

**INCONEL 718'İN DELİNEBİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Turgay KIVAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2007**

**ANKARA**

Turgay KIVAK tarafından hazırlanan INCONEL 718'İN DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Kasım HABALI .....

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliğiyle Makine Eğitim Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN .....

Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Kasım HABALI .....

Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER .....

Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Mahmut İZCİLER .....

Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Ferhat GÜL .....

Metal Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Tarih : 31/12/2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN .....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Turgay KIVAK

# INCONEL 718'İN DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Turgay KIVAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2007

## ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Inconel 718'in delinebilirliği için kuru kesme koşulları altında optimum delme şartlarını tespit etmektir. Bu amaçla, süper alaşım Inconel 718'in kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplarla delinmesi esnasında kesme parametrelerinin; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik kalitesi ve talaş oluşumu üzerindeki etkisi analiz edilerek, grafik ve resimlerle açıklanmıştır. Kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplı karbür matkaplar kullanılarak kuru kesme şartlarında CNC dik işleme merkezinde talaş kaldırılmıştır. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı 10, 12,5, 15, 17,5 m/min ve üç farklı ilerleme 0,05, 0,075, 0,1 mm/rev kullanılmıştır. Bu kesme parametreleri kullanılarak 5 mm çapında matkaplarla 8 mm derinliğinde kör delikler delinmiştir. Kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik çap ve dairesellikleri ölçülmüş ve bu ölçümler ışığında kesici takımlar arasında mukayese yoluyla bir değerlendirme yapılmıştır. Inconel 718'in kuru kesme şartlarında delinmesinde en iyi performans kaplamasız takımlardan alınırken en kötü sonuçlar ise TiAlN kaplı takımlardan alınmıştır. Yüksek kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında takım performansı ve delik kalitesinin düştüğü görülmüştür.

Bilim Kodu : 708.1.094  
Anahtar Kelimeler : Inconel 718, delme, delik kalitesi, yüzey pürüzlülüğü  
Sayfa Adedi : 113  
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Kasım HABALI

# INVESTIGATION OF DRILLABILITY OF INCONEL 718

(M.Sc. Thesis)

Turgay KIVAK

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

December 2007

## ABSTRACT

The aim of this study is to determine optimum drilling conditions for Inconel 718 drillability under dry cutting conditions. For this purpose when drilling Inconel 718 with coated and uncoated drills cutting parameters have been explained with graphics and pictures by analyzing their effects on cutting forces, surface roughness, hole quality and chip formation. Drilling operation were performed on a CNC vertical machining center using uncoated, TiN and TiAlN coated carbide drills in dry cutting conditions. As a cutting parameters, four cutting speeds (10, 12.5, 15, 17.5 m/min) and three different feed rates (0.05, 0.075, 0.1 mm/rev) have been used. Blind holes having 8 mm depth were drilled with 5 mm drills using this cutting parameters. Cutting forces, surface roughness, hole diameter and ovalibility were measured and the evaluated. By comparing the cutting tools according to these measurement. The best performance was obtained from uncoated cutting tools when drilling Inconel 718 under dry cutting conditions. On the other hand, the worst results were reached from TiAlN coated cutting tools. It was observed that cutting tools performance and hole quality decreased in the combinations of high cutting speed and feed rate.

Science Code : 708.1.094  
Key Words : Inconel 718, drilling, hole quality, surface roughness  
Page Number : 113  
Adviser : Assist. Prof. Dr. Kasım HABALI

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Kasım HABALI'ya, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın deneysel çalışmalarında katkı sağlayan Arş. Gör. Mustafa GÜNAY'a, Orta Doğu Rulman Sanayi A.Ş. Ölçme Laboratuvar Şefi Selahattin ÇETİN ve Mamul Kontrol Şefi Mehmet İLERİSOY Bey'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca 07/2007-41 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na da teşekkür ederim.

Son olarak bugünlere gelmemde maddi-manevi en büyük emeği olan anne ve babama saygı ve şükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xvi
1. GİRİŞ .....	1
2. SÜPER ALAŞIMLAR .....	3
2.1. Süper Alaşımların Genel Özellikleri .....	3
2.2. Süper Alaşımların Metalürjisi .....	5
2.3. Süper Alaşımların Sınıflandırılması .....	5
2.3.1. Nikel esaslı süper alaşımlar .....	7
2.3.2. Demir esaslı süper alaşımlar .....	10
2.3.3. Kobalt esaslı süper alaşımlar .....	12
2.3.4. Döküm ve dövme alaşımlar .....	13
2.4. Süper Alaşımların Yüksek Sıcaklıklardaki Davranışları .....	14
2.4.1. Sürünme/gerilme-kopma .....	15
2.4.2. Metalürjik kararsızlık .....	15
2.5. Süper Alaşımların Toz Metalürjisinde Kullanımı .....	16
2.6. Süper Alaşımların Kullanılma Yerlerine Göre Seçimi .....	17

	<b>Sayfa</b>
2.7. Süper Alaşımın Mevcut Uygulamaları.....	18
2.8. Süper Alaşım Inconel 718 .....	19
3. DELİK DELME .....	21
3.1. Delik Delme İşlemlerinin Yeri .....	21
3.2. Delik Delme İşlemi .....	23
3.3. Temel Tanımlar .....	25
3.4. Talaş Oluşumu.....	27
3.5. Delme İşlemlerinde Kesme Kuvvetleri ve Güç.....	31
3.6. Dairesellik .....	33
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	34
4.1. Süper Alaşımın ve Inconel 718'in İşlenebilirliği ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....	34
4.2. Inconel 718'in Delinebilirliği ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....	38
4.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi .....	43
5. MALZEME VE METOT .....	45
5.1. Deneilerde Kullanılan Malzeme.....	45
5.2. Deneilerde Kullanılan Takım Tezgâhı .....	46
5.3. Deneilerde Kullanılan Kesici Takım ve Kesme Parametreleri.....	47
5.4. Denei Numuneleri .....	48
5.5. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi .....	49
5.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi.....	51
5.7. Delik Çapı ve Daireselliğinin Kontrolü.....	52
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....	55



**Sayfa**

6.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	55
6.1.1. Kaplamasız takımda kesme kuvvetleri.....	55
6.1.2. TiN kaplamalı takımda kesme kuvvetleri .....	57
6.1.3. TiAlN kaplamalı takımda kesme kuvvetleri .....	59
6.1.4. Kesme kuvvetlerinin genel değerlendirmesi .....	61
6.2. Deliklerin Daireselliğinin Değerlendirilmesi .....	63
6.2.1. Kaplamasız takımlarla delinen deliklerin daireliliğinin değerlendirilmesi.....	64
6.2.2. TiN kaplı takımlarla delinen deliklerin daireliliğinin değerlendirilmesi.....	65
6.2.2. TiAlN kaplı takımlarla delinen deliklerin daireliliğinin değerlendirilmesi.....	65
6.2.4. Dairesellikten sapmanın genel değerlendirmesi.....	66
6.3. Delik Çaplarının Değerlendirilmesi .....	70
6.4. Delik Yüzeylerinde Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi.....	74
6.5. Talaş Oluşumunun Değerlendirilmesi.....	79
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	83
7.1. Sonuçlar.....	83
7.2. Öneriler.....	86
KAYNAKLAR .....	88
EKLER.....	92
EK-1 Deneyler sırasında ölçülen aksenal kesme kuvveti değerleri.....	93
EK-2 Deliklerin dairesellikten sapma ölçüm değerleri.....	94
EK-3 Delik çapı değerleri .....	95
EK-4 Delik yüzeylerinden alınan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	96
EK-5 Her delik için ayrı ayrı ölçülen çap değerlerinin ilerlemeye bağlı olarak değişimlerinin gösterilmesi.....	97
EK-6 Kaplamasız matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri .....	101

**Sayfa**

EK-7 TiN kaplı matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri.....	105
EK-8 TiAlN kaplı matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri.....	109
ÖZGEÇMİŞ .....	113

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Süper alaşımların sınıflandırılması.....	6
Çizelge 4.1. Deneylede kullanılan matkapların özellikleri.....	42
Çizelge 5.1. Deneylede kullanılan tezgahın teknik özellikleri .....	46
Çizelge 5.2. Kesici takım özellikleri ve kesme parametreleri.....	47
Çizelge 5.3. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri.....	50
Çizelge 5.4. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinin yapıldığı cihaza ait teknik özellikler...	52
Çizelge 5.5. Ölçümlerin yapıldığı tezgaha ait teknik özellikler.....	54

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Süper alaşımların tarihsel gelişimi ve sıcaklık dayanımları .....	4
Şekil 2.2. Süper alaşımların kullanım alanları .....	18
Şekil 2.3. Çeşitli alaşımların bağıl işlenebilirliğinin mukayesesi .....	20
Şekil 3.1. İşlem sayısına göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması .....	21
Şekil 3.2. Talaş kaldırma süresine göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması .....	22
Şekil 3.3. Takımın dönmesi (v); ilerlemesi (u) .....	22
Şekil 3.4. Çap uzunluk ilişkisi .....	24
Şekil 3.5. Delme işlemleri (1) Tek operasyonda delme işlemi, (2) Ön delik delme işleminden sonra yapılan delme işlemi .....	25
Şekil 3.6. Kesme hızı-ilerleme hızı .....	26
Şekil 3.7. Delme işlemlerinde temel tanımlar a) Talaş kesit alanı, b) Kesici kenar başına ilerleme .....	27
Şekil 3.8. Matkabın çevresinde aşırı kesme hızı .....	28
Şekil 3.9. Talaş oluşumuna etki eden faktörler .....	29
Şekil 3.10. Kesici kenarın talaş kaldırması .....	30
Şekil 3.11. Çapa bağlı basınç ve debi ilişkisi .....	30
Şekil 3.12. Matkapla delmede kesme kuvvetleri .....	31
Şekil 3.13. Dairesellik ölçümleri .....	34
Şekil 4.1. Deneylede kullanılan matkabın uç görünümü .....	39
Şekil 4.2. Farklı akışkanların matkap ömrü üzerindeki etkisi .....	39

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.3. Inconel 718'in delinmesinde soğutma yağının PVD kaplama sistemleri üzerindeki etkisi.....	41
Şekil 4.4. Matkap uç geometrisi (A) A, B, C ve D tipi matkapların (B) E tipi matkabın uç geometrisi .....	42
Şekil 5.1. Inconel 718'in SEM'de çekilmiş elemanter analizi.....	45
Şekil 5.2. Deneyleerde kullanılan matkabın diğer boyutları.....	47
Şekil 5.3. Deliklerin deney numunesi üzerindeki dağılımı .....	49
Şekil 5.4. Kesme kuvvetleri ölçme düzeni ve dinamometre ünitesinin şematik görünümü .....	50
Şekil 5.5. Dairesellik ölçümleri.....	53
Şekil 6.1. Kaplamasız matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak delik sayısındaki artışla kesme kuvvetlerindeki değişim.....	57
Şekil 6.2. TiN kaplı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak delik sayısındaki artışla kesme kuvvetlerindeki değişim.....	59
Şekil 6.3. TiAlN kaplı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak delik sayısındaki artışla kesme kuvvetlerindeki değişim.....	61
Şekil 6.4. Farklı takımlarla kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim.....	63
Şekil 6.5. Kaplamasız matkapla delinen deliklerin ortalama dairesellikten sapması.....	64
Şekil 6.6. TiN kaplı matkapla delinen deliklerin ortalama dairesellikten sapması.....	65
Şekil 6.7. TiAlN kaplı matkapla delinen deliklerin ortalama dairesellikten sapması.....	66
Şekil 6.8. 0,05 mm/rev ilerleme miktarında üç farklı takımla delinen deliklerin kesme hızına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri.....	67
Şekil 6.9. 0,075 mm/rev ilerleme miktarında üç farklı takımla delinen deliklerin kesme hızına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri.....	68

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.10. 0,1 mm/rev ilerleme miktarında üç farklı takım ile delinen deliklerin kesme hızına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri.....	69
Şekil 6.11. 10 m/min kesme hızında üç farklı takım ile delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama çap değerleri .....	71
Şekil 6.12. 12,5 m/min kesme hızında üç farklı takım ile delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama çap değerleri .....	72
Şekil 6.13. 15 m/min kesme hızında üç farklı takım ile delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama çap değerleri .....	73
Şekil 6.14. 17,5 m/min kesme hızında üç farklı takım ile delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama çap değerleri .....	74
Şekil 6.15. 10 m/min kesme hızında üç farklı takım ile delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.....	75
Şekil 6.16. 12,5 m/min kesme hızında üç farklı takım ile delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.....	76
Şekil 6.17. 15 m/min kesme hızında üç farklı takım ile delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.....	77
Şekil 6.18. 17,5 m/min kesme hızında üç farklı takım ile delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.....	79
Şekil 6.19. Bir takım ile yapılan deneyde ilk delik, ortadaki ve son delikten alınan talaş örnekleri .....	80
Şekil 6.20. 17,5 m/min kesme hızı ve 0,1 mm/rev ilerleme oranında üç farklı takımdan alınan talaş örnekleri .....	81
Şekil 6.21. 0,075 mm/rev ilerleme miktarında kesme hızına bağlı olarak TiN kaplı takım ile delinen ilk deliklerden alınan talaş örneklerindeki değişim.....	81
Şekil 6.22. 12,5 m/min kesme hızında ilerleme miktarına bağlı olarak kaplamasız takım ile delinen ilk deliklerden alınan talaş örneklerindeki değişim.....	82

## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 5.1. Johnford VMC–550 marka CNC dik işleme merkezi.....	46
Resim 5.2. İş parçasının dinamometreye bağlanması .....	51
Resim 5.3. Delik eksenine paralel kesilen numuneler .....	52
Resim 5.4. Delik çap ve daireselliklerinin ölçüldüğü CMM tezgahı.....	54

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>A</b>	Talaş kesit alanı, mm <sup>2</sup>
<b>a<sub>p</sub></b>	Radyal talaş derinliği, mm
<b>D</b>	Takım çapı, mm
<b>f</b>	Devir başına ilerleme, mm/rev
<b>F<sub>a</sub></b>	Eksenel kuvvet
<b>F<sub>rz</sub></b>	Radyal kuvvet, N
<b>F<sub>sz</sub></b>	Kesme kuvveti, N
<b>F<sub>vz</sub></b>	İlerleme kuvveti, N
<b>h<sub>1</sub></b>	Deformasyona uğramış talaş kalınlığı, mm
<b>h<sub>2</sub></b>	Teorik talaş kalınlığı, mm
<b>k<sub>s</sub></b>	Düzeltilme faktörü, N/mm <sup>2</sup>
<b>L</b>	İlerleme uzunluğu, mm
<b>M<sub>s</sub></b>	Toplam kesme momenti, Nm
<b>n</b>	Devir sayısı, rev/min
<b>p</b>	Çevresel kesme hızı, m/min
<b>T</b>	Efektif işleme zamanı, min
<b>u</b>	Takımın ilerlemesi
<b>v</b>	Takımın dönmesi
<b>V<sub>c</sub></b>	Kesme hızı, m/min
<b>V<sub>f</sub></b>	İlerleme hızı, mm/min
<b>z</b>	Kesici kenar sayısı
<b>Φ</b>	Matkap uç açısı, derece



<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Seramik kesici takım
<b>BUE</b>	Built-up Edge (Talaş yapışması ve sıvanması)
<b>CMM</b>	Coordinate Measuring Machine (Koordinat ölçme cihazı)
<b>CNC</b>	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı sayısal denetim)
<b>CrN</b>	Krom nitrit
<b>f<sub>cc</sub></b>	Yüzey merkezli kübik kafes
<b>FMS</b>	Flexible Manufacturing System (Esnek üretim sistemi)
<b>HRc</b>	Malzemenin Rockwell sertlik değeri, N/mm <sup>3</sup>
<b>HSS</b>	High Speed Steel (Yüksek hız çeliği)
<b>MRS</b>	Minimum Radyal Sapma
<b>NC</b>	Nümerical Control (Nümerik kontrol)
<b>ORS</b>	Orta Doğu Rulman Sanayi
<b>PM</b>	Powder Metallurgy (Toz metalürjisi)
<b>PVD</b>	Physical Vapour Deposition (Fiziksel buhar çökeltme)
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscope (Tarama elektron mikroskobu)
<b>TIR</b>	Toplam İbre Okuma
<b>TiAlN</b>	Titanyum alüminyum nitrit
<b>TiC</b>	Titanyum karbür
<b>TiCN</b>	Titanyum karbon nitrit
<b>TiN</b>	Titanyum nitrit
<b>V<sub>BB</sub></b>	Yanak aşınma alanı genişliği, mm
<b>WC</b>	Tungsten karbür

## 1. GİRİŞ

Süper alaşımlar yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanımlarını koruyabilen yüksek sıcaklığa dirençli alaşımlardır. Bu karmaşık alaşımlar yüksek sıcaklıkta iyi korozyon ve oksidasyon direncine, üstün sürünme ve kopma dayanımına sahiptirler [1]. Süper alaşımlar ısıl direnci yüksek, demir-nikel, nikel ya da kobalt esaslı alaşımlar olarak sınıflandırılabilir [2].

Nikel esaslı süper alaşımlar, kaliteli bir yüzey elde etmede, işlenebilirliği en zor olarak bilinen malzemelerdendir [3, 4]. Bu alaşımlar uçak motorlarında, endüstriyel gaz türbinlerinde, uzay araçlarında, roket motorlarında, nükleer reaktörlerde, deniz altılarda, buhar üretme tesislerinde, petrokimyasal cihazlarda ve diğer ısıya dayanıklı uygulamalarda kullanılmaktadır [5]. Bu alaşımların 650°C aşan sıcaklıklardaki yüksek oksidasyon dayanımları ve faz sınırlarındaki dayanımları mükemmeldir. Üretilen süper alaşım miktarının %45'i dövme ve %25'i dökme nikel esaslı süper alaşımdır [3, 6]. Nikel esaslı süper alaşımlar, en az %50 nikel ihtiva ederler. Diğer bir deyişle nikel ana bileşim elemanıdır. Süper alaşımlar, dövme ve dökümün yanısıra toz metalurjisi yöntemiyle de üretilmektedirler [7].

Süper alaşımlar birçok alaşım çeşidini geride bırakmışlardır. Bunların içerisinde krom ve nikel içeren demir bazlı alaşımlar, demir-nikel-krom-kobalt bileşikleri, karbür takviyeli kobalt bazlı alaşımlar, katı solüsyon takviyeli nikel bazlı alaşımlar, çökeltme ve dağılım takviyeli nikel bazlı alaşımlar bulunmaktadır [8].

Son yıllarda farklı çalışma sıcaklıklarına sahip çeşitli alaşımlar geliştirilmiştir. Bunların en önemlilerinden biri de Inconel 718 süper alaşımdır. Dökümü, polikristalli ve eşeksenli bir mikroyapıya sahiptir. Nikel esaslı süper alaşım Inconel 718 yüksek sıcaklıkta çökeltilerek sertleştirilen bir alaşımdır. Düşük ve orta sıcaklıktaki ((-250)-(700)°C) mükemmel mekanik özelliklerinden dolayı son yıllarda uzay, petrol ve nükleer enerji endüstrisinde geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Inconel 718'in işlenmesi sırasında, iyi bilinen bir özelliği olan düşük termal iletkenliğinden dolayı takım sıcaklığı kolayca yükselmektedir. İşleme sırasında

malzemenin mükemmel sertliğinin sonucu olarak talaş oluşumunda güçlükle karşılaşmaktadır [9]. Bununla beraber malzemenin üretim maliyeti yüksek olduğu için, işlenmesi esnasındaki hatalar maddi kayıplara neden olmaktadır.

Uzay endüstrisinde delik delme uzun zamandan beri bilinen en önemli işleme süreçlerinden biridir. Fakat geçmişte Inconel 718 alaşımı üzerindeki işleme araştırmaları çoğunlukla tornalama ve frezeleme operasyonlarından ibarettir ve delme operasyonu ile ilgili literatür çok kısıtlıdır [9, 10].

Bu çalışmada, kesme parametrelerinden kesme hızı ve ilerlemenin farklı kombinasyonlarının, Inconel 718'in TiN, TiAlN kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinmesinde kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik kalitesi ve talaş oluşumu üzerindeki etkisi incelenerek optimum delme şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Endüstride bu malzemeleri işlemek zorunda olan işletmeler çeşitli sıkıntılarla karşılaşmaktadırlar. Gerek malzemenin işlenmesinin zor olması, gerekse uygun kesme şartlarının uygulanmaması neticesindeki malzeme kayıpları büyük sorunlar çıkarmaktadır. Birçok işletme bu malzemeleri işlemek istememekte veya işçilik için çok yüksek ücret talep etmektedir. Bu işletmelerde teknolojik verilerin yetersizliğinden dolayı deneme-yanılma ile işleme yapılmakta böylece iş kalitesi düşmekte ve maddi kayıplara uğramaktadırlar. Bu tür işletmelerin uygulamalarında kullanılacak teknolojik verilerin elde edilmesi açısından bu çalışmanın önemli bir yer tutacağına inanılmaktadır.

## 2. SÜPER ALAŞIMLAR

### 2.1. Süper Alaşımın Genel Özellikleri

Süper alaşım olarak, ana yapısı demir, nikel ya da kobalt olan, nispeten yüksek miktarlarda krom ve az miktarda da yüksek sıcaklıkta ergiyen molibden ve volfram ve ayrıca alüminyum ve titanyum içeren alaşımlar anlaşılır.

Süper alaşım, şiddetli mekanik gerilmelerin olduğu ve yüzey dengesinin sıklıkla gerekli olduğu genellikle Grup VIII A elementlerine dayalı yüksek sıcaklıklarda kullanılmak üzere geliştirilmiş bir alaşımdır. "Süper Alaşım" ifadesi ilk olarak yüksek sıcaklıklarda yüksek performans gerektiren uçak türbin motorlarında ve turboşarjlarda kullanım için geliştirilmiş ve yine ilk olarak II. Dünya savaşından kısa bir süre sonra kullanılmıştır. Bu alaşımlar genellikle, demir, nikel, kobalt ile daha az miktarlarda tungsten, molibden, tantal, niyobyum, titanyum ve alüminyum alaşımlarıyla yapılan çeşitli formülleri içerirler. Süper alaşımların en önemli özellikleri 650°C'nin üstündeki sıcaklıklara uzun süre dayanmaları ve sıcaklığa bağlı korozyon ve aşınmaya dirençlerinin yüksekliğidir. Nikel ve kobalt esaslı süper alaşımlar yüksek sıcaklıklarda (1500-1650°C) yüksek mukavemete sahiptirler [8]. Nikel esaslı süper alaşımlardan Rene 95, 760°C de 1100 MPa ve Udimet 700, 870°C de 635 MPa akma mukavemetine ve sırasıyla %15 ve % 27 uzamaya sahiptirler. Kobalt esaslı S-816 süper alaşımı ise 870°C de 240 MPa akma mukavemetine ve %16 uzamaya sahip bulunmaktadır [11].

Süper alaşımlar, işleyerek veya döküm yöntemiyle şekillendirilerek kullanılabilir. Genellikle demir esaslı ve nikel esaslı katı eriyik takviyeli alaşımların 650°C'nin üstündeki sıcaklıklardaki dayanımları, nikel esaslı ikinci safha takviyeli ve kobalt esaslı alaşımlardan daha düşüktür [8].

Bu nedenle, daha uzun ömür ve aynı zamanda yüksek mekanik ve ısıl zorlamalarda nikel ve kobalt esaslı alaşımlar tercih edilir. Uçak tahrik sistemlerinde, bu alaşımların tercih oranı %50'ye kadar ulaşmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan türbinlerde ve

dizel motorlarında artan işletme sıcaklıklarında bu malzemeler artarak kullanılmaktadır.

SICAKLIK °C	1093	TRW-VIA B MM200 MM246 MM247 IN100.....B-1900 R'80 IN-792
	1038	IN-738 713C MM322
	982	R77 U500 U-700 MM509 WI-52
	927	WASPALLOY
	871	X-40 M-252
	816	S-816 ICONELX-750 NIMONIC80 A HA-21
	760	NIMONIC80 HASTELLOYB

**YAKLAŞIK YILLAR 1940 42 44 46 48 50 52 54 56 58 56 58 60 62 64 66 68 1970**

Şekil 2.1. Süper alaşımların tarihsel gelişimi ve sıcaklık dayanımları [8]

İkinci çökeltme aşaması ile kuvvetlendirilen nikel esaslı süper alaşımlar, en karışık ve bütün süper alaşımlar içerisinde en çok dikkati çekenidir. Bu alaşımların fiziksel metalürjisinin çözümü zor ve karışık olmasına rağmen iyi anlaşılmıştır. Yapı ilk mukavemet kazandırma aşamasında bir çökeltmiş nikel-alüminyum-titanyum bileşiği ile bir yüzey merkezli-kübik ( $f_{cc}$ ) austenitik matristen oluşur [3].

Jet türbin kanatçıkları, türbin diskleri, egzost valfleri, zincir kancaları, ısı dönüştürücülerin başlıkları, valflerin ve pompaların gövdeleri kapalı kalıp dövme yöntemleriyle nikel esaslı alaşımlardan imal edilirler [12].

Bu alaşımlar gaz türbinli motorlardaki gerilme ve sıcaklığa ilişkin olarak birçok uygulamalarda kullanılmışlardır. Geliştirilen bir alaşım sisteminin metal erime

noktasının en yüksek oranında önemli dayanıma sahip olduklarını ispatlamışlardır [8].

## 2.2. Süper Alaşımların Metalurjisi

Süper alaşımlar yüzey dengesinin gerektiği ve yüksek gerilmelerin olduğu 650°C ve üstü sıcaklıklarda kullanılmaktadır. "Süper alaşım" ifadesi demir, nikel, kobalt ve krom kombinasyonları veya demir-nikel ve kobalt bazlı malzeme alaşımları için kullanılabilir. Bu alaşımlar daha düşük miktarlarda tungsten, molibden, tantal, niyobyum, titanyum ve alüminyum olmak üzere çeşitli oranlarda demir, nikel, kobalt ve krom içerir [13]. Nikel süper alaşımları, sürünme-kırılma ömrünü arttıran küçük miktarlarda bor, zirkonyum ve hafniyum içerebilir.

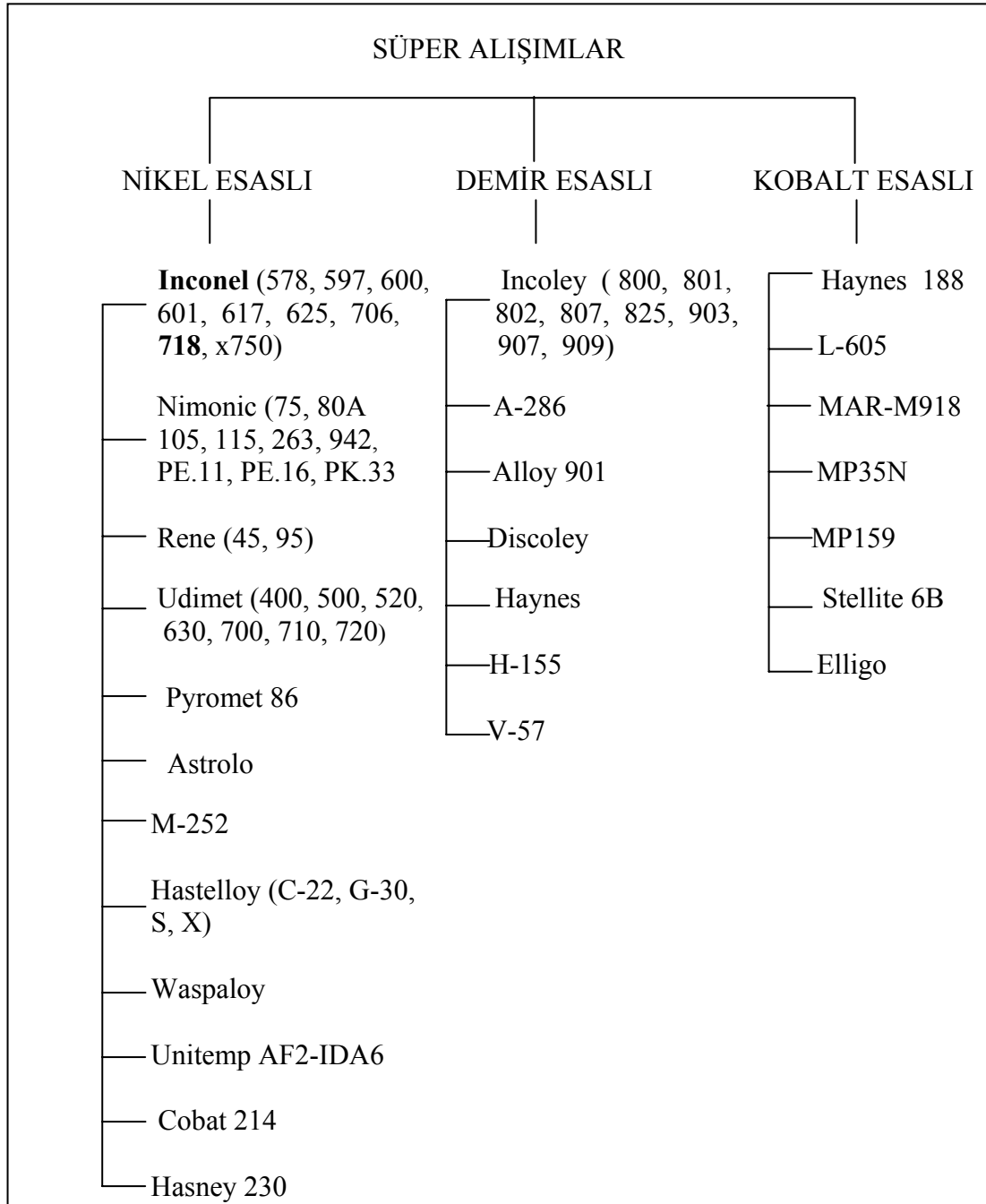
Karbon bütün alaşımlarda ve genellikle de nikel ve demir süper alaşımlarında yaklaşık %0.03'e kadar bulunur [3]. Fakat, karbür safhasının kuvvetlendirilmesine neden olmak için kobalt bazlı alaşımlarda daha yüksek miktarlarda bulunabilir. Çeşitli süper alaşım tipleri demir bazlı krom ve nikel içeren, demir-nikel-krom-kobalt bileşikleri, katı eriyik takviyeli kobalt bazlı alaşımlar, kobalt bazlı karbür takviyeli alaşımlar, nikel bazlı çökeltme takviyeli alaşımlar ve nikel bazlı oksit dağılım takviyeli alaşımlar bulunmaktadır [8].

## 2.3. Süper Alaşımların Sınıflandırılması

Nikel esaslı çökeltme takviyeli süper alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda gösterdiği dayanım bakımından daha fazla kullanılmaktadır. Çok yüksek sıcaklıklarda oksit dağılım takviyeli alaşımların ve hatta bazı kobalt alaşımlarının çökeltme takviyeli nikel esaslı süper alaşımlara karşı, daha fazla dayanım gösterdiği bir gerçektir. Ancak, bu alaşım çeşitlerinin ikisi de daha düşük sıcaklıklarda, nikel esaslı süper alaşımlardan çok daha zayıftır. Demir esaslı süper alaşımlar ve katı solüsyon takviyeli alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda gösterdikleri düşük dayanım özelliğinden dolayı süper alaşımların en zayıflarıdır [8]. Süper alaşımlar, yapılarındaki oluşum

elementlerine göre farklı isimler alırlar. Bu alaşımların genel sınıflandırılması Çizelge 2.1’de gösterilmiştir [14].

Çizelge 2.1. Süper alaşımların sınıflandırılması [14]



Demir esaslı süper alaşımlar, yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda daha az kullanılmıştır. Bu, yaygın olarak kullanılan demir içeren nikel esaslı Inconel 718

alaşımı için geçerli değildir. Demir esaslı süper alaşımların üstünlüğü önemli ölçüde kaybolmuştur [8].

### 2.3.1. Nikel esaslı süper alaşımlar

Nikel esaslı süper alaşımlar, başta nikel olmak üzere, önemli miktarlarda krom içeren alaşımlar olarak tanımlanmıştır. Temel alaşım elemanı olarak kobalt, demir, molibden, tungsten ve tantal içerebilirler. Katı eriyik ve ikinci aşama intermetalik çökeltme ile kuvvetlendirilmişlerdir. Alüminyum, titanyum ve niyobyum intermetalik oluşum elementleridir. Nikel esaslı süper alaşımlar %30 ila %75 Ni ve %30'a kadar Cr içerirler. Birçok Inconel, Nimonics ve Hastelloy gibi alaşımlarda demir içeriği, küçük miktarlardan yaklaşık %35'e kadar değişen oranlarda bulunur. Birçok nikel esaslı alaşım, dayanım veya korozyon direncini arttırmak için küçük miktarlarda alüminyum, titanyum, niyobyum, molibden ve tungsten içerir. Nikel ve krom kombinasyonu, bu alaşımlara önemli derecede oksidasyon dayanımı verir. Nikel esaslı süper alaşımlar, özellikle 650°C'yi geçen sıcaklıklarda, mekanik dayanım olarak paslanmaz çeliği geçerler. Nikel esaslı süper alaşımlar; oksidasyon ve korozyona, yüksek dayanım ve direnç gerektiren uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılırlar [3].

Inconel 600, Inconel 601, ve RA 333 gibi katı solüsyon alaşımları, fırın parçalarında ve diğer sıcaklıkla ilgili uygulamalarda kullanılırlar. Bu alaşımlar aynı zamanda, hidrokarbon düzenleyicisi gibi yüksek sıcaklık gerektiren kimyasal işleme donanımlarında kullanılmaktadır. Enerji üretimi nikel esaslı süper alaşımların yaygın olarak kullanıldığı diğer bir alandır. Ayrıca nükleer santrallerde, buhar jeneratörü tesisatı ve reaktör yapısal parçalarında kullanılırlar. Bu alaşımlar fosil yakıtlı tesislerde, süper ısıtıcı tesisatında, atık sistemlerinde, gaz depolama ünitelerinde, sıcaklığa veya korozyona dayanım gerektiren parçalarda kullanılmaktadır [8].

Endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan bu alaşımlar [15];

- Yüksek ısı gerilim,
- Yüksek sertlik,



- Yüksek kesme kuvvetine gerek duyan işleme gerilmesi ve yüksek işleme sertliği,
- Yüksek ısılara sebebiyet veren düşük termal iletkenlik,
- Yüksek oranda aşındırıcı karbür partiküllerinin varlığı,
- Takım üzerine güçlü kaynama eğilimi ve yığıntı talaş (BUE) oluşumu gibi özelliklere sahiptir.

Yukarıda sayılan bütün bu özellikler, işleme esnasında kesici takımların üzerinde yüksek aşınma oranı ve yüksek kesme sıcaklığına sebebiyet vererek, süper alaşımların aşırı derecede işlenmesini zorlaştırmaktadırlar.

#### Katı solüsyonlu nikel alaşımları

Bu alaşımlar, genellikle, (870-980)°C arasındaki nispeten düşük sıcaklıklarda en yüksek genleşme ve yorulma mukavemetini elde etmek için kullanılır. 1120-1200 °C arasındaki yüksek sıcaklıklarda, 600°C'de olduğundan daha yüksek genleşme mukavemeti ve sürünme-kopma özellikleri ortaya çıkar.

Başta Hastelloy X, Inconel 601, Inconel 617 ve Inconel 626 olmak üzere bazı katı solüsyonlu nikel alaşımlar uzay çalışmalarında kullanılır. Hastelloy X, Inconel 601 jet motorlarında ve gaz türbini parçalarında kullanılırken yaygın olarak türbin motorlarında kullanılır. 980°C'nin üstünde, Inconel 617'nin yüksek gerilme-kopma mukavemeti uçak gaz türbinlerinin çeşitli parçaları için onu kullanışlı bir malzeme yapar. Inconel 625, ısı kalkanlarında, uçak sistemlerinde, egzoz sistemlerinde, itiş gücü yönleticilerde, yakıt ve hidrolik tesisatında ve türbin kaplamalarında kullanılır [8].

#### Çökeltme takviyeli nikel alaşımlar

Bu alaşımlar uygun sıcak işleme süreci boyunca ikinci safhanın çökertilmesine yardımcı olmak için alüminyum, niyobyum veya titanyum içerirler.  $\gamma^1$  veya  $\gamma^{11}$  olan çökeltilmiş safha, alaşımın dayanımını ve sertliğini artırır. Örneğin Inconel 600'ün çökeltilmiş versiyonu olan Inconel X-750 alaşımı, 540°C'de Inconel 600'ün sahip

olduğu dayanımın üç katına sahiptir. Çökeltme takviyeli alaşım olan Nimonic 80A, katı solüsyonlu benzeri olan Nimonic 75'e nazaran 3 kat daha yüksek dayanıma sahiptir. Çökeltme takviyeli alaşımlar için sıcaklık işlemleri, genellikle 600-815 °C ile daha fazla çökeltme işlemi için ise, bunu takiben 970-1175 °C'de bir solüsyon işlemi gerekir. Bu alaşımların çoğuna,  $\gamma^1$  intermetalik Ni<sub>3</sub> (Al,Ti) fazı oluşturarak çökeltme kuvvetlendirilmesini arttırmak için alüminyum ve titanyum kullanılır. Inconel 718 gibi niobyum takviyeli alaşımlar da çökeltme sertleşmesine geç tepki gösterirler. Böyle alaşımlar önemli derecede kaynak edilebilirlik yeteneğine sahiptirler. Çünkü kaynak sıcaklığı, sertleşmeyi azaltmaz ve kaynak sonrası kırılmaya neden olmaz. Uzay çalışmaları, çökeltme takviyeli süper alaşımlar için en yaygın kullanım alanlarının başında gelir. Bu alaşımlar, roket motorlarında ve uçak gaz türbin parçalarında kullanılırlar [2]. Diğer uygulamaları, nükleer reaktörlerde civata ve yayları kapsar. Çökeltme takviyeli alaşım uygulamaları dövülmüş bileşenleri içerir. Sonuç olarak bu alaşımların dövülmüş ve sıcak işleme durumlarındaki mekanik özellikleri önemlidir. Yüksek sıcaklıklarda dökümlerin dövmelemeden daha güçlü olmasından dolayı döküm süper alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda çalışmayı gerektiren uygulamalar için kullanılmaktadır. Bu nedenden ötürü, INCO 713, INCO 100, B-1900, MAR-M 147 ve MAR-M 200 gibi döküm nikel alaşımlar türbin ağızlannda kullanılmaktadır. B-1900, MAR-M 247 ve MAR-M 200 gibi yüksek dayanımlı döküm alaşımların ortalama çalışma sıcaklığını geliştirmek için küçük miktarda hafniyum eklenmiştir [13].

Nikel esaslı süper alaşımlar, hem katı eriyik hem de çökeltme sertleşmesi ile mukavemetlendirilmiştir. %18,5 Fe, %22 Cr, %9 Mo, %1,5 Co ve %0,6 W içeren daha düşük dayanımlı nikel esaslı katı eriyik süper alaşımlara bir örnek olan Hastelloy X, gaz türbinli motorlarda yanma ve tüketim uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Bu alaşımlar mükemmel işlenebilirlik ve kaynak edilebilme özellikleriyle birleşerek yüksek sıcaklıkta korozyon erozyonuna karşı dayanım gösterirler. Yüksek sıcaklığa dayanım gerektiren uygulamalarda, genellikle çökeltme takviyeli nikel esaslı alaşımlar seçilmektedir. İkinci bir çökeltme safhası ile güçlendirilmiş bu alaşımlar, en karmaşık ve gerçekten de bütün süper alaşımlar içerisinde en gözde olanıdır. Bu alaşımların fiziksel metalürjileri iyi bilinmekle

beraber, mikroyapının özelliklerine bağlı olarak bazen çözümü zor ve karmaşıktır. Bu alaşımlar yüzey merkezli kübik ( $f_{cc}$ ) austenitik katı eriyik matrisi veya ilk mukavemet kazandırma aşaması olarak çökeltilmiş nikel-alüminyum-titanyum bileşiği ile metal olarak görünürler. "Austenitik", bir  $f_{cc}$  kristalli yapının temel metali ile, ara metalleri veya metalin katı solüsyonuna verilen bir ifadedir. Örneğin, her metal kristali, altı küp yüzeyinin her birinin merkezinin yanında, her köşede bir atomu olan küp biçimindedir. Belirli bir alaşım bileşiğine ve ısı işlemine bağlı olarak çeşitli karbürler, ikinci çökelti safhalarında yer alırlar,  $\gamma^1$  takviyeli süper alaşımlar, gaz türbinli motorlarda, gerilme ve sıcaklığa ilişkin birçok uygulamalarda kullanılmaktadır [13].

Geliştirilen bu alaşım sisteminin, temel metalin ergime noktasına yakın sınırlarda bile önemli derecede bir dayanıma sahip olduğu ispatlanmıştır. Nikel alaşımlardaki bir diğer güçlendirme mekanizması ise, yapıda dağılmış oksit partiküllerin bulunmasıdır. Bu tip dağılımla kuvvetlendirilmiş alaşımlar yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım gösterirler [8].

### Nikel esaslı süper alaşımların yapısı

Bu tür süper alaşımlar, içerisinde önemli miktarda Fe ve Ni ihtiva eder. Östenitik matris %25-60 Fe içerir ve  $\gamma^{11}$   $Ni_3$  (Al,Ti) veya  $\gamma^1$   $Ni_3Nb$  çökeltileri bulundurur.  $\gamma^{11}$  bu alaşıma has bir çökeltidir ve yavaş büyüme kinetiği ile bazı problemleri önler. C, Mo, W, Ti, Al ve katı eriyik malzemenin güçlenmesine yardımcı olur. Oluşan karbürler Ni esaslı süper alaşımlarda oluşan karbürlere benzer. MC karbürleri hem büyük, düzensiz hem de küresel olarak oluşur.  $M_{23}C_6$  karbürler ise ısı işleminden sonra küresel veya blok halinde oluşurlar.

### **2.3.2. Demir esaslı süper alaşımlar**

Genellikle, demir bazlı, demir-nikel-krom-kobalt bileşikleri ve nikel bazlı katı eriyik takviyeli alaşımların yüksek sıcaklığa mukavemetleri, 650°C'nin üstünde nikel bazlı çökeltme takviyeli ve kobalt bazlı karbür safhası takviyeli alaşımlarinkinden daha

düşüktür. İlk demir bazlı süper alaşımlar, örneğin, %16 Cr, %25 Ni, % 6 Mo ve denge demiri içeren 16-25-6 alaşımı ve %40 Fe, %20 Ni, %20 Cr, %20 Co ve küçük miktarlarda tungsten ve molibden içeren Multimet gibi demir-nikel-krom-kobalt alaşımlar, esasen katı eriyik takviyelidir. Elbetteki, katı bir eriyik, iki veya daha fazla metal veya arametaller tamamen ve homojen olarak katı olarak birbiri içerisinde eridiğinde ortaya çıkar. Eriyikler, her bir parçanın kendi özelliklerini taşıdığı bir kuru un ve şeker karışımı gibi mekanik karışımlardan farklılaşır. Mukavemetlenme, bir metalin diğer bir metal içerisinde çözülerek yeni bir alaşım oluşturmasıyla meydana gelir [8].

Nikel, krom ve küçük miktarlarda alüminyum ve titanyum içeren demir bazlı alaşımların bir nikel-alüminyum-titanyum kuvvetlendirme safhasının çökeltilmesiyle yüksek sıcaklığa karşı mukavemetleri artmıştır. Yapıda ikinci bir safhanın varlığı katı solüsyonun kuvvetlenmesinden daha etkindir. İkinci safhanın oluşumu önemlidir. İnce ve daha yaygınlaşmış, daha etkin mukavemet aslında, yüksek sıcaklığa maruz kalma, mukavemetin azalmasına neden olan daha az yayılmış büyük partiküllere neden olan ikinci safhanın birleşmesini sağlar. Temel olarak, oksidasyon mukavemeti krom kullanılarak sağlanır. Nikel ve manganez oksidasyon mukavemetini artırır. Küçük miktarlarda bor katkıları yüksek sıcaklık etkilerini büyük ölçüde artırır. 540°C'nin üstündeki uygulama sıcaklıkları için en büyük öneme sahip demir bazlı alaşımlar  $f_{cc}$  matrisine sahiptir. Çünkü, kapalı bir kafes zamana bağlı deformasyon süreçlerine daha dayanıklıdır.

İntermetalik bileşik çökeltmesi ile kuvvetlendirilmiş demir bazlı süper alaşımlar gaz türbin motorlarında kullanım alanı bulmuştur. Örneğin, bazı gaz türbin motorların türbin disk ve mafsalları için A-286 kullanır. A-286 türbin yuvaları için de kullanılmıştır. Demir bazlı kategorisine girmeyen birçok süper alaşım önemli miktarlarda demir bulundurulur. Çünkü, bileşikleri demir, nikel, krom ve muhtemelen kobalt ile daha düşük miktarlarda molibden, tungsten veya duruma göre niyobyum bileşiklerinin karmaşık bir kombinasyonudur. Bu alaşımlar, katı solüsyon ve/veya intermetalik çökeltme ile mukavemetlendirilmiştir. Bazı örneklerde, demir-nikel oranları alaşımların nikel bazlı olarak adlandırılmasını gerektirmektedir. Bunun

örnekleri, %16 Fe ve %49 Ni içeren katı eriyik takviyeli Hastelloy X ve %28.5 Fe ve %52 Ni içeren  $\gamma^1$  takviyeli INCO 718 dir. Bu iki örnekte, alaşımlar bir alaşım katkısı olarak demir içeren nikel bazlı süper alaşımlar olarak sınıflandırılmışlardır.

Bu tip diğer alaşımlar tam olarak tanımlanmamıştır. Örneğin,  $\gamma^1$  takviyeli INCO 901 süper alaşımı %42 Ni ve %36 Fe içerir. Bu alaşım nikel bazlı olarak değerlendirilebilir veya demir-nikel-krom kategorisine sokulabilir. Bir katı eriyik takviyeli alaşıma örnek olarak %21 Cr, %20 Ni, %20 Co, %32.5 Fe, %3 Mo, %2.5 W ve %1 Nb içeren Multimet verilebilir. Bu sınıfın diğer bir karmaşık alaşımı ise Incoloy 903'tür. Bu alaşım yüksek mukavemetinin yanında düşük sabit termal genişleme katsayısı için kullanılmaktadır. Bu özellik, değişik sıcaklıklarda yakın çalışma aralığı gerektiren uygulamalarda yararlıdır.

### 2.3.3. Kobalt esaslı süper alaşımlar

Kobalt bazlı süper alaşımlar temel bileşken olarak kobalt ve önemli miktarlarda krom, tungsten ve daha az miktarlarda molibden, niyobyum, tantalyum, titanyum ve duruma göre demir içeren alaşımlar olarak tanımlanmışlardır. Katı solüsyon ve karbür safhaları ile mukavemetlendirilmişlerdir.

Kobalt katı eriyik alaşımlar, kullanım alanına göre üç alt gruba ayrılırlar:

- a) Haynes 25, Haynes 188, UMC0-50 ve S-816 dahil olmak üzere 650 ila 1150°C arasında kullanılan alaşımlar,
- b) 650°C civarında kullanılan MP-35N ve MP-259 bağlayıcı alaşımları,
- c) Aşınma dirençli Stellite 6B.

Ancak MP-35N ve MP-159 alaşımlar servis uygulamalarından önce tavsiye edilen termomekanik işleme süresince, kapalı hekzagonal yapılar geliştirirler. Kobalt bazlı süper alaşımların herbiri, tam bir katı eriyik alaşımı değildir. Çünkü, hepsi ikinci karbür safhaları veya intermetalik bileşikler içerirler [8]. Haynes 25, yaygın olarak gaz türbin motorlarının sıcaklığa maruz kalan kısımlarında, nükleer reaktör araçlarında ve soğuk çalışma şartlarında kullanılan iyi bilinen bir işlenmiş kobalt

bazlı alaşımdır. Haynes 188 özellikle gaz türbinlerindeki yaprak tabaka halindeki parçalar için tasarlanmıştır. Lantan, silikon, alüminyum ve manganez içeriklerini kontrol eden basit oluşum 1100°C'ye kadar olan sıcaklıklarda oksidasyon mukavemeti olarak mükemmel kalite sunar. Yaklaşık olarak %21 Fe içeren UMC0-50, Haynes 25 veya Haynes 188 kadar güçlü değildir. Avrupa'da fırın parçalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yüksek sıcaklığa ait son grup olan, katı solüsyon takviyeli kobalt alaşımlar Stellite 6B denilen tek bir element içerir. Bu alaşım yüksek sıcaklık sertliği ve oksidasyona nispeten iyi mukavemet gösterir. Sıcaklık sertliği, karmaşık karbür oluşumlarının sayesinde, yüksek krom içeriğinden türetilmiştir. Stellite 6B buhar türbinlerinde aşınma kalkanı olarak, gaz türbinlerinde aşınma pedleri olarak ve yüksek sıcaklık ve yüksek hızlarda partikül taşıyan tüp sistemlerinde bağlantı parçası şeklinde yaygın olarak kullanılmıştır.

X-40, WI-52, MAR-M 302 ve MAR-M 509 gibi karbür safha takviyeli süper alaşımlar öncelikle statik pervane uygulamaları olmak üzere baskın olarak türbin motor hava folyolarında kullanılmıştır. Bu alaşımlar yeterli derecede yüksek sıcaklık mukavemetine, oksidasyon mukavemetine ve kaynakla tamir edilebilme yeteneğine sahiptir [8].

#### **2.3.4. Döküm ve dövme alaşımlar**

Dökümler, esasen yüksek sıcaklıklarda dövmelemlerden daha dayanıklıdır. İnce dövme taneciklerine kıyasla dökümlerin kaba tanecikleri yüksek sıcaklıklarda daha dayanıklıdır. Döküm içerikleri, yüksek sıcaklıklar için oldukça etkilidir. Örneğin yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım, alüminyum ve titanyum artırılarak nikel esaslı  $\gamma^1$  takviyeli süper alaşımlarda gerçekleştirilebilir. Böylece  $\gamma^1$  hacim yüzdesi artar ve krom içeriği düşer [3].

Krom miktarındaki azalma, sıcak korozyona ve dayanımda azalmaya neden olur, böylelikle %8-12 Cr içeren bu sınıf süper alaşımlar, sıcak korozyon dayanımındaki

kaybı karşılamak için çözülmüş alüminyum gibi kaplamaların kullanılmasını gerektirebilir. Küçük miktarlardaki hafniyum ilavesi, nikel süper alaşım dökümlerinin ortalama sıcaklıklarının önemli ölçüde ilerlemesine neden olmuştur. Yüksek sıcaklığa dayanım üstünlüğünden ötürü, birçok uçak gaz türbin motorunda, yüksek sıcaklık uygulamaları için  $\gamma^1$  takviyeli nikel esaslı süper alaşım dökümleri kullanılır. Süper alaşımların karmaşık bileşik kombinasyonları olduğu ve çeşitli elementlerin önemli etkilere sahip olduğu açıktır [8]. Süper alaşımlardaki alaşım elementleri (a) sadece matrisi etkileyen katı-eriyik kuvvetlendiriciler; (b) tanecikler içerisinde veya tanecik sınırları içinde karbürler veya ara metalik bileşikler oluşturan elementler; (c) nikel esaslı alaşımlarda bir  $\gamma^1$  safhası oluşturan elementler ve (d) ortam sıcaklığını geliştirme veya  $\gamma^1$  katı çözünürlük sıcaklığının düşürülmesi veya yükseltilmesi, oksidasyon dayanımının geliştirilmesi gibi muhtelif etkilere sahip elementler olarak sınıflandırılabilir.

Döküm bir ürün ile, işlem görmüş ürün arasındaki en büyük yapısal fark, işlem gören ürünlerin, sıcak işlemeden kaynaklanan daha ince taneciklere sahip olmasıdır. İşlenmiş ürünler oda sıcaklığından 540°C'lik sıcaklığa kadar, dökümlerden daha iyi dayanıma sahiptirler. İşlenmiş ürünler genellikle ilave olarak dökümlerden daha iyi kırılma ve yorgunluk özelliklerine sahiptir. Çünkü, kusurlar ve büyük tanecikler kırılmıştır ve gözeneklilik sıcak işleme süreçleri boyunca iyileştirilmiştir [8].

#### **2.4. Süper Alaşımların Yüksek Sıcaklıklardaki Davranışları**

Metalik elementlerin yüksek sıcaklık dayanım davranışları, ergime özelliklerini izler. Örneğin, ergime noktası yükseldikçe, metalin yüksek sıcaklık dayanımı artar. Bu yüzden elementlerin ergime noktaları önemli rol oynar. Titanyum başta olmak üzere bazı elementler farklı bir eğri çizer [8]. Ancak bu ilişkinin incelenmesi gerekir. Malzemedeki sürünme/gerilme-kopma ve metalürjik kararsızlık, süper alaşımların yüksek sıcaklıklardaki davranışlarını belirler.

### 2.4.1. Sürünme/gerilme-kopma

Yüksek sıcaklıklarda çalışmada, statik veya dinamik yüklenmeye maruz kalan bir metal bileşiğinin ömrü sınırlıdır. Aksine, düşük sıcaklıklarda ve aşındırıcı bir ortamın olmaması durumunda bir parçanın ömrü çalışma yüklerinin metalin mukavemetini aşmamasını sağlayan statik şartlar altında sınırsızdır. Yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkan gerilme, parçada sürekli bir gerginlik üretir ve sürünmeye neden olur. Tanımlamak gerekirse, sürünme zamana bağlı gerilmedir veya yüksek sıcaklık altında oluşan deformasyondur. Bir süre sonra sürünme, "gerilme/kopma" denilen kırılma ile yok olur. Sonuç olarak, yüksek sıcaklığa bağlı hatalar, geniş bir sıcaklık alanında ortaya çıkar [8].

### 2.4.2. Metalurjik kararsızlık

Yüksek sıcaklıkta çalışmanın diğer bir özelliği metalurjik kararsızlık içermesidir. Gerilme, süre, sıcaklık ve çevre, kullanım süresince metalurjik yapıyı değiştirebilir. Bazı durumlarda mukavemetin arttırılabileceğine dikkat edilmelidir. Bu yapısal değişiklikler veya metalurjik kararsızlıklar gerilme/kopma özelliklerindeki etkileriyle açıklanır. Gerilme/kopma eğrisindeki aşağıya doğru keskin değişim kısa vadede ve tahmin edilenden daha düşük sıcaklıklarda daha düşük gerilmelerde hataların ortaya çıkacağını gösterir.  $\gamma^1$  nikel bazlı süper alaşımlarla tipik kararsızlık problemleri intermetalik çökeltme safhasını içerir.

Diğer kararsızlık özelliği karbür reaksiyonlarını içerir. Sıcaklık ve gerilme hem tanecikler içindeki karbürleri, hem de tanecik sınırlarındaki karbürleri etkiler. Tanecik sınırlarındaki karbürlere olan etkiler sıklıkla sürünme ve kopma davranışının değişmesinde çok daha önemli bir faktördür. Tanecik sınırı morfolojisi aslında yüksek sıcaklık özelliklerine bağlı olarak çok önemlidir. Kuvvetlendirici olarak karbürlerin tanecik sınırlarında var olması optimum sürünme ve kopma ömrü için gereklidir. Fakat biçim ve kırılmada diğer karbür formlarına olan değişimler kademelenmeye neden olabilir. Optimum mukavemet için tanecik sınırlarında en iyi



karbür oluşumu tipi, ayrı blok halindeki partiküllerdir. Tanecik sınırlarındaki sürekli karbür tabakaları gerilme-kopma ömrünü azaltır [8].

Süper alaşımlardaki karbür oluşumları MC,  $M_{23}C_6$ ,  $M_6C$  ve  $Cr_7C_3$  olarak sınıflandırılabilir. Bu karbürlerdeki M içeriği sıklıkla titanyumdur, fakat molibden, niyobyum, vanadyum, zirkonyum ve tantalyum gibi elementler dahil edilmiş olabilir.  $Cr_7C_3$  içindeki Cr, elbetteki kromdur. Bu çeşitli karbürleri uygun gerilme/kopma özellikleri elde etmek için, uygun işleme ve sıcaklıkla tanecik sınırlarında elde edilmesi gereklidir. Sürekli tabaka ve ince hücreli karbürlerden optimum nitelikler için kaçınılmalıdır. Küçük bor ve zirkonyum katkısı, nikel süper alaşımlarda tanecik sınırlarını kuvvetlendirerek sürünme/kopma özelliklerini arttırmak için esastır. Nikel bazlı süper alaşımlarda serbest elementlerin varlığının anlaşılması süper alaşımların özelliklerinde, bileşiğin özelliklerini tam olarak yansıtması için gereklidir. Bir kararsızlık durumunda bazı elementlerin varlığı, özelliklerde önemli azalmalara neden olabilir.

## **2.5. Süper Alaşımların Toz Metalurjisinde Kullanımı**

Kimyasal ve metalurjik olarak kritik uçak motoru parçaları için tek tip yapılar elde etmek için metal tozlarının kullanımı, yüksek saflık, ön-alaşım süper alaşım tozları ile ve izotermal dövme ve sıcak izostatik presleme ile artmaktadır. Toz temizliğine ilişkin olarak diğer önemli gelişme ise toz üretiminin, toplanmasının ve yoğunlaşmasının etkisiz bir ortamda gerçekleştiği etkisiz işlemdir. Yüksek mukavemetli nikel bazlı süper alaşımlar başarılı bir külçe halinde kırılmayı sağlayan şiddetli makro ayrılmalara eğilimlidir. Kavramsal olarak, toz metalürjisi bu problemin üstesinden gelmek için bir yöntem sunar. Çünkü malzeme homojen bir sıvı olarak küçük damlacıklara bölünmüştür. Maksimum ayrılma mesafesi katılaştırılmış damlacıkların büyüklüğü ile sınırlıdır.

Hızlı katılaştırma teknolojileri kullanılarak süper alaşım tozlarının üretimi temel bir araştırmaya konusu olmuştur [6]. Hızlı katılaştırma teknolojilerindeki gerçekleşen yüksek soğutma oranına göre çok dar ve ince dağılımlı her küresel toz partikülündeki

ince mikroyapı ve homojenliğin yüksek derecesi ile yeni alaşımlar ve mikroyapılar üretmeyi olası kılar.

## 2.6. Süper Alaşımların Kullanılma Yerlerine Göre Seçimi

Süper alaşımların kullanımı uçak gaz türbin motorlarından diğer birçok endüstriye yayılmıştır. Fakat uçak motorları bu tip uygulamalar için süper alaşımların kullanımında en önemli pazar olmaya devam edecektir. Yüksek motor çalışma sıcaklığından dolayı, 1990'lı yıllarda kullanılan süper alaşımlarının miktarı toplam motor ağırlığının %60'larına ulaşmış ve devamlı artış göstermektedir.

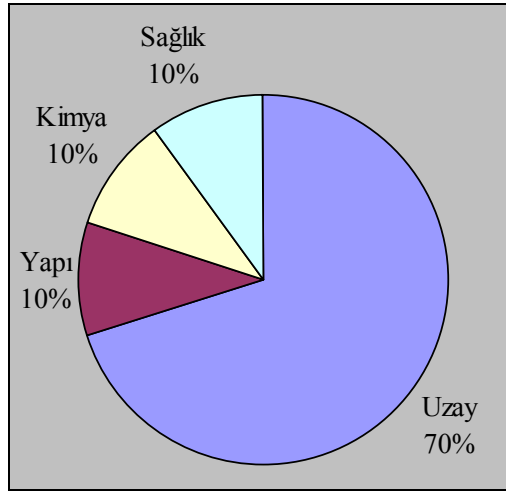
Nikel bazlı  $\gamma^1$  takviyeli süper alaşımlar özellikle uçak motorlarında kullanılır. Ancak,  $\gamma^1$  intermetalik çökeltme ile kuvvetlendirilmiş INCO 718 alaşımı uçak motorlarında temel çalışma malzemesi olmaya devam edecektir. INCO 718 haricindeki demir içeren nikel bazlı çökeltme takviyeli süper alaşımlar, demirsiz alaşımlar kadar kullanılmayacaktır. Çökeltme takviyeli nikel bazlı ve karmaşık demir-nikel-krom alaşımlarının kullanımı azalacaktır. Hastelloy X gibi krom, demir ve molibden içeren katı solüsyon takviyeli nikel süper alaşımlar yaygın olarak kullanılır.

Kobalt bazlı süper alaşımların kullanımı azdır. MAR-M 509 gibi kobalt alaşımlar uçak türbini, motor hava folyolarında, özellikle statik pervanelerde kullanılır. Kobalt alaşımlar aynı zamanda medikal uygulamalarda da kullanılır.

Yeni süper alaşım bileşikleri çok fazla değildir. Fakat çok çeşitli bileşikler bulunmaktadır. Oksit dağılım takviyesini içeren INCO'nun mekanik alaşımlı ürünleri, General Electric'in askeri motor türbin pervaneleri için MA 754 alaşımını kullanmasıyla biraz önem kazanmıştır. Pratt&Whitney, karbon, bor, zirkonyum ve hafniyum içermeyen ve %12 tantal içeren yeni bir tek-kristalli alaşım geliştirmiştir. Süper alaşımların yüksek sıcaklık uygulamaları; uçak parçaları, kimyasal fabrika donanımı ve petrokimyasal donanımları gibi çok çeşitli yerlerde görülmektedir [8].

## 2.7. Süper Alaşımların Mevcut Uygulamaları

Şekil 2.2’de süper alaşımların genel olarak tüketim alanlarının dağılımı gösterilmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi en yaygın uygulama alanı uzay endüstrisidir.



Şekil 2.2. Süper alaşımların kullanım alanları [16]

Süper alaşımlar Nikel-demir veya kobalt gibi yüzey aşınmalarına, diğer bileşimlerle karşılaştırılmayacak kadar yüksek mekanik güç ve direnç gösteren ısıya dayanıklı alaşımlardır.

Bu alaşımların genel kullanım alanları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Gaz türbinleri, örneğin diskler, yanma odaları, civatalar, dökümler, şaft egzoz sistemleri, kesici aletler, pervane kanatları
- Buharlı güç türbinleri, örneğin, toplu gaz ısıtıcıları
- Pistonlu motorlar, örneğin taşıt araçlarında, egzoz gazı ile döndürülen bir türbinle çalıştırılan ve hava yakıt karışımını motora daha yüksek basınçla göndererek onun daha da güçlü çalışmasını sağlayan aygıt, egzoz, valfları
- Metal işleme malzemesi. sıcak iş malzemesi ve kalıplar
- Tıbbi uygulamalar, örneğin diş protez araçları
- Uzay araçları

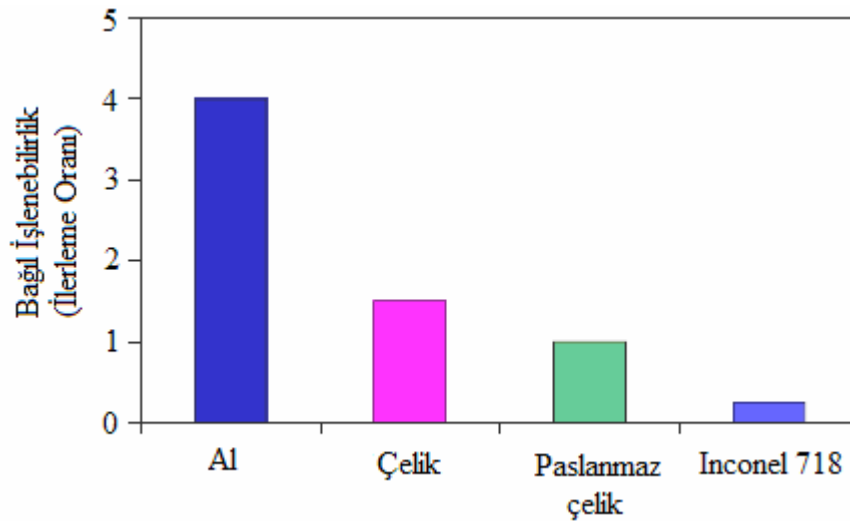
- g) Isı uygulama malzemesi
- h) Nükleer güç sistemleri
- i) Kimyasal ve petro kimyasal endüstriler
- j) Kirlilik kontrol malzemeleri
- k) Kömür gazlaştırma ve sıvılaştırma sistemleri

## 2.8. Süper Alaşım Inconel 718

Inconel 718 sıcak mukavemeti yüksek, korozyon ve oksidasyona dirençli, iyi sürünme ve yorulma özelliği veren bir Ni süper alaşımıdır. En çok kullanılan süper alaşımlardan biridir. Inconel 718, mukavemetini çökelme sertleşmesinden alan bir alaşımdır. Uçak motor parçaları için uygun bir malzeme oldukları yaklaşık 30 yıl önce anlaşılmıştır [17]. Inconel 718'in birincil yaşlanma sertleşmesi fazı  $(Ni_3Nb) \gamma^{11}$  ve ikincil sertleşme fazı  $Ni_3(Al, Ti) \gamma^1$ 'dir.  $\gamma^{11}$ 'nin oluşumu  $\gamma^1$ 'den çok daha yavaştır. Bu yüzden, sertleşmeden önce daha az gerilme oluşur ve böylece deformasyon yaşlanması problemi giderilmiş olur. Son yıllarda özellikle vakumlama işlemleri ve temiz metal teknolojilerindeki gelişmelerden sonra, Inconel 718'in döküm alaşımı olarak gaz türbinlerinde kullanımında önemli bir artış kaydedilmiştir.

Inconel 718 çok mukavemetli, dövmeğe karşı dirençli bir malzeme olup 900 ile 1120 °C arasında dövülmektedir. Son operasyonlarda ağır ağır sıcaklığın düşürülmesi ve son işlemden 955°C altına düşülmesi gereklidir [12]. Özellikle sürünme ve sürünme kırılması dayanımının gerektirdiği, 650°C civarındaki sıcaklıklarda çalışan makine parçalarının imalatında tercih edilmektedir. Alaşım iyi oksidasyon direncine sahiptir ve gerilmenin düşük olduğu durumlarda 1000°C'ye kadar kullanılabilir.

Şekil 2.3'de farklı malzemelerin işlenebilirliklerinin birbirleri ile mukayesesi verilmiş olup, bunlar arasında Inconel 718 alaşımının işlenebilirliğinin en zor olduğu görülmektedir.



Şekil 2.3. Çeşitli alaşımların bağıl işlenebilirliğinin mukayesesi [16]

Düşük ve orta sıcaklıktaki (-250-700<sup>0</sup>C), mükemmel mekanik özelliklerinden dolayı son yıllarda uzay, petrol ve nükleer enerji endüstrisinde geniş bir uygulama alanı bulmaktadır [18]. Inconel 718'in başlıca kullanım yerleri şöyle sıralanabilir:

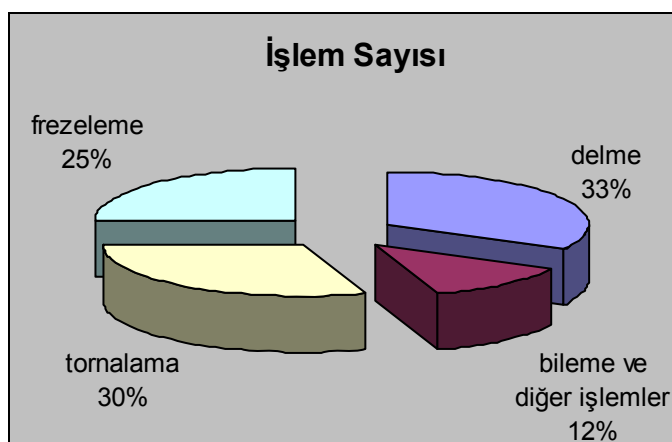
- Gaz türbinleri,
- Roket motorları,
- Uzay araçları,
- Pompalar,
- Petrol endüstrisi,
- Nükleer enerji endüstrisi.

### 3. DELİK DELME

#### 3.1. Delik Delme İşlemlerinin Yeri

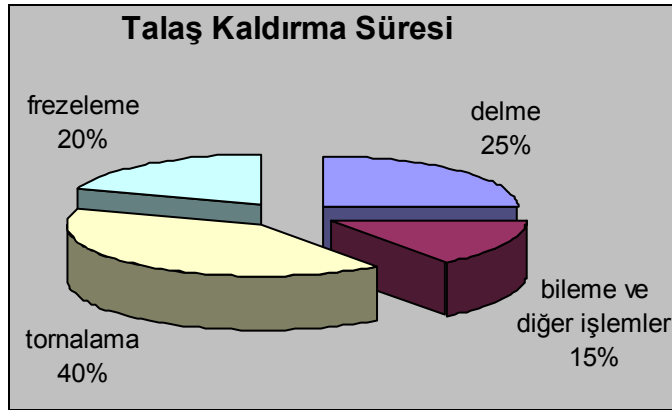
Delme işlemi en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biridir ve talaş kaldırma işlemlerinin %33'ünü içermektedir. Delme işlemi çoğunlukla talaş kaldırma işlemlerinin sonuncusudur. Tornalama ve frezeleme işlemleri ile delme işlemleri karşılaştırıldığında, işlemlerin kinematik ve dinamik yapısının benzer olup talaş akışı ve kesme sıcaklığı dağılımının aynı şekilde olduğu görülür. Diğer taraftan delme işleminde olumsuz durumlar da oluşmaktadır. Talaş oluşumu kapalı alanda oluşur ve görülemez. Talaş akışını sınırlandıran sadece matkapta oluşan talaş kalınlığıdır. Takım ve iş parçası arasındaki sürtünme önemlidir; yüzeyden akan sıcaklığın yetersiz olması ve dönme ekseninde kesici ağız boyunca kesme hızı değerinin sıfır olması ana problemdir. Bu yüzden matkap ve işlem spesifik olarak tezgaha ve iş parçasına adapte edilmeli, delik kalitesi sağlanmalı ve gerekli yöntem doğruluğu oluşturulmalıdır. Bu nedenlerden dolayı birçok takım geometrisi ve takım malzemesi geliştirilmiştir [18].

Bütün talaş kaldırma metodları kesici ağızla tanımlanır. Bu tanımlanan metodlar içerisinde delme işlemi, tüm işlem sayısının %33'üne sahiptir (Şekil 3.1).



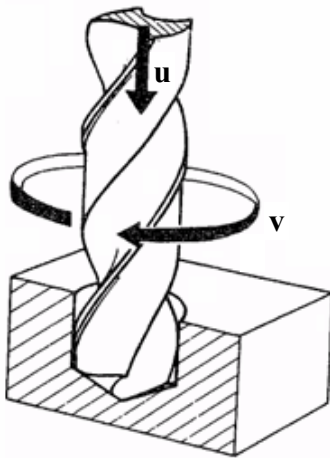
Şekil 3.1. İşlem sayısına göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması [18]

Yine çok kullanılan kesici takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde harcanan zamanın %25'i delme işlemi olarak tezgahta geçirilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Talaş kaldırma süresine göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması [18]

Delik delme, iş parçasından talaş kaldıran bir takımla silindirik delik açma metotlarının tamamına verilen bir addır. Delme terimi kısa veya derin delik delme işlemleri için olduğu kadar, bunların ardından yapılan broşlama, raybalama, havşa yuvası açma ve ovalama (veya parlatma) gibi çeşitli son işlemler için de kullanılır. Bütün bu işlemlerin ortak noktası, ana dönme hareketinin doğrusal bir ilerleme hareketiyle beraber yapılmasıdır [19].



Şekil 3.3. Takımın dönmesi (v), ilerlemesi (u) [20]

Delik delme işlemi matkap ve torna tezgahında da yapılabilir. Bu işlem matkap tezgahında yapılırsa, iş parçası sabit olup, kesici takım olarak kullanılan matkap ile kesme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemde, matkap hem döner hem de eksenini doğrultusunda ilerlerken kesme yapar [21].

Önceleri delikler klasik, dikey tezgahlarda delinmiş ve delme işlemleri üretimde dar boğazlar oluşmasına neden olmuştur. Bugün bu tezgahların bir çoğu yerlerini daha modern FMS (Esnek üretim sistemleri) sistemlerine, işleme merkezlerine ve CNC tornalara bırakmışlardır.

Kısa delik delme işlemi için geliştirilen kesici takımlar sayesinde delme işlemi öncesindeki ve sonrasındaki işlemlere olan gereksinim önemli ölçüde azalmıştır. Modern takımlar, delme işlemini herhangi bir merkezleme deliğine veya kılavuz deliğe ihtiyaç olmaksızın tek pasoda gerçekleştirirler. Delinmiş olan delik gerek boyut, gerekse yüzey kalitesi açısından ek bir işlem gerektirmez.

### **3.2. Delik Delme İşlemi**

İlke olarak matkapla talaş kaldırma olayı ile tek ağızlı takımla (tornalama, planyalama) talaş kaldırma olayı arasında bir fark yoktur. Ancak delik işlemede, talaşın tahliyesi ve kesme sıvısının verilmesi çok daha zor olduğu, talaş ile helis kanalların ve matkap ile işlenen yüzeyler arasında sürtünmenin çok daha büyük olduğu, talaş açısının ağız boyunca değişmesi ve bundan dolayı ağız boyunca farklı kesme şartlarının olduğu göz önünde tutulursa, matkapla talaş kaldırma, tek ağızlı takıma göre çok daha karışık ve ağır koşullarda meydana geldiği sonucuna varılır [20].

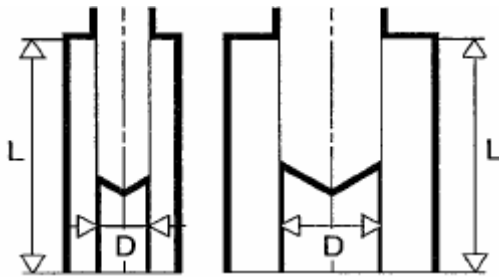
Matkaplar, delik delme ve genişletme için kullanılan takımlardır. Matkaplar dönel yapıya sahip bir veya birden fazla kesici ağızlı olan, talaş akışı için bir veya daha fazla helisel ya da düz kanala sahip talaş kaldırma takımlarıdır. Bu tip kesici takımlar birçok çeşitte, çeşitli formlarda, ölçülerde ve toleranslarda üretilmektedir.



Endüstriyel uygulamaların tamamına yakının oranda kullanılan matkaplar, helisel matkaplardır [18].

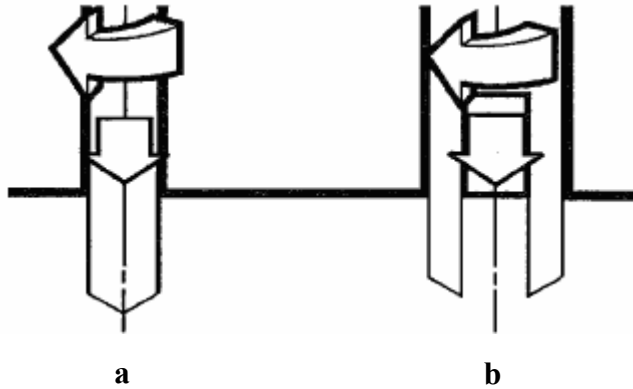
Delik derinleştikçe, işlemin kontrolü ve talaşın boşaltılması zorlaşır. Derin delik delme işleminde yüzey ve delik kalitesi daha büyük bir öneme sahip iken, kısa deliklerde daha ekonomik bir işlem için daha yüksek talaş debilerinde çalışma önem kazanmaktadır. Kısa delik delme işlemi ile derin delik delme işlemi arasındaki fark, sadece çap ve delik derinliği ilişkisiyle sınırlanmamıştır. Talaş boşaltma, kalite ve talaş debisi ile ilgili parametreler de derin delik delme ile kısa delik delme işlemlerini ayıran temel özelliklerdir.

Delik boyu, delik çapının 10 katından daha büyük ise bu delikler uzun delik olarak adlandırılır. Delik boyu çap oranı 4-10 arasında olan deliklere normal delik, delik boyu çap oranı 3 ve daha düşük olan delikler ise kısa delik olarak adlandırılır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Çap uzunluk ilişkisi [19]

En yaygın delik delme metodu, dolu bir malzemenin yekpare bir takım kullanılarak belirli bir çapta, tek operasyonda delinmesidir (Şekil 3.5.a). Hem içten hem de dıştan kesen bir takımın kullanıldığı çevreden kesme (Şekil 3.5.b) metodu bir önceki delik delme işlemindeki kadar güç gerektirmeyen ve prensipte büyük çaplı deliklerin delinmesi için kullanılan bir metottur. Bu metot, malzemenin tamamını talaş olarak kaldırmak yerine, merkezde silindirik şekilde bir çekirdek oluşturan ve yine tek operasyonda tamamlanan bir delme işlemidir [19].



Şekil 3.5. Delme işlemleri [19]

(a) tek operasyonda delme işlemi, (b) ön delik delme işleminden sonra yapılan delme işlemi

Bazı işlemlerde delinecek deliğin yüzey kalitesinin ve delik toleransının iyileştirilmesi istenirse, delme işlemini takiben bir delik büyütme işleminin uygulanması tavsiye edilir. Bu üçüncü delme metodu normal delik delme matkaplarıyla gerçekleştirilen ancak yeterli hassasiyet sağlanabilmesi için özen gerektiren bir metottur. Önceden delinmiş delikler, kullanılan takımın asimetrik takım olması durumunda takımın eğilmesine neden olurlar. Normal delik delme işleminde kullanılan matkapların bir çoğu kendi kendine merkezleme özelliğine sahiptirler. Önceden delinmiş bir delikte, takım merkezi ararken kesici kenarlarda düzensiz yüklemeler oluşur. Bu, takımın eğri bir yol izlemesi ve oval bir delik delmesi demektir.

### 3.3. Temel Tanımlar

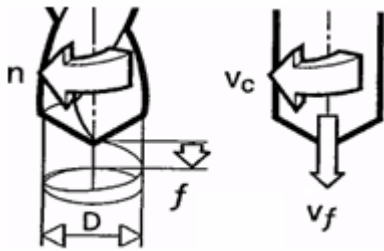
Delme işlemindeki çalışma koşulları için yapılacak temel tanımlar yekpare takım için de, değiştirilebilir uçlu takım için de aynıdır. Delme işleminde ana hareket takım veya iş parçası tarafından yapılan dönme hareketidir. Ana hareketi oluşturan ana mil hızı ( $n$ ), dakikada yapılan devir sayısı olarak tanımlanır. Delme işlemi için kesme hızı ( $V_c$ ), çevresel hızdan yararlanılarak belirlenir, bu hız dakikadaki devir sayısı bilindiği takdirde kolaylıkla hesaplanabilir. ( $D$ ) takım çapı olmak kaydıyla matkap bir dönüşte, çevresi  $\pi x D$  olan bir daire çizer (Şekil 3.4). Eğer çap mm cinsinden

verilmişse, kesme hızının m/min cinsinden ifade edilebilmesi için sonuç 1000 'e bölünür.

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

$$V_f = f \times n \text{ [mm/min]} \quad (3.2)$$

İlerleme hızı veya parçaya nüfuziyet hızı ( $V_f$  - mm/min) birim zamanda alınan yol olarak tanımlanır ve takımın iş parçasına göre veya alternatif olarak iş parçasının takıma göre ilerlemesidir. Bu aynı zamanda tezgahın veya tablanın ilerleme hızı olarak da bilinir. Devir başına ilerleme ( $f$  - mm/rev) ilerleme hızını hesaplamak için kullanılan bir büyüklük olup, takım veya iş parçasının bir devirdeki ilerlemesidir.



Şekil 3.6. Kesme hızı-ilerleme hızı [19]

Talaş genişliği veya radyal talaş derinliği ( $a_p$  - mm), takımın temasta olduğu iş parçası yüzeyidir ve tornalamada olduğu gibi yarıçap cinsinden ifade edilir.

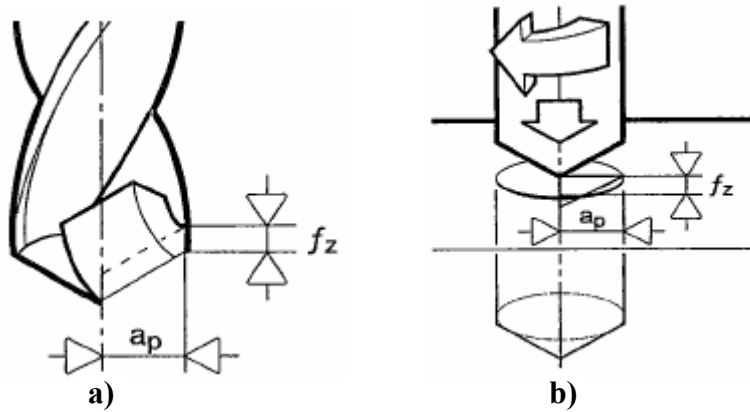
$$a_p = (D-d)/2 \text{ [mm]} \quad (3.3)$$

Takımda birden fazla kesici kenar olduğundan ( $z$  kesici kenar-sayısı) talaş kesit alanının ( $A$  - mm<sup>2</sup>) tanımında kenar başına ilerleme ( $f_z$  -mm/z) değeri kullanılır. Bu alan bir kenar tarafından kaldırılan malzemenin alanıdır ve radyal talaş derinliği ile kesici kenar başına ilerlemenin çarpımına eşittir (Şekil 3.7).

Bu tanımlardan bazıları kullanılarak talaş debisi ( $V$ -mm<sup>3</sup>/min) veya birim zamanda kaldırılan talaş hacmi hesaplanabilir. Burada talaş hacmi, kesme hızı ile talaş kesit

alanının çarpımıdır. Kesme hızı [m/min] cinsinden ifade edilirse, talaş debisinin [mm<sup>3</sup>/min] cinsinden elde edilebilmesi için sonuç 1000 ile çarpılır.

$$V = A \times V_c \times 1000 \text{ [mm}^3\text{/min]} \quad (3.4)$$



Şekil 3.7. Delme işlemlerinde temel tanımlar [19]  
a) talaş kesit alanı, b) kesici kenar başına ilerleme

İlerleme uzunluğunun (L+h-mm) ilerleme hızına bölünmesi sonucunda (T-dak) efektif işleme zamanı elde edilir. Delinmiş olan veya başka bir ifade ile takımın ilerlediği uzunluk, delik derinliği ile matkap ucu yüksekliğinin toplamına eşittir [19].

$$h = (D/2) \times \cot(\phi/2) \text{ [mm]} \quad (3.5)$$

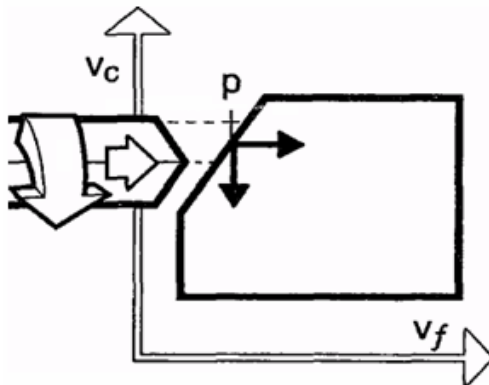
$$T = (L+h)/V_f \text{ [dak]} \quad (3.6)$$

### 3.4. Talaş Oluşumu

Normal delik delme işleminde kullanılan matkapların birçoğunda iki talaş kanalı ve iki kesici kenar vardır. Talaşlar, delik içerisinden helis kanalları yardımıyla boşaltılırlar. Bu, modern tezgahlarda ve matkaplarda kesme sıvısının takım içerisinde bulunan kanallar vasıtasıyla kesme bölgesine aktarılması sonucunda gerçekleştirilir. Talaş oluşumu iş parçası malzemesi, takım geometrisi, kesme hızı, ilerleme ve kesme sıvısı seçiminden etkilenir. Genellikle artan ilerleme ve/veya azalan kesme hızı değerleri kısa talaş oluşumuna neden olurlar. Talaşların matkabın

kesici kenarlarından problemsiz uzaklaştırılması, elde edilen talaşın kabul edilebilir bir uzunlukta olduğunu gösterir.

Talaş kırma aralığının etüdü sonrasında doğru kesme verilerinin saptanması mümkündür. Talaş kırma alanı, söz konusu malzeme üzerinde çeşitli kesme hızı - ilerleme değerlerinin denenmesi ve belirlenen değerlerden talaş kırma açısından tatmin edici sonuçlar veren değerlerin seçilmesiyle oluşturulur. Şekil 3.8'deki diyagramda, çevredeki kesme hızının ( $p$ ) talaş kırma açısından çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu örnekte problem, ilerleme değerinin artırılması ile çözülebilir. Tezgahın gücünün veya rijitliğinin sınırlı olması halinde kesme hızının düşürülmesi daha uygundur.

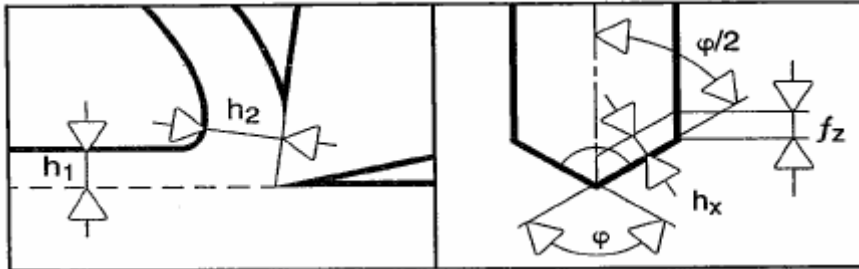


Şekil 3.8. Matkabın çevresinde aşırı kesme hızı [19]

Kesme hızı, matkabın çevresinden merkeze yaklaştıkça azalır. Bu nedenle kesme hızının azalması sonucunda ortaya çıkabilecek yığılma kenar oluşumu riskinin göze alınması gerekir. Matkabın merkezi yakınında oluşacak belirli bir miktar yığılma kenar çoğu işlem için kabul edilebilir bir durumdur. Ancak kesme hızının düşürülmesi yığılma kenarın çevreye daha yakın bir bölgede oluşmasına neden olacaktır, dolayısıyla sakıncalıdır.

Talaş kaldırma işlemi esnasında talaşın plastik deformasyona uğraması nedeniyle, deformasyona uğramış talaş kalınlığı ( $h_2$ ) teorik talaş kalınlığından ( $h_1$ ) farklıdır.

Delme işleminde teorik talaş kalınlığı artan kenar başına ilerleme ve uç açısı ( $\phi$ ) ile artar (Şekil 3.9).

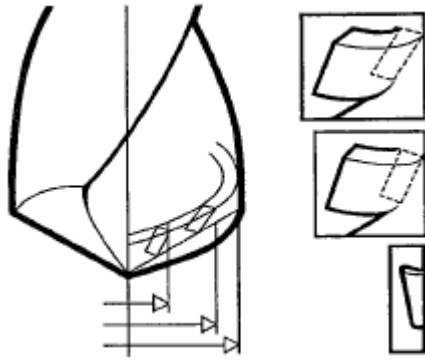


Şekil 3.9. Talaş oluşumuna etki eden faktörler [19]

Artan ilerleme değeri ile helis açısı artar ve boşluk açısı azalır. Azalma merkeze en yakın noktada en yüksek seviyeye ulaşır. Bu ise, takım ile delik yüzeyleri arasındaki aşınmanın önlenmesi için boşluk açısının çevreden merkeze doğru artırılmasını zorunlu kılar.

Talaş açısı, kesici kenar boyunca değişir ve matkabın çevresinden merkeze doğru azalır. Matkabın hızının da çevreden merkeze doğru azalması nedeniyle kesme hızının sıfır olduğu merkez noktasında matkabın ucu son derece verimsiz çalışacaktır. Matkap merkezdeki malzemeyi kesmek yerine bastırıp ezerken talaş açısının negatif olduğu ve kesme hızının sıfıra yaklaştığı noktada bir plastik deformasyon oluşur (Şekil 3.10). Bu basınç oldukça yüksek bir aksel kuvvet bileşeninin ortaya çıkmasına neden olur. Tezgahın gücü delinecek deliğin boyutlarına göre düşükse, ilerleme kuvvetinin büyük olmasından dolayı tezgah ana milinin esnemesi söz konusu olacak ve bunun sonucunda oval delikler elde edilecektir.

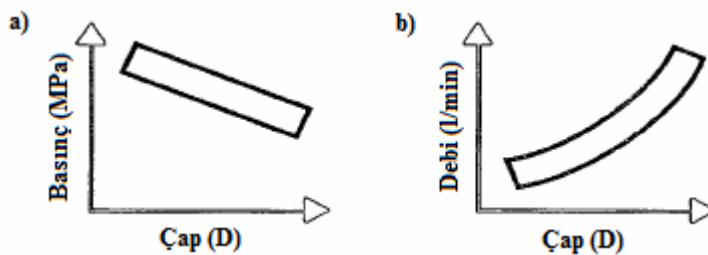
Radyal ağız nedeniyle ortaya çıkan elverişsiz çalışma koşullarının giderilmesi için takımlarda önemli değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Radyal ağız çok inceltilmiş veya tamamen ortadan kaldırılmış ve kesici kenara matkap merkezine doğru bir yarıçap verilmiştir.



Şekil 3.10. Kesici kenarın talaş kaldırması [19]

Klasik helisel matkaplarda çekirdek kısmının inceltilmesi işlemi, matkabın ucundaki helis kanalın taşlanması ile gerçekleştirilir. Bu sayede çapraz kesici kenarın uzunluğu azaltılır ve ana kesici kenar kırık bir hat oluşturur. Çekirdeğin inceltilmesini takiben kesici kenarlara doğrusal bir profil kazandırabilmek amacıyla bir son taşlama işlemi uygulanır. Son taşlama ana kesici kenarın tamamına veya bir kısmına uygulanır ve böylelikle işlem süresince sabit bir talaş açısının elde edilmesi sağlanır. Örneğin, kırılğan malzemelerin delinmesi işleminde, tüm kesici kenar boyunca küçük bir talaş açısına sahip bir matkabın kullanılması tavsiye edilir [19].

Modern sinterlenmiş karbür matkaplar ile yapılan delik delme işleminde yüksek talaş debileri elde edilir ve oluşan büyük miktarlardaki talaşlar matkabın içinden veya dışından kesme bölgesine gönderilen yüksek basınçlı kesme sıvısı yardımıyla delik dışına atılırlar. Gerekli basınç (Mpa) ve debi [l/min] öncelikle delik çapına bağlıdır, ancak işleme koşullarının da basınç ve debi üzerinde etkisi vardır (Şekil 3.11).

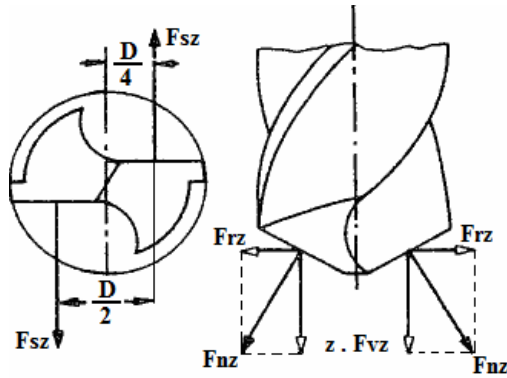


Şekil 3.11. Çapa bağlı basınç ve debi ilişkisi [19]  
a) basınç çap ilişkisi, b) debi çap ilişkisi

Kesme sıvısının matkap içinden kesme bölgesine gönderilmesi halinde döner matkaplar, santrifüj kuvvetinin etkisiyle oluşan basınç düşüşü nedeniyle, sabit matkaplara göre daha yüksek kesme sıvısı basıncına gereksinim gösterirler. Ancak kesme sıvısının matkap dışından kesme bölgesine gönderildiği sabit matkaplarda, sevk sisteminde oluşan belirli bir basınç düşüşünün de dikkate alınması zorunludur. Bu nedenle depoda bir miktar fazla sıvı bulundurulması ve basıncın en azından matkap için tavsiye edilen düzeyde olup olmadığının kontrol edilmesi son derece önemlidir.

### 3.5. Delme İşlemlerinde Kesme Kuvvetleri ve Güç

Delme sırasında bir ağıza karşılık gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin bileşenleri, yani kesme kuvveti ( $F_{sz}$ ), ilerleme kuvveti ( $F_{vz}$ ) ve radyal kuvveti ( $F_{rz}$ ) Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Ağızların konumu itibarıyla her ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedir. Dolayısıyla delme işleminde sadece  $F_s$  ve  $F_v$  kuvvetleri etki göstermektedir.



Şekil 3.12. Matkapla delmede kesme kuvvetleri [20]

Bir ağıza karşılık gelen kesme kuvveti ;

$$F_{sz} = A_{sz} k_s = \frac{ds_z}{2} k_s = \frac{ds}{4} k_s \quad (3.7)$$

ve toplam kesme kuvveti,



$$F_s = z F_{sz} = 2 F_{sz} = d s_z k_s = \frac{ds}{2} k_s \quad (3.8)$$

şeklinde ifade edilir. Burada özgül kesme kuvveti,

$$k_s = 1,2 k_{s11} h^{-z} \quad (3.9)$$

veya  $k_{sh} = k_{s11} h^{-z}$  değeri ile

$$k_s = 1,2 k_{sh} \quad (3.10)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

1,2 matkapla talaş kaldırma işleminin özelliklerini yansıtan düzeltme faktörüdür. Kesme kuvvetine bağlı, bir ağıza tekabül eden kesme momenti,

$$M_{sz} = F_{sz} d / 4 \quad (3.11)$$

ve iki ağıza karşılık gelen toplam kesme momenti,  $F_s = 2 F_{sz}$  ile

$$M_s = z F_{sz} \frac{d}{4} = 2 F_{sz} \frac{d}{4} = F_s \frac{d}{4} \quad (3.12)$$

veya yukarıdaki (3.2) bağıntısı dikkate alınır

$$M_s = \frac{d^2 s k_s}{8.10^3} [\text{Nm}] \quad (3.13)$$

şeklinde yazılır, burada  $d$  (mm),  $s$  (mm/rev);  $k_s$  (N/mm<sup>2</sup>) olarak konular ve  $M_s$  (Nm) olarak bulunur. Bu bağıntıdan verilen bir  $M_s$  (Nm) değerine delinebilecek delik çapı

$$d = \sqrt{\frac{8.10^3 M_s}{s k_s}} [mm] \quad (3.14)$$

bulunur. İlerleme  $s = z.s_z$  bağıntısı ile tayin edilir. Toplam ilerleme kuvveti

$$F_v = 2 F_{vz} = 2 F_{sz} \sin x = F_s \sin x \quad (3.15)$$

bağıntısı ile tayin edilir.

İlerleme kuvveti  $F_v$ , eksenel kuvvet niteliğindedir. Delik açmada, ana kesme ağzlarında meydana gelen bu kuvvetin yanısıra, radyal kesme ağzında da, eksenel

nitelikte  $F_z$  ilerleme kuvveti oluşmaktadır. Şöyle ki, delik açma sırasında matkabı etkileyen ve yenilmesi gereken aksenal kuvvet,

$$F_a = 2 F_{vz} + F_1 = F_v + F_1 \quad (3.16)$$

dir. Yapılan deneylere göre aksenal kuvvetinin % 40'ı  $F_v$  ; % 57'si  $F_1$  ve geri kalanı (%3) sürtünme kuvvetidir.

Eksenal kuvvet  $F_a$ , ilerlemeyi sağlayan elemanları ve özellikle yataklan (rulmanları) zorlamaktadır. Tezgahın konstrüksiyonu sırasında bu elemanlar, belirli bir aksenal kuvvete ( $F_{amax}$ ) göre hesaplanır. Çalışma sırasında  $F_a > F_{amax}$  olursa, ilerlemeyi sağlayan elemanlar ve özellikle rulmanlar çabuk bozulur. Ayrıca  $F_a$  kuvveti takımı burkulmaya zorlar.  $F_{amax}$  'ın değeri tezgah katalogunda verilir [20].

## 4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 4.1. Süper Alaşımların ve Inconel 718'in İşlenebilirliği ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Tein ve Caulfield (1989) yaptıkları çalışmada süper alaşımların uzay endüstrisinde %80 civarında kullanıldığını tespit etmişlerdir. Inconel 718'in uzay parçalarının imali için sık sık kullanılan bir süper alaşım olduğunu ve nikel esaslı süper alaşımlar ailesine ait olduğunu ifade ederek, türbin kanatçıkları, diskler, yanma odaları gibi yüksek sıcaklık ( $>550^{\circ}\text{C}$ ) gerektiren jet motor parçalarının imalatında ve geliştirilmesinde önemli bir rol oynadığını yüksek mukavemetli, ısıya dayanıklı, çökeltme ile sertleştirilebilir süper alaşım olduğunu belirtmişlerdir. Inconel'in diğer faydalı özelliklerini yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özelliklere sahip olması termal yorulma, şok, korozyon, sürünme ve aşınmaya karşı dirençli olması olarak belirtmişlerdir. Fakat Inconel 718'in bu mükemmel fiziksel özelliklerinin onun işlenebilirliğini zorlaştırdığını vurgulamışlardır [22].

Dudzinski ve ark. (2004) birlikte yaptıkları çalışmada Inconel 718'in işlenebilirliği ile ilgili bir araştırma yapmışlar ve bazı bulgulara varmışlardır [23]. Nikel esaslı süper alaşımların, yüksek sıcaklık ve korozyon dirençlerinden dolayı uzay endüstrisinde özellikle gaz türbini motorlarının sıcak kısımlarında geniş bir uygulama alanı bulduğunu ve onların bilinen malzemeler arasında kesilmesi en zor olan malzemeler olduğunu ifade etmişlerdir. Süper alaşımların işlenmesinde kullanılan takımlarda yüksek sıcak sertlik ile düşük adhezyon ve sürtünme özelliklerinin gerekliliğini vurgulamışlardır. Oksit PVD kaplama birleşimi, yüksek aşınma direnci ile yüksek sıcaklıklarda sürtünmeyi azaltıp yüksek sertlik malzemelerinin delinmesi sırasında mükemmel bir performans gösterdiğine işaret edilmiştir. Kuru kesme şartları altında Inconel 718'in işlenmesinde katı yağlayıcıların daha faydalı sonuçlar vereceği belirtilmiştir. Yaptıkları araştırma sonucu Inconel 718'in işlenebilirliğinin zor olması takım ömrünün kısa olmasına ve yüzey kalitesinin düşmesine sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Denenen bütün takımlarda ana aşınma mekanizmasının abrasyon aşınma mekanizması olduğunu

gözlemlenmişlerdir. Malzeme kesici takım üzerine kaynak yaparak adhezyonla BUE oluşmasına sebep olmuştur. BUE'nin takım üzerinden tekrar tekrar kaldırılması çentiklere yol açmıştır. İşleme plastik deformasyona ve ısı oluşumuna neden olmuş ve sonucunda metalurjik dönüşüm ve işlenmiş yüzeyde artık gerilimler meydana gelmiştir. Artık gerilme, işlenmiş yüzeyin yanında maksimum çekme gerilmesi ve basma gerilmesi olarak bir dağılım sergilemiştir. Kesme hızı arttığı zaman çekme ve basma gerilmeleri daha derin tabakaları etkilemiştir. Yazarlar, frezeleme operasyonlarının jet motoruna bağlanan kanatçıkların imalatında tornalama ve delme operasyonlarının ise gaz türbinleri için disklerin imalatında daha çok kullanıldığını ifade ederek, nikel esaslı alaşımların işlenmesi ile ilgili yayınlanmış en az çalışmaya delme işleminin sahip olduğunu dile getirmişlerdir [23].

Sharman ve ark. (2001) Li ve ark. (2002) ile Kitagawa ve ark. (1997) nikel esaslı süper alaşımların özellikle Inconel 718'in kötü işlenebilirliğinden sorumlu özellikleri [24-26]:

- Yüksek sıcaklık özelliklerinden dolayı işleme sırasında dayanımlarını korumaları,
- Takımda daha fazla aşınmaya sebep olan işleme sertliğinin kolayca artması ve deformasyon hızına çok duyarlı olmaları,
- Yüksek derecede aşındırıcı karbür parçacıklar içermesi ile mikro yapıda abresiv aşınmaya neden olması,
- Düşük ısı iletkenliği, kesici uç yüzeyinde 1200°C'e kadar yüksek kesme sıcaklığına neden olması,
- Nikel esaslı süper alaşımların, birçok takım malzemesi için difüzyon aşınmasına yol açan yüksek kimyasal çekiciliğe sahip olması,
- İşleme sırasında meydana gelen, nikel alaşımlarının sık sık kesici takım üzerine kaynak yapması ve yapışması sert çentiğe neden olup bu çentiğin takım malzemesinden koparak ayrılması sonucunda takım kesici ucunda değişikliğe neden olması,
- Yüksek dayanımlarından dolayı kesme kuvvetlerinin yüksek değerlere ulaşması ve bunun sonucunda takım tezgâhında titreşimlerin artması ve yüzey kalitesinin düşmesine sebep olması

şeklinde sıralamışlardır.

Ezugwu ve Tang (1995) ile Guerville ve Vigneau (2002) Inconel 718'in işlenmesinde, işleme güçlüğünün iki temel probleme sebep olduğunu: bu problemlerin takım ömrünün kısa olması ve işlenen iş parçası yüzeyinin sertleşmesi olduğunu ve işleme sırasında ısı üretimi ve plastik deformasyonun işlenmiş yüzeyi etkilediğini ifade etmişlerdir. İşleme sırasında meydana gelen ısıyla ilgili olarak, üretilen ısının genellikle alaşımın mikroyapısını değiştirdiğini ve artık gerilimlere neden olduğunu, artık gerilimlerin ısı olmaksızın plastik deformasyonla da üretilebileceğini, ayrıca ısı ve deformasyonun çatlakları oluşturup mikro sertlikteki büyük değişimler kadar mikroyapıyı değiştireceğini belirtmişlerdir. Yine artık gerilimlerle ilgili olarak, mekanik davranışlar üzerinde özellikle iş parçası yorulma ömrü üstünde etkili sonuçlara sahip olduklarını, montaj sırasında önemli zorluklara sebep olabilen boyutsal kararsızlık olgusundan sorumlu olduklarına işaret edilmiştir. İşlenmiş yüzeyde yüzey tamlığını ve yeterli takım ömrünü elde etmek için birçok seçeneği içeren kontrol edilmesi gereken belli başlı parametreleri takım ve kaplama malzemeleri, takım geometrisi, işleme metodu, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve yağlama şeklinde olduğunu ifade etmişlerdir [27, 28].

Ezugwu ve ark. (1998) nikel esaslı alaşımların özellikle Inconel 718'in işlenmesi için herhangi bir takım malzemesinde olması gerekenleri [3]:

- İyi bir aşınma direnci,
  - Yüksek sıcaklık sertliği,
  - Yüksek dayanım ve tokluk,
  - İyi termal şok özellikleri,
  - Yüksek sıcaklıkta yeterli kimyasal kararlılık
- olarak sıralamışlardır.

Uehara (1995) yaptığı çalışmada, Inconel 718'in zayıf işlenebilirliği ile tanındığına ve işlenebilirliği zor bir malzeme olarak sınıflandırıldığına dikkat çekmiştir. Inconel 718'in düşük işlenebilirliği ile tanınmasının arkasındaki başlıca nedenleri ise içerdiği

karbürlerin, aşınma ile takımı hızla kullanılamaz hale getirmesi, düşük termal iletkenliğe sahip olması, takım malzemesi ile yüksek reaksiyon vermesi ve yüksek oranda işleme sertliğine sahip olması olarak belirtmiştir [29].

Ezugwu ve Lai (1995) şimdiye kadar yayınlanmış, Inconel'in işlenebilirliği üzerindeki birçok araştırma bulgularının tornalama operasyonları ve bir dereceye kadar frezelemeden ibaret olduğunu, ancak Inconel'in delme operasyonlarındaki işlenebilirliğinin tamamen incelenmediğini ifade etmişlerdir. Bu nedenle Inconel 901 süper alaşımının delinmesinde farklı uç geometrili (M35) HSS matkapların performansını incelemişlerdir. Subramaniam ve Cook (1997) delik delmenin, uzay endüstrisinde bütün talaş kaldırma operasyonlarının %40'ına sahip olduğunu tespit etmişlerdir [30, 31].

Choudhury ve El-Baradie (1999) kaplamalı ve kaplamasız takımlarla tornalama sırasında Inconel 718'i test ederken çoğunlukla ilerlemedeki değişikliklerin yüzey pürüzlülüğünün oluşmasında etkili olduğunu bulmuşlardır. Kesme derinliğindeki artış, kaplamasız takım kullanmanın aksine kaplamalı karbür takımlar kullanıldığında yüzey kalitesinin artmasına neden olmuştur. Benzer biçimde Inconel 718'in kaplamasız karbür uçlarla kuru kesme şartları altında frezelenmesinde ilerlemedeki artışla aynı derecede kesme hızındaki artışta yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmuştur. Bu yüzden, iyi bir yüzey kalitesi elde edebilme yolunun, yüksek hız ve düşük ilerleme kombinasyonu ile olabileceğini ifade etmişlerdir [32].

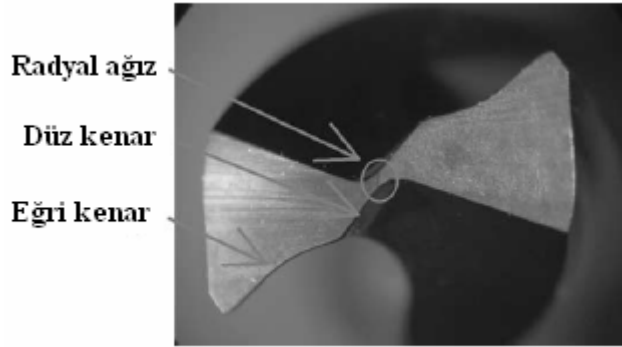
Gatto ve Liuliano (1993) tarafından yapılan çalışmada, Inconel 718 malzemesinin %20 silikon takviyeli  $Al_2O_3$  takım CrN ve (Ti,Al)N PVD kaplı takım ile yine aynı malzemenin kaplamasız takım ile işlenmesinde elde edilen aşınma şekilleri ve miktarları (SEM) elektron tarama mikroskobu altında incelenmiştir. Kesme esnasında takım temas noktası boyunca oluşan farklı aşınma mekanizmaları ve sebepleri araştırılmıştır. Çalışmalarında takım ömrü ve aşınma miktarı açısından %20 SiC<sub>w</sub> ( $Al_2O_3$ ) üzerine yapılan CrN ve (Ti,Al)N kaplamanın, kaplamasız uca göre ısı etkilerini minimize ettiğini, Ti(C,N) ve TiN kaplamalı aynı takımlara göre ise bir kat'tan daha uzun takım ömrü elde ettikleri görülmüştür [33].

Arunnachalam ve Mannan (2000) tarafından yapılan çalışmada, son 15 yılda Inconel 718 malzemesinin işlenmesinde kullanılan kesici takımlar konusunda gösterilen ilerleme ve görülen işleme zorlukları üzerinde araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, verimliliğin artmasında, yüksek kesme hızı ile işleme, ümit verici olarak görülmüş, ayrıca kesici geometrisinin doğru seçiminin işleme verimliliği üzerinde önemli olduğu saptanmıştır [34].

Alauddin ve ark. (1996) yapmış oldukları “Inconel 718’in Parmak Freze ile Frezelenmesinde Kesme Kuvvetinin Tasarlanması” adlı çalışmada; kuru şartlar altında kaplanmamış karbür deliciler kullanılarak Inconel 718’in parmak freze ile işlenmesinde ortalama teğetsel kesme kuvveti için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu kuvvet sayılarına bağlı olarak sürtünme açılarını belirlemişlerdir. Öte yandan ortogonal kesme hali için parmak frezenin kesici kenarındaki kuvvet dağılımının matematik modelini ifade ederek yüzey hatasına sebep olabilecek kuvvet dağılımını göstermişlerdir [35].

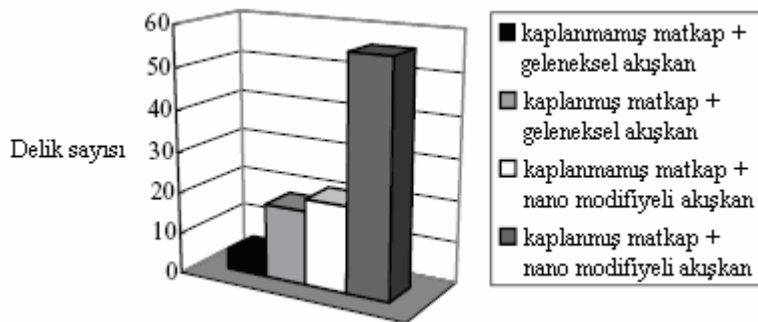
#### **4.2. Inconel 718’in Delinebilirliği ile İlgili Yapılan Çalışmalar**

Chen ve Liao (2003) yapmış oldukları çalışmada Inconel 718’in delinmesi sırasında matkapta meydana gelen aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. Taiwan’da Victor Taichung tarafından yapılan bir V65 işleme merkezinde Inconel 718 alaşımı 30 mm derinliğinde delinmiştir. Deneylerde Guhring tarafından imal edilen 10,5 mm çapında çift katlı TiAlN PVD ile kaplanmış helisel tungsten karbür bir matkap seçilmiştir. Şekil 4.1’de matkabın uç görüntüsü gösterilmiştir. Bütün deneylerde talaşın kolay bir şekilde kaldırılabilmesi için gagalayarak delme yöntemiyle, delme derinliği 5 mm olduğu andan itibaren matkap kaldırılarak delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesme hızı ve ilerleme sırasıyla 13 m/min ve 0,1 mm/rev olarak belirlenmiştir. İlk deneyler Inconel 718’i delmede optimum uç ve boşluk açısına karar vermek için yapılmıştır. Sırasıyla sonuçlardan 140° uç açısına ve 8° boşluk açısına sahip matkapların daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir [36].



Şekil 4.1. Deneysel matkap uç görünümü [36]

Her bir deneyde yeni bir matkap ucunun kullanılmasına özen gösterilmiş kesme sıvısı olarak nitrit, fenol ve klor tüm deneylerde uygulanmıştır. Takım aşınması matkabın iki farklı bölgesinde meydana gelmiştir. Birisi keskin kenarın yakınındaki düz kenarda ve diğeri dış kenarın yakınındaki kesme kenarında oluşmuştur. Takım ömrünün sonuna doğru serbest yüzey aşınmasının arttığı ve buna bağlı olarak aşınma artış oranının hızlı bir şekilde arttığı görülmüştür. Deneysel matkabın ömrünü olabildiğince attırması için kaplanmamış matkabın ömrünü olabildiğince attırması için geleneksel kesme sıvısı kullanıldığında kaplanmış ve kaplanmamış karbür matkapların ömürleri gösterilmiştir [36].



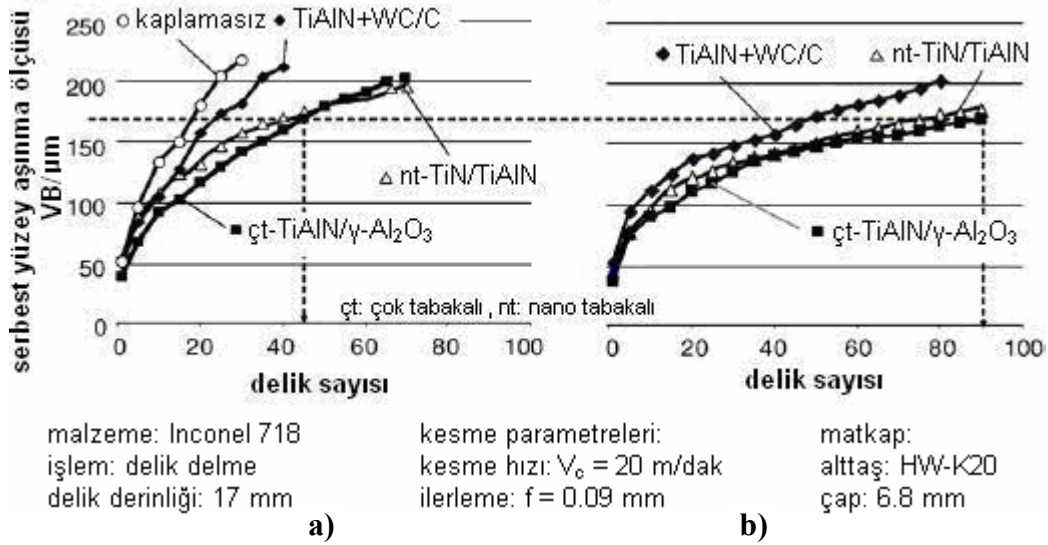
Şekil 4.2. Farklı akışkanların matkap ömrü üzerindeki etkisi [36]

Takım ömrünün, kaplanmamış takım kaplanmış takımdan daha az olduğunun bilindiğine bu yüzden matkap ömrünü uzatmak için ilk dikkate alınması gereken işin sürtünme kuvvetinin azaltılması olduğuna işaret edilmiştir. Son yıllarda nano teknoloji ona has özelliklerinden dolayı değişik alanlarda uygulanmıştır. Delme



deneyleri, yeterli miktarda nano partikülle karıştırılmış kesme sıvısının uygulanmasıyla, temas yüzeyi ile nano partiküllerin düşük sürtünme avantajını kullanarak yönetilmiştir. Şekil 4.2'den de görüldüğü gibi nano modifiyeli akışkan uygulandığında matkap ömrünün üç kattan daha fazla uzadığı görülmüştür [36].

Klocke ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada farklı PVD kaplamalarla kaplanmış takımlar kullanarak nikel esaslı Inconel 718'in delinmesi ile ilgili bazı sonuçlara varmışlardır. Delme işleminin yüksek derecede zorlu bir işlem olmasını, dış çaptan merkeze doğru sıfıra düşen kesme hızına; matkap üzerindeki oluklardan dolayı meydana gelen karşıt yönlü ilerleme hareketinin talaşın kaldırılmasını zorlaştırmasına; sürtünme ve yapışma işleminin talaş, takım ve delik duvarı arasında olmasına ve dahası soğutma işlemi dışardan tatbik edildiğinde matkap ucuna yetersiz ulaşmasına bağlamışlardır. Bütün bunların delme işlemini zorlaştıran faktörler olduğunu belirterek sürtünme ve yapışmayı azaltmak için soğutma sıvısının iyi bir yağlama özelliği olmasının gerekliliğini vurgulamışlardır. Yapılan deneylerde matkap çapı 6,8 mm alınmış ve derinliği 17 mm olan kör delikler delinmiştir. Takım ömrü için ölçüt, maksimum aşınma genişliği 0,2 mm ya da delik sayısı 90 delik olarak belirlenmiştir. Matkap ucuna, soğutma kanalları içinden tezgah mili yoluyla 50 bar basınçta soğutma sıvısı uygulanarak bir emülsiyon ve sentetik esteri soğutma sıvısı olarak kullanmışlardır. Çok ince katmanlarla kaplanmış TiN/TiAlN çok katlı TiAlN ve kristalli  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve WC/C kaplama sistemleri incelenmiştir. Şekil 4.3'te kaplama sistemi ve yağlayıcı akışkan kullanımına bağlı olarak, takım üzerindeki serbest yüzey aşınmasındaki artışın zamana göre değişimi gösterilmiştir. Sonuçlar, delme işleminde emülsiyon kullanıldığı zaman kaplamaların takım üzerindeki aşınmada önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. En büyük aşınma kaplamasız takım üzerinde ve en düşük aşınma da TiAlN/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve nl-TiN/TiAlN ile kaplanmış matkaplar üzerinde ölçülmüştür [37].



Şekil 4.3. Inconel 718'in delinmesinde soğutma yağının PVD kaplama sistemleri üzerindeki etkisi [37]  
a) %6 emülsiyon kullanıldığında, b) katkısız sentetik ester kullanıldığında

Şekil 4.3.b'de yağlayıcı sentetik ester kullanmanın, kaplanmış takımlarda olduğu gibi önemli bir performans artışına yol açtığı gösterilmiştir. Takım ömrü ölçütü  $V_B = 0,17$  mm'ye dayanarak, yağlayıcı sentetik ester ile emülsiyonla soğutma karşılaştırıldığında delinen delik sayısı bakımından sentetik ester iki kat daha üstün olduğu görülmüştür. Delme işleminde emülsiyon kullanıldığında, emülsiyonun soğutma etkisi yağlama etkisinden daha baskın olmuştur. Burada sadece %6 miktarlarındaki düşük yağ oranından dolayı, göze çarpan yağlama etkisi daha az olmuştur. Sentetik ester emülsiyonla karşılaştırıldığında daha az soğutma etkisine sahip olduğu görülmüştür. Geliştirilmiş yağlama etkisi olan ester takımın boğru üzerindeki adhesiv ve abresiv aşınma süreçlerinde önemli bir azalmaya neden olmuş ve bu yüzden Şekil 4.3.b'de gösterildiği gibi takım üzerindeki kaplanmış alanda aşınma daha yavaş ilerlemiştir. Bu sonuçlar gösteriyor ki yeni sert kaplama ve yağlı sentetik ester kombinasyonu Inconel 718'i delmede önemli bir potansiyel verimlilik artışı sağlamıştır [37].

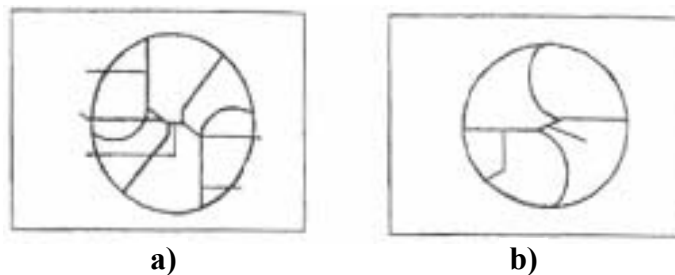
Syed ve Mannan (2004) yaptıkları çalışmada Inconel 718'in ıslak kesme şartları altında farklı kaplamalar kullanarak fakat özdeş uç geometrisine sahip PM HSS matkaplarla işlenebilirliğini incelemişlerdir. Deneyle geleneksel geometri TiAlN

kaplamalı PM HSS matkaplarla yürütülmüştür. Hız ve ilerlemenin farklı kombinasyonları ile delme işleminden sonra deliklerin yuvarlaklığı ve boyutu ölçülmüştür. 7,5 kw'lık bir CNC dik işleme merkezinde çözeltide tavllanmış Inconel 718 (213 mm çapında) iş parçası kullanılarak sırasıyla 10 mm derinliğinde 5 mm çapında kör delikler delinmiştir. Gagalayarak delme (2 mm derinlikte) ve direk delme kullanılmıştır. Deneylerde 5 tipte 5 mm çapında PM HSS matkaplar test edilmiştir (Çizelge 4.1). Bunlardan 4'ü aynı uç geometrisine sahip fakat kaplama türü ve sertlikleri açısından farklı seçilmiştir. TiAlN ile kaplanmış geleneksel geometrili matkaplarla, araştırmayı tamamlamak için bu geometriden olmayan 4 çeşit matkap daha test edilmiştir. A-D türü matkaplar bu araştırma için özel olarak sıcak işlenerek ve kaplanarak imal edilmiştir. Ticari olarak kullanışlı, geleneksel geometrili E türü matkapların uç açısı 118 derece iken, inceltilmiş uca sahip matkapların uç açısı 135 derece olarak belirlenmiştir. Şekil 4.4'te iki farklı matkabın uç geometrisi gösterilmiştir [38].

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan matkapların özellikleri [38]

Matkap	Uç	Sertlik	Kaplamalar
A	135°	71 HRC	TiAlN Tek katlı
B	135°	71 HRC	TiAlN + WC/C Çok katlı
C	135°	71 HRC	TiAlN + TiN Çok katlı
D	135°	69 HRC	TiAlN Tek katlı
E	118°	N/A	TiAlN + TiN Çok katlı

Kesme hızı olarak 10, 12,5, 15 m/min ve ilerleme olarak 0,05, 0,075 ve 0,1 mm/rev oranları kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Matkap uç geometrisi [38]

(a) A, B, C ve D tipi matkapların, (b) E tipi matkabın uç geometrisi

Yaptıkları çalışma sonunda şu sonuçlara ulaşmışlardır [38].

- A matkabı ile delinen deliklerin ortalama çap değerleri nominal çaptan (5mm) daha büyük olduğu bulunmuş ve en küçük değer  $v = 10$  m/min ve  $s = 0,075$  mm/rev'de ortalama 5,028 mm olarak kaydedilmiştir.
- Aynı şekilde B matkabı ile delinen deliklerin ortalama çap değerleri nominal çaptan (5mm) daha büyük olduğu bulunmuştur. Bütün ilerleme ve kesme hızı kombinasyonları için ortalama çap değerleri 5,04-5,05 mm olmuştur.
- D matkabı 15 m/min kesme hızı ve 0,05 mm/rev ilerleme miktarında diğer matkap tipleri ile kıyaslandığında en hatasız delikler bu tipte elde edilmiştir.
- A matkabı ile delinen deliklerde en hatasız ve en düşük yuvarlaklık değerleri  $v = 10$  m/min ve  $s = 0,075$  mm/rev'de elde edilmiş olup aynı zamanda benzer kombinasyonlarda en uzun takım ömrü gözlemlenmiştir.
- Deliklerin doğruluğu ve yuvarlaklık değerlerinin düşük olması açısından direkt delme yöntemi galayarak delme yöntemine göre daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.
- Yuvarlaklık değerleri, ilerlemenin artmasına bağlı olarak bir artış eğiliminde olduğu görülmüştür. A ve B matkaplarının her ikisi içinde en düşük yuvarlaklık değeri  $v = 10$  m/min ve  $s = 0,075$  mm/rev'de elde edilmiştir.
- B matkabı için  $v = 15$  m/min'da ilerleme miktarı arttıkça yuvarlaklık kalitesinde önemli bir azalmanın olduğu gözlemlenmiştir.
- Delik çap ölçüsü ve yuvarlaklık açısından TiAlN kaplı inceltirilmiş uç geometrisine sahip matkaplar TiAlN kaplı geleneksel uç geometrili matkaplardan daha iyi bir performans sergilemişlerdir.

### 4.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında; çalışmaların büyük bir bölümünün süper alaşımların ve özellikle Inconel 718'in tornalanması ve frezelenmesini ihtiva ettiği görülmektedir. Bu çalışmalarda farklı kesici takım malzemeleri ve kaplama türlerinin farklı kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında denenmesi neticesinde kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu gibi parametreler incelenmiştir.

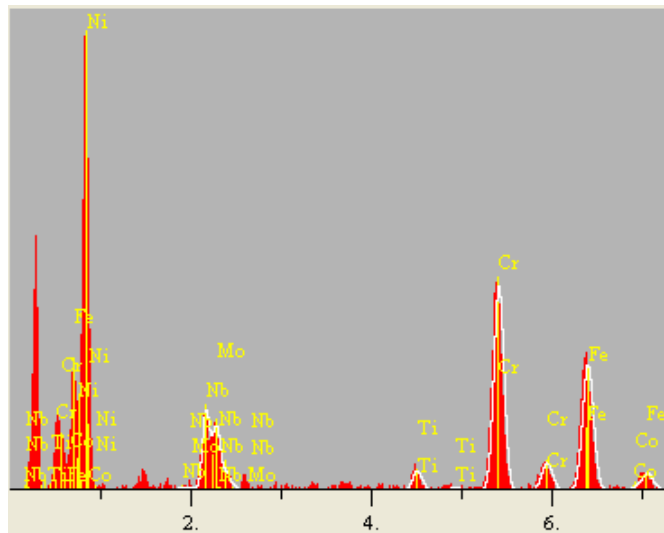
Tornalama ve frezeleme kadar talaşlı üretimde bir yere sahip olan, talaş kaldırma işlemlerinin %30'unu içeren delik delme ile ilgili çok az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bunlardan Chen ve Liao (2003) ait çalışmada [36], ıslak kesme şartlarında Inconel 718'in delinmesi sırasında matkapta meydana gelen aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. Klocke ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada [37], farklı PVD kaplamalarla kaplanmış takımlar kullanarak nikel esaslı Inconel 718'in delinmesinde sentetik ester ile emülsiyonun kesici takım üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Son olarak Elwi ve Mannan (2004) yaptıkları çalışmada [38], Inconel 718'in ıslak kesme şartları altında farklı kaplamalar kullanarak PM HSS matkaplarla delinmesi neticesindeki delik kalitesini incelemişlerdir.

Literatürden farklı olarak bu çalışmada; Inconel 718'in kuru kesme şartları altında kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla farklı kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında delinmesi neticesindeki, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik kalitesi ve talaş oluşumu incelenmiştir.

## 5. MALZEME VE METOT

### 5.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme

Bu çalışmada, kesme parametrelerinden kesme hızı ve ilerlemenin farklı kombinasyonlarının, Inconel 718'in TiN, TiAlN ve kaplamasız matkaplarla delinmesinde kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik kalitesi ve talaş oluşumu üzerindeki etkisi incelenerek optimum delme şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan malzeme, nikel esaslı süper alaşımlardan AMS 5663 özelliklerine sahip Inconel 718'dir. Malzemenin SEM'de (Tarama elektron mikroskobu) çekilen elemental analizi (EDS) Şekil 5.1'de verilmiştir.



Elt.	Çizgi	Yoğunluk (c/s)	Hata 2-sig	Sonuç
Ti	Ka	6.18	0.703	1.357 wt.%
Cr	Ka	70.20	2.370	19.580 wt.%
Fe	Ka	46.50	1.929	18.623 wt.%
Co	Ka	0.73	0.241	0.386 wt.%
Ni	Ka	70.63	2.377	46.596 wt.%
Nb	La	18.96	1.231	8.689 wt.%
Mo	La	9.78	0.884	4.770 wt.%
				100.000 wt.% Toplam

Şekil 5.1. Inconel 718'in SEM'de çekilmiş elemental analizi (EDS)

## 5.2. DeneYlerde Kullanılan Takım Tezgâhı

Talaş kaldırma deneyleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalında bulunan Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır (Resim 5.1). Bu tezgahın özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. DeneYlerde kullanılan tezgahın teknik özellikleri

<b>Tezgâh gücü</b>	10 KW
<b>Maksimum devir sayısı</b>	8000 rpm/min
<b>Sırasıyla x, y, z eksenleri</b>	600, 500, 600 mm
<b>Ölçü hassasiyeti</b>	0,001 mm
<b>İşletim sistemi</b>	Fanuc



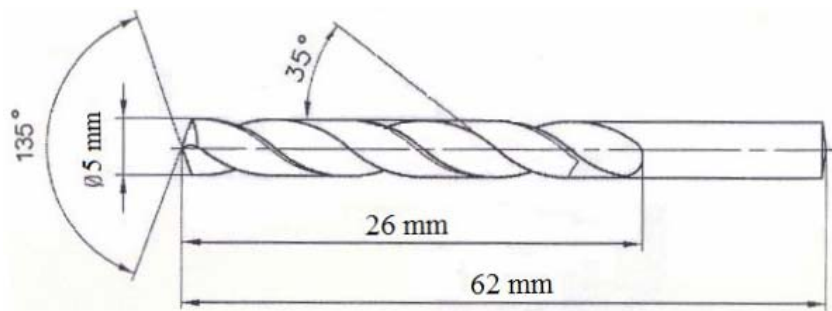
Resim 5.1. Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezi

### 5.3. DeneYlerde Kullanılan Kesici Takım ve Kesme Parametreleri

Kesici takım olarak, Guhring kesici takım firması tarafından imal edilmiş solid karbür (DIN 6539) matkaplar kullanılmıştır. Ana malzemesi karbür olan bu matkaplar üç gruba ayrılmıştır. Birinci gruba TiN kaplama, ikinci gruba TiAlN kaplama yapılmış ve son grup matkaplar üzerinde herhangi bir işlem yapılmadan kaplamasız olarak kullanılmıştır. Kaplamalar, İstanbul'da Guhring firması tarafından PVD (Fiziksel buharlaştırma metodu) ile tamamen kuru bir ortamda tek katlı olarak; TiN için 1,5-2  $\mu$ , TiAlN için 3-3,5  $\mu$  kalınlığında yapılmıştır. Kaplama sertlikleri TiN kaplama için 1500-2000 Vickers, TiAlN kaplama için 3000-3500 Vickers'dir. Delme işleminde kullanılan kesme parametreleri ve takım özellikleri Çizelge 5.2'de kesici takımın diğer boyutları da Şekil 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kesici takım özellikleri ve kesme parametreleri

<b>Kesicinin Cinsi</b>	Silindirik saplı kısa helisel matkap ucu
<b>Standart</b>	DIN 6539
<b>Kesici Takım Malzemesi</b>	Sementit karbür
<b>Kesici Geometrisi</b>	$\varnothing 5$ mm, uç açısı $135^\circ$ , helis açısı $35^\circ$
<b>Kaplama Malzemeleri</b>	TiN, TiAlN, kaplamasız
<b>Kesme Hızları</b>	10, 12,5, 15, 17,5 m/min
<b>İlerleme Miktarları</b>	0,05, 0,075, 0,1 mm/rev



Şekil 5.2. DeneYlerde kullanılan matkabın boyutları

Literatürdeki çalışmada [36], süper alaşımların delinmesinde matkap uç açısının  $135^\circ$  ve daha büyük olması tavsiye edilmektedir. Chen ve Liao (2003) yaptıkları

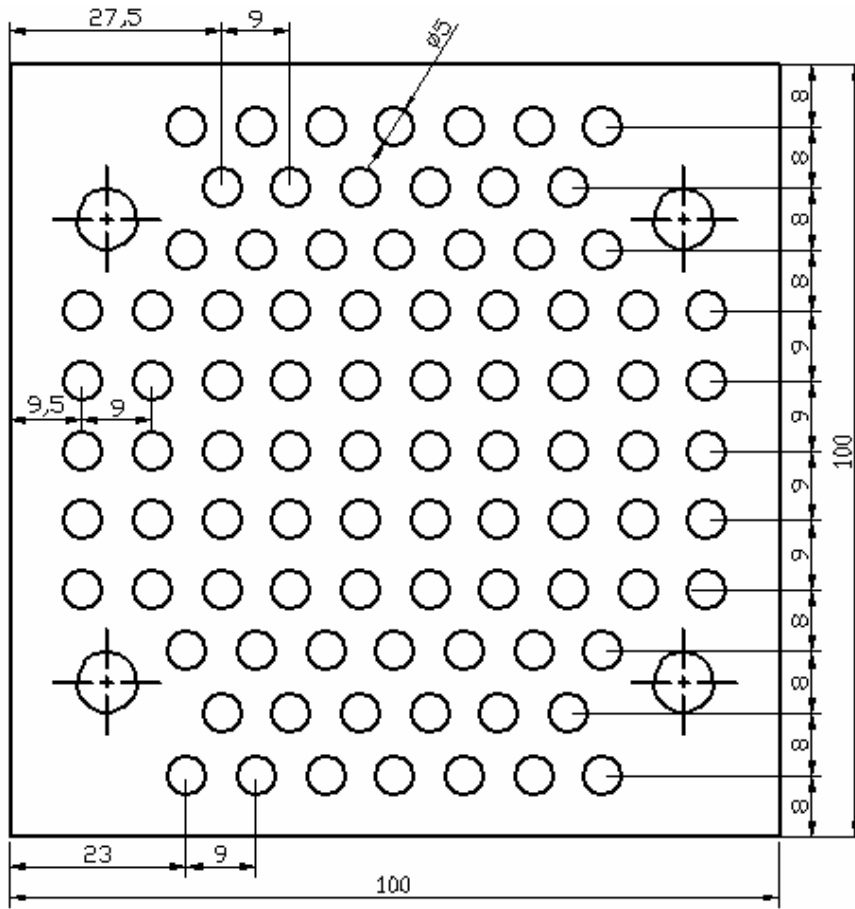


çalışmada, Inconel 718'in delinmesinde  $140^\circ$  uç açısına ve  $8^\circ$  boşluk açısına sahip matkapların daha iyi performans sergilediğini tespit etmişlerdir. Literatür ışığında matkabın uç açısının  $135^\circ$  olmasına ve delme sırasında istenilen rijiliğin sağlanabilmesi için matkap boyunun kısa olmasına karar verilmiştir.

Kesme parametrelerinin tayini, yine literatürden [36-38] istifade ederek ve kesici takım kataloğunda tavsiye edilen değerler göz önünde bulundurularak ön deney çalışmaları neticesinde belirlenmiştir. Kesme hızı 17,5 m/min'i ve ilerleme miktarı 0,1 mm/rev'i aştığında matkaplar sadece birkaç deliği delmeye dayanabilmiştir. Ayrıca yüksek kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında, hızla matkabın bozulmasına yol açan, dış köşe aşınmasının meydana geldiği görülmüştür. Yapılan çalışma sonunda kesme hızı ve ilerleme değerleri Çizelge 5.2'de verildiği gibi belirlenmiş olup, her matkapla 10 adet delik delinmesi hedeflenmiştir.

#### **5.4. Deney Numuneleri**

Deney numuneleri tel erozyon tezgahında 100x100 mm ebatlarında 10 mm kalınlığında plaka olarak kesilmiştir. Bu numunelerin dinamometreye bağlanabilmesi için, su jeti ile dörder adet bağlama deliği açılmıştır. Delme deneyleri sırasında hazırlanan bu numunelerin herbiri üzerinde 90 adet delik delinmiştir. Deliklerin numune üst yüzeyindeki dağılımı Şekil 5.3'te verilmiştir. Delinen delik etrafındaki sertlik dağılımı göz önüne alınarak, deliklerin parça üzerine yerleştirilmesinde mümkün olduğu kadar birbiri ile uzaklığının eşit olmasına dikkat edilmiştir. Böylece delme sırasında ısının mümkün olduğu kadar eşit şartlarda dağılması hedeflenmiştir. Delik çapı 5 mm olarak belirlenmiştir. Delme işleminde optimum sonuçlar elde etmek amacıyla delme boyu, delik çapının üç katı yada üç katından daha düşük olması şartına uymak amacı ile 8 mm olarak seçilmiştir [39]. Delik çıkışlarında takımda oluşacak istenilmeyen durumları engellemek maksadı ile kör delik uygulaması tercih edilmiştir. Deney sırasında takımlardaki muhtemel ısı şokunu azaltmak için soğutma sıvısı kullanılmamıştır [40].



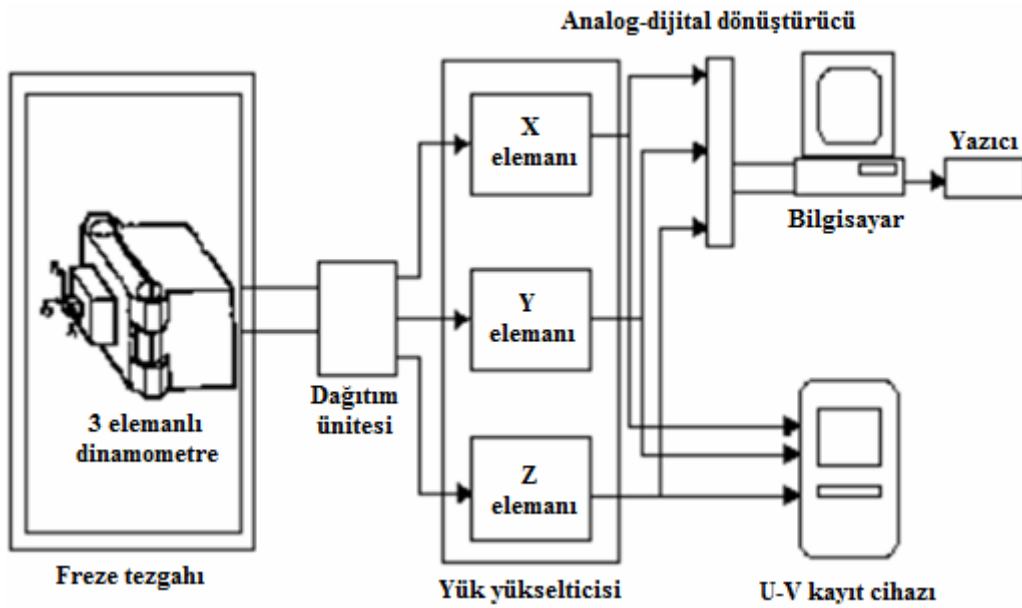
Şekil 5.3. Deliklerin deney numunesi üzerindeki dağılımı

Daha öncede belirtildiği gibi, deneylerde her bir matkapla bir ilerleme ve kesme hızı kombinasyonu için on delik delinmesi amaçlanmıştır. Her deney için yeni bir uç kullanılarak toplam 36 adet deney yapılmıştır. Bu deneylerden 12'si TiN kaplamalı 12'si TiAlN kaplamalı ve diğer 12'si de kaplamasız matkaplarla yapılmıştır. Deneylerde iki kez deney tekrarı yapılarak elde edilen verilerin doğruluğu teyit edilmiştir.

### 5.5. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

İşlenebilirlik testlerinde, delme işlemi için üç kuvvet bileşeninden radyal ve kesme kuvveti nispeten küçük değerlerde olduğundan üçüncü kuvvet bileşeni olan ilerleme kuvveti (thrust force) ve tork değerleri dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada üç kesme kuvveti bileşeni de ölçülmüş ancak yalnızca aksenal kuvvet bileşeni

değerlendirilmeye alınmıştır. Kesme kuvveti ölçümleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı laboratuvarlarındaki dik işleme merkezine bağlanan Kistler 9257B dinamometre ile yapılmıştır. Dinamometre ile ilgili teknik özellikleri Çizelge 5.3'te deney düzeneğinin şematik gösterimi ise Şekil 5.4'te verilmiştir.

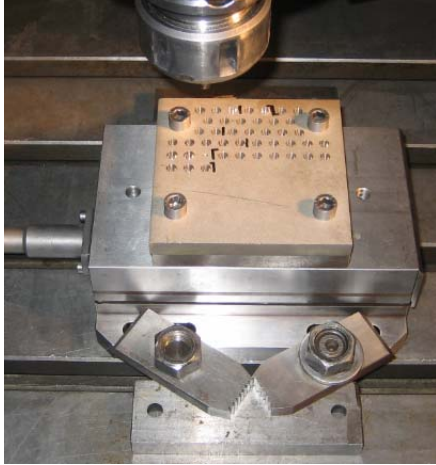


Şekil 5.4. Kesme kuvvetleri ölçme düzeni ve dinamometre ünitesinin şematik görünümü

Çizelge 5.3. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri

<b>Kuvvet aralığı (kN) (Fx, Fy, Fz)</b>	-5...10
<b>Tepki verme (N)</b>	<0.01
<b>Hassasiyet (pC/N) Fx, Fy</b>	-7.5
<b>Fz</b>	-3.5
<b>Doğrusallık</b>	%1 FSO
<b>Histerezis</b>	%0.5 FSO
<b>Doğal frekans <math>f_0(x,y,z)</math> (kHz)</b>	3.5
<b>Çalışma sıcaklığı (°C)</b>	0...70
<b>Kapasitans (pF)</b>	220
<b>20 °C'daki yalıtım direnci (<math>\Omega</math>)</b>	> 1013
<b>Topraklama sınıfı (<math>\Omega</math>)</b>	> 108
<b>Koruma sınıfı</b>	IP 67
<b>Ağırlık (kg)</b>	7.3

İş parçası, kesme kuvveti verilerinin alınabilmesi için üzerine açılan dört adet delikten allen başlı civata ile dinamometreye monte edilmiştir (Resim 5.2).



Resim 5.2. İş parçasının dinamometreye bağlanması

Matkap üzerindeki burkulma etkisini elimine etmek amacıyla, matkap ucunun takım tutucudan çıkma mesafesi minimum (30 mm) tutulmuştur. Bu değer elde edilen verilerde karşılaştırma doğruluğu tespit etmek için bütün deneylerde sabit kalmıştır.

### 5.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

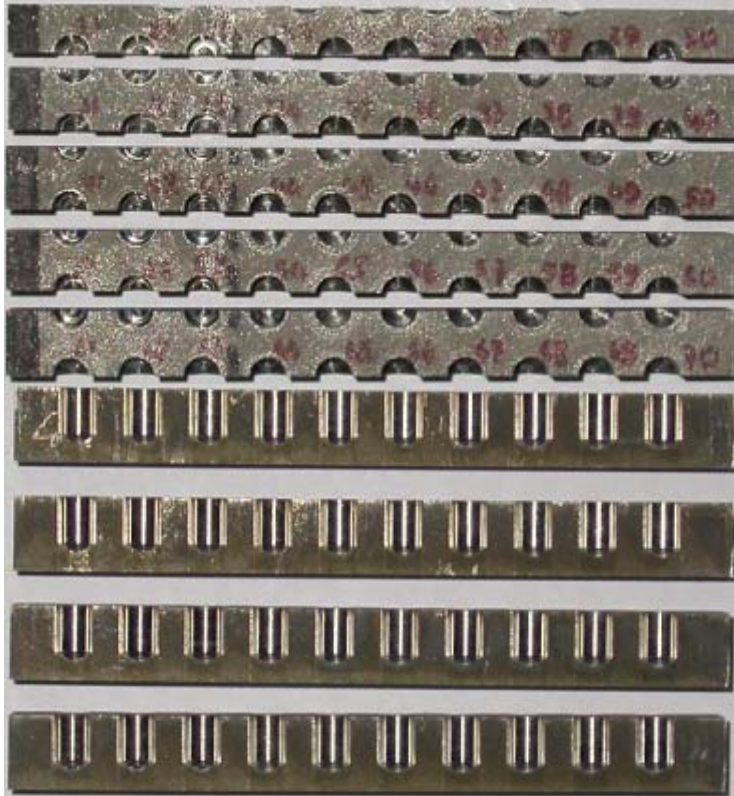
İşlenebilirlik çalışmalarında yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Ölçme işleminin delik yüzeylerinde yapılacak olması işlemi biraz zorlaştırmaktadır. Özellikle küçük çaplı deliklerin yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi özel uç ve aparatlar gerektirdiğinden standart basit cihazlarla yapılması mümkün değildir. Bu nedenle tez çalışmasında elde edilen deliklerin yüzey pürüzlülüğünün ölçümü ORS (Orta Doğu Rulman Sanayi A.Ş) ölçme laboratuvarlarında yapılmıştır. Ölçümlerde Taylor Hobson marka Talysurf PGI Plus tip yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait teknik özellikler Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Ölçümlerin kolay bir şekilde yapılabilmesi için Resim 5.4'de gösterildiği gibi deney yapılan numuneler tel erezyon tezgahında delik eksenine paralel olarak tam ortasından kesilmiştir. Her delik yüzeyinde, delik eksenine paralel üç farklı noktadan

ölçüm alınarak bunların ortalaması alınmıştır. Pürüzlülük ölçümlerinde sadece ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 5.4. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinin yapıldığı cihaza ait teknik özellikler

<b>Boyutlar</b>	760, 500, 120 mm
<b>Ölçme uzunluğu – X max/min</b>	200 mm / 0,1 mm
<b>Ölçüm hızları</b>	0,1-0,25-0,5-1 mm/sn
<b>Dönüş hızı</b>	10 mm/sn (max)
<b>Duyarlılığı</b>	0,8 nm
<b>Veri örnekleme aralığı X (standart)</b>	200 mm uzunluğun üstünde 0,125µm



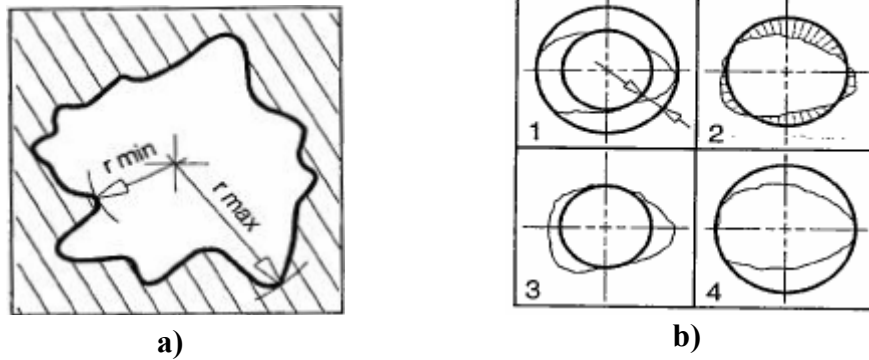
Resim 5.3. Delik eksenine paralel kesilen numuneler

### 5.7. Delik Çapı ve Daireselliğinin Kontrolü

Delğin dairesellikten sapması genellikle sehim, titreşim, yetersiz yağlama, aşınma gibi etkilerin bir sonucudur. Dairesellikten sapma yüzeyde dalgalanmaların olması

demektir. Dairesellikten sapma belirli bir merkez noktadan ölçülen en büyük ve en küçük yarıçap arasındaki fark olarak tanımlanır (Şekil 5.5.a). Ancak, bir deliğin merkezinin belirlenmesinin çeşitli yolları vardır (Şekil 5.5.b):

- En çok kullanılan metot en küçük radyal sapmanın elde edildiği noktayı merkez olarak tanımlamaktır (Şekil 5.5.b (1)). Bu metot MRS (Minimum Radyal Sapma) veya TIR (Toplam İbre Okuma) olarak da bilinir.
- En küçük merkez daire (LSC) metodu (Şekil 5.5.b (2)). Bu metotta merkez nokta, radyal koordinatlarının kareleri toplamı en küçük olan dairenin merkezidir.
- İçeri çizilebilecek en büyük çember (MIC) (Şekil 5.5.b (3)).
- Dışarı çizilebilecek en küçük çember (MLC) (Şekil 5.5.b (4)).



Şekil 5.5. Dairesellik ölçümleri [19]

a) dairesellikten sapma, b) delik merkezinin belirlenmesi

Delinebilirlik çalışmalarında, delik çap ve daireselliğinin ölçümü delik kalitesinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Delik çap ve dairesellik ölçümleri Med Makina Medikal Mühendislik San. ve Tic. Ltd. Şirketinde Mitutoyo marka üç boyutlu CMM (Coordinat Measuring Machine) tezgahında yapılmıştır. Delik çap ve dairesellik ölçümleri, her delikte altı ayrı noktadan koordinat alınarak tespit edilmiştir. Delik çapı ve daireselliğinin değerlendirilmesinde kullanılan bu ölçüler doğrudan doğruya CMM tezgahından alınmıştır. Resim 5.5’de ölçümlerin yapıldığı kordinat ölçüm tezgahı görülmektedir. Bu tezgaha ait teknik özellikler ise Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Ölçümlerin yapıldığı tezgaha ait teknik özellikler

<b>Ölçüm alanı x, y, z</b>		505, 405, 405 mm
<b>Ölçme hassasiyeti</b>		0,0001 mm
<b>Maksimum ölçüm hızı</b>		8 mm/s
<b>İş Parçası</b>	<b>Mak. Yükseklik</b>	545 mm
	<b>Mak. Ağırlı</b>	180 kg



Resim 5.4. Delik çap ve daireselliklerinin ölçüldüğü CMM tezgahı

## 6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, nikel esaslı süper alaşım Inconel 718 malzemesinin işlenebilirlik kriteri olarak, delme esnasındaki dinamik kesme kuvvetleri, delik yüzey kalitesi, delik çapı doğruluğu, dairesellik ve talaş şekli ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

### 6.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Her deneyde, bir kesme hızı ve ilerleme kombinasyonunda kullanılan matkap ile 10 delik delinmesi hedeflenmiştir. Bir deneyde delinen her delik için kesme kuvveti ayrı ayrı ölçülmüştür. Ancak delme esnasında dinamik kesme kuvvetlerinin dinamometre ile ölçümünden elde edilen verilerden, sadece aksel (thrust) kuvvetin değerleri dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Kesme kuvveti ölçüm değerleri EK-1’de çizelge halinde verilmiş ve bu çizelgedeki veriler kullanılarak grafikler oluşturulmuştur. Kesme kuvvetlerinin değerlendirmesinde izlenen yolda önce kaplamasız, TiN kaplı ve TiAlN kaplı matkaplar kendi içinde değerlendirilmiş daha sonra birbirleri ile mukayesesi yapılmıştır.

#### 6.1.1. Kaplamasız takımda kesme kuvvetleri

Kaplamasız karbür matkaplarla 12 adet deney yapılmıştır. Şekil 6.1.a’da 10 m/min kesme hızı için 0,05, 0,075 ve 0,1 mm/rev ilerleme miktarlarına ve artan delik sayısına bağlı olarak kesme kuvvetindeki değişim verilmiştir. Oluşturulan grafiklerden ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetinin arttığı açık bir şekilde görülmektedir. 10 m/min kesme hızı ve 0.05 mm/rev ilerleme miktarında on adet delik delinmiş olup, ortalama aksel kuvvet 596 N’dur. Aynı şekilde diğer ilerleme miktarları 0,075 ve 0,1 mm/rev için de ortalama kuvvet sırasıyla 735 ve 862 N’dur. Bütün ilerleme miktarlarında aksel kuvvet, ilk delik ile son delik arasında artış eğilimi göstermiştir.

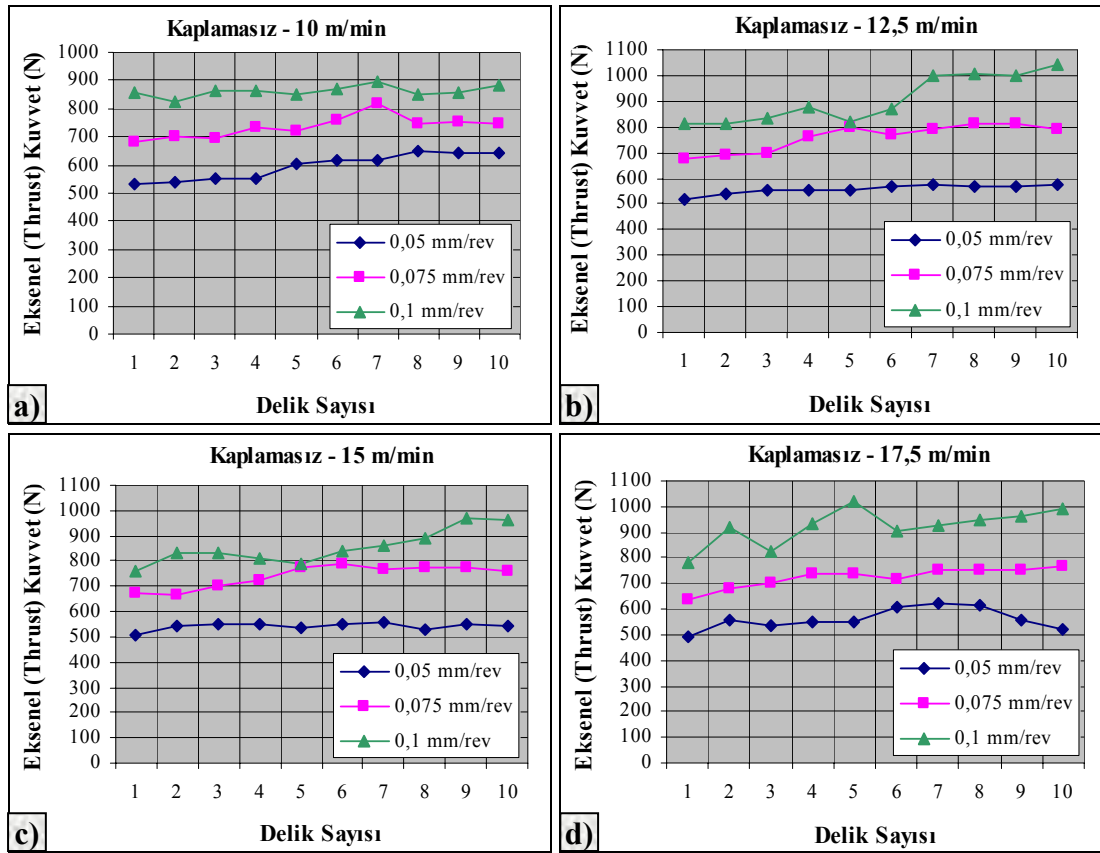
Şekil 6.1.b’de görüldüğü gibi kesme hızı %25 arttırılarak 12,5 m/min’e çıkarıldığında 0,05 mm/rev ilerleme miktarında kesme kuvvetinde bir değişim



olmamakla birlikte diğer ilerleme miktarlarında küçük miktarda artış olmuştur. 0,05 ve 0,075 mm/rev ilerleme miktarlarında ilk delik ile son delik arasında çok fazla değişim yok iken 0,1 mm/rev ilerleme miktarında kesme kuvvetinin 800 N'dan 1000 N'un üstüne çıktığı görülmektedir. Bu artışın, takım aşınmasına bağlı olarak meydana geldiği ve özellikle ilk bir kaç delikten sonra aşınma artış hızında etkisiyle büyüdüğü görülmüştür.

Kesme hızı 15 m/min'e çıkarıldığında ortalama kuvvet değerlerinde bir miktar düşüş olmuştur (Şekil 6.1.c). Diğer kesme hızlarında olduğu gibi bu kesme hızında da ilk delik ile son delik arasındaki en büyük artış 0,1 mm/rev ilerleme miktarında olmuştur.

Son olarak kesme hızı 17,5 m/min'e çıkarıldığında diğer kesme hızlarında olduğu gibi ortalama kuvvetlerde fazla bir değişim olmamakla birlikte ilk ve son delik arasındaki kuvvet artışı en fazla 0,1 mm/rev ilerleme miktarında meydana gelmiştir (Şekil 6.1.d). İlk delik ile son delik arasındaki artış eğiliminin en fazla bu ilerleme miktarında olması, kaldırılan talaş hacminin artması sonucu, takımın körlenmesine, kesici ucun daha çabuk aşınmasına ve talaş sıkışmasına bağlı olarak açıklanabilir. Özellikle 17,5 m/min kesme hızı ve 0,1 mm/rev ilerleme miktarı kombinasyonunda kesme kuvvetindeki dalgalanmanın sebebi takım üzerindeki aşınmada, kesme hızı ve ilerlemenin etkisinin büyük olmasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 6.1. Kaplamasız matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak delik sayısındaki artışla kesme kuvvetlerindeki değişim  
a)  $V=10$  m/min, b)  $V=12,5$  m/min, c)  $V=15$  m/min, d)  $V=17,5$  m/min

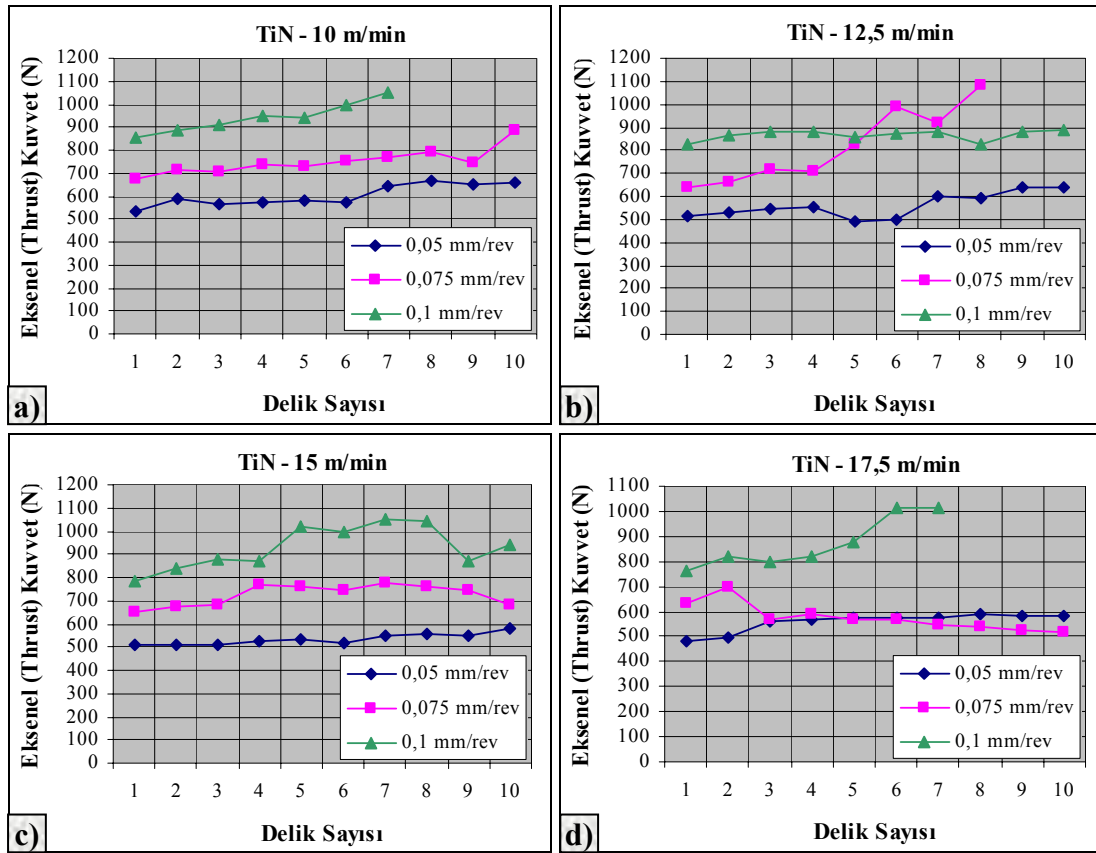
### 6.1.2. TiN kaplamalı takımında kesme kuvvetleri

Kaplamasız karbür matkaplarda olduğu gibi TiN kaplamalı karbür matkaplarla da 12 adet deney yapılmıştır. Şekil 6.2.a'dan 10 m/min kesme hızında, ilerleme miktarlarına ve delik sayısına bağlı kesme kuvvetindeki değişime bakıldığında, 0,05 ve 0,075 mm/rev ilerleme miktarlarının her ikisinde de 10 adet delik delinmiştir. İlk delik ile son delik arasında çok fazla kuvvet değişimi olmamıştır. Ancak ilerleme miktarı 0,1 mm/rev'e çıktığında kesme kuvvetinde sürekli bir artış olmuş ve matkap 7. deliğin delinmesi sırasında kırılmıştır. Aynı kesme hızında ilerleme miktarının artışı, takım üzerindeki yüklerin artarak takımın körlenmesini çabuklaştıracağından bu ilerleme miktarında kesme kuvveti değerlerinin daha büyük olması beklenen bir durumdur.

Kesme hızı 12,5 m/min'e çıkarıldığında 10 m/min'den farklı olarak 0,05 ve 0,1 mm/rev ilerleme miktarlarında deney tamamlanabilmiştir (Şekil 6.2.b). Bu ilerleme miktarlarında kuvvet değişimi istenilen şekildedir. 0,075 mm/rev ilerleme miktarında ise 4. delikten sonra kesme kuvveti artmaya başlamış 1100 N'a ulaştığında 8. deliğin delinmesi sırasında matkap kırılmıştır. Aynı kesme hızında yüksek bir ilerleme miktarında deney tamamlanabilirken düşük bir ilerleme miktarında deney tamamlanamadan takım kırılmıştır. Bunun sebebi kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonunun uyumlu olmasının gerekliliği ile açıklanabilir.

Şekil 6.2.c'de görüldüğü gibi kesme hızı 15 m/min'e çıkarıldığında üç ilerleme miktarında da deneyler tamamlanmıştır. 0,05 ve 0,075 mm/rev ilerleme miktarlarında kuvvetteki değişim istenilen özellikte iken 0,1 mm/rev ilerleme miktarında kuvvet değişiminde bir dalgalanmanın olduğu görülmektedir. Bu dalgalanmaya rağmen deney tamamlanmıştır. Diğer kesme hızlarında (10, 12,5, 17,5 m/min), aynı ilerleme miktarları için tamamlanamayan deneylerin 15 m/min'de tamamlanmış olması nedeniyle bu kesme hızının kullanılan kesici takım ve iş parçası malzemesi için kritik kesme hızı değeri olduğu sonucuna varılabilir.

Son olarak kesme hızı 17,5 m/min'e çıkarıldığında 0,05 ve 0,075 mm/rev ilerleme miktarlarında kuvvette fazla bir değişim olmamış, 0,1 mm/rev ilerleme miktarında kesme kuvvetinde sürekli bir artış olup 1000 N'u aştığında 7. deliğin delinmesi sırasında matkap kırılmıştır (Şekil 6.2.d). Eksenel kuvveti arttıran en büyük etken ilerleme miktarı olduğundan diğer kesme hızlarında olduğu gibi bu kesme hızında da en düzensiz kuvvet değişimi 0,1 mm/rev ilerleme miktarında olmuştur. Kaplamasız takımlarla deneyler tamamlanmış ancak TiN kaplı takımlarla bazı kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında tamamlanamamıştır. Bunun sebebi ise kaplama tabakası birkaç delikten sonra kalkarak kesici takım ana malzemesinden bir parçayı da beraberinde götürmesi sonucu, kesici takımın aşınma artış hızının artması buna bağlı olarak kesici takımın daha çabuk körlenmesi ile açıklanabilir.



Şekil 6.2. TiN kaplı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak delik sayısındaki artışla kesme kuvvetlerindeki değişim  
a)  $V=10$  m/min, b)  $V=12,5$  m/min, c)  $V=15$  m/min, d)  $V=17,5$  m/min

### 6.1.3. TiAlN kaplamalı takımda kesme kuvvetleri

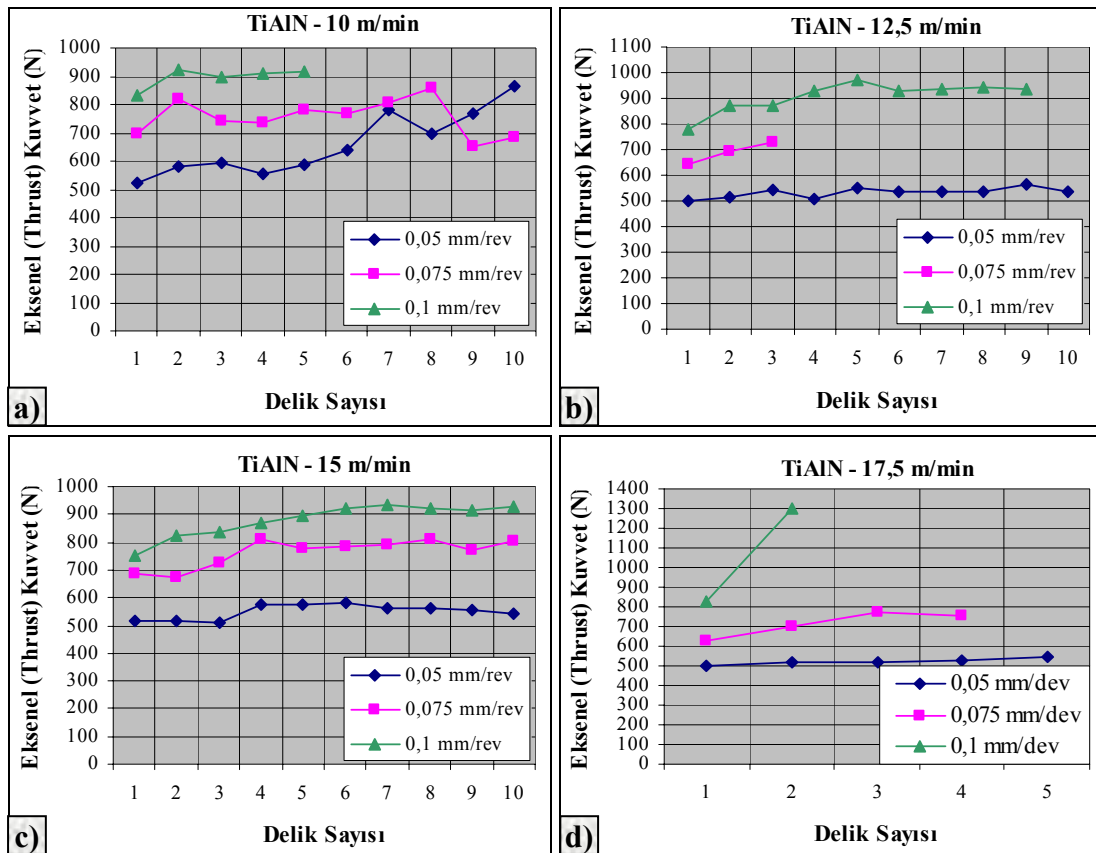
Şekil 6.3.a'daki kesme kuvvetlerine baktığımızda 0,05 mm/rev ilerleme miktarında ilk delikte yaklaşık 500 N olan kesme kuvveti artarak 900 N'a yaklaşmış ve matkap 10. deliğin delinmesi sırasında kırılmıştır. Aynı şekilde 0,075 mm/rev ilerleme miktarında da son deliklere doğru kesme kuvvetindeki dalgalanma artmış ve matkap 10. deliğin delinmesi sırasında kırılmıştır. Son olarak ilerleme miktarı 0,1 mm/rev'e çıktığında matkap 5. deliğin delinmesi sırasında kırılmıştır. Diğer takımlarda olduğu gibi TiAlN kaplı takım da ilerleme miktarının artışı takımın daha çabuk bozulmasına ve bunun sonucunda kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır.

Kesme hızı 12,5 m/min'e çıkarıldığında sadece 0,05 mm/rev ilerleme miktarındaki deney tamamlanabilmiştir (Şekil 6.3.b). 0,075 mm/rev ilerleme miktarında 3. deliğin

0,1 mm/rev ilerleme miktarında ise 9. deliğin delinmesi sırasında matkap kırılmıştır. Burada kesme hızı ile ilerleme miktarının uyumlu olmasının takım üzerindeki etkisi aşıkardır. Çünkü daha büyük bir ilerleme miktarında 9 delik delinebilirken küçük bir ilerleme miktarında sadece 3 delik delinebilmiştir.

Kesme hızı 15 m/min'e çıkarıldığında üç ilerleme miktarında da deneyler tamamlanmıştır (Şekil 6.3.c). 0,05 mm/rev ilerleme miktarında kuvvetteki değişim istenilen özellikte olup diğer ilerleme miktarlarında dikkate değer bir artış olmuştur. TiAlN kaplı matkaplarla yapılan deneylerde kesme kuvvetleri açısından, üç farklı ilerleme miktarında da en iyi sonuç 15 m/min kesme hızında alınmıştır. TiN kaplı takımda olduğu gibi TiAlN kaplı takımında da 15 m/min kesme hızı kritik değerdir. Diğer bir deyişle bu kesici takımla bu malzemenin delinmesinde takım bozulması açısından optimum kesme hızı değeri olduğu söylenebilir. Çünkü üç farklı takımında da kesme kuvvetinin en düzenli olduğu kesme hızı 15 m/min'dir.

Şekil 6.3.d'de görüldüğü gibi kesme hızı 17,5 m/min'e çıkarıldığında 0,05 mm/rev ilerleme miktarında matkap 5. deliğin 0,075 mm/rev'de 4. deliğin ve 0,1 mm/rev'de 2. deliğin delinmesi sırasında kırılmıştır. Bu kesme hızında ilerleme miktarındaki artış takım ömrünü büyük ölçüde azaltmıştır. Verilerin doğruluğu açısından deney tekrarı yapılmış, matkapların birkaç deliği deldikten sonra tekrar kırıldığı görülmüştür. Burada kesme hızı ve ilerleme miktarının en yüksek değerlerde olmasının etkisi açıktır. Üç farklı takım arasında TiAlN kaplı takımın daha çabuk bozulma gösterdiği bunun sonucunda da kesme kuvvetlerinin düzensiz olduğu ve takımların deneyleri tamamlayamadan kırıldığı söylenebilir. Bu bozulmanın sebebi ise TiAlN kaplama tabakasının düzensiz soyulması ile açıklanabilir. Çünkü TiN kaplamaya göre daha kalın ve daha serttir.



Şekil 6.3. TiAlN kaplı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak delik sayısındaki artışla kesme kuvvetlerindeki değişim  
a) V=10 m/min, b) V=12,5 m/min, c) V=15 m/min, d) V=17,5 m/min

#### 6.1.4. Kesme kuvvetlerinin genel değerlendirmesi

Bölüm 6.1.1–Bölüm 6.1.3’de kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplı matkaplarla yapılan delme işlemi sırasında elde edilen kesme kuvveti verileri kendi içinde ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu bölümde ise birbirleri ile mukayesesi yapılmıştır. Değerlendirmeye esas alınan ortalama kesme kuvveti değerleri olmuştur. Şekil 6.4.a’da görüldüğü gibi ve yukarıda yapılan değerlendirmeler ışığında 10 m/min kesme hızında, ilerleme miktarındaki artış her üç takımında da kesme kuvvetlerini arttırmıştır. Kaplama farkına rağmen ortalama kuvvet değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Ancak bazı kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında deney tamamlanmadan matkaplar kırılmıştır. TiN ve TiAlN kaplı matkaplar 10 m/min kesme hızında ve 0,1 mm/rev ilerleme miktarında deneyi tamamlayamadan kırılmıştır. Kesme kuvveti değeri üç farklı ilerleme miktarında da

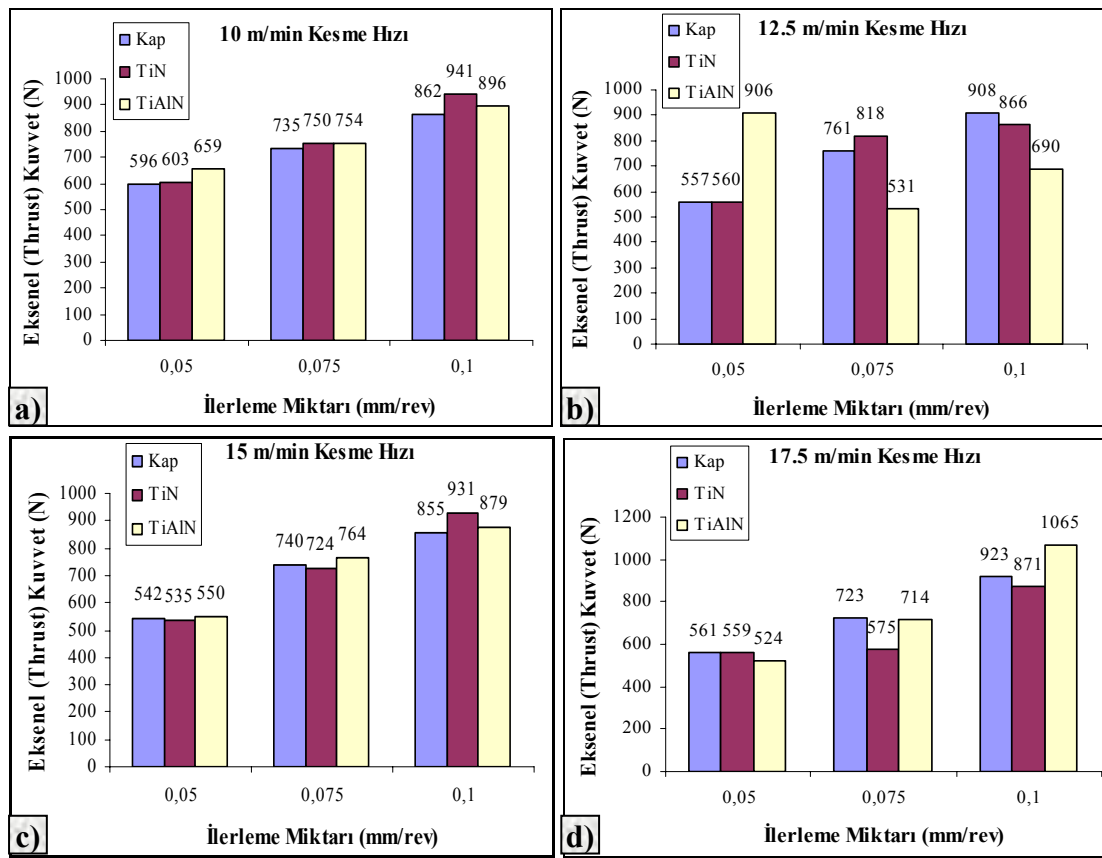
en düşük kaplamasız takımında olmuştur. Ayrıca bu kesme hızında kaplamasız matkaplarla yapılan üç deneyde başarıyla tamamlanmıştır. İlerleme miktarları içinde, üç takım arasındaki kesme kuvveti farkı en fazla 0,1 mm/rev ilerleme miktarında olmuştur.

Kesme hızı 12,5 m/min olduğunda (Şekil 6.4.b) kaplamasız ve TiN kaplı matkaplarda ortalama kuvvet değerleri birbirine yakındır. Ancak TiAlN kaplamada, diğer kaplamalardan daha farklı değerler elde edilmiştir. İlerleme miktarına bağlı olarak kuvvetin artması beklenirken TiAlN kaplamada ters yönde bir eğilim görülmektedir. Bu kesme hızında TiAlN kaplı matkaplar 0,075 ve 0,1 mm/rev ilerleme miktarında deneyleri tamamlayamadan kırılmıştır. Kesme hızı artmasına rağmen ortalama kuvvet değerleri 10 m/min kesme hızındaki değerlere yakındır. TiN ve TiAlN kaplı takımlardan farklı olarak kaplamasız matkaplarla yapılan üç deneyde tamamlanmıştır.

Kesme hızı 15 m/min'e çıkarıldığında Şekil 6.4.c'de görüldüğü gibi kuvvet değerleri üç farklı ilerleme miktarında da birbirine çok yakındır. Kuvvet dağılımı 10 m/min'deki ile benzer bir eğilim göstermektedir. Diğer kesme hızlarından farklı olarak üç farklı takımında da bu kesme hızında bütün deneyler tamamlanabilmiştir.

Kesme hızı 17,5 m/min'e çıkarıldığında Şekil 6.4.d'de görüldüğü gibi kuvvetlerde yine dalgalanmalar söz konusudur. TiAlN kaplamalı matkaplar bu kesme hızında üç farklı ilerleme miktarında da deneylerin yarısını bile tamamlayamadan kırılmıştır. Kaplamasız matkaplar ile diğer kesme hızlarında olduğu gibi bütün deneyler tamamlanabilmiştir. TiN kaplamalı matkap sadece 0,1 mm/rev ilerleme miktarında kırılmıştır. Genel olarak üç farklı takımında bütün ilerleme miktarlarında en iyi sonuç 15 m/min kesme hızında alınmıştır. Kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplı matkaplardan en iyi performans ise kaplamasız matkaplardan alınmıştır. Kaplamasız matkaplar ile yapılan bütün deneyler başarıyla tamamlanmıştır. Soğutma sıvısının kullanıldığı çalışmalarda [37-39], TiAlN kaplamalı matkaplar süper alaşımların delinmesinde iyi performans sergilemesine rağmen bu çalışmada en kötü sonuç bu kaplama malzemesinden alınmıştır. Özellikle kesme hızı 17,5 m/min'e çıkarıldığında bu

kaplamayla deneylerin yarısı dahi tamamlanamamıştır. Üç farklı takım arasında kesme kuvvetleri açısından iyiden kötüye doğru bir sıralama yapılacak olsa kaplamasız takım, TiN kaplı ve TiAlN kaplı takım şeklinde olur. Deneylerin tamamlanabilmesi açısından TiAlN kaplı takıma göre TiN kaplı takımın daha iyi performans sergilemesi, kaplama kalınlığının daha ince olması nedeniyle takım üzerinden hızla soyulup kaplamasız takım gibi davranması ile açıklanabilir.



Şekil 6.4. Farklı takımlarla kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim  
a) V=10 m/min, b) V=12,5 m/min, c) V=15 m/min, d) V=17,5 m/min

## 6.2. Deliklerin Daireselliğinin Değerlendirilmesi

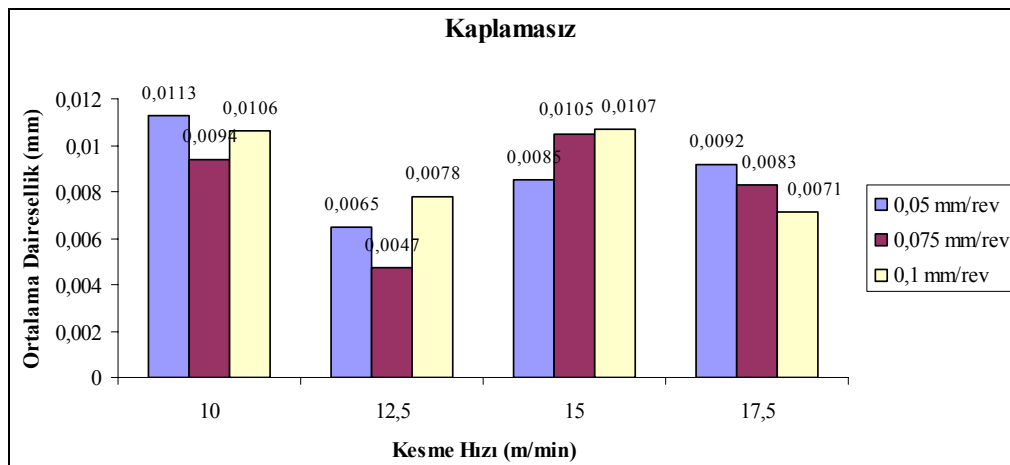
Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesinde olduğu gibi daireselliğin değerlendirilmesinde de kesici takımlar önce kendi içinde değerlendirilmiş daha sonra birbirleri ile mukayese edilmiştir. Dairesellik ölçüm değerleri EK-2'de çizelge



halinde verilmiştir. Bu çizelgedeki verilerden değerlendirmede kullanılan grafikler oluşturulmuştur.

### 6.2.1. Kaplamasız takımlarla delinen deliklerin daireselliğinin değerlendirilmesi

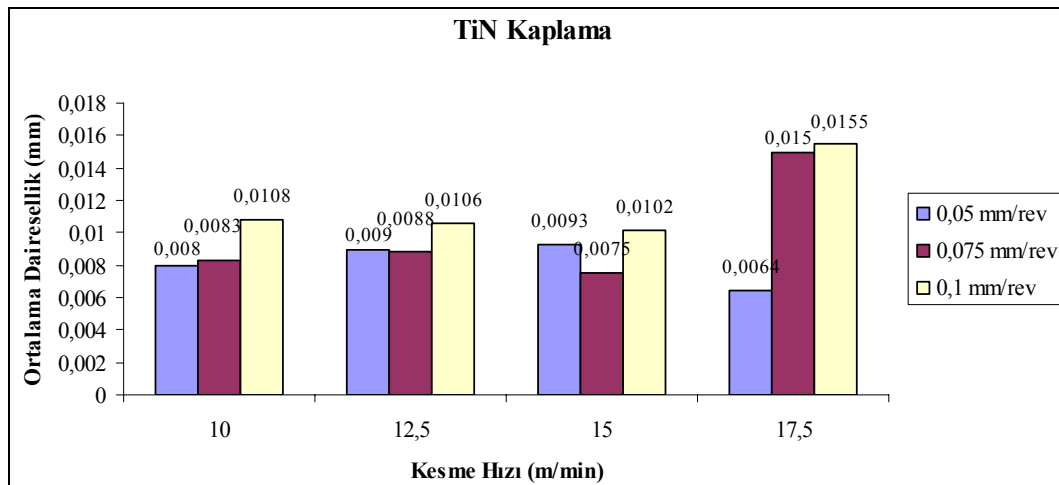
Şekil 6.5'deki grafikte kaplamasız matkapla delinen deliklerin farklı kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarındaki elde edilen ortalama dairesellik değerleri gösterilmektedir. 10 m/min kesme hızında ortalama dairesellik değerleri üç ilerleme miktarında da birbirine yakın olmakla birlikte en düşük 0,075 mm/rev'de olmuştur. Kesme hızı 12,5 m/min olduğunda dairesellik değerlerinde iyileşmenin meydana geldiği görülmektedir. Yine en düşük dairesellik değeri (0,0047 mm) ile 0,075 mm/rev'de olmuştur. Şekil 6.5'de görüldüğü gibi bütün kesme hızı değerleri içinde üç farklı ilerleme miktarında da en iyi sonuç 12,5 m/min'de alınmıştır. Bunun sebebi uygun kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında kesme işleminin daha kolay olması ve kesici takım üzerindeki yüklerin daha az olması ile izah edilebilir. Kesme hızı 15 m/min olduğunda değerlerde bir miktar artış olmuştur. En düşük değer 0,0085 mm, en düşük ilerleme miktarı olan 0,05 mm/rev'de olmuştur. 15 m/min ile 10 m/min'deki değerler birbirlerine yakındır. Kesme hızı 17,5 m/min olduğunda değerlerde bir miktar düşüş olmakla birlikte en düşük değer 0,1 mm/rev'de olmuştur. Aynı zamanda bu değer 0,1 mm/rev ilerleme miktarında elde edilen en düşük değerdir.



Şekil 6.5. Kaplamasız matkapla delinen deliklerin ortalama dairesellikten sapması

### 6.2.2. TiN kaplı takımlarla delinen deliklerin daireselliğinin değerlendirilmesi

TiN kaplı takım ile delinen deliklerin dairesellik değerlerine baktığımızda 10 m/min'de en düşük dairesellik değeri 0,05 ve 0,075 mm/rev ilerleme miktarlarında olmuştur (Şekil 6.6). Kesme hızı 12,5 m/min olduğunda, dairesellik değerlerinde hemen hemen değişim olmamıştır. 10 m/min'de olduğu gibi en yüksek dairesellik değeri 0,1 mm/rev ilerleme miktarındadır. Kesme hızı 15 m/min olduğunda dairesellik değerlerinde yine fazla bir değişim olmamıştır. En düşük değer 0,075 mm/rev ilerleme miktarında elde edilmiştir. 10, 12,5 ve 15 m/min kesme hızlarında dairesellik değerleri üç farklı ilerleme miktarında da hemen hemen aynı olmuştur. Ancak kesme hızı 17,5 m/min olduğunda 0,075 ve 0,1 mm/rev ilerleme miktarlarındaki dairesellik değerlerinde büyük bir artış olmuştur. Bütün ilerleme miktarı ve kesme hızı kombinasyonlarındaki en düşük dairesellik değeri (0,0064 mm), 17,5 m/min kesme hızında elde edilmiştir.

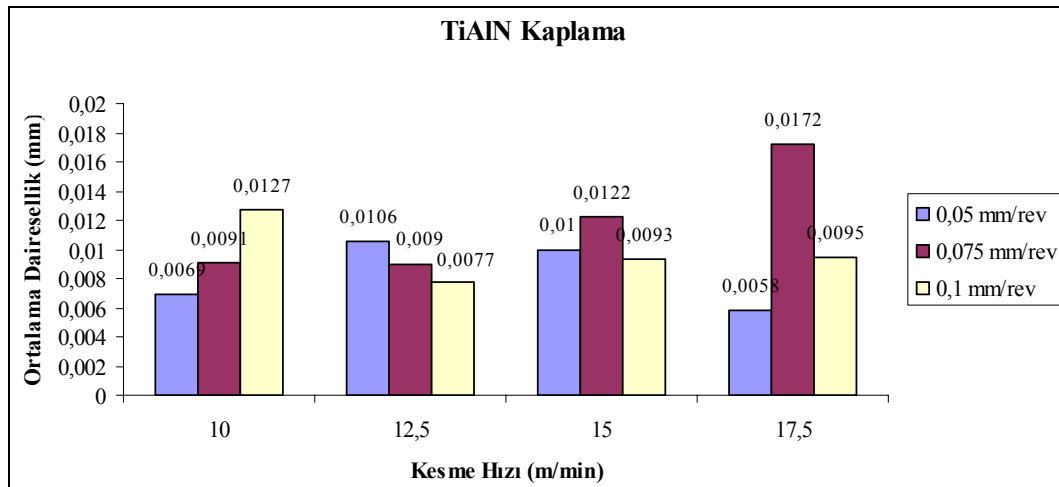


Şekil 6.6. TiN kaplı matkapla delinen deliklerin ortalama dairesellikten sapması

### 6.2.3. TiAlN kaplı takımlarla delinen deliklerin daireselliğinin değerlendirilmesi

TiAlN kaplı takım da 10 m/min kesme hızında dairesellik değerleri ilerleme miktarı arttıkça artmıştır (Şekil 6.7). Kesme hızı 12,5 m/min olduğunda ise durum tam tersine dönmüştür. Bu kesme hızında ilerleme miktarı arttıkça dairesellik değerleri

azalmıştır. Ancak 0,075 mm/rev ilerleme miktarındaki dairesellik değeri değişmemiştir. Kesme hızına bağlı olarak değişimin ters yönde olması, kesme hızı arttığında ilerleme miktarında aynı oranda artması diğer bir deyişle kesme hızı ve ilerleme miktarı uyumunun etkisinden kaynaklandığı söylenebilir. Diğer takımlarda olduğu gibi TiAlN kaplı takım da en değişken dairesellik değerleri 17,5 m/min kesme hızında elde edilmiştir. En küçük dairesellik değeri 0,0058 mm olup, 0,05 mm/rev ilerleme miktarında elde edilmiştir. TiN ve TiAlN kaplı takımlarda en düşük dairesellik değeri kesme hızının en yüksek ilerleme miktarının en düşük olduğu kombinasyonda olmuştur. Bunun sebebi yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarlarında kesme sırasında sürtünmenin daha fazla olmasına bağlı olarak kaplamalı takımların düşük sürtünme katsayılarından dolayı sürtünmeden daha az etkilenmiş olması ile açıklanabilir.

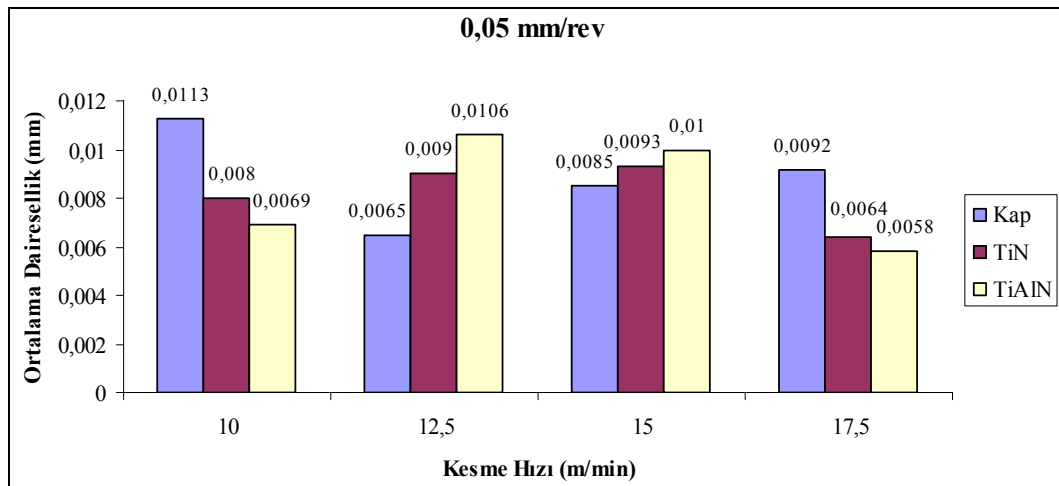


Şekil 6.7. TiAlN kaplı matkapla delinen deliklerin ortalama dairesellikten sapması

#### 6.2.4. Dairesellikten sapmanın genel değerlendirmesi

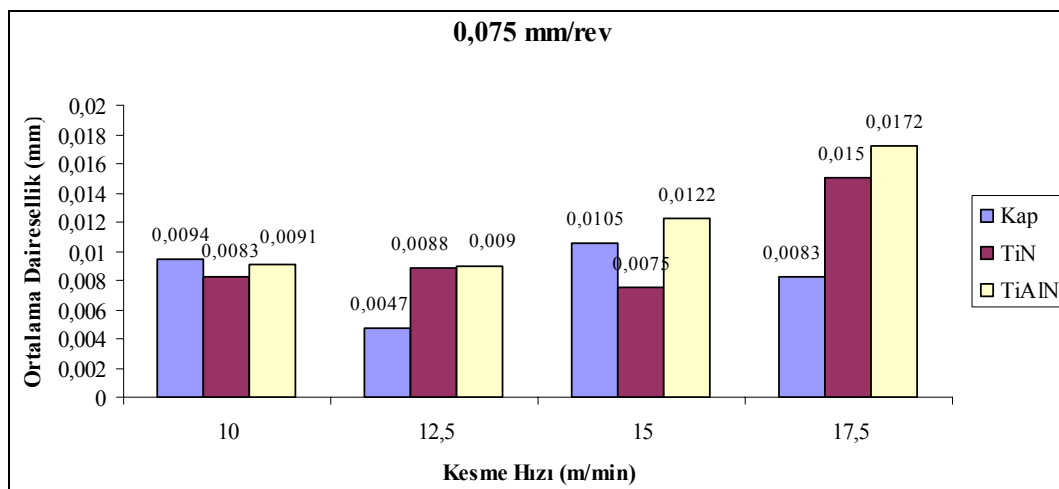
Bölüm 6.2.1-Bölüm 6.2.3'te TiN, TiAlN ve kaplamasız takımlar kendi içinde farklı ilerleme miktarı ve kesme hızı kombinasyonlarındaki, dairesellikten sapma değerlerinde meydana gelen değişimler açısından değerlendirilmiştir. Bu bölümde ise üç takım birbirleri ile dairesellikten sapma değerleri bakımından karşılaştırılmıştır. Öncelikli olarak 0,05 mm/rev ilerleme miktarındaki değerlere bakıldığında (Şekil

6.8), 10 m/min kesme hızında dairesellik değeri en düşük TiAlN kaplamada en yüksek kaplamasız takımda olmuştur. Aynı zamanda bu değer (0,0113 mm), bu ilerleme miktarında, bütün kesme hızlarında elde edilen en büyük değerdir. Kesme hızı 12,5 m/min olduğunda durum tam tersine dönmüştür. En düşük değer kaplamasız takımda en büyük değer ise TiAlN kaplı takımda olmuştur. Her iki kesme hızında da TiN ortada yer alıp, çok fazla değişim göstermemiştir. Kesme hızı 15 m/min olduğunda kaplamalar arasındaki değişim 12,5 m/min olduğu gibidir. Diğer bir deyişle en düşük dairesellik değeri kaplamasız takımda en yüksek TiAlN kaplı takımda olmuştur. Kesme hızı 17,5 m/min olduğunda kaplamalar arasındaki değişim 10 m/min'de olduğu gibi ters yönde, en yüksek kaplamasız takımda en düşük ise TiAlN kaplı takımda olmuştur. Dört kesme hızında da TiN kaplı takım ortada yer alıp dairesellik değerinde çok fazla değişim göstermemiştir. TiN ve TiAlN kaplamalı takımlarda en düşük değer 17,5 m/min kesme hızında elde edilmiş olup bu değerler 0,0064 ve 0,0058 mm'dir. Genel olarak 0,05 mm/rev ilerleme miktarında kaplamasız takımda en iyi sonuç 12,5 m/min kesme hızında, TiN ve TiAlN kaplı takımda 17,5 m/min kesme hızında elde edilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi bunun sebebi kaplamalı takımların sürtünme katsayılarının kaplamasız takıma göre daha düşük olmasından kaynaklandığı söylenebilir.



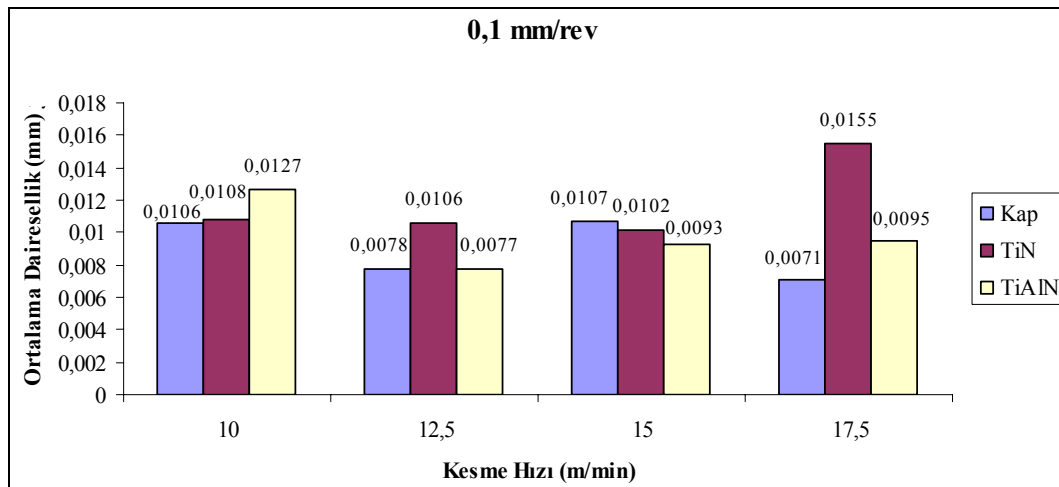
Şekil 6.8. 0,05 mm/rev ilerleme miktarında üç farklı takımla delinen deliklerin kesme hızına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri

0,075 mm/rev ilerleme miktarında 0,05 mm/rev’de olduğu gibi kaplamalara bağlı olarak değişimin yönü 10, 12,5 ve 15 m/min’de hemen hemen aynı olup 17,5 m/min’de tam tersi yönde olmuştur (Şekil 6.9). 0,05 mm/rev ilerleme miktarında olduğu gibi TiN kaplı takım bütün kesme hızı değerlerinde ortada yer almıştır. Aynı şekilde kaplamasız takımla en düşük dairesellik değeri (0,0047 mm) yine 12,5 m/min kesme hızında elde edilmiştir. Bu ilerleme miktarında 0,05 mm/rev ilerleme miktarından farklı olarak 17,5 m/min kesme hızında TiN ve TiAlN kaplı takımların kendi içinde ayrı ayrı dairesellik değerlerinin en düşük olmadığı aksine en büyük olduğu tespit edilmiştir. Bunun, aynı kesme hızında artan ilerleme miktarının kaplamalı takımlar üzerindeki negatif etkisinden kaynaklandığı söylenebilir. TiN kaplı takımda en düşük dairesellik değeri 15 m/min kesme hızında TiAlN kaplı takımda ise 12,5 m/min kesme hızında elde edilmiştir. Bu ilerleme miktarı ile bütün kesme hızı kombinasyonlarında en düşük değer kaplamasız takımda elde edilmiştir. Oysa 0,05 mm/rev ilerleme miktarında en düşük değer TiAlN kaplı takımda elde edilmiştir. Bu fark, yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarlarında kaplamalı takımın oluşan sürtünmelere daha dayanıklı olması ancak aşınmanın, kaplama tabakasının kalkması sonucu hızla artarak takımın deneyleri tamamlayamadan kırılması ile izah edilebilir. Çünkü kaplamasız takımda aşınma düzenli bir şekilde arttığından deneyler tamamlanabilmekte ancak elde edilen delik kalitesi düşmektedir. Genel olarak dairesellik değerleri 0,05 mm/rev’dekenden daha düşüktür.



Şekil 6.9. 0,075 mm/rev ilerleme miktarında üç farklı takımla delinen deliklerin kesme hızına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri

İlerleme miktarı 0,1 mm/rev olduğunda üç kaplamada da ortalama dairesellik değerlerinde artış olduğu görülmektedir (Şekil 6.10). 0,05 ve 0,075 mm/rev ilerleme miktarlarında bütün kesme hızlarında ortada yer alan TiN kaplı takım bu ilerleme miktarında artış özelliği göstermemiştir. Genel olarak ortalama dairesellik değerleri 0,1 mm/rev’de yüzdeli değerlere ulaşmıştır. 0,05 ve 0,075 mm/rev ilerleme miktarlarının her ikisinde de en düşük değere (0,0065-0,0047 mm) 12,5 m/min’de sahip olan kaplamasız takım, 0,1 mm/rev ilerleme miktarında en düşük değere (0,0071 mm) 17,5 m/min’de sahip olmuştur. TiN kaplı takımında en düşük değer (0,0102 mm) 15 m/min kesme hızında, TiAlN kaplı takımında ise (0,0077 mm) 12,5 m/min kesme hızında olmuştur. Genel olarak dairesellik değerleri bu ilerleme miktarında daha yüksek olmuştur. Yüksek ilerleme miktarlarında yapılan kesme işlemlerinde takım üzerindeki mekanik ve kimyasal yüklerin artmasına bağlı olarak elde edilen değerlerin istenilen nitelikte olmaması beklenen bir durumdur.



Şekil 6.10. 0,1 mm/rev ilerleme miktarında üç farklı takımla delinen deliklerin kesme hızına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri

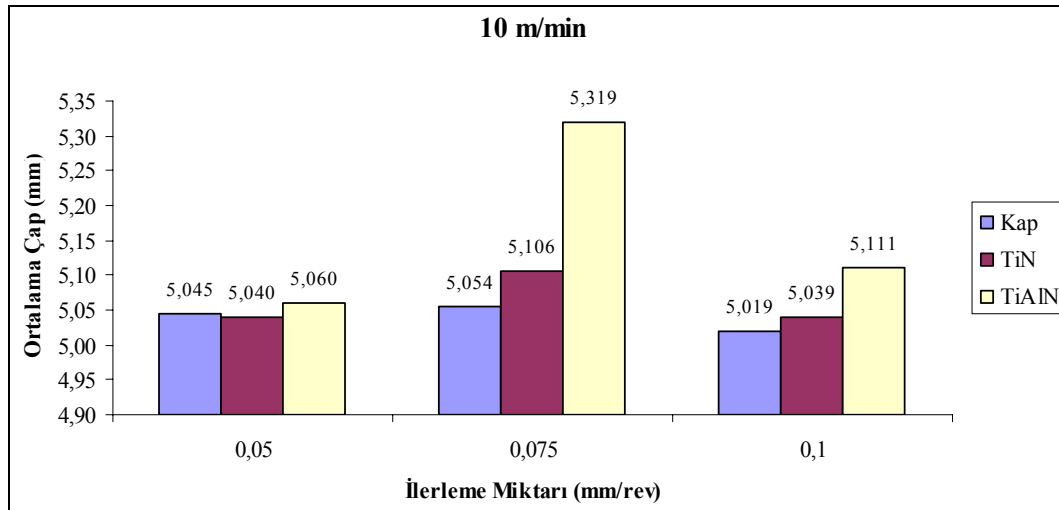
Genel bir değerlendirme yapılacak olursa TiN ve TiAlN kaplı takımında en düşük değerler (0,0064-0,0058 mm) 0,05 mm/rev ilerleme miktarında kaplamasız takımında ise (0,0047 mm) 0,075 mm/rev ilerleme miktarında elde edilmiştir. Diğer kesme hızlarında olduğu gibi 17,5 m/min kesme hızında da dairesellik değerleri için ilerleme miktarının önemli bir parametre olduğu anlaşılmakta ve ilerleme miktarına bağlı olarak artmaktadır. Kaplamasız takımında 0,075 ve 0,1 mm/rev ilerleme

miktarlarında en düşük değerler 12,5 m/rev kesme hızında elde edilmiştir. Artan kesme hızı ve ilerleme miktarlarında kaplamasız takımlardan daha iyi sonuç alınmıştır. Düşük ilerleme miktarı ve yüksek kesme hızlarında TiN ve TiAlN kaplı takımlar daha iyi sonuçlar sergilemiştir.

### 6.3. Delik Çaplarının Değerlendirilmesi

Delik çaplarının değerlendirilmesi, her kesme hızında üç farklı ilerleme miktarına bağlı olarak kesici takımlardan elde edilen değerlerin birbiri ile mukayesesi yoluyla yapılmıştır. Deneylerden elde edilen deliklerin çap değerleri EK-3'te çizelge halinde verilmiştir. Bu çizelgedeki veriler değerlendirilerek grafikler oluşturulmuştur.

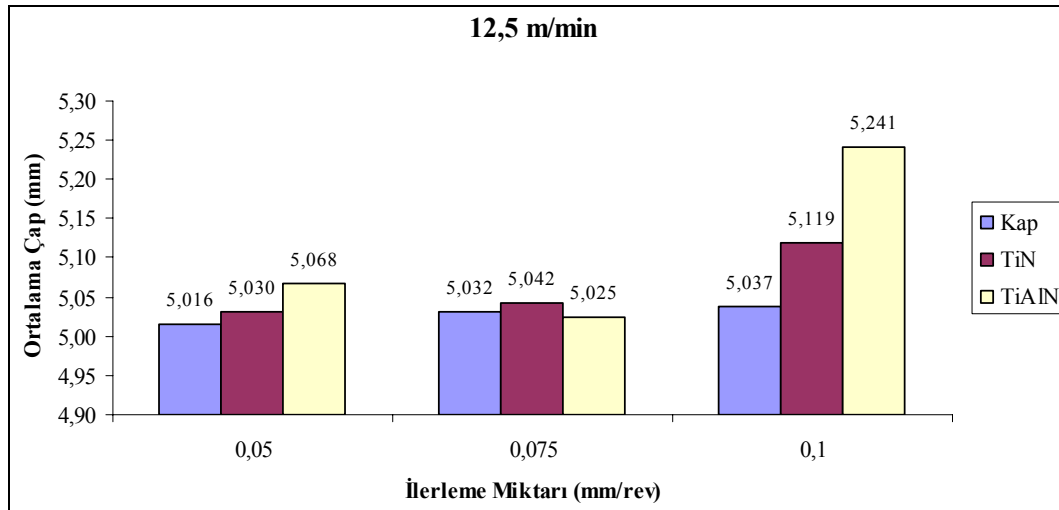
Şekil 6.11'de 10 m/min kesme hızındaki ilerleme miktarına bağlı olarak üç takım ile delinen deliklerin ortalama çap değişimleri gösterilmektedir. En düşük ilerleme miktarı olan 0,05 mm/rev'de, üç takım için de ortalama çap değerleri birbirine çok yakındır. En düşük çap değeri, 5,040 mm ile TiN kaplı takımda elde edilmiştir. Bu ilerleme miktarında ortalama olarak çaptan 50 mikronluk bir sapma olmuştur. İlerleme miktarı 0,075 mm/rev olduğunda kaplamasız takımda fazla bir değişim olmamakla birlikte TiN özellikle TiAlN kaplı takımda, çapta büyük artış görülmüştür. Bu değişim EK-5'deki grafiklerden daha iyi görülebilir. Delinen her deliğin çap değeri EK-5'deki grafiklerde ayrı ayrı verilmiştir. Çap değerlerinin özellikle beşinci delikten sonra takım aşınmasına bağlı olarak hızlı bir artış gösterdiği EK-5 'deki grafiklerden açıkça görülmektedir. Bazı deneylerde daha ilk delikte matkabın uç profilini değiştirecek bir aşınma yada çatlama meydana gelmiş ve bundan dolayı da takip eden deliklerde çap artışı olmuştur. Ancak üç farklı takım da delinen ilk deliklerin çap değerleri birbirine çok yakındır. 10 m/min kesme hızında en küçük çap değerlerinin elde edildiği ilerleme miktarı 0,1 mm/rev'dir. Bu kesme hızında üç farklı ilerleme miktarında da en kararlı çap değerleri kaplamasız takım daha sonra TiN ve TiAlN kaplamalı takımlardan elde edilmiştir.



Şekil 6.11. 10 m/min kesme hızında üç farklı takımla delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama çap değerleri

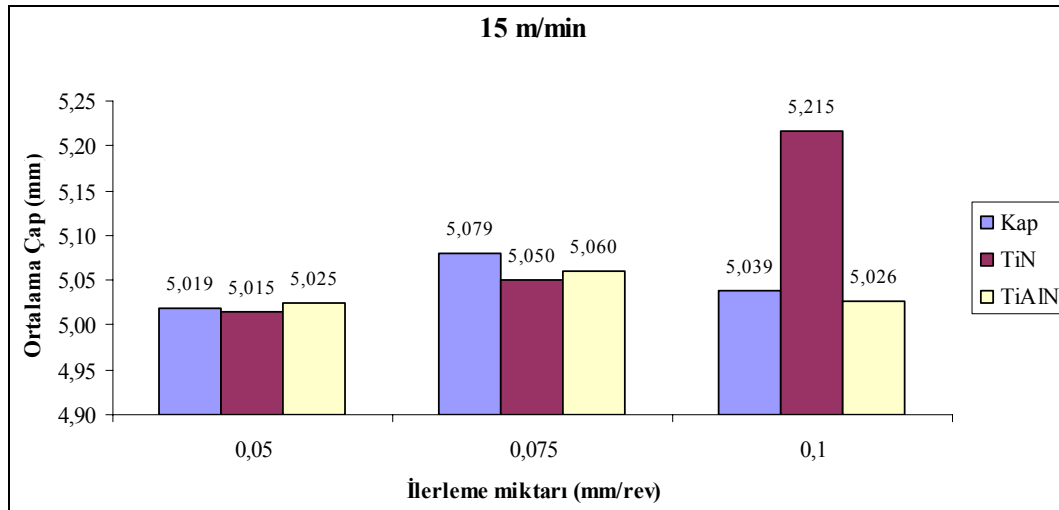
Kesme hızı 12,5 m/min olduğunda kaplamasız ve TiN kaplı takımla delinen deliklerde en düşük çap değerleri (5,016-5,030 mm) 0,05 mm/rev'de elde edilmiştir (Şekil 6.12). İlerleme miktarına bağlı olarak çap değerleri artmıştır. 0,05 ve 0,075 mm/rev ilerleme miktarlarında üç takım da çap değerlerinde sapma 50 mikron ve altındadır. Ancak ilerleme miktarı 0,1 mm/rev olduğunda kaplamasız takım da fazla olmamakla birlikte TiN ve TiAlN kaplı takım da artış olmuştur. Bu artışın TiN kaplı takım ile delinen deliklerde 6. delikten sonra TiAlN kaplı takım ile delinen deliklerde 5. delikten sonra başladığı Ek-5 'teki grafiklerde gösterilmiştir. 12,5 m/min kesme hızında en iyi sonuç yine kaplamasız takımdan alınmıştır. Kaplamasız takım üç farklı ilerleme miktarında da kararlılığını sürdürmüştür. TiAlN kaplı takım da 10 m/min kesme hızında en büyük değer 0,075 mm/rev ilerleme miktarında iken kesme hızı 12,5 m/min olduğunda durum tam tersine dönmüş en düşük değer bu ilerleme miktarında elde edilmiştir. Dolayısıyla iki kesme hızında da en kararsız sonuçlar TiAlN kaplı takım ile elde edilmiştir. Bu kararsızlığın sebebi kaplama kalınlığı ile izah edilebilir. Kaplama kalktıkça takım kaplamasız takım gibi davranmaya başlar. TiN'de kaplama kalınlığının TiAlN'deki kaplama kalınlığının yarısı kadar olması sebebiyle kaplama daha kolay kalkmakta ve takım kaplamasız takım gibi davranmaktadır. Ancak TiAlN'de kaplama kalınlığının fazla olması sebebiyle kaplama tabakasının daha düzensiz kalktığı söylenebilir.





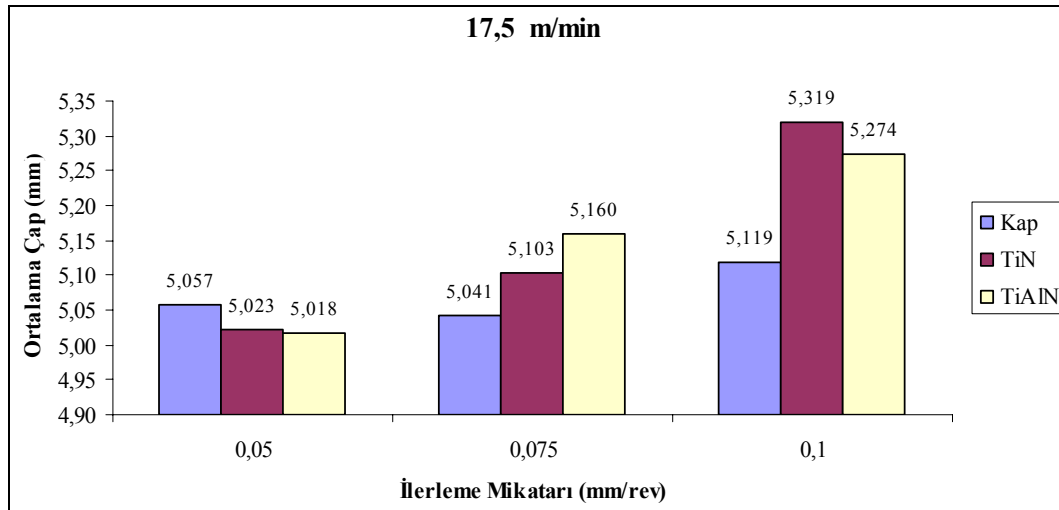
Şekil 6.12. 12,5 m/min kesme hızında üç farklı takım ile delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama çap değerleri

Kesme hızı 15 m/min olduğunda üç farklı takım da en düşük çap değerleri 0,05 mm/rev'de elde edilmiştir (Şekil 6.13). Üç takım da çap farkı 25 mikronun altındadır. Ancak bu üç değerde nominal çap (5mm)'den büyüktür. İlerleme miktarı 0,075 mm/rev olduğunda ortalama çap değerlerinde bir miktar artış olmuştur. TiN kaplı takım ile delinen deliklerin çap değerleri 0,05 ve 0,075 mm/rev'de en düşük iken 0,1 mm/rev'de büyük bir artış göstermiş ve ilk sırada yer almıştır. Bu artışın 4. delikten sonra olmaya başladığı EK-5'te görülmektedir. Eğer dördüncü delikten sonra meydana gelen artış dikkate alınmasa 15 m/min kesme hızında üç ilerleme miktarında da üç farklı takımında çap değerleri birbirine yakın olacaktır. Genel olarak bu kesme hızında çap değerleri bakımından iyiden kötüye doğru takımların bir sıralaması yapılacak olursa, kaplamasız takım, TiAlN ve TiN kaplı takım şeklinde sıralanabilir. Daha öncede belirtildiği gibi 15 m/min kritik kesme hızı değeri, diğer bir deyişle optimum kesme hızı değeri olduğundan bu kesme hızında üç farklı ilerleme değerinde de kesici takım farkına rağmen delinen deliklerin çap değerleri birbirine yakındır. Buradan optimum kesme hızı ve ilerleme miktarı tespitinin önemi bir kez daha anlaşılmaktadır.



Şekil 6.13. 15 m/min kesme hızında üç farklı takım ile delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama çap değerleri

Kesme hızı 17,5 m/min olduğunda 10 ve 15 m/min'de olduğu gibi TiN ve TiAlN kaplı takımın en düşük çap değerleri 0,05 mm/rev'de elde edilmiştir (Şekil 6.14). Bu ilerleme miktarında en büyük çap ölçüsüne kaplamasız takım sahipken, ilerleme miktarı 0,075 mm/rev olduğunda kaplamasız takımın çap ölçüsü düşmüş diğer takımlar da ise artmıştır. İlerleme miktarına bağlı çap değişimlerine bakıldığında yine en kararlı özelliği kaplamasız takım göstermiştir. İlerleme miktarı 0,1 mm/rev olduğunda diğer kesme hızlarında olduğu gibi çap değerlerinde büyük bir artış olmuştur. EK-5'deki grafiklere bakıldığında TiN ve TiAlN kaplı takımların deneyleri tamamlayamadan kırıldığı görülecektir. Yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında takım üzerindeki yüklerin artması, yüksek miktarda ısı oluşması buna bağlı olarak kesme işleminin zor olması özellikle kuru kesme şartlarında talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılmasının güçlüğü göz önüne alındığında elde edilen çap değerlerinin istenilen nitelikte olmaması beklenen bir durumdur. Ancak yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarında delik çap değerlerinin iyi olması, kesici takımın malzemeye dalma hızının yavaş olmasına bağlı olarak birim zamanda kaldırılan talaş miktarının daha az olması sonucu kesme işleminin daha iyi olması ile açıklanabilir.



Şekil 6.14. 17,5 m/min kesme hızında üç farklı takım ile delinen deliklerin ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama çap değerleri

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa bütün kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında çap değeri bakımından en iyi sonuç kaplamasız takımlardan alınmıştır. Bütün kesme hızlarında üç takım da en düşük çap değerlerinin alındığı ilerleme miktarı 0,05 mm/rev'dir. Genel olarak ilerleme miktarı arttıkça çap değerleride artmıştır. Kesme hızları içinde ise en iyi sonuç üç ilerleme miktarında da 15 m/min'de olmuştur. En büyük çap değerlerinin alındığı ilerleme miktarı ise 0,1 mm/rev'dir. Bütün kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında elde edilen çap değerleri nominal çaptan daha büyük olmuştur.

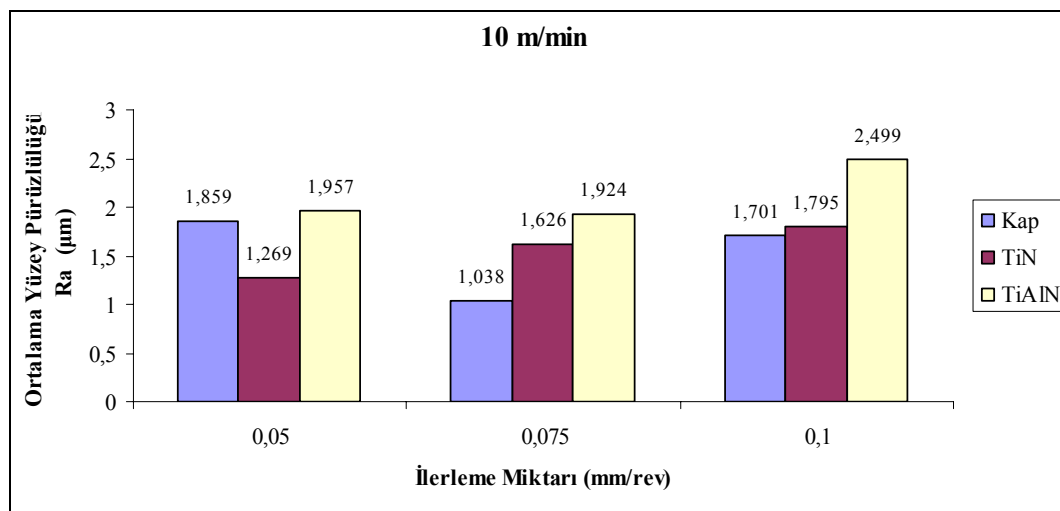
#### 6.4. Delik Yüzeylerinde Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi, her kesme hızında üç farklı ilerleme miktarına bağlı olarak kesici takımlardan elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin birbiri ile mukayesesi yoluyla yapılmıştır. Değişik delme şartlarında yapılan deneyler neticesinde elde edilen deliklerin, yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları EK-4'te çizelge halinde verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi için oluşturulan grafiklerde, her deneyde elde edilen deliklerin yüzeylerinden alınan (Ra) değerlerinin ortalaması esas alınmıştır.

Şekil 6.15’de 10 m/min kesme hızında ilerleme miktarına bağlı olarak üç farklı takımın yüzey pürüzlülük değerlerinin birbiri ile mukayesesi görülmektedir. Bu kesme hızı ve 0,05 mm/rev ilerleme miktarına bakıldığında, kaplamasız ve TiAlN kaplı takımın pürüzlülük değerleri birbirine yakın olmakla birlikte en düşük değer (1,269  $\mu\text{m}$ ) TiN kaplı takımla delinen deliklerden elde edilmiştir.

İlerleme miktarı 0,075 mm/rev olduğunda en küçük pürüzlülük değeri (1,038  $\mu\text{m}$ ) kaplamasız takımda en büyük değerse (1,924  $\mu\text{m}$ ) TiAlN kaplı takımda elde edilmiştir. Bu ilerleme miktarında kaplamasız takımdan TiAlN kaplı takıma doğru bir artış eğilimi vardır.

İlerleme miktarı 0,1 mm/rev olduğunda 0,075 mm/rev’de olduğu gibi üç takım arasındaki artış eğilimi kaplamasız takımdan TiAlN kaplı takıma doğrudur. Bu ilerleme miktarında bir önceki ilerleme miktarına göre en büyük artışı kaplamasız takım daha sonra TiAlN kaplı takım göstermiştir. 10 m/min kesme hızında 0,075 ve 0,1 mm/rev ilerleme miktarlarında en iyi sonuç kaplamasız takımdan alınmıştır. TiN kaplı takımla delinen deliklerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin TiAlN kaplı takıma göre daha düşük olması, TiN kaplamanın daha düşük sürtünme katsayısına sahip olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

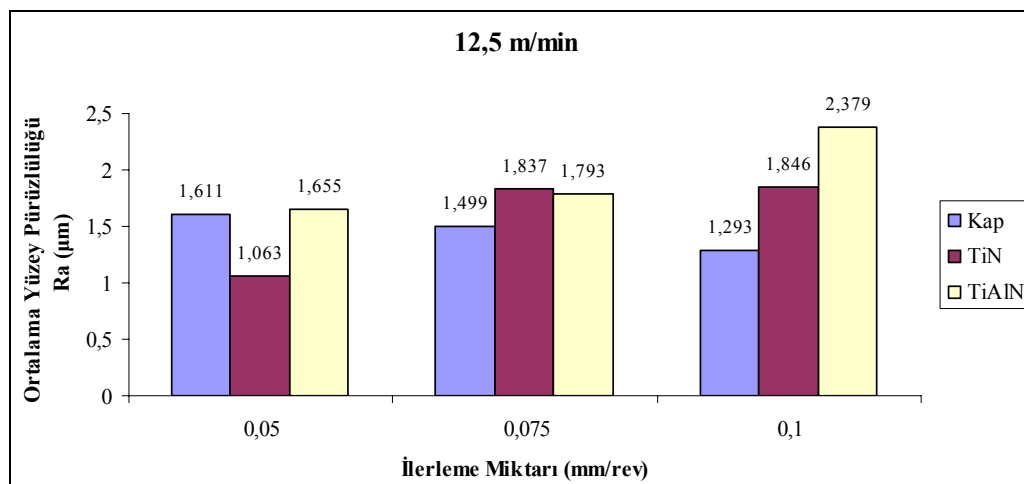


Şekil 6.15. 10 m/min kesme hızında üç farklı takımla delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

Kesme hızı 12,5 m/min olduğunda (Şekil 6.16) 0,05 mm/rev ilerleme miktarında, 10 m/min kesme hızında olduğu gibi en düşük pürüzlülük değeri (1,063  $\mu\text{m}$ ) TiN kaplı takımda elde edilmiştir. Yine kaplamasız ve TiAlN kaplı takımın yüzey pürüzlülük değerleri birbirine yakındır. Düşük ilerleme miktarında TiN kaplamanın yüzey yağlama özelliğinden dolayı elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri daha iyidir.

İlerleme miktarı 0,075 mm/rev olduğunda en düşük değer kaplamasız takımda elde edilmiştir. TiN ve TiAlN kaplı takımda artış meydana gelirken, kaplamasız takımda düşüş olmuştur. Bir önceki ilerleme miktarına göre en büyük artış TiN kaplı takımda olmuştur.

İlerleme miktarı 0,1 mm/rev olduğunda artış eğilimi kaplamasız takımdan TiAlN kaplı takıma doğrudur. Bir önceki ilerleme miktarına göre en büyük artış TiAlN kaplı takımda olmuştur. Bu kesme hızındaki yüzey pürüzlülüğü değerleri, kaplamasız takımda artan ilerleme miktarlarında düşüş gösterirken TiN ve TiAlN kaplı takımlarda artış göstermiştir. Kaplamalı takımlarda, yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarlarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin daha yüksek çıkmasının kaplama tabakasındaki dökülmelerden kaynaklandığı söylenebilir. İyiden kötüye doğru yüzey pürüzlülük değerleri açısından takımlar arasında bir sıralama yapılacak olursa, kaplamasız takım, TiN ve TiAlN kaplı takım şeklinde sıralanabilir.

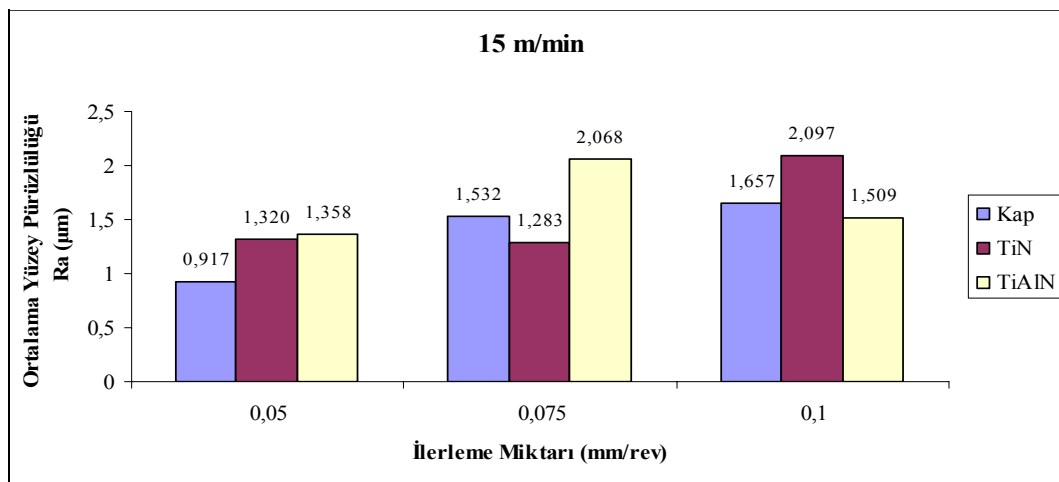


Şekil 6.16. 12,5 m/min kesme hızında üç farklı takımla delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

Şekil 6.17'den görüldüğü gibi, kesme hızı 15 m/min olduğunda, diğer kesme hızlarından farklı olarak 0,05 mm/rev ilerleme miktarındaki yüzey pürüzlülük değerlerine bakıldığında en düşük değer kaplamasız takım ile delinen deliklerden elde edilmiştir. TiN ve TiAlN kaplı takımın değerleri birbirine yakın olmakla birlikte artış eğilimi kaplamasız takımdan TiAlN kaplı takıma doğru olmuştur.

İlerleme miktarı 0,075 mm/rev olduğunda bir önceki ilerleme miktarına göre TiN kaplı takımda düşüş olurken kaplamasız ve TiAlN kaplı takımlarda artış olmuştur. En büyük artış TiAlN kaplı takımda olmuştur. En düşük değer 1,283  $\mu\text{m}$ 'la TiN kaplı takımda elde edilmiştir.

İlerleme miktarı 0,1 mm/rev olduğunda bir önceki ilerleme miktarında en düşük değere sahip olan TiN kaplı takım ile delinmiş delikler bu ilerleme miktarında en büyük artışla ilk sırada yer almıştır. 1,509'luk Ra ile TiAlN kaplı takım en düşük değeri sergilemiştir. Genel olarak bu kesme hızında ilerleme miktarına bağlı olarak kaplamasız takım ile elde edilen deliklerde yüzey pürüzlülüğü sürekli bir artış göstermiştir. Bu kesme hızı için takımlar arasında iyiden kötüye doğru bir sıralama yapılacak olursa kaplamasız takım, TiN ve TiAlN kaplı takım şeklinde sıralanabilir. Yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında yüzey pürüzlülük değerlerinde artış olmuş ancak bu değerler delmede beklenen değerlere yakındır.

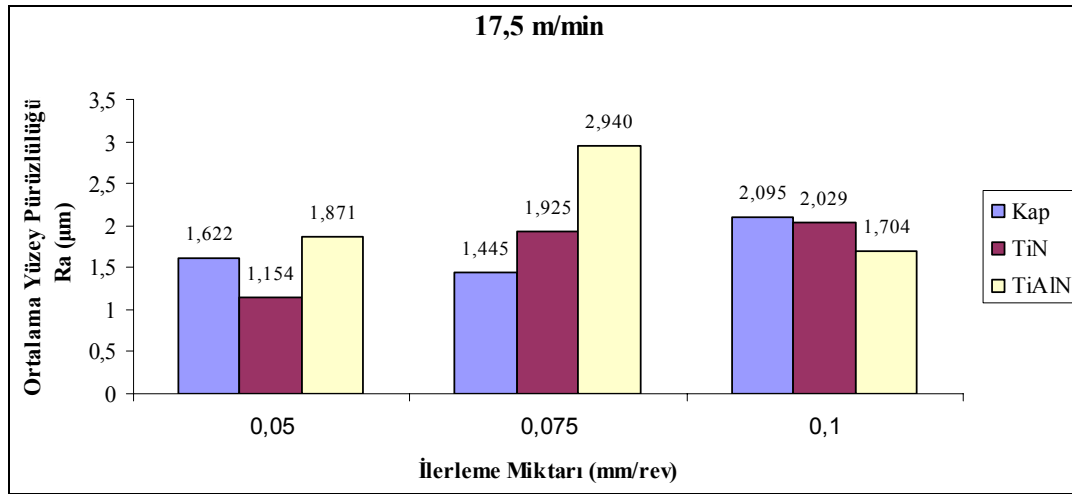


Şekil 6.17. 15 m/min kesme hızında üç farklı takım ile delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

0,05 mm/rev ilerleme miktarında, 15 m/min hariç diğer kesme hızlarında olduğu gibi 17,5 m/min kesme hızında da en düşük yüzey pürüzlülük değeri TiN kaplı takım ile elde edilmiştir (Şekil 6.18). Bu ilerleme miktarında, diğer kesme hızlarında olduğu gibi bu kesme hızında da en yüksek pürüzlülük değeri TiAlN kaplı takım ile elde edilmiştir. Düşük ilerleme miktarında TiN kaplı takım ile elde edilen pürüzlülük değerlerinin daha iyi olması, bu ilerleme miktarında kaplamanın kalkmamasına bağlı olarak düşük sürtünme katsayısından kaynaklandığı söylenebilir.

İlerleme miktarı 0,075 mm/rev olduğunda 1,445  $\mu\text{m}$ 'la en düşük değer kaplamasız takım ile elde edilmiştir. Bütün kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonları içinde TiAlN kaplı takımın en yüksek yüzey pürüzlülük değeri bu kesme hızı ve ilerleme miktarında meydana gelmiştir. Artış eğilimi kaplamasız takım ile elde edilen değerlerden TiAlN kaplı takım ile elde edilen değerlere doğrudur. Bir önceki ilerleme miktarına göre kaplamasız takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerinde azalma olurken, TiN ve TiAlN kaplı takım ile elde edilen değerlerde artış meydana gelmiştir.

0,1 mm/rev ilerleme miktarında ise artış eğilimi TiAlN kaplı takımdan kaplamasız takıma doğrudur. Kaplamasız takım bu kesme hızı için de, en düşük değerine bu ilerleme miktarında sahip olmuştur. Genel olarak bu kesme hızında TiN kaplı takımın yüzey pürüzlülük değerleri ilerleme miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. Diğer kesme hızlarında olduğu gibi ortalama olarak bu kesme hızında da ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından üç takım arasında iyiden kötüye doğru sıralama yapılırsa kaplamasız takım, TiN ve TiAlN kaplı takım şeklinde sıralanabilir. Yüksek kesme hızlarında kesici takım üzerinde aşınmaların daha hızlı olması buna bağlı olarak sürtünmenin artması, talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılmasının zor olması gibi nedenlerden dolayı yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek çıkması beklenen bir durumdur.



Şekil 6.18. 17,5 m/min kesme hızında üç farklı takımla delinen deliklerde ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

Yüzey pürüzlülüğünün genel bir değerlendirilmesi yapılacak olursa en iyi sonuçlar kaplamasız takımla delinen deliklerden alınmıştır. 15 m/min kesme hızı hariç diğer kesme hızlarının hepsinde de 0,05 mm/rev ilerleme miktarında, TiN kaplı takımdan alınan sonuçlar daha iyidir. Düşük ilerleme miktarlarında TiN kaplı takım iyiye orta ilerleme miktarlarında kaplamasız takım daha iyidir. Yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarlarında ise TiAlN kaplı takımdan alınan sonuçlar daha iyidir. TiAlN kaplamanın yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarlarında düzensiz bir şekilde kalkması sonucu takımın kırılması daha çabuk olmaktadır. Diğer bir deyişle kaplamanın kalkmasıyla takımın kırılması bir olmaktadır. Bu nedenle delinen deliklerde kaplama tabakasının etkisiyle elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin daha iyi olduğu söylenebilir. Yüzey pürüzlülüğü açısından üç takım arasında bütün kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonları için iyiden kötüye doğru sıralama yapacak olursak kaplamasız takım, TiN ve TiAlN kaplı takım şeklinde olur.

### 6.5. Talaş Oluşumunun Değerlendirilmesi

Delme deneyleri sırasında talaş karakteristiğini belirlemek için yapılan her deney sırasında bir miktar talaş örneği alınmıştır. EK-6, EK-7 ve EK-8'de deneylerde delinen her delikten alınmış talaş örneklerinin tamamı verilmiştir. Genel olarak talaş oluşumu incelendiğinde yapılan bütün deneylerde, ilk delikte meydana gelen talaş



formunun kesik kesik ya da küçük adımlı helisel talaş şeklinde olduğu görülmüştür. Bu form, bir deneyi meydana getiren ilk birkaç delikten sonra takım aşınmasında etkisiyle şekil değiştirerek büyük adımlı sürekli helisel talaş formuna dönüşmüştür. Şekil 6.19'da bir deneydeki ilk, orta ve son delikten alınan talaş örnekleri görülmektedir. Ayrıca ilk deliklerdeki talaş formları daha sünek yapıda iken son deliklere doğru daha sert ve kırılğan bir yapıya büründüğü görülmüştür. Kesme hızı ve ilerleme miktarlarının talaş oluşumu ve değişimi üzerindeki etkisi EK-6, EK-7 ve EK-8'deki talaş örneklerinden görülebilir.



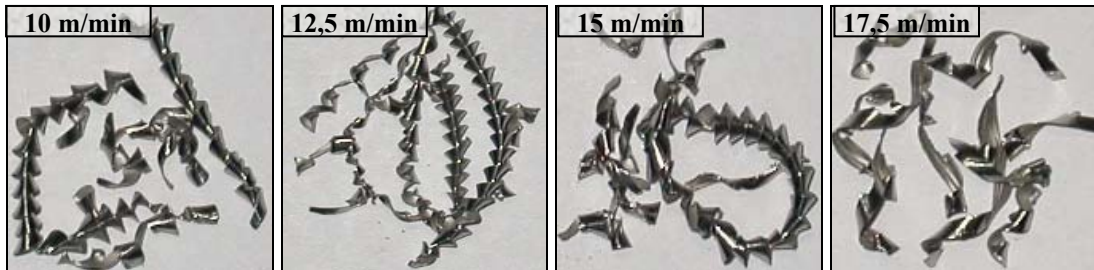
Şekil 6.19. Bir takım ile yapılan deneyde ilk delik, ortadaki ve son delikten alınan talaş örnekleri

Yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında, özellikle deneyi tamamlayamadan kırılan takımlardan alınan talaş örneklerine bakıldığında büyük adımlı ve testere dişi şeklinde talaş formu meydana gelmiştir. Şekil 6.20'de 17,5 m/min kesme hızı ve 0,1 m/rev ilerleme miktarlarında üç takımdan alınan talaş örnekleri görülmektedir. Talaş örneklerinden, talaş oluşumunun zor şartlar altında meydana geldiği yüksek kesme kuvvetleri ve ısının oluştuğu, bunlara bağlı olarak talaş formunun düzensiz olduğu görülmektedir. TiAlN kaplı takımındaki talaş örneğinden takımın kesmeden ziyade kazıma ve koparma yaptığı ve sonuç olarak takımın daha ikinci delikte kırıldığı görülmüştür.



Şekil 6.20. 17,5 m/min kesme hızı ve 0,1 mm/rev ilerleme miktarında üç farklı takımdan alınan talaş örnekleri

Şekil 6.21’de aynı ilerleme miktarında kesme hızına bağlı olarak TiN kaplı takımla delinen ilk deliklerden alınan talaş örneklerindeki değişim görülmektedir. Aynı ilerleme miktarında kesme hızının artmasıyla talaş formu sünek yapıdan daha sert ve kırılğan bir yapıya doğru değişim göstermiştir. Orta kesme hızlarında (12,5-15 m/min) elde edilen talaşlar daha düzenli ve küçük adımlı helisel talaş formu şeklindedir.



Şekil 6.21. 0,075 mm/rev ilerleme miktarında kesme hızına bağlı olarak TiN kaplı takımla delinen ilk deliklerden alınan talaş örneklerindeki değişim

Şekil 6.22’de aynı kesme hızında ilerleme miktarına bağlı olarak kaplamasız takımla delinen ilk deliklerden alınan talaş örneklerindeki değişim görülmektedir. Aynı kesme hızında ilerleme miktarının artmasıyla talaş formu sünek yapıdan daha sert ve kırılğan bir yapıya doğru değişim göstermiştir. Düşük ve yüksek ilerleme miktarlarında (0,05-0,1 mm/rev) talaş formunun kesik kesik olduğu görülmektedir. Orta ilerleme miktarında (0,075 mm/rev) ise elde edilen talaşlar daha düzenli ve küçük adımlı helisel talaş formu şeklindedir.



Şekil 6.22. 12,5 m/min kesme hızında ilerleme miktarına bağlı olarak kaplamasız takımla delinen ilk deliklerden alınan talaş örneklerindeki değişim

Sonuç olarak düşük kesme hızı ve ilerleme miktarında talaş formu daha düzenlidir. Talaş oluşumu ile yüzey pürüzlülüğü değerleri birlikte göz önüne alındığında genel olarak pürüzlülüğün azalmasıyla talaş oluşumunun daha düzgün bir form aldığı söylenebilir.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, nikel esaslı süper alaşım Inconel 718'in, soğutma sıvısı kullanmadan matkap ile delme işlemindeki işlenebilirliği, diğer bir deyişle "delinebilirliği", deneysel olarak incelenmiştir. Bu incelemede, kaplama malzemesi, kesme hızı ve ilerleme miktarının kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve dairesellik ve talaş oluşumu üzerindeki etkileri esas alınmıştır. Deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- i- Kesme kuvvetleri açısından kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplı takımlar ele alındığında en iyi performans kaplamasız takımlardan alınmıştır. Kaplamasız matkaplarla yapılan bütün deneyler başarıyla tamamlanmıştır. Bütün kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında en yüksek kuvvet değerleri ise TiAlN kaplı takımlardan elde edilmiştir. Genel olarak kesme kuvvetlerinin artmasında, ilerleme miktarının kesme hızından daha etkili olduğu görülmüştür. Üç farklı takımda da bütün ilerleme miktarlarında en iyi sonucun alındığı kesme hızı 15 m/min olmuştur.
- ii- Dört farklı kesme hızında da en düşük kuvvet değerleri 0,05 mm/rev ilerleme miktarında alınmıştır. Bir deneyde ilk delik ile son delik arasındaki kuvvet değişiminin en fazla olduğu ilerleme miktarı 0,1 mm/rev olmuştur. Deneyi başarıyla tamamlayan matkaplar arasında kesme kuvvetleri ortalaması en düşük 535 N'dur. Bu değer TiN kaplı matkapla 15 m/min kesme hızı ve 0,05 mm/rev ilerleme miktarında elde edilmiştir.
- iii- Takım bozulması açısından, kaplamalı ve kaplamasız takımlar arasında sıralama yapılacak olursa iyiden kötüye doğru kaplamasız takım, TiN kaplı takım ve TiAlN kaplı takım şeklinde olur. Yapılan çalışmalarda süper alaşımların işlenmesinde TiAlN kaplı takımların kullanılması tavsiye edilmektedir. Ancak kuru kesme şartları altında bu kaplama malzemesinin iyi bir performans

sergilediği söylenemez. Özellikle yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarlarında deneylerin yarısını bile tamamlayamadan bu takımların kırıldığı görülmüştür.

- iv- Dairesellikten sapma bakımından TiN ve TiAlN kaplı takımlarda en düşük değerler (0,0064-0,0058 mm) 0,05 mm/rev ilerleme miktarında, kaplamasız takımında ise (0,0048mm) 0,075 mm/rev ilerleme miktarında elde edilmiştir. Kaplamasız takımla 0,05 ve 0,075 mm/rev ilerleme miktarlarında en düşük (0,0065-0,0047 mm) dairesellik değerlerinin elde edildiği kesme hızı 12,5 m/min olmuştur. Düşük kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında TiN ve TiAlN kaplı takımlardan alınan sonuçlar daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Artan kesme hızı ve ilerleme miktarlarında ise kaplamasız takımlardan elde edilen sonuçlar daha iyi olmuştur. 17,5 m/min kesme hızında dairesellik değerlerinin değişiminde ilerleme miktarı büyük bir rol oynamıştır. İlerleme miktarı arttıkça dairesellikten sapma değerlerinde de bir artış meydana gelmiştir.
- v- Üç takım arasındaki sıralamada TiN kaplı takım, dört farklı kesme hızında da 0,05 ve 0,075 mm/rev ilerleme miktarlarında ortalama dairesellik değeri bakımından kaplamasız ve TiAlN kaplı takım arasında yer almıştır. Üç farklı takım arasındaki farkın en çok olduğu kesme hızı değeri 17,5 m/min'dir. Deneyi başarıyla tamamlayan matkaplar arasında dairesellik değeri ortalaması en düşük 0,0047 mm'dir. Bu değer kaplamasız matkapla 12,5 m/min kesme hızı ve 0,075 mm/rev ilerleme miktarında elde edilmiştir. Delikte dairesellikten sapma açısından üç takım arasında iyiden kötüye doğru sıralama yapılırsa, kaplamasız takım, TiN kaplı takım ve TiAlN kaplı takım şeklinde olur.
- vi- Bütün kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında delik çap değerleri bakımından en iyi sonuç kaplamasız takımlardan alınmıştır. Genel olarak üç takımında da ilerleme miktarı arttıkça delik çap değerleri de büyümüştür. Dört kesme hızında da en düşük delik çap değerlerinin elde edildiği ilerleme miktarı 0,05 mm/rev'dir. Kesme hızları açısından üç ilerleme miktarında da en iyi sonuç 15 m/min'de elde edilmiştir. En büyük delik çapı değerlerinin alındığı ilerleme miktarı ise 0,1 mm/rev olmuştur.

- vii- Yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında en büyük çap artışını TiN kaplı takımlar göstermişlerdir. Deneyi başarıyla tamamlayan matkaplar arasında çap değeri ortalaması en düşük 5,016 mm'dir. Bu değer kaplamasız matkapla 12,5 m/min kesme hızı ve 0,05 mm/rev ilerleme miktarında elde edilmiştir. Bütün kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında elde edilen çap değerleri nominal çaptan daha büyük olmuştur. Delik çap değerleri açısından üç takım arasında iyiden kötüye doğru sıralama yapılırsa kaplamasız takım, TiN kaplı takım ve TiAlN kaplı takım şeklinde olur.
- viii-Genel olarak, yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuçlar kaplamasız takımla delinen deliklerden alınmıştır. Düşük ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülüğü bakımından TiN kaplı takım iyiyken orta ilerleme miktarlarında kaplamasız takımdan alınan sonuçlar daha iyidir. Yüksek kesme hızlarında ise TiAlN kaplı takımın pürüzlülük değerleri daha iyi olmuştur. Yuvarlaklık değerlerinde olduğu gibi çap değerlerinde de ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen çap değerlerinde artış olmuştur. 15 m/min kesme hızı hariç, diğer kesme hızlarının hepsinde de 0,05 mm/rev ilerleme miktarında, TiN kaplı takımdan alınan sonuçlar daha iyidir.
- ix- Deneyi başarıyla tamamlayan matkaplar arasında yüzey pürüzlülük değeri ortalaması en düşük 0,917  $\mu\text{m}$ 'dur. Bu değer kaplamasız matkapla 15 m/min kesme hızı ve 0,05 mm/rev ilerleme miktarında elde edilmiştir. TiAlN kaplı matkapların bir kısmı deneyleri tamamlayamadan kırıldığı için genel olarak yüzey pürüzlülük ölçümleri daha yüksektir. Yüzey pürüzlülüğü açısından üç takım arasında bütün kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonları için iyiden kötüye doğru sıralama yapılacak olursa kaplamasız takım, TiN kaplı takım ve TiAlN kaplı takım şeklinde olur.
- x- Genel olarak talaş oluşumu incelendiğinde yapılan bütün deneylerde, ilk delikte meydana gelen talaş formunun kesik kesik ya da küçük adımlı helisel talaş şeklinde olduğu görülmüştür. Takip eden deliklerde talaş formu büyük adımlı sürekli talaşa dönüşmüştür. İlk deliklerdeki talaş formları daha sünek yapıda iken

son deliklere doğru gevrek ve kırılğan bir yapıya bürünmüştür. Yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında, özellikle deneyi tamamlayamadan kırılan takımlardan alınan talaş örneklerinin büyük adımlı helis ve testere dişlere sahip olduğu görülmüştür.

## 7.2. Öneriler

- i- Takım ömrü açısından kuru kesme şartları altında Inconel 718'in sementit karbür matkaplar ile delinmesinde, kaplamasız takımların tercih edilmesi tavsiye edilebilir.
- ii- Kesme parametreleri olarak, 5 mm matkap çapı için, 17,5 m/min kesme hızı ve 0,1 mm/rev ilerleme miktarının üstündeki değerler tercih edilmemelidir. Inconel 718'in işlenmesinde uygun olmayan kesme şartlarında takımlar, kırılmalara karşı son derece duyarlıdır. Oldukça pahalı olan bu takımlar daha yüksek kesme hızı ve ilerleme değerlerinde hızla aşınmakta ya da kırılabilmektedir.
- iii- Bu çalışmada ele alınamayan ancak üzerinde çalışılabilecek konular:
  - Farklı çaplarda matkaplar kullanılarak çapa bağlı kesme şartlarındaki değişimin tespit edilmesi,
  - İçten soğutmalı ve dıştan soğutmalı matkaplar kullanılarak kesme performansı ve kuru kesme ile mukayesesi üzerindeki etkisinin belirlenmesi,
  - İşleme esnasında yüksek basınçlı soğutma sıvısı ile normal basınçlı soğutma sıvısının talaş kaldırmadaki etkileri,
  - Derin delik delmede delme metodunun takım ömrü ve diğer parametreler üzerindeki etkisinin araştırılması,

- K r delik yerine boydan boya delik delmenin delinebilirlik üzerindeki etkisinin araştırılması,
- Delme esnasındaki ısının  l lmesi ve bu ısının kesici takım ve iř parçası üzerindeki etkisinin belirlenmesi,
- Takım üzerinde meydana gelen aşınma mekanizmalarının belirlenmesi,
- Bu malzemenin delinmesinde performans artışı sağlayacak farklı uç geometrilere sahip matkapların tespit edilmesi,

şeklinde özetlenebilir.



## KAYNAKLAR

1. Bhattacharya, S.K., Javaid, A., Lewis, M.H., Walbank, J., “Wear Mechanisms of Syalon Ceramic Tools when Machining Nickel-Based Materials”, *Metals Technology*, 10: 482-483 (1983).
2. Chouldhury, I.A., El-Baradie, M.A., “Machining Nickel base superalloys: Inconel 718”, *Proc Instn Mech Engrs*, 212 (B): 195-205 (1997).
3. Ezugwu, E.O., Wanga, Z.M., Machadop, A.R., “The machinability of nickel based alloys: a review”, *Journal of Materials Processing Technology*, 86 (1-3): 1-16 (1998).
4. Field, M., “Machining aerospace alloys”, *Iron and Steel Institute, Special Report 94*, 151-160 (1968).
5. Warbuton, P., “Problems of Machining Nickel-Based Alloys”, *Iron and Steel Institute, Special Report 94*, 151-160 (1967).
6. Sims, C.T., Hagel, W.C., *The Superalloys Wiley*, New York, 25 (1972).
7. Loria, E.A., “Recent Development in the Progress of Super Alloy 718”, *J. Mater, Sci*, 44 (6): 33-36 (1998).
8. Bradley, E., “Superalloys A Tecnical Guide”, *ASM International*, USA, 1-29 (1988).
9. Rahman, M., Seah, W.K.H., Teo, T.T., “The Machinability of Inconel 718” , *Journal of Materials Processing Tecnology*, 63: 199-204 (1997).
10. Ezugwu, E.O., Wang, Z.M., “Wear of Coated Carbide Tools When Machining Nickel (Inconel 718) and Titanium Base (Ti-6Al-4V) Alloys”, *Triboloji Transactions*, 43: 263-268 (2000).
11. Yazıcıoğlu, O., “Makine Elemanları”, *Beta Yayinevi*, İstanbul, 950-951 (1999).
12. “Metals Handbook”, *ASM (Amerikan Society for Metals)*, Nineth edition, Metals Park, Ohio, 10: 761 (1983).
13. Ezugwu, E.O., Bonney, J., Yamane, Y., “An overview of the machinability of aeroengine alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, 134: 233-253 (2003).
14. “Metals Handbook”, *ASM international*, Tenth edition, USA, 56 (1990).

15. Chouldhury, I.A., “Machinability studies of high strength materials and the development of a data base system”, PhD thesis, *Dublin City University*, 1-140 (1995).
16. Ezugwu, E.O., “Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1353-1367 (2005).
17. Kronovsky, G.A., Cieslak M.C., Headley, T.J., Roming, A.D., Hammetter, W.F., “Inconel 718: a solidification diagram”, *Matallurgical transactions A*, 20A: 2149-2158 (1989).
18. Tonshoff, H.L., Spintig, W., Konig, W., Neises, A., “Machining of Holes Developments in Drilling Techonolgy”, *Annals of the CIRP*, 43 (2): 551-560 (1994).
19. Çakır, M.C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, *Vipaş A.Ş*, Bursa, 350-390 (2000).
20. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, *Birsen Yayınevi*, Ankara, (1998).
21. Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 1: 97-98 (2000).
22. Tein, J.K., Caulfield, T., “Superalloys, Supercomposites and Superceramics”, *Academic press Inc.*, 3-19 (1989).
23. Dudzinski, D., Devillez, A., Moufki, A., Larrouquere, D., Zerrouki, V., Vigneau, J., “A Review of Developments Towards Dry and High Speed Machining of Inconel 718 Alloy”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44: 439-456 (2004).
24. Sharman, A., Dewes, R.C., Aspinwall, D.K., “Tool Life when High Speed Ball Nose end Milling Inconel 718”, *Journal of Materials Processing Technology*, 118: 29-35 (2001).
25. Li, L., He, N., Wang, M., Wang, Z. W., “High Speed Cutting of Inconel 718 with Coated Carbide and Ceramic Inserts”, *Journal of Materials Processing Technology*, 129: 127-130 (2002).
26. Kitagawa, T., Kubo, A., Maekawa, K., “Temperature and Wear of Cutting Tools in High Speed Machining of Inconel and Ti-6Al-6V-2Sn”, *Wear*, 202: 142-148 (1997).

27. Ezugwu, E.O., Tang, S.H., “Surface Abuse when Machining Cast Iron (G-17) and Nickel-Base Superalloy (Inconel 718) with Ceramic Tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 55: 63-69 (1995).
28. Guerville, L., Vigneau, J., “Metal Cutting and High Speed Machining, Influence of Machining Conditions on Residual Stresses”, D. Dudzinski, A. Molinari, H. Schulz (Eds.), *Kluwer Academic Plenum Publishers*, 201-210 (2002).
29. Uehara, K., “High-Speed Machining of Inconel 718 with Ceramic Tools”, *Ann CIRP*, 42 (1): 103-106 (1993).
30. Ezugwu, E.O., Lai, C.J., “Failure Modes and Wear Mechanisms of M35 High-Speed Steel Drills when Machining Inconel 901”, *J. Mater. Process. Technol.*, 49: 295-312 (1995).
31. Subramaniam, K., Cook, N.H., “Sensing of Drill Wear and Prediction of Drill Life”, ASME, *Journal of Engineering for Industry*, 99: 295-301 (1997).
32. Choudhury, I.A., El-Baradie, M.A., “Machinability Assessment of Inconel 718 by Factorial Design of Experiment Coupled with Response Surface Methodology”, *Journal of Materials Processing Technology*, 95: 30-39 (1999).
33. Gatto, A., Iuliano, L., “High Speed Machining of Nickel-Base Superalloys, Tool Wear Pattern and Chip Features”, *Report to CIRP STC ‘C’*, 1147-1161 (1993).
34. Arunachalam, R., Mannan, M.A., “Machinability of Nickel-Based High Temperature Alloys”, *Machining Science and Technology*, 4 (1): 127-168 (2000).
35. Alauddin, M., El Baradie, M.A., Hashmi, M.S.J., “Modelling of Cutting Force in end Milling Inconel 718”, *Materials Processing Technology*, 100-108 (1996).
36. Chen, Y.C., Liao, Y.S., “Study on Wear Mechanisms in Drilling of Inconel 718 Superalloy”, *Journal of Materials Processing Technology*, 140: 269-273 (2003).
37. Klocke, F., Gerschwiler, K., Fritsch, R., Lung, D., “PVD-Coated Tools and Native Ester – an Advanced System for Environmentally Friendly Machining”, *Surface & Coatings Technology*, 201: 4389-4394 (2006).
38. Syed, E.A., Mannan, M.A., “Hole Quality In Drilling Of Annealed Inconel 718”, *Transactions Of The North American Manufacturing Research Institution Of SME*, 32: 271-278 (2004).
39. Michael, F., Kahles, J.F., Koster W.P., ASM Handbook: “Surface finish and surface integrity”, *American Society for Metals*, 3: 468-475 (1989).

40. Durante, S., Rutelli, G., Rabezzana, F., “Aluminum-Based MMC Machining with Diamond-Coated Cutting Tools”, *Surface&Coatings Technology*, 632-640 (1997).

**EKLER**



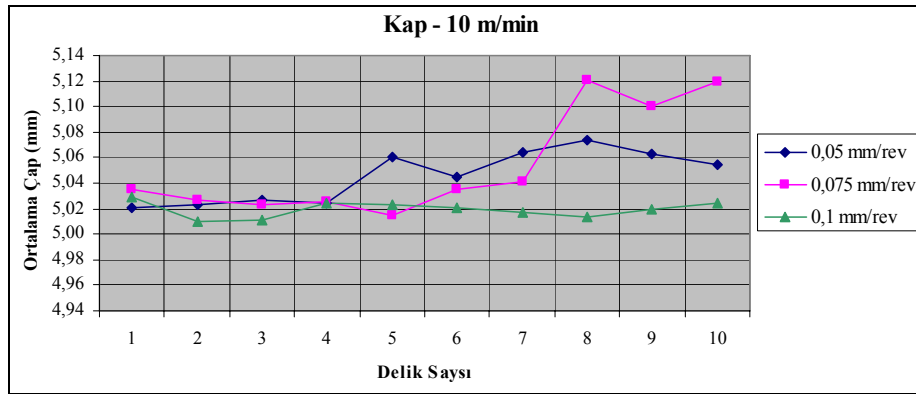




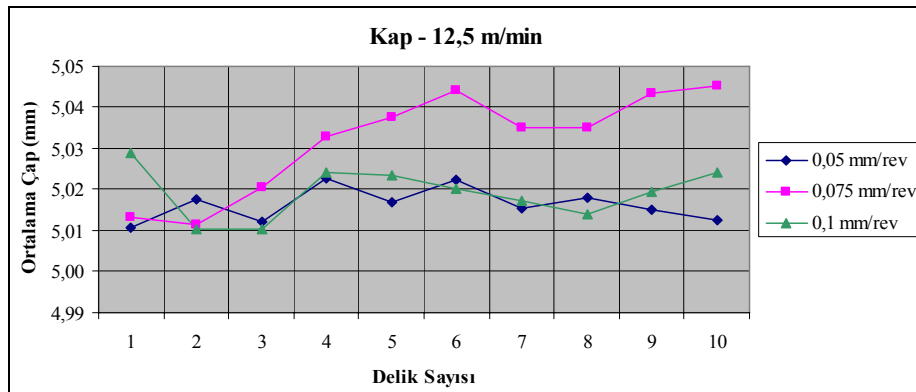




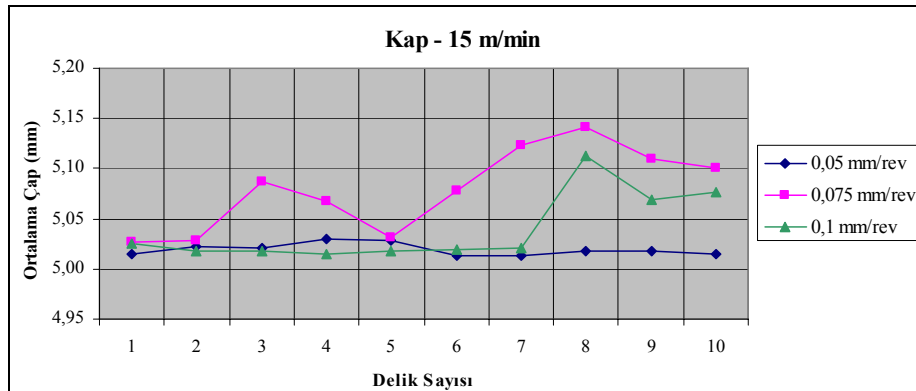
EK-5 Her delik için ayrı ayrı ölçülen çap değerlerinin ilerlemeye bağlı olarak değişimlerinin gösterilmesi



Şekil 5.1. Kaplamasız takımla delinen deliklerin 10 m/min kesme hızındaki ilerlemeye bağlı çap değişimi

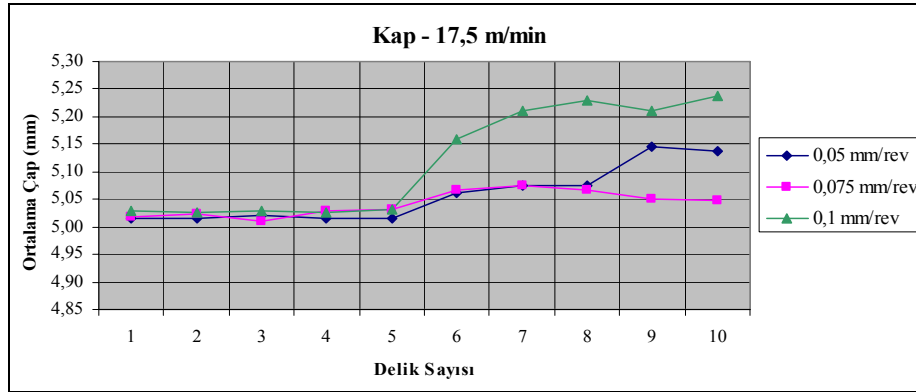


Şekil 5.2. Kaplamasız takımla delinen deliklerin 12,5 m/min kesme hızındaki ilerlemeye bağlı çap değişimi

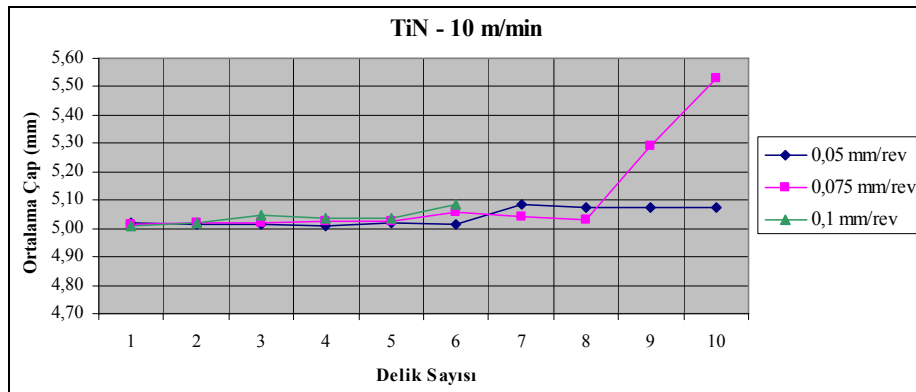


Şekil 5.3. Kaplamasız takımla delinen deliklerin 15 m/min kesme hızındaki ilerlemeye bağlı çap değişimi

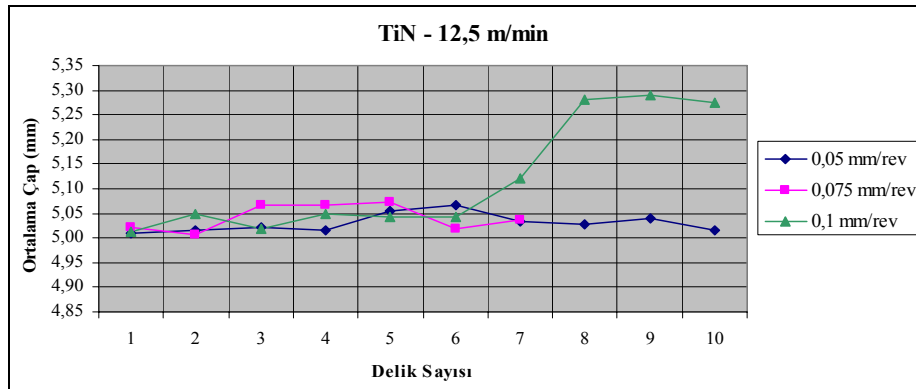
EK-5 (Devam) Her delik için ayrı ayrı ölçülen çap değerlerinin ilerlemeye bağlı olarak değişimlerinin gösterilmesi



Şekil 5.4. Kaplamasız takımla delinen deliklerin 17,5 m/min kesme hızındaki ilerlemeye bağlı çap değişimi

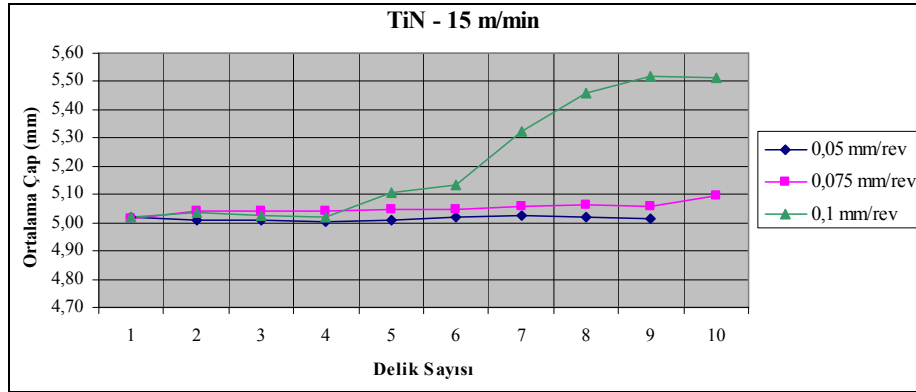


Şekil 5.5. TiN kaplı takımla delinen deliklerin 10 m/min kesme hızındaki ilerlemeye bağlı çap değişimi

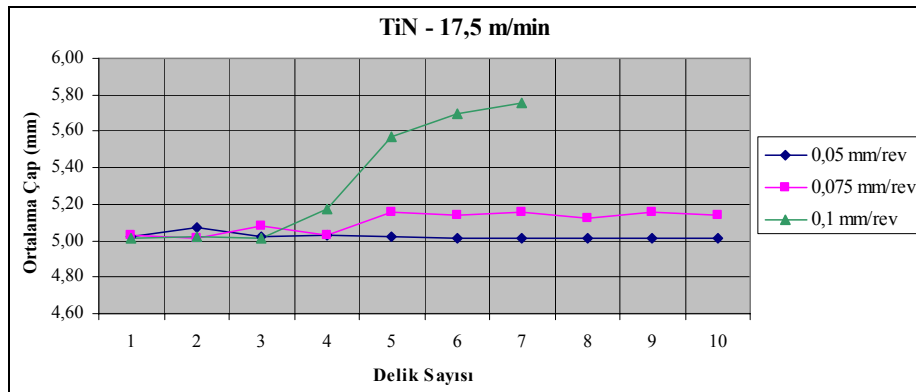


Şekil 5.6. TiN kaplı takımla delinen deliklerin 12,5 m/min kesme hızındaki ilerlemeye bağlı çap değişimi

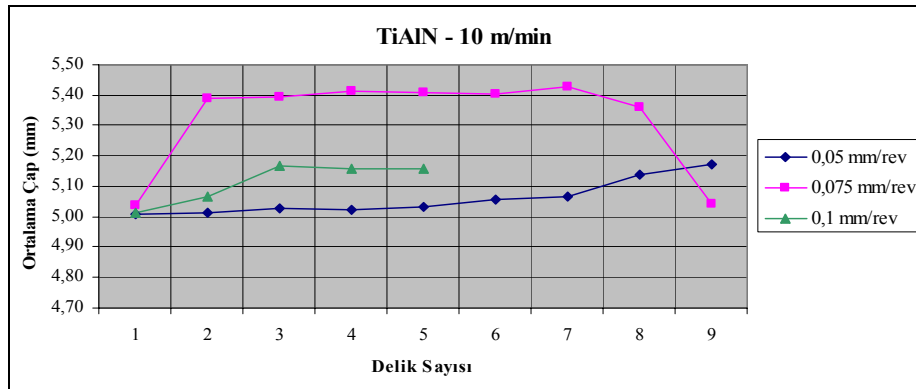
EK-5 (Devam) Her delik için ayrı ayrı ölçülen çap değerlerinin ilerlemeye bağlı olarak değişimlerinin gösterilmesi



Şekil 5.7. TiN kaplı takımla delinen deliklerin 15 m/min kesme hızındaki ilerlemeye bağlı çap değişimi

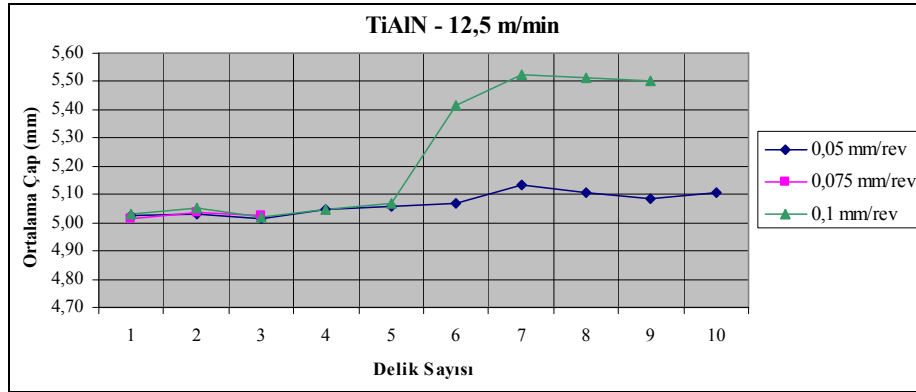


Şekil 5.8. TiN kaplı takımla delinen deliklerin 17,5 m/min kesme hızındaki ilerlemeye bağlı çap değişimi

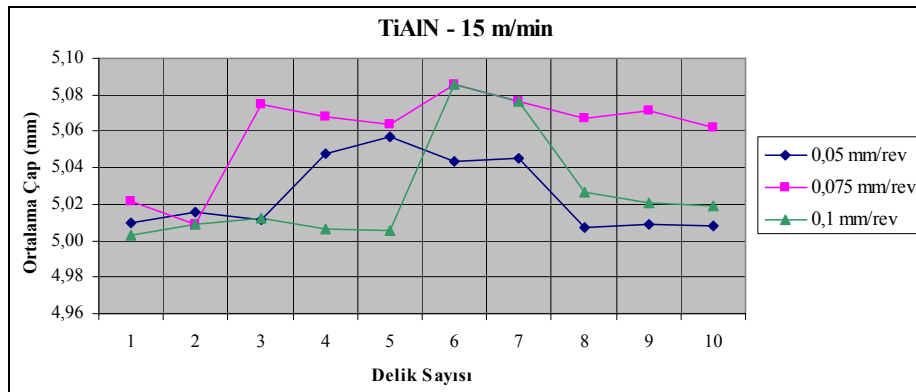


Şekil 5.9. TiAlN kaplı takımla delinen deliklerin 10 m/min kesme hızındaki ilerlemeye bağlı çap değişimi

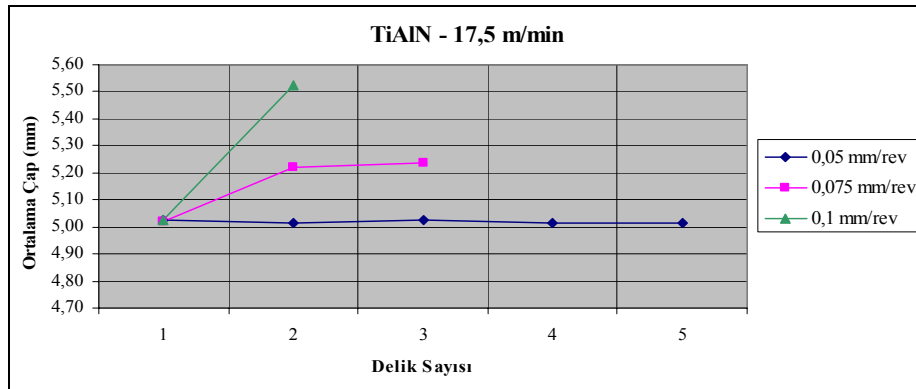
EK-5 (Devam) Her delik için ayrı ayrı ölçülen çap değerlerinin ilerlemeye bağlı olarak değişimlerinin gösterilmesi



Şekil 5.10. TiAlN kaplı takımla delinen deliklerin 12,5 m/min kesme hızındaki ilerlemeye bağlı çap değişimi

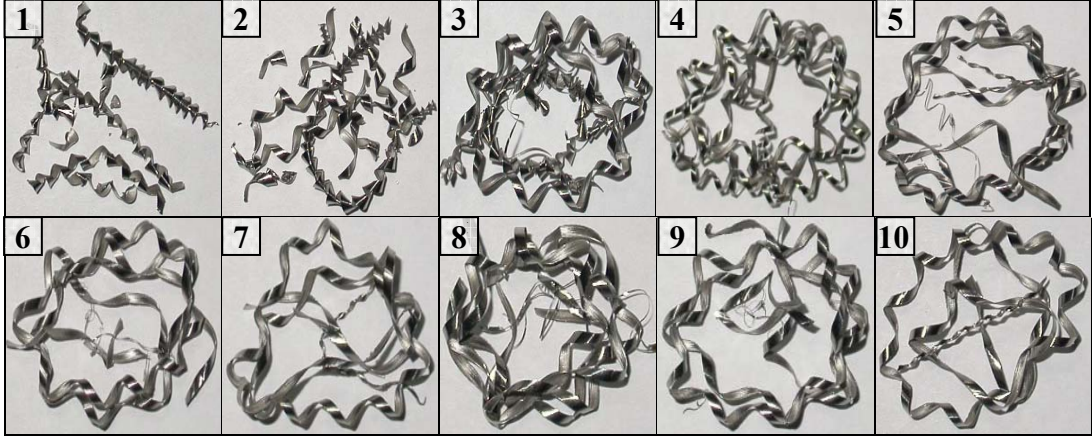


Şekil 5.11. TiAlN kaplı takımla delinen deliklerin 15 m/min kesme hızındaki ilerlemeye bağlı çap değişimi

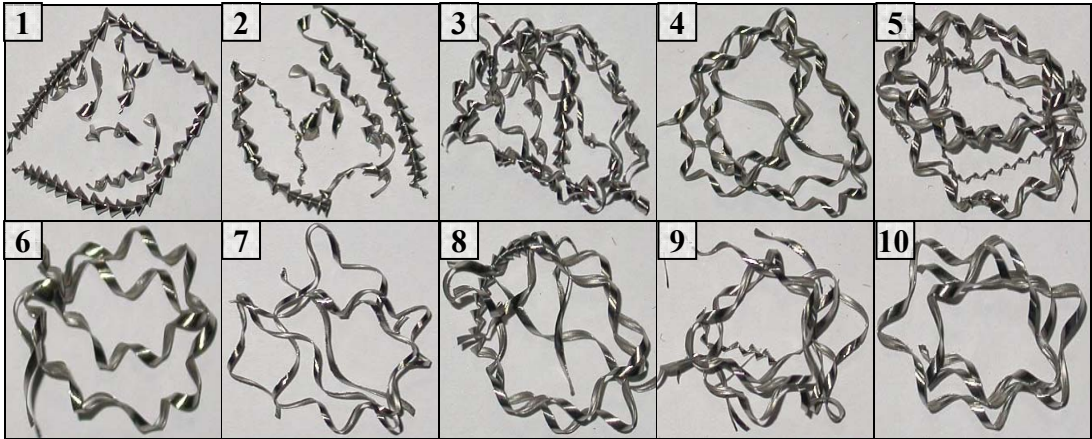


Şekil 5.12. TiAlN kaplı takımla delinen deliklerin 17,5 m/min kesme hızındaki ilerlemeye bağlı çap değişimi

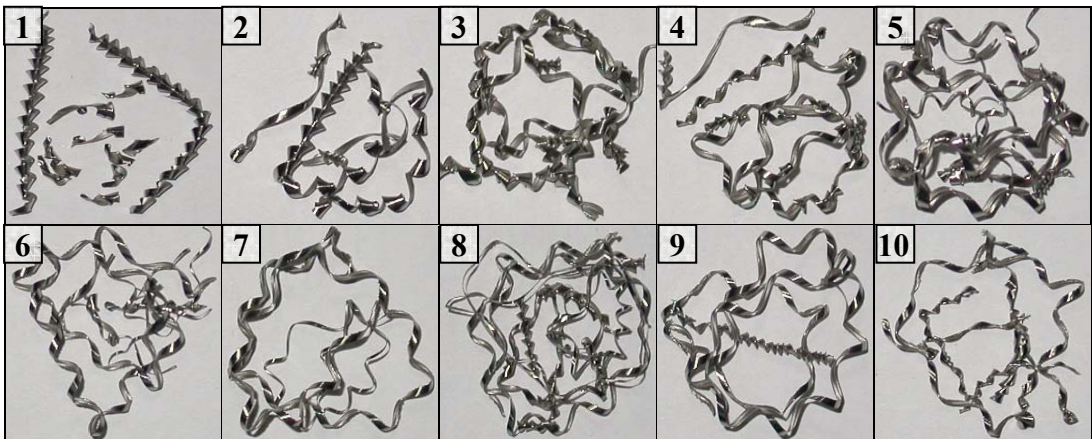
EK-6 Kaplamasız matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri



Şekil 6.1. 10 m/min - 0,05 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



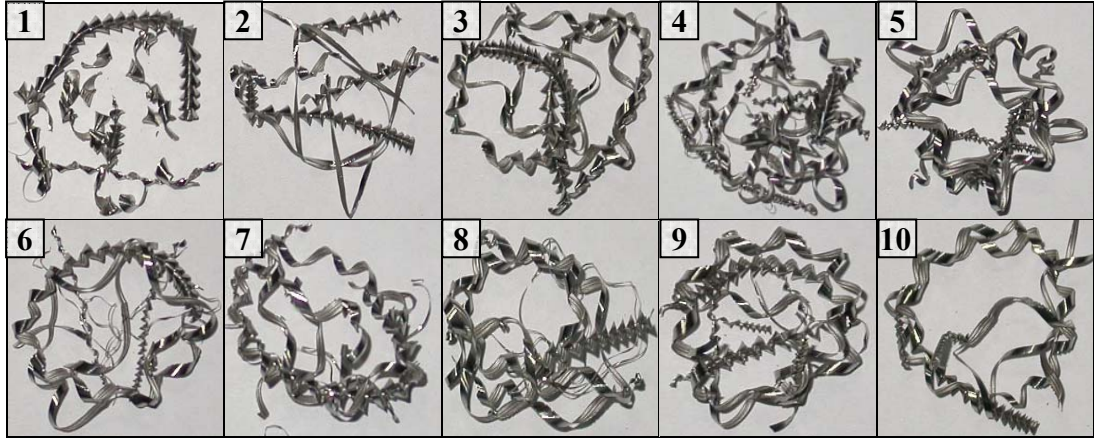
Şekil 6.2. 10 m/min - 0,075 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



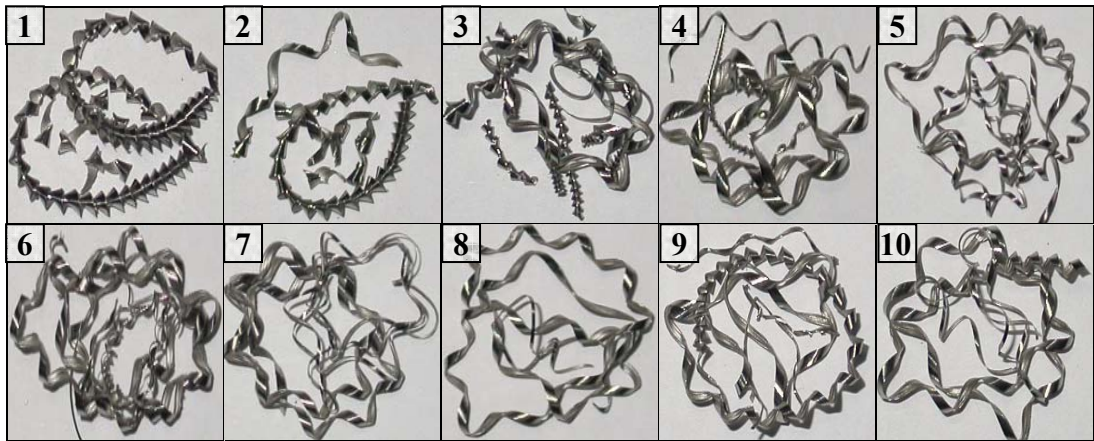
Şekil 6.3. 10 m/min - 0,1 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



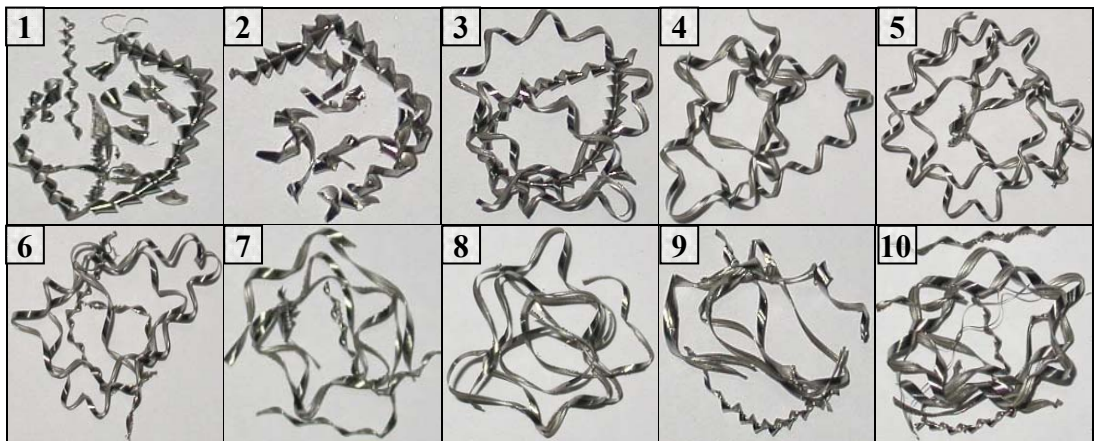
EK-6 (Devam) Kaplamasız matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri



Şekil 6.4. 12,5 m/min - 0,05 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

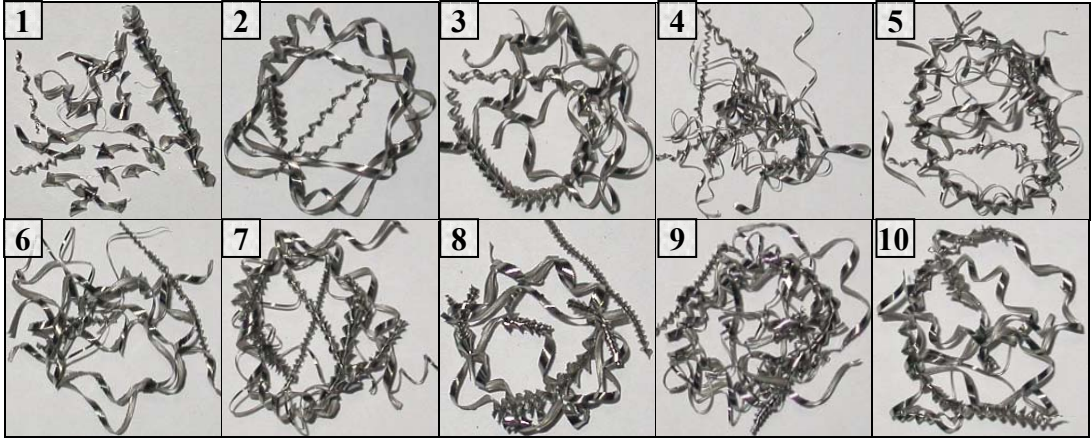


Şekil 6.5. 12,5 m/min - 0,075 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

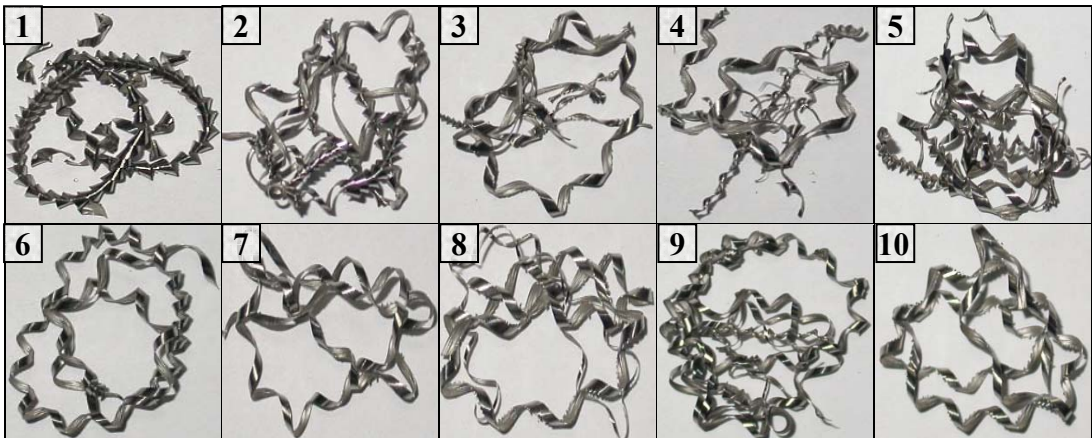


Şekil 6.6. 12,5 m/min - 0,1 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

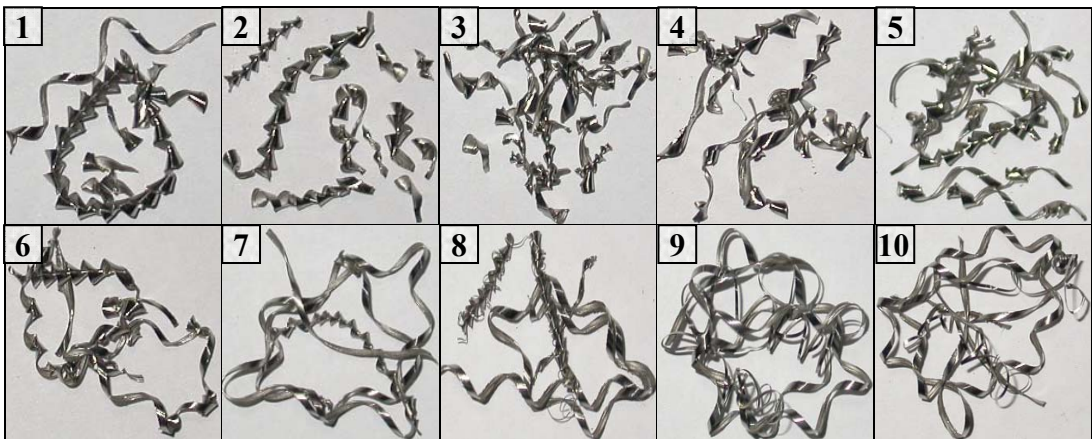
EK-6 (Devam) Kaplamasız matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri



Şekil 6.7. 15 m/min - 0,05 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



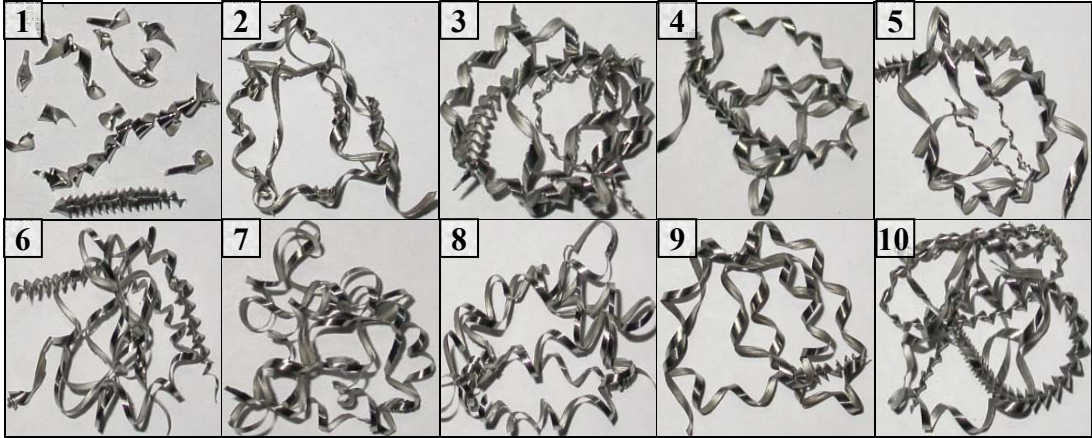
Şekil 6.8. 15 m/min - 0,075 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



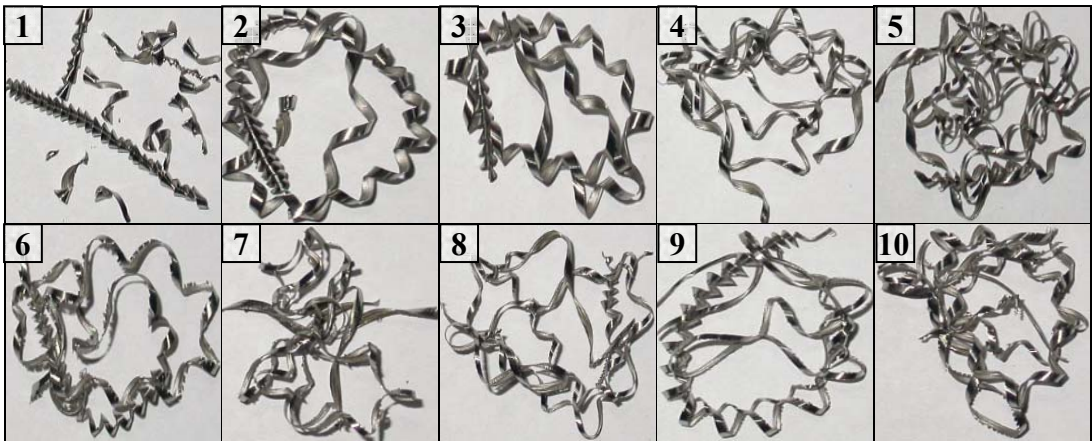
Şekil 6.9. 15 m/min - 0,1 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



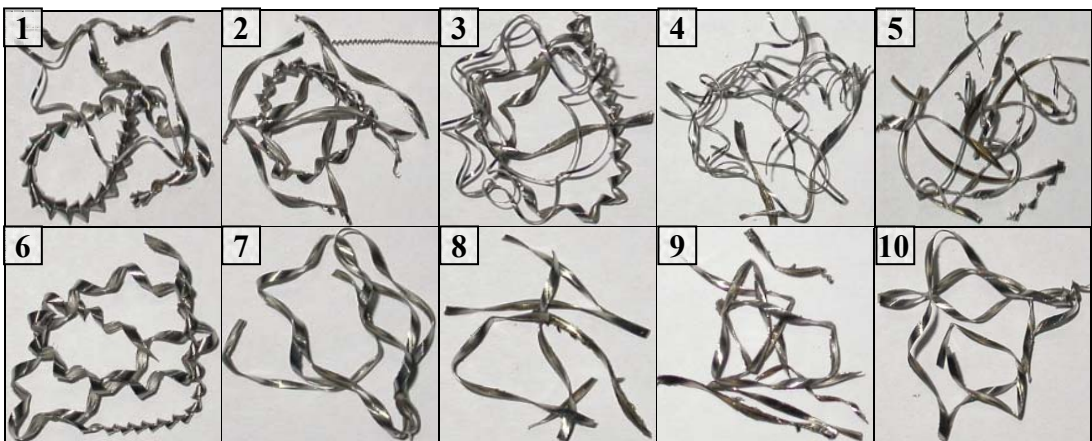
EK-6 (Devam) Kaplamasız matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri



Şekil 6.10. 17,5 m/min - 0,05 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

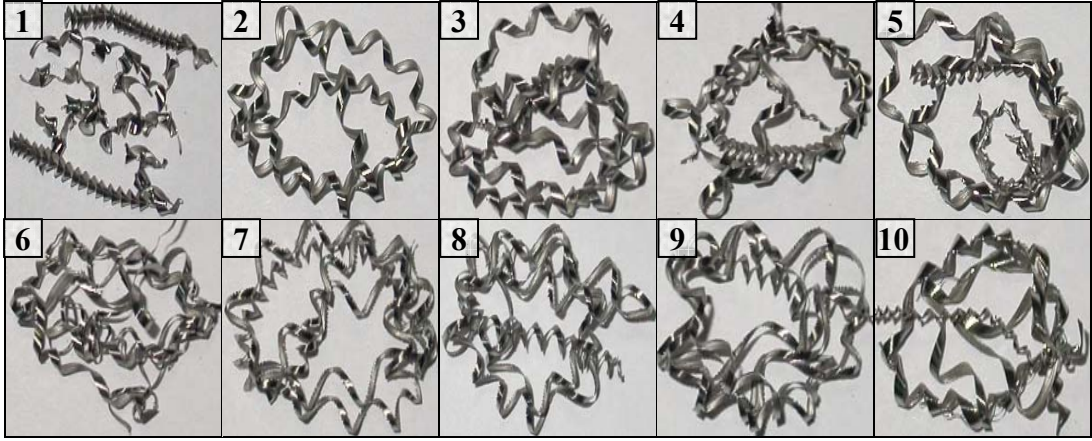


Şekil 6.11. 17,5 m/min - 0,075 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

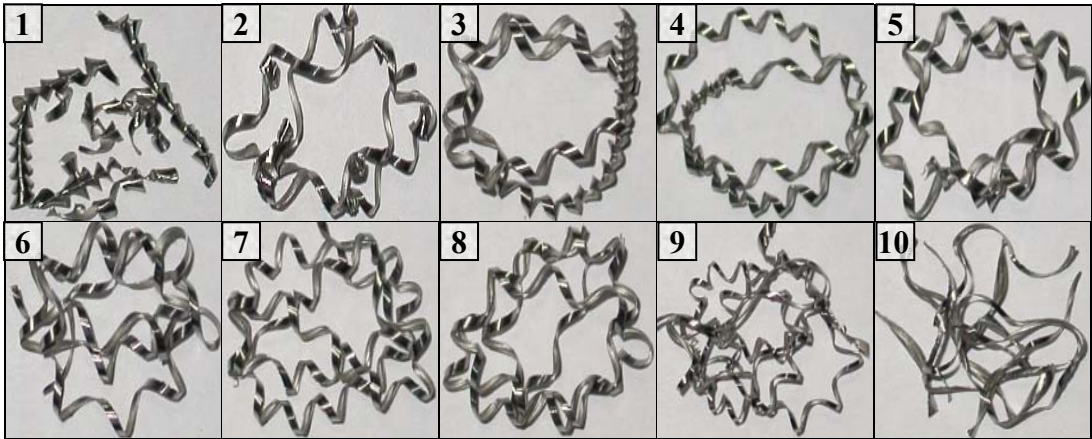


Şekil 6.12. 17,5 m/min - 0,1 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

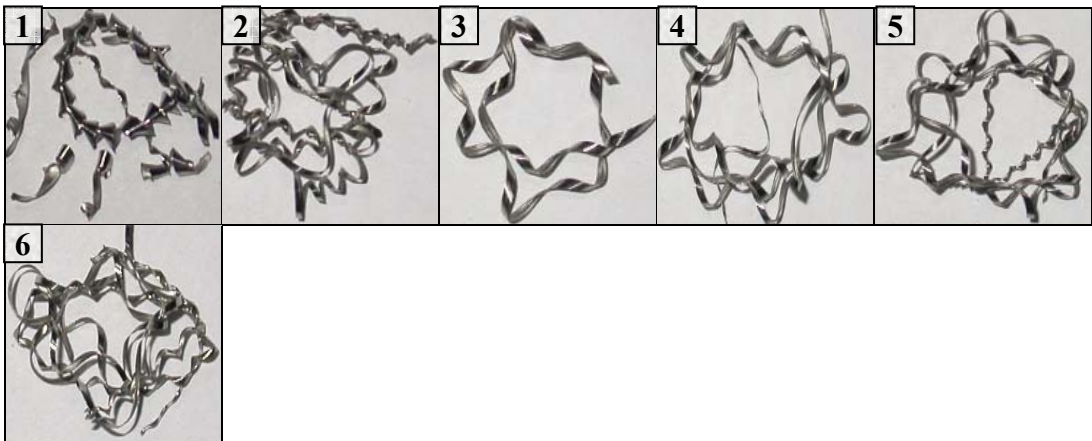
EK-7 TiN kaplı matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri



Şekil 7.1. 10 m/min - 0,05 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



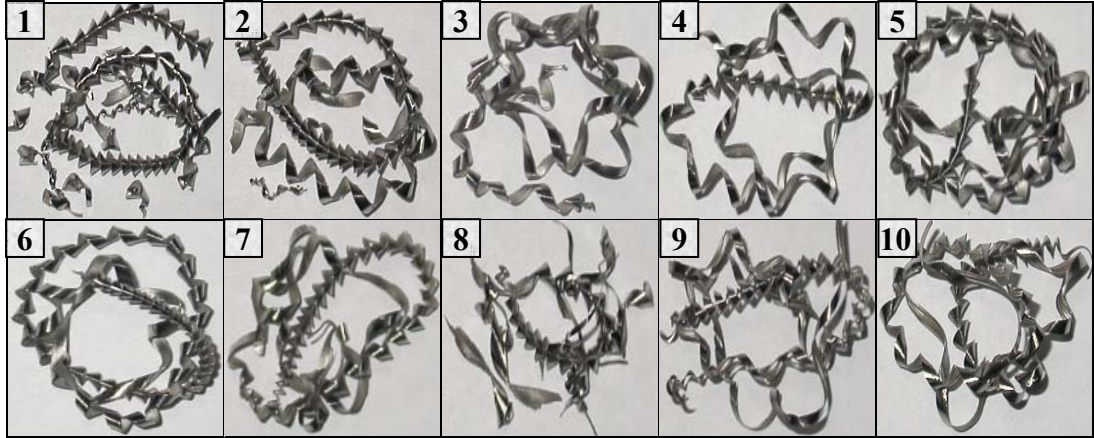
Şekil 7.2. 10 m/min - 0,075 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



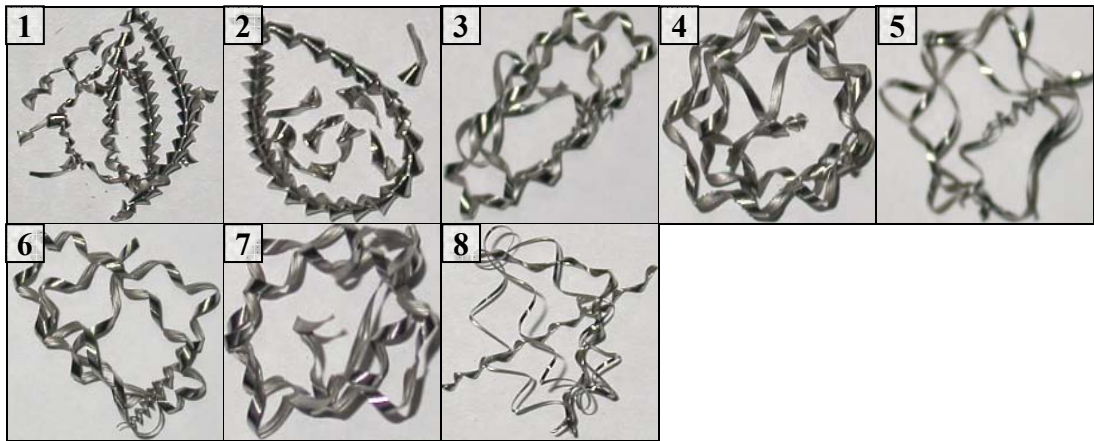
Şekil 7.3. 10 m/min - 0,1 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



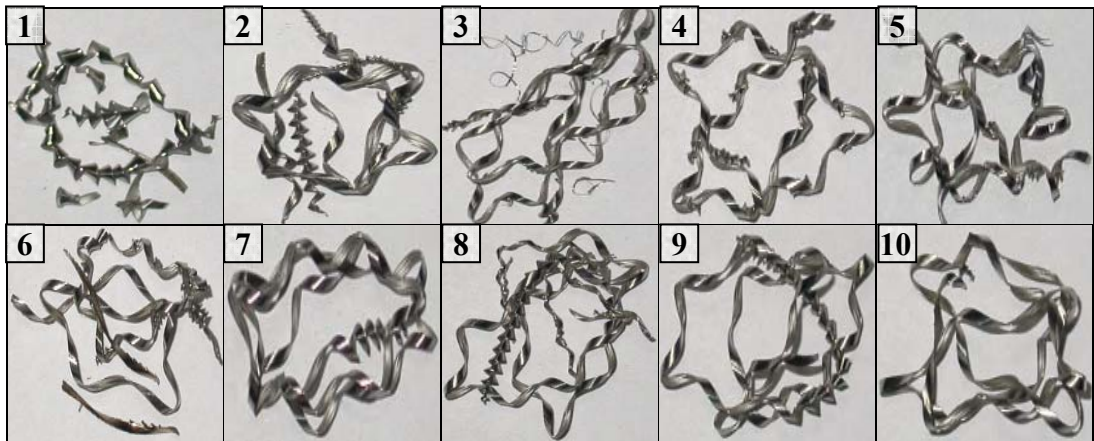
EK-7 (Devam) TiN kaplı matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri



Şekil 7.4. 12,5 m/min - 0,05 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

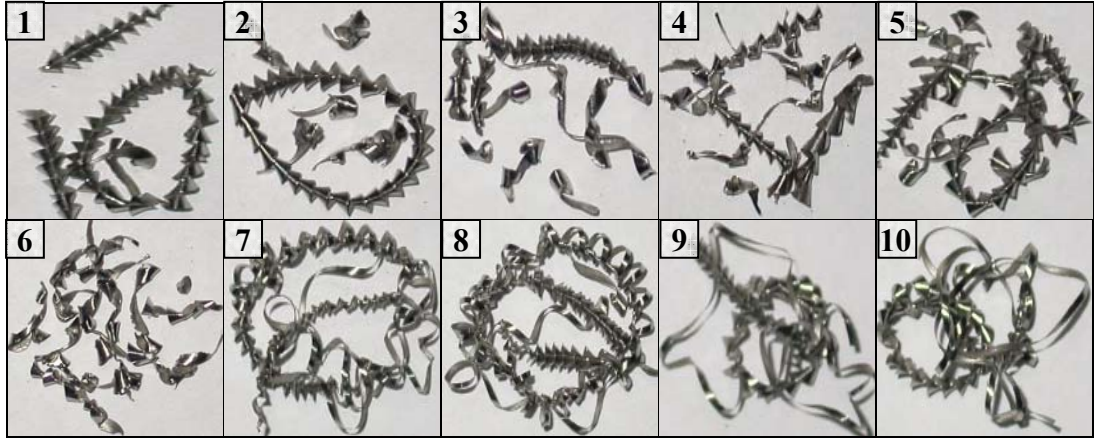


Şekil 7.5. 12,5 m/min - 0,075 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

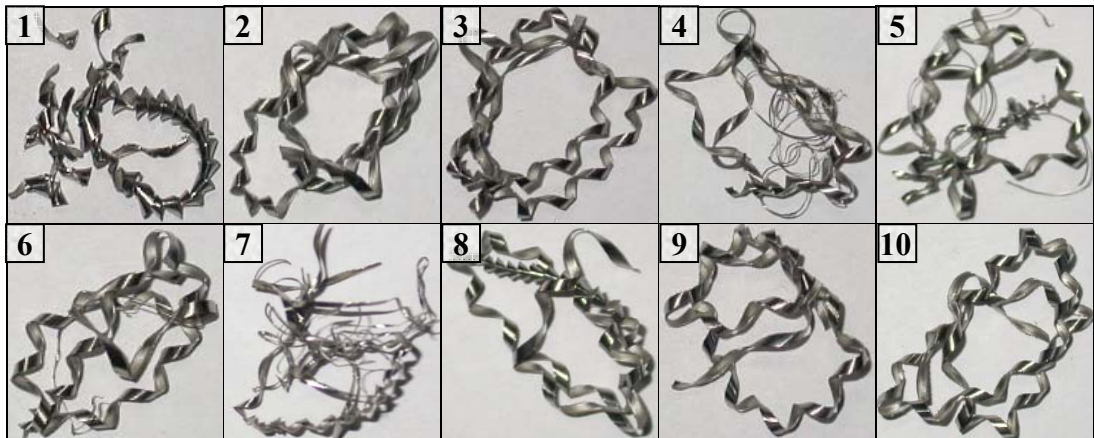


Şekil 7.6. 12,5 m/min - 0,1 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

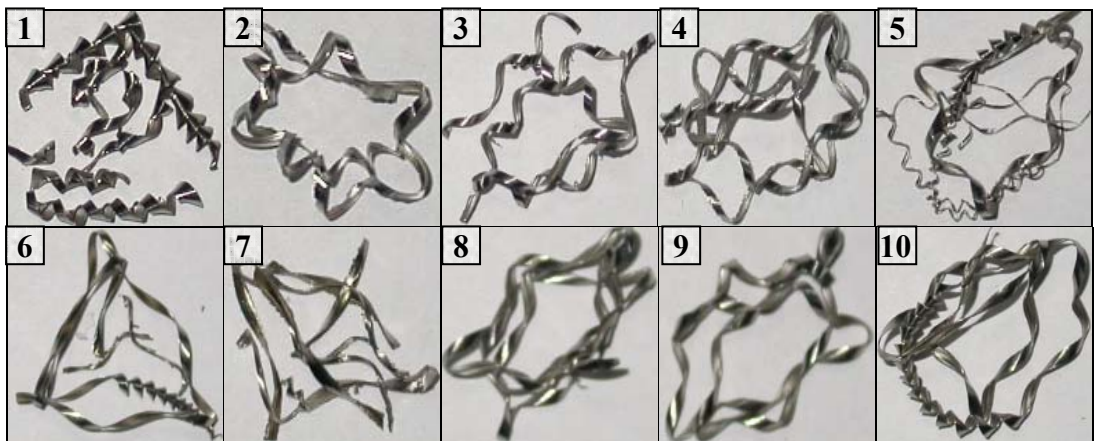
EK-7 (Devam) TiN kaplı matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri



Şekil 7.7. 15 m/min - 0,05 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



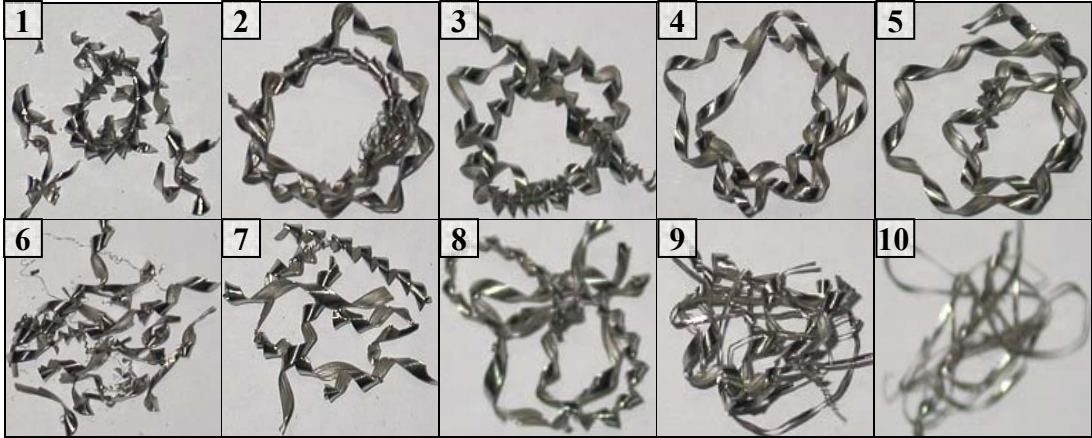
Şekil 7.8. 15 m/min - 0,075 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



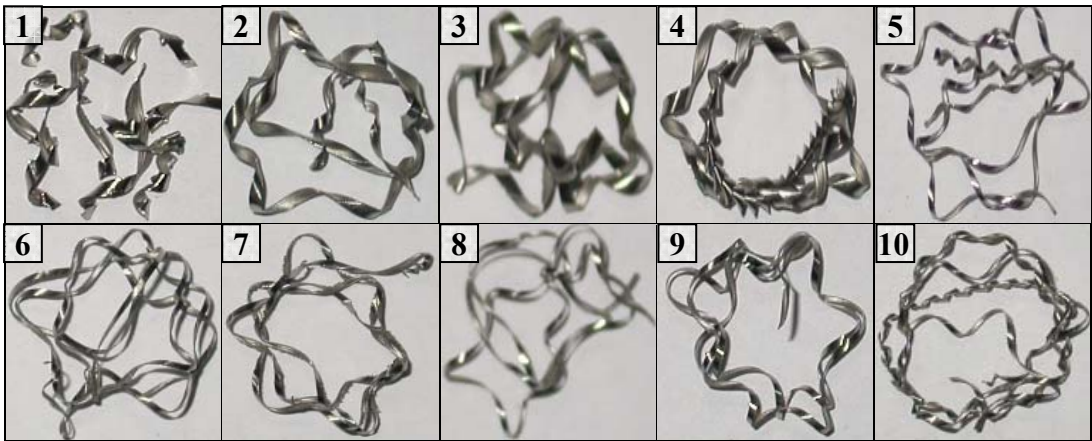
Şekil 7.9. 15 m/min - 0,1 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



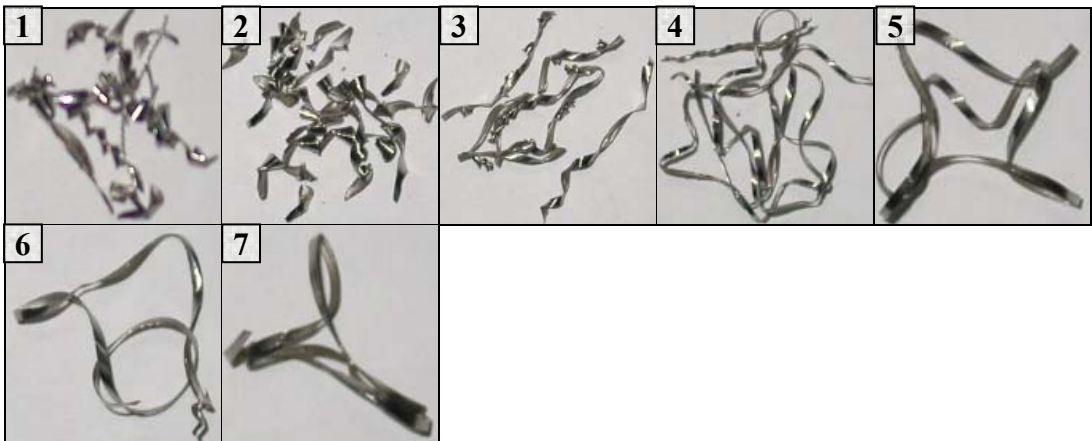
EK-7 (Devam) TiN kaplı matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri



Şekil 7.10. 17,5 m/min - 0,05 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

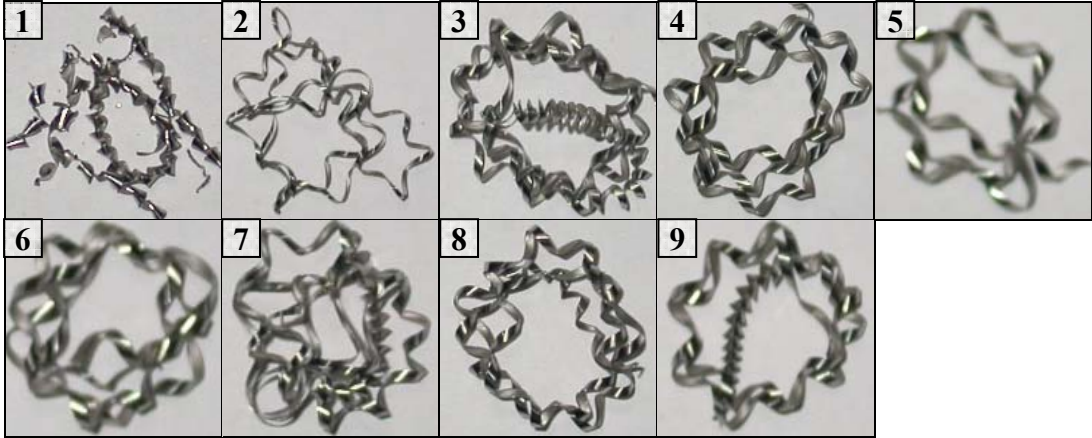


Şekil 7.11. 17,5 m/min - 0,075 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

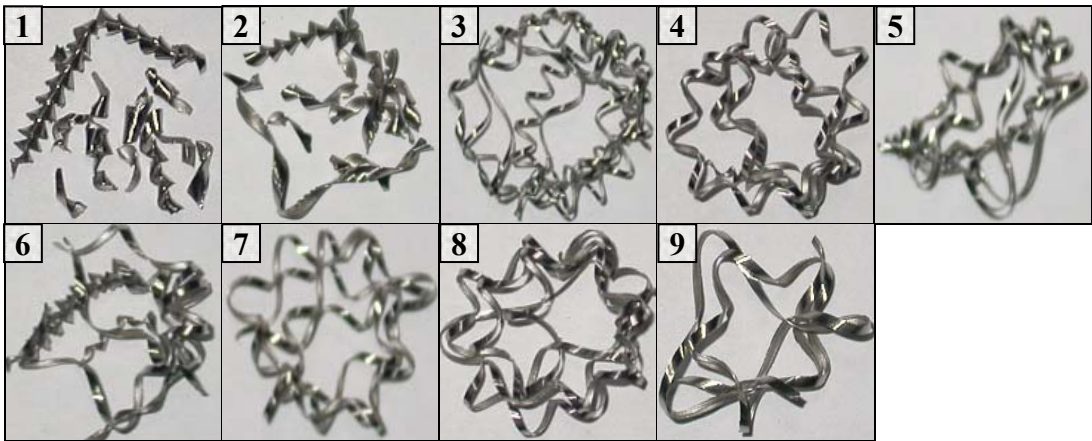


Şekil 7.12. 17,5 m/min - 0,1 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

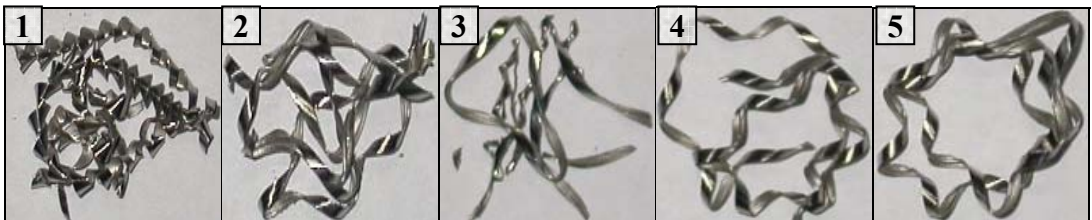
EK-8 TiAlN kaplı matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri



Şekil 8.1. 10 m/min - 0,05 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



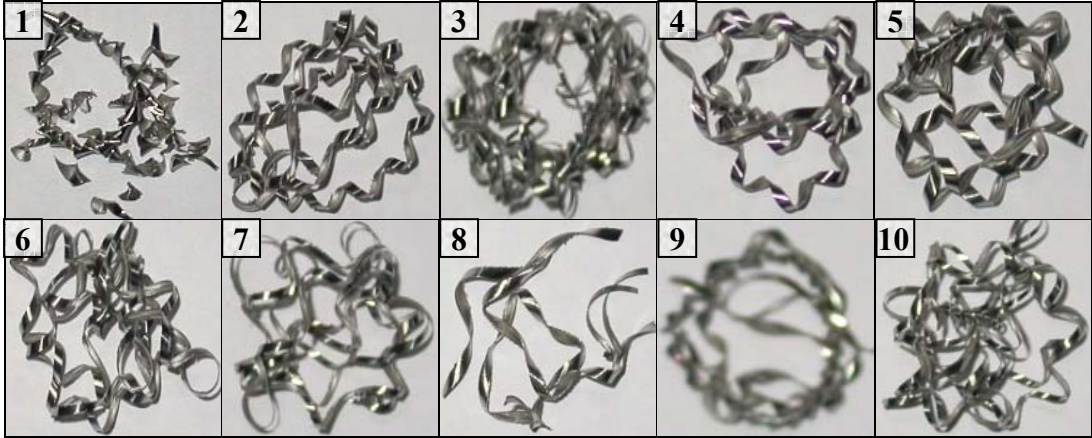
Şekil 8.2. 10 m/min - 0,075 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



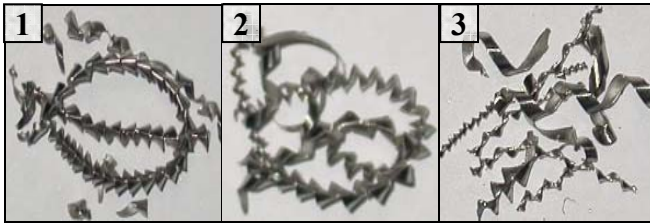
Şekil 8.3. 10 m/min - 0,1 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



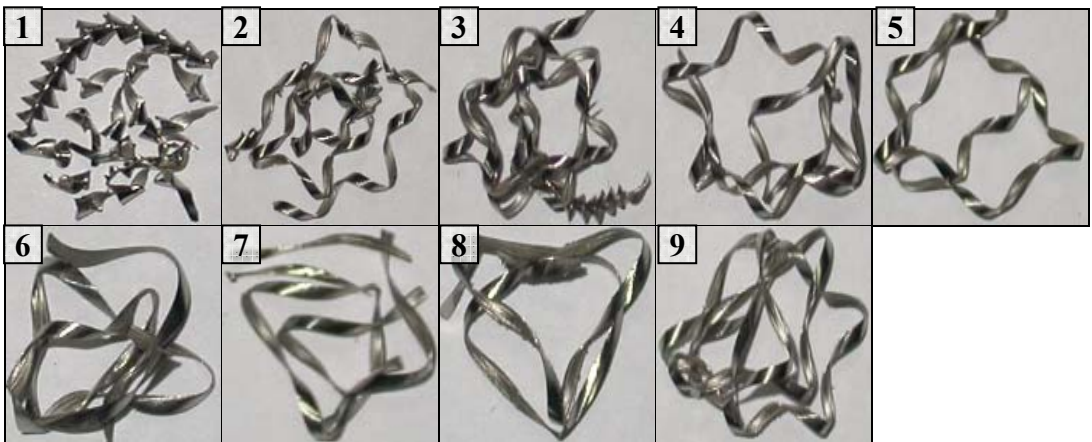
EK-8 (Devam) TiAlN kaplı matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri



Şekil 8.4. 12,5 m/min - 0,05 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

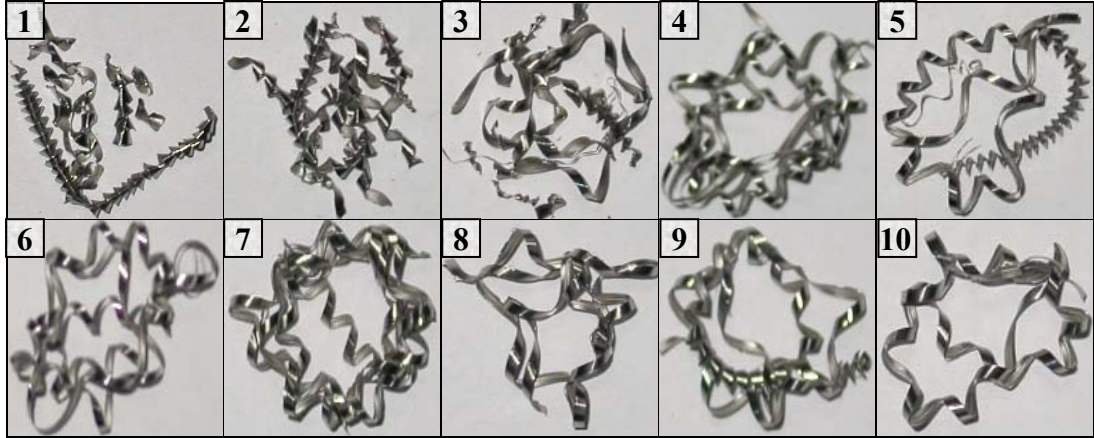


Şekil 8.5. 12,5 m/min - 0,075 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

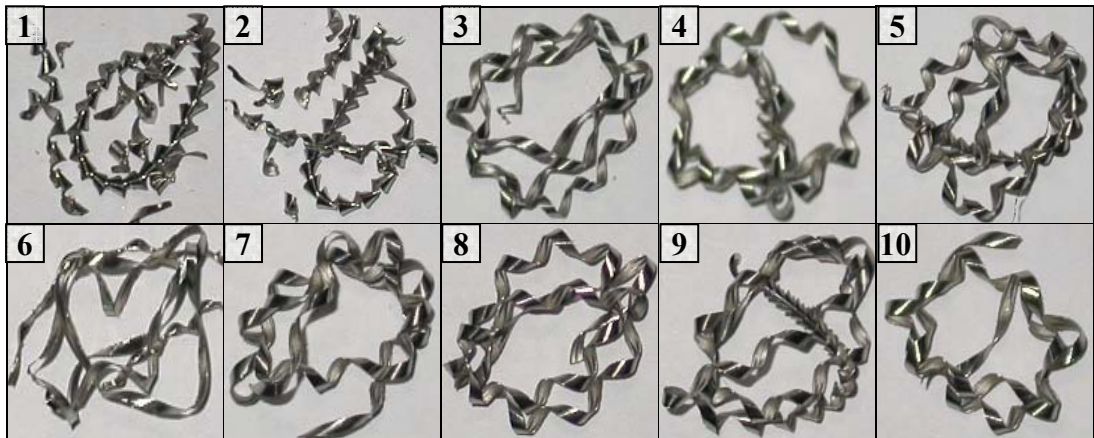


Şekil 8.6. 12,5 m/min - 0,1 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

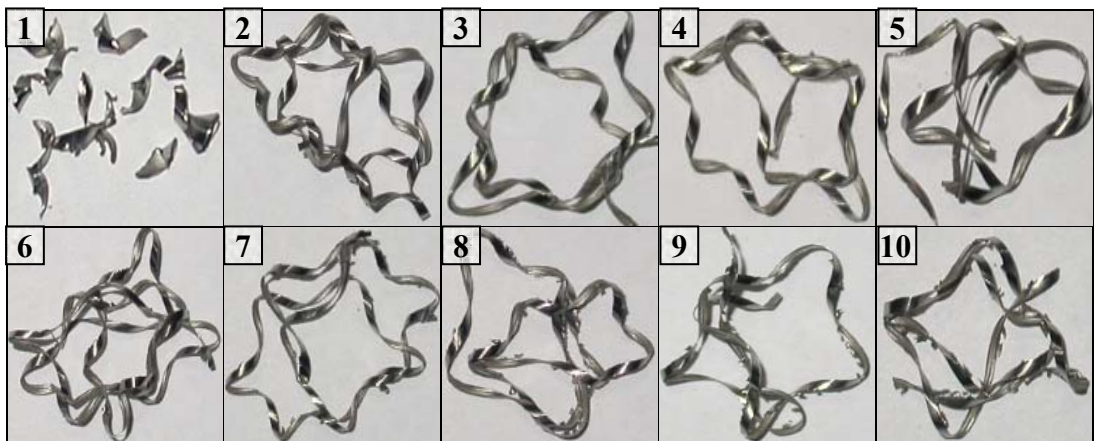
EK-8 (Devam) TiAlN kaplı matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri



Şekil 8.7. 15 m/min - 0,05 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



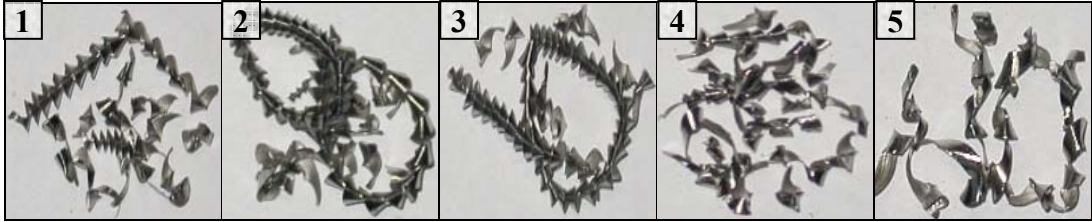
Şekil 8.8. 15 m/min - 0,075 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



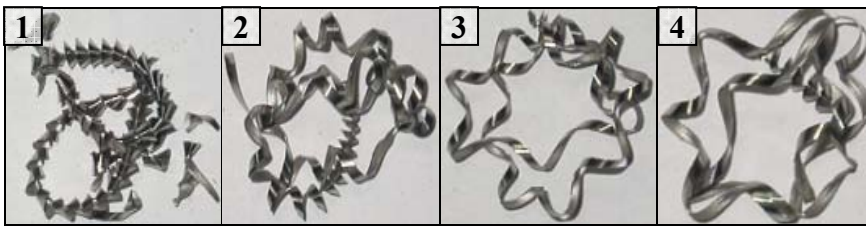
Şekil 8.9. 15 m/min - 0,1 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



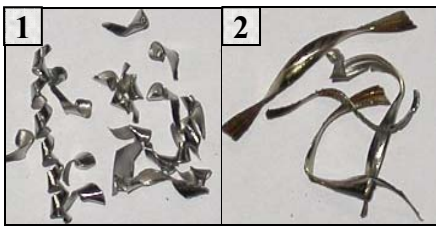
EK-8 (Devam) TiAlN kaplı matkapla delinen deliklerden alınan talaş örnekleri



Şekil 8.10. 17,5 m/min - 0,05 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



Şekil 8.11. 17,5 m/min - 0,075 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri



Şekil 8.12. 17,5 m/min - 0,01 mm/rev kombinasyonunda elde edilen talaş örnekleri

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KIVAK, Turgay  
 Uyruğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 23.10.1983 Eskişehir  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon : 0 (544) 696 42 91  
 e-mail : [turgay\\_26@hotmail.com.tr](mailto:turgay_26@hotmail.com.tr)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Bölümü	2007
Lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Bölümü	2005
Lise	Eskişehir Atatürk End. Mes. Lisesi	2000

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2007	Gazi Üniversitesi Atatürk MYO	Öğretim Görevlisi (Dışarıdan Görevlendirme)
2006-2007	Gazi Üniversitesi TÜBİTAK Projesi	Proje Asistanı
2005-2006	Efor Makine Sanayi Dış Tic. Ltd. Şti.	Tasarım ve Ürün Geliştirme Sorumlusu

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Yüzme, Futbol, Balık tutma