı uç açısını (ψ), enine kesme ağzı konumu enine kesme açısını (ϕ), helisel kanalların matkap eksenine göre konumu helis açısı (θ) olarak tanımlanmaktadır [59]. Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Matkaptaki uç, helis ve enine kesme açıları [59].

Matkaplar tek uçlu kesici takımlara oranla daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Matkabın bir ağzı tek uçlu kesicilere benzetilebilir. Bu durumda matkabın ana kesme ağız geometrisi tek ağızlı matkaplardaki gibi düşünülür ve matkaptaki kesme açıları; talaş açısı (γ), serbest açısı (α) ve beta (β) açısı olarak yorumlanmaktadır [58].

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (3.2)$$



Şekil 3.13. Matkaptaki kesme açıları [59].

Kesici takımın sürekli dönmesiyle, ağız boyunca talaş açısı değişmektedir. Ana kesici kenarın dış köşesinde maksimum olan talaş açısı matkabın ucuna gittikçe azalarak, enine kesme ağzının bulunduğu yassı bölgede negatif olmaktadır. Bu durumda beta açısı $\beta > 90$ olur. Bundan dolayı enine kesme kenarında talaş kesilerek değil ezilerek kaldırılmaktadır [59, 61].

Matkapta kesme esnasında tüm ağız, helisel bir yüzey oluşturmaktadır. Helisel yüzey kesme oluşumu ve ilerleme yönünün oluşturduğu etken yöndeki eğim açısından (η) dolayı talaş kaldırırken matkabın kesme açıları değiştiği bilinmektedir. Ortaya çıkan bu yeni açılara etken kesme açıları denir. Oluşan yeni etken açılarda, yaklaşma açısı (α) ve talaş açısı (γ) değişirken β açısı değişmeden kalır [61].

İmalatta kullanılan matkaplar, işleme sonrasında en yüksek verimi elde etmek için yüksek dayanıma sahip çeşitli malzemelerden yapılmaktadırlar. İşlenen iş parçasına uygun seçilen bir kesici takımla kesme hızı ve ilerleme arttırılarak daha kısa zamanda parça istenilen özelliklere getirilebilmektedir. Kesici takımların imalatında kullanılan malzemeler üç ana başlıkta toplamak mümkündür.

- * Metal esaslı
- * Karbür esaslı
- * Seramik esaslı

Günümüzde yaygın olarak kullanılan HSS matkaplar, sement karbür matkaplar ve kobaltlı yüksek hız çelikleridir. Ayrıca elmas kaplanmış takımlar ve kübik bor nitrür (CBN) takımlar kullanılarak, yüzey kalitesini ve takım ömrü verimi arttırılmıştır [62].

Sement karbür matkaplar, HSS matkaplara göre daha yüksek devirlerde ve daha sert malzemelerin işlenmesinde tercih edilmektedirler. Sement karbür matkapların üretimde oldukça geniş bir kullanım alanı vardır. Takımın yüksek hızlarda ve sıcaklıklarda aşınmaya karşı oldukça dayanıklı olması, yüksek hızlı işleme yapan imalatçılar tarafından tercih edilme sebeplerindendir [39].

Semente karbür matkapların dışında oldukça ince, sert, aşınmaya karşı dirençli olan titanyum karbür matkaplarda imalatla kullanılmaktadır. Alüminyum oksit ve titanyum nitrit çelikler ve karbür kesici takımların birkaç özelliği aşağıda verilmiştir.

- 1- Daha uzun takım ömrü: iki ile on kat daha fazla takım ömrü.
- 2- Yüksek üretkenlik: kesme hızları %25 ile %90 arasında artırılabilir.
- 3- İş parçası kalitesinin artırılması: takımlar düşük sıcaklıklarda işleme yaparak daha iyi yüzey kalitesi elde edilir.
- 4- İmalat fiyatının azaltılması: daha az takım değiştirilerek, makine daha az süre meşgul edilmiş olacaktır.
- 5- Harcanan güç miktarı %15 oranında azalır.
- 6- HSS matkaba göre kaplanabilme özelliği daha iyidir.
- 7- Kesici kenarlar daha keskindir [63, 64].

Gün geçtikçe hızla gelişen talaşlı imalatla birlikte hızlı bir üretim, rekabet, zaman ve ekonomik tasarruf için kesici takım üretimi de gelişmektedir. Talaşlı imalatla genel olarak kesici takımdan beklenen temel unsurlar;

- * Uzun ömürlü olması
 - * İstenilen işleme kalitesini ve ölçüsünü sağlaması
 - * Parça başı takım maliyetinin düşük olması
 - * Kolay temin edilebilir olması,
- şeklinde düşünülebilir.

Kesici takımlar bazı üretim aşamalarında değişik kesme kuvveti ve zorlamalara maruz kalabilirler. Bu durumlarda kesici takım malzemeleri aşağıda belirtilen özelliklere sahip olmalıdır.

- *Sertlik ve basınç mukavemeti
- * Eğilme mukavemeti süreklilik
- * Kenar mukavemeti
- * İçyapısal mukavemet
- * Isı mukavemeti
- * Oksitlenmeye karşı koyabilme

- * Difüzyon yayılma eğiliminin az olması
- * Sürtünmeye karşı dayanıklı olması

Ayrıca ısı iletkenliği ve genleşme durumu kullanılacağı alana uygun olması gerekmektedir [56]. Çizelge 3.7’de kesici takımların yapımında kullanılan malzemeler, Çizelge 3.8’de karbür takımların kullanım alanları verilmiştir.

Çizelge 3.7. Kesici takım malzemeleri [39].

Devir sayısı dev/dak.													Delme İşlemi	Kullanım Alanı
0-100	200-400	400-600	600-800	800-1000	1000-2000	2000-3000	3000-4000	4000-5000	5000-6000	6000-7000	7000-8000	8000- --		
				PCD Poll Kristal Elmas									Kaba Orta Finiş	Al-alaşımları Demir dışı, Metal olmayan
				SiAlON									Kaba Orta Finiş	Gri, kırılgan, dövülebilir
				Güçlendirilmiş Seramik									Kaba Orta Finiş	Yüksek sıcaklığa dayanımlı alaşımlar, sert çelik
				Seramik (Al ₂ O ₃ -TiC)									Kaba Orta Finiş	Döküm çelik, toz metaller
				CBN (Kübik Bor Nitrür)									Kaba Orta Finiş	Döküm ve çelik, 40 HRC üzeri, gri döküm
				Üçlü Kaplamalı Karbür (TiN/Al ₂ O ₃ /TiN)									Kaba Orta Finiş	Döküm, yüksek sıcaklığa dayanıklı alaşımlar, paslanmaz
				Seramik Kaplı Karbür									Kaba Orta Finiş	Döküm, çelik paslanmaz
				Sermet									Orta Finiş	Döküm, çelik paslanmaz
				TiN&TiC Kaplı Karbür									Kaba Orta Finiş	Döküm, Çelik paslanmaz Ti
				Tungsten Karbür									Kaba Orta Finiş	Yüksek sıcaklığa dayanıklı alaşımlar, paslanmaz
				TiN kaplı HSS									Çok Kaba Orta Finiş	Döküm, Çelik paslanmaz
				HSS									Kaba Orta Finiş	Döküm, Çelik paslanmaz, Yüksek sıcaklıklara dayanıklı alaşımlar

Şartlar bağlı

Genel kullanım alanı

Kesme hızının artırılabilirdiği veya demir dışı malzemelerde

Çizelge 3.8. Karbür uçların kullanım alanları [39].

Artan Aşınma Direnci Artan Kesme Hızı Artan Şok Direnci Artan İlerleme Miktarı	ISO KODU		UYGULAMASI
	Renk Kodu Mavi	P01	Çeliğin çok hassas bitirme işlemlerinde, yüksek kesme hızları için, düşük ilerleme hızlarında uygun şartlarda kullanılır.
		P10	Hassas bitirme işlemlerinde, özellikle çelik ve döküm için kullanılır soğurma sıvısı gerektirmez.
		P20	Çeliğin orta hassasiyette bitirme işlemlerinde, daha az uygun şartlarda, orta kesme hızı ve ilerleme hızlarıyla kullanılır.
		P30	Çelik ve dökümün genel amaçlı tornalanmasında ve orta hassasiyette yüzey işlemede kullanılır.
		P40	Çelik ve dökümün oldukça kaba işlenmesinde, aralıklı kesme, düşük hız ve ilerleme oranıyla kullanılır.
		P50	Zor şartlarda, aralıklı kesmede, pürüzlü yüzey işlemede düşük hız ve ilerleme oranıyla kullanılır.
		M10	Yüksek kesme hızlarında, paslanmaz çeliğin bitirme işlemlerinde kullanılır.
	Renk Kodu Sarı	M20	Alaşımlı çeliklerin düzgün ya da orta düzgünlükte bitirme işlemlerinde kullanılır.
		M30	İşlenmesi zor malzemeler ile paslanmaz çeliğin az veya orta pürüzlülükte kaba işlenmesinde kullanılır.
		M40	Düşük kesme hızlarında sert yüzeyli malzemelerin kaba işlenmesinde kullanılır.
		K01	Plastik ve dökme demirin hassas bitirme işleminde kullanılır.
	Renk Kodu kırmızı	K10	Yüksek kesme ve ilerleme hızlarında, bronz ve pirincin hassas bitirme işleminde kullanılır.
		K20	Dökme demirin kaba işlenmesinde, aralıklı kesme, düşük hız ve yüksek ilerleme hızlarında kullanılır.
		K30	Demir dışı malzemelerin ve dökme demirin kaba işlenmesinde veya bitirme işlemlerinde kullanılır.

3.2.2. Delme esnasında oluşan kuvvetler ve bunların ölçülmesi

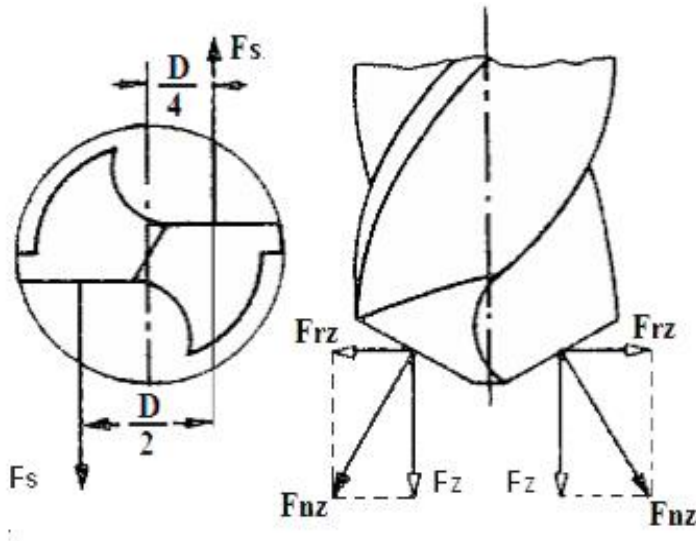
İmalatta parçanın istenilen özelliklerde ve toleranslarda işlenebilmesi için bağlantı elemanları kullanılmaktadır. Bağlama kalıpları sayesinde kısa sürede ve düşük maliyetlerde seri olarak özdeş üretim yapılabilir [65].

İşleme esnasında malzemeyi etkileyen iç ve dış gerilmelerin ölçümü ile basınç ve yükün meydana getirdiği kuvvetlerin ölçümü işlenebilirlik açısından önem teşkil etmektedir [66]. Bu yüzden tüm kuvvetlerin doğru bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Bu kuvvetlerin

hesaplanması teorik olarak zor olduğundan ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Deneysel verileri deney sırasında kaydederek ölçmek daha verimli ve net sonuçlar elde etmemizi sağlamaktadır. Bu ölçümleri yapabilmek için bilgisayar yazılımlarıyla desteklenen dinamometreler kullanılmaktadır [67].

Turgut, Y. ve Korkut, İ. bir çalışmalarında, üretim sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin ölçülmesi, ölçüm sırasında kullanılan sistemlerin incelenmesi ve gruplandırılması hakkında detaylı bilgi sunmuşlardır. İncelemeler sonucunda kuvvet ölçüm sistemlerini iki gruba ayırmışlardır. İlk grupta, tezgâh kontrol sistemleri veya kesicinin bağlandığı motor üzerinden alınan akımın değerlendirilmesi veya elektrik sinyallerinin yorumlaması; ikinci grupta ise, numune veya kesici takım üzerine konumlandırılan dönüştürücüler (yük hücreleri, gerilim ölçer, dinamometreler) yardımıyla kuvvet ölçümlerini yaparak, ölçüm sistemlerini incelemiştir [68].

Delme işleminde talaş kaldırılırken, takımın kesici ağzına birden çok kuvvet etki etmektedir. Bu talaş kaldırma kuvvetleri (F_{nz}); kesme kuvveti (F_s), ilerleme kuvveti (F_z) ve radyal kuvveti (F_{rz}) olarak Şekil 3.14'de verilmiştir. Kesici ağzların konumundan dolayı her kesici ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedir. Bu sebepten dolayı sadece F_s ve F_z kuvvetlerinin delme işlemini etkilediği kabul edilmektedir [69].



Şekil 3.14. Delme işleminde oluşan kesme kuvvetleri [61, 69].

Uzun, G. ve Korkut, İ. delme ve frezeleme işlemlerindeki kesme kuvvetlerini ölçmek için deney düzeneği tasarımı ve üretimi üzerine çalışmışlardır. Hazırlanan düzeneğe;

KISTLER 9272A 4 bileşenli dinamometre, ölçülen kuvvetleri kaydetmek ve okumak için Windows uyumlu dinamometre yazılımı ve bir yükseltici temin edilmiştir. Ayrıca özel olarak bağlama kalıbı hazırlayarak dinamometreyi sabitlemişlerdir. Yapılan kalibrasyon çalışmaları sonucunda, dinamometreye gelen kuvvetler arttıkça kullanılan bağlama kalıbının ölçümdeki hassasiyetinin arttığı yorumlanmıştır. Hazırladıkları bu deney düzeneği tasarımının delme ve frezeleme işlemlerinde oluşan kuvvetlerin ölçümlerinde kullanılabileceği yorumlarında bulunmuşlardır [66].

3.2.3. Yüzey pürüzlülüğü

İş parçasının işlenmesi sonucunda beklenen en büyük taleplerden biri yüzey pürüzlülüğünün az olması yani yüzey kalitesinin iyi olmasıdır. Yüzey pürüzlülüğü ve dokusunun ölçümü birçok endüstri alanında önem taşıdığı için geniş uygulama alanına sahiptir. İmal edilen parçaların yüzeyleri, tepeler ve çukurlar ile düzensiz (çıkıntılı) bir yüzey profiline sahiptir; yani düz değildir [70].

Yüzey pürüzlülüğü veya bütünlüğü, numunenin işlenmesi sonucunda işlenmiş yüzeyde oluşan girinti ve çıkıntılar, yani yüzeyde oluşan bozuklukların ortalama değeri olarak tanımlanmaktadır [71]. İşlenmiş parçada yüzey pürüzlülüğü 3 ana kusur ve hatadan oluşmaktadır. Bunlar;

- 1- pürüzlülük; takım hareketinin ve şeklinin bitmesiyle oluşan
- 2-dalgalanma; işlem mekanizmasındaki değişim nedeniyle
- 3- form; yerleştirmedeki kaba hatalar, şeklinde yorumlanır [72].

Yüzey pürüzlülüğü sürtünerek ya da iç içe çalışan makine parçalarında çok önemlidir. Bu tip parçalarda yüzey çok pürüzlüyse ve iş parçası sert bir malzemeyse, aşınma miktarı artacaktır. Aşınma oranı arttığı için çalışan parçanın ömrü azalır ve verim düşer buda maliyeti arttırmaktadır. Yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğu durumlar;

- * Sürtünmeli yataklar
- * Korozyonlu ortamda çalışan parçalar
- * Yuvarlanmalı yataklar
- * Kaplanmış ve boyalı yüzeyler

- * Sızdırmazlık istenen yüzeyler
- * Plastik enjeksiyon kalıpları
- * Masterlar,
şeklinde açıklanabilir [32].

Yüzey pürüzlülüğü değerini etkileyen birden çok etken bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; malzemenin özellikleri, kesici takım özellikleri, kesme ve ilerleme parametreleri, paso derinliği, soğutma sıvısı, işleme esnasında meydana gelen sıcaklık ve tezgâhın özellikleri gibi faktörlerdir [73]. Bu faktörlerdeki en ufak değişim bile yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir. Genelde pürüzlülüğün, üretim prosesinden kaynaklanan küçük düzensizliklerden meydana geldiği kabul edilmektedir [74]. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörleri detaylandırırsak,

- * Malzemenin kalıba bağlanmasından kaynaklı deformasyon oluşumu,
- * İlerleme mekanizmasından kaynaklı düzensizlikler,
- * Malzemenin yapısal kusurları,
- * Kırılgan numunelerin işlenmesinde oluşan düzensiz talaş akışı,
- * Kolay işlenebilir malzemelerin şekillendirilmesinde düşük kesme hızları kullanıldığında, malzemenin yüzeyinde oluşan yırtılmalar,
- * Talaş akışının neden olduğu bozukluklar,
- * Kesme hızındaki düzensizlikler,
- * İlerleme hızındaki düzensizlikler,
- * Kesme anındaki talaş derinliği,
- * Kesici takımı soğutma ve yağlama şartları,
- * İşlenen numunenin kimyasal bileşimi ve atomik yapısı,
- * Kesici takımın geometrisi, tasarımı ve kesme kapasitesi,
- * Takım tezgâhının rijitliği, çalışma koşulları ve titreşim,
- * Kalıp ve bağlama düzeneği,
- * Malzemenin işlenmesi için uygulanan talaş kaldırma yöntemi,
- * Yatak ve kesici takımlarda oluşan geometrik bozulmalar, vb. unsurlardır [39].

Talaşlı imalatta parça işlendikten sonra gözle görülmese de yüzeyde pürüzlülük meydana gelmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu yerlerde, kalite kontrolünün yapılması gereklidir. Bu durumlar için ülkemizde TS 2040 nolu yayınla yüzey kaliteleri bir

Bu kriterlere göre yüzeydeki pürüzlülükler, yüzeye dik gelen bir kesitte, numunenin belirli bölgelerinde uygun uzunluklarda, belirli bir referans noktasına ve profil ortalama çizgisine göre yorumlanmaktadır [61].

3.2.4. Delik daireselliği ve silindirikliği

İmalatta en önemli referans teknik resimdir. Teknik resim üzerinde belirtilen tolerans ve ölçü birimleri esas alınarak imalat yapılmaktadır. Talaşlı imalatta üretilen silindirlerde meydana gelen değişikliklerin ifadesinde silindiriklik toleransı, dairesel yüzeydeki değişikliklerin ifadesinde ise dairesellik toleransı kullanılmaktadır. Bu tolerans aralıkları TSE tarafından belirtilmiştir. Çizelge 3.9'da sembol ve anlamları görülmektedir.

Dönerek çalışan iş parçalarının daireselliği, parçanın mekanik özellikleri açısından oldukça önemlidir [84]. Parçanın daireselliğinde meydana gelen değişimler; takımın aşınması, takımın doğru şekilde konumlandırılmaması veya kesme anında uygulanan kuvvetlerin düzensiz olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca dairesellik aralığı, kesme hızına, ilerleme miktarına, paso kalınlığına, paso sayısına vb. birçok parametreye göre değişmektedir [85].

Çizelge 3.9. TSE tarafından belirlenen tolerans çeşitleri ve sembollerin bir kısmı [86].

ŞEKİL VE KONUM ÇEŞİTLERİYLE SEMBOLLERİ (TS 1304)			
Eleman Cinsi	Özelliği	Adı	Sembol
TEK ELEMANLAR	ŞEKİL	Doğrusallık	
		Düzlemsellik	
		Dairesellik	
		Silindiriklik	
		Bir çizginin şekli	
		Bir yüzeyin şekli	
		Paralellik	

4. DENEYSEL İŞLEMLER VE METOT

Bu çalışmada, demir esaslı A 286 süper alaşımın TiN, TiAlN ve AlCrN kaplamalı karbür matkaplarla delinerek kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenmiştir. Bu amaçla üç farklı ilerleme miktarı ve üç farklı kesme hızı belirlenmiş ve Taguchi ortogonal serisinden faydalanılarak deney planı oluşturulmuştur. Kuru şartlar altında yapılan delme deneylerinde oluşan itme kuvvetleri ve torklar kayıt altına alınmıştır. Buna ilave olarak, elde edilen deliklerin yüzey pürüzlülüğü, silindirikliği ve daireselliği ölçülerek optimum delme parametreleri belirlenmiştir.

4.1. A 286 Süper Alaşımının Karakterizasyonu

4.1.1. Mikroyapı incelemeleri

Süper alaşımların yapısına, istenilen özelliklerin kazandırılması için birden çok element ilave edilmektedir. Bu sayede YMK yapıdaki matris fazın sertleşmesi sağlanmaktadır. İlave edilen bu elementler gerekli olan ısı işlemler uygulandığında, düzgün YMK γ' fazı ve düzgün hacim merkezli tetragonal (HMT) yapıdaki γ'' fazı gibi intermetalik fazlarının çökelmelerini sağlamaktadırlar. Krom, demir vb. elementler aynı anda γ' ve γ'' fazları içerisinde mevcut olabilmektedir. YMK yapıdaki bu alaşımlar, yüksek oranlarda karbon takviyeleriyle (% 0,5) sertleştirilebilmektedirler. Ayrıca, azot ve fosfor elementleri sertleşme oranını geliştirmede kullanılmaktadırlar. Karbon elementi ise, tane sınırlarında $M_{23}C_6$ ve M_6C vb. karbür fazlarını oluşturarak ilave edilen bölgenin sertleşmesini sağlamaktadır [50, 52].

Demir esaslı süper alaşımlar, karbür ve intermetalik bileşiklerin çökmesi sonucu sertleşen malzemelerdir. YMK yapıdaki nikel bazlı alaşımlarda γ' fazı ($[Ni_3(Al,Ti)]$ vb.) ve geometrik sıkı paket (gcp) fazlarının çökmesi görülebilmektedir. Ayrıca YMK yapıdaki kobalt bazlı alaşımlarda nikel alaşımlarındaki gibi katı çözelti sertleşmesi görülebilmektedir [52]. Demir bazlı alaşımların yapılarında, atomlar arası mesafenin kısa olması sebebiyle bu fazların oluşumları tolere edebilmektedir. Malzemenin bu yapısal özelliği pratik anlamda önem taşımaktadır [50].

Demir bazlı süper alaşımların en önemli grubu, YMK matris yapı içindeki intermetalik bileşiklerin, çökmesi ile sertleştirilen alaşımlardan oluşmaktadır. Bu tanıma en uygun

çökelti A 286, V-57 ve Pyromet 860 alaşımlarının içerdiği γ' çökeltisidir. Aynı zamanda, yapısında demir içeren Inconel 718 süper alaşımı (nikel bazlı süper alaşım olarak gösterilmektedir ve % 18,5 oranında Fe içermektedir) γ'' fazları tarafından sertleştirilmektedir. Buna ilaveten tungsten ve molibdenyum elementleriyle katı çözelti sertleşmesi sağlamak mümkündür [50, 52].

Weiß, S. ve arkadaşları çalışmalarında, A286 süper alaşımının yüksek sıcaklıktaki mikro yapı ve akış davranışını incelemişlerdir. Sonuç olarak düşük süneklik ve bazı mikro yapısal sorunlara rağmen A 286 süper alaşımının yüksek sıcaklık uygulamaları için uygun olduğu gözlemlenmiştir [87].

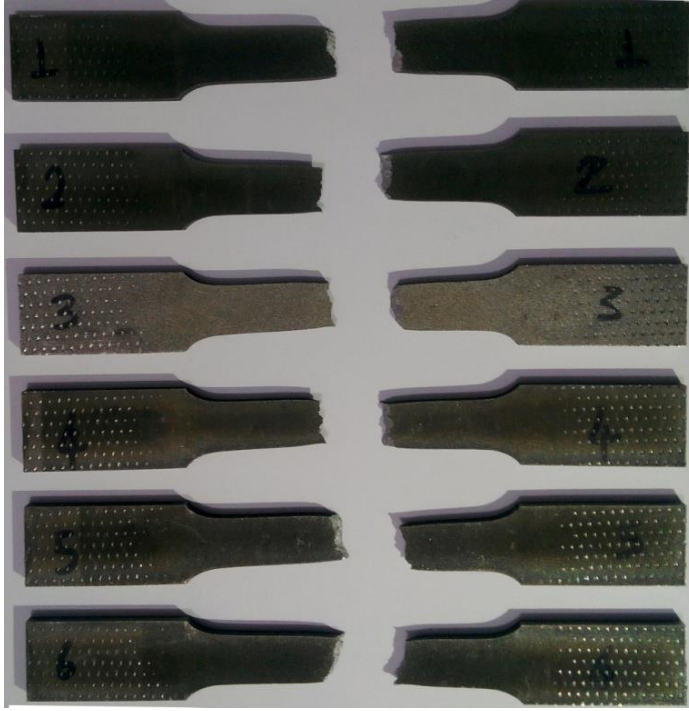
Deneylerde kullanılan A286 süper alaşımının mikro yapısını incelemek için; 220, 400, 800 ve 1200 lük zımparalar kullanarak parça yüzeyi temizlenmiştir. Daha sonra ince ve kalın keçelerle yüzey parlatılmıştır. Dağlama işlemi için hazırlanan karışım pamuk yardımıyla birer dakikalık dört periyotta yüzeye uygulanmıştır. Dağlama için; 20 ml asetik asit, 20 ml HNO_3 , 30 ml HCL katılarak toplamda 70 ml çözelti hazırlanmıştır. Bu işlemler uygulandıktan sonra optik mikroskopta (ters metal) mikro yapı görüntüsü alınmıştır.

4.1.2. Sertlik ölçme deneyi

Sertlik ölçümü için numune yüzeyi parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyde beş farklı noktadan sertlik ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sonuçları HV (Vickers) olarak kaydedilmiştir. Sertlik ölçümü için uygulanan kuvvet 5 HV dir.

4.1.3. Çekme deneyi

Çekme deneyi için A 286 süper alaşımı çekme numuneleri hazırlanmış ve bu numuneler 5 mm/dak hızında çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Çekme deneylerinden, malzemenin esneme ve uzama yapmadan koptuğu görülmüştür. Dolayısıyla, malzemenin gevrek bir yapıya sahip olduğu yorumlanabilir. Resim 4.1'de çekme testi sonrasında numuneler görülmektedir.

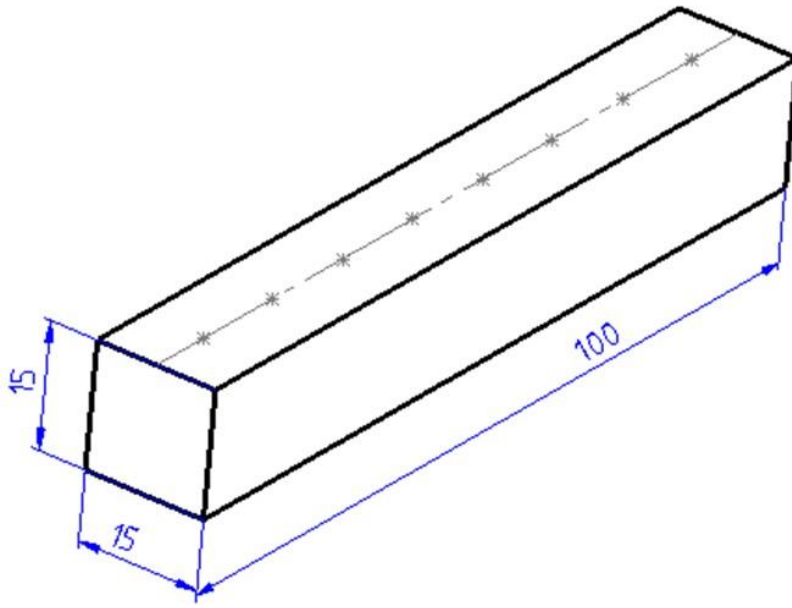


Resim 4.1. Çekme testi sonrası numuneler

4.2. Delme Deneyleri

4.2.1. Delme deneylerinde kullanılan kesici takımlar

Delme işleminde en uygun değerleri elde etmek için delik boyu delik çapının maksimum 3 katı olması gerekmektedir [28, 88]. Deneylerde, 15x15x100 mm ölçülere sahip iş parçası kullanılmıştır. Literatüre göre, süper alaşımların işlenmesinde genellikle karbür matkaplar tercih edilmekte ve kaplamalı karbür matkapların kaplamasız karbür matkaplara göre daha iyi yüzey pürüzlülüğü sağladığı iddia edilmektedir [7, 12, 15, 36]. Delme deneylerinde, A30 walter (titex) marka Ø8,38 mm, iki farklı uç açısına sahip ve üç farklı kaplamalı karbür matkaplar kullanılmıştır.



Resim 4.2. Deneylerde kullanılan malzemenin boyutu (mm)

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan matkaplar

Kaplamalar	Uç Açısı	
TiN	140°	120°
TiAlN	140°	120°
AlCrN	140°	120°

Kullanılan matkaplar başlangıçta TiN kaplı olarak 140° uç açısıyla üretilmiştir. Deneyler için matkaplar fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemiyle TiN kaplı matkapların üstüne 1,6µm kalınlığında TiAlN ve AlCrN kaplanmıştır. Uç açısı 120° olan matkaplar için bileme işlemi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan matkaplar Resim 4.3'den Resim 4.8'e kadar verilmiştir. Matkaplara ait detaylı bilgi EK-3'de verilmiştir.



Resim 4.3. Deneylerde kullanılan TiN kaplı 120°'lik matkap.



Resim 4.4. TiN kaplı 140°'lik matkap.



Resim 4. 5. TiAlN kaplı 120°'lik matkap.



Resim 4.6. TiAlN kaplı 140°'lik matkap.



Resim 4. 7. AlCrN kaplı 120°'lik matkap.



Resim 4.8. AlCrN kaplı 140°'lik matkap.

4.2.2. Delme deneylerinde kullanılan takım tezgâhı ve işleme parametreleri

Deneylerde 15 KW güç ve 3500 dev/dak işleme kapasitesine sahip CNC düşey işleme merkezi (Johnford VMC-550 Fanuc Serisi O-M) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan dik

işleme merkezi ve deney düzeneği Resim 4.9’da gösterilmiştir. Deneylerde soğutma sıvısı kullanılmamıştır.



Resim 4.9. Dikey işlem merkezi

Bu çalışmada, performans özelliklerini belirlemek için Taguchi metodundan faydalanılmıştır [76, 89]. Faktörler (A,B,C,D) arası etkileşimi kontrol için L18 ortogonal dizisi seçilmiştir [90-93]. Deney için hazırlanan parametreler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Deney planında, takımın uç açısı ile ilerleme miktarının etkileşimi (A*C) dahil edilmiştir. Çizelge 4.3’de komple kesme şartları görülmektedir. Çizelge 4.4’de ise bu parametrelere göre hazırlanan deney planı görülmektedir.

Çizelge 4.2. Deney için hazırlanan parametreler (L18-2*1 ve 3*3)

		Seviyeler		
		1	2	3
Faktörler	Uç açısı, derece (A)	120	140	
	Kesici Takım (B)	TiN	TiAlN	AlCrN
	İlerleme, mm/dev(C)	0,05	0,1	0,15
	Kesme Hızı, m/dak (D)	25	50	75

Çizelge 4.3. İşleme şartları.

Takım Tezgâhı	Johnford VMC-550 Fanuc Serisi O-M CNC dik işleme merkezi		
Kesici Takımlar	TiN kaplı karbür matkap	Ø8,38 mm, 120° ve 140° takım uç açısı, spiral, 28° Helis açısı	
	TiAlN kaplı karbür matkap		
	AlCrN kaplı karbür matkap		
İş Parçası	A 286 süper alaşım		
Kesme Parametreleri	Kesme hızları (V): 25 m/dak, 50 m/dak, 75 m/dak		
	İlerleme oranları (f): 0,05 mm/dev, 0,1 mm/dev, 0,15 mm/dev		

Çizelge 4.4. Deney planı.

Deney No	Uç Açısı (derece) (A)	Kesici (B)	İlerleme (mm/dev) (C)	Kesme hızı (m/dak) (D)
1	120	TiN	0,05	25
2	120	TiAlN	0,05	50
3	120	AlCrN	0,05	75
4	120	TiN	0,1	25
5	120	TiAlN	0,1	50
6	120	AlCrN	0,1	75
7	120	TiN	0,15	50
8	120	TiAlN	0,15	75
9	120	AlCrN	0,15	25
10	140	TiN	0,05	75
11	140	TiAlN	0,05	25
12	140	AlCrN	0,05	50
13	140	TiN	0,1	50
14	140	TiAlN	0,1	75
15	140	AlCrN	0,1	25
16	140	TiN	0,15	75
17	140	TiAlN	0,15	25
18	140	AlCrN	0,15	50

Taguchi deney tasarımı, birden çok parametrenin, farklı seviyeleri içinden en uygun olan kombinasyonu belirlemek amacıyla kullanılan avantajlı bir metottür. Taguchi'nin tasarımında, ortogonal dizi tablosundan faydalanılarak deney sayısı azaltılabilmektedir [94]. Çizelge 4.5'de Taguchi ortogonal dizi tablosu verilmiştir.

Çizelge 4.5. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu [95].

Seviye Sayısı													
Parametre Sayısı	2		L4	3		L9	4		L' 16	5		L25	
	P=2	S=2		P=2	S=3		P=2	S=4		P=2	S=5		
	P=3	S=2		P=3	S=3		P=3	S=4		P=3	S=5		
	P=4	S=2	L8	P=4	S=3	L18	P=4	S=4	L' 32	P=4	S=5	L50	
	P=5	S=2		P=5	S=3		P=5	S=4		P=5	S=5		
	P=6	S=2		P=6	S=3		P=6	S=4		P=6	S=5		
	P=7	S=2	L11	P=7	S=3	L27	P=7	S=4	L' 32	P=7	S=5	L50	
	P=8	S=2		P=8	S=3		P=8	S=4		P=8	S=5		
	P=9	S=2		P=9	S=3		P=9	S=4		P=9	S=5		
	P=10	S=2	L16	P=10	S=3	L36	P=10	S=4	L' 32	P=10	S=5	L50	
	P=11	S=2		P=11	S=3		P=11	S=4		P=11	S=5		
	P=12	S=2		P=12	S=3		P=12	S=4		P=12	S=5		
	P=13	S=2	L32	P=13	S=3	L36				P=13	S=5	L50	
	P=14	S=2		P=14	S=3					P=14	S=5		
	P=15	S=2		P=15	S=3					P=15	S=5		
	P=16	S=2	L32	P=16	S=3	L36				P=16	S=5	L50	
	P=17	S=2		P=17	S=3					P=17	S=5		
	P=18	S=2		P=18	S=3					P=18	S=5		
	P=19	S=2	L32	P=19	S=3	L36				P=19	S=5	L50	
	P=20	S=2		P=20	S=3					P=20	S=5		
	P=21	S=2		P=21	S=3					P=21	S=5		
	P=22	S=2	L32	P=22	S=3	L36				P=22	S=5	L50	
	P=23	S=2		P=23	S=3					P=23	S=5		
	P=24	S=2											
	P=25	S=2	L32				L36						L50
	P=26	S=2											
	P=27	S=2											
	P=28	S=2	L32				L36						L50
	P=29	S=2											
	P=30	S=2											
	P=31	S=2	L32				L36						L50

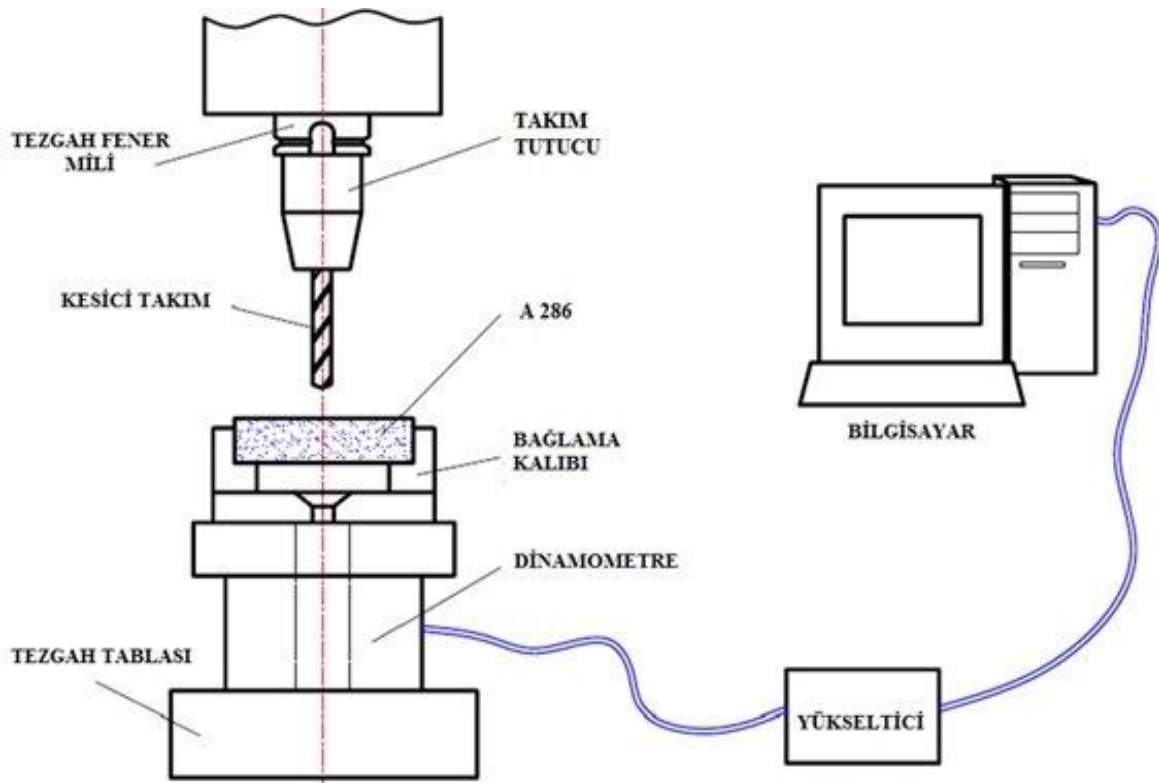
4.2.3. İlerleme kuvveti ve kesme momentinin ölçümü

Delme esnasında meydana gelen kuvvetlerin ölçümü için KISTLER marka dinamometre kullanılmıştır (Resim 4.10).



Resim 4.10. Kistler dinamometre

Ölçümleri yapabilmek amacıyla, iş parçasını dinamometrenin üzerine bağlamak için özel bağlama aparatı tasarlanmıştır. Yapılan bağlama aparatı dinamometre üzerine monte edilerek ölçümler yapılmış ve bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Şekil 4.1’de deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Delme deneylerinde kullanılan deney düzeneği [78].

Yapılan ölçümlerde kuvvet ve torklar için ortalama değerler alınmış ve matkabin kesme yüküne maruz kalma süresi dikkate alınmıştır.

4.2.4. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü

Bu çalışmada delinen deliklerin ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerini ölçmek için Mitutoyo SJ-201P cihazı kullanılmıştır. Değerler matkap girişi ve matkap çıkışında iki farklı bölgeden toplamda dört noktadan ölçülerek ortalama Ra değeri alınmıştır. Ölçülen değerler grafikler haline dönüştürülerek bilgisayar ortamına kaydedilmiştir.

4.2.5. Dairesellik ve silindirikliğin ölçümü

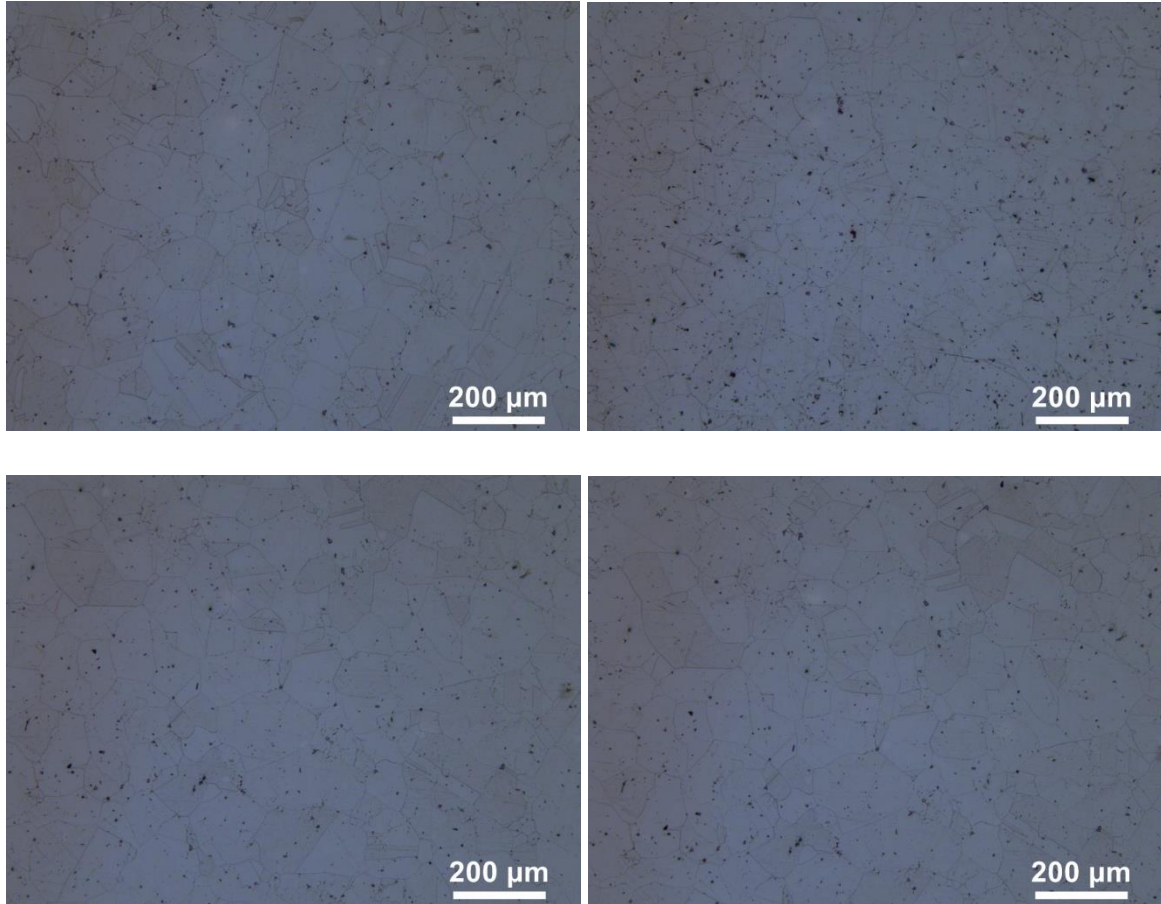
Deneyler sonucunda dairesellik ve silindiriklik ölçümleri için Dea Performance Global Koordinat Ölçüm Makinesi (CMM) kullanılmıştır. 3-5 bar arası basınçlı hava ile çalışan CMM cihazı 350 mm² alanda 3 mikron hassasiyetle ölçüm yapmaktadır. Ölçümler her delik için 6 noktadan 3mm ve 12 mm den 4 mm lik grup kullanılarak yapılmıştır. Yapılan ölçümler bilgisayar ortamında kaydedilmiştir.

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Mikroyapı ve Mekanik Özellikler

YMK yapıda bulunan demir bazlı süper alaşımlar, 540°C üzerindeki çalışmalar için tercih edilen en önemli malzemelerden biridir. Ayrıca bu alaşımlar, yapısındaki geometrik sıkı paket sayesinde, zamana bağlı deformasyon sürecinde yüksek direnç göstermektedirler. Demir bazlı süper alaşımların birçok koşulda mikro yapı özelliklerinin nikel esaslı süper alaşımlara benzer olduğu kabul edilmektedir [50].

A 286 süper alaşımının mikro yapısının Inconel'e yakın değerlerde olduğu literatürle belirtilmektedir [1, 52, 69, 96]. Yapılan çalışmalar sonucunda farklı bölgelerden alınan görüntülerde tane sınırlarının değişken olduğu görülmüştür. Resim 5.1'de A 286 süper alaşımının optik mikroskopta alınan görüntüleri verilmiştir.



Resim 5.1. A 286 süper alaşımının mikro yapı görüntüsü

A 286 süper alaşımının mikro yapı incelemesi dışında sertlik ölçümü ve çekme deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler sonucunda kaydedilen sertlik değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

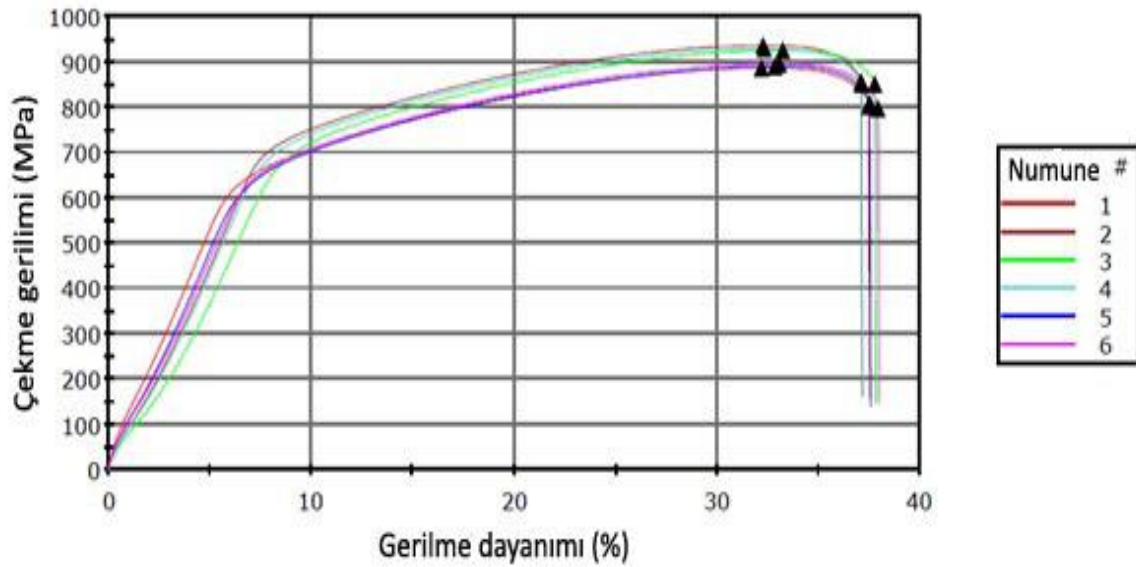
Çizelge 5.1. Sertlik ölçüm sonuçları (HV)

Numune	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	4. Ölçüm	5. Ölçüm	Ortalama
A 286	246 Vickers	244 Vickers	244 Vickers	244 Vickers	244 Vickers	244,4 Vickers

Çekme testleri için hazırlanan numuneler 5 mm/dak hızında çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen veriler Çizelge 5.2 ve Şekil 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Çekme testi sonuçları (MPa)

	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma (MPa)	Maksimum Çekme Dayanımı (%)	Akma Sınırındaki Gerilme Direnci (MPa)
1	886,02228	802,00836	32,15267	607,61764
2	935,36627	855,84662	32,23365	682,25628
3	924,85248	851,01129	33,20308	658,51188
4	927,92810	851,00043	32,28799	667,16319
5	889,40582	808,37189	32,82560	599,41688
6	894,73230	796,62207	33,04150	625,77400
Ortalama	909,71788	827,47678	32,62408	640,12331
Standart sapma	21,98698	27,84864	0,45557	33,95296



Şekil 5.1. Grafik üzerinde çekme testi sonuçları (MPa)

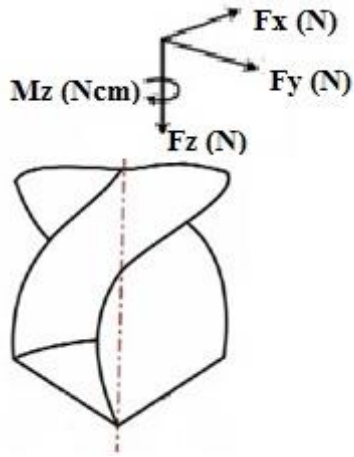
Çekme testleri için hazırlanan 6 tane numuneden elde edilen sonuçlar incelendiğinde test sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.

5.2. A 286 Süper Alaşımının Delinebilirlik Özellikleri

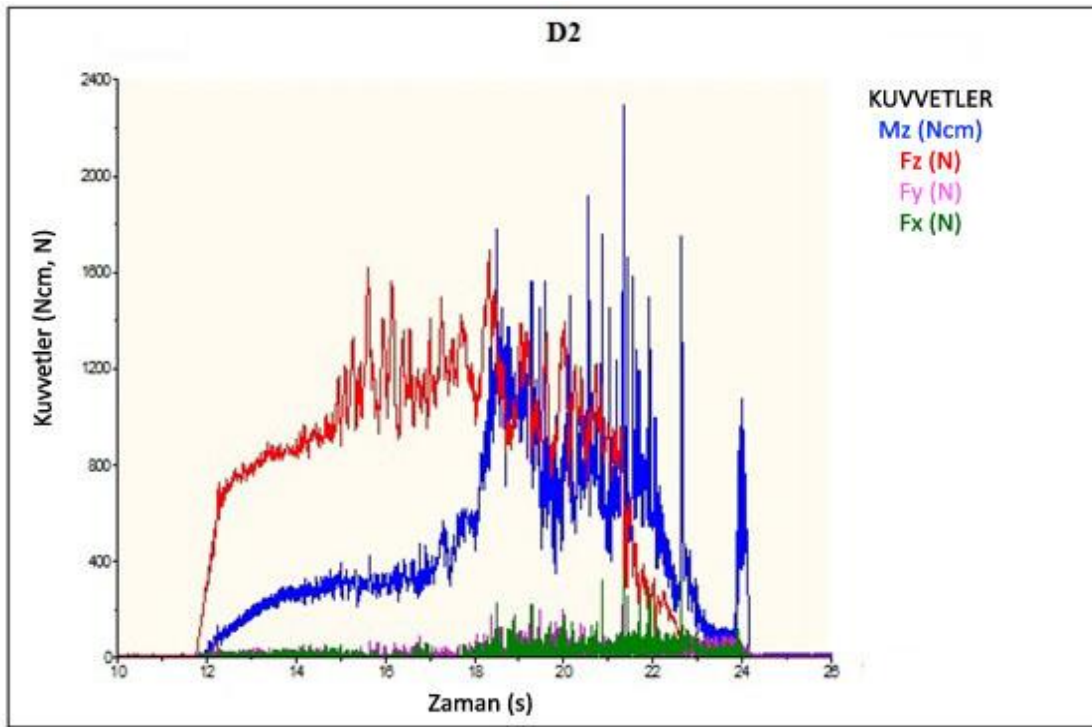
5.2.1. İlerleme kuvveti ve kesme momentinin değerlendirilmesi

A 286 süper alaşımın işlenmesinde, ilerleme miktarı, kesme hızı, kesici takım kaplaması ve farklı uç açısı gibi faktörlerin delme kuvvetleri ve momentleri üzerine olan etkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışma için Taguchi metodundan faydalanılmış ve deneyler sonucunda kesme kuvvetleriyle birlikte yüzey pürüzlülüğü, delik ölçüleri ve talaş oluşumları incelenmiştir.

İlerleme kuvveti ve kesme momentinin ölçümü için Kistler dinamometre kullanılmıştır. Bu sayede matkaba gelen kuvvetler bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. İlerleme kuvveti ve kesme momentine ait grafiklerden, delme esnasında x ve y eksenini doğrultusunda oluşan F_x ve F_y kuvvetlerinin önemsenmeyecek bir değere sahip olduğu görülmüştür. Şekil 5.2’de matkaba gelen kuvvetler gösterilmiştir. Şekil 5.3’de dinamometreden alınan kuvvet ve moment grafikleri verilmiştir. Tezgâh mili ekseninde oluşan ilerleme kuvvetini (F_z), etkileyen en önemli parametrenin ilerleme hızı olduğu literatürde belirtilmektedir [97-99].

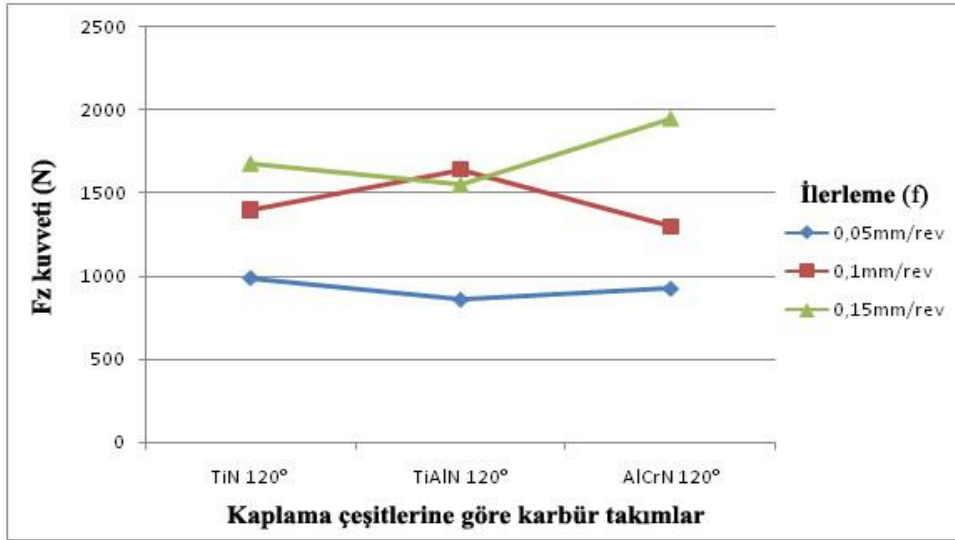


Şekil 5.2. Matkaba gelen kuvvetler

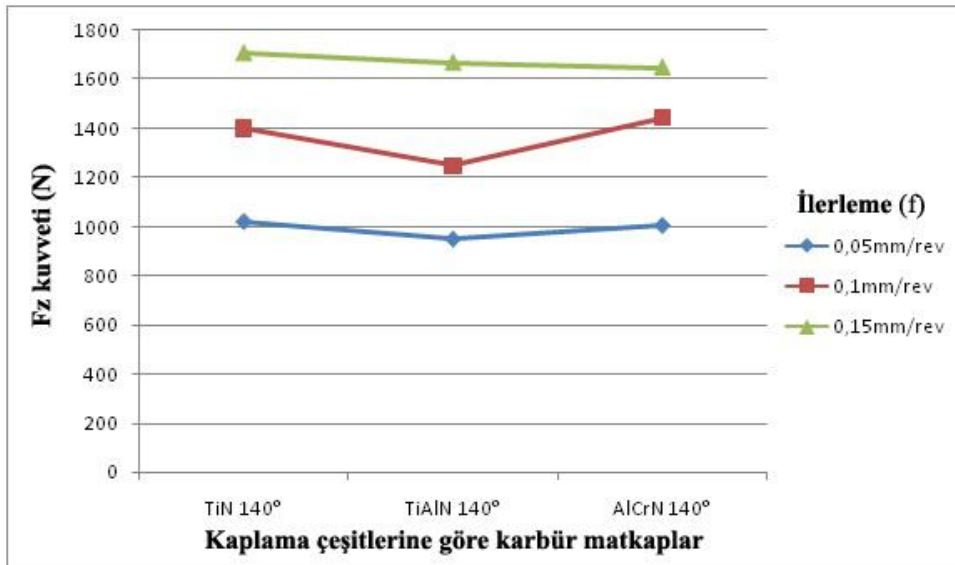


Şekil 5.3. Dinamometreden alınan kuvvet ve moment grafiği

Deneylerde kullanılan matkaplarda iki farklı uç açısı seçilmiştir. Buna göre matkapların tüm ilerleme miktarlarında ölçülen F_z kuvvetleri şekil 5.4 ve 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.4. 120°'lik matkapların Fz (N) kuvvetleri



Şekil 5.5. 140°'lik matkapların Fz (N) kuvvetleri

Literatürde, ilerleme kuvveti ve kesme momentini artıran en önemli faktörün ilerleme hızı olduğu belirtilmektedir [14, 17]. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de görüleceği gibi, ilerleme hızının artmasıyla kesici takımın kaldıracağı talaş hacmi arttığından dolayı, kesme esnasında oluşan ilerleme kuvveti ve kesme momenti artmaktadır [100].

Genel olarak bakıldığında, tüm deneylerde ilerleme miktarı arttıkça ölçülen Fz kuvvetinin arttığı görülmüştür. Kuvvetler üzerinde kesme hızının da etkisi görülmüştür. Kesme hızı arttıkça kuvvetin düştüğü, kesme hızı azaldıkça kuvvetin arttığı görülmüştür. Bu durum işlem esnasında meydana gelen sıcaklıktan dolayı malzemedeki yumuşamanın daha az

kuvvet oluşturacağı şeklinde yorumlanmıştır. Bunun için düşük ilerleme miktarı ile yüksek kesme hızında çalışmanın verimli olacağı düşünülebilir.

Kesici takım ve kaplama türlerinin kuvvetlere etkisi irdelendiğinde; ilerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak; aynı matkap türlerinde yakın değerler ölçülmüştür. Bazı durumlarda kuvvetlerde göze çarpan yükselmeler saptanmıştır. Bunun sebebi; talaş yapışması sonucu ortaya çıkan zorlanma kesme yüzeyi ve açılarının kaybolması olarak yorumlanmıştır.

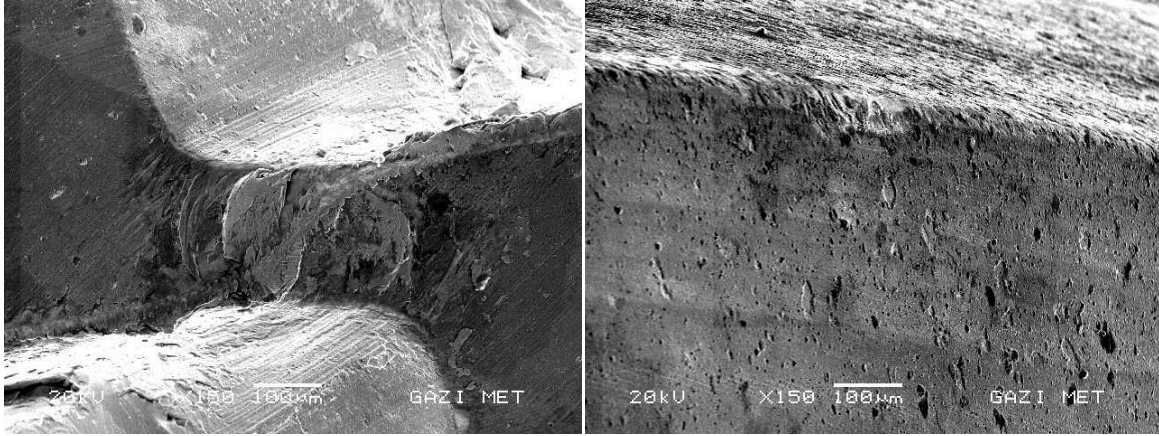
Genel olarak, TiN kaplı matkaplarda talaş yapışmasının daha çok olduğu görülmüştür. İkinci tekrar deneylerinde de aynı şekilde talaş yapışmaları görülmüştür. Bunun sebebi olarak delme esnasında veya ilk delme işleminden sonra kaplamanın deformasyonu sonucunda; işlem sırasında oluşan sıcaklıkla eriyen malzemedeki nikel elementinin, talaş yapışmasına sebep olduğu yorumlanmıştır.

Talaş yapışmasının çok olduğu çalışmalarda kaplamanın önemli olduğu görülmektedir. Kaplamanın zarar gördüğü deneylerde talaş yapışması daha fazla olduğu için titreşim ve zorlanmanın arttığı görülmüştür. Ayrıca bazı durumlarda matkabın kırılmasına sebep olduğu da görülmüştür. Resim 5.2’de 120° lik TiN kaplı matkabın ikinci tekrarda kırıldığı görülmüştür. Bu zorlamanın kuvvetlerde artışa sebep olduğu da yorumlanmıştır. Deneyler sonucunda en düşük Fz kuvveti TiAlN kaplı matkaptan ölçülmüştür.



Resim 5.2. TiN kaplamalı 120°’lik matkap (İkinci tekrarda kırılan matkap)

Deneyler sonrasında matkaplardan bazıları tel erozyon tezgâhında, konik kısmın bitiminde 5 mm den kesilerek SEM’den görüntü alınmıştır. Bu görüntülerde matkabın yüzeyindeki değişim incelenmiştir. Talaş yapışması ve buna bağlı olarak zorlanan ve aşınan TiN kaplı matkaplarda daha bozuk yüzeyler görülmüştür.



Resim 5.3. TiN kaplamalı 140°'lik matkabın SEM görüntüsü.

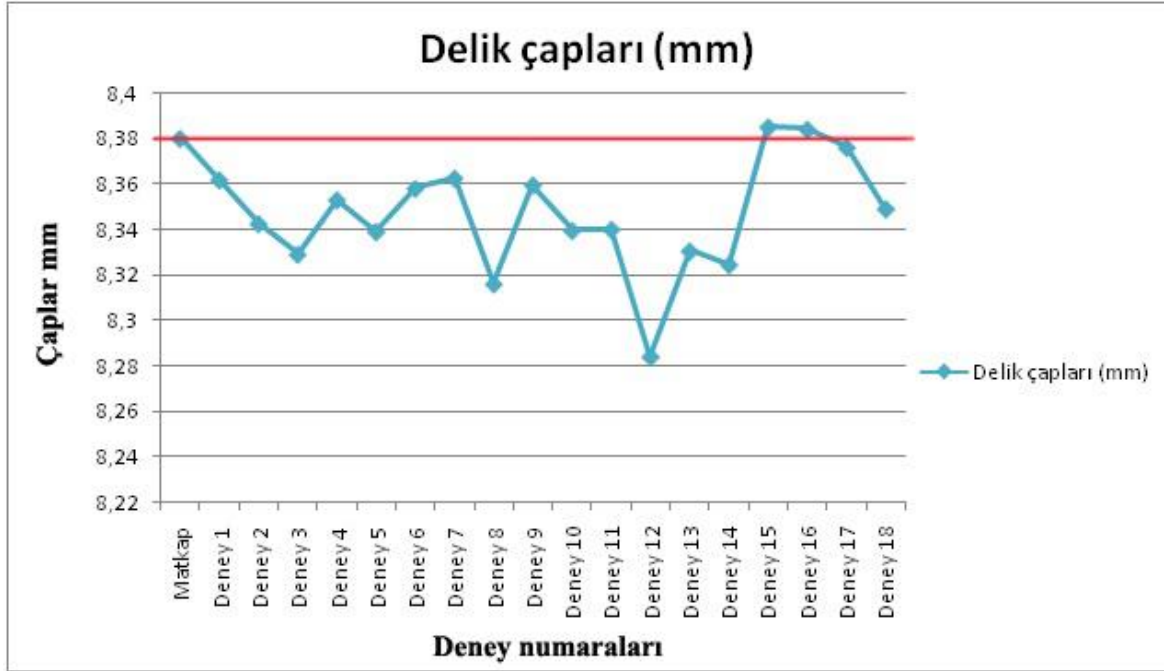
Kesme kuvvetleri üzerinde diğer parametreler gibi uç açısı da önem taşımaktadır. Uç açısının 120° olmasının dalmayı kolaylaştırdığı ama kesmeyi azalttığı görülmüştür. Ayrıca, daha küçük uç açılarında matkabın uç kısmı zayıfladığından, takım aşınması artmakta, dolayısıyla da takım ömrü azalmaktadır [27, 101].

Taguchi'nin deney tasarım metoduyla hazırlanmış deney parametreleri sonucunda elde edilen veriler yorumlanmıştır. Bu sonuçları desteklemek için doğrulama deneyleri de yapılmıştır. Yapılan doğrulama deneyleri ile deney sonuçları kıyaslanmıştır.

5.2.2. Delme sonrası oluşan delik ölçüsünün değerlendirilmesi

A 286 süper alaşımı üzerine kuru şartlar altında, üç farklı kaplamaya ve iki farklı uç açısına sahip karbür matkaplarla delme işlemi uygulanmıştır. Bu çalışmada her matkapla bir delik delinmiştir. Daha sonra tekrar amaçlı delme işlemi uygulanmıştır.

Oluşan delik ölçüleri CMM yardımıyla ölçülmüştür. Delikler CMM de delik girişinden 2mm ve 12 mm derinlikte altı farklı noktadan referans alınarak ortalama değerler alınmıştır. Ölçülen sonuçlar Şekil 5.6'de verilmiştir.



Şekil 5.6. Deneyler sonrası oluşan delik çapları

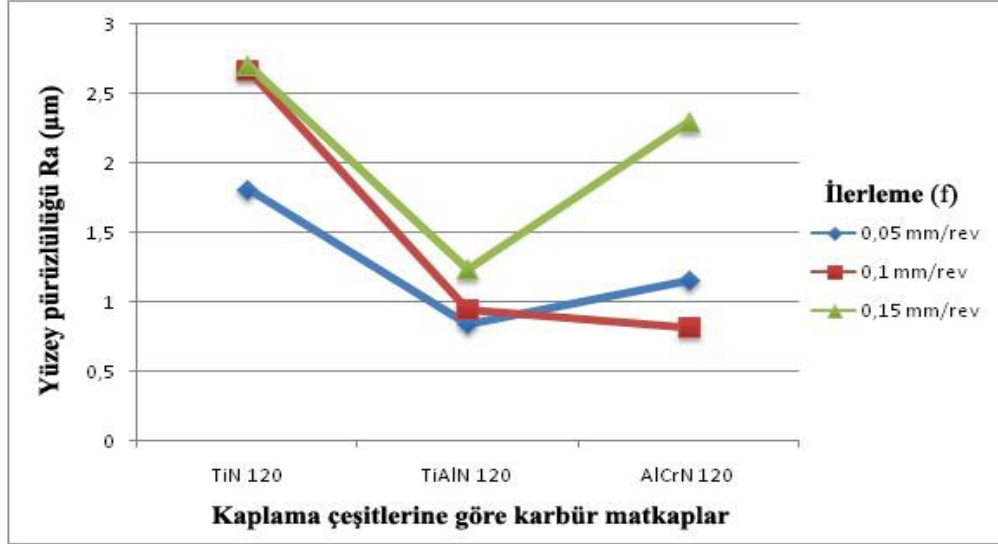
Deneyler sonrasında elde edilen delik çapları incelendiğinde; delik çaplarının çoğunun matkap çapından küçük olduğu Şekil 5.6’da görülmektedir. Üretilen deliğin çap ölçüsü, işleme sırasında meydana gelen sıcaklığın kesme bölgesinden uzaklaştırılması da önemlidir. Ayrıca matkap üzerinde oluşan köşe aşınmasına ve delme esnasında oluşan titreşimlere de bağlı olduğu yorumlanmıştır. Köşe noktalarındaki aşınmaya bağlı olarak matkabın çapı küçülmektedir [97]. Delik çaplarındaki bu küçülmenin sebebi olarak; kesme ve ilerleme hızlarıyla birlikte, kesici takım aşınması ve talaş yapışmasından kaynaklı zorlanmanın etkili olduğu yorumlanmıştır [102].

5.2.3. Delme sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu

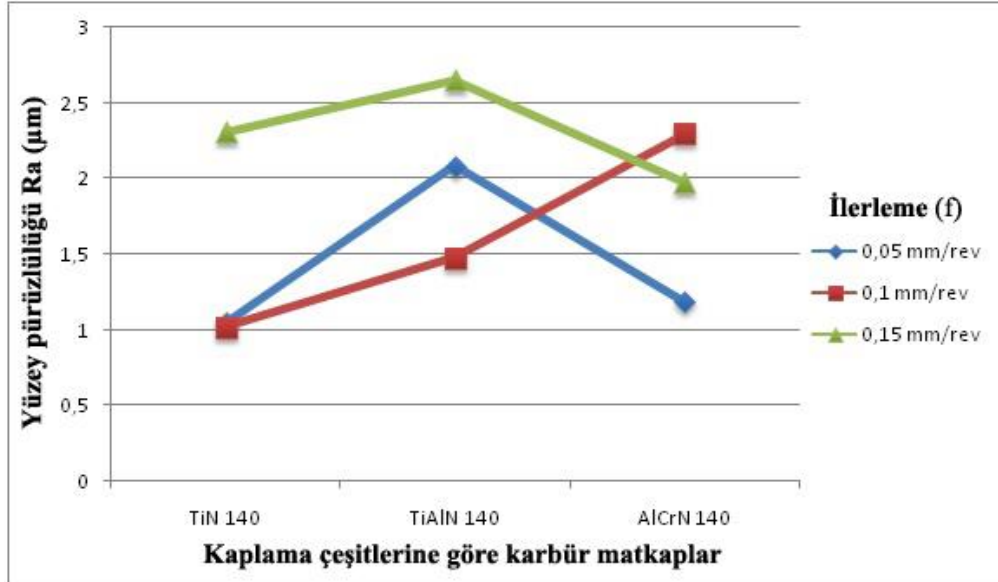
İmalatta işlenen parçada aranan en büyük özelliklerden biri yüzey kalitesinin uygun değerlerde olmasıdır. Bu değerlerin sağlanması için uygun kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesici takımın seçilmesi önemlidir. Bu amaçla yapılan deneylerde; ilerleme miktarının, kesme hızının ve kesici takımın yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmada, ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değeri alınarak yorumlama yapılmıştır. Değerler matkap girişi ve matkap çıkışında iki farklı bölgeden toplamda dört noktadan ölçülerek ortalama R_a değeri alınmıştır.

Elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında, ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmüştür. İlerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün artması beklenen bir durumdur. Çünkü ilerleme hızı arttıkça ortaya çıkan talaşın dışarıya atılmasının zorlaştığı gözlenmiş ve sıkışan talaşın yüzeye daha fazla hasar verdiği saptanmıştır [39].



Şekil 5.7. 120°'lik matkapların farklı ilerleme oranlarındaki yüzey pürüzlülüğü Ra (μm)



Şekil 5.8. 140°'lik matkapların farklı ilerleme oranlarındaki yüzey pürüzlülüğü Ra (μm)

Malzemenin gevrek bir yapıda olduğu çekme testleri sonucunda yorumlanmıştır. Bu durum ilerlemeyle birlikte malzemedeki kopma olayını daha da kolaylaştırmıştır. Bu durum yüzey pürüzlülüğünde bozulmalara sebep olmuştur.

İlerleme miktarı gibi kesme hızı da yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etki göstermektedir. Literatürde kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün azaldığı yorumlanmıştır [24, 25, 27]. Yüzey pürüzlülüğü grafikleri incelendiğinde ilerleme arttıkça artan yüzey pürüzlülüğünün, kesme hızı arttıkça azaldığı görülmüştür. Bu durum düşük ilerleme miktarı ve yüksek kesme hızında yapılan çalışmalarda daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edileceğini göstermiştir.

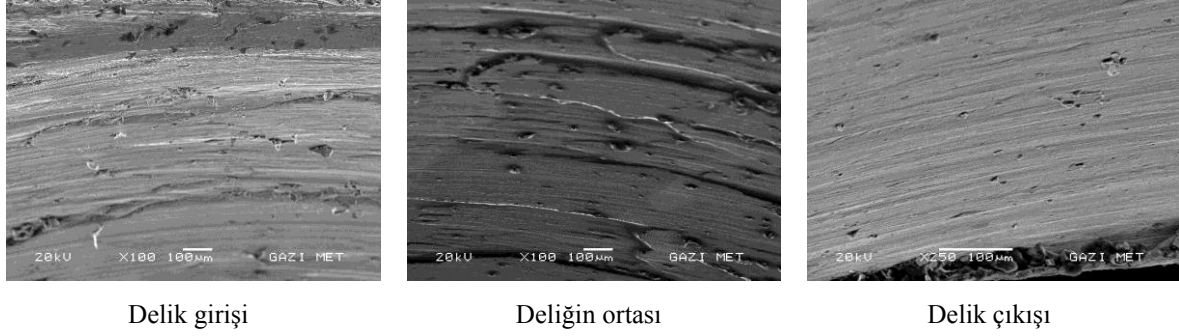
Yüksek kesme hızıyla yapılan bazı deneylerde, yüzey pürüzlülüğünün artması ise; yüksek kesme hızlarında artan sıcaklık sebebiyle takım ucunda muhtemel talaş yapışmasına bağlı kırılmalar olarak yorumlanmıştır. Resim 5.4’de yüksek sıcaklık sonucu oluşan tahribat görülmektedir. Bu gibi durumlar yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemektedir.



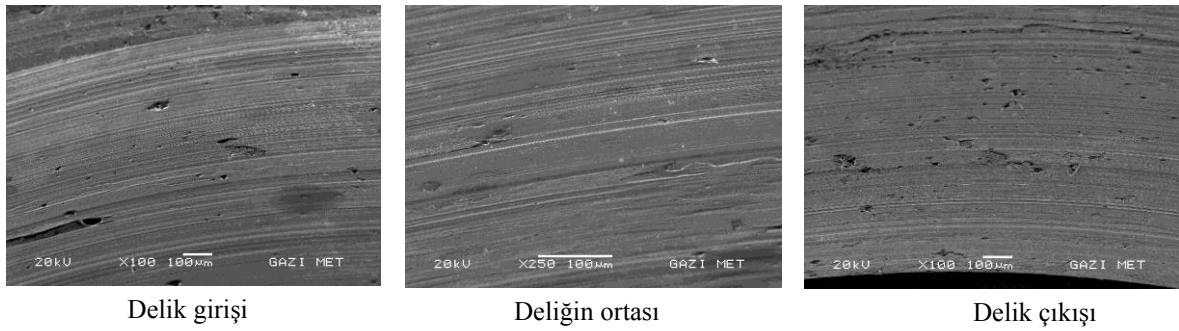
Resim 5.4. Yüksek sıcaklık sonucu matkap ucunda meydana gelen deformasyon

Bu durum, sert malzemenin kuru ortamda ve yüksek değerlerde işlenmesinin takımın ısınıp yanmasına neden olduğunu göstermiştir.

Deney sonuçları yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazıyla ölçüldükten sonra SEM de deliklerin görüntüleri incelenmiştir. Resim 5.5 ve Resim 5.6’da en yüksek yüzey pürüzlülüğüne ve en düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip deliklerin SEM görüntüleri verilmiştir.



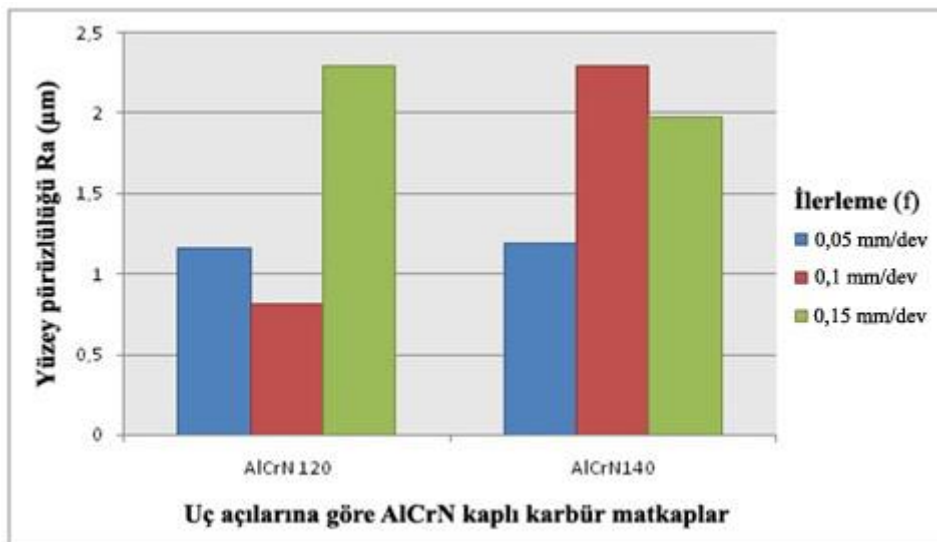
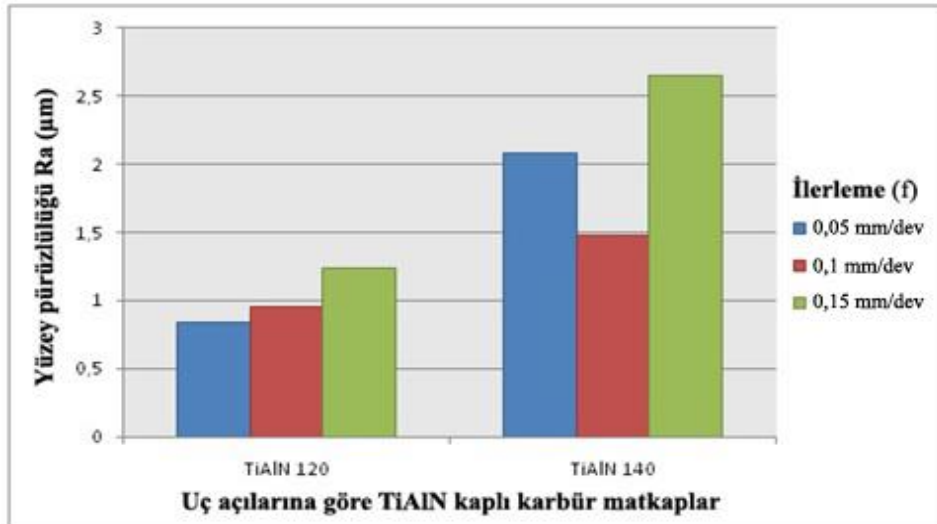
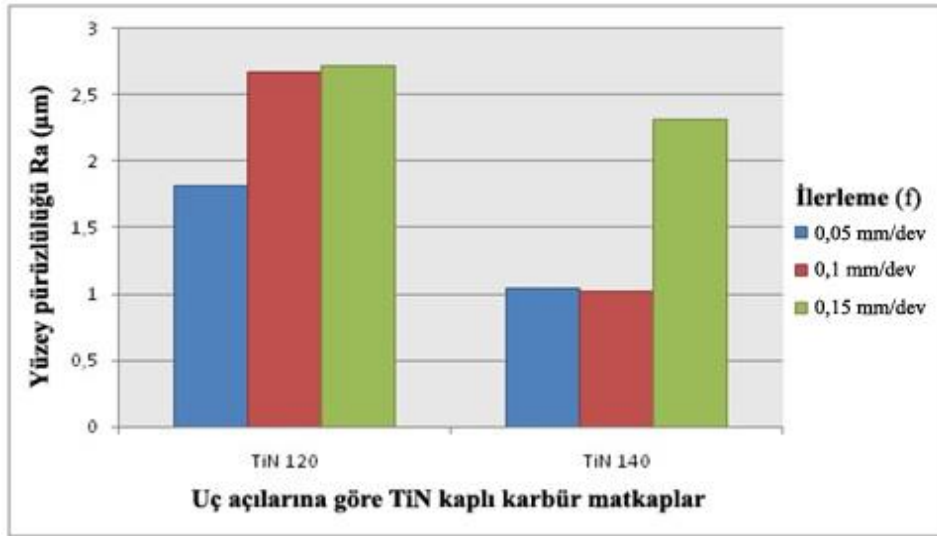
Resim 5.5. En kötü yüzey pürüzlülüğü ölçülen deliğin SEM görüntüsü



Resim 5.6. En iyi yüzey pürüzlülüğü ölçülen deliğin SEM görüntüsü

EK-4' de tüm deliklerin SEM görüntüleri verilmiştir.

Tüm deney sonuçları dikkate alınarak matkaplar incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülüğü ortalamasının AlCrN kaplı matkaplarda elde edildiği görülmüştür. Matkapları deney sonuçlarını ele alarak, uç açısına göre kıyaslırsak; TiN kaplı matkaplarda 140° lik matkapların, TiAlN kaplı matkaplarda 120° lik matkapların, AlCrN kaplı matkaplarda ise 120° lik matkapların daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleriyle çalıştığı Şekil 5.9'de görülmektedir.



Şekil 5.9. Kaplamalara ve uç açlarına göre yüzey pürüzlülüğü Ra (μm)

Talaş oluşumu

Delme sırasında dikkat edilecek diğer bir husus talaş oluşumudur. Oluşan talaşın şekli yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve titreşim gibi parametreler üzerinde anlam ifade eder. Talaş oluşumları genelde dört kategoride sınıflandırılır. Bunlar;

*Sürekli talaş

* Sıvanma (BUE) ile birlikte sürekli talaş (yığıntı talaş)

* Kesikli talaş (kırıklı talaş)

* Süreksiz talaş [59].

Sürekli talaş genelde sünek malzemelerde elde edilir. Oluşan yüzey kalitesi iyi olsa da tezgâh ve takımlar zarar görür. Süreksiz talaşta, talaş oluşumundaki süreksizlikten dolayı kuvvetler sıkça değişir [59]. Bu durum yüzeyi ve takım aşınmasını olumsuz yönde etkiler. Süreksiz talaş genelde;

* Kırılgan bir malzemenin işlenmesinde,

* Kesme hızının çok yüksek yada çok düşük olduğu işlemlerde,

* Talaş derinliğinin fazla olduğu durumlarda,

* Talaş açısının düşük olmasında,

* Soğutma sıvısının etkin olmadığında,

* Tezgahın rijitliğinin ve yapısının yetersiz olduğu durumlarda meydana gelmektedir [103].

Düşük ve yüksek oranda kayma deformasyonunun görüldüğü bölgeleri içeren yarı sürekli talaşlara kesikli talaş (parçalı veya homojen yapıda olmayan) denilmektedir. Bu talaşlar testere dişi şeklinde görünüme sahiptirler. Yığıntı talaşlar ise kesici takım üzerine sıvanmış (birikmiş) talaşlardır [103]

Talaş oluşumunda iş parçasının yapısı kadar matkapta önemlidir. Köşe aşınmasının arttığı matkaplarda oluşan mikro talaşlar iş parçası ve matkap arasına sıkışır. İşlem esnasında oluşan sıcaklıkla yumuşayan deliğe, talaş bir miktar batar ve yüzeysel yırtılmalara neden olur. Bu durum talaş dışarıya atılana kadar devam eder [97].

Talaşların oluşumu kadar talaşların delik dışına atılması da önemlidir. Oluşan talaşların dışarıya atılamaması, iş parçasıyla matkap arasına sıkışmasına sebep olacaktır. Bu durumda oluşan sıcaklıkla talaş matkaba yapışarak yapılan işlemin kalitesini düşürür.

Yapılan işlemin kalitesini arttırmak için kesme parametreleri de özenle seçilmelidir [59]. Çünkü kesme parametrelerinin de talaş oluşumu üzerinde etkisi vardır. Taguchi yöntemiyle belirlenen parametrelerle yapılan deneyler sonucunda; ilerleme arttıkça karışık talaş oluşumu ve talaş kalınlığının arttığı görülmüştür. İlerleme miktarının artmasıyla talaş kalınlığının artacağı literatürde bahsedilmiştir [100]. Deney sonucu oluşan talaşlara bakarak kesme hızının talaş oluşumunda etkili olduğu yorumlanmıştır. Kesme hızı arttıkça talaş yapışması ve süreksiz talaş oluşumu görülmüştür. Resim 5.7’de farklı kesme hızlarında oluşan talaş tipleri verilmiştir. EK-5’ de tüm delme işlemi boyunca elde edilen talaş oluşumları verilmiştir.



a) 25 m/dak



b) 50 m/dak



c) 75 m/dak

Resim 5.7. Farklı kesme hızlarında oluşan talaş tipleri

Delik delme işlemi sonucunda birden çok talaş tipi oluşabilir. Bunun sebebi olarak: Bir matkaptaki talaş açısı, matkap merkezinden kesici kenar köşelerine doğru gidildikçe değiştiği için delik delme sürecinde oluşan talaş şekli tek tip değildir [59]. Diğer bir sebep olarak talaş akışı gösterilir. Delme işlemi başlayınca ilk aşamada talaş düzgün konik helis şeklinde çıkar, matkap delinen malzemede ilerledikçe talaş akışındaki zorlanmayla birlikte kırık talaş şeklini almaktadır [31, 59].

Deneyisel çalışmalar sırasında çıkan talaşlar değerlendirildiğinde malzemenin sert olmasından kaynaklı çok fazla sürekli talaş görülmemiştir. Bunun yerine daha çok kırıklı

talaş ve kesme hızına bağlı talaş yapışması görülmüştür. Resim 5.8’de delme işlemi sonrasında takıma yapışmış olan talaş gösterilmiştir.



Resim 5.8. Delme işlemi sonrasında takıma sarılan talaş

5.3. Deney Sonuçlarının Optimizasyonu

Çalışmanın bu bölümünde, ilk olarak faktörlerin tekil performans analizi yapılmış ve değerlendirilmiştir. Daha sonra ise gri ilişki analizi ile faktörlerin çoklu performans analizi yapılmıştır. Önceki bölümlerde belirtildiği gibi, deney planı ile ilgili olarak uygun ortogonal dizisi seçilmiştir. Faktörlerin etkileşimi söz konusu olduğundan, 18 satırlı 4 faktörlü ve karışık seviyeli (2. ve 3. seviye) Taguchi’nin L18-2*1 ve 3*3 ortogonal dizisi seçilmiştir. Bu amaçla, Taguchi deneysel tasarımının ilk aşamasında seçilen faktörler ve bu faktörlere ait seviyeler önceki bölümdeki Çizelge 4.2’de verilmiştir. L18-2*1 ve 3*3 ortogonal dizisine ait deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen delme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve toplam çap hatası değerleri Çizelge 5.3’de görülmektedir. Taguchi analizinde kesici takımın uç açısı ile ilerleme miktarının etkileşimi dikkate alınmıştır (A*C).

Çizelge 5.3. Deneyde kullanılan faktör ve seviyenin Taguchi'nin L18 ortogonal dizisine yerleştirilmiş hali ve elde edilen sonuçlar

DENEY	A	B	C	D	Uç açısı derece (A)	Takım (B)	İlerleme mm/dev (C)	Kesme hızı m/dak (D)	Tork M_z Ncm	İtme kuvveti F_z N	Pürüzlülüğü R_a μm	Toplam çap hatası, de μm
1	1	1	1	1	120	TiN	0,05	25	280	990	1,8125	18,25
2	1	2	1	2	120	TiAlN	0,05	50	250	861	0,84	37,5
3	1	3	1	3	120	AlCrN	0,05	75	286	926	1,1575	51
4	1	1	2	1	120	TiN	0,1	25	513	1398	2,6725	27
5	1	2	2	2	120	TiAlN	0,1	50	440	1638	0,95	41
6	1	3	2	3	120	AlCrN	0,1	75	376	1302	0,8175	22
7	1	1	3	2	120	TiN	50	50	528	1679	2,71	17,5
8	1	2	3	3	120	TiAlN	75	75	780	1550	1,24	64
9	1	3	3	1	120	AlCrN	25	25	630	1950	2,295	20,5
10	2	1	1	3	140	TiN	0,05	75	443	1020	1,045	40,5
11	2	2	1	1	140	TiAlN	0,05	25	330	950	2,0825	40
12	2	3	1	2	140	AlCrN	0,05	50	285	1005	1,1875	93
13	2	1	2	2	140	TiN	0,1	50	542	1400	1,0175	49,5
14	2	2	2	3	140	TiAlN	0,1	75	356	1248	1,4775	55,5
15	2	3	2	1	140	AlCrN	0,1	25	436	1444	2,295	5
16	2	1	3	3	140	TiN	0,15	75	483	1706	2,3125	4
17	2	2	3	1	140	TiAlN	0,15	25	517	1668	2,65	4
18	2	3	3	2	140	AlCrN	0,15	50	630	1648	1,9775	31

5.3.1. Faktörlerin tekli performans analizi

Faktörlerin tekil performans analizi bakımından, takımın uç açısı, takım tipi, kesme hızı ve ilerleme gibi işleme parametrelerinin A 286 alaşımının işlenebilirliğine etkisi, ortalama değerler kullanılarak cevap grafikleri yardımıyla incelenmiştir. İtme kuvveti, kesme momenti, yüzey pürüzlülüğü ve çap hatası ile ilgili cevap değerleri Çizelge 5.4 ve Çizelge

5.5’ de gösterilmektedir. Bu tablolardaki “ Delta” değerleri, maksimum ve minimum değerler arasındaki farkı ifade etmektedir. Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5 birlikte incelendiğinde, deney sonuçlarını etkileyen en önemli parametrenin ilerleme oranı olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.4. İtme kuvveti ve kesme momenti için cevap tablosu

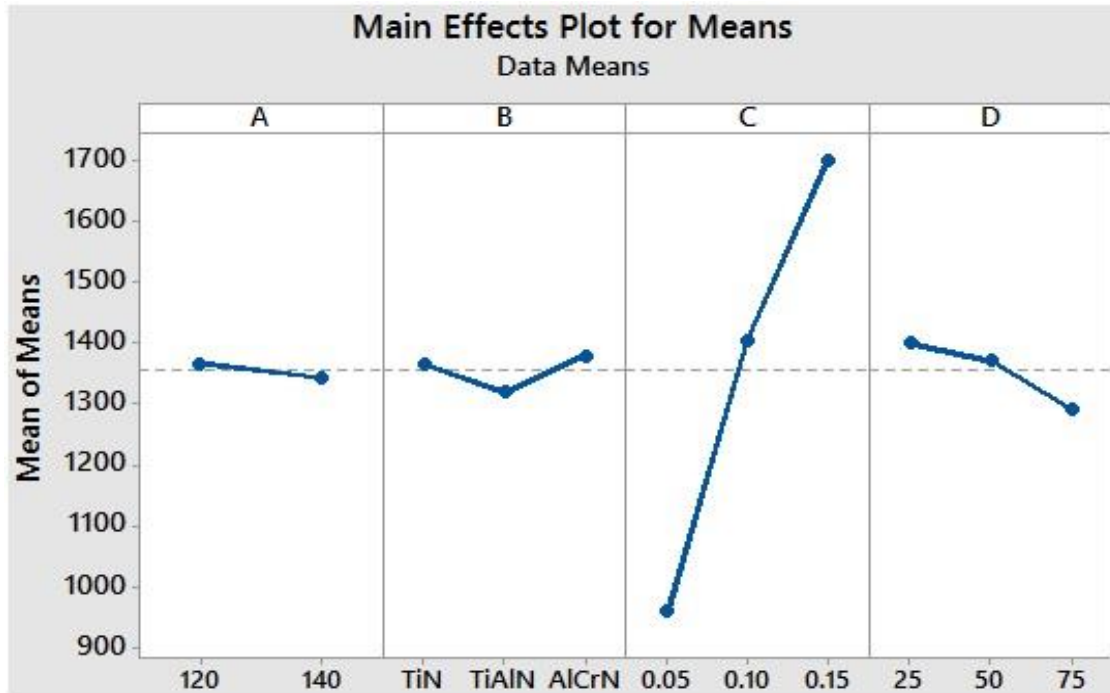
	İtme kuvveti, Fz				Kesme momenti, Mz			
Level	Uç açısı (A)	Takım (B)	İlerleme (C)	Kesme hızı (D)	Uç açısı (A)	Takım (B)	İlerleme (C)	Kesme hızı (D)
1	1366,0	1365,5	958,7	1400,0	453,7	464,8	312,3	451,0
2	1343,2	1319,2	1405,0	1371,8	446,9	445,5	443,8	445,8
3		1379,2	1700,2	1292,0		440,5	594,7	454,0
Delta	22,8	60,0	741,5	108,0	6,8	24,3	282,3	8,2
Rank	4	3	1	2	4	2	1	3

Çizelge 5.5. Yüzey pürüzlülüğü ve toplam çap hatası için cevap tablosu

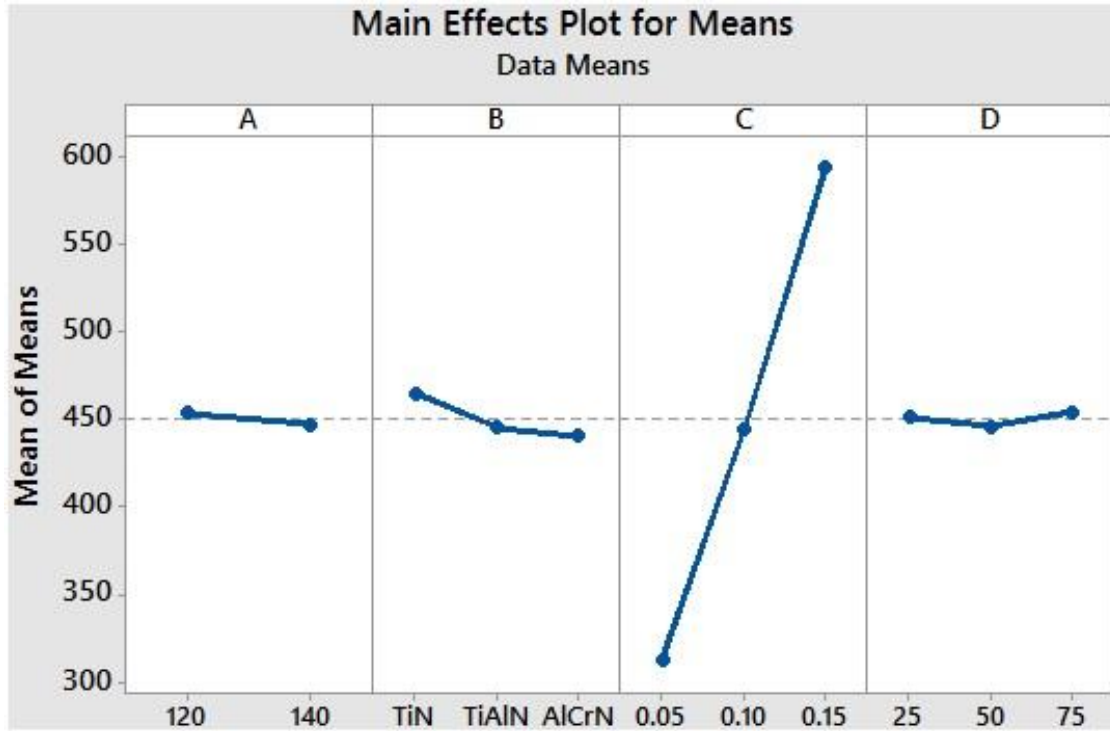
	Yüzey pürüzlülüğü, Ra				Toplam çap hatası, de			
Level	Uç açısı (A)	Takım (B)	İlerleme (C)	Kesme hızı (D)	Uç açısı (A)	Takım (B)	İlerleme (C)	Kesme hızı (D)
1	1,611	1,928	1,354	2,301	33,19	26,12	46,71	19,12
2	1,783	1,540	1,538	1,447	35,83	40,33	33,33	44,92
3		1,622	2,198	1,342		37,08	23,50	39,50
Delta	0,172	0,388	0,844	0,959	2,64	14,21	23,21	25,79
Rank	4	3	2	1	4	3	2	1

Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de, A 286 alaşımının delinmesinde faktörlerin kesme kuvveti ve kesme momentine olan etkisi görülmektedir. İlerleme oranının itme kuvveti ve kesme momentine en fazla etki eden faktör olduğu görülmektedir. İlerleme oranının artan

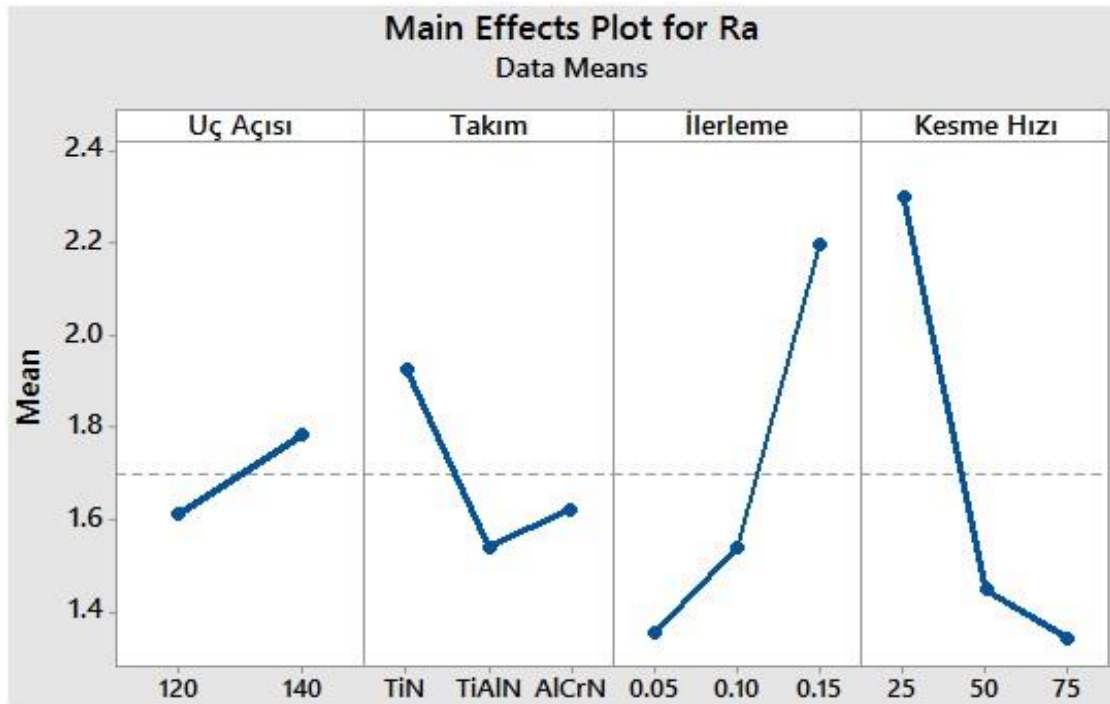
değerlerinde itme kuvveti ve kesme momenti de artmaktadır. Bunun sebebi, yüksek ilerleme oranlarında kesici takıma daha fazla yük gelmektedir [15]. Kesme hızının itme kuvvetine etkisi, kesme momentine etkisine göre nispeten daha fazla olduğu görülmektedir. Kesme hızının artan değerlerinde itme kuvveti azalmaktadır. Literatürde genellikle yüksek kesme hızlarında daha düşük kesme kuvvetleri elde edilmektedir. Bu durum, talaş-kesici takım ara yüzeyindeki sıcaklık, sürtünme davranışı talaş sıvanması gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır [5, 14]. Kesici takım tipi bakımından ise en az itme kuvveti genellikle TiAlN kaplamalı kesiciler tarafından elde edilmiştir. Bunun sebebi, matkabın sertliği, kaplama malzemesi ve kesicideki aşınma mekanizmasına atfedilebilir [59]. Mevcut kesme şartlarında uç açısının itme kuvvetine etkisi ise nispeten daha az olmakla birlikte, düşük uç açılarında daha düşük itme kuvvetleri elde edilmiştir. Bunun sebebinin ise, düşük uç açılı matkapların iş parçasında daha kolay batma meydana getirdiği söylenebilir. Ancak, düşük uç açısına sahip matkapların daha çabuk aşındığı ve takım ömrünü azalttığı literatürde mevcuttur [27, 101].



Şekil 5.10. Faktörlerin itme kuvvetine etkisi



Şekil 5.11. Faktörlerin kesme momentine etkisi

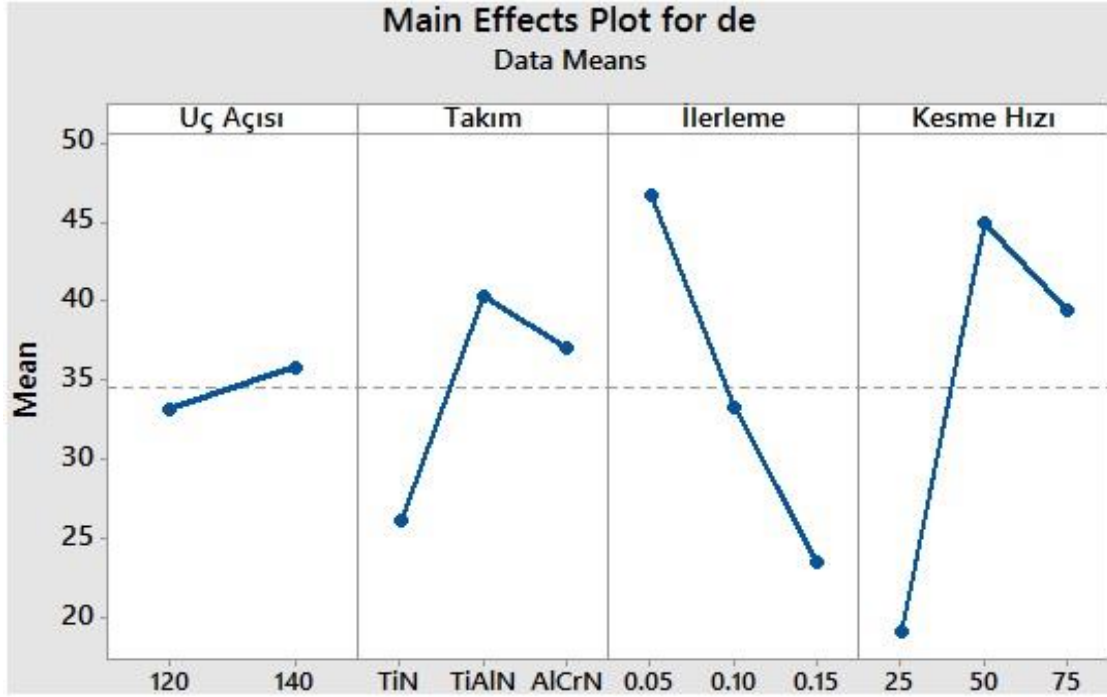


Şekil 5.12. Faktörlerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi bakımından Şekil 5.12 irdelendiğinde ilerleme ve kesme hızının en etkili parametreler olduğu ve en iyi yüzey kalitesi düşük ilerleme oranlarında ve yüksek kesme hızlarında kesici takıma daha az yüklerin gelmesine atfedilir. Buna ilave olarak, düşük uç açısında ve TiAlN kaplamalı matkapla daha pürüzsüz yüzey elde edilebilmektedir. Ayrıca, çalışmada sunulan kesme parametrelerinde, en iyi yüzey pürüzlülüğü 75 m/dak değerlerinde elde edilebileceği anlaşılmaktadır. Şekil 5.12'den, düşük uç açısı, düşük ilerleme, nispeten daha fazla kesme hızı ve TiAlN kaplamalı kombinasyonları kullanılarak daha iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edilebileceği sonucu çıkarılabilir.

Delme deneylerinde elde edilen delik çaplarının, nominal değerden sapma miktarı yani çap hatası (de) ölçülmüştür. Kesme parametrelerinin çap hatasına etkisi Şekil 5.13'de verilmiştir. İlerleme arttıkça çap hatası da azalmaktadır. 0,05 mm/dev ilerleme oranında elde edilen çap hatası, 0,15 mm/dev ilerleme oranında elde edilen çap hatasına göre oldukça fazladır. Kesme hızının çap hatasına etkisi ile ilgili olarak ise, en düşük çap hatası, en küçük kesme hızı değerlerinde elde edilmiştir. Ortalama kesme hızı değerlerinde çap hatası en fazla çıkmıştır. Bunun sebebinin, kesici takım- tezgah ilişkisinin doğal frekansı, tırlama titreşimi veya kesici takım ile takım titreşimi arasındaki katılık ile ilişkili olduğu düşünülmektedir [59]. Kesici takım kaplamasının çap hatasına etkisi nispeten en az olmakla birlikte, TiN kaplamalı matkap, daha az çap hatası üretmiştir. Özetle, düşük uç açısı, yüksek ilerleme, düşük kesme hızı ve TiN kaplamalı matkap kombinasyonları kullanılarak çap hatası en aza indirilebilir.

Ayrıca, kesme parametrelerinin ilerleme ve kesme hızına göre varyans analizi yapılmıştır.



Şekil 5.13. Faktörlerin çap hatasına etkisi

5.3.2. Gri ilişki analizi ile çoklu optimizasyon

Gri ilişki analizindeki amaç, iki veya daha fazla sistem için optimum değerleri elde edebilmektir. Örneğin bu çalışmadaki deneylerde kullanılan uç açısı, kesici takım özelliği, kesme hızı ve ilerleme gibi faktörlere ait seviyelerin optimum değerlerini belirlemektir.

Sistemi optimize etmek için çok aşamalı bir süreç olan Gri İlişki Analizi, nitelikli ve ayrık parametrelerin tasarımında önemli bir yöntemdir. Tasarım parametrelerinin etkisini saptamak ve çoklu tepkiler arasındaki korelasyonu hesaplamak için deneysel veriler analiz edilmektedir [104, 105]. Bu amaçla, deneysel sonuçların normalizasyonundan sonra, çoklu tepkileri hesaplamak için gri ilişki aşaması belirlenir. Süreç parametrelerini optimize etmek için aşağıdaki aşamalar izlenmiştir [106, 107].

- 1) Tepkiler için S/N oranlarının hesaplanması (itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delik kalitesi)
- 2) Deneysel sonuçların normalizasyonu (veri ön süreci)
- 3) Gri ilişki katsayısı ve Gri ilişki aşamasının hesaplanması
- 4) Deneysel sonuçların analizi
- 5) Süreç parametrelerinin uygun seviyelerinin seçimi
- 6) Doğrulama deneyleri yoluyla uygun parametrelerin teyidi

Gri ilişki analizi, aşağıdaki adımlar takip edilerek yapılmıştır.

1.adım

L18 ortogonal dizisine ait itme kuvveti, kesme momenti, yüzey pürüzlülüğü ve çap hatası değerleri normalleştirilmiştir. Gri ilişki analizinde, optimizasyon tipine göre, (1) “Daha yüksek daha iyi”, (2) “Daha düşük daha iyi”, (3) “İdeal değer daha iyi” şeklinde üç bağlantı kullanılır. Normalizasyon işleminde kullanılan bu bağlantılar denklem 5.1 ila 5.3 arasında verilmiştir. Yapılan bu çalışmada en düşük itme kuvveti, kesme momenti, yüzey pürüzlülüğü ve çap hatası değerlerinin elde edilmesi arzu edildiğinden dolayı, normalizasyon işleminde “*Daha düşük daha iyidir*” hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Denklem 5.2’de kullanılan $x_i^0(k)$ i. serisindeki k. normalleştirilecek değeri $x_i(k)$ i. serisindeki k. değere ait normalleştirme sonucu x^0 istenilen ideal değeri, $\max x_i^0(k)$ ve $\min x_i^0(k)$ ise i. serisindeki maksimum ve minimum değerleri ifade etmektedir. Çizelge 5.6’ da itme kuvveti, kesme momenti, yüzey pürüzlülüğü ve çap hatası değerlerinin normalleştirme sonucu görülmektedir.

“Daha yüksek daha iyi” durumunda;

$$x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (5.1)$$

“Daha düşük daha iyi” durumunda;

$$x_i(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (5.2)$$

“İdeal değer daha iyi” durumunda;

$$x_i(k) = 1 - \frac{|x_i^0(k) - x^0|}{\max x_i^0(k) - x^0} \quad (5.3)$$

2.adım

Bu adımda ise Gri İlişki Katsayısı (GİK) hesaplanmıştır. Gri ilişki katsayısının hesaplanmasında kullanılan bağlantı, denklem 5.4’de verilmiştir. Formüldeki;

$\varepsilon(x_0(k), x_i(k))$ k. sıradaki gri ilişki katsayısını

$J=1,2,\dots,n$; $k=1,2,\dots,m$, n sayısı deneysel veri sayısını ve m ise elde edilen tepki sayısını,

$x_0(k)$ referans seriyi, $x_j(k)$ özgül karşılaştırma serisini,

$\Delta_{0j}(k) = \|(x_0(k) - x_j(k))\|$ $x_0(k)$ ile $x_j(k)$ arasındaki farkın mutlak değerini,

$\Delta_{\min} = \min_j \min_k \|(x_0(k) - x_j(k))\|$ $x_j(k)$, nın en küçük değerini,

$\Delta_{\max} = \max_j \max_k \|(x_0(k) - x_j(k))\|$ $x_j(k)$, nın en büyük değerini

ifade etmektedir. Burada, ξ ayırt etme katsayısıdır ve bu katsayı $0 \leq \xi \leq 1$ arasında tanımlanır ve gri ilişki derecelendirme sonrasında oluşacak sıralamayı etkilemediği bildirilmiştir [107]. ξ değeri başlangıçta 0,5 olarak belirlenmiştir. Çizelge 5.6 da normalleştirilmiş itme kuvveti, kesme momenti, yüzey pürüzlülüğü ve çap hatası değerlerine ait gri ilişki katsayıları görülmektedir.

$$\varepsilon(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0j}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (5.4)$$

Çizelge 5.6. İtme kuvveti, kesme momenti ve yüzey pürüzlülük değerine ait normalizasyon gri ilişki katsayı ve gri ilişki derecesi değerleri

Normalizasyon Mz	Normalizasyon Fz	Normalizasyon Ra	Normalizasyon de	Gri İlsk Kats Mz	Gri İlsk Kats Fz	Gri İlsk Kats Ra	Gri İlsk Kats de	Gri İlişki Derecesi	Sıralama
0,943	0,882	0,475	0,840	0,898	0,808	0,488	0,757	0,738	3
1,000	1,000	0,988	0,624	1,000	1,000	0,977	0,571	0,887	1
0,932	0,940	0,820	0,472	0,880	0,893	0,736	0,486	0,749	2
0,504	0,507	0,020	0,742	0,502	0,503	0,338	0,659	0,501	14
0,642	0,287	0,930	0,584	0,582	0,412	0,878	0,546	0,605	9
0,762	0,595	1,000	0,798	0,678	0,553	1,000	0,712	0,736	4
0,475	0,249	0,000	0,848	0,488	0,400	0,333	0,767	0,497	15
0,000	0,367	0,777	0,326	0,333	0,441	0,692	0,426	0,473	16
0,283	0,000	0,219	0,815	0,411	0,333	0,390	0,730	0,466	18
0,636	0,854	0,880	0,590	0,579	0,774	0,806	0,549	0,677	6
0,849	0,918	0,332	0,596	0,768	0,860	0,428	0,553	0,652	7
0,934	0,868	0,805	0,000	0,883	0,791	0,719	0,333	0,682	5
0,449	0,505	0,895	0,489	0,476	0,503	0,826	0,494	0,575	12
0,800	0,645	0,652	0,421	0,714	0,585	0,589	0,464	0,588	10
0,649	0,465	0,219	0,989	0,588	0,483	0,390	0,978	0,610	8
0,560	0,224	0,210	1,000	0,532	0,392	0,388	1,000	0,578	11
0,496	0,259	0,032	1,000	0,498	0,403	0,341	1,000	0,560	13
0,283	0,277	0,387	0,697	0,411	0,409	0,449	0,622	0,473	17

3.adım

Bu aşamada gri ilişki derecesi, $\gamma(x_0, x_i)$ hesaplanmaktadır. Burada, $\gamma(x_0, x_i)$ gri bir sistemdeki x_i serisi ile x_0 serisi arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür [97]. Gri

ilişki derecesinin hesaplanmasında kullanılan bağıntı 5.5 nolu eşitlikte verilmiştir. Sonuçta her bir deneye ait gri ilişki derecesi hesaplanmış ve Çizelge 5.6.'da verilmiştir.

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(x_0(k), x_i(k)) \quad (5.5)$$

Çizelge 5.6'da verilen gri ilişki derecelerine göre, 18 deney içerisinde aynı anda çoklu performans karakteristiklerini sağlayan en optimum şartların 2 numaralı deney (yani, en büyük gri ilişki katsayısı = 0,887, uç açısı 120°, takım = TiAlN, kesme hızı = 50 m/dak, ilerleme = 0,05 mm/dev) olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, optimum delme parametreleri mevcut 18 deney sonuçlarının dışında da bulunabilir. Bunun için, optimum delme parametrelerinin önem derecesi, delme parametrelerinin relatif önem dereceleri analiz edilerek tespit edilmelidir. Bu işlem, 5. adımda anlatılmıştır. Bu işlem için yapılan doğrulama deneyleri ise Çizelge 5.7' de verilmiştir.

4.adım

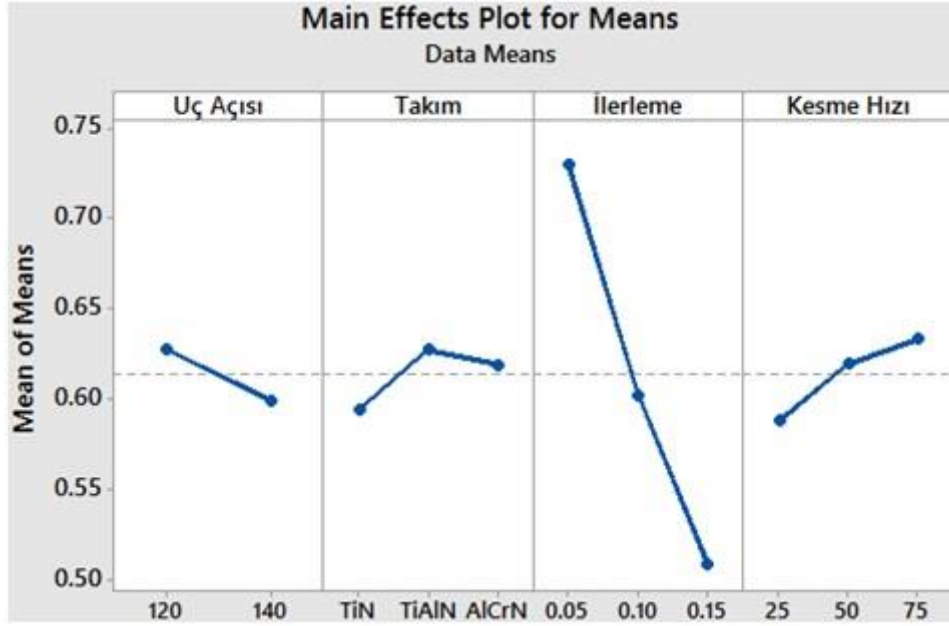
Çizelge 5.6.'daki elde edilen gri ilişki derecelerinden faydalanılarak, her bir faktöre ait gri ilişki derecesinin etki derecesi hesaplanmış, Çizelge 5.8'de verilmiştir. Şekil 5.14'de ise her faktör ve seviyenin ortalama gri ilişki dereceleri grafiği görülmektedir.

Çizelge 5.7. Doğrulama deneyleri

Deney No	A Uç Açısı (derece)	B Kesici	C İlerleme (mm/dev)	D Kesme hızı (m/dak)	Mz (N/cm)	Fz (N)	Ra (µm)	de (µm)
1	120	TİN	0,1	50	Ölçülemedi		1,5525	-
2(A1,B2,C1,D3)	120	TİALN	0,05	75	257,89	926	1,1275	25
3 (A1,B3,C1,D1) (A1,B3,C1,D3)	120	ALCRN	0,05	25/75	211,78	552	2,6875	34,5
4 (A2,B1,C3, D1)	140	TİN	0,15	25	873	1650	1,8625	20,5
5(A2,B2,C2,D1)	140	TİALN	0,1	25	457	1343	2,5875	9,5
6(A2,B3,C2,D3)	140	ALCRN	0,1	75	543	1140	1,385	39,5
Tekrar 1	120	TİN	0,1	50	550	1395	Kesici kırıldı	
Tekrar 3	120	ALCRN	0,05	25	559	1633	2,8575	40
Açıklama: Deneylere başlanırken ilk deney ölçülemedi. Üç numaralı deneyde tezgah üzerinde kesme hızı 25 yerine yanlışlıkla 75 olarak kayıt altına alındı bu yüzden ikinci tekrar yapılmıştır. Esas ölçülmek istenen tekrar 3 sonuçlarıdır.								

Çizelge 5.8. Faktörlere ait gri ilişki derecelerinin etkileri

	Faktörler			
Seviyeler	Uç açısı (A)	Takım (B)	İlerleme (C)	Kesme hızı (D)
1	0,6278	0,5942	0,7308	0,5878
2	0,5994	0,6275	0,6022	0,6196
3		0,6191	0,5079	0,6334
Delta	0,0285	0,0333	0,2229	0,0456
Rank	4	3	1	2



Şekil 5.14. Her faktör ve seviyelerin ortalama gri ilişki dereceleri etki grafiği

5.adım

Gri ilişki dereceleri için optimum işleme parametreleri, her faktörün en büyük gri ilişki derecesine sahip olduğu seviyedir. Çizelge 5.8’de her faktörün sahip olduğu en büyük gri ilişki derecesi (çizelgede gölgelendirilmiş olan değerler) tespit edilmiştir. Gri ilişki analiz sonuçlarına göre, minimum itme kuvveti, kesme momenti, yüzey pürüzlülüğü ve çap hatası değerini A1B2C1D3 optimum işleme şartları altında elde edilebileceği bulunmuştur.

Cevap tablosu ve gri ilişki grafiği, sırasıyla Çizelge 5.8 ve Şekil 5.14’de verilmiştir. Gri ilişki analizinde, en iyi performans değerini elde etmek için (yani, optimum değer için), en büyük gri ilişki derecesine ihtiyaç vardır. Bu sebeple, optimum delme parametreleri, en büyük gri ilişki derecelerine bakılarak belirlenir [107].Çizelge 5.8’de verilen sonuçlara göre, aynı anda en iyi itme kuvveti, kesme momenti, yüzey pürüzlülüğü ve çap hatasını veren optimum delme parametreleri ($A_1B_2C_1D_3$) 0,05 mm/dev ilerleme, 75 m/dak kesme hızı, 120° kesici takım uç açısı ve TiAlN kaplamalı matkapla elde edilebilir.

6.adım

Gri ilişki analizinin bu son aşaması, deneylerde olmayan kesme şartları ile ilgili gri ilişki derecelerinin tahmin edilmesi ve bunlarla ilgili doğrulama deneylerinin yapılması şeklindedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen optimizasyon metodunun güvenilirliği ve

uygulanabilirliği için doğrulama deneyleri yapılmıştır. Optimum şartlardaki Gri İlişki Katsayıları γ_{tahmin} aşağıdaki eşitlik kullanılarak seçilir [97, 107].

$$\gamma_{tahmin} = \gamma_m + \sum_{i=1}^N (\gamma_i - \gamma_m) \quad (5.6)$$

Burada, γ_m gri ilişki derecelerinin ortalaması; γ_i optimum seviyelerdeki ortalama gri ilişki dereceleri; N ise çoklu performans karakteristiklerini önemli ölçüde etkileyen esas tasarım parametrelerinin (burada delme parametreleri) sayısıdır. Yani, bu çalışmada esas tasarım parametreleri, A, B, C, D'dir. Bunların etkileşimi de (A*B, A*C ve B*C)dahil edilirse γ_{tahmin} , eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir. Örneğin, A1B2C1D3 optimum kesme şartlarındaki GİK aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\gamma_{tahmin} = \gamma_m + (A_1 - \gamma_m) + (B_2 - \gamma_m) + (C_1 - \gamma_m) + [(A_1 C_1 - \gamma_m) - (A_1 - \gamma_m) - (C_1 - \gamma_m)] + (D_3 - \gamma_m)$$

$$\gamma_{tahmin} = 0,614 + (0,628 - 0,614) + (0,6275 - 0,614) + (0,7308 - 0,614) + [(0,791 - 0,614) - (0,6278 - 0,614) - (0,7308 - 0,614)] + (0,6334 - 0,614)$$

$$\gamma_{tahmin} = 0,825$$

Optimum şartlar olarak bulunan A1B2C1D3 kesme şartlarında doğrulama deneyleri yapılmıştır. Doğrulama deneylerine göre A1B2C1D3 kesme şartlarında elde edilen gri ilişki derecesi ise 0,871 bulunmuştur. Tahmin edilen GİK ile deneyden gelen GİK arasında % 5 lik bir fark bulunmaktadır.

Ayrıca, analiz sonuçlarının doğruluğu için deneylerde bulunmayan kesme şartları da (A2B1C3D1, A2B2C2D1 ve A2B3C2D3) ilave doğrulama deneyleri yapılmış ve bunların sonuçları da Şekil 5.15'de verilmiştir.



Şekil 5.15. Doğrulama deneylerinin gri ilişki derecesi

5.3.3. Anova analizi

Çizelge 5.9’da faktörlerin gri ilişki derecesine etkisini gösteren Varyans Analizi (ANOVA) görülmektedir. A, C ve D faktörlerinin etkileşimi dikkate alınarak yapılan varyans analizi ise Çizelge 5.10’da görülmektedir. Varyans analizine göre, gri ilişki derecesine en etkili parametrenin ilerleme oranı olduğu görülmektedir (%66). Faktörlerin etkisi dikkate alınmadan yapılan bu varyans analizinde hata oranının (%27,9) yüksek olduğu göze çarpmaktadır. A, C ve D faktörlerinin etkileşimleri dikkate alınarak yapılan varyans analizinde ise bu hata oranı %2’ye düşmektedir (Çizelge 5.10). Bu durumda ise, ilerleme oranından sonra en etkili parametreler sırasıyla, A*C (%10,6), C*D (%10,4) ve A*D (%9,8) olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.9. Gri ilişki derecesinin varyans analizi

Source	DF	Sum of squares	Mean sum	F-Value	Probability of significance	Percentage of contribution
Source	DF	Adj-SS	Adj-MS	F-Value	P-Value	
A	1	0,003645	0,003645	0,57	0,466	1,6
B	2	0,003593	0,001796	0,28	0,760	1,6
C	2	0,150266	0,075133	11,83	0,002	66,0
D	2	0,006564	0,003282	0,52	0,612	2,9
Error	10	0,063533	0,006353			27,9
Total	17	0,227602				100,0

Çizelge 5.10. Faktörlerin etkisi dikkate alındığında gri ilişki derecesinin varyans analizi

Source	DF	Sum of squares	Mean sum	F-Value	Probability of significance	Percentage of contribution
Source	DF	Adj-SS	Adj-MS	F-Value	P-Value	
A	1	0,003645	0,003645	1,57	0,337	1,6
B	2	0,010323	0,005162	2,22	0,311	4,5
C	2	0,150266	0,075133	32,26	0,030	66,0
D	2	0,006564	0,003282	1,41	0,415	2,9
A*C	2	0,024182	0,012091	5,19	0,162	10,6
A*D	2	0,022363	0,011182	4,80	0,172	9,8
C*D	4	0,023757	0,005939	2,55	0,301	10,4
Error	2	0,004658	0,002329			2,0
Total	17	0,227602				100,0

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

A 286 süper alaşımın kaplamalı karbür matkaplarla işlenebilirliğinin (delinebilirliğinin) incelendiği bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda bölümler halinde verilmiştir.

6.1. İlerleme Kuvveti ve Kesme Momenti

İlerleme oranının itme kuvveti ve kesme momentine en fazla etki eden faktör olduğu görülmüştür. İlerleme oranının artan değerlerinde itme kuvveti ve kesme momenti de artmıştır. Kesme hızının itme kuvvetine etkisi, kesme momentine etkisine göre nispeten daha fazla olduğu görülmüştür. Kesme hızının artan değerlerinde itme kuvveti azalmıştır. Kesici takım tipi bakımından ise en az itme kuvveti genellikle TiAlN kaplamalı kesiciler tarafından elde edilmiştir. Mevcut kesme şartlarında uç açısının itme kuvvetine etkisi ise nispeten daha az olmakla birlikte, düşük uç açılarında daha düşük itme kuvvetleri elde edilmiştir. Deneyler sonucunda ölçülen en düşük kuvvetler, ilerleme miktarı 0,05 mm/dev, kesme hızı 50 m/dak ve uç açısı 120° iken ölçülmüştür (ortalama $M_z = 250$ Ncm, ortalama $F_z = 861$ N). Kesme kuvvetleri bakımından en uygun parametre kombinasyonları; düşük ilerleme, nispeten yüksek kesme hızı, düşük uç açısı ve TiAlN kesici takım tipi olduğu yorumlanmıştır.

6.2. Delik Ölçüsü

Delik çapları incelendiğinde, üretilen delikler genellikle matkap çapından küçük çıkmıştır. Delik çaplarındaki bu küçülmenin sebebi olarak; kesici takım aşınması ve yapışmasından kaynaklı zorlanma yorumlanmıştır [97, 102]. Delme deneylerinde elde edilen delik çaplarının, nominal değerden sapma miktarı bakımından, genel olarak ilerleme arttıkça çap hatası da azalmıştır. Kesme hızının çap hatasına etkisi ile ilgili olarak ise, en düşük çap hatası, en küçük kesme hızı değerlerinde elde edilmiştir. Ortalama kesme hızı değerlerinde çap hatası en fazla çıkmıştır. Özetle, düşük uç açısı, yüksek ilerleme, düşük kesme hızı ve TiN kaplamalı matkap kombinasyonları kullanılarak çap hatası en aza indirilebilir. Ayrıca ölçülen delik çaplarının matkap çapından büyük yada küçük olmasının takım aşınması hakkında bilgi vereceği yorumlanmıştır.

6.3. Yüzey Pürüzlülüğü ve Talaş Oluşumu

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi bakımından, ilerleme ve kesme hızının en etkili parametreler olduğu ve en iyi yüzey kalitesi düşük ilerleme oranlarında ve yüksek kesme hızlarında elde edildiği bulunmuştur. Düşük uç açısında ve TiAlN kaplamalı matkapla daha pürüzsüz yüzey elde edilmiştir. Ayrıca, çalışmada sunulan kesme parametrelerinde, en iyi yüzey pürüzlülüğü 75 m/dak değerlerinde elde edilebileceği anlaşılmaktadır. Düşük uç açısı, düşük ilerleme, nispeten daha fazla kesme hızı ve TiAlN kaplamalı kesici kombinasyonları kullanılarak daha iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edilebileceği sonucu çıkarılmıştır. Deneylerde en düşük kesme kuvvetleri TiAlN kaplı matkaplarda ölçülse de, en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri AlCrN kaplı matkaplarda ölçülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğünün ölçüldüğü deney parametreleri; 0,1 mm/dev ilerleme, 75 m/dak kesme hızı ile 0,81 μ m olarak görülmüştür.

Deneylerde elde edilen talaş oluşumu bakımından, iş parçası malzemesinin sert olmasından kaynaklı oluşan talaşlar genelde kırıklı talaşlar olduğu için ilerleme hızı arttıkça ortaya çıkan talaşın dışarıya atılmasının zorlaştığı gözlenmiş ve sıkışan talaşın yüzeye daha fazla hasar verdiği saptanmıştır.

6.4. Çoklu Optimizasyon

Gri ilişki analiz metodu ile parametrelerin çoklu optimizasyonu yapılmıştır. Aynı anda en iyi itme kuvveti, kesme momenti, yüzey pürüzlülüğü ve çap hatasını veren optimum delme parametreleri (A1B2C1D3), 0,05 mm/dev ilerleme, 75 m/dak kesme hızı, 120° kesici takım uç açısı ve TiAlN kaplamalı matkapla elde edilebileceği bulunmuştur. Buna ilave olarak, Varyans analizine (ANOVA) göre, gri ilişki derecesine en etkili parametrenin ilerleme oranı olduğu görülmüştür.

6.5. Öneriler

A 286 süper alaşımının delme işlenebilirliği ile ilgili olarak yapılan bu çalışma sonucunda ulaşılan ve daha sonraki çalışmalarda dikkate alınabilececek öneriler şunlardır:

- * A 286 süper alaşımın delme işlenebilirliği üzerine pek fazla çalışma yapılmadığı için farklı kesme parametreleri ve farklı uç açıları kullanılarak işlenebilirlik üzerine, özellikle de takım aşınması etkileri incelenebilir.
- * Talaşlı işlemede deney sonuçlarını tahmin etmek önemlidir. Bunun için modelleme metotlarından faydalanılarak deney sonuçları, öngörülen veya tahmin edilen sonuçlarla kıyaslanabilir.
- * Literatürde malzemenin Inconeale yakın değerlerde olduğu verilmiştir. Başka bir çalışmada Inconel ve A 286 süper alaşımları aynı şartlara maruz kalacak şekilde kıyaslanabilir.
- * Bu çalışmada kesme sıcaklıkları ve takım aşınması incelenmemiştir. Başka bir çalışmada takım aşınması ve kesme sıcaklıklarının, kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenebilir.
- * Kuru kesme şartlarında yapılan deneylerde yüksek sıcaklıkların oluşması talaş yapışmasına neden olmuştur. A 286 süper alaşımının işlenebilirliği soğutma sıvısı kullanılarak ve en az miktarda soğutma sıvısı (MQL) kullanılarak incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Bradley, E. (1988). *Superalloys A Tecnical Guide*.(1). USA:ASM International, 1-29.
2. Ezugwu, E.O., Bonney, J. and Yamane, Y. (2003). An overview of the machinability of aeroengine alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 134(2), 233-253.
3. Rahman, M., Seah, W.K.H. and Teo, T.T. (1997). The machinability of Inconel 718. *Journal of Materials Processing Tecnology*, 63(1), 199-204.
4. Klocke, F., Gerschwiler, K., Fritsch, R. and Lung, D. (2006). PVD-Coated tools and native ester - an advanced system for environmentally friendly machining. *Surface and Coatings Technology*, 201(7 SPEC. ISS.), 4389-4394.
5. Rahim, E.A. and Sasahara, H. (2009). Application of minimum quantity lubrication when drilling nickel-based superalloy at high cutting speed. *Key Engineering Materials*, 407-408, 612-615.
6. Herbert, C., Axinte, D., Hardy, M. and Brown, P.D. (2012). Investigation into the characteristics of white layers produced in a nickel-based superalloy from drilling operations. *Machining Science and Technology*, 16(1), 40-52.
7. Ezilarasan, C., Senthil Kumar, V.S. and Velayudham, A. (2013). An experimental analysis and measurement of process performances in machining of nimonic C-263 super alloy. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 46(1), 185-199.
8. Folea, M., Schlegel, D. and Lupulescu, N.B. (2009). *Compared machinability of cobalt based superalloy FSX414 during conventional and high speed end milling*. Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium, Vienna, Austria, 1779-1780.
9. Benghersallah, M., Boulanouar, L., Le Coz, G., Devillez, A. and Dudzinski, D. (2012). Dry high speed milling of cobalt-base hard facing superalloy. *Mechanika*, 18(5), 591-599.
10. Girardot, J., Schneider, M., Berthe, L. and Favier, V. (2013). Investigation of delamination mechanisms during a laser drilling on a cobalt-base superalloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 213(10), 1682-1691.
11. Kumar, V. and Khamba, J.S. (2009). Parametric optimization of ultrasonic machining of co-based super alloy using the Taguchi multi-objective approach. *Production Engineering*, 3(4-5), 417-425.
12. Ezugwu, E.O., Wang, Z.M. and Machadob, A.R. (1996). Performance of PVD and CVD coated tools when nickel-based machining Inconel 718 alloy. *IN: N.Narutaki et al.Progress of Cutting and Grinding*, 111(1), 102-107.
13. Aykut, S., Bağcı, E., Kentli, A. ve Yazıcıoğlu, O. (2007). Experimental observation of tool wear, cutting forces and chip morphology in face milling of cobalt based super-

- alloy with physical vapour deposition coated and uncoated tool. *Materials and Design*, 28(6), 1880-1888.
14. Nalbant, M., Altın, A. ve Gökkaya, H. (2007). The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickel-base Inconel 718 super alloys. *Materials and Design*, 28(4), 1334-1338.
 15. Kuo, C.P., Ling, C.C., Chen, S.H. and Chang, C.W. (2006). The prediction of cutting force in milling Inconel-718. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27(7-8), 655-660.
 16. Altın, A., Gökkaya, H. ve Nalbant, M. (2006). İşleme parametrelerinden kesme hızının Inconel 718 süperalaşımının işlenebilirliğine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(3), 581-586.
 17. Kıvak, T. ve Habalı, K. (2009). *Inconel 718'in delinmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinin araştırılması*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, Türkiye.
 18. Peña, B., Aramendi, G., Rivero, A. and De Lacalle, L.N.L. (2005). Monitoring of drilling for burr detection using spindle torque. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(14), 1614-1621.
 19. Korkut, I. and Donertas, M.A. (2007). The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool-chip contact length during face milling. *Materials and Design*, 28(1), 308-312.
 20. Ezilarasan, C., Senthil Kumar, V.S. and Velayudham, A. (2014). Theoretical predictions and experimental validations on machining the Nimonic C-263 super alloy. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 40(192-207).
 21. Aykut, S., Demetgul, M. and Tansel, I.N. (2010). Selection of optimum cutting condition of cobalt-based superalloy with GONNS. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 46(9-12), 957-967.
 22. Bagci, E. and Ozcelik, B. (2006). Finite element and experimental investigation of temperature changes on a twist drill in sequential dry drilling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(7-8), 680-687.
 23. Lin, W.S., Lee, B.Y. and Wu, C.L. (2001). Modeling the surface roughness and cutting force for turning. *Journal of Materials Processing Technology*, 108(3), 286-293.
 24. Rahim, E.A. and Sasahara, H. (2010). Surface integrity when drilling nickel-based superalloy under MQL supply. *Key Engineering Materials*, 443, 365-370.
 25. Rahim, E.A. and Sasahara, H. (2010). Surface integrity in MQL drilling nickel-based superalloy. *Key Engineering Materials*, 447 448, 811-815.
 26. Jin, D. and Liu, Z. (2013). Damage of the machined surface and subsurface in orthogonal milling of FGH95 superalloy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(5-8), 1573-1581.

27. Motorcu, A.R., Kus, A. and Durgun, I. (2014). The evaluation of the effects of control factors on surface roughness in the drilling of Waspaloy superalloy. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 58(1), 394-408.
28. Kivak, T., Habali, K. and Seker, U. (2010). Investigation of the effect of cutting parameters on surface roughness and chip formation in drilling of inconel 718 super alloy. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25(2), 293-298.
29. Dursun, M. (2007). *Titanyum ve Inconel 718 Malzemelerin Frezelenmesinde Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması*, Yüksek Lisans, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 198.
30. Lalwani, D.I., Mehta, N.K. and Jain, P.K. (2008). Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 206(1-3), 167-179.
31. Gökkaya, H., Sur, G. ve Dilipak, H. (2006). Kaplamasız sementit karbür kesici takım ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 12(1), 59-64.
32. Özses, B. ve Çoğun, C. (2002). Bilgisar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik İşleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(1), 59-75.
33. Qiao, Y., Ai, X. and Liu, Z. (2011). Research on cutting performance of high-speed steel drills during drilling the powder metallurgy nickel-based superalloy. *Key Engineering Materials*, 464, 556-559.
34. Davoodi, B. and Eskandari, B. (2015). Tool wear mechanisms and multi-response optimization of tool life and volume of material removed in turning of N-155 iron-nickel-base superalloy using RSM. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 68(286-294).
35. Hood, R., Soo, S.L., Aspinwall, D.K., Andrews, P. and Sage, C. (2011). *Twist drilling of haynes 282 superalloy*. *Procedia Engineering*, 19(1), 150-155.
36. Chen, Y.C. and Liao, Y.S. (2003). Study on wear mechanisms in drilling of Inconel 718 superalloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1-3), 269-273.
37. Amini, S. and Paktinat, H. (2014). Ceramic tools with ordinary and wiper inserts in near dry machining with high speed on super alloy monel K500. *Materials and Manufacturing Processes*, 29(5), 579-584.
38. Kwong, J., Axinte, D.A., Withers, P.J. and Hardy, M.C. (2009). Minor cutting edge-workpiece interactions in drilling of an advanced nickel-based superalloy. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(7-8), 645-658.
39. Arafat, M. (2009). *CNC Delme İşleminde Delme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 11-15,17-30,52.

40. Kitagawa, T., Kubo, A. and Maekawa, K. (1997). Temperature and wear of cutting tools in high-speed machining of inconel 718 and Ti-6Al. *Wear*, 202(1), 142-148.
41. Bradley, E.F. (1979). *Source Book on Materials for Elevated-Temperature Applications*. America:American Society of Metals Park, OH. 29, 100-230.
42. Çay, V. ve Ozan, Ş. (2005). Süper alaşımlar ve uygulama alanları. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 3(2), 178-188.
43. Betteridge, W. Heslop, J. (1974). *The Nimonic Alloys, and Other Nickel-Base High-Temperature Alloys*. New York:Edward Arnold, 100-400.
44. Jean Koster, Aerospace Materials 4012, (2010). *University of Colorado (CU)*, 01.
45. Choudhury, I.A. and El-Baradie, M.A. (1998). Machinability of nickel-base super alloys: A general review. *Journal of Materials Processing Technology*, 300(3-4), 278-284.
46. Bradley, E.F. (1989). *Superalloys*.America:American Society of Metals International Metals Park, OH 44073, 100-200.
47. Ezugwu, E.O. (2005). Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(12-13), 1353-1367.
48. Karagöl, T. (2008). *AL 7075 Alaşım Malzemesinin DLC Kaplamalı Kesici Takımlarla CNC Torna Tezgahında İşlenebilirliği*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-5.
49. Ezugwu, E.O., Wang, Z.M. and Machado, A.R. (1998). The machinability of nickel-based alloys: A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 86(1-3), 1-16.
50. Matthew, J.D.J. (1984). *Superalloys*. America:American Society of metals.
51. INCOLOY® alloy A-286 *Special Metals*, UNS S66286/W. Nr. 1.4980, 1-4.
52. Çelik, A. (2006). *Nikel Esaslı Süperalaşımların Talaşlı İşlenmesi için SiAlON Esaslı Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 4-10.
53. Jiang, W.H., Guan, H.R. and Hu, Z.Q. (1999). Effects of heat treatment on microstructures and mechanical properties of a directionally solidified cobalt-base superalloy. *Materials Science and Engineering* 271(1-2), 101-108.
54. Goetsch, L.D. (1991). *Modern Manufacturing Processes*.(1). America:Delmar Publishers Inc.
55. Çakır, M.C. (2000). *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*.(1). Bursa:VIPAS A.S., 349-410.
56. Avuncan, G. (1998). *Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar*. İstanbul:Makine Takım Endüstrisi A.Ş, 62-80.

57. Şahin, Y. (2000). *Kesici Takım Geometrisi ve Seçimi*.(1). Ankara:Nobel Yayınevi, 190-332.
58. Paul, A., Kapoor, S.G. and DeVor, R.E. (2005). Chisel edge and cutting lip shape optimization for improved twist drill point design. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(4-5), 421-431.
59. Çakır, A. (2009). *AL 7075 ve AL 6013 Alüminyum Malzemelerinin Delme Operasyonları Esnasındaki Kesme Parametrelerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 26-35.
60. Şahin, N. (2001). *Tesviyecilik Meslek Teknolojisi I*.(1). Ankara:Kozan Ofset,10-90.
61. Akkurt, M. (1998). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*.(4). İstanbul:Birsen Yayınevi, 8-90.
62. Özdemir, O., İpek, M. ve Zeytin, S. (2000). Kesici takım malzemeleri. *Makina Mühendisleri Odası Mühendis ve Makine*, 41(487), 8-10.
63. Kaynak, Y. (2006). *Matkap İle Delik Delme Esnasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Sıcaklığın Değişimine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 60-66.
64. Krar, F.S. Rapisarda, M. Check, F.A. (1998). *Machine Tool and Manufacturing Technology*. (America:Delmar Publishers, 280-292.
65. Turgut, Y. ve Korkut, İ. (2005). *Bağlama kalıplarında bağlama kuvvetlerinin deneysel ölçülmesi için sistem tasarımı ve İmalatı*. 4.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Konya/Türkiye.
66. Uzun, G. ve Korkut, İ. (2011). *Delme ve frezelemedeki kesme kuvvetlerinin ölçülmesi İçin deney seti tasarımı ve İmalatı*. 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Elazığ, Turkey, 71-74.
67. Korkut, I. (2003). A dynamometer desing and its construction for miling operation. *Materials and Desing*, 24(1), 631-637.
68. Turgut, Y. ve Korkut, İ. (Mayıs, 2009). *Talaşlı imalatta kesme kuvveti ölçme sistemleri*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 13-15.
69. Kıvak, T. (2007). *Inconel 718'in Delinebilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 30-32.
70. Polak, T.A. Pande, C. (1999). *Engineering Measurements-Methods and Intrinsic Errors*.(2). London:Professional Engineering Publishing, 139-140.
71. Davim, J.P. and Conceição António, C.A. (2001). Optimal drilling of particulate metal matrix composites based on experimental and numerical procedures. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(1), 21-31.

72. Barnes, S., Pashby, I.R. and Hashim, A.B. (1999). Effect of heat treatment on the drilling performance of aluminum/SiC MMC. *Applied Composite Materials*, 6(2), 121-138.
73. Ozel, T. and Karpat, Y. (August,2003). *Prediction of surface roughness and tool wear in finish dry hard turning using back propagation neural networks*. Proceedings of the International Conference on Production Research, Blacksburg, Virginia, 1-10.
74. Drozda, T.J. Wick, C. (1983). *Tool and Manufacturing Engineers Handbook: Machining*.(1). Canada:Society of Manufacturing Engineers, 620-630.
75. Bayrak, M. (2002). *Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-35
76. Rajmohan, T. and Palanikumar, K. (2012). Optimization of machining parameters for multi-performance characteristics in drilling hybrid metal matrix composites. *Journal of Composite Materials*, 46(7), 869-878.
77. Aruna, M. and Dhanalakshmi, V. (2012). Optimisation of turning parameters of Inconel 718 alloy using RSM. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 25(1-3), 113-134.
78. Taskesen, A. and Kütükde, K. (2014). Experimental investigation and multi-objective analysis on drilling of boron carbide reinforced metal matrix composites using grey relational analysis. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 47(1), 321-330.
79. Taskesen, A. and Kütükde, K. (2013). Analysis and optimization of drilling parameters for tool wear and hole dimensional accuracy in B4C reinforced Al-alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 23(9), 2524-2536.
80. Zhou, J., Bushlya, V., Avdovic, P. and Ståhl, J.E. (2012). Study of surface quality in high speed turning of Inconel 718 with uncoated and coated CBN tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(1-4), 141-151.
81. Dagnall, H. (1980). *Exploring Surface Texture*.(1). America:Rank Taylor Hobson 170.
82. ISO 4287 1 R., E.F., (1984).
83. Scar, A.J.T. (1991). *Metrology and Precision Engineering*.(New York:Mc. Graw-Hill Publishing Company Limited, 126-167.
84. Akkurt, A. ve Ovalı, İ. (2009). Ezme ve geleneksel bitirme İşlemlerinin al 6061 alüminyum alaşımı parçaların yüzey pürüzlülüğü ve daireselliği üzerine etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(3), 371-382.
85. Pettersson, U. and Jacobson, S. (2003). Influence of surface texture on boundarylubricated sliding contact. *Tribol International*, 36(1), 857-64.

86. Mesleki Eğitimi Geliştirme Projesi. (2007). *Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Motorlu Araçlar Teknolojisi Meslek Resmi* (2). Ankara:T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 30.
87. Weiß, S., Mattissen, D. and Dudzinski, W. (2002). Microstructure of laser-beam-welded iron-based superalloy A286 after high-temperature creep. *Advanced Engineering Materials*, 4(3), 142-146+85.
88. Lyman, T. (1967). *Machining, Metal Handbook 8th Edition*.(3). Metal Park, Ohio :American Society of Metals.
89. Ramesh, S., Karunamoorthy, L. and Palanikumar, K. (2012). Measurement and analysis of surface roughness in turning of aerospace titanium alloy (gr5). *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 45(5), 1266-1276.
90. Davim, J.P. (2003). Study of drilling metal-matrix composites based on the Taguchi techniques. *Journal of Materials Processing Technology*, 132(1-3), 250-254.
91. Tsao, C.C. (2007). Taguchi analysis of drilling quality associated with core drill in drilling of composite material. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(9-10), 877-884.
92. Tsao, C.C. and Hocheng, H. (2008). Evaluation of thrust force and surface roughness in drilling composite material using Taguchi analysis and neural network. *Journal of Materials Processing Technology*, 203(1-3), 342-348.
93. Yıldırım, S. (2011). *Ürün Tasarımı Geliştirilmesi: Taguchi Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 11.
94. Güral, G. (2003). *Gaz Kaynağında Proses Parametrelerinin Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 60-70.
95. Gökçe, G. ve Taşgetiren, S. (2009). Kalite için deney tasarımı. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 71-83.
96. Gupta, R.K., Tharian, K.T. and Sinha, P.P. (2012). Processing and characterization 43Ni-14Cr Nickel-Iron base superalloy. *High Temperature Materials and Processes*, 31(1), 67-72.
97. Kütükde, K. (2014). *Seramik Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Delinebilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 96-100.
98. Mendi, F. (2006). *Takım Tezgahları Teori ve Hesaplamaları*. (Ankara:Gazi Kitapevi, 155-185.
99. Heinz., T. (2009). *Applied Machining Technology*. New York:Springer, 109-113.
100. Strenkowski, J.S., Hsieh, C.C. and Shih, A.J. (2004). An analytical finite element technique for predicting thrust force and torque in drilling. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44(1), 1413-1421.

101. Boy, M. (2004). *Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Talaş Arkayüzey Sıcaklığının Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 22-24.
102. Çiçek, M., Kıvak, T., Turgut, Y., Uygur, İ. ve Ekici, E. (2011). *Derin kriyojenik İşlemin kesme kuvvetleri, delik çapları ve takım ömrü üzerine etkileri*. 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, Türkiye, 2-4.
103. Çiftçi, İ. (2005), *Kesici takım ders notları*, Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 6-8.
104. Haq, A.N., Marimuthu, P. and Jeyapaul, R. (2008). Multi response optimization of machining parameters of drilling Al/SiC metal matrix composite using grey relational analysis in the taguchi method. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37(3-4), 250.
105. Palanikumar, K. (2011). Experimental investigation and optimisation in drilling of gfrp composites. *Measurement: Journal of International Measurement Confederation*, 44(10), 2138.
106. Rajmohan, T., Palanikumar, K. and Kathirvel, M. (2012). Optimization of machining parameters in drilling hybrid aluminium metal matrix composites. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 22(6), 1286.
107. Taskesen, A. (2014). Experimental investigation and optimisation in drilling of az31 magnesium alloy using grey relational analysis. *Journal of the Balkan Tribological Association*, 20(3), 325-338.

EKLER

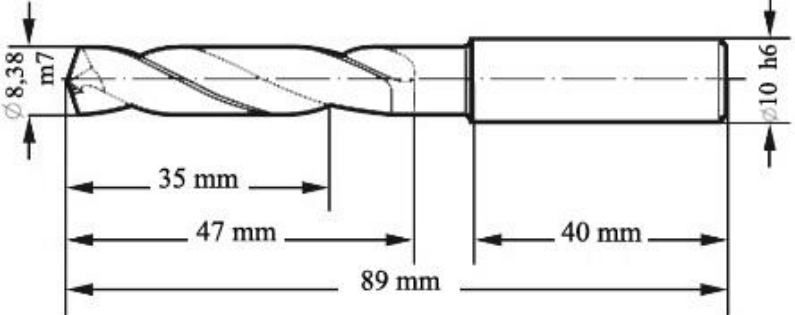
EK-2. A286 Süper alaşımına ait standartlar

Çizelge 2.11. A 286 süper alaşımına ait uluslararası standartlar

DIN	EN
X6NiCrTiMoVB25-15-2	10302:2008

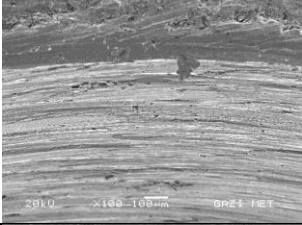
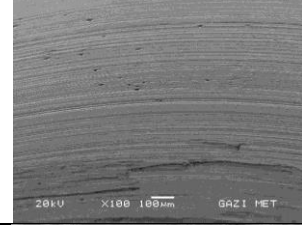
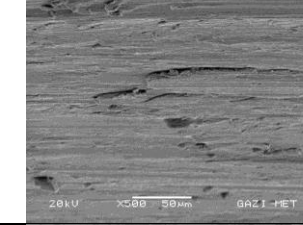
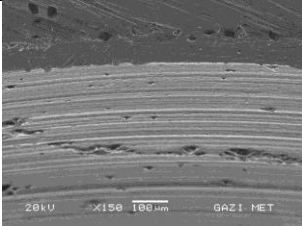
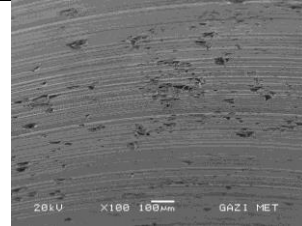
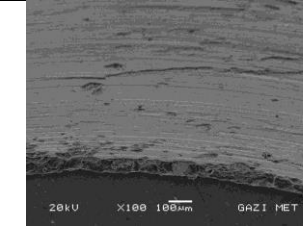
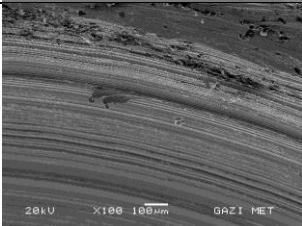
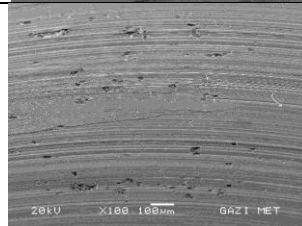
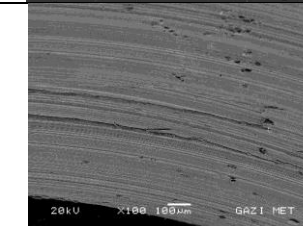
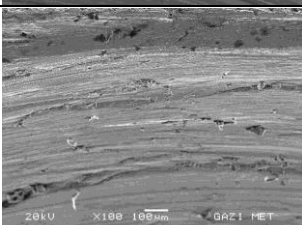
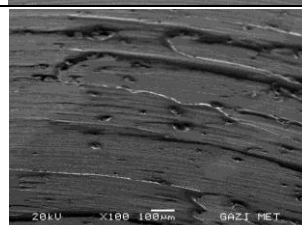
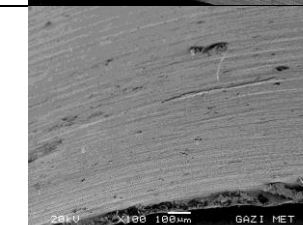
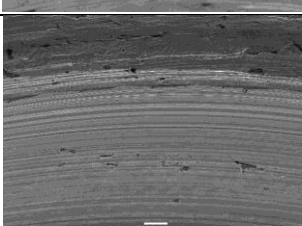
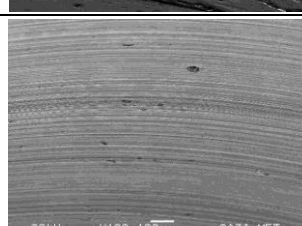
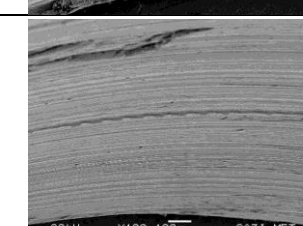
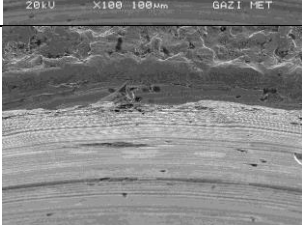
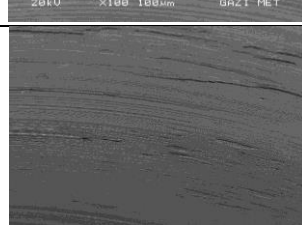
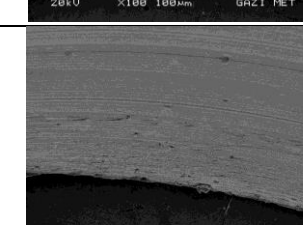
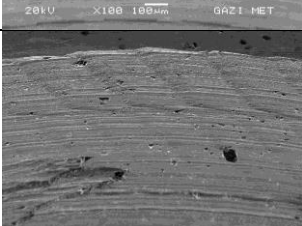
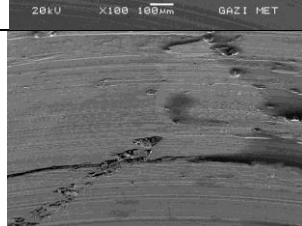
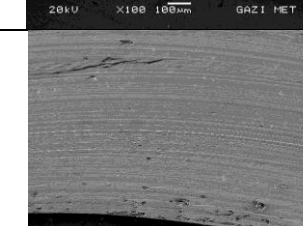
Ek-3. Deneylerde kullanılan matkaba ait detaylar

Çizelge 3.1. Matkap hakkında detaylı bilgi

A30 0001 Seri Walter Titex		Teknik Çizim
Standart	DIN 6537 K	
Gövde	Karbür	
Kesme Yönü	Sağ	
Uç Açısı	140 ve 120	
Uç uzunluğu	1,51 mm	
Etkin Kesici Köşe	2	
Uçların Bilenme Tekrarı	3	

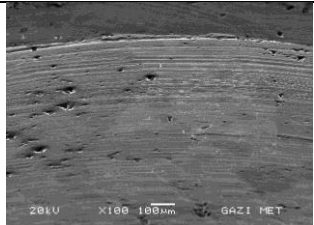
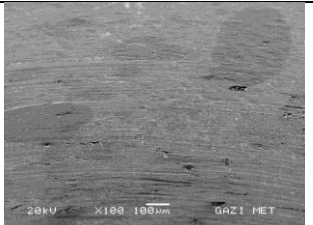
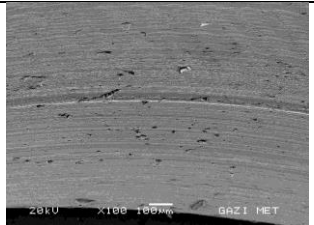
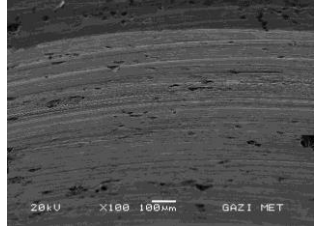
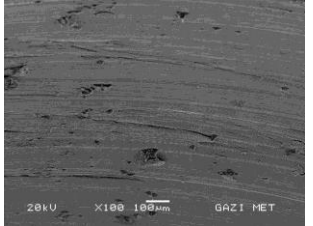
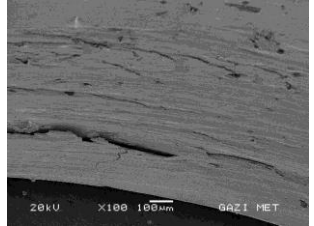
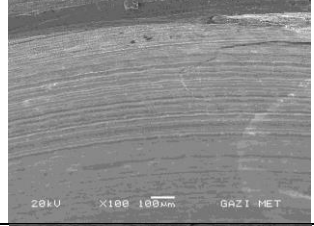
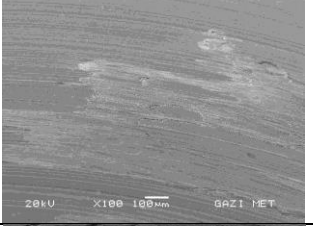
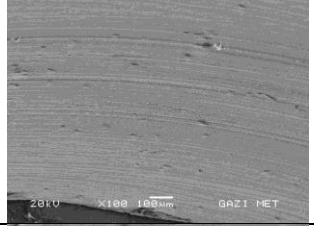
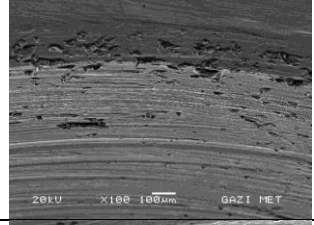
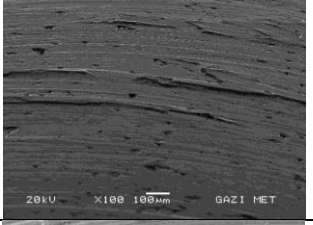
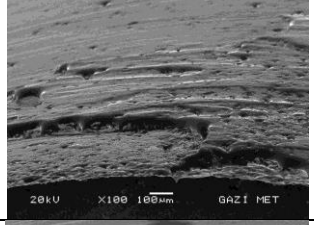
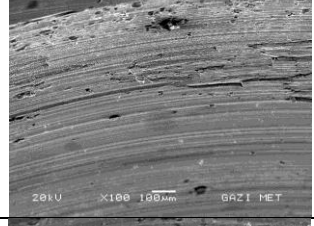
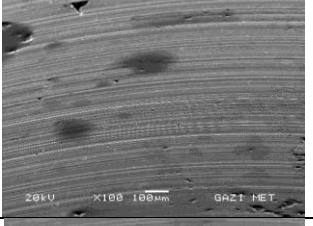
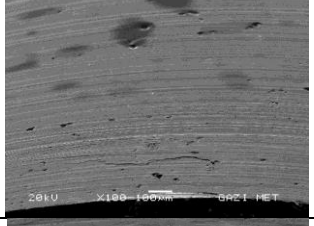
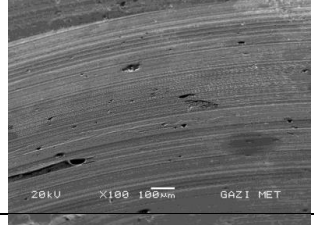
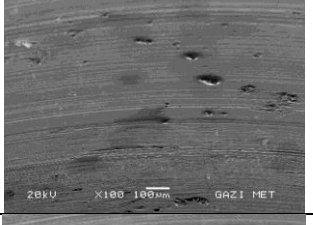
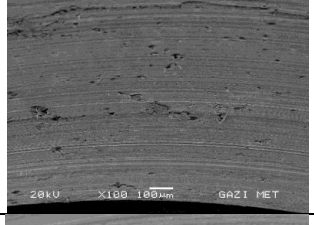
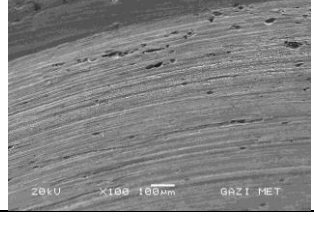
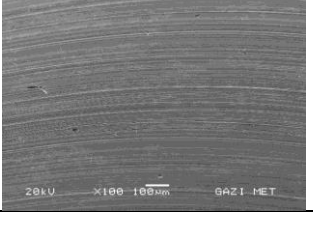
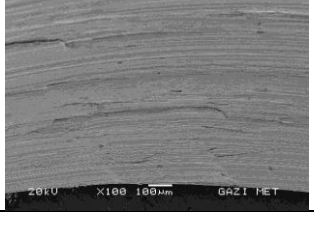
EK-4. Delme deneyleri sonrası deliklerin SEM görüntüleri

Çizelge 4.1. Deney 1-7’de elde edilen deliklerin SEM görüntüsü

Deney No	Delik Girişi	Delik Ortası	Delik Çıkışı
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

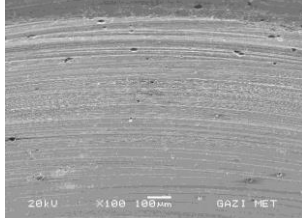
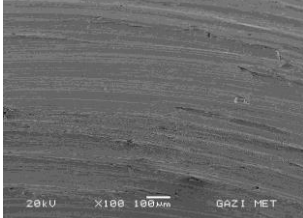
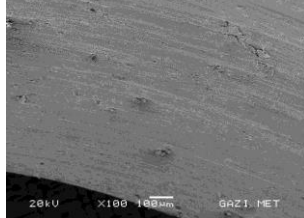
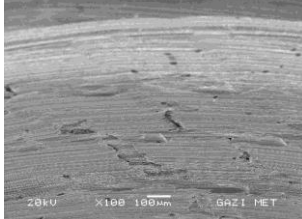
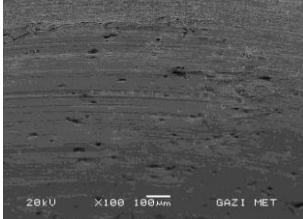
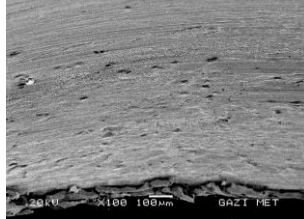
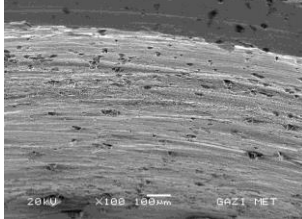
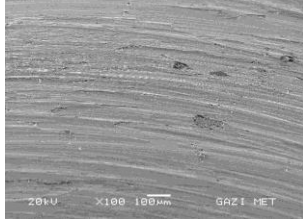
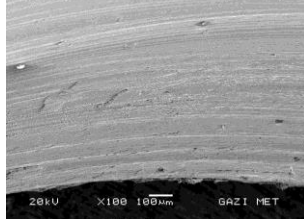
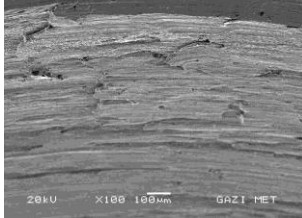
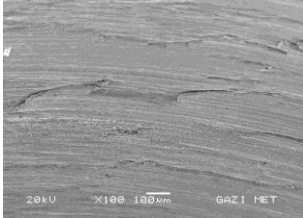
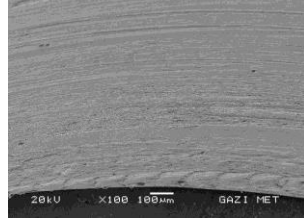
EK-4. (Devamı) Delme deneyleri sonrası deliklerin SEM görüntüleri

Çizelge 4.2. Deney 8-14’de elde edilen deliklerin SEM görüntüsü

Deney No	Delik Girişi	Delik Ortası	Delik Çıkışı
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			

EK-4. (Devamı) Delme deneyleri sonrası deliklerin SEM görüntüleri

Çizelge 4.3. Deney 15- 18’de elde edilen deliklerin SEM görüntüsü

Deney No	Delik Girişi	Delik Ortası	Delik Çıkışı
15			
16			
17			
18			

EK-5. Deneyler sonucu oluşan talaşlar

Çizelge 5.1. Deney 1-14’de elde edilen talaş oluşumları

Deney No	Oluşan Talaş	Deney No	Oluşan Talaş
1		8	
2		9	
3		10	
4		11	
5		12	
6		13	
7		14	

EK-5. (Devamı) Deneyler sonucu oluşan talaşlar

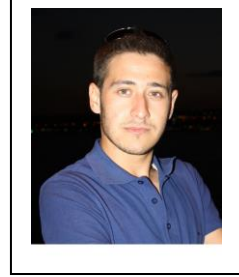
Çizelge 5.2. Deney 15-18’de elde edilen talaş oluşumları

Deney No	Oluşan Talaş	Deney No	Oluşan Talaş
15		17	
16		18	

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BIYIK Osman
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.11.1989 AYDIN
 Medeni hali : Bekar
 Gsm : 0 (541) 789 5691
 E mail : osmanbiyik09@hotmail.com



Eğitim Derecesi	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi, Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fak. Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü	2012
Lise	Aydın Anadolu Teknik ve EML	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-2015	Burç Ortaokulu / Niğde/ Çamardı	Tek. ve Tas. Öğretmeni
2015--	Gökçek Dr. Sadık Ahmet Ortaokulu Afyonkarahisar/ Evciler	Tek. ve Tas. Öğretmeni

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Belgeseller, Mizah dergileri, Masa tenisi, Müzik dinlemek, Saz çalmak.