

**FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİNİ MATKAPLA DELME İŞLEMİNDE KESME
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer BUYTOZ

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Programı: Talaşlı Üretim Eğitimi

ŞUBAT-2010

**FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİNİ MATKAPLA DELME İŞLEMİNDE KESME
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer BUYTOZ

Enstitü No: 05119101

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Programı: Talaşlı Üretim Eğitimi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet HASÇALIK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 05 Şubat 2010

ŞUBAT-2010

**FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİNİ MATKAPLA DELME İŞLEMİNDE KESME
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer BUYTOZ

Enstitü No: 05119101

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 05 Şubat 2010
Tezin Savunulduğu Tarih: 26 Şubat 2010**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet HASÇALIK

Üye: Doç. Dr. Niyazi ÖZDEMİR

Üye: Yrd.Doç. Dr. Cebeli ÖZEK

ŞUBAT-2010

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanması sırasında değerli katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet HASÇALIK'a, Öğr. Gör. Ulaş ÇAYDAŞ'a, Bilişim Teknolojileri Öğretmeni Gürkan GÜRGÖZE'ye, deneysel çalışmalarında yardımcı olan diğer arkadaşlarıma teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ömer BUYTOZ
ELAZIĞ – 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLOLAR LİSTESİ.....	X
SEMBOLLER LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. PASLANMAZ ÇELİKLER	4
2.1. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması	5
2.1.1. Östenitik paslanmaz çelikler	5
2.1.1.1. Östenitik paslanmaz çeliklerin mikro yapıları	6
2.1.1.2. Östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri	7
2.1.1.3. Östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon özellikleri	8
2.1.2. Ferritik paslanmaz çelikler	8
2.1.3. Martenzitik paslanmaz çelikler	9
2.1.4. Çift fazlı (Dubleks) paslanmaz çelikler	10
2.1.5. Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler	10
2.2. Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği	11
2.2.1. Talaş oluşum mekaniği.....	11
2.2.2. İş parçası özelliği.....	12
2.2.3. İşlenebilirlik problemleri	13
3. DELME İŞLEMİ ve TEMEL KAVRAMLAR	15
3.1. Delme işleminde kullanılan kesici takımlar (Matkaplar)	15
3.1.1. Matkap Malzemeleri.....	17
3.1.2. Yüksek hız çelikleri (HSS)	18
3.1.3. Matkaplarda takım geometrileri.....	19
3.1.4. Matkaplarda kesici uca gelen kuvvetler	21
3.2. Takım Aşınması	22
3.2.1. Kesici takımlarda aşınma.....	22
3.2.2. Aşınma tipleri.....	23
3.2.2.1. Serbest yüzeydeki aşınma.....	25
3.2.2.2. Krater aşınması	26
3.2.2.3. Adhezyon aşınması	26
3.2.2.4. Abrasyon aşınması	27
4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	28
4.1. İmalatta Yüzey Pürüzlülüğü	28
4.2. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü	29
4.3. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler	29
4.3.1. İmalatta kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri.....	30
4.4. Yüzey Yapısı Kalitesi ve Ölçümü.....	31
4.4.1.1. Ölçme ve gösterilmesi	31
5. TAGUCHİ DENEY TASARIMI ve ANALİZİ YÖNTEMİ.....	35
5.1. Deneysel Tasarım.....	35

	<u>Sayfa No</u>
5.2. Taguchi Metodu	37
5.2.1. Taguchi'nin kalite kontrol sistemi	38
5.2.2. Ortogonal dizimler	41
5.2.3. İstatistiksel analiz ve deney sonuçlarının yorumlanması	41
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	42
6.1. Çalışmanın Amacı.....	42
6.2. Numunelerin ve Bağlama Aparatının Hazırlanması	43
6.3. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi	44
6.4. Metalografik İncelemeler.....	45
6.5. Mikrosertlik Ölçümleri.....	45
6.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri	45
6.7. Yanak Aşınması Ölçümleri.....	45
6.8. Çapak Yüksekliği Ölçümleri	46
6.9. Ölçü Tamlığı Ölçümleri.....	46
6.10. Deneylerde Kullanılan Matkap Uçları	46
7. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA	48
7.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları.....	48
7.2. Çapak Yüksekliği Ölçüm Sonuçları.....	55
7.3. Yanak Aşınması Ölçüm Sonuçları	62
7.4. Ölçü tamlığı ölçüm sonuçları.....	72
7.5. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları	78
8. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER	81
8.1. Genel sonuçlar.....	81
8.1. Öneriler	82
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	85

ÖZET

Bu çalışmada, 90°, 118° ve 130° uç açlarına sahip HSS, TiN kaplamalı HSS ve K20 karbür olmak üzere üç farklı matkap kullanılarak, farklı ilerleme miktarı ve devir sayısı şartlarında, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin delinmesi işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, çıkış çapak yükseklikleri ve ölçü tamlıklarındaki farklılıklar deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, numunelerin mikrosertlik değerleri ile kesicilerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmıştır. Deneyler, Taguchi Ortogonal dizinleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçülen değer, bu dizin içerisinde uygun sütunlara atanmış ve Minitab R 15 paket programı yardımı ile sonuçlar analiz edilmiştir. İşleme parametrelerinin performanslar üzerindeki etkileri grafiksel olarak belirlenerek en uygun işleme şartları tespit edilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde konuya giriş yapılarak, konunun ilgili literatürdeki yeri ve önemi vurgulanmıştır. İkinci bölümde paslanmaz çelikler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, delme işlemi ve temel kavramlar tanıtılmış, dördüncü bölümde yüzey pürüzlülüğü ile ilgili bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde Taguchi deneysel tasarımı yöntemi ve yöntemin avantajlarına değinilmiş, altıncı bölümde yapılan deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. yedinci bölümde elde edilen deneysel sonuçlar tartışılarak ilgili literatür ışığında yorumlanmıştır. Sekizinci ve son bölümde, çalışma sonucunda elde edilen genel sonuçlar ve öneriler verilerek çalışma bitirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 304 östenitik paslanmaz çelik, Delme parametreleri, Taguchi metodu.

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE CUTTING PARAMETERS IN DRILLING OF AISI 304 -STAINLESS STEEL

In this study, the surface roughness, tool flank wear, the exit burr heights and the dimensional accuracies of samples were experimentally investigated when drilling AISI 304 austenitic stainless steel. Three different drills, namely HSS, TiN covered HSS and K20 carbides were used during the trials with 90°, 118° and 130° point angles at constant feed rates and spindle speed conditions. Additionally, the microhardness values of samples were also measured and the tool wears were studied by using scanning electron microscope (SEM). The Taguchi's orthogonal arrays were used for experimentations. The each collected data was fixed at suitable columns and the data analysis was revealed by using Minitab R 15 package programme. The main effects of factors on responses were plotted by graphically and the optimal machining conditions were determined.

In the first chapter of this study, the subject was introduced and the place and importance of the study was pointed according to relevant literature. In the second chapter, a detailed knowledge about stainless steels was given. In the third chapter, the drilling process and basic features of process were described. In the fourth chapter, the surface roughness was detailed. At the fifth chapter, the principles of Taguchi design of experiment method were mentioned while the experimental procedures were given in the sixth chapter. In the seventh chapter, the experimental results were given and discussed through the open literature. In the eighty and final chapter the general results and recommendations were given.

Keywords: AISI 304 austenitic stainless steel, Drilling parameters, Taguchi method.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1.	Matkap ucu kısımları .	19
Şekil 3.2.	Matkap ucuna gelen kuvvetler.....	21
Şekil 3.3.	Serbest yüzeyde oluşan Aşınmanın Gösterimi .	26
Şekil 4.1.	Yüzey pürüzlülük eğrileri.	33
Şekil 5.1.	Taguchi'nin Kalite Sistemi.	39
Şekil 5.2.	Taguchi metodunun sistematiği.....	39
Şekil 6.1.	Deneylerde kullanılan numunelerin boyutları.	42
Şekil 6.2.	Bağlama aparatının boyutları.	43
Şekil 6.3.	Ölçü tamlığı alma yöntemi	46
Şekil 6.4.	İşlem öncesi matkap görüntüleri	47
Şekil 7.1.	10 delik sonrası delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	50
Şekil 7.2.	20 delik sonrası delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	51
Şekil 7.3.	30 delik sonrası delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	52
Şekil 7.4.	40 delik sonrası delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	53
Şekil 7.5.	50 delik sonrası delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	54
Şekil 7.6.	Delik eksenine dik kesilen numunelerin SEM görüntüleri	55
Şekil 7.7.	10 delik sonrası delme parametrelerinin çapak yüksekliğine etki.....	57
Şekil 7.8.	10 delik sonrası numunelerdeki çapak görüntüsü.....	57
Şekil 7.9.	20 delik sonrası delme parametrelerinin çapak yüksekliğine etkisi	58
Şekil 7.10.	20 delik sonrası numunelerdeki çapak görüntüsü.....	58
Şekil 7.11.	30 delik sonrası delme parametrelerinin çapak yüksekliğine etkisi	59
Şekil 7.12.	30 delik sonrası numunelerdeki çapak görüntüsü	59
Şekil 7.13.	40 delik sonrası delme parametrelerinin çapak yüksekliğine etkisi	60
Şekil 7.14.	40 delik sonrası numunelerdeki çapak görüntüsü.....	60

Şekil 7.15. 50 delik sonrası delme parametrelerinin çapak yüksekliğine etkisi	61
Şekil 7.16. 50 delik sonrası numunelerdeki çapak görüntüsü °	61
Şekil 7.17. 10 delik sonrası delme parametrelerinin yanak aşınmasına etkisi.....	63
Şekil 7.18. 10 delik sonrası matkap ucu makro resimleri.....	64
Şekil 7.19. 20 delik sonrası delme parametrelerinin yanak aşınmasına etkisi.....	65
Şekil 7.20. 20 delik sonrası matkap ucu makro resimleri.....	65
Şekil 7.21. 30 delik sonrası delme parametrelerinin yanak aşınmasına etkisi.....	66
Şekil 7.22. 30 delik sonrası matkap ucu makro resimleri.....	67
Şekil 7.23. 40 delik sonrası delme parametrelerinin yanak aşınmasına etkisi.....	68
Şekil 7.24. 40 delik sonrası matkap ucu makro resimleri.....	68
Şekil 7.25. 50 delik sonrası delme parametrelerinin çapak yüksekliğine etkisi	69
Şekil 7.26. 50 delik sonrası matkap ucu makro resimleri.....	70
Şekil 7.27. (a)HSS 130° 10 delik SEM (b) HSS 130° 50 delik SEM.....	70
Şekil 7.28. (a)K20 118° 10 delik SEM (b) K20 118° 50 delik SEM.....	71
Şekil 7.29. (a)TiN 130° 10 delik SEM (b) TiN 130° 50 delik SEM.....	71
Şekil 7.30. 10 delik sonrası delme parametrelerinin çap büyümeye etkisi.....	73
Şekil 7.31. 10 delik sonrası numune makro görüntüleri.....	73
Şekil 7.32. 20 delik sonrası delme parametrelerinin çap büyümeye etkisi.....	74
Şekil 7.33. 20 delik sonrası numunemakro görüntüleri.....	74
Şekil 7.34. 30 delik sonrası delme parametrelerinin çap büyümeye etkisi.....	75
Şekil 7.35. 30 delik sonrası numune makro görüntüleri.....	75
Şekil 7.36. 40 delik sonrası delme parametrelerinin çap büyümeye etkisi.....	76
Şekil 7.37. 40 delik sonrası numune makro görüntüleri.....	76
Şekil 7.38. 50 delik sonrası delme parametrelerinin çap büyümeye etkisi.....	77
Şekil 7.39. 50 delik sonrası numune makro görüntüleri.....	77

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 7.40. 20. Delikte oluşan sertlik grafiği	78
Şekil 7.41. 50. Delikte oluşan sertlik grafiği	79
Şekil 7.42. 50. Deliğin kesme kenarlarından alınan SEM görüntüleri.....	80

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. Talaş kaldırma işlemleri ile elde edilen Rt ve Ra yüzey..... pürüzlülük değerleri....	34
Tablo 6.1. AISI 304 ostenitik paslanmaz çeliğin kimyasal özellikleri	43
Tablo 6.2. Deneyde kullanılan parametreler	44
Tablo 6.3. Kullanılan matkapların sertlikleri.....	47
Tablo 7.1. 10 delik sonrası numunelerden alınan yüzey pürüzlülüğü	49
Tablo 7.2. 20 delik sonrası numunelerden alınan yüzey pürüzlülüğü	50
Tablo 7.3. 30 delik sonrası numunelerden alınan yüzey pürüzlülüğü	51
Tablo 7.4. 40 delik sonrası numunelerden alınan yüzey pürüzlülüğü	52
Tablo 7.5. 50 delik sonrası numunelerden alınan yüzey pürüzlülüğü	53
Tablo 7.6. 10 delik sonrası numunelerden alınan çapak yüksekliği	57
Tablo 7.7. 20 delik sonrası numunelerden alınan çapak yüksekliği	58
Tablo 7.8. 30 delik sonrası numunelerden alınan çapak yüksekliği	59
Tablo 7.9. 40 delik sonrası numunelerden alınan çapak yüksekliği	60
Tablo 7.10. 50 delik sonrası numunelerden alınan çapak yüksekliği	61
Tablo 7.11. 10 delik sonrası numunelerden alınan yanak aşınması.....	63
Tablo 7.12. 20 delik sonrası numunelerden alınan yanak aşınması.....	64
Tablo 7.13. 30 delik sonrası numunelerden alınan yanak aşınması.....	66
Tablo 7.14. 40 delik sonrası numunelerden alınan yanak aşınması.....	67
Tablo 7.15. 50 delik sonrası numunelerden alınan yanak aşınması.....	69
Tablo 7.16. 10 delik sonrası numunelerden alınan çap büyümesi	72
Tablo 7.17. 20 delik sonrası numunelerden alınan çap büyümesi	73
Tablo 7.18. 30 delik sonrası numunelerden alınan çap büyümesi	74
Tablo 7.19. 40 delik sonrası numunelerden alınan çap büyümesi	75

Sayfa No

Tablo 7.20. 50 delik sonrası numunelerden alınan çap büyümesi	76
Tablo 7.21. 20. Delikte oluşan sertlik	78
Tablo 7.22. 50. Delikte oluşan sertlik	79

SEMBOLLER

R_a	: Ortalama Pürüzlülük Değeri
V	: Matkap kesme hızı (m/ dak.)
d	: Matkap çapı (mm)
μm	: Mikronmetre
n	: Matkap devir sayısı (devir/dak.)
f	: İlerleme miktarı (mm/devir)
Ps	: Kesme gücü
Ms	: Kesme momenti
Fsz	: Kesme kuvveti
Ks	: Özgül kesme kuvvetidir.
Fc	: Esas kesme kuvveti
Ff	: İlerleme kuvveti
Frz	: Radyal (pasif) kuvvet

KISALTMALAR

AISI	: Amerikan Çelik Normu
CNC	: Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
BUE	: Talaş sıvanması (Built Up Edge)
SEM	: Tarama Elektron Mikroskobu
HV	: Vickers Sertlik Birimi
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme

1.GİRİŞ

AISI 300 serisi paslanmaz çelikler, sanayide kullanılan toplam çeliklerin en büyük oranını teşkil etmektedirler. AISI 304 ve 316 sınıfları bu kullanım alanında en büyük paya sahiptir. Bu çelikler, bünyelerinde bulunan yüksek krom ve nikel elementlerinden dolayı, oldukça yüksek korozyon direncine sahiptirler. Fakat, bu çeliklerin işlenmesinde, işlem anında sertleşme, takım ucunda oluşan sıvanma ve düşük termal iletkenlik nedeniyle işlenebilirlik zorlaşmaktadır. Talaşlı üretimde, yüzey pürüzlülüğü, kesici takımın ömrü ve işlenen malzemenin yüzey özellikleri, elde edilen ürünün kalitesini belirleyen en önemli faktörlerdir. Kalite performansını iyileştirmek için, işleme parametrelerinin optimum düzeyde seçilmesi gerekir.

Delme işlemi, en temel imalat yöntemlerinden bir tanesidir. Günümüzde, uzay sanayisinden otomotiv sanayisine birçok alanda, birçok makine parçalarının istenilen toleranslarda delinmesi istenmektedir. Bu işlemde, kullanılan kesici takımın cinsi, geometrisi, kesici açıları ve delme işleminde etkili olan devir sayısı, ilerleme miktarı ve kesme hızı gibi parametreler işlem verimliliğini etkilemektedir. Bütün bu parametrelerin kontrolü, işlenecek malzemenin özelliklerine de bağlı olarak oldukça zor ve karmaşık olmaktadır. Genellikle, bu parametreler kullanıcı tecrübelerine dayanılarak seçildiğinden, işlemde işleme farklılıklar meydana gelmektedir. Bu çeliklerin delinmesi ile ilgili araştırmalar da sınırlı olup, mevcut literatürdeki güncel bazı çalışmalar aşağıdaki şekilde özetlenmektedir.

J. Nickel ve arkadaşları yaptıkları çalışmada BS 970 303 S21 paslanmaz çeliğini HSS ve TiN kaplamalı matkaplarla delmişler ve matkap tiplerinin delik kalitesine olan etkilerini ve takım aşınma oranlarını kıyaslamışlardır. HSS takımların TiN kaplı HSS matkaplara göre daha fazla aşındığı ve yüzey pürüzlülüğünün TiN kaplı matkapta daha az olduğunu ölçmüşlerdir [1].

J.A. Paro ve diğ., çalışmalarında, sementit karbür kesici takımların yüzeylerini TiN ve TiCN ile kaplayarak bu takımların X2CrNi1911 paslanmaz çeliğinin delinmesi için uygun olup olmadığını araştırmışlardır. TiN kaplı takımın TiCN kaplı takıma göre takım ömrünün iyi olduğunu görmüşlerdir [2].

W.Belluco, L. De Chiffre; AISI 316L östenit paslanmaz çeliği 6 çeşit kesme yağı,

HSS – Co takımları kullanılarak takım ömrü, takım aşınması, kesme kuvveti ve talaş tipi incelenmiştir. Kullanılan minarel yağlarının işleme ömrünü artırdığı ve çevreye daha az zarar verdiği, ölçülen koralasyon alanında 0,81-0,91 aralığına kadar uzandığı, kesme kuvvetini azaltarak takım ömrünü artırdığı ve üretim maliyetini düşürdüğünü yapılan deney sonuçları ile tesbit etmişlerdir [3].

T-R. Lin and R.-F. Shyu; Paslanmaz çeliğin TiN, TiCN, CrN ve TiAlN kaplı matkaplar kullanılarak değişik işleme hızlarında takım ömrü ve çapak yüksekliği incelenmiştir. Delme işleminde değişken ilerleme yerine sabit ilerlemelerin takım ömrü ve çapak yüksekliğini pozitif yönde etkilediği, maksimum takım ömrünün ve minimum çapak yüksekliğinin 0,6 mm/dev ilerlemede olduğu, TiN ve TiCN kaplı HSS matkapların CrN ve TiAlN kaplı HSS matkaplara göre paslanmaz çeliğin delinmesinde daha uygun olduğunu bulmuşlardır[4].

Wen- Chou Chen, Xiao-Dong Liu; JIS SUS 304 paslanmaz çeliklerin delinmesinde TiN ve TiCN gibi farklı kaplamalar ile matkabın delme ömrü ve kesme kuvvetini deneylerle karşılaştırıp incelemiştir. Yüzeyi TiN multibakalı kaplı HSS matkabın aşınmasının, tektabakalı TiN ile TiCN kaplı HSS matkaplarınkinden daha az olduğu ve takım ömrünün daha fazla olduğunu sonucuna varmışlardır [5].

V.Fox, A. Jones, N. M. Renevier, D.G. Teer; yüksek sertlik, yüksek yük kapasitesi ve düşük aşınma özelliğine sahip grafit ve MoS₂ geliştirmişlerdir. [6].

Wen- Chou Chen, Chung-Chen Tsao; JIS SS 400 karbon çeliğinin delinmesinde farklı kaplamalı HSS matkapların delme ömrü ve kesme kuvvetinin sonucu olarak davranış değişikliğini inceleyip karşılaştırdılar. TiCN ile multibakalı kaplı HSS matkapların daha az aşınmaya uğradığını, takım ömrünün daha iyi olduğunu ve gereken kesme kuvvetinin fazla artmadığını görmüşlerdir [7].

S. Dolinšek; Ostenit paslanmaz çeliklerin (hızlı katılaşma, işlerken sertleşme, düşük ısı iletkenliği) gibi yapılarından doğan belirli özelliklerinden dolayı işleme zorluğunu matkapla delme işlemi yaparak incelemiştir. Kesme ucundaki BUE ve yüksek derecedeki plastik deformasyondansa kesme kuvveti (%30) ve ilerleme kuvveti (%50)'nin daha etkili olduğunu bulmuşlardır [8].

J.A. Paro, T.E. Gustafsson, J.Koskinen; NiTi ile kaplı konveksiyonel olarak üretilen X2CrNi 19 11 paslanmaz çelikleri TiN, TiCN ve karpit kaplı aletlerle incelemiştir. Aşınma mekanizmasının paslanmaz çeliklerinki ile benzer sonuçlar gösterdiği elde edilmiştir [9].

Tsann- Rong Lin ; TiN kaplı eğilimli kesme ağızlı kapı takım ile paslanmaz çeliğin yüksek hızda işlenerek delinmesi sonucunda, takım ömrü yüzey pürüzlülüğü , takım aşınması , çapak formatına etkilerini araştırmıştır [10].

Victor P. Astakho; kesme hızı, kesme derinliği ve iş parçası çapının takım aşınma oranına etkisini araştırmıştır. İşleme sistemindeki statik ve dinamik rijitlik, kaldırılan tabakanın deformasyon dalgası ve sıcaklığın etkisinin iş parçasının çapı ile doğru orantılı olduğu, kesme derinliğinin optimum kesme sisteminde takım aşınmasında ihmal edilebileceği, kesme hızının da takım aşınmasını büyük oranda etkilediğini görmüşlerdir [11].

2. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çeliklerin kullanımı son 25 yılda artmaktadır. Bu çelikler, mükemmel korozyon dayanımlarının yanında, değişik mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmeleri ve şekil verme kolaylığı gibi özelliklere sahiptirler. Çelikler diğer demir alaşımlarda olduğu gibi atmosferde oksitlenirler ve yüzeylerinde pas olarak adlandırılan bir tabaka oluşur. Alüminyum ve çinkonun aksine çeliğin yüzeyini kaplayan koruyucu oksit tabaka, pas ve oksitlenmenin iç kısımlara doğru ilerlemesine engel olur. Paslanmaz çeliklerde ise korozyon direnci artan krom miktarına bağlı olarak yükselmektedir. Paslanmaz çeliklerde sıkı ve ince bir krom oksit tabakası oksidasyon ve korozyonun ilerlemesine engel olmaktadır. Elektro-kimyasal gerilim değerlerine bakıldığında kromun, demirden daha az asal olan bir metal olduğu görülmektedir. Kromun koruyucu etkisi, krom ile oksijen arasındaki ilişkiden ileri gelmektedir. Krom içeren çeliklerin yüzeyleri bir krom oksit tabakası ile örtülü olmadıkları sürece korozyona ve özellikle oksidasyona karşı direnci oldukça sınırlıdır. Bu duruma "aktiflik" denir. Diğer yandan oksit tabakasının oluştuğu durumlarda metalin korozif ortamlara karşı direnci artar ve dolayısıyla da çelikler "pasifleşmiş" olurlar. Pasivitenin sınırları ile derecesi ortamın aktivitesi ile paslanmaz çeliğin bileşimine bağlıdır. Koşulların uygun olduğu hallerde pasivite kalıcıdır ve paslanmaz çelikler çok yavaş bir korozyon hızına sahiptirler[12].

Bu pasif film yok olduğunda ve yeniden oluşması için gerekli koşullar bulunmaması halinde, paslanmaz çelikler de normal karbonlu ve az alaşımlı çelikler gibi korozyona uğrayabilirler. Bu bakımdan paslanmaz çeliklerin korozyona karşı dirençlerinin yüksek olması için en az % 12 krom içermeleri gerekir. Krom oranının artması ile Young modülü *E'*de artmaktadır. İçerisindeki karbon oranı yeterince yüksek olduğu zaman paslanmaz-krom çelikleri karbon çelikleri gibi sertleştirilebilir. Paslanmaz çelikler kroma ek olarak molibden (Mo), bakır (Cu), titanyum (Ti), silisyum (Si), manganez (Mn), alüminyum (Al), azot (N) ve sülfür (S) gibi diğer alaşım elementlerini de içerirler. Bu elementler malzemenin yapısını değiştirmek, korozyon direncini ve diğer özelliklerini iyileştirmek için kullanılır [13].

2.1. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

İçerdikleri diğer katkı elementlerine göre değişen ve tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan beş çeşit paslanmaz çelik türü vardır. Bunlar sırası ile:

1. Östenitik Paslanmaz Çelikler
2. Ferritik Paslanmaz Çelikler
3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler
4. Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler
5. Çökelme Yoluyla Sertleşebilen paslanmaz çeliklerdir [12].

2.1.1. Östenitik paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler diğer paslanmaz çelikler içerisinde çok kullanılan çeliklerdir. Bu çelikler, soğuk işleme tabi tutuldukları zaman kısa sürede yüksek dayanım kazanırlar. Korozyon direnci bakımından diğerlerine göre en iyisidir. Bu çelikler %6-% 22 arasında nikel (Ni) ve %16 -% 25 Cr içeren üçlü demir-krom-nikel faz alaşımlarıdır. En yaygın östenitik paslanmaz çelik 18/8 (% 18 Cr - % 8 Ni) alaşımıdır. Bu çelik, östenitik grubunda temel düzeyde korozyon direncini temsil eder. Daha iyi korozyon direncinin gerekli olduğu durumlarda çeliğe molibden ilave edilmelidir. Bu yolla aside karşı dirençli paslanmaz çelik elde edilir. Bunun yanı sıra korozyon direncini daha da artırmak için % 22 oranında Ni, % 26 Cr ve birazda Cu katılır. Östenitik paslanmaz çeliklerin ferritik paslanmaz çeliklerdeki gibi ısıtılma ile sertleştirilmeleri mümkün değildir. Östenit dengeleyici element olan nikel, demir-krom, karbon alaşımlarından ferriti hemen hemen yok ederken östenit alanını genişletir. 18/8 tipi östenitik paslanmaz çelikler düşük karbonlu (% 0.08), çok düşük karbonlu (% 0.003) ve stabilize edilmiş olmak üzere üç'e ayrılır. Karbon miktarı % 0.03'den az ise karbür oluşmaz ve çelik oda sıcaklığında tamamen östenitik olarak kalır. 18/8 paslanmaz çeliğin kolay işlenebilen alternatifleri de vardır. Yaygın olarak kullanılan bu çelikler tekrar sülfürize edilir. Bazen işlenebilirliğin artması için selenyum ilave edilir. Bu katkı maddeleri korozyon direncini zayıflatır. YMK östenitik paslanmaz çeliklerin süneklik, şekillendirilebilirlik ve korozyon dirençleri çok iyidir.

Mukavemet, yoğun katı eriyik mukavemetleşmesi ile elde edilir ve östenitik paslanmaz çeliklerin soğuk deformasyon sonucu pekleşmesi ferritik paslanmaz çeliklerden daha fazla olabilir. Östenitik çelikler geçiş sıcaklıklarına sahip olmadıkları için, düşük sıcaklıktaki darbe özellikleri mükemmeldir. Bu çelikler ferromanyetik değildirler. Yüksek nikel ve krom miktarı bu çeliklerin maliyetinin artmasına neden olur. % 0.03 den daha fazla karbon içeren östenitik paslanmaz çelikler, taneler arası korozyona karşı hassas olabilirler. Çelik yaklaşık 870 ile 420 °C'ler arasında yavaş yavaş soğutulduğunda tane sınırlarında krom karbür çökelir. Daha sonra bu tane sınırları bölgesinde korozyon oluşur. Su verme, tavlama, ısıtma işlemi, korozyonu önlemek için kullanılabilir. Korozyona hassas çelik 870 °C'nin üzerinde ısıtıldığında krom karbürler çözündükten sonra hızla soğutulmuş olarak karbürlerin yeniden oluşması önlenir. Bu problemin bir başka çözümü ise çeliğe titanyum veya niobyum katmaktır. Karbon krom yerine titanyum ve niobyumu tercih ederek TiC ve NbC oluşturmaya çalışılır. Bu işlem dengeleme olarak adlandırılır[13].

2.1.1.1. Östenitik paslanmaz çeliklerin mikro yapıları

Östenitik paslanmaz çelikler prensip olarak östenit kararlaştırıcı yüksek nikel içermeleri nedeniyle yüksek sıcaklıklarda tavlandıktan sonra oda sıcaklığında östenitik (YKM) yapılarını korurlar. Bununla birlikte Mn, C, N 'de östenitik yapının korunması ve kararlaştırılması için katkıda bulunur.

%18 Cr' lu çeliklere Ni ilavesi halkasını büyük ölçüde genişletir. Ni oranındaki artışın yapı ve mikro yapı üzerinde 2 temel etkisi vardır.

- Ni ilavesi östenitleme sıcaklığında mevcut östenit miktarını artırır, fakat Ni oranının düşük tutulması halinde mevcut östenit tamamen ya da kısmen martensite dönüşebilir.
- Ms sıcaklığının o denli düşürür ki Ni oranının %8 olması durumunda Ms sıcaklığı oda sıcaklığının hemen altındaki bir değere iner ve bu durumda östenitleme sıcaklığından oda sıcaklığına yapılan soğutma sonucu östenit mikro yapıda dönüşmemiş olarak kalır.

%18 Cr - %8 Ni' li bileşimdeki çeliğin mikro yapısında bir miktar -ferrit bulunur. C' un serbest halde olan %18 Cr' lu çelikte 1050 °C deki östenitleme sıcaklığında tamamen

östenitik mikro yapı oluşturabilmek için %12 oranında Ni' e gereksinim vardır. Bununla beraber C' un kuvvetli östenit oluşturunca element olmasından ötürü %0.1 C içeren %18 Cr - %8 Ni' li çelik 900 °C'de tamamen östenitiktir. Bu çeliğin Ms sıcaklığı oda sıcaklığının hemen altında olup Östenitin martensite kısmen dönüşmesi -78° C' de soğutma sonucu ve soğuk deformasyon sürecinde gerçekleşir. %0.1 C'lu çeliklerde, tipik östenitleme sıcaklıklarından (1050- 1100 °C) soğutma sonucu östenitin kararlı olmasının sağlanmasında Cr ile Ni arasındaki etkileşimin çok önemli olduğu anlaşılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelikler etkili miktarda C içerirler. Örneğin; tip 302 alaşımında genellikle yaklaşık %0.1 C ve tip 304 alaşımında ise %0.06 C bulunur. Östenitik paslanmaz çeliklerde karbon eriyebilirliği sıcaklık düştükçe %18 Cr- %8 Ni alaşımlarında olduğu gibi hızlı düştüğü için bu alaşımlar yavaş soğutulursa krom karbürler çökebilir [14]

2.1.1.2. Östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri

Östenitik paslanmaz çelikler oda sıcaklığında östenitik (YKM) bir yapıya sahip oldukları için ısıtma işlemi büyük bir ölçüde sertleştirilemezler buna karşın bu alaşımlar soğuk deformasyonla dayanımları oldukça artırılabilir. Örneğin tip 301 alaşımının akma dayanımı soğuk deformasyonla 40' dan 200 ksi' ye çıkartılabilir. Östenitik paslanmaz çelikler mikro yapıdaki östenitin kararlı hale getirebilirliğine göre kararlı ve yarı kararlı östenitik çelikler olarak iki grupta toplanır. Kararlı östenitik çeliklerin mikro yapıları soğuk deformasyondan sonra östenitik olarak kalır. Yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler soğuk deformasyonla belli bir düzeyde martensite dönüşerek östenitmartensit karışımından oluşan yapıyı ortaya çıkarır. Tip 304 normal pekleşme davranışı sergiler ve gerilimin uygulandığı süreçte normal pekleşmeye işaret eden parabolik bir eğri sergiler. Buna karşın tip 301 yaklaşık %10-15 deformasyondan sonra hızlandırılmış bir pekleşme davranışı gösterir. Bu hızlandırılmış pekleşme davranışına kararsız östenitten martensit oluşumu neden olmaktadır. Karbon içeriğindeki küçük bir değişikliğin akma dayanımı üzerindeki etkisi 304 ve 304L alaşımlarının akma dayanımları birbirleri ile karşılaştırılarak görülebilir. Yaklaşık %0.08 C içerikli tip 304 42ksi akma dayanımına sahipken daha düşük %0.03 C içerikli 304L alaşımının akma dayanımı 39 ksi' dir. Kararlı ve yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler arasındaki fark, tavlanmış malzemelerin çekme dayanımlarındaki farklarla belirgin bir şekilde gösterilir. Örneğin yarı kararlı tip 301 çeliği

110 ksi çekme dayanımına sahipken kararlı tip 304 çeliği sadece 84 ksi çekme dayanımına sahiptir[14].

2.1.1.3 Östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon özellikleri

Östenitik paslanmaz çelikler, endüstriyel, atmosfer ve asit maddelerine karşı bütün paslanmaz çeliklerden daha iyi korozyon direncine sahiptir. Parlatılmış yüzeyler, çoğu doğal şartlar altında toz ve kirden arınmış olarak yüzey özelliklerini korumaktadır. Korozyon şartları çok şiddetli olduğunda daha yüksek alaşım ihtiva eden 304 tip paslanmaz çelikleri gerekmektedir[14].

2.1.2. Ferritik paslanmaz çelikler

Malzemelerin çok önemli bir grubunu oluşturan ferritik paslanmaz çelikler, alaşım elementi ilavesine bağlı olarak bileşimlerinde farklı oranlarda (%12-30) Cr içerirler. Korozyona karşı dirençleri, şekillendirilebilmeleri ve tokluk özelliklerinin düşük olmasına karşın, östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla ucuz olmaları en önemli avantajlarıdır.

Ferritik paslanmaz çelikler %12-30 Cr içeren demir-krom alaşımlarıdır. Ni içeriği ise mevcut değildir. Bu alaşımlar ferritik olarak adlandırılırlar. Çünkü yapıları normal ısıtım işlem şartları altında ferritik olarak kalırlar (HKM demir tipi). Bu alaşımlar başlıca genel yapı malzemeleri olarak kullanılır.

Bu yapı malzemeleri özel korozyon ve ısıtım direncinin istendiği malzemelerdir. Ferritik paslanmaz çelikler tasarım mühendisliği açısından büyük öneme sahiptir. Çünkü bunlar Ni içeren paslanmaz çelikler gibi aynı korozyon direncini sağlarlar fakat alaşım elementi olarak nikel ihtiyacı olmadığı için maliyetleri çok düşüktür. Buna karşın ferritik paslanmaz çeliklerin sünekliklerinin azlığı, çentik hassaslıkları ve düşük kaynaklanabilirliklerinden dolayı kullanımları östenitik paslanmaz çeliklerden daha sınırlıdır. Standart paslanmaz çeliklerin sünekliklerini aşmak için düşük karbon ve azot içerikli yeni ferritik paslanmaz çelikler geliştirilmiş ve ticari olarak üretilmiştir. Bu alaşımlar iyileştirilmiş korozyon direnci ve kaynaklanabilirliğe sahiptir [14].

2.1.3. Martenzitik paslanmaz elikler

Bu gruba giren paslanmaz çelikler genel olarak %16'dan az Cr içerirler, birleşimlerindeki C miktarı %0,5 - %1,2 arasında değişir. Yüksek miktarda C içerenlerin Cr miktarı %18'e kadar çıkabilir. Soğuma hızları yavaş olduğundan martenzit oluşumu çok yavaş meydana gelir (sakin havada). Martenzitik halde korozyon dirençleri çok iyidir. 815 °C ye kadar paslanmazlık özelliklerini yitirmezler. Uzun süre sıcaklığı maruz kalırlarsa hafif korozyon başlangıcı olur. Bundan ötürü endüstride 700 °C zerindeki sıcaklıklarda kullanılmazlar. İstenen içyapı ve özellikleri elde etmek için martenzitik paslanmaz çeliklerin, alaşım çeliklerine benzer biçimde ısıtılma (yani östenitleme, su verme ve temperleme) tabi tutulmaları gerekir. Östenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950-1050 °C arasındadır. Bu sıcaklıktan çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Su verme ve temperleme sonrası mekanik özellikler temelde karbon miktarına bağlıdır. Elde edilen sertlik ve mukavemet, karbon yüzdesi ile birlikte artar. Bileşimindeki krom miktarı %16 ve karbon miktarı %0,6 - %1,1 olan elikler 60 HRC sertlik ve 1900 MPa akma dayanımı gösterebilirler. Bu eliklerin sertliğinin yüksek oluşu, aşınma dayanımını da iyileştirebilir. %1,1 karbon içeren 440C kalitesi mkemmek aşınma dayanımı gösterirken, %0,1 karbon içeren 410 kalitenin aşınma dayanımı düşüktür.

Korozyon dayanımını ve tokluğunu artırmak için alaşıma molibden ve nikel eklenir. Nikel içeren martenzitik çeliklerde karbonun görevini nikel üstlenir. Bu şekilde karbonun bazı olumsuz etkileri (karbür keltireri, aşırı sertlik gibi) ortadan kaldırılabilir. Nikel aynı zamanda yüksek miktarda kromun etkisini dengeleyerek içyapıyı serbest ferritlerden korur. Ayrıca sertleşme kabiliyeti ve su verme derinliği arttığından, iri parçalara daha ışlah işlemleri uygulanabilir. Molibden ve nikel ilavesi, su verme sonrasında martenzite dönüşmemiş artık östenitlerin oluşmasını önlemek için sınırlı tutmak zorundadır. Bu nedenle korozyon dayanımı orta düzeyde kalmaktadır. Martenzitik elikler mıknaatıslanma özelliğine sahip olup daha çok; ısıtılma mukavemet gerektiren daha ziyade korozyona maruz yerlerde özellikle (pompa mili ve valf imalatında) kullanılır. En çok kullanılan tipleri, 410 ve 420'dir [13].

2.1.4. Çift fazlı (Dubleks) paslanmaz çelikler

Çift fazlı bir içyapıya sahip, ferrit taneleri içinde östenit veya östenit taneleri içinde ferrit içeren bu tür paslanmaz çeliklerin östenitik paslanmaz çeliklere nazaran en önemli üstünlükleri akma mukavemetlerinin iki kat daha büyük olmaları ve çok daha iyi korozyon dirençleri göstermeleridir. Endüstriyel uygulamalarda klor içeren sıvıların kullanılması, kullanılacak malzemelerin bilinen paslanmaz çeliklere göre (316L) arttırılmış mukavemet ve geliştirilmiş korozyon dirençlerine sahip olmalarını gerektirir. Bu tür çelikler, tane büyüklüğü 3-10µm' ye kadar küçük ültülebildiğinde, 950°C civarında %500 gibi bir çekme uzaması göstererek süper plastik hale gelirler. Dubleks paslanmaz çelikler basit anlamda iki ayrı fazı (ferrit ve östenit) bünyelerinde bulundurur. Dolayısı ile ferritik-östenitik veya östenitik-ferritik paslanmaz çelikler olarak tanımlanırlar. Daha öncede belirtildiği gibi ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin en iyi ortak özelliklerini taşırlar. Ferritik yapıyla mukavemet ve gerilmenin korozyon çatlamasına direnç, östenitik yapı ile tokluk ve genel korozyon direnci sağlanır. Böylece iki fazlı, ince taneli, yüksek mukavemetli ve iyi korozyon dirençli bir çelik ortaya çıkmaktadır [12].

2.1.5. Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler

Bu çeliklere çökelme sertleşmesi (yaşlandırma) uygulanabilir. Bunların esas içyapıları östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilir. Bu çelikler çok düşük miktarda karbon ihtiva ettiklerinden martenzitik türlerinde bile temel sertleşme ancak çökelmeye bağlı olarak gerçekleşir. Çökelti oluşumunu sağlamak için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılır. Çökelme sertleşmesi uygulanabilen çelikler, iyi süneklik ve tokluk yanında orta ile iyi derece arasında korozyon dayanımı gösterirler. Bu çeliklerde, martenzitik çeliklerle kıyaslandığında, mukavemet ve korozyon dayanımlarının iyi bir kombinasyonu elde edilir. Bu durum yüksek miktardaki alaşımlı elementleri ve en çok %0,04 karbon bulunmasından dolayıdır, ancak bunun sonucu aşınma dayanımında düşüş gözlenir. Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler 1700 MPa değerine kadar çıkan akma dayanımlarına sahiptirler. Soğuk şekillendirme ve onu izleyen yaşlandırma ile bu değer daha da yükseltilebilir. En yaygın olarak kullanılan türü 630 kalite olan bu grubun kullanım alanı uçak-uzay ve diğer yüksek teknoloji alanlarıdır [13].

2.2. Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği

Paslanmaz çelikler yüksek çekme mukavemeti ve korozyon direncine sahip olmasından dolayı işlenebilirliği zordur. Pekleşen kalın bölgeler, tel şeklindeki talaşlar ve yüksek işleme sıcaklıkları gibi birçok etken talaş kaldırma esnasında büyük bir rol oynamakta ve takım ömrünü azaltmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerdeki krom, nikel ve molibden muhtevası bu alaşımların yüksek gerilmeler altında plastik deformasyona uğramasına sebep olmaktadır. Paslanmaz çeliğin plastik deformasyonu için gerekli olan yüksek kesme hızı kuvvetleri ısıyı ve takım aşınmasını arttıran ek bir pekleşmeye sebep olurlar. Diğer önemli bir problemde kesici kenarda meydana gelen malzeme yığılması (BUE) dır. BUE kesici uçtaki aşınmayı arttırarak işlenen parçaların yüzeylerinin bozuk çıkmasına sebep olur. Sıcak parçalar kesici takımından uzaklaşırken kesiciyi aşındıran ve işlenen yüzeyi bozan uzun tel şeklinde uzaklaşırlar. Ayrıca işleme esnasında oluşan tiz sesler kesici takımın çatlamasına ve kırılmasına sebep olurlar. Yüksek krom ve nikel içeriğinden dolayı paslanmaz çelikler diğer karbonlu ve alaşımlı çeliklere nazaran daha yüksek sünekliğe ve daha düşük ısı iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle talaş kaldırmak için gerekli olan yüksek enerji, talaşlarla birlikte iş parçasından uzaklaşmak yerine kesme bölgesinde hapsolür. Bu sebepten dolayı kesme bölgesindeki ısı artışı aşınma mekanizmasını artırır. Ayrıca ısı artışı, krater aşınmasını arttırarak ucun kırılma riskini arttırır[14].

2.2.1 Talaş oluşum mekaniği

Talaş kaldırmada gerekli olan esas mekanizma, kesici takımın kesme kenarının hemen önünde iş malzemesi üzerinde bölgesel kayma deformasyonunun oluşmasıdır. Kesme sırasında, iş parçası ve takım arasındaki nispi hareket, takım yakınındaki iş parçasını bastırmak için ilk deformasyon olarak adlandırılan kayma deformasyonuna sebep olarak talaş oluşturur. Plastik akma, kayma bölgesi aracılığıyla meydana gelir. Plastik akma kapasitesi, bu kayma düzeninin sayısına bağlı olup, sırasıyla malzemenin kristal kafes yapısına ve davranışına bağlı olarak değişir. Malzemenin direnç gerilimi, elastik sınırını aştığı zaman, uygulanan kuvvet yönünde yönelmiş bitişik kayma düzlemleri arasında kalıcı nispi bir hareket oluşur. Bu hareket veya kayma bir defa olduğu zaman, bu özel düzlemler artarak daha fazla deformasyona veya zayıf düzleme karşı koyar. Bu

Çalışma sertleşmesi hemen hemen bütün ekliklerde görülmektedir, fakat en etkileyici olarak paslanmaz çeliklerde görülür. Talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerek, kesici takıma karsı talaşın kayma sürtünmesi ve kesmesinden dolayı ikinci deformasyon olarak adlandırılan ek bir deformasyon işlemine maruz kalır. Bu iki deformasyon işlemi, karşılıklı etkileşime sahiptir. Takım/talaş yüzeyine sürtünen malzeme elemanı ısınarak ilk kayma bölgesinden geçmesi esnasında plastik olarak deforme olmaktadır. Bu nedenle, ikinci olay kayma düzlemindeki olaydan etkilenmektedir. Aynı zamanda kayma yn, talaş yüzeyindeki deformasyon ve sürtünme işlemlerinden doğrudan etkilenir. Kayma doğrultusu, ilk deformasyon işleminde talaşın çalışma sertleşmesi ve ısınmasını etkiler [13].

2.2.2 İş parçası özelliği

İslenecek malzemenin özelliklerinin, talaş oluşumunda etkisi büyüktür. Akma dayanımı, basma yükü altında kayma dayanımı, deformasyon sertleşmesi (pekleşme), sürtünme davranışı, sertlik ve süneklik gibi malzeme özellikleri talaş oluşumuna etki etmektedir. Örneğin, yüksek dayanımlı malzemeler düşük dayanımlı malzemelere göre daha büyük kuvvet oluşturur. Daha büyük takım ve is sehimini yanında sürtünme ısısı işletme sıcaklıklarının artmasına yol açar ve daha büyük talaş kaldırma işi gerektirir. Malzeme yapısı ve bileşimi de talaş kaldırma işlemine etki eder. Örneğin, çelikteki karbür gibi sert ve aşındırıcı elemanlar takım aşınmasını hızlandırır. Yine talaş oluşumunda süneklik de önemli bir faktördür. Snekliliği fazla olan malzemeler sadece kesme esnasında talaşın aşırı plastik deformasyonuna müsaade etmez aynı zamanda sıcaklığı da arttırarak sürekli ve uzun talaş oluşturarak takım yüzeyi ile daha uzun süre temasta kaldığı için daha fazla sürtünme ısısına sebep olur. Bu tip talaşlar, aşırı deformasyona uğrayarak kıvrımlı bir sekil oluşturur. Diğer taraftan esmer dökme demir gibi bazı malzemeler, belli bir plastik deformasyon için gerekli sünekliliğe sahip değildir. Bunun sonucu olarak da takım önünde sıkışmış malzemeler takım ucunun herhangi bir yerinde ufalanmış parçalar meydana getirerek gevrek bir tarzda kırılabilir ve böyle talaşlar kesikli veya kopuk talaş olarak adlandırılır. Sünek malzemelerin islenmesinde kesici takım üzerinde BUE (Built-up-Edge (Kesici kenarda malzeme sıvanması)) oluştuğuunda sürekli talaşta değişmelerle karşılaşılır. Kesme bölgesinde aşırı basınç ve yerel yüksek sıcaklık islenecek malzemenin kesici takım ucuna basınç kaynağı veya yapışmasına yol açarak BUE oluşturur. Bu yapışmış malzeme

kesici ucu aşınmadan korumasına rağmen takım geometrisini değiştirir. BUE sabit ve kararlı olmayıp periyodik olarak kırılır ve talaşa yapışabilir veya takım altına geçerek işlenmiş yüzey üzerinde kalabilir [13].

2.2.3 İşlenebilirlik problemleri

İşlenebilirlik genellikle iş parçasının ne kadar kolay işlenebileceği veya bir kesici takım ile iş parçasının istenilen biçime getirilmesindeki ihtiyaçlar anlamında tanımlanmaktadır. İş parçası malzemesinin metalürjisi, kimyasal yapısı, mekanik özellikleri, ısıl işlemi, katkıları, kalıntıları (inklüzyonları), yüzey tabakası vb. özellikleri, kesici kenar, takım bağlama biçimi, takım tezgâhı, işleme biçimi ve işleme şartları gibi faktörler işlenebilirlik üzerinde etkili olmaktadır. En genel anlamda işlenebilirlik, aşağıdaki kriterlerle tanımlanan “kesici takım-ış parçası” çiftinin işleme karakteristiği gibi görünür. Bu kriterler;

- Takım ömrü,
- Talaş oluşumu ve talaşın uzaklaştırılması,
- Yüzey kalitesi,
- Kaldırılan talaş miktarı veya talaş kaldırma oranı,
- Kesme kuvveti,
- Kesme özgül direnci,
- Sıvanma (Built-up-edge) BUE eğilimidir.

Paslanmaz çeliklerde yüksek çekme mukavemeti ve korozyon direncini sağlamak için gerekli olan malzeme kompozisyonunu paslanmaz çeliklerin işlenmesini zorlaştırmaktadır. İşlerken pekleşen kalın bölgeler, tel şeklindeki talaşlar, şiddetli harmonikler ve yüksek işleme sıcaklıkları talaş kaldırma işlemi sırasında büyük rol oynamakta ve kesici takım ömrünü azaltmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerdeki krom, nikel ve molibden muhtevası bu alaşımların yüksek gerilmeler altında plastik deformasyona uğramasına sebep olmaktadır. Ayrıca, paslanmaz çeliğin soğuk olarak çekilmesi esnasında karbon çeliklerinde oluşan pekleşme tabakasından daha kalın bir sertleştirilmiş tabaka oluşur. Ek olarak, kesici takım ile temasta olan yüzey katmanları, malzemenin özüne göre, iki kat daha sert olabilir. Paslanmaz çeliğin plastik deformasyonu için gerekli olan yüksek kesme kuvvetleri ısıyı ve takım aşınmasını artıran ek bir pekleşmeye neden olurlar. Diğer bir problem ise, paslanmaz çeliğin sıvanması ve BUE'ye

yol açmasıdır. BUE kesici uçlardaki aşınmayı artırarak işlenen parçaların yüzeylerinin bozuk çıkmasına sebep olur. Sıcak talaşlar işlenen iş parçasından uzaklaşırken kesiciyi aşındıran ve işlenen yüzeyi bozan uzun tel halinde oluşurlar. Bunun engellenmesi için operatörün her bir işlenen parçadan sonra talaşları temizlemesi gerekir ki bu durum verimliliği olumsuz yönde etkiler. Paslanmaz çeliklerin işlenmesi sırasında, kayma düzlemleri kaynak olmuş dilimli talaşlar, uzun süreli tiz seslerin çıkmasına neden olur. Yüksek harmonik frekanslara sahip bu sesler kesici uçların çatlamasına ve kırılmasına neden olacaktır. Yüksek krom ve nikel muhtevassından dolayı paslanmaz çelikler diğer karbonlu veya alaşımlı çeliklerden daha yüksek sünekliğe ve daha düşük ısı iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle talaş kaldırmak için gerekli olan yüksek enerji, talaşlarla birlikte iş parçasından uzaklaşmak yerine kesme bölgesine hapsolür. Kesme bölgesinde oluşın ısı arttıkça iş parçası ve kesici üzerindeki aşınma mekanizmaları da hız kazanır. Bu durum kesicilerde çatlaklara sebep olabilecek ısı genleşmeyi ve ısı yorulma mekanizmasını hızlandırır. Artın ısı, krater aşınmasını artırarak, ucun kırılma riskini çoğaltır [13].

3. DELME İŞLEMİ ve TEMEL KAVRAMLAR

Delme işlemi, iş parçasından talaş kaldıran bir takım ile silindirik delik açma metodlarının tamamına verilen bir addır. Dönen ve eksenel bir hareketle iki ağza sahip bir kesiciye iş parçası üzerinde silindirik boşluklar elde etmek üzere yapılan işleme delme denir. Delme terimi kısa ve derin delik delme işlemleri için olduğu kadar müteakip broşlama, raybalama, havşa başı açma işlemleri ve ovalama (veya parlatma) gibi çeşitli son işlemler için de kullanılır. Bütün bu işlemlerin ortak noktası, takımın kendi eksenine etrafında dönme hareketi ile eksenine yönünde ilerleyerek yapılan bir talaş kaldırma operasyonu olmasıdır. Geleneksel, derin delik delme ve kısa delik delme gibi birkaç çeşit delik delme metodu vardır. Bu metotlardan hangisine karar vereceğiniz ise, delik çapı, derinliği, toleransları, ve finiş işlemine bağlı olmakla beraber üretim ihtiyaçları delme makinesinin sınıfsifikasyonları ve operatörün performansına bağlıdır. Önceleri delikler klasik, dikey tezgâhlarda delinmiş ve delme işlemleri üretimde dar boğazlar oluşmasına neden olmuştur. Bu gün bu tezgâhların birçoğu yerlerini daha modern FMS sistemlerine, işleme merkezlerine ve NC / CNC tornalara ve frezelere 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 deliğine gereksinim olmaksızın tek pasoda gerçekleştirirler. Delinmiş olan delik gerek boyut, gerekse yüzey kalitesi açısından ek bir işlem gerektirmeyebilir [15].

Delme esnasında, maksimum ekonomi elde etmek için birçok faktör göz önüne alınmalıdır. Öncelikle ise uygun matkabın seçimi çok önemlidir. Uygun matkap seçilirken işlenecek malzemenin bileşimi, sertliği, yüzey durumu, delik çapı ve derinliği yüzey kalitesi, kullanılan tezgâhın tipi ve bağlama durumları dikkate alınmalıdır. Matkap seçimi yapıldıktan sonra işlem parametreleri belirlenebilir. Bunlar gerekli güç, ilerleme ve delme hızları ve kullanılacaksa kesme sıvısıdır. [16].

3.1. Delme işleminde kullanılan kesici takımlar (Matkaplar)

Delme işlemlerinde kullanılan kesici takımlara genel olarak matkap denir. Matkaplar talaşlı üretimde en çok kullanılan kesici alet gruplarından biridir. Bir matkap kendi eksenine

etrafında dönerek ve aynı zamanda eksenini doğrultusunda ilerleyerek iki kesici ağzı ile kesme yapar. Metallerin işlenmesinde birçok çeşitten matkaplar kullanılır. Her matkap türü bir gereksinimden ortaya çıkmıştır. Bir delme takımı bir veya daha fazla kesici kenara ve helisel veya düz kanala sahip, dönen bir takımdır. Tüm delme takımları için ortak problemler kesme hızının merkezde sıfır, çevrede maksimum olmasından kaynaklanan problemlerdir. İşlem sırasında delik içerisinde oluşan talaşlar işlenen yüzeye zarar vermeden, kolaylıkla kesme bölgesinden uzaklaştırılacak bir şekle sahip olmalıdırlar. Takım seçimi delik çapı, delik derinliği, sağlanması gereken toleranslar, iş parçası malzemesi, üretim hacmi ve mevcut tezgâh gibi çeşitli parametrelerce belirlenir. Matkapların sivri uç merkezde olacak şekilde tasarlanması sayesinde takımın bir simetriye sahip olması ve kesme kuvvetlerinin birbirini dengelenmesi sağlanır. Kısa delik delme işleminde kullanılan matkaplar iki ana grupta toplanırlar: bilenebilir matkaplar ve değiştirilebilir uçlu matkaplar. 2,5 mm 'den 17 mm 'ye değişen çaplar için yaygın olarak bilenebilir matkaplar kullanılırlar. Özellikle kısa delik matkapları için tasarlanmış takım geometrisi merkezleme deliklerinin ve delme burçlarının kullanımını ortadan kaldırarak kendi kendine merkezleme özelliği sağlar. Bunun anlamı oldukça yüksek talaş debilerinin elde edilmesi ve işleme zamanlarının klasik spiral matkaplara göre 3—4 kat azalmasıdır. Bu durum kesici ucun matkabın ömrü boyunca 30 -40 defa değiştirilebilmesinden kaynaklanır. Ancak pek çok yaygın delik çapı için değiştirilebilir uçlu matkap mevcut değildir. Bu nedenle klasik hız çeliği matkaplar küçük çaplı delikler için en fazla kullanılan takımlardır. Yüksek maliyetli modern tezgâhlarda klasik HSS matkaplar ekonomik bir üretim için belirlenmiş performans gereksinimlerini karşılamazlar, birçok uygulamada zaman alıcı bir ön delme işlemine ve bir ince işleme gereksinimi duyulur. Bu nedenle modern geometrilere sahip bilenebilir matkaplar işletme maliyeti yüksek yeni tezgâhlarda her geçen gün önem kazanmaktadırlar. Matkapla delik delmede dikkat edilecek hususlar;

- Delik ortasında kesme hızının sıfıra düşmesi
- Talaşın zor transferi
- Kesme bölgesinde ısı dağılımının elverişli olmaması
- Keskin kenarlı kesici köşelerin büyük oranda aşınmaya maruz kalması
- Zırhın (fasetanın) delik çevresinde sürtünerek aşınması [15].

3.1.1. Matkap Malzemeleri

Kesici takımlar, iş parçalarının şekillendirilmelerinde kullanılan yüksek kaliteli, yüksek boyut hassasiyetli ve çoğu ileri teknoloji ürünü olan malzemelerden üretilirler. İşlenecek parçanın özellikleri, kullanılacak kesici takım malzemelerine sınıflandırmalar getirdiği gibi, takımın kullanım şartları da takım malzemesinin seçimini büyük çapta etkiler. Kesici takım malzemelerinde istenen ortak özellik ise sertlik ve sıcak sertlik, aşınma direnci, tokluk ve ekonomikliktir. Uygun takım malzemesinin seçimi ile kesici takım-iş parçası malzemeleri arasında sürtünme sonucu oluşan yüksek sıcaklık aşınma mekanizmalarının (difüzyon, oksidasyon vb.) bertaraf edilmesi ile yüksek kesme hızlarına ulaşır. Genel olarak takım malzemeleri üç ana grupta toplanabilir: Metal esaslı, karbür esaslı ve seramik esaslı takım malzemeleri. Günümüzde yaygın olarak kullanılan matkap malzemeleri ise yüksek hız çelikleri, Kobaltlı yüksek hız çelikleri ve sement karbürlerdir. Yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve takım ömrünün artırılmasına yönelik çalışmalar sonucunda, kübik bor nitrür (CBN) ve elmas kaplanmış takımlar da kullanılmaya başlanmıştır.

Sement karbür uçlar; HSS matkaplardan daha yüksek devirlerde ve daha sert malzemelerde kullanılabilirler. Sement karbürler imalatta daha geniş kullanım alanına sahiptirler. Çünkü yüksek hız gerektiren işlemlerde, kesici ağız çabuk aşınmaz, ilaveten yüksek sıcaklıklara karşı oldukça dirençlidir. Aşınma direncinin yüksek olması ve termal dayanımının yüksek olması gibi özelliklerinden dolayı karbür uçlar oldukça geniş kullanım alanına sahiptir.

Takım değiştirme zamanları ve dolayısıyla işleme zamanları takım, makine ve işgücü maliyetlerinin yükselmesi nedeniyle, kesici takım malzemeleri aşınmaya karşı mukavemetli olması istenir. Kesici takım malzemeleri ile ilgili teknik gelişmeler sona ermemiştir, mevcut malzemelerde hem alaşım elemanları hem de yüzey işlemlerle aşınma mukavemeti ve ömrünü arttırmak mümkündür. Değişik kesme kuvvet ve zorlamalara maruz kalan kesici takım malzemeleri aşağıda belirtilen özelliklere sahip olmalıdır.

- Sertlik ve basınç mukavemeti
- Eğilme mukavemeti süreklilik
- Kenar mukavemeti
- İyapısal mukavemet

- Isı mukavemeti
- Oksitlenmeye karşı koyabilme
- Difüzyon yayılma eğiliminin az olması
- Sürtünmeye karşı dayanıklı olması

Ayrıca ısı iletim katsayısı ve genleşme kullanım alanlarına göre uygun olması gerekmektedir. Matkaplar genellikle tek parça veya kaynaklı olarak hız çeliğinden yapılır. Hız çeliğinden yapılan matkapların kesme kabiliyetini arttırmak için kesme kısımlarına siyanürizasyon gibi kaplama işlemleri uygulanmaktadır. Bazı hallerde sert metalden yapılan matkaplar da kullanılır, bunlar daha çok takılabilir plakeli matkap şeklindedir ve sinterleme tekniği ile üretilir [15].

3.1.2. Yüksek hız çelikleri (HSS)

Konvensiyonel ergitme yöntemi ile üretilen yüksek hız çelikleri değişik kompozisyonlarda olabilir. Genelde yeterli oranda karbon ve yüksek oranda alaşım elementlerinden oluşmaktadır. Bu alaşım elementlerinden büyük bir çoğunluğu karbür halinde malzeme bünyesinde dağılmış durumdadır. Bu karbürlerin bir kısmı yüksek sıcaklıkta çözünmezler. Çalışma sıcaklıklarında sertliklerini kaybetmezler. Yüksek hız çelikleri, takım çeliklerine göre yüksek ısıya dayanabilme (600°C) ve daha yüksek sertliğe ulaşabilme (62/67 HRC) özelliklerine sahiptir. Bu özellikler ana yapıdaki karbürlerin sayısına ve dağılımına bağlıdır. Yüksek hız çelikleri üç ana grupta toplanabilir.

- Wolfram içeren yüksek hız çelikleri
- Molibden içeren yüksek hız çelikleri
- Wolfram ve Molibden içeren yüksek hız çelikleri

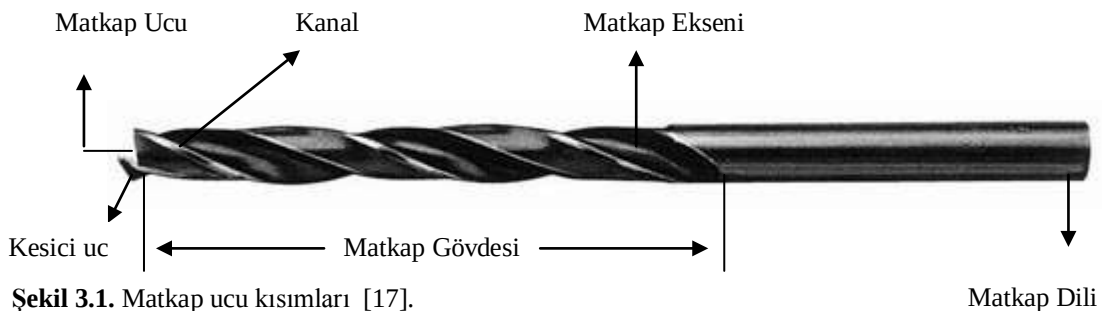
Yüksek hız çelikleri "S" harfi ile ve alaşım elemanlarının oranlarını belirten sayılarla gösterilir. Yüksek hız çelikleri W ve Mo oranına göre ayrılırlar.

1. Grupta yüksek Wolfram (%18W) ihtiva ederek yüksek ısıya dayanıklı olurlar ve Co ile birleşerek çelik ve döküm malzemelerin kaba işleminde tercih edilirler.
2. Grupta yükselen Vanadyum (V) miktarına göre (% 12W)'a sahip çelikler. Bu gruptaki çelikler az W ve Co hacimleri ile ısıya karşı daha az dayanıklıdır. Fakat %4 V oranı ile aynı aşınma mukavemetine sahiptirler. Bu çelikler hassas işlemlerde, otomat işlerde ve çelik olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılırlar. [15].

3.1.3. Matkaplarda takım geometrileri

Matkap tezgâhlarında delme işlemlerinde kullanılan matkaplar genellikle zırh ve helisel oluklar ve kesici uçtan oluşur. Kesici uç parçada yuva açarak matkabın kolayca ilerlemesini sağlarken helisel oluklar ise kesici ağızlar tarafından koparılan talaşın dışarı atılmasını sağlar. Ayrıca helisel oluklar vasıtası ile esas kesme ağızlarına talaş açısı verilmiş olur. Şekil 3.1’ de bir helisel matkap geometrisi ve kısımları gösterilmiştir. İki kesme kenarı arasındaki açısı uç açısı olarak adlandırılır ve ϕ ile gösterilir. Bu açının değeri delinecek parçaya göre değişir. Kesme açıları kenarlara dik düzlemler üzerinden ölçülür. Bu şekilde görüldüğü gibi, matkabın talaş açısı helis açısı ile kontrol edilir. Helis açısı küçüldükçe kesici kenarın talaş açısı da azalır. Matkabın helisel adımı matkap eksenine yaklaştıkça helis eğimi azaldığı için kesme kenarının talaş açısı da azalır. Taban yüzeyinin kesilen yüzeye sürtmemesi için eksene yakın kısımda kesme kenarına yeteri büyüklükte bir taban açısı vermek gereklidir. Uç kenarları boşluk yüzeyini oluşturmak için doğru açıda bilinmelidir. Matkabın esas özelliği kesici uç boyunca kesme ucundaki değişimdir. Her çevrede maksimum (silindir şeklinde yüzeye meydana getiren) ve matkabın merkez doğrusu yakınında 0’a yaklaşır. Bağlantı yeri, şekil 3.1’ de, kesici ucun keski şeklinde meydana geldiği kısımdır. Talaş açısı da hareketi yapar. Kesici uç boyunca talaş açısı ve kesme hızındaki değişikliklerin bu işleme ait delme kalitesi ve oluşacak problem üzerine etkisi büyüktür.

Matkaplarda talaşın akışına müsaade etmesi için dikkatli şekilde tasarlanması gereken kanallar yeterli dayanımı sağlamalıdır. Helis açısı ve konikliği diğer özellikler belli malzemelerin delinmesine göre tasarlanır. Bu koniklik de yaklaşık olarak 100 mm’lik boyda 0.1 mm kadardır. Matkabın çekirdek çapı, özellikle büyük matkaplarda dalmayı kolaylaştırmak ve matkabın kırılmasını önlemek için sapa doğru büyürken, matkap zırhında delik yüzeylerine sürtünmesini önlemek için de matkap çapı sapına doğru yaklaştıkça belli bir koniklikte dir.



Şekil 3.1. Matkap ucu kısımları [17].

Matkaplar çok etkili kesici takımlar arasında olduğu için ana kısımları, kesici uçların nasıl bilendiği bilinmeli daha verimli ve daha uzun ömürle kullanımlarında değişik metaller için doğru kesme hızı ve ilerleme miktarı seçimi yapılmalıdır. Endüstride kullanılan çok değişik malzemelerin verimli işlenmesinde çok farklı kesici kenar uç açılır kullanılır. Matkaplar, genelde, çubuk talaş kaldırma özelliğine sahip kaba bir takım olarak dikkate alındığı için bitirme işleminde pek kullanılmaz. Bitirme işlemi, genellikle, rayba ile gerçekleştirilir. Ancak matkap uçlarının sıkça uygun biçimde bilinmesi ile daha düzgün ve verimli kesme yapılabilir. Çok farklı malzemeler için matkap uç açıları ve boşluk açıları da değişiktir. Değişik malzemeleri delmek için genellikle 3 uç açısı kullanılır. En genel kullanılan uç açısı 118° dir.

Standart matkaplar ile yumuşak malzeme işlenmesi halinde çizilmeyi önlemek için matkap ucu düz olarak bilenebilir. Geniş açılı matkaplarda matkap uç açısı 135-150° olup, genelde tok ve sert malzemeler delmek için tercih edilir. Geniş açılı matkaplar üzerinde kesici kenarı daha dayanıklı tutmak için sadece 6-8° boşluk açısı verilir. Kesici kenarların daha kısa olması delme esnasında oluşan ısıyı ve sürtünmeyi azaltır. Özetlemek gerekirse, genel malzemeler için uygun olan matkap ucu açıları 118°, yumuşak malzemeler için kullanılan uç açıları 60-90° ve sert malzemeler için en uygun matkap uç açıları 135-150° olmalıdır. Örneğin, sert malzemeler ve çelik raylar için 136°, ısıl- işlem görmüş çelikler ile dövme çelikleri için 135°, alüminyum alaşımları, dökme demir ve kalıp çeliği için 90°, krank milleri ve derin delikli parçaların işlenmesi için 70° ve tahta, sert kauçuk ve fiberlerin işlenmesinde de 60° olmalıdır.

Tornalama işleminde olduğu gibi, matkabın dakikadaki devir sayısı (dev/dak) olarak ifade edilir. Matkap tezgâhında verilen matkap için doğru devir sayısını belirlemede;

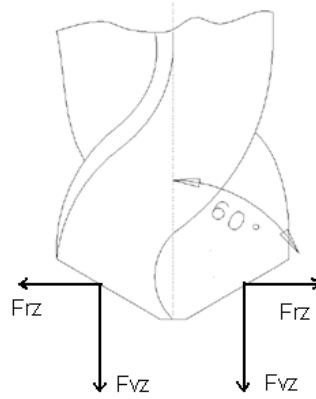
- Delinecek malzeme cinsi,
- Malzeme için tavsiye edilen kesme hızı,
- Matkap malzemesinin cinsi bilinmelidir.

Malzeme için tavsiye edilen kesme hızı (V) ve matkap çapına göre(D) devir sayısının(n) hesaplanması denklem 3.1’de gösterilmiştir.

$$n = \frac{1000.V}{\pi.D} \quad (3.1)$$

3.1.4. Matkaplarda kesici uca gelen kuvvetler

Delme sırasında bir ağza karşılık gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin bileşenleri, yani kesme kuvveti (F_{sz}), ilerleme kuvveti (F_{vz}) ve radyal kuvvet (F_{rz}) Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Matkap ucuna gelen kuvvetler

Ağızların konumu itibariyle her ağızda oluşan radyal kuvvetler (F_{rz}) aynı düzlemde ve iki ağızlı matkap için zıt yönlü olduğundan birbirini dengelemektedir. Dolayısıyla delme işleminde sadece kesme ve ilerleme kuvvetlerinin etkisi vardır. Matkap ile delme sırasında harcanan güç kesme ve ilerleme için gerekli olan güçlerin toplamıdır. İlerleme için gerekli olan kuvvet, tamamıyla kullanan kişi tarafından uygulanan itme kuvveti yardımı ile sağlanırken matkap tarafından uygulanan kuvvetle kesme gücü sağlanmaktadır.

Kesme gücü: $P_s = M_s * w$ bağıntısı ile bulunur. (3.2)

Yukarıdaki formülde kullanılan w matkabın açısal hızını M_s ise kesme momentini temsil eder.

Kesme momenti: $M_s = z * F_{sz} * d/4$ şeklinde hesaplanır. (3.3)

Kesme momenti hesabında kullanılan z : kesme işlemini yapan ağız sayısı, d matkap ucunun çapıdır. Matkap uçlarında genel olarak ağız sayısı ikidir.

Kesme kuvveti ise: $F_{sz} = A_{sz} * k_s$ bağıntısı ile tayin edilir. (3.4)

$A_{sz} = s * d/4$ (3.5)

Formülü ile hesaplanan talaş kesitidir. Burada s matkap ucunun bir devirdeki ilerlemesini temsil eder. k_s ise işlem yapılan malzemeye bağlı olan özgül kesme kuvvetidir.

$K_s = 1,2 * k_{s11} * h^{-2}$ (3.6)

Formülü ile hesaplanır [18].

3.2. Takım Aşınması

Talaşlı imalatın temel amacı, üretilecek iş parçasının geometrik ve boyutsal tamlığıyla birlikte yüzey kalitesinin de istenen sınırlar içerisinde tutulmasını sağlamaktır. Bu şekillendirme esnasında istenmeyen malzemelerin talaş olarak iş parçasından ayrılmasının mümkün olduğu kadar kontrollü gerçekleştirilmesi işlemin temel problemidir. Bunun için de, metallerin talaşa dönüşmeleri esnasındaki davranışları ve bu davranışlarının sebeplerinin iyi anlaşılması-analiz edilmesi gereklidir. Çünkü talaşlı imalat işlemini diğer metal kesme ve işleme yöntemlerinden farklı kılan, kesme olayının kesici takım üzerindeki lokal bir bölgede gerçekleşmesi ve bu esnada ısı, mekanik, kimyasal ve abraziv yük faktörlerine maruz kalmasıdır. Kesme sırasında, talaşın kesme yüzeyinde sıkışması, şekil değiştirme ve ayırma işi nedeniyle iç sürtünmeler, talaşın takım yüzeyinden akması ile talaşın takım yüzeyine teması sonucu dış sürtünmeler meydana gelir. Tüm bu sürtünmeler, kesici takımın ısınmasına neden olmaktadır. Isı oluşumu daha çok, kesici kenarın yakınlarındaki lokal alanlarda meydana gelir. Kesme kuvvetlerinin meydana getirdiği sürtünme ile kesici takımda oluşan ısı, takım sertliğini etkiler. Takım sertliğinin azalması kesici takımlarda bazı aşınma mekanizmalarını doğurur.

Takım ve iş-parçası arasındaki sürtünmelerin azaltılması, oluşan kesme ısını ve aşınmayı azaltacaktır. Sürtünmelerin azaltılması için, kesici takımın yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi ve adheziv, abraziv, difüzyon, oksidasyon ve yorulma aşınma mekanizmalarına karşı koruyucu sert seramik esaslı elementlerle kaplanması önerilmiştir [15].

3.2.1. Kesici takımlarda aşınma

Bütün kesici takımlar talaş kaldırma esnasında, iş parçası ve talaş ile temas sonucu sınırlı bir çalışma ömrüne sahiptir. Böylece, kesici takımın işlem kalitesini sağlayamayacak hale gelmesine kadar geçen süre “takım ömrü” olarak adlandırılır. Her bir kesici takım için takım ömrü, kesme şartlarına göre farklıdır ve deneysel olarak belirlenir. Takımın maruz kaldığı yüksek sıcaklık ve mekanik gerilmelerden dolayı, kesici takım yavaş yavaş veya ani olarak malzeme kaybına maruz kalır ya da is göremez hale gelir. Takımın zamanla hasarı “aşınma”, ani hasarı ise “kırılma” olarak tanımlanır. Bu kırılma ve aşınmalar,

genellikle kesici takımın kesme kenarının, talaş yüzeyi, serbest yüzeyler ve burun bölgesinde oluşur. Kesici takımın durumu; iskarta is parçası, takım tezgâhının hasarı, aşınmış takımın değiştirilmesi için durma zamanı gibi ilave maliyetlere neden olduğundan, tüm talaş kaldırma prosesleri için oldukça önemli bir faktördür. Bu nedenle kesici takımın kesme işlemi boyunca sürekli denetlenmesi ve değişme zamanının mümkün olduğunca önceden bilinerek programlı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bunun için de kesme işlemi esnasında zamansız takım bozulması ile karşılaşmamak için aşınma kriterleri belirlenmiştir. Uygulamada standart olarak takım ömrü veya aşınma sınır kriteri değerleri, kesici takımın serbest yüzeylerindeki yan yüzey aşınma şerit genişliği (VB) veya krater aşınma derinliği (KT) ve/veya genişliğinin (KB) ölçümü ile belirlenmektedir. Birden fazla aşınma tipinin ölçülebildiği yerde her tip için aşınma değeri belirlenir ve bunlardan herhangi birisi, o aşınma tipi için belirlenen aşınma kriteri sınırına ulaştığı zaman takım ömrüne ulaşılmış kabul edilir. Buna rağmen, takım ömrünü tayin etmede farklı kriterlerde kullanılmıştır. Kesici takımın durumu hakkında doğrudan bilgi veren ölçme yöntemlerinin yanı sıra, işleme performansı, talaşlı işlenebilirlik gibi farklı amaçlarla birlikte dolaylı olarak kesicinin durumunu gösteren yöntemler de kullanılmaktadır [15].

3.2.2. Aşınma tipleri

Sürtünmeden ötürü oluşan aşınma, tüm endüstri kollarında ‘sinsi’ bir tehlike olarak karşımızda durup zamanında ve sistematik tedbir alınmadığı takdirde çok pahalıya mal olabilecek sonuçlara götürebilir. Talaş kaldırmada iş parçası ile temas halinde bulunan takımın aşınması çok genel olarak kesici takım malzemesinin kaybı şeklinde tarif edilebilir. Bu kayıp çeşitli şekillerde oluşabilir.

1. Mikroskobik büyüklükteki küçük aşınmış partiküller vasıtasıyla takım malzemesinin tedrici olarak kaybı şeklinde,
 2. Metal kesmede yüzey üzerine gömülmüş sert partiküllerin takıma sürtünmesi tesiriyle,
 3. Takımın mikroskobik parçalar halinde ufalanması şeklinde,
 4. Kesme sıvısı içinde fazla aktif ilaveler bulunması nedeniyle takımın korozyonu ile.
- Bu durum en çok kobalt bağlayıcı kullanılmış sert metal takımların kükürt içeren yağların kullanılması halinde görülür.

İlk iki maddede belirtilmiş hususlar diğerlerine nazaran daha önemlidir. Takımın tedrici aşınması "metal transferi" adı verilen fizyo-kimyasal bünyeye haiz bir aşınma tipi ile ortaya çıkmaktadır.

Metal transferi şu şekilde izah edilebilir; Şayet iki temiz yüzey aralarında herhangi bir yağ filmi bulunmadığı hallerde birbirlerine şiddetle bastırılırsa, yüzeyler yüksek noktalarda temas ederler. Bu durumda temas noktaları çok yüksek basınçlara maruz kalır. Genellikle yüksek basınç altında metaller akma sınırına ulaşırlar ve temas bölgelerinde mikro kaynaklar oluşur. Temas yüzeyleri birbirine göre relatif olarak hareket ederlerse, mikro kaynaklar kırılır ve metaller plastik akışla yer değiştirirler. Plastik deformasyon sırasında metaller şiddetli zorlama sertleşmesine maruz kalırlar ve temas eden bölgedeki malzemelerin sertliği ana malzemenin sertliğinden daha büyük olur. Belirtildiği gibi bir parça malzemenin bir yüzeyden diğer yüzeye nakledilmesi şeklindeki aşınmaya "metal transferi" ismi verilir. Bu tip aşınmaya en fazla etki eden faktörler temas eden yüzeylerin sertliği, yüzey kaliteleri, yüzeyler arasındaki basınçtır. Sıcaklıkta malzemelerin sertliğini etkilediğinden aşınmaya tesir eder. Talaş kaldırmada bu tip aşınma takım iş parçası ile temas ederken çıkan talaşın takım yüzeylerine sürtünmesi halinde gözükmektedir.

İkinci önemli aşınma tipi; birbiri üzerinde kayan yüzeylerden biri üzerine sert parçacıkların gömülmesi halinde görülmektedir. Sert parçacıklar ikinci yüzey üzerinde oyuklar açan minyatür birer takım haline gelmektedirler. Talaş kaldırmada meydana gelen yapışmış talaş parçacıkları, talaşla taşınabilir veya takım ve işlenmiş yüzey arasındaki boşluğa kaçabilirler. Bu parçacıklar olay sırasında şiddetli zorlamalara maruz kaldıkları için serttirler. Bunlar kendilerinden daha yumuşak olan yeni işlenmiş yüzeye ve çıkan talaşa gömülürler. Böylece bu parçacıklar esas takım üzerinde işaretler bırakan minyatür birer kesici takım haline gelirler ve takımı aşındırırlar. Bu iki tip aşınma genellikle beraber görünür ve birbirlerine yardım ederler. Genel olarak kesici takımlarda;

- ✓ Talaş yüzeyleri üzerinde krater aşınması (Crater wear),
- ✓ Serbest yüzey üzerinde bir aşınma şeridi (Flank wear),
- ✓ Yan kesme kenarı üzerinde yivler meydana getiren aşınmalar oluşur.

Takım, belirtilmiş bulunan aşınmalardan birinin veya diğerinin müşterek tesiriyle dayanma süresi sona erer. Bu aşınma şekillerinden serbest yüzeydeki serbest yüzey aşınması ve talaş yüzeydeki krater aşınması, takımın dayanma süresi bakımından önemli olduğundan aşağıda ayrı ayrı incelenmiştir. Matkapla delik delmede, serbest yüzey aşınması genellikle iş parçası yüzeyini ve geometrik toleransları etkilemektedir. Oysa

krater aşınması kesici takımın kırılmasına neden olabilmektedir. Her iki aşınmada sıcaklık, gerilme ve takım ile iş parçası arasındaki temas ile ilgilidir [15].

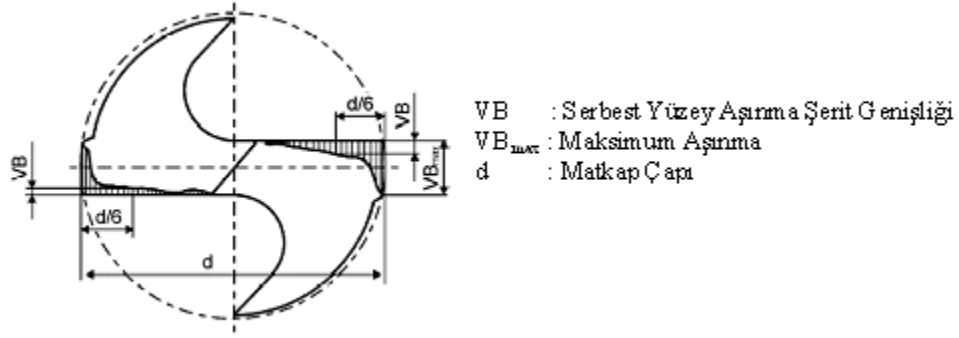
3.2.2.1. Serbest yüzeydeki aşınma

Talaş kaldırma esnasında takım serbest yüzeyi belirtilmiş etkilerden dolayı serbest yüze aşınmasına maruz kalır. Aşınma şeridi veya aşınma bölgesi tabir edilen bu bölge genellikle üniform bir görünüş arz etmez. Araştırmacılar genellikle dayanma süresi tespiti için serbest yüzey aşınmasında belli bir genişliği tespit ederler. Ancak muntazam bir görünüm arz etmeyen bu bölgede genişliklerden hangisinin kabul edilmesi hususunda mutabakat bulunmamaktadır. Serbest yüzey aşınmasında aşınma şerit genişliğinin talaş kaldırma zaman ile değişimi, birçok araştırmacıların hedefi olmuştur. Bazı araştırmacılar içindeki kükürt miktarı değişen çelikler üzerinde sert metal ve yüksek hız çeliği takımlar kullanılarak bu çeşit takımlarda aşınma şeridinin zamanla değişimini incelemişlerdir. Buna ait farklı çelikler için grafikler tespit edilmiş, grafiklerin incelenmesinden araştırmacıların hız çeliği ve sert metal takımlar için farklı değerler elde etmekle beraber eğrilerin karakterleri bakımından yakın neticelere eriştikleri görülmektedir. Kesme zamanı aşınma şerit genişliği eğrileri üç bölgede karakterize edilmektedir.

1. Başlangıçta hızlı bir aşınma veya kırılma,
2. Aşınmanın büyümesi, eğri bu bölgede aşağıya doğru konkav bir görünüş arz eder. Bu bölgede takım sıcaklığına karşı fazla hassas değildir.
3. Takımın tam harabiyete doğru gittiği ifade eden süratli bir aşınma bölgesi. Bu bölgede takım sıcaklığına karşı hassastır.

Takım süratli aşınma bölgesine, yani önceden tespit edilmiş noktaya erişmeden işletmeden alınması faydalı olacaktır. Ön deneylerin yapılması ve şartlara en uygun aşınma şeridi genişliği veren parça adedinin tespiti pratik çözüm sağlar. Kritik nokta hem ani kırılma ve büyük zorlamaların başlangıcını, hem de bileme ve takım değiştirme zamanları bakımından optimum çözümü getiren noktayı temsil etmektedir. Dayanma süresi sonunun tespit için serbest yüz üzerindeki aşınma şerit genişliğinin değeri muhtelif araştırmacılar tarafından farklı olarak verilmektedir. Bu genişlik araştırıcı ya bağlı olarak metrik sistemi kullanan ülkelerde 0.3-0.4-0.5 ve 0.7 mm ve inç sistemi kullanılan ülkelerde 0.05-0.010-0.015-0.020-0.025 ve 0.030 inç değerinden herhangi biri olarak seçilmektedir. Amerikan standartlarında sert metal takımlar için bu değer 0.030 inç olarak verilmiştir. Seramik

takımlarda ise bu değerin 0.060 inç değerine kadar çıkabileceği bir takım araştırmacılar tarafından verilmiştir [15]. Şekil 3.3’de matkapların serbest yüzeylerinde oluşan aşınma gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Serbest yüzeyde oluşan Aşınmanın Gösterimi [19].

Matkaplarda aşınmaya etki eden önemli faktörler;

- Kesilen malzeme,
- Kesici takım malzemesi,
- Matkap çapı,
- Matkap çapına uygun kesme hızı ve ilerleme miktarının seçilmesidir.

Düşük helis açılı matkaplar yumuşak P/M malzemelerde tavsiye edilmez (Zayıf kav özelliğinden dolayı). Yumuşak P/M materyallerde helis açısı 30^0 ve 40^0 matkaplar kullanılır. Ortaya da düşük yoğunluktaki malzemelerin delinmesinde aşınmayı azaltmak için çok miktarda soğutucu gereklidir[20].

3.2.2.2. Krater aşınması

Takım ömründe en etkili parametre takım aşınmasıdır. Matkap geometrileri diğer kesici takımlara oranla daha karmaşık ve komplekstir. Dolayısıyla kesici uçlardaki aşınmanın belirlenmesi nispeten daha güçtür. Bu sebeple araştırmacılar birçok deneysel ve matematiksel işlemlerle aşınmayı irdelemeye çalışmışlardır. Ulaşılan sonuçlara bakıldığında delmede en ciddi aşınmalardan birisi krater aşınmasıdır. Krater aşınmasının temel nedeni; talaş yüzeyinde meydana gelen yüksek sıcaklıktır. Talaş kaldırma esnasında takımın talaş yüzünde belirtilmiş bulunan aşındırıcı tesirler nedeniyle meydana gelen oyulmanın miktarını tayin edebilmek için, araştırmacılar çeşitli ölçüler kullanmışlardır.

Araştırmacı, takım bu aşınma değerlerinden hangisine daha önce ulaşmışsa, onu kriter olarak takımın dayanma süresi sona ermiş bulunduğunu kabul etmiş bulunmaktadır [15].

3.2.2.3. Adhezyon aşınması

Bilindiği gibi adhezyon, birbiri ile temas halinde çalışan iki metal parçanın birbirlerine bastırılması halinde yüzeyler yüksek noktalarda temas ederler. Bu durumda temas noktalarında çok yüksek basınçlar meydana gelir. Bu yüksek basınç nedeniyle metaller akma sınırına ulaşırlar ve temas bölgelerinde mikro-kaynaklar oluşur. Temas yüzeyleri birbirine göre relatif olarak hareket ederlerse mikro kaynaklar kırılır. Diğer bir ifadeyle, mekanik gerilmeler sürtünme elemanı olan malzemenin akma sınırını aştığında yüzey plastik deformasyona uğramaktadır. Birbirlerinin yüzeylerinden çok ufak talaş zerrelere özellikle yumuşak malzemeden koparılır. Bu şekilde ortaya çıkan aşınma adhezyon aşınması olarak adlandırılır [15].

3.2.2.4. Abrasyon aşınması

Abrasyon, sert malzeme (takım) iş parçasından talaş kaldırırken, talaş altındaki sert partiküllerin takım yüzeyinden geçerken mekanik hareketiyle oluşur. Bu tip aşınma muhtemelen sert parçacıklar ihtiva eden iş parçalarının işlenmesinde ve talaş kaynamasından oluşan sertleştirilmiş parçalarda ortaya çıkar. Abrasyon aşınmasını iki yumuşak yüzey arasına sert parçaların girmesiyle oluştuğunu ve boşluklu dökme demirlerin kaba işlenmesinde, sert parçacık içeren alaşımların işlenmesinde takım aşınmasının mümkün olduğu görülmüştür. Keza küçük boyutlu sert parçaların aşınma üzerine etkisi az olurken büyük sert parçacıklar abrasyon aşınma miktarını daha fazla artırır. Bu sert parçacıkların zımpara tozu gibi yüzeyler arasını kazıyıcı görevi yaparak taşlama işlemine benzer bir işlem yaparak takımı aşındırırlar. Takım ve iş parçası mikro yapı olarak sert iseler ve karbür, oksit içeriyorlarsa bu talaşlı işleme esnasında abrasyon aşınmasına neden olur [15].

4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Üretilen bir makine elemanının fonksiyonunu yerine getirebilmesinde yüzey kalitesinin önemi büyüktür. Elemanın düz yüzeylilik veya yuvarlaklık gibi özelliklerinin yanı sıra işleme yöntemine bağlı olarak, yüzeyin mikro yapısına da dikkat edilmesi gerekir. Talaş kaldırma ve yüzey işleme işlemlerinde uygun kesme ve işleme parametrelerinin seçimi sayesinde arzu edilen yüzey kalitesinin sağlanması mümkündür. Örneğin sert parçaların torna veya frezelenmesinde, CBN kesici takımlarla, yüksek kesme hızlarında taşlama işlemine yakın veya daha iyi yüzey kalitesi elde edilebilmektedir. Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometri, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektedir. Buna işlem kalitesi denilmektedir. Parçanın geometri, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan işleme kalitesi, günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir. Boyut kalitesi parçanın gerçek boyutları arasında müsaade edilen sapmalardır. Bu sapmalar boyut toleransları ile ifade edilirler. Boyut toleransları imalat kalitesine ve boyutun büyüklüğüne göre tayin edilir. Geometri kalitesi, müsaade edilen şekil ve konum sapmalarını içerir. Bunlar ideal şekle göre sapmalar, ideal yüzeye göre sapmalar ve eksensel sapmalar olmak üzere üçe ayrılır. Talaşlı imalat işlemlerinde en önemli husus, işlemin mümkün olan en düşük maliyetle, arzu edilen kalitede gerçekleşmesidir. Makine sanayinde kullanılan hatta bütün malzemeler tek başına çalışamazlar, daima bir çift oluştururlar ve bazen üç veya daha fazla parçanın birbirleriyle çalışmaları gerekir. Burada karşımıza çıkan en büyük sorun yüzeylerin aşınması ve belli bir süre sonunda boşluk oluşmasıdır. Bu da imalatta yüzeyin hassasiyetinin ve mikro yapısının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Yüzey pürüzlülüğü işlenmiş bir yüzeyin yapısı, kalite açısından en önemli kriterlerden birisidir. Malzemelerin işlenmesi anında kullanılan her bir parametre yüzey hassasiyetini etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir. [12].

4.1. İmalatta Yüzey Pürüzlülüğü

İşlenmiş bir yüzeyin yapısı, kalite açısından en önemli kıstaslardan birisidir. Malzemelerin işlenmesi anında kullanılan her bir parametre yüzey hassasiyetini etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir. Yüzey

pürüzlülüğü, ilerleme miktarı, paso derinliği, kesme hızı, devir sayısı gibi parametrelere bağlıdır. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu yüzden makine parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin tespiti oldukça önemlidir. Yüzey pürüzlülüğü, kullanılan imalat metotları ile ve başka etkilerle ortaya çıkan, mutata tarzda genellikle başka düzensizliklerle sınırlanan oldukça küçük aralıklı yüzey düzensizlikleridir. Kesici takımdan veya üretim sürecindeki diğer problemlerden kaynaklanan yüzey düzensizlikleri pürüzlülük olarak tanımlanır. Pürüzlülük çapraz ilerleme izleri ile diğer düzensizlikleri kapsar.

Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometri, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir. Buna işlem kalitesi denilmektedir. Parçanın geometri, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan yüzey kalitesi, günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir. Boyut kalitesi, parçanın gerçek boyutları arasında müsaade edilen saplamalardır. Bu sapmalar boyut toleransları ile ifade edilir. Boyut toleransları imalat kalitesine ve boyutun büyüklüğüne göre tayin edilirler. Geometri kalitesi, müsaade edilen şekil ve konum sapmalarını içerir. Bunlar ideal silindirik şekle göre sapmalar, ideal yüzeye göre sapmalar ve eksensel sapmalar olmak üzere üç gruba ayrılır. [12].

4.2. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü

İdeal yüzey pürüzlülüğü, kesici takımdaki hatalar, vurutular, kesici uçta oluşan malzeme sıvanması gibi etkenler azaltıldığında, verilen kesici biçimine ve ilerlemeye bağlı olarak mümkün olan en iyi bitirme yüzey değerini gösterir [12].

4.3. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Gerçek Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Önemli Faktörler Şöyle Sıralandırılabilir:

1. Kesici takımdaki titreşimler
2. Kesici takım geometrisi
3. İşlenen iş parçasındaki titreşim ve salgılar

4. İşleme takım hareketlerindeki bozukluklar
5. Kesme sırasında ilerleme miktarı
6. Kesme sırasında hız miktarı
7. Verilen talaş derinliği
8. İlerleme mekanizmasındaki düzensizlik
9. Takım ve iş parçasının elastik deformasyonu
10. İş parçalarındaki malzeme yapı bozuklukları
11. Kesici uç üzerine talaşın yapışması
12. Kesme kenarının pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesme kenarında oluşan izler ve aşınma
13. İşlenen malzemelerin süreksiz talaş vermesi düşük kesme hızıyla işlenen yumuşak malzeme yüzeyindeki yırtılmalar.
14. Talaş akışının sebep olduğu yüzey bozulması
15. İş parçasının talaş kaldırılan yüzeyinden 100 mikrometre derinlikteki fiziksel ve kimyasal özellikler [12].

4.3.1. İmalatta kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri

İşleme kalitesine etki eden faktörler dört grupta incelenir:

1. Takım tezgâhına ait sapmalar; tezgâhın kinematik mekanizmasındaki mevcut olan hataların etkisinden, ana mil ile kızak yüzeylerinin paralel olmamasından, tezgâhın tüm mekanizmaları ve yataklama sistemlerindeki mevcut olan sapmalar ve boşlukların etkisinden, gövde ve ana milin yeterince rijit olmamasından dolayı oluşur.
2. Tezgâh sistemine ait hatalar; ana elemanların imalat hatalarından, tertibatın yeteri kadar rijit olmamasından, ana elemanlarda oluşan hatalardan kaynaklanır.
3. Takım sistemine ait hatalar; takımın konum bakımından hatalı bir şekilde tutturulmasından, kesme kuvvetlerinin etkisi altında şekil değiştirmelerin oluşması ve takımın aşınmasından kaynaklanır.
4. Ortamın etkisi altında meydana gelen hatalar; sıcaklığın oluşturduğu şekil değiştirmeleri ve diğer tezgâhlardan gelen titreşimlerden kaynaklanır [12].

4.4. Yüzey Yapısı Kalitesi ve Ölçümü

Yüzey yapısı üç boyutlu yüzey topografisinden oluşan nominal yüzeyden rastgele veya tekrarlı ayrılma şeklindedir. Bu ayrılmaları iş parçasını profilini örnekleyerek ölçmek için mekanik, elektronik ve optik aygıtlar mevcuttur. Gerek ANSI gerekse ISO standardına göre yüzey kalitesi, kabalık, dalgalık, izler ve hatalar olmak üzere 4 elemandan oluşmaktadır. Yüzey yapısı ile ilgili olan bu dört bileşenin tanımlar şöyle özetlenebilir.

Pürüzlülük veya kabalık: İmalat işlemlerinden kaynaklanan genellikle daha ince düzensizliklerden oluşur, ilerleme izleri dâhil diğer belirsizlikler örnekleme uzunluğunu sınırlar.

Dalgalık: Dalgalık, pürüzlülük örnekleme uzunluğundan daha büyük olan geniş aralıklı düzensizlikleri kapsar ve dalgalık, tezgâh, iş parçası defleksiyonu, otlama, titreşim, ısı davranış veya kesici takım aşınmasından ileri gelebilir. Pürüzlülük dalgalı bir yüzey üzerinde konumlanmış olabilir her ikisi de aynı anda görülebilir. İzlerde, yüzey işleme tarzının doğrultusu normal olarak kullanılan üretim metodu ile belirlenir.

Hatalar: hatalar, bir yerde olan amaçsız düzensizlikler veya yüzey üzerinde geniş aralıklı olarak oluşabilir fakat sıkça oluşmayabilir. Yüzey üzerinde bulunana bu kusurlar; çatlaklar, delikler, artıklar, menteşeler ve çizgiler şeklinde olup bütün bunları kapsar. Aksi belirtilmedikçe kusurların etkisi ortalama pürüzlülük ölçüsüne dâhil edilmez.

Bitirme yüzeyi: Bir yüzeyin genel kalitesini göstermek için kullanılan geniş bir terimdir. Bitirme yüzeyi, yüzeyin karakteristik tarzı olup veya yapıya özel değildir veya spesifik pürüzlülük değerine bağlı değildir. Ancak “İyi bitirme yüzeyi” düşük pürüzlülük değerlerini ve tersi de her zaman “yüksek pürüzlülük” değerlerini gösterir.

4.4.1.1 Ölçme ve gösterilmesi

Bitirme yüzeyinin yapısı ve gösterimi tanımı ANSI standardın da ve ISO 1302’de belirtildiği gibi semboller aracılığı ile de gösterilir. Yüzey pürüzlülüğünü göstermek için yatay bir uzatma çizgisi sembol olarak kullanılabilir. Pürüzlülük kontrol izinin solunda, $1\mu\text{m}=0.00001\text{ m}$, yükseklik oranı yerleştirilerek belirlenir, çok genel kullanılan yüzey parametresidir. Minimum ve maksimum oran varsa 2 sayı biri diğeri üzerinde konulur. Pürüzlülük ortalama merkez doğrusundan mikro – metre (μm) olarak ifade edilen yüzeyden aritmetik ortalama sapması (AA) olarak tanımlanır.

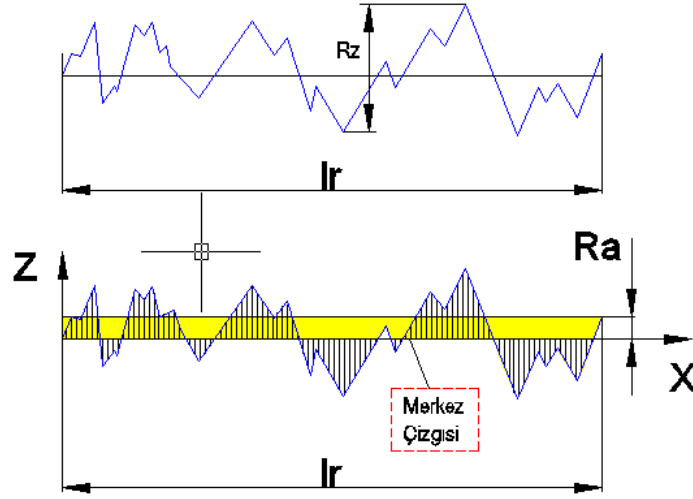
Mühendislik tasarımı ve üretiminde, istenilen yüzey hassasiyeti derecesinin ve kalitesinin belirlenmesi önemlidir. Fakat yüzey kalitesi 1920 öncesi yıllarda bu işlem dokunarak hissetme ile yapılmaktaydı. Bundan farklı yüzey hassasiyetine sahip olan bir seri iş parçalarının kullanımı gerekliydi. Atölyede işçi parmak tırnaklarını iş parçası üzerinden temas ettirerek kullanıyordu. Önce standart dokunma yüzeyi boyunca ve daha sonara ürettiği yüzey boyunca yapıyordu. İki yüzeyin aynı kabalığa sahip olduğu hissedildiği zaman iş parçasının kâfi düzgünlükte olduğu düşünülüyordu. Bu uygulamalarda, bitiş yüzeyinin fonksiyonunun, bilyalı yatak, dişliler veya kam yüzeyleri gibi aygıtlarda önemli olduğu yüzey hassasiyetinin logaritmik olarak değişirken bunların performansı lineer olarak değiştiği görülmüştür. Bunun anlamı da performansta 2 kat ilerlemenin olması için ortalama tepe – çukur kabalığının da 10 kez azalma olması zorunda kalınmasıdır. Bunun için tepe- çukur kabalığına sahip bir seri dokunma standartları oluşacaktır.

Daha sonra 1930'lı yıllarda yüzey hassasiyeti, sivri uçları bulunan elmas iğneli aygıtlarla işlenmiş dik yüzeylerde trasdüser kullanılarak elmas ucun yatay ve dikey hareketleri kaydedilerek ölçülüyordu. Amerika Birleşik Devletlerinde, ucun dikey hareketi otomatik olarak analiz edilmiş ve dikey hareketlerin karekök ortalaması okunmuştur. Bu ise 1, 2, 4, 8... 128 mikro-inç ' dayanarak ortalama karekök (rms) mikro- inç olarak adlandırılmıştır. Bu alanda, Avrupa ve Japonya da benzer gelişme olmuştur. Fakat ortalama kara kök değeri yerine maksimum tepe-çukur kabalığı (R_1) , karakteristiği kullanılmıştır. İngiltere de, RMS değer yerine ortalama merkez doğrusu (CLA) kullanılmıştır. Bu şimdi Amerikan standardı olup aritmetik pürüzlülük (AA) olarak da adlandırılmaktadır. CLA ve AA kabalığı (R_a) izin merkez doğrusu tepelerinden ortalama sapma ölçülerek elde edilir. Merkez doğrusu ve yüzey izleri arasındaki hattın alt ve üst eşdeğer alanı olarak alınır. Sadece RMS değeri kolaylıkla bir arc voltametre kullanılarak ölçülebilir. Ancak CLA değeri fiziksel olarak yorumlanır.

Ra, uluslar arası benimsenmiş sembol olup pürüzlülük değerini gösterir. Ancak yüzey pürüzlülüğü hale bazen AA veya CLA veya R_t , R_z şeklinde gösterilmektedir. Ölçme aygıtları hale pürüzlülük merkezinden ortalama ayrılmayı kullanır. R_q ise ortalama karekök olarak belirtilir ve 1950'li yıllardan beri hale kullanılmaktadır. R_a , ortalama profil doğrusundan aritmetik ortalama olarak sapmasıdır. Bu normal olarak birkaç tane birbiri ardı sıra örnekleme uzunlukları (L) sonuçlarının ortalaması alınarak belirlenebilir. R_q ise ortalama karekök parametresinde karşılık gelir.

R_t, değerlendirme uzunluğu içinde maksim tepe-çukur yüksekliğini gösterir. R_{max1}, örnekleme uzunluğu (L) içinde maksimum tepe-çukur yüksekliğidir. Fakat yüzey üzerindeki bir paçacığı veya sahte izlerden bu değerler etkilendiğı için birbiri ardı sıra 5 örnekleme uzunluğunun ortalamasının (R_{tm}) kullanılması daha geneldir.

R_z, 10 nokta yüksekliğı olup örnekleme uzunluğu için de 5 derin çukur ve 5 en yüksek tepe noktaları arasında ortalama mesafeyi gösterir fakat buna dik olarak ölçülür. R_p ise örnekleme uzunluğu içinde ortalama doğrudan maksimum profil yüksekliğidir. R_{pm} ise 5 örnekleme uzunluğu üzerinde belirlenen R_p'nin ortalama değeriştir. Şekil 4.1'de yüzey pürüzlülüğüne ait grafiksel gösterimler verilmiştir.



Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülük eğrileri

Yüzey yapısı için en önemli ölçme tekniğı mekanik- elektronik aygıt kullanmakta olup küçük radyuslu elmas iğne işlenmiş yüzey çizgisi üzerinden geçmesi esnasında yüzey profilinden alınan pürüzlülüğü okuyarak çıktı olarak gösterir. Çok genel olan standart elmas iğnenin eğrilik yarıçapı 10µm ancak araştırmalarda 2.5µm kadar küçük radyuslu iğne uçları da kullanılmaktadır. Her zaman 0.8 mm genişliğinde işlenmiş yerde uygulanabilir. Toplam iğne yer değıştirme mesafesi genellikle işleme genişliğinin 20-60 katı kadardır. Elektronik devreli aygıtlar ile kesilme genişliğı üzerinde sürekli ortalama okumalar yapılır. Bu aygıtlar ortalama pürüzlülük aygıtın özel tasarımına bağılı olarak tepe sayısına veya diğere pürüzlülük gösterimlerini ortalama pürüzlülüğü (R_z) 'i okuyabilmektedir. Elektronik yüzey ölçme aygıtları genellikle pürüzlülüğü gösterirken yüzeyin fiziksel karakteristiğini göstermez.

Modern uçlu izleyici aygıtlar, AA değerini mikro-metre olarak okuma kapasitesine sahip yüzey şekli de büyütülmektedir. İzlerin dikey büyütülmesi yatay yöndeki doğrultudakinden 5- 10 kez daha büyük olarak düzenlenir. Pratikte tepelere sahip yüzeyler yükseklikte olan farklarına göre çok geniş aralığı mevcut bulunmaktadır. Taşlanmış yüzeyler için tepe- çukur kabalığı, genellikle, yaklaşık olarak AA'nın 5 katıdır. Ancak diğer oranlar diğer bitirme işlemi metotları ile ilgilidir. Örneğin, bu oran leplenmiş yüzeyler için 10/1 e yakındır. Farklı talaş kaldırma işlemleri ile o elde edilen değişik yüzeyler için Rt ve Ra yüzey pürüzlülük değerleri tablo 4.1 de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Talaş kaldırma işlemleri ile elde edilen Rt ve Ra yüzey pürüzlülük değerleri [21].

Yüzey İşlemleri	Rt(μm)	Ra (μm)
Çok Kaba Yüzeyler (Döküm vs)	$>10^3$.	12500
Orta İşleme (İzle Görülebilir –Kaba Taşlama)	50-250	10
İnce işleme	5-10	0.8-2.5
Çok ince işlem (tornalanmış)	0.5-5	0.13-0.8
Honlanmış	1-2	0.05-0.3
İnce metalografik parlatma	0.3	0.03

Yüzey pürüzlülüğüne ilaveten yüzeyler dalgalı da olabilir. Bir yüzeyin dalgalığı oldukça uzun dalga boyu düzensizliklerinin çukur ve tepere arasındaki dik mesafesi olup, kısa dalga boyu düzensizliklerine karşı tepe- vadi yüksekliği ise yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğü için maksimum dalga boyu genellikle 0.75 mm olarak alınır. İğne uçlu düzensizlikleri, kaldırılabilir ve dalga nedeniyle karışma olmaksızın pürüzlülüğü ölçmek mümkündür.

5. TAGUCHİ DENEY TASARIMI ve ANALİZİ YÖNTEMİ

5.1. Deneyisel Tasarım

Bu bölümde deney tasarımının temel ilkeleri verilecektir. Deney tasarımı 20. Yüzyılda geliştirilen en güçlü istatistiksel araçlardan biri olup, mühendislik uygulamaları için vazgeçilmez nitelikteki deneyisel çalışmanın bilimsel ve sistematik bir yaklaşımla kurgulanmasına olanak tanımaktadır. Objektif, güçlü ve verilerden anlam çıkarmaya dönük bir deneyin minimum maliyet ile gerçekleştirilebilmesi tasarım sürecinde izlenen sistematik stratejiye bağlıdır. Deney, hipotezleştirilmiş bir inancı desteklemek veya çürütmek ya da ürün, proses veya hizmet hakkında yeni bir bilgiyi açığa çıkarmak için yapılan planlı bir sorgulama metodu şeklinde tanımlanmaktadır. Karmaşık bilimsel ve mühendislik uygulamalarında bu metodun planlama safhası istatistiksel bir yaklaşıma dayandırılmak durumundadır. Tasarlanmış deney, bir prosesin çıktılarındaki değişimleri gözlemlemek ve tanımlamak üzere girdi faktörlerinin bilinçli olarak değiştirilmesi şeklinde yapılan test veya testler dizisidir. Proses, girdi malzemeyi çıktı ürüne dönüştüren makinelerin, metotların ya da insanların bir kombinasyonu olarak düşünülebilir. Çıktı ürün bir veya daha fazla gözlemlenebilir kalite özelliğine sahiptir. Bazı proses girdileri kontrol edilebilir iken bazıları gürültü diye de adlandırılan kontrol edilemeyen girdi faktörleridir. Deneylerin amacı şu şekilde sıralanabilir;

1. Girdi faktörlerden hangilerinin çıktı üzerinde en çok etkili olduğunun tespit edilmesi,
2. En uygun çıktının elde edilmesi için etkili girdi faktörlerinin alması gereken değerin tespit edilmesi
3. Çıktı değerinin en az varyansa sahip olması için etkili girdi faktörlerinin alması gereken değerin tespit edilmesi
4. Kontrol edilemeyen değişkenlerin etkilerini minimize etmek için etkili girdi faktörlerinin alması gereken değerin tespit edilmesi.

Deneylerin amacı kimi zaman da ileriye dönük yanıtları tahmin edebilmek için ortaya matematiksel bir model koymaktır. Bir deneyi düzenlerken araştırmacının karşılaştacağı sorunlardan biri de bu modelin en doğru sonuçlara ulaşabilirliğini temin etmek üzere mümkün olduğunca çok bilgiyi elde etmek için ihtiyaç duyulan en az gözlem

sayısının belirlenmesidir. Gözlemler hem gözlemsel çalışmalardan hem de neden ve etki değişkenleri hakkında sonuçlar ortaya koyabilecek deneylerden elde edilebilir. Deney tasarımı kullanılarak bazı kavramların burada tanımlanması uygun olacaktır;

Kalite değişkeni (Yanıt Değişkeni): Deneyde, ölçülmesi planlanan sonuç veya çıktıdır. Y veya y şeklinde gösterilir.

Faktör: Deneye dâhil edilen, yanıt değişkeni üzerinde etkili olabileceği düşünülen, araştırmacı tarafından belirlenen kontrol edilebilen değişkenlerin her biri olup, büyük harflerle gösterilir. (A,B gibi) Faktörler, sıcaklık, basınç, hız gibi nicel ve sürekli büyüklükler olabileceği gibi, bir malzemenin cinsi, bir cihazın türü veya bir sistemin açıklık kapalılık durumu gibi nitel ve kesikli kavramlar da olabilir.

Düzy (seviye): Faktörlerin deneyde alması planlanan değerlerinin her biridir. Deneyler 2, 3 veya 4 düzeyli olabilir. 2 düzeyli deneylerde genellikle nicel olarak küçük değer alt düzey, büyük değer ise üst düzey olarak kabul edilir. Düzeyler 1, 2, 3, 4 gibi rakamlarla gösterilebileceği gibi 2 düzeyli deneylerde (-) ve (+) veya (-1) ve (+1) şeklinde de gösterilebilir. Her bir faktörün düzey sayısı ise o faktörü simgeleyen küçük harf ile gösterilir. (a, b gibi) Deneyler genellikle eşit düzeyli faktörlerden oluşmakla birlikte farklı düzey sayılarına sahip faktörleri olan karışık düzeyli deneylerde tasarlanabilir.

Deneme: Bir faktör kombinasyonunun test edildiği tek bir deneydir.

Hata: Aynı faktör kombinasyonlarının denenmesi halinde kalite değişkeninde görülen sapmadır. ϵ ile gösterilir.

Varyans Analizi (ANOVA): ANOVA test edilen parça gruplarının ortalama performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için kullanılan istatistiksel bir karar üretme aracıdır. Varyans analizi toplam varyasyonu bileşenlerine parçalayan ve serbestlik derecesi, karelerin toplamı, ortalama kareler vb. gibi niceliklerin hesaplanması için kullanılan matematiksel bir tekniktir. Bağımlı değişken sürekli ölçme düzeyine sahip iken, bağımsız değişken kategoriktir ya da gruplanmıştır. Amaç, bağımsız değişkendeki gruplar boyunca bağımlı değişkene ait ortalama değerlerin birbirinden farklılık gösterip göstermediğini tespit etmektir. Bir bağımsız değişken olduğu durum Tek-Yönlü Varyans Analizi (One-Way ANOVA), iki bağımsız değişken olduğu durum ise İki-Yönlü varyans analizi (Two-Way ANOVA) olarak adlandırılır. Eğer varyans analizi sonucunda grup ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilirse, analizin devamında çoklu karşılaştırma testleri yapılarak hangi gruplar arasında farklılık olduğu tespit edilmeye çalışılır [22].

5.2. Taguchi Metodu

Deneysel Tasarım 1920'lerde İngiliz istatistikçi Ronald Fisher tarafından tarım alanında yapılan araştırmalar esnasında bulunmuş ve geliştirilmiştir. Yöntem, sonraki yıllarda Amerika'da, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama düzeylerinin çeşitli ürünler üzerindeki etkilerini belirlemek üzere yoğun biçimde kullanılmış ancak uygulamalar tarım sektörü ile sınırlı kalmıştır. 1970'li yıllara kadar deneysel tasarımın temel prensipleri batıda pek fazla bilinmez iken Japonya'da oldukça yoğun kullanım alanına sahipti. Japon mühendisler bu kavramlara çok fazla ilgi göstermiş ve sonunda da deney tasarımı metotları Amerika'da olduğundan çok daha güçlü bir mühendislik enstrümanı haline gelmişti. 1980'lerin başında yönetime yeni bir yaklaşım getiren Japon bilim adamı Genichi Taguchi çevre koşullarından etkilenmeyecek, düşük varyasyona sahip, sağlam ürün ve proses tasarımı için kendi ismi ile anılacak metodu geliştirmiştir. Kalite kontrol çalışmalarından yola çıkılarak geliştirilen Taguchi metodu sonraları yeni ürün tasarımı ve Ar-Ge çalışmalarında da yoğun biçimde kullanılmıştır. Taguchi Felsefesi şu şekilde özetlenebilir;

1. Rekabetin olduğu bir ekonomide kaliteyi sürekli geliştirmek ve maliyetleri azaltmak işletmelerin kalıcılığı için zorunludur. Sürekli bir kalite geliştirme programı ürün hedef değerlerinden sapmaları sürekli azaltmayı içerir.
2. Bir ürünün kalitesine ait önemli bir boyut da o ürünün toplumun bütününde meydana getirdiği kayıptır. Bir ürünün performansındaki bir sapmadan dolayı tüketicide meydana getirdiği kayıp sapmanın karesi ile orantılıdır.
3. Bir ürünün kalitesi ve maliyeti, ürünün tasarımı ve üretim prosesi tarafından belirlenir. Ürünün imalat öncesini (pazar araştırma, tasarım ve proses geliştirme) ve imalatı esnasında yapılan faaliyetler ile sonrasını ayıran ve bu safhalara sırasıyla Offline ve Online Kalite Kontrol adlarını veren Taguchi, her iki aşamayı da kendi içlerinde sistem, parametre ve tolerans tasarımı safhalarına bölmüştür.
4. Bir ürünün performansındaki sapmayı azaltmak için ürünün performans karakteristikleri üzerinde etkili olan parametrelerin lineer olmayan etkilerini kontrol altına almak gerekir. İstatistiksel olarak tasarlanan deneyler ürün veya proseslere ait performans sapmalarını azaltmak için kullanılır. Taguchi metodunun, belirgin esaslarından biri, kesirli deney tasarımının, Matematikçi Jacques Hadamard'ın icat ettiği Ortogonal Dizimler ile yapılmasına dayanmasıdır.

Uygun ortogonal dizimin öngördüğü şekilde yapılan deneyler, varyans analizi ya da faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metotları ile değerlendirilip yorumlanır.

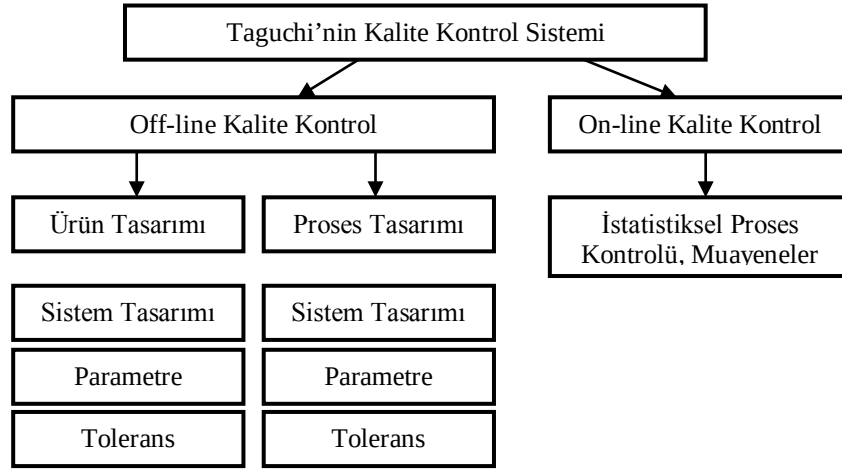
Optimum parametreler belirlenir ve yapılacak doğrulama deneyleri ile uygunluğu ispatlanır. Taguchi metodu ülkemizde 1990'lı yılların başında kullanılmaya başlanmış ve sanayideki uygulamalara dönük olarak yapılan çalışmalarda oldukça geniş bir yelpazede kullanım alanına ulaşılmıştır. Taguchi Metodu uygulamalarına hizmet sektöründe pek fazla rastlanmamaktadır. Bunun başlıca sebepleri şu şekilde sıralanabilir;

- ❖ Hizmet faaliyetlerinin göreceli olması nedeniyle hizmet performansının ölçümünün güç olması,
- ❖ Hizmet performansının çoğu zaman hizmeti sağlayan kişinin davranış ve yaklaşımına bağlı olması ve zamanla değişiklik göstermesi,
- ❖ Kontrol faktörleri ve bunların performans özelliği üzerindeki etkilerinin tespitinin ve ölçümünün güç olması,

Ancak müşteri şikâyetlerine cevap süresinin azaltılması, siparişlerdeki hataların azaltılması, bekleme sürelerinin azaltılması gibi uygulamalara rastlanmaktadır [22].

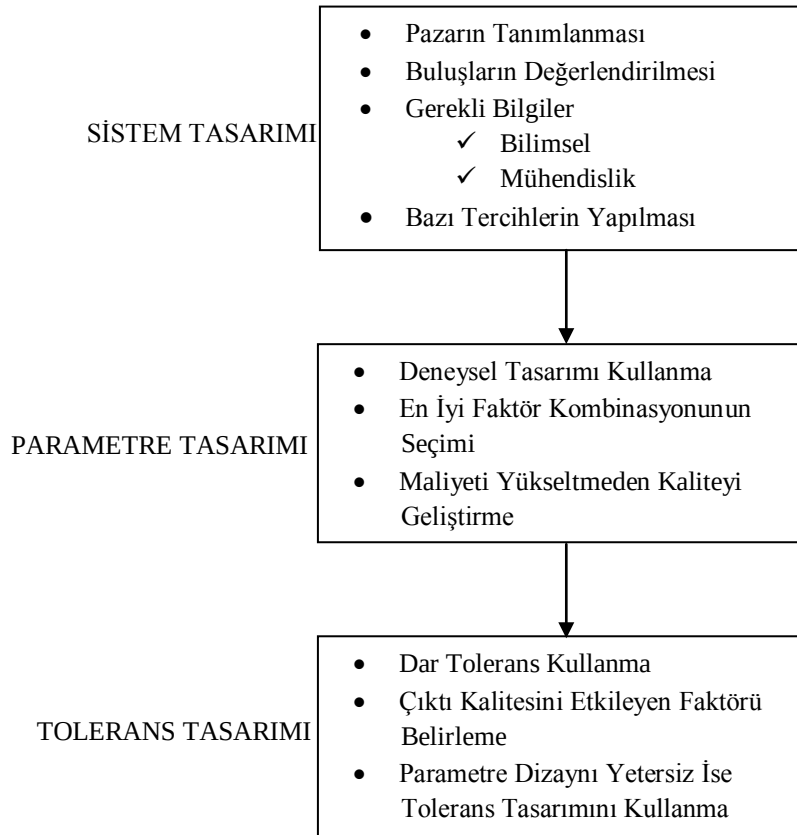
5.2.1.Taguchi'nin kalite kontrol sistemi

Toplam Kalite Yönetiminin (TKY) temelini oluşturan “sürekli geliştirme (kaizen)” yaklaşımında genel çalışma çerçevesi olarak Deming'in PUKÖ (Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem al) çemberi kullanılır. PUKÖ süreci temelde iyileştirme için deney yapılmasını önermektedir. Mevcut şartlar yerine farklılarını deneyerek üründe gelişme sağlanması hedeflenmektedir. Taguchi PUKÖ sürecinde yer alan faaliyetleri iki bölüme ayırmaktadır. Pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içeren Offline Kalite Kontrol, üretim başlamadan önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarını kapsar. Online Kalite Kontrol ise ürünün imalatı sırasındaki ve imalat sonrasındaki (servis, bakım vb.) kalite kontrol faaliyetleri olup istatistiksel proses kontrolü, test ve muayeneler bu kapsamdaki faaliyetlerdir. Taguchi Metodu Offline Kalite Kontrol içinde ürün ve proses tasarımı aşamalarında kullanılmaktadır. Her iki asama için sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı alt safhaları geliştirilmiştir [23].



Şekil 5.1. Taguchi'nin Kalite Sistemi.

Metodun ilk aşaması olan sistem tasarımı aşamasında ürünün ya da prosesin fonksiyonunu yerine getirebilmesi için gerekli sistemler ve teknolojiler belirlenir. Ürünle ilgili pazarın boyut ve özellikleri, tasarımı ve üretimi için mevcut bilimsel ve mühendislik bilgileri, seçilecek malzeme ve prosesler bu aşamanın konularını oluşturur[22].



Şekil 5.2. Taguchi metodunun sistematığı

Taguchi'ye göre ürün kalitesinin en belirleyici aşaması parametre tasarımı aşamasıdır. Ürün parametre tasarımı, ürünün malzemesi, formülasyonu, fiziksel ve kimyasal özellikleri için optimum değerlerin belirlenmesi anlamına gelir. Proses parametre tasarımı ise herhangi bir imalat prosesindeki hız, sıcaklık, basınç vb. parametrelerin optimize edilmesidir.

Parametre tasarımında amaç, üründe veya proseste varyasyon yani hedef değerden sapma ya da kalitesizlik yaratan faktörlerin değerlerini, kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini de elimine edecek şekilde, optimal seçerek ürün ve prosesteki varyasyonu minimize etmektir. Taguchi bu amaca yönelik tasarım çalışmasını sağlam tasarım (robust design) olarak adlandırmaktadır. Parametre tasarımının varyasyonu azaltmada yetersiz kaldığı hallerde tolerans tasarımı uygulanır. Bir ürün veya prosesin tasarlanmasında etkili faktörlerin uygun değerleri belirlense dahi bu parametreler çoğu zaman bir tolerans dâhilinde kullanılacak, bu durum da kalite değişkeninde varyasyon oluşturacaktır. Bu toleranslardan kaynaklanan varyasyonların da minimize edilmesi gerekir. Taguchi kayıp fonksiyonu kavramı ile varyasyonun mali bir zarar olarak tüketici ve üreticiye yansıdığı görüşünü ileri sürmüş ve tolerans tasarımına yeni bir boyut getirmiştir. Tolerans tasarımında genel olarak 3 tip yaklaşım benimsenmiştir;

1. En büyük - en iyi: Kalite değişkeninin değerinin büyümesinin istendiği problemler bu tip yaklaşımla ele alınır. Kalite değişkeni için bir üst sınır olmayıp değer büyüdükçe tasarım iyileşmektedir.
2. En küçük - en iyi: Kalite değişkeninin değerinin küçük olmasının istendiği problemler bu tip yaklaşımla ele alınır. Kalite değişkeni için bir alt sınır olmayıp değer küçüldükçe tasarım iyileşmektedir.
3. Hedef değer en iyi: Sapmaların iki yönlü olarak değişebildiği boyutsal özellikler gibi kalite değişkeni içeren problemlerde kullanılır. Kalite değişkeninin değerinin önceden belirlenmiş nominal değere yakın olması istenir.

Tanımlanan deneysel tasarım safhaları ürün tasarımı için taşıt krikosu tasarımı ile örneklendirilebilir. Taşıtın tamir ve bakımı için kullanıcısı tarafından belli bir mesafe yüksekliğe kaldırılması amacıyla tasarlanan bir krikonun, mekanik ya da hidrolik esaslara göre mi çalışacağı, yük kapasitesi, mekanizmasının ne şekilde olacağı gibi ilk karar verilmesi gereken konular sistem tasarımının konularını oluşturur. Hidrolik kriko için kullanılacak malzeme, hidrolik sıvısı, mekanizmadaki elemanların boyutları ve uygulanacak kuvvet ile ilişkileri gibi konular parametre tasarımını, söz konusu hidrolik

sıvının hacmi ve krikonun kullanılacağı muhtemel ortam sıcaklıkları gibi varyasyonu artırıcı konular da tolerans tasarımının unsurlarını oluşturacaktır.

5.2.2. Ortogonal Dizinler

Kesirli Deneylerin ne şekilde tasarlanacağı konusunda Taguchi'nin yaklaşımı ortogonal dizimlerin kullanılmasıdır. Ortogonal dizimler kullanılarak hangi denemede hangi faktörün hangi düzeyinin kullanılacağı belirlenmesi Taguchi metodunun özünü oluşturur. Taguchi uzun çalışmalar sonrasında standart deneme planları belirlemiş ve bunların Hadamard'ın ortogonal dizimleri ile özdeş olduğunu görmüştür. Bu dizimler baz alınarak yapılacak denemeler ile tam faktöriyel bir denemenin sonuçlarının aynı olacağı iddiasında bulunmuş ve haklılığını yaptığı pek çok uygulama ile göstermiştir. Ortogonal dizinler L harfi arkasına deney sayısı eklenerek gösterilir. En çok kullanılan Ortogonal Dizimler düzeylerine göre şöyledir;

- 2 düzeyli: L4, L8, L12, L16, L32, L64
- 3 düzeyli: L9, L18, L27
- 4 düzeyli: L16 ve L32

5.2.3. İstatistiksel analiz ve deney sonuçlarının yorumlanması

Deney sonuçlarının çözümlenmesinde gözlem metodu, sıralama metodu, sütun etkileri metodu, grafiksel metot ve varyans analizi (ANOVA) metodu kullanılabilir. Taguchi, bir anlamda basitleştirilmiş ANOVA olan sütun etkileri metodunu önermektedir. Sütun etkileri metodu her bir sütun için, 1. düzeyin kullanılması ile ortaya çıkan deney sonuçlarının toplamının 2. düzeyin kullanılması ile ortaya çıkan deney sonuçları toplamından çıkarılması esasına dayanır. Böylece her bir sütun için, sayısal bir değer elde edilecek ve bu değer büyükliği ilgili sütunda incelenen faktör ya da etkileşimin etki derecesine karar verecektir. Deney sonuçlarının yorumlanması noktasında Taguchi'nin önerilerinden bir diğeri ise Sinyal Gürültü Oranlarıdır. Performans kriteri olarak kullanılmak üzere önerilen Sinyal Gürültü Oranları (S/G) kontrol edilemeyen gürültü faktörlerinin varlığı halinde varyasyonun bir ölçüsüdür. [22].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Çalışmanın Amacı

AISI 304 Paslanmaz çelikler yüzey merkezli kübik kristal kafes yapısına sahip, %16-25 Cr ve %7-20 Ni içeren üçlü demir krom nikel alaşımlarıdır. Bu çelikler bünyelerinde bulunan yüksek krom ve nikel elementlerinden dolayı, oldukça yüksek korozyon direncine sahiptirler. Yüksek oksidasyon direncinin yanı sıra, süneklik, tokluk, kolay şekillendirilebilme ve iyi kaynak edinebilme gibi özelliklerinden dolayı, günümüzde bu çelikler başta petro- kimya , kimya, gıda endüstrisi , depolama tankları olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu yaygın kullanımına karşın, ostenitik paslanmaz çelikler geleneksel yöntemlerle işlenebilmesi zor malzemeler olarak kabul edilmektedir. Bu çeliklerin işlenmesinde, işlem anında meydana gelen deformasyon sertleşmesi, düşük termal iletkenlik ve yüksek tokluk özelliklerinden dolayı kesme bölgesinde yoğunlaşan ve takım ucunda oluşan sıvanma nedeniyle takım aşınması hızlanmakta ve işlenebilirlik zorlaşmaktadır.

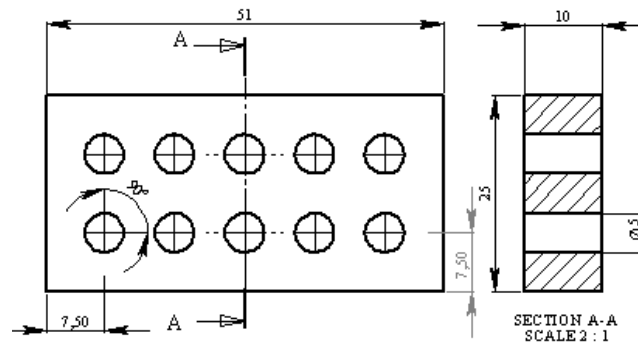
Delme işlemi temel imalat yöntemlerinden biridir. Günümüzde uzay sanayisinden otomotiv sanayisine bir çok alanda, pek çok makine parçalarının istenilen toleransta delinmesi gerekmektedir. Delme işleminde de kesici takımın ömrü ve işlenen malzemenin yüzey ve mikro yapı özellikleri elde edilen ürünün kalitesini ve maliyetini belirleyen en önemli faktörlerdendir. Bir iş parçasının işlenebilme kabiliyeti ve etkinliği çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunların başlıcaları; iş parçası malzemesi, işleme yöntemi, takım ve kesme parametreleri olarak sayılabilir. Dolayısıyla, kalite performansını iyileştirmek için bu parametrelerin optimum düzeyde seçilmesi gerekir. Matkapların aşınması veya hasarı endüstriyel talaşlı işleme operasyonlarında teknolojik ve ekonomik olarak önemlidir. Kesici takımın performansı, takım-iş parçası malzemesi, kesme sıcaklığı, temas alanı ve gerilmeleri, takım geometrisi, kesme şartları ve soğutucu sıvı gibi aşınmayı etkileyen parametrelerin kontrolü ile mümkündür. Aşınmış bir matkap ucu, deliğin kalitesini etkilediği gibi verimlilik ve üretim maliyetinin artmasını da beraberinde getirir. Endüstride aşınmayı azaltmak, takım ömrü ve verimliliği iyileştirmek için, uygun kesme şartlarının kullanımının yanı sıra benimsenen yaklaşımlardan biride, kesici takımlara TiN kaplanmasıdır. TiN kaplamanın önemli faydaları, yüksek sertlik ve aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, yüksek sıcaklık mukavemeti ve kimyasal kararlılık ile kesme kenarında temas şartlarının iyileşme kabiliyetleridir. Bu ise TiN kaplamalara, mükemmel abrazyon,

atheyon, kraterleme ve düşük kesme hızlarında kesik kenarlarda talaş yığılması direnci kazandırır. İşlemden ayrıca, kullanılan kesici takımın geometrisi, kesici açısı ve delme işleminde etkili olan devir sayısı, ilerleme miktarı ve kesme hızı gibi parametreler işlem verimliliğini etkilemektedir. Bütün bu parametrelerin kontrolü, işlenecek malzemelerin özelliklerine de bağlı olarak oldukça zor ve karmaşık olmaktadır.

Talaşlı imalatın temel hedefi, üretilecek iş parçasının geometrik ve boyutsal tamlığıyla birlikte yüzey kalitesinin ve mikro yapısının da istenen sınırlar içerisinde ekonomik olarak sağlamaktır. Bu hedef doğrultusunda, bu çalışmada alışılmış imalat yöntemleriyle işlenebilmesi zor olan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin delme işlemlerinde matkap cinsi, uç açısı, kesme ve ilerleme hızlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü, kesilen kenarın mikro yapısı delik geometrisi ve takım aşınmasının deneysel olarak araştırılması ve optimum işlem şartlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

6.2. Numunelerin ve Bağlama Aparatının Hazırlanması

Deneylerde, ticari temin edilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Bu malzemeye ait kimyasal bileşim, Tablo 6.1’de verilmiştir. Deneylerde, standardizasyonu sağlamak amacıyla bir numune tutucu kullanılmıştır. Numuneler, $51 \times 25 \times 10 \text{ mm}^3$ boyutlarında hazırlanmıştır. Numunelerin ve numune tutucunun teknik resimleri Şekil 6.1’de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, her numune yüzeyine 5mm eşit aralıklarla 10 delik delinmiştir.

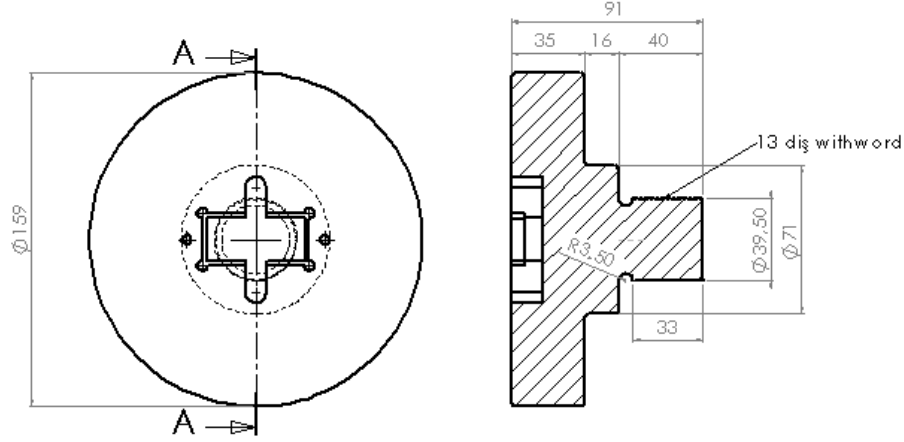


Şekil 6.1. Deneylerde kullanılan numunelerin boyutları.

Tablo 6.1. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal özellikleri

C	Ni	Cr	Si	Mn	S	Cu	Mo	Nb	Fe
0.05	8.55	18.44	0.283	1.6	0.01	0.368	0.03	0.001	70.973

Delme işlemleri JINFA JF800 marka bir CNC dik işleme tezgâhında yapılmıştır.



Şekil 6.2. Bağlama aparatının boyutları.

6.3. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin talaşlı işlenmesi ile ilgili yapılan literatür taramasında, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve boyutsal hassasiyet gibi durumları en çok etkileyen faktörlerin kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesici cinsi olduğu tespit edilmiştir. Bu faktörlerin seviyelerinin işlenen malzeme cinsine göre belirli aralıklarla olmaları gerekmektedir. Faktör seviyelerinin değerlerini belirlemek amacıyla ön deneyler yapılarak en uygun kesme şartları belirlenmiştir ve Tablo 6.2.'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Deneyde kullanılan parametreler

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı (°)	Devir sayısı (d/dak)	İlerleme Miktarı (mm/dev)
1	HSS	90	515	0,06
2	TiN	90	716	0,12
3	K20	90	955	0,24
4	HSS	118	716	0,24
5	TiN	118	955	0,06
6	K20	118	515	0,12
7	HSS	130	955	0,12
8	TiN	130	515	0,24
9	K20	130	716	0,06

6.4. Metalografik İncelemeler

Deneyler sonucunda, numunelerin yüzey görüntüleri, ısıdan etkilenen bölgeleri ve mikroyapılarını belirlemek için, delinen yüzey sırasıyla, 200, 400, 600, 800 ve 1200 mesh'lik zımparalanmış ve daha sonra 3 µm'luk elmas pasta kullanılarak çuhayla parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler, kimyasal olarak daldırma yöntemiyle (%50 nitrik asit + %50 saf su) kullanılarak dağlanmış. Numuneler dağlayıcı içerisinde yaklaşık 10 saniye bekletilmiştir. Dağlama işlemi sonrası, numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir.

6.5. Mikrosertlik Ölçümleri

İşleme neticesinde, numunelerde meydana gelen ısıdan etkilenen bölgeden sertlik değişimini belirlemek amacıyla, yüzeyden mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Mikrosertlik ölçümleri, Anton Poar MHTO-10 mikrosertlik cihazında Vickers sertlik skalası ile 20 gr'lık yük kullanılarak yapılmıştır. Her bir numune üzerinde, delik kenarından başlayarak 100µm aralıklarla beş ölçüm alınmıştır.

6.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde ölçüm hatalarını minimize etmek için bir numune tutucu hazırlanmış ve yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı için bir altlık geliştirmiştir. Ölçümler Mitutoyo Surf-test-211 cihazında gerçekleştirilmiştir. Numuneler delik yüzeyine dik olarak kesilmiş ve ölçümler delinen yüzeyden her bir numune için 5 defa alınıp ortalaması yüzey pürüzlülüğü olarak kabul edilmiştir.

6.7. Yanak Aşınması Ölçümleri

Delme işlemleri neticesinde kesici uçlarda meydana gelen yanak aşınma değerleri, 0.002mm hassasiyetindeki Scheer –ST – Tumico marka mikroskop ile ölçülmüştür.

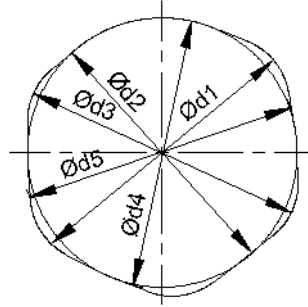
6.8. Çapak Yüksekliği Ölçümleri

Deneyler neticesinde numunelerin alt yüzeylerinde oluşan çapakların yükseklikleri 0,01'lik hassasiyete sahip bir dijital kumpas ile ölçülmüştür.

6.9. Ölçü Tamlığı Ölçümleri

Matkaptaki aşınmalardan dolayı delik ölçüsünde meydana gelen çap değişimleri ölçü tamlığını ifade etmektedir. Bu değer, delik içerisinden 5 farklı noktadan 0,01'lik hassasiyete sahip dijital kumpas ile ölçüm alınarak matkap çapına oranlanmış ve aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$d_{matkap} - \left(\frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}{5} \right) \times 100 = (\%) \text{ Ölçü tamlığı} \quad (6.1)$$



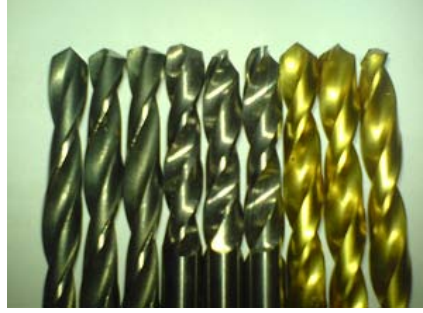
Şekil 6.3. Ölçü tamlığı alma yöntemi

6.10. Deneylerde Kullanılan Matkap Uçları

Deneylerde, matkap çapı 5 mm olan 90 °, 118 ° ve 130° uç açlarına sahip HSS, K20 ve TiN kaplı HSS olmak üzere üç farklı matkap uçları kullanılmıştır. Matkaplar ticari olarak temin edilmiş, TiN kaplı HSS matkabın kaplama tabaka kalınlığı 2 µm dir. Şekil 6.4'de deneylerde kullanılan matkapların işlem öncesi görüntüleri verilmiştir.

Tablo 6.3. Kullanılan matkapların sertlikleri

Matkap Cinsi	Sertlik(HV30)
K20 Karbür matkaplar	3000
TiN kaplı HSS matkaplar	2000
HSS matkaplar	800-900



Şekil 6.4. İşlem öncesi matkap görüntüleri

7. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

7.1.Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları

Tablo 7.1’de 10 delik sonrası numunelerden alınan yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları verilmiştir. Bu değerlere ait grafik ise Şekil 7.1’ de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi devir sayısının azalması ve ilerleme miktarlarının artması ile yüzey pürüzlülüğü kötüleşmektedir. Bilindiği gibi östenitik faz yapısı daha büyük kayma düzlemlerinden dolayı plastik deformasyona daha meyillidir. Kesme hızının ve dolayısı ile devir sayısının artması ile malzemenin plastik deformasyonu da sıcaklığa bağlı olarak artmakta, kesici takımın talaş kaldırması için gereken kesme kuvveti de azalmaktadır. Bu yüzden daha az kesme kuvvetleri ile iş parçasın da oluşan titreşimler de azalmakta ve yüzey pürüzlülüğü nispeten iyileşmektedir. Devir sayısı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi etkileyen diğer bir faktör ise talaş yığılmasıdır. Bilindiği gibi östenitik paslanmaz çelikler sünek bir yapıya sahiptir. Devir sayısının artması ile talaş yığılması da artma eğilimindedir. Ancak düşük hızlarda oluşan talaş yığılmaları yüksek hızlarda oluşan talaş yığılmalarından daha fazla kararsız olduğundan daha kötü yüzey oluşmaktadır. Bu sonuçlar, Halil Demir ve diğerlerinin [31] yapmış oldukları çalışmalar ile paralellik göstermektedir.

Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen diğer önemli bir faktör ise ilerleme miktarıdır. Yüksek ilerleme miktarlarında, takımın iş parçası yüzeyinde birim zamanda aldığı yol artmakta ve yüzeyde oluşan sarmal izlerin şekli ve aralıkları da artarak yüzey pürüzlülüğünü kötüleştirmektedir. Dolayısı ile yüzey pürüzlülüğünün düşük olması için düşük ilerleme hızlarında çalışmak gerekmektedir [24]. Kesme işlemlerinde tek ağızlı bir kesici takım kullanıldığı zaman, yüzey pürüzlülüğü ilerleme hızı ve kesici burun yarıçapının bir değeri olarak değişmektedir. Bu değişim aşağıdaki formülle gösterilmektedir [25].

$$R_a = \text{fonksiyon}\left(f^2 / r\right) \quad (7.1)$$

Monaghan ve O’Reily [26] bu durumun delme işlemine de uygun olduğunu belirtmiştir. Buna göre eşitlik 6,1’den de görüldüğü gibi ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değeri de artmaktadır.

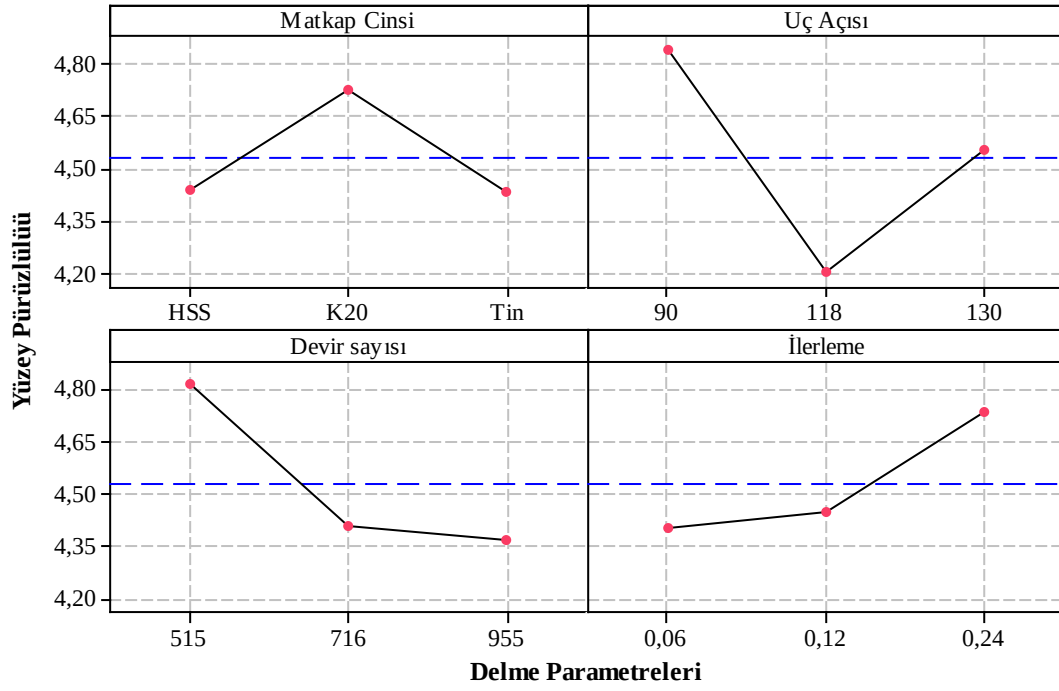
Matkap uç açıları dikkate alındığında, en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri TiN kaplamalı HSS takımla elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri ise K20

karbür takımlarla elde edilmiştir. TiN kaplı HSS matkaplarda, TiN tabakasının 85-95 Rc civarına çıkan yüksek sertliği, iş parçası ile önemli bir reaksiyona girmemesi ve böylece yapışmaya bağlı aşınmaların azalmasını sağlayan kimyasal kararlılığı ve düşük sürtünme katsayısı gibi faktörler kesme işlemi süresince daha düşük sıcaklık ve kesme kuvvetlerinin oluşumuna ve buna bağlı olarak kesici kenarların daha etkin olarak korunmasını sağlamaktadır. Bu durum yüzey kalitesini olumlu yönde tesir etmektedir. Matkap uç açısının 118° olduğu durumlarda optimum yüzey pürüzlülüğü elde edilirken, uç açısının 90° ve 130° olduğu durumlarda ortalama yüzey pürüzlülük değerleri, toplam ortalamaların üstünde olmaktadır. Bu durum, uç açısına bağlı olarak kesici kenar uzunluğunun değişimi ile ilişkilendirilebilir. Uç açısının 118°'den düşük olduğu durumda, kesici kenar uzunluğu da artmaktadır. Dolayısı ile sürtünme alanı artarak daha fazla ısı ve sıcaklık oluşmakta, bu da talaş sıvanmasını arttırarak işlenen yüzeyi bozmaktadır. Uç açısının artması durumunda ise kesici kenar uzunluğu azalmakta, buna bağlı olarak da gerekli kesme kuvvetleri de artmaktadır. Sonuç olarak, en iyi yüzey pürüzlülüğü 118° uç açısında elde edilmektedir. Bu uç açısına oranla, uç açısının artması ve azalması yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir.

Şekil 7.1 – 7.5 ile Tablo 7.1- 7.5 de delik sayısına bağlı olarak işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri sırasıyla şekiller ve tablolar halinde verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, delme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki eğilim, delik sayısındaki artışa bağlı olarak benzerlik göstermekte, ancak, delik sayısının artması ile elde edilen ölçüm sonuçları nispeten yüksek olmaktadır. Beklendiği gibi, delik sayısının artması, takımda oluşan aşınmaların ve dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de artmasına neden olmaktadır.

Tablo 7.1. 10 delik sonrası numunelerden alınan yüzey pürüzlülüğü

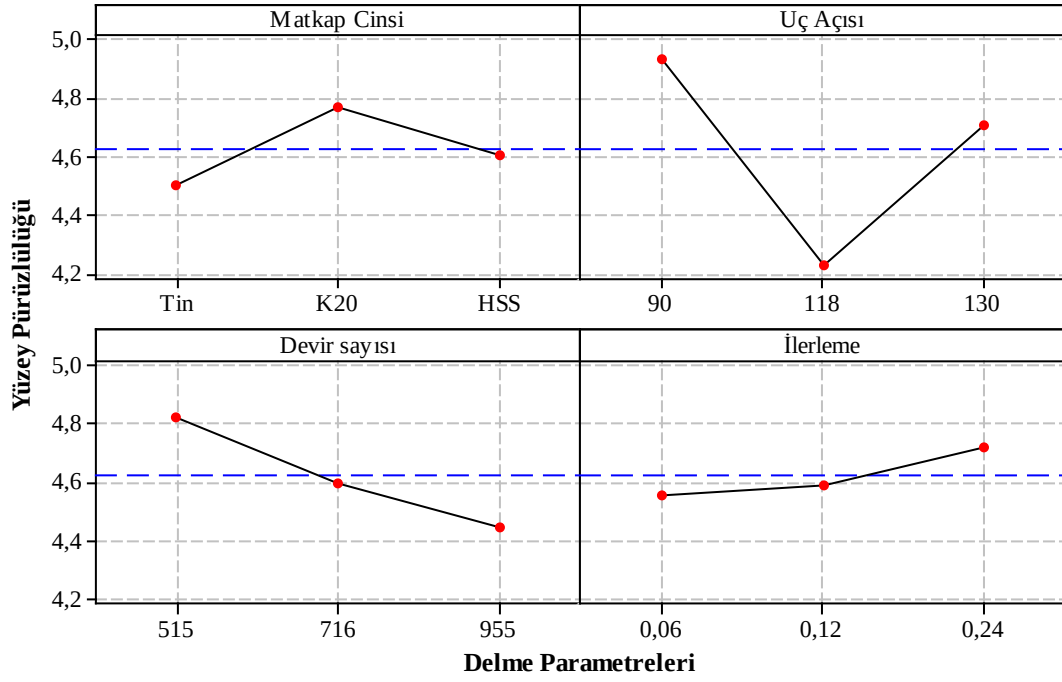
Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Yüzey pürüzlülüğü (µm)
1	TiN	90	515	0.06	4,90
2	TiN	118	732	0.12	3,90
3	TiN	130	955	0.24	4,50
4	K20	90	732	0.24	5,12
5	K20	118	955	0.06	4,10
6	K20	130	515	0.12	4,95
7	HSS	90	955	0.12	4,50
8	HSS	118	515	0.24	4,60
9	HSS	130	732	0.06	4,21



Şekil 7.1. 10 delik sonrası delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Tablo 7.2. 20 delik sonrası numunelerden alınan yüzey pürüzlülüğü

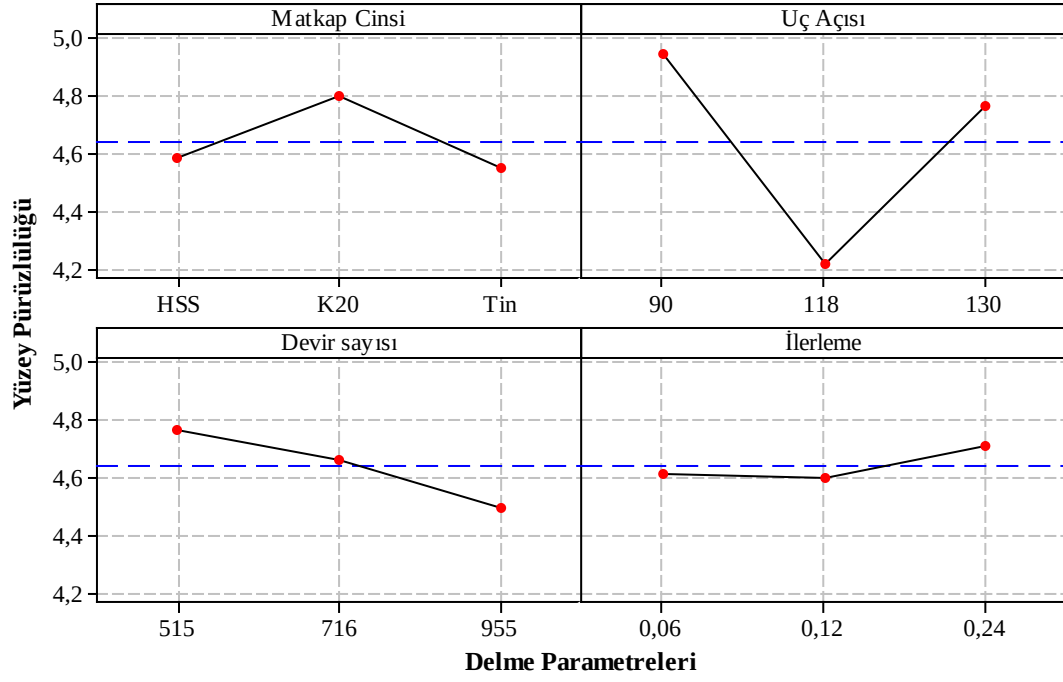
Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Yüzey pürüzlülüğü (μm)
1	TiN	90	515	0.06	4,95
2	TiN	118	732	0.12	4,05
3	TiN	130	955	0.24	4,50
4	K20	90	732	0.24	5,15
5	K20	118	955	0.06	4,13
6	K20	130	515	0.12	5,02
7	HSS	90	955	0.12	4,71
8	HSS	118	515	0.24	4,51
9	HSS	130	732	0.06	4,60



Şekil 7.2. 20 delik sonrası delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Tablo 7.3. 30 delik sonrası numunelerden alınan yüzey pürüzlülüğü

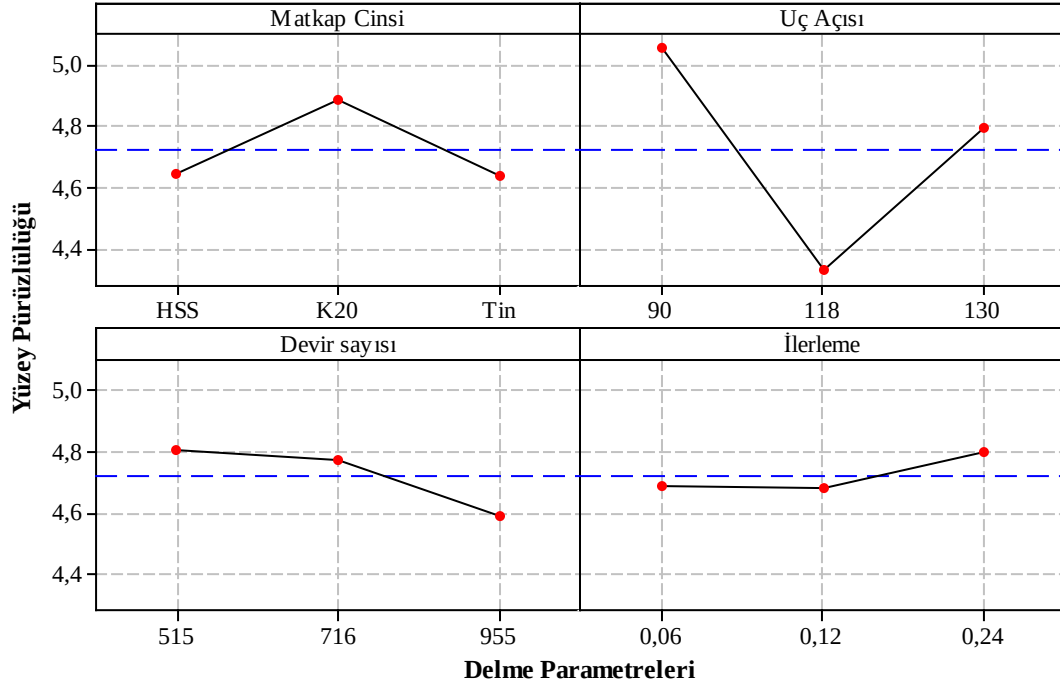
Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Yüzey pürüzlülüğü (µm)
1	TiN	90	515	0.06	4,95
2	TiN	118	732	0.12	4,10
3	TiN	130	955	0.24	4,60
4	K20	90	732	0.24	5,20
5	K20	118	955	0.06	4,20
6	K20	130	515	0.12	5,00
7	HSS	90	955	0.12	4,70
8	HSS	118	515	0.24	4,35
9	HSS	130	732	0.06	4,70



Şekil 7.3. 30 delik sonrası delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Tablo 7.4. 40 delik sonrası numunelerden alınan yüzey pürüzlülüğü

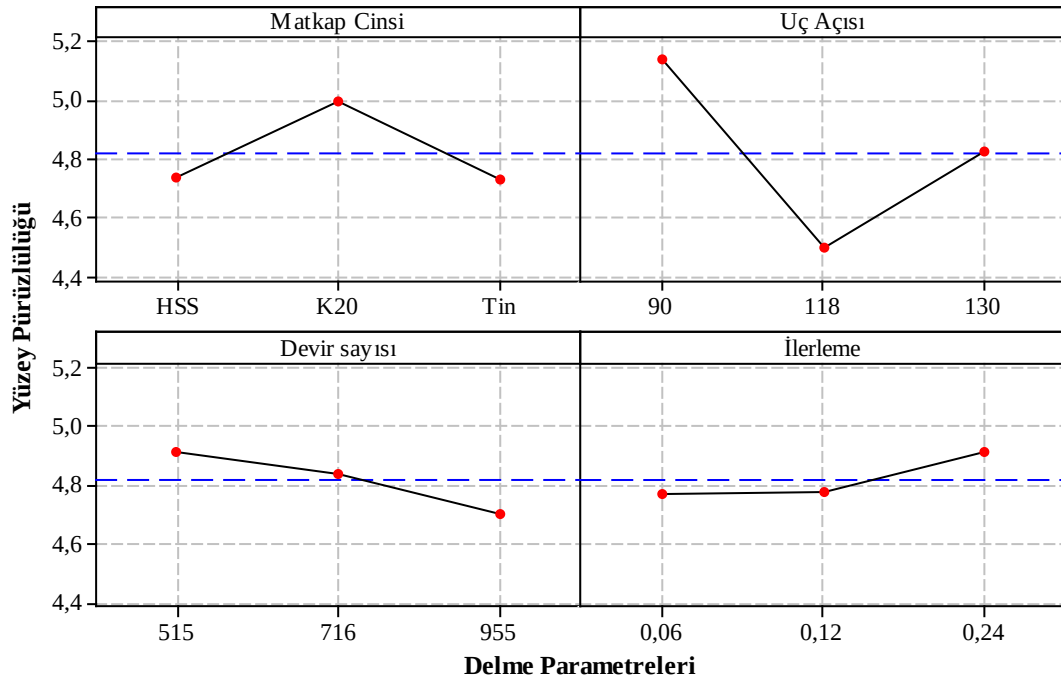
Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Yüzey pürüzlülüğü (µm)
1	TiN	90	515	0.06	5,02
2	TiN	118	732	0.12	4,25
3	TiN	130	955	0.24	4,65
4	K20	90	732	0.24	5,35
5	K20	118	955	0.06	4,32
6	K20	130	515	0.12	5,00
7	HSS	90	955	0.12	4,80
8	HSS	118	515	0.24	4,41
9	HSS	130	732	0.06	4,73



Şekil 7.4. 40 delik sonrası delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

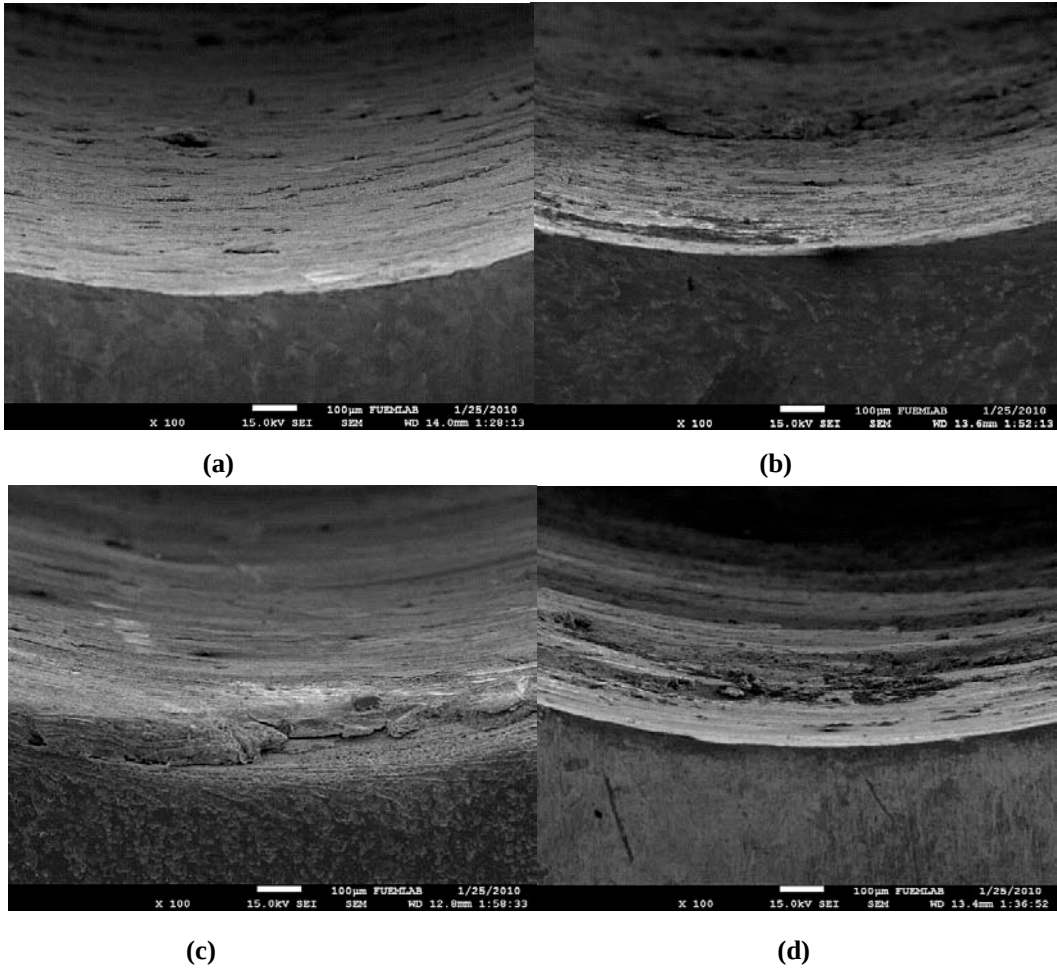
Tablo 7.5. 50 delik sonrası numunelerden alınan yüzey pürüzlülüğü

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Yüzey pürüzlülüğü (µm)
1	TiN	90	515	0.06	5,10
2	TiN	118	732	0.12	4,38
3	TiN	130	955	0.24	4,71
4	K20	90	732	0.24	5,43
5	K20	118	955	0.06	4,50
6	K20	130	515	0.12	5,05
7	HSS	90	955	0.12	4,90
8	HSS	118	515	0.24	4,60
9	HSS	130	732	0.06	4,71



Şekil 7.5. 50 delik sonrası delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 7.6’da delme işlemleri sonrasında numune yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, matkap cinsine bağlı olarak en pürüzlü yüzeyler K20 karbür takımla elde edilirken, en pürüzsüz yüzeyler ise HSS takımlarla elde edilmiştir. Bu sonuçlar Şekil 7.1 – 7.5 deki sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Şekiller incelendiğinde, özellikle K20 karbür takımlarla delme işleminde, delme esnasında kesici takımdan koptuğu düşünülen parçaların yüzeyde derin çiziklere yol açtığı görülmektedir. Bu parçacıkların yüzeye gelişi güzel dağıldığı ve ilerlemenin de etkisiyle yüzeye battığı görülmektedir.



Şekil 7.6. Delik eksenine dik kesilen numunelerin SEM görüntüleri

(a) TiN 130°

(b) TiN 130°

(c) HSS 130°

(d) K20 130°

7.2. Çapak Yüksekliği Ölçüm Sonuçları

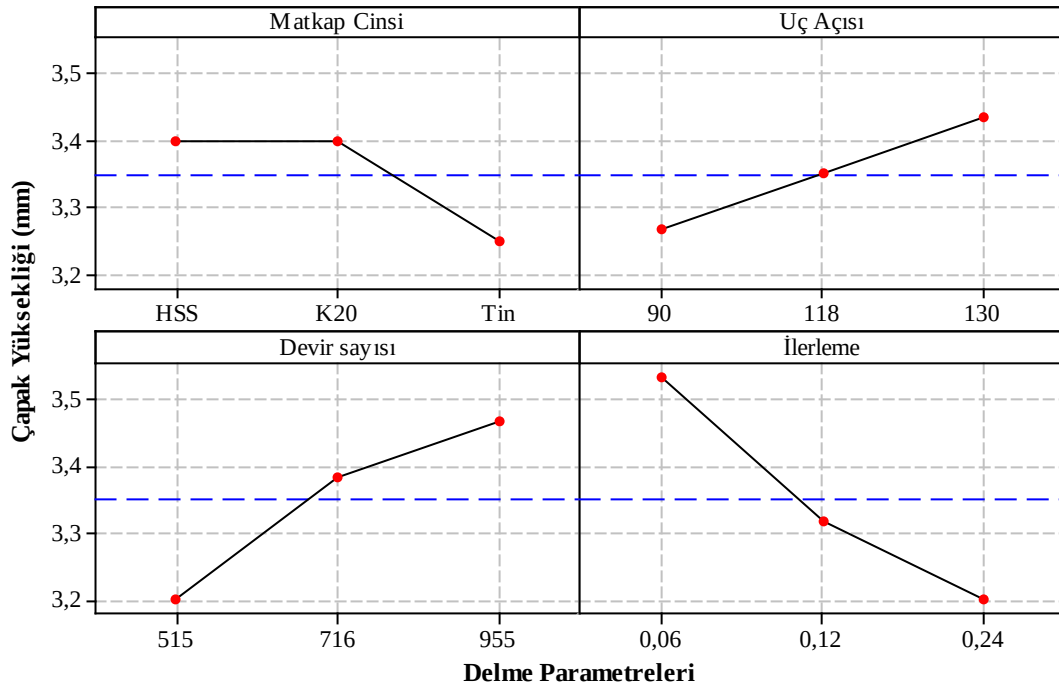
Delme işlemi neticesinde, iş parçasının hem ön yüzeyinde hem de çıkış bölgesinde genellikle çapaklar oluşmaktadır. Ön yüzeyde oluşan çapakların şekli, matkaba yakın bir bölgede plastik deformasyona maruz kalan malzemenin bir sonucu olarak oluşmaktadır. Çıkış bölgesindeki çapaklar ise, iş parçasının arka yüzeyinden dışarı doğru uzanan düzensiz malzeme formu şeklinde tanımlanmaktadır. Delme işlemlerindeki çapakla ilişkili problemlerin birçoğu çıkış çapak yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Çıkış bölgesindeki çapak yüksekliği giriş bölgesindekinden daha fazla olmaktadır. İş parçasında oluşan çapaklar, boyutsal hassasiyette hatalara yol açmaktadır. Bu çapaklar, makine elemanlarının montajında, sıkışma, sapma ve boşluk gibi birçok hatalara neden olmaktadır. Sert ve kırılgan çapaklar, çatlak başlangıcına sebep olarak malzemenin yorulma dayanımını önemli derece etkilemektedir. Çapaklardan kaynaklanan kırıntı parçacıklar, hareketli makine elemanlarında büyük hasarlara yol açmaktadır. Bunun yanı sıra, çapaklardaki keskin kenarlar işçi güvenliği açısından tehlikelere yol açmakta, elektriksel kısa devrelere

ve arızalara yol açabilmektedir. Dolayısıyla, oluşan çapakların temizlenmesi için ikinci bir bitirme işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Çapak alma işlemi, parça üretiminde genellikle en son işlemdir. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki, çapakların elle alınması işlemi, çapakların kalınlığına ve konumuna bağlı olarak, uzun zaman almaktadır. Hassas parçalar için çapak alma ve kenar düzeltme işlemleri ürünün toplam maliyetinin yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır. Oluşan çapakların şekli ve boyutları birçok delme parametreleri ile doğrudan ilişkilidir. Çoğu durumda, zaman ve maliyet açısından daha küçük çapaklar tercih edilmektedir. Ancak bazı özel uygulamalar için az da olsa çapakların istendiği durumlar da olabilmektedir. Dolayısıyla delme işleminde çapak oluşumundan kaçınılmalı veya en aza indirilmesi amaçlanmalıdır.

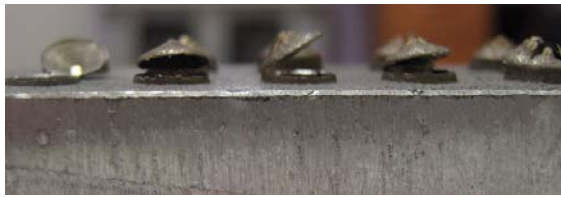
Tablo 7.6'de 10 delik sonrası numunelerden alınan çapak yüksekliği ölçüm sonuçları verilmiştir. Bu değerlere ait grafik ise Şekil 7.6' de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi devir sayısının artması ile çapak yüksekliği de artmakta, ilerleme miktarlarının artması ile çapak yüksekliği azalmaktadır. Bilindiği gibi, çapak yüksekliği sabit ilerleme şartlarında baskı kuvveti ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla, matkabın iş parçasından dışarı doğru çıkmaya yakın olduğu kesme bölgesinde malzemede oluşan ısının miktarı da baskı kuvvetine bağlı olarak artmaktadır. Matkap iş parçasının arka yüzeyinden dışarı çıkmaya başladığı anda, kesici kenarlardaki aşınmalardan dolayı malzemedeki kopmayan en son ince tabakadaki kaymalar düzensiz olmaktadır. Bu yüzden iş parçasının alt yüzeyi daha çok ısınmakta, sünekliliği artmaktadır. Bu da malzemenin daha kolay akmasına yol açmaktadır. Matkabın tamamen dışarı çıkması durumunda ise plastik deformasyona bağlı olarak daha fazla malzeme dışarı atılmakta ve delinen deliğin çevresinde daha yüksek çapakların oluşmasına yol açmaktadır. Kesme hızının ve dolayısıyla devir sayısının artması ile oluşan sıcaklık ve ısı miktarına bağlı olarak çapak yüksekliği de artmaktadır. İlerleme miktarının artması ile ısı miktarı azalmakta ve buna bağlı olarak da çapak yüksekliği azalmaktadır. Benzer sonuçlar Ramulu ve diğ. [27] tarafından da elde edilmiştir. Deneyler neticesinde numunelerde oluşan çapakların görüntüleri Şekil 7.8'de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi oluşan çapaklar matkap formunu almış kap, yırtık bağlantılı kap ve bağlantısız olmak üzere 3 farklı tipte meydana gelmiştir. TiN kaplamalı takımlarda oluşan kaplar numune yüzeylerinin arka tarafından tamamen kopmuştur. Bu da çapak yüksekliği açısından bu takımların daha avantajlı olduklarını göstermektedir.

Tablo 7.6. 10 delik sonrası numunelerden alınan çapak yüksekliği

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Çapak yüksekliği (mm)
1	TiN	90	515	0.06	3,20
2	TiN	118	732	0.12	3,25
3	TiN	130	955	0.24	3,30
4	K20	90	732	0.24	3,20
5	K20	118	955	0.06	3,70
6	K20	130	515	0.12	3,30
7	HSS	90	955	0.12	3,40
8	HSS	118	515	0.24	3,10
9	HSS	130	732	0.06	3,70



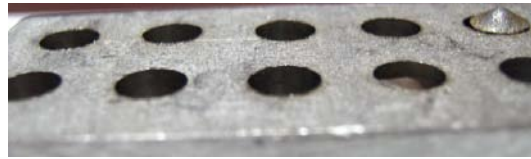
Şekil 7.7. 10 delik sonrası delme parametrelerinin çapak yüksekliğine etki



(a)



(b)



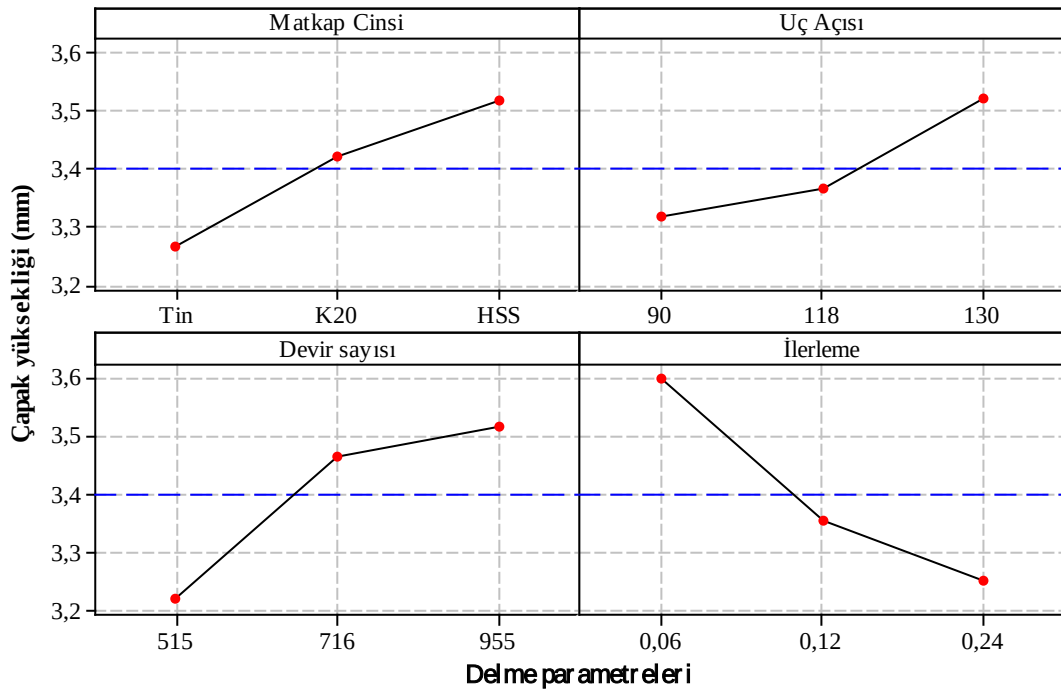
(c)

Şekil 7.8. 10 delik sonrası numunelerdeki çapak görüntüsü

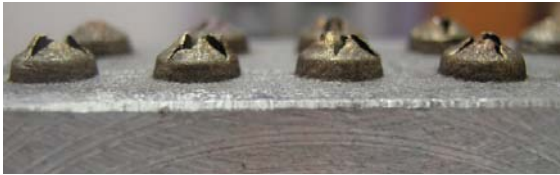
(a)HSS 118° (b)K20 118° (c)TiN 118°

Tablo 7.7. 20 delik sonrası numunelerden alınan çapak yüksekliği

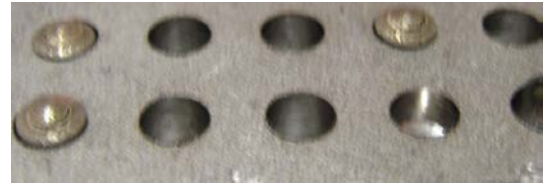
Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Çapak yüksekliği (mm)
1	TiN	90	515	0.06	3,20
2	TiN	118	732	0.12	3,25
3	TiN	130	955	0.24	3,35
4	K20	90	732	0.24	3,25
5	K20	118	955	0.06	3,70
6	K20	130	515	0.12	3,31
7	HSS	90	955	0.12	3,50
8	HSS	118	515	0.24	3,15
9	HSS	130	732	0.06	3,90



Şekil 7.9. 20 delik sonrası delme parametrelerinin çapak yüksekliğine etkisi



(a)



(b)



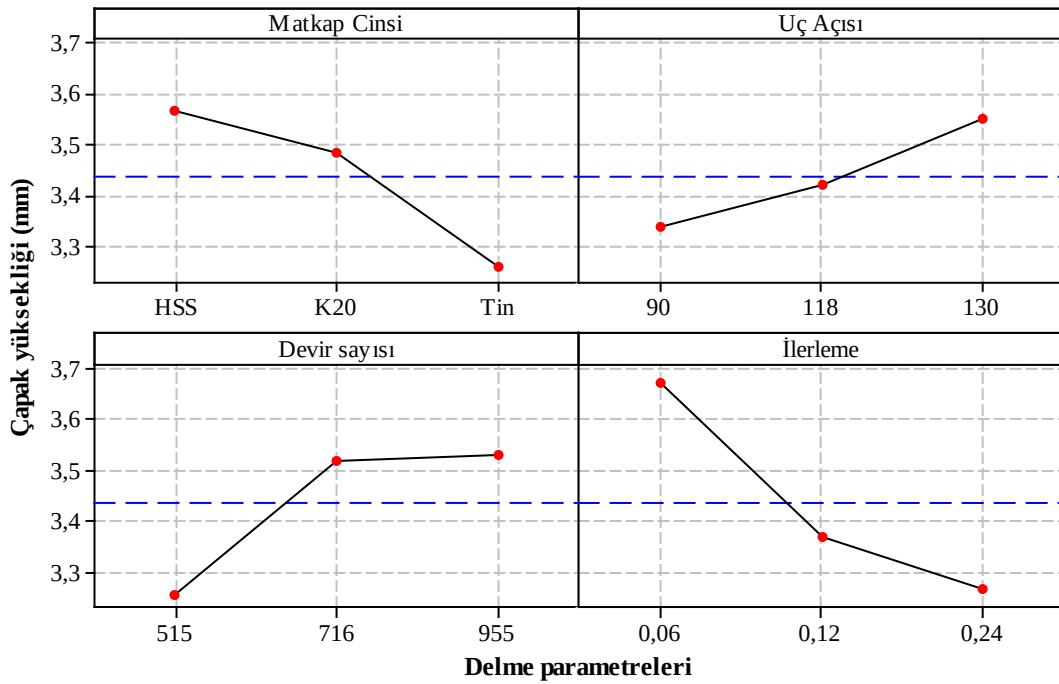
(c)

Şekil 7.10. 20 delik sonrası numunelerdeki çapak görüntüsü

(a)HSS 118° (b)K20 118° (c)TiN 118°

Tablo 7.8. 30 delik sonrası numunelerden alınan çapak yüksekliği

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Çapak yüksekliği (mm)
1	TiN	90	515	0.06	3,22
2	TiN	118	732	0.12	3,26
3	TiN	130	955	0.24	3,30
4	K20	90	732	0.24	3,30
5	K20	118	955	0.06	3,80
6	K20	130	515	0.12	3,35
7	HSS	90	955	0.12	3,50
8	HSS	118	515	0.24	3,20
9	HSS	130	732	0.06	4,00



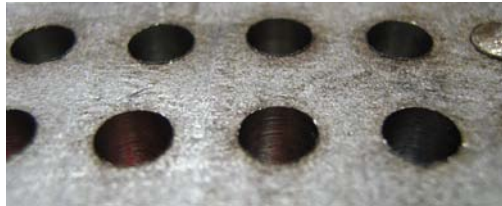
Şekil 7.11. 30 delik sonrası delme parametrelerinin çapak yüksekliğine etkisi



(a)



(b)



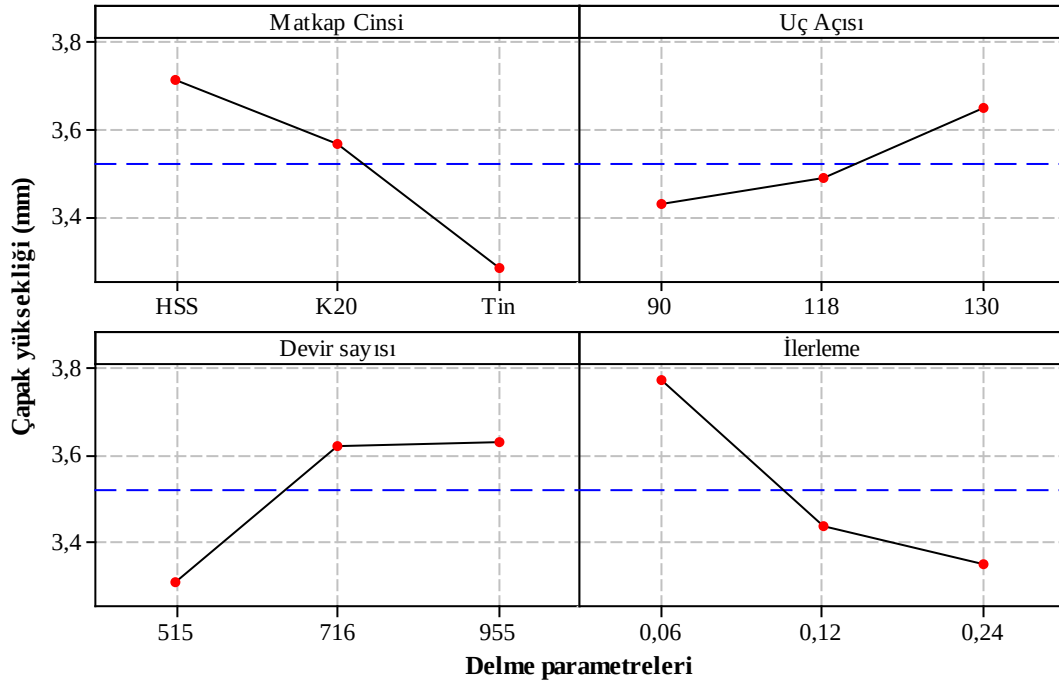
(c)

Şekil 7.12. 30 delik sonrası numunelerdeki çapak görüntüsü

(a)HSS 118° (b)K20 118° (c)TiN 118°

Tablo 7.9. 40 delik sonrası numunelerden alınan çapak yüksekliği

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Çapak yüksekliği (mm)
1	TiN	90	515	0.06	3,23
2	TiN	118	732	0.12	3,27
3	TiN	130	955	0.24	3,35
4	K20	90	732	0.24	3,40
5	K20	118	955	0.06	3,90
6	K20	130	515	0.12	3,40
7	HSS	90	955	0.12	3,65
8	HSS	118	515	0.24	3,30
9	HSS	130	732	0.06	4,20



Şekil 7.13. 40 delik sonrası delme parametrelerinin çapak yüksekliğine etkisi



(a)



(b)

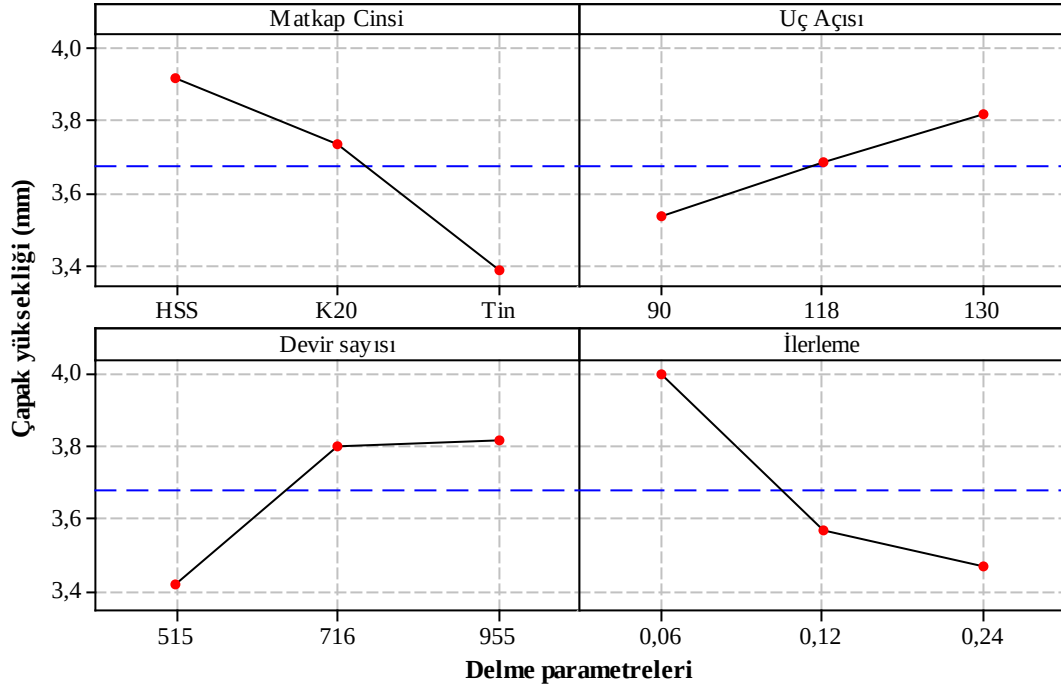


(c)

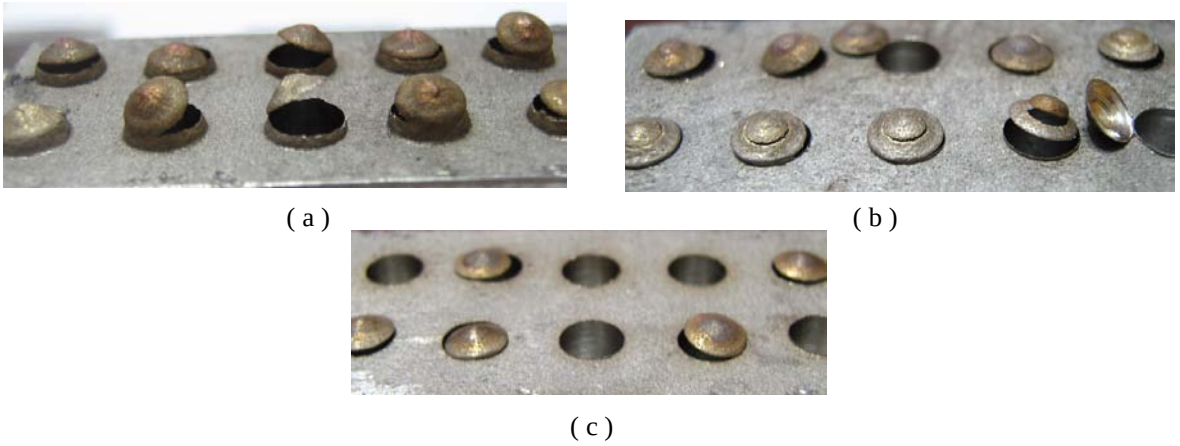
Şekil 7.14. 40 delik sonrası numunelerdeki çapak görüntüsü (a)HSS 118° (b)K20 118° (c)TiN 118°

Tablo 7.10. 50 delik sonrası numunelerden alınan çapak yüksekliği

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Çapak yüksekliği (mm)
1	TiN	90	515	0.06	3,30
2	TiN	118	732	0.12	3,40
3	TiN	130	955	0.24	3,45
4	K20	90	732	0.24	3,50
5	K20	118	955	0.06	4,20
6	K20	130	515	0.12	3,50
7	HSS	90	955	0.12	3,80
8	HSS	118	515	0.24	3,45
9	HSS	130	732	0.06	4,50



Şekil 7.15. 50 delik sonrası delme parametrelerinin çapak yüksekliğine etkisi



Şekil 7.16. 50 delik sonrası numunelerdeki çapak görüntüsü (a)HSS 118° (b)K20 118° (c)TiN 118°

7.3. Yanak Aşınması Ölçüm Sonuçları

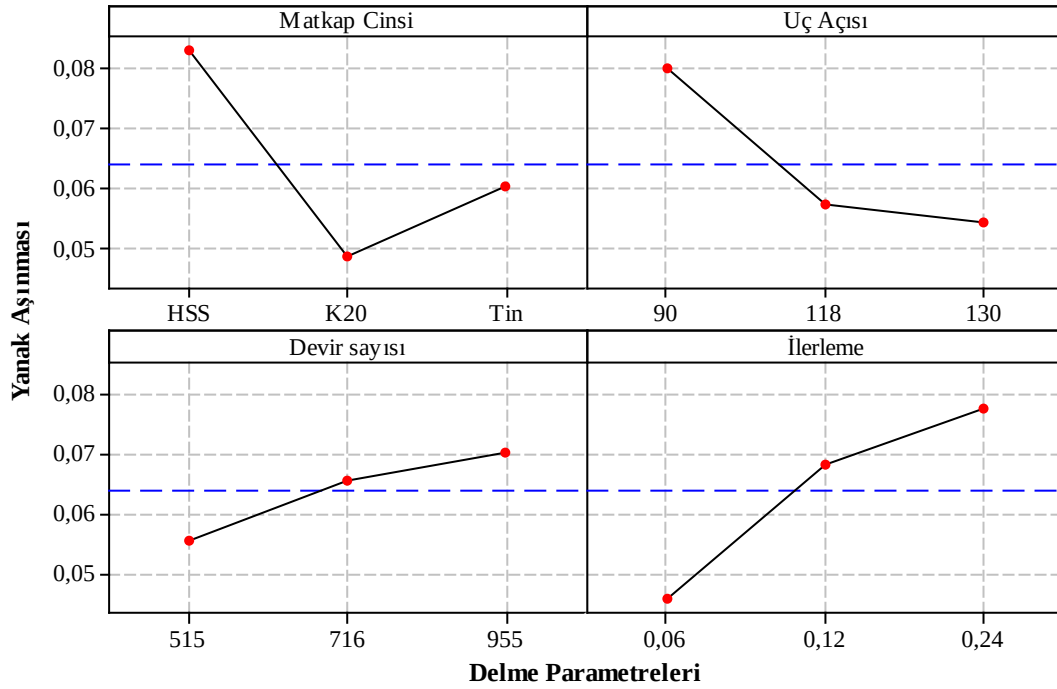
Bilindiği gibi, delme işlemi başladıktan bir süre sonra kesici takımlarda aşınmalar meydana gelmektedir. Aşınma, matkap uçlarında, matkap kenarlarında ve matkap yanak yüzeylerinde görülmektedir. Matkap uçlarında en çok görülen aşınma tipi yanak aşınmasıdır. Yanak aşınması, kesici kenarda derinliğine oluşan aşınmanın ortalama yüksekliğidir. Bu aşınmanın değeri, takım ömrünü belirlemede önemli bir kriter olarak kullanılmaktadır. Kesme süresine bağlı olarak matkaplardaki yanak aşınmasının artması, delik ölçülerinde bozukluklara ve düşük yüzey kalitesine neden olmaktadır. Ayrıca, yanak aşınmadan dolayı iş parçasında çapak oluşumu da meydana gelmektedir.

Tablo 7.11’de 10 delik sonrası numunelerden alınan yanak aşınma ölçüm sonuçları verilmiştir. Bu değerlere ait grafik ise Şekil 7.11’ de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi devir sayısı ve ilerleme miktarlarının artmasıyla yanak aşınması da artmaktadır. Yanak aşınması, sürtünmeden dolayı oluşan ısının miktarı ve delme kuvveti ile orantılı olarak değişmektedir. Matkabın ilerleme miktarı ve devir sayısı arttıkça, sürtünme ve ısı miktarı da yükselmektedir. Benzer sonuçlar Sanjat ve Helmi (28) ile Anthony ve Adithan (29) tarafından da elde edilmiştir. Diğer yandan, matkap uç açısının artmasıyla yanak aşınması değerleri azalmaktadır. Bu durum, sürtünme yüzeyinin büyüklüğü ile ilişkilendirilebilir. Matkap uç açısının artması ile sürtünme yüzey alanı azalacağından daha az ısı oluşmakta ve yanak aşınması gecikmektedir. Matkap uç açısının azalmasıyla iş parçası ile matkap arasında kalan bölgede sürtünme artmaktadır. Bu da hem matkap ucunun aşırı ısınmasına hem de yanak aşınmasının hızlanmasına neden olmaktadır. Benzer sonuçlar Shen ve diğ. (30) tarafından da elde edilmiştir. Aşınmaya etki eden diğer önemli bir faktör ise matkabın özelliğidir. Aynı uç açılara sahip matkaplarla sabit ilerleme ve devir sayısı şartlarında yapılan deneylerde, yüksek sertliğe sahip matkaplarda (K20) yanak aşınmasının daha geç olduğu görülmektedir. Bu kesicinin sıcaklık ve plastik deformasyona karşı direnci yüksek sıcaklıklarda bile diğer takımlara nazaran daha yüksek olduğundan en az aşınan matkaptır. 10 delik sonrasında kesici uçlarda meydana gelen aşınmaların görüntüleri Şekil 7.18’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, K20 takımlardaki aşınma diğerlerine nazaran daha azdır. Şekil 7.27- 7.29’da görüldüğü gibi TiN kaplanmış HSS matkabın yanak aşınması delik sayısı arttıkça K20 karbür takımdan daha az olduğu SEM görüntülerinde verilmiştir. Bunun sebebi TiN kaplamanın yüksek ısıya daha dayanıklı olmasından meydana gelmektedir. TiN’le kaplı HSS matkaplarda ise, kesme kenarı hattı oldukça belirgin ve kaplamanın düşük sürtünme direnci ve kimyasal kararlılığı nedeniyle adhesif aşınma

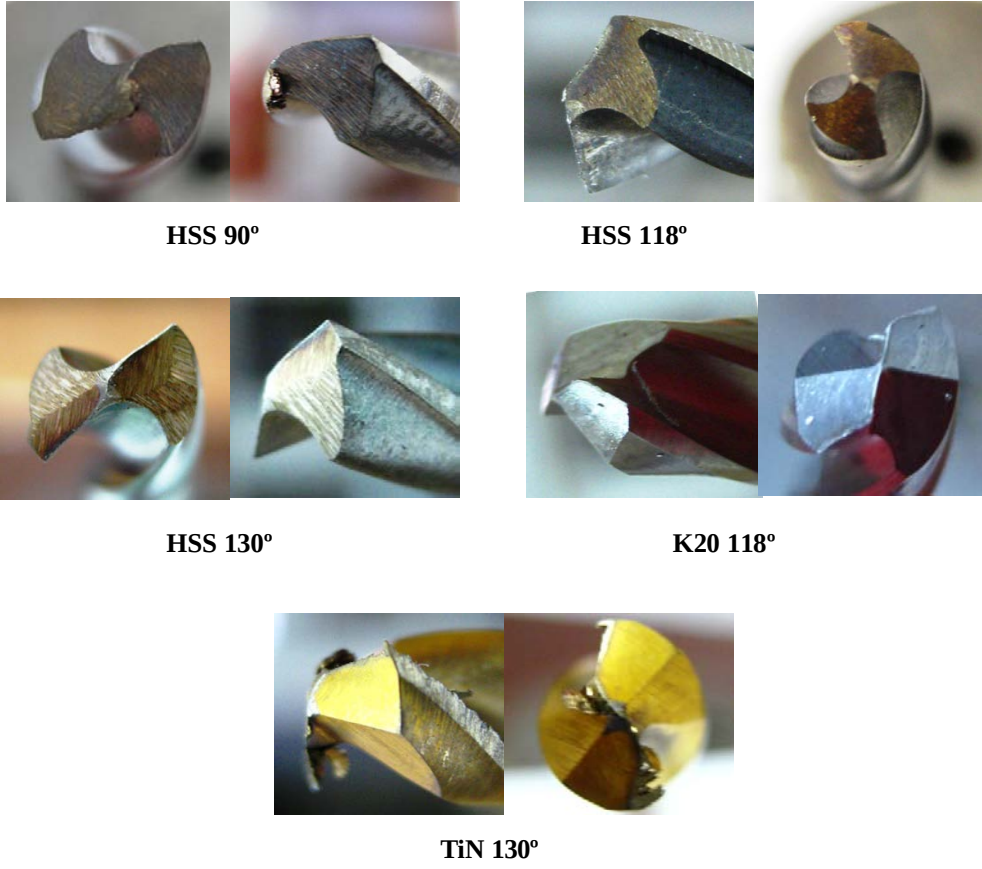
oldukça azdır. Kaplama tabakası abrazif aşınma mekanizmasına karşı bariyer oluşturarak kesici takımın sürtünme direncini arttırmaktadır. Matkapların diğer makro görüntülerinden, HSS matkapların kesici kenarlarında adhesif aşınmanın neden olduğu talaş yığılması (built-up edge) oldukça yoğun bir şekilde gözlenmektedir. Kenar yığılması kesici kenar geometrisini değiştirmiş ve kesme kenarı hattı kaybomuştur.

Tablo 7.11. 10 delik sonrası numunelerden alınan yanak aşınması

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Yanak aşınması
1	TiN	90	515	0.06	0,050
2	TiN	118	732	0.12	0,060
3	TiN	130	955	0.24	0,071
4	K20	90	732	0.24	0,080
5	K20	118	955	0.06	0,030
6	K20	130	515	0.12	0,035
7	HSS	90	955	0.12	0,110
8	HSS	118	515	0.24	0,082
9	HSS	130	732	0.06	0,057



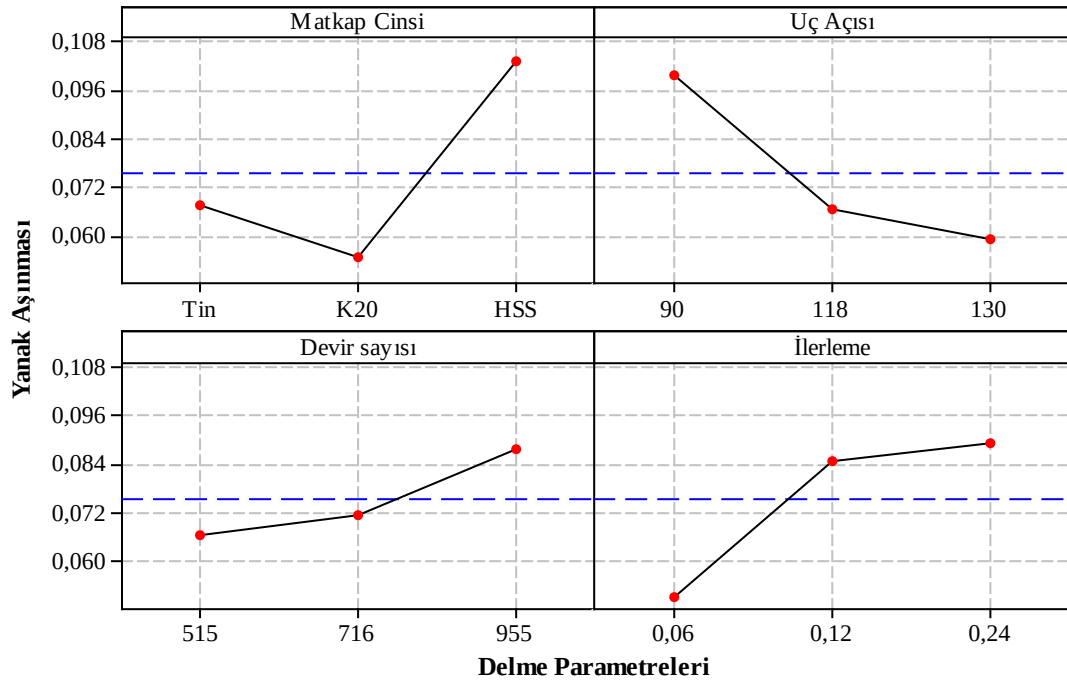
Şekil 7.17. 10 delik sonrası delme parametrelerinin yanak aşınmasına etkisi



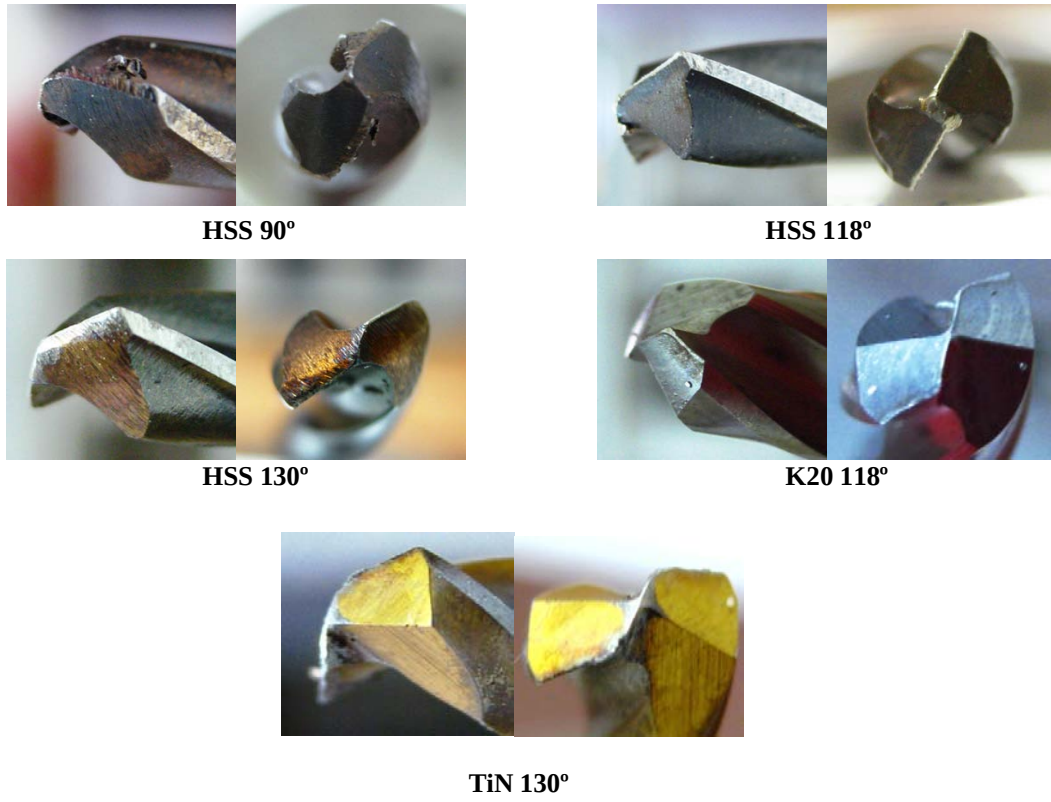
Şekil 7.18. 10 delik sonrası matkap ucu makro resimleri

Tablo 7.12. 20 delik sonrası numunelerden alınan yanak aşınması

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Yanak aşınması
1	TiN	90	515	0.06	0,060
2	TiN	118	732	0.12	0,065
3	TiN	130	955	0.24	0,079
4	K20	90	732	0.24	0,090
5	K20	118	955	0.06	0,035
6	K20	130	515	0.12	0,040
7	HSS	90	955	0.12	0,150
8	HSS	118	515	0.24	0,100
9	HSS	130	732	0.06	0,060



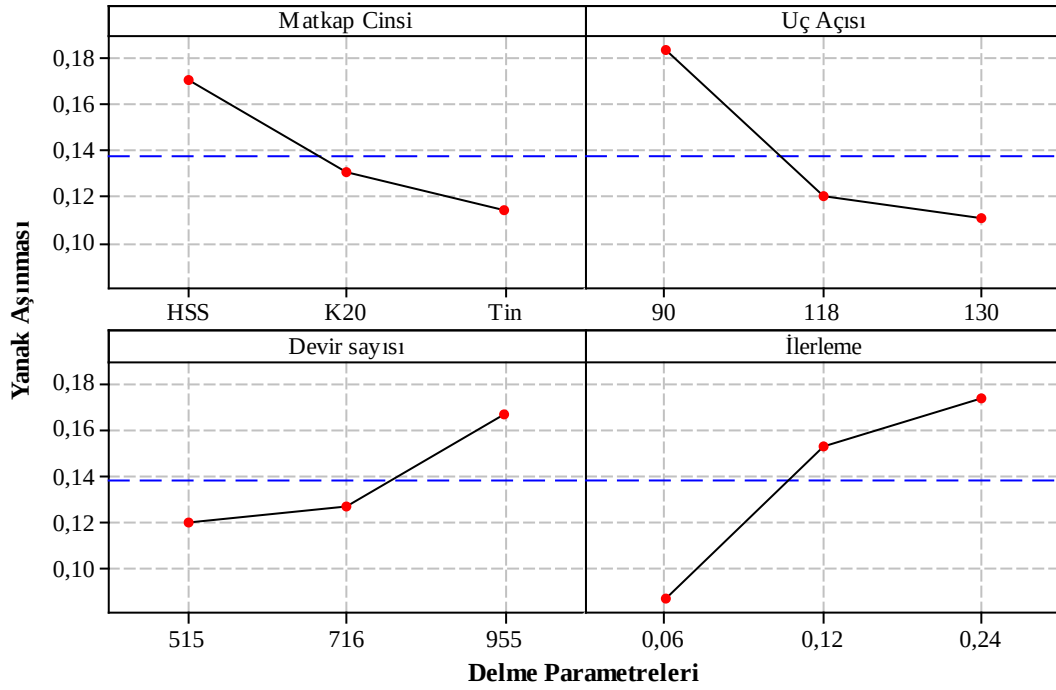
Şekil 7.19. 20 delik sonrası delme parametrelerinin yanak aşınmasına etkisi



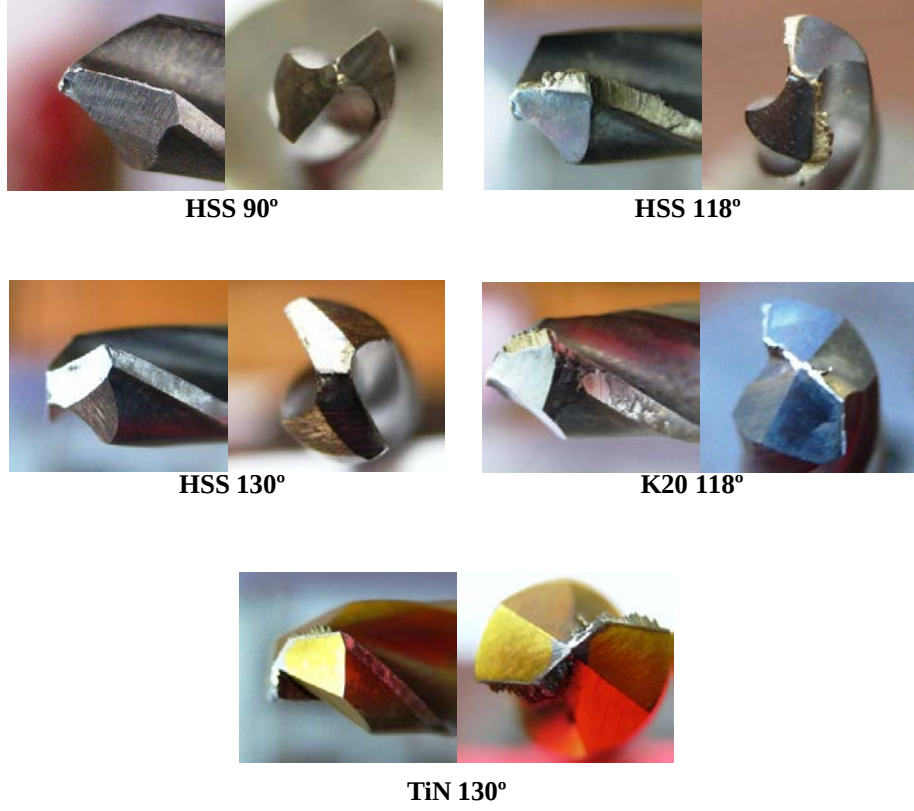
Şekil 7.20. 20 delik sonrası matkap ucu makro resimleri

Tablo 7.13. 30 delik sonrası numunelerden alınan yanak aşınması

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Yanak aşınması
1	TiN	90	515	0.06	0,090
2	TiN	118	732	0.12	0,100
3	TiN	130	955	0.24	0,151
4	K20	90	732	0.24	0,200
5	K20	118	955	0.06	0,090
6	K20	130	515	0.12	0,100
7	HSS	90	955	0.12	0,260
8	HSS	118	515	0.24	0,170
9	HSS	130	732	0.06	0,080



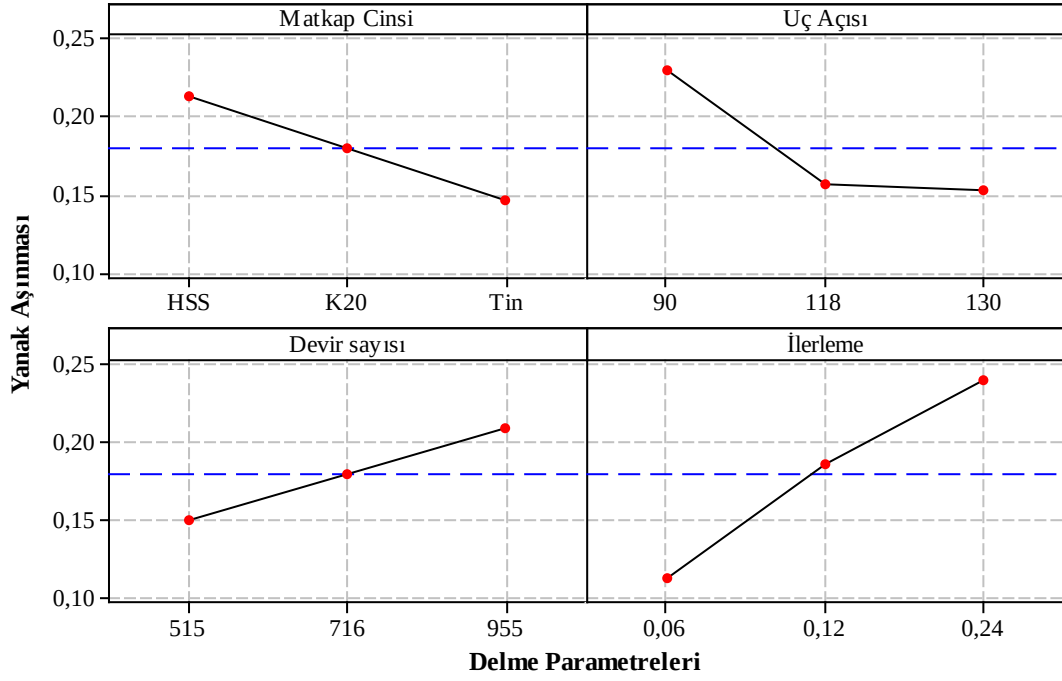
Şekil 7.21. 30 delik sonrası delme parametrelerinin yanak aşınmasına etkisi



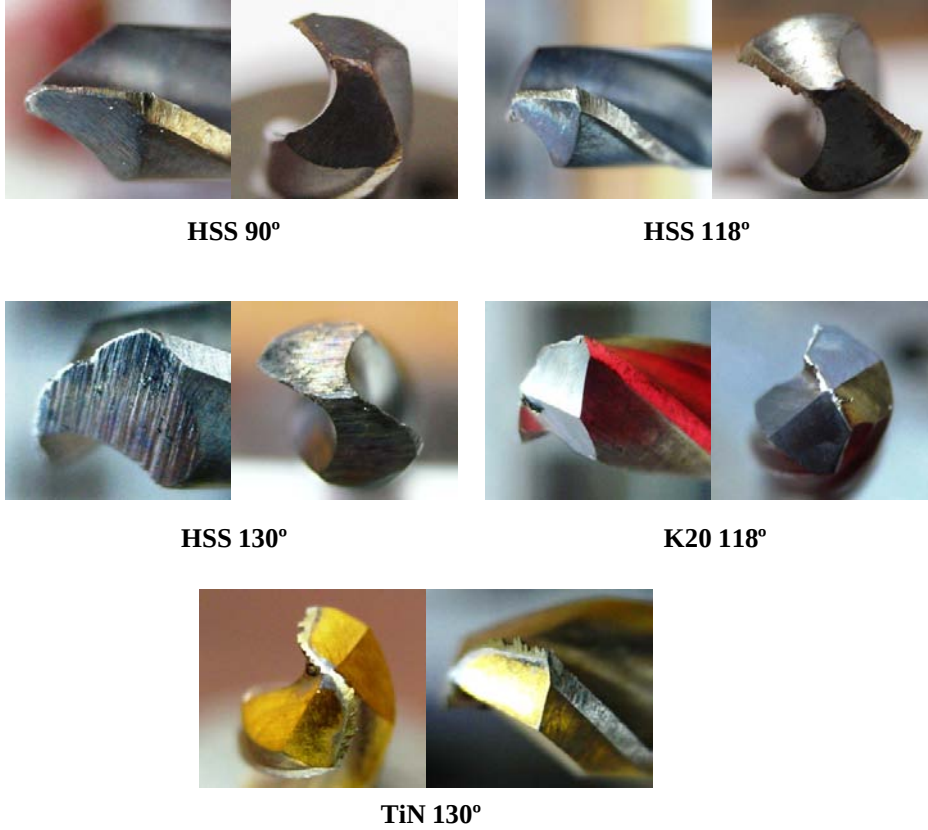
Şekil 7.22. 30 delik sonrası matkap ucu makro resimleri

Tablo 7.14. 40 delik sonrası numunelerden alınan yanak aşınması

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Yanak aşınması
1	TiN	90	515	0.06	0,10
2	TiN	118	732	0.12	0,13
3	TiN	130	955	0 24	0,21
4	K20	90	732	0.24	0,29
5	K20	118	955	0.06	0,12
6	K20	130	515	0.12	0,13
7	HSS	90	955	0.12	0,30
8	HSS	118	515	0.24	0,22
9	HSS	130	732	0.06	0,12



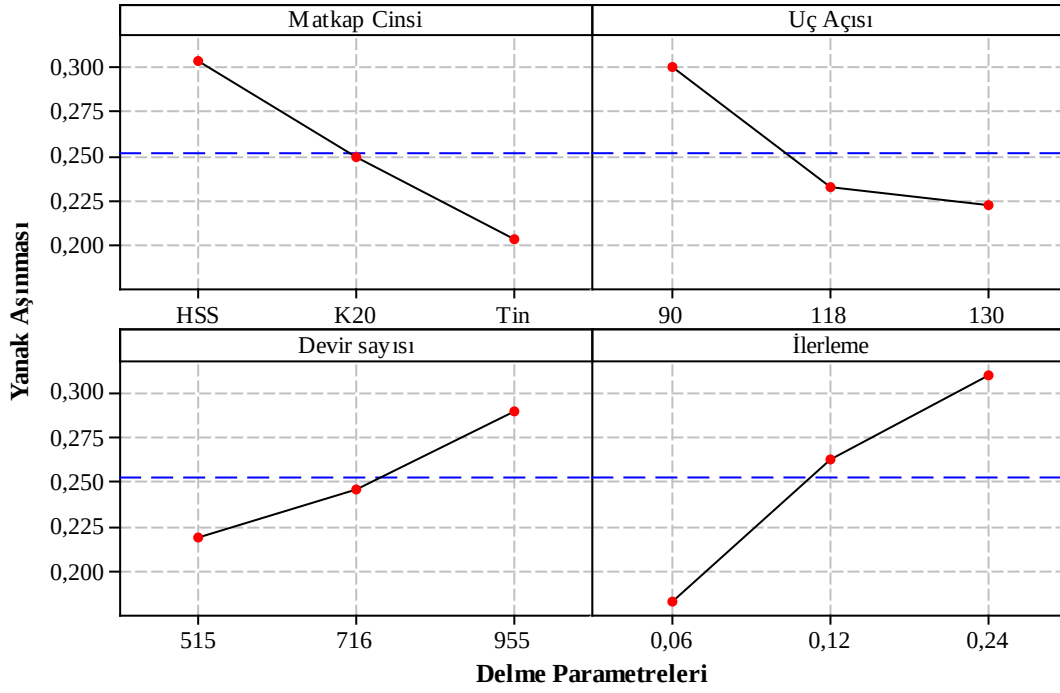
Şekil 7.23. 40 delik sonrası delme parametrelerinin yanak aşınmasına etkisi



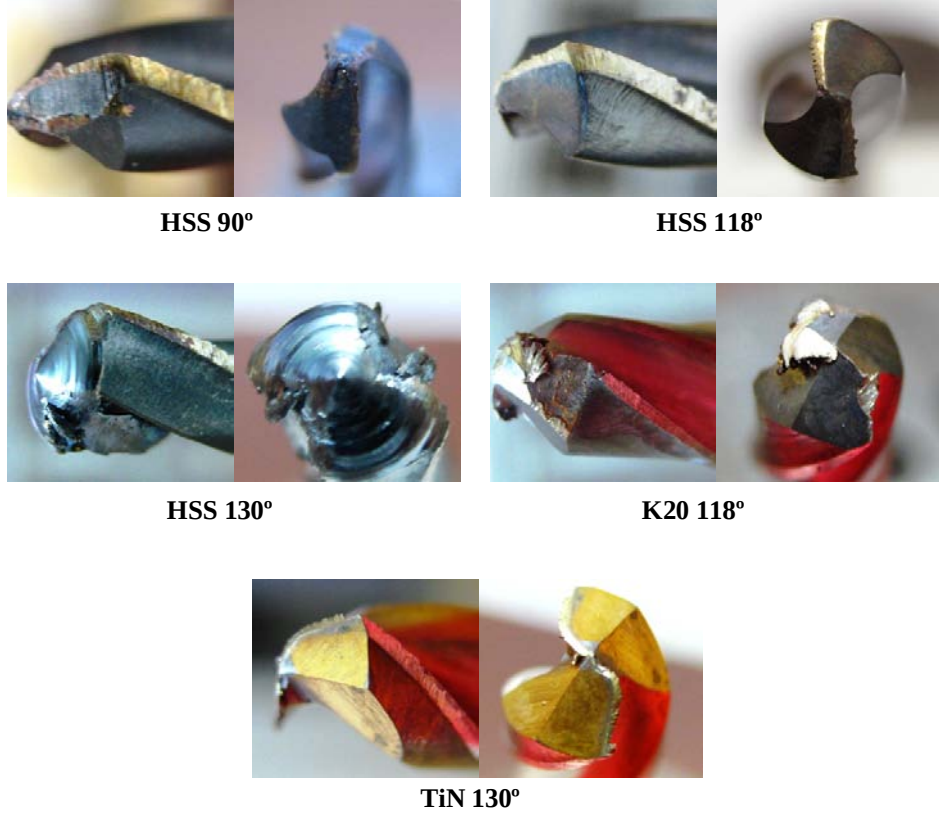
Şekil 7.24. 40 delik sonrası matkap ucu makro resimleri

Tablo 7.15. 50 delik sonrası numunelerden alınan yanak aşınması

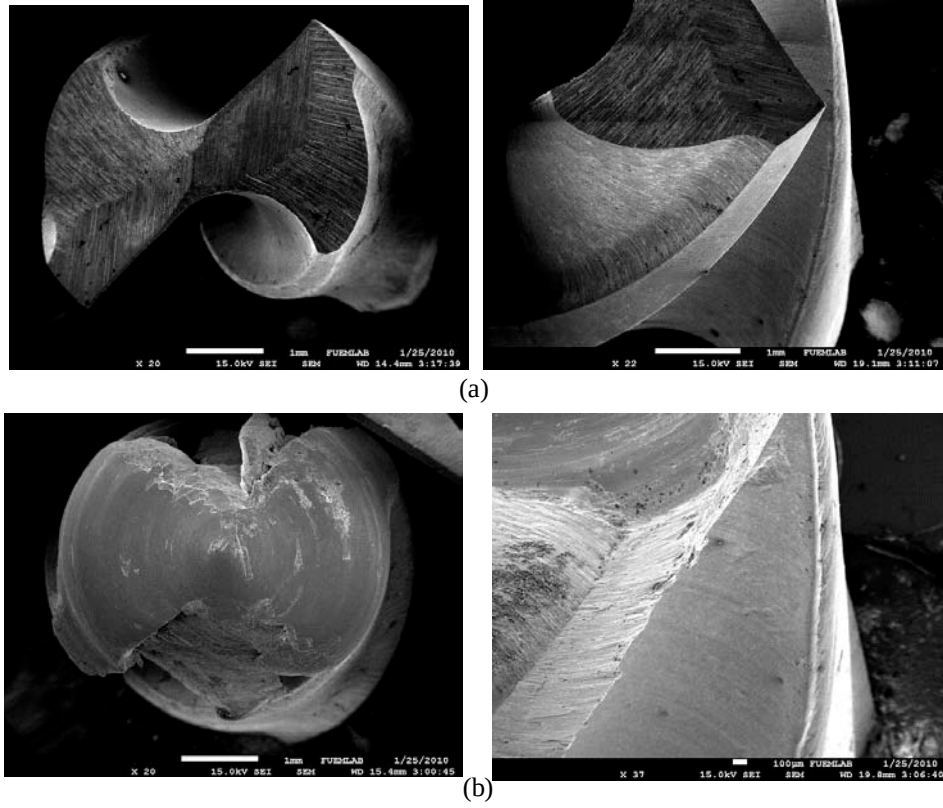
Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Yanak aşınması
1	TiN	90	515	0.06	0,15
2	TiN	118	732	0.12	0,19
3	TiN	130	955	0.24	0,27
4	K20	90	732	0.24	0,35
5	K20	118	955	0.06	0,20
6	K20	130	515	0.12	0,20
7	HSS	90	955	0.12	0,40
8	HSS	118	515	0.24	0,31
9	HSS	130	732	0.06	0,20



Şekil 7.25. 50 delik sonrası delme parametrelerinin çapak yüksekliğine etkisi

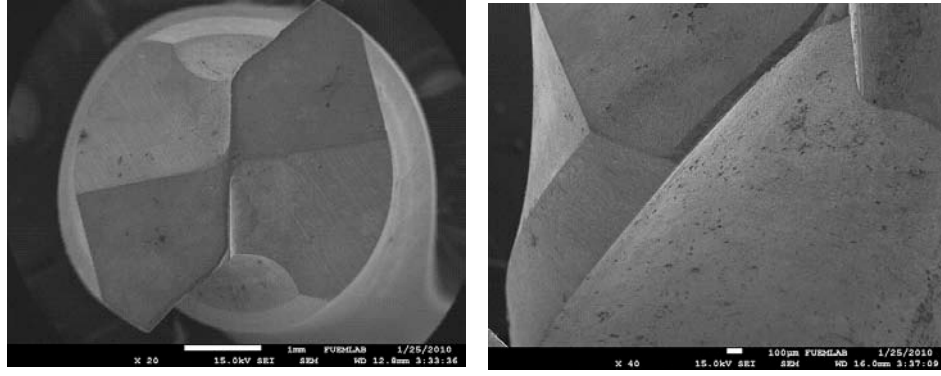


Şekil 7.26. 50 delik sonrası matkap ucu makro resimleri

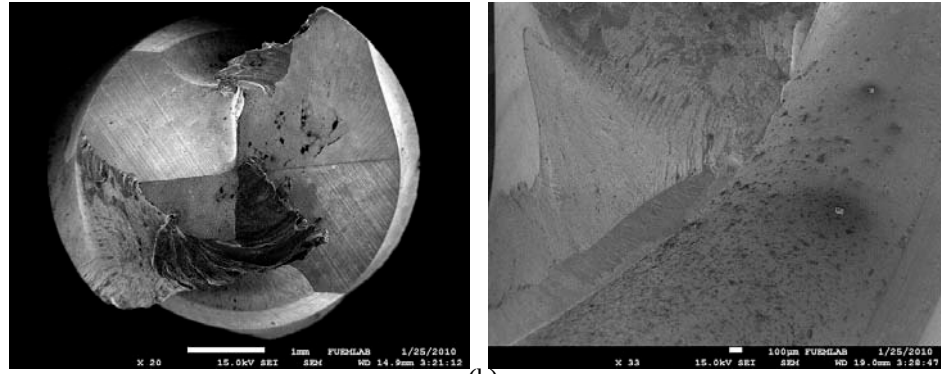


Şekil 7.27. (a) 10 delik sonrası HSS 130°' lik matkabın SEM görüntüsü

(b) 50 delik sonrası HSS 130°'lik matkabın SEM görüntüsü



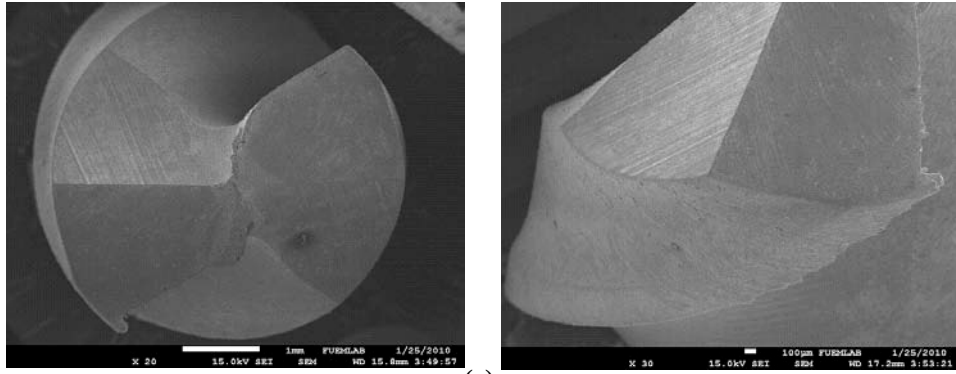
(a)



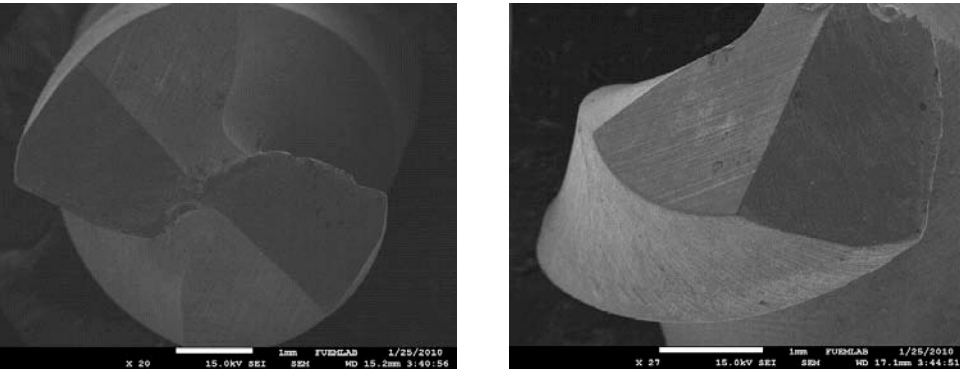
(b)

Şekil 7.28. (a) 10 delik sonrası K20 118° lik matkabın SEM görüntüsü

(b) 50 delik sonrası K20 118° lik matkabın SEM görüntüsü



(a)



(b)

Şekil 7.29. (a) 10 delik sonrası TiN 130° lik matkabın SEM görüntüsü

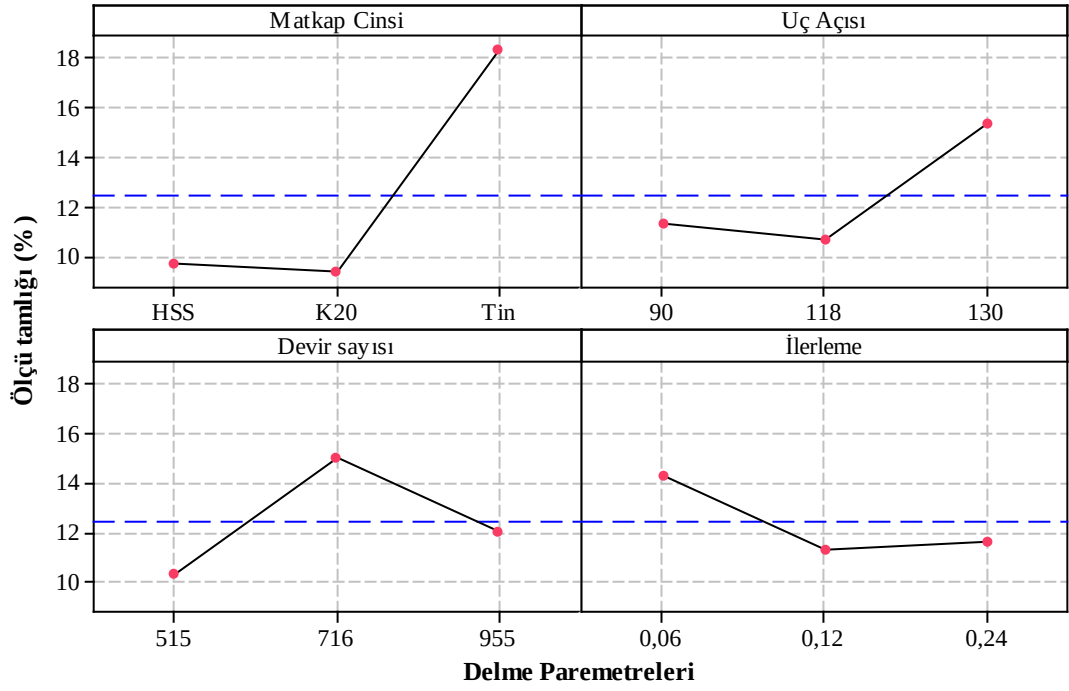
(b) 50 delik sonrası TiN 130° lik matkabın SEM görüntüsü

7.4. Ölçü tamlığı ölçüm sonuçları

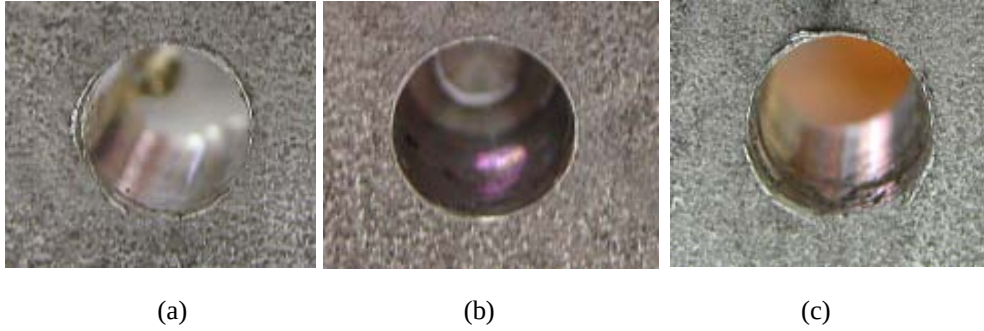
Delme işleminde matkabın aşınmasına bağlı olarak numunede istenmeyen ölçü değişikliği ortaya çıkar. Özellikle uzay endüstrisinde, savunda ve ulaşımda ki imalatların çoğunda delme işlemi çok yaygın olarak kullanılır ve deliklerle bağlama yapılarak montajlanır. Delinen yüzeylerde delme sayısına bağlı olarak, matkabın aşınması ile doğru orantılı olarak delik çapında istenmeyen ölçü değişikliği ortaya çıkar. Yaptığımız çalışmada Şekil 7.30.'da görüldüğü gibi TiN kaplı HSS matkabın en fazla çapta büyüme yaptığı HSS ve K20 matkapların benzer eğilim gösterdiği, matkap uç açısı olarak da 118°'li matkapların ölçü tamlığının 90°-130° 'li matkaplara göre daha iyi olduğu, devir sayısına göre ise 716 dev/dak ise 515-955 dev/dak 'ya göre ölçü tamlığı daha iyi olduğu, ilerleme değerlerine göre 0,12 mm/dev'in ölçü tamlığının diğer ilerlemelere göre iyi olduğu görülmektedir. Şekil 7.30-Şekil 7.39. ve Tablo 7.16-Tablo 7.20.'de görüldüğü gibi delik sayısı arttıkça ölçü tamlığı azalmaktadır. Numunelerin makro resimlerinde görüldüğü gibi delik sayısına bağlı olarak ölçü tamlığının azaldığı belirgin bir şekilde görülmektedir.

Tablo 7.16. 10 delik sonrası numunelerden alınan çap büyümesi

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Çap büyümesi (%)
1	TiN	90	515	0.06	17
2	TiN	118	732	0.12	18
3	TiN	130	955	0.24	20
4	K20	90	732	0.24	10
5	K20	118	955	0.06	9
6	K20	130	515	0.12	9
7	HSS	90	955	0.12	7
8	HSS	118	515	0.24	5
9	HSS	130	732	0.06	17



Şekil 7.30. 10 delik sonrası delme parametrelerinin çap büyümeye etkisi

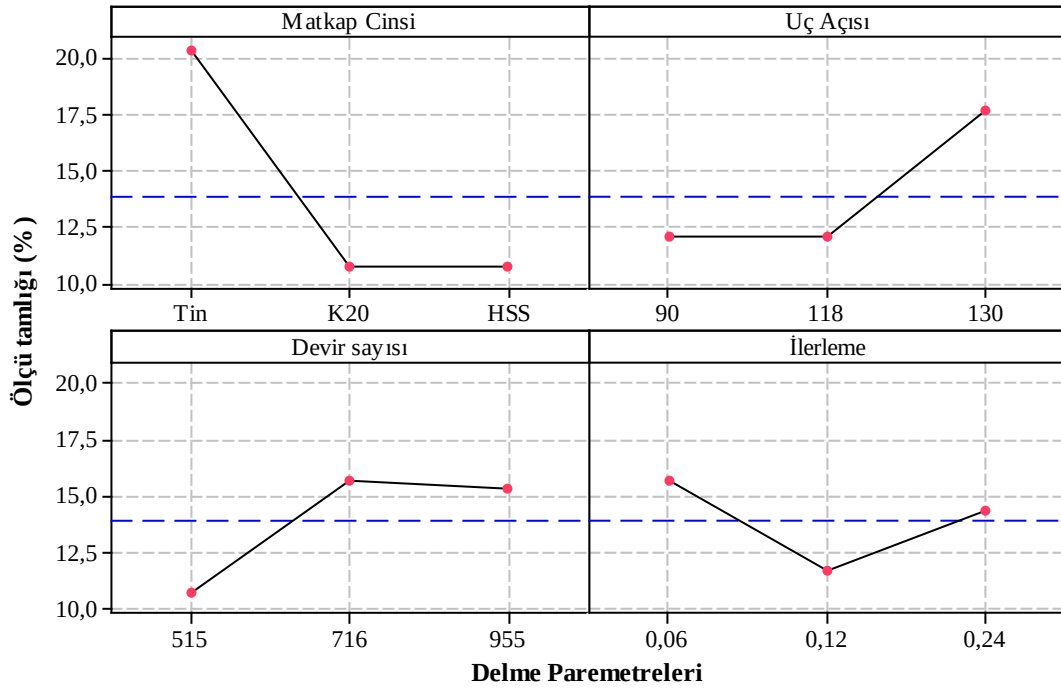


Şekil 7.31. 10 delik sonrası numune makro görüntüleri

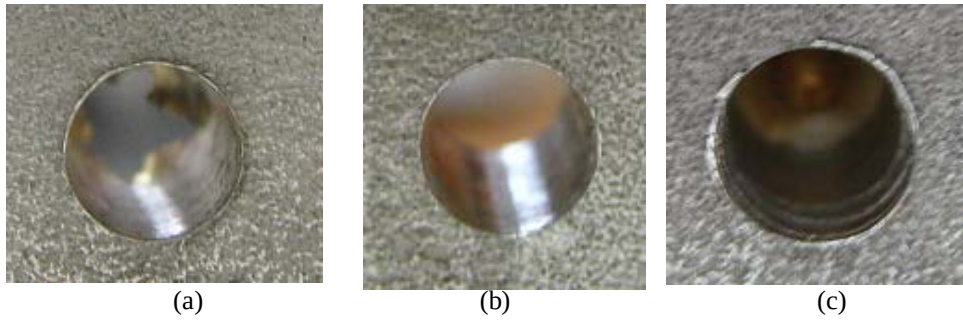
(a) HSS 118° (b) K20 118° (c) TiN 118°

Tablo 7.17. 20 delik sonrası numunelerden alınan çap büyümesi

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Çap büyümesi (%)
1	TiN	90	515	0.06	17
2	TiN	118	732	0.12	18
3	TiN	130	955	0.24	26
4	K20	90	732	0.24	11
5	K20	118	955	0.06	12
6	K20	130	515	0.12	9
7	HSS	90	955	0.12	8
8	HSS	118	515	0.24	6
9	HSS	130	732	0.06	18



Şekil 7.32. 20 delik sonrası delme parametrelerinin çap büyümeye etkisi

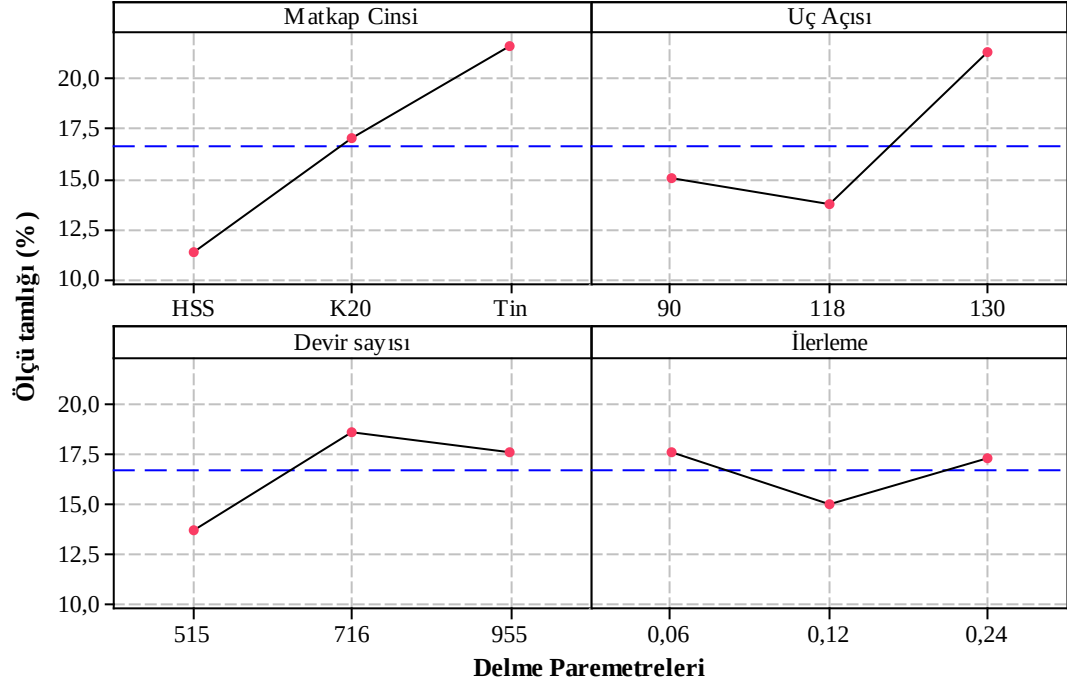


Şekil 7.33. 20 delik sonrası numunemakro görüntüleri

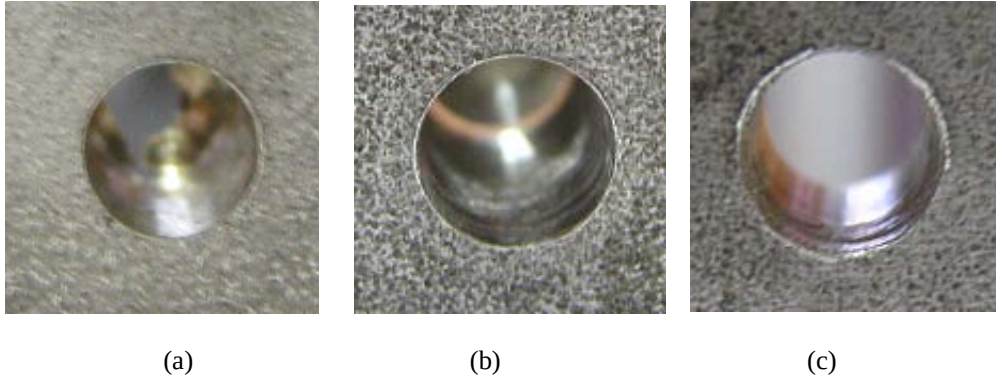
(a) HSS 118° (b) K20 118° (c) TiN 118°

Tablo 7.18. 30 delik sonrası numunelerden alınan çap büyümesi

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Çap büyümesi (%)
1	TiN	90	515	0.06	18
2	TiN	118	732	0.12	19
3	TiN	130	955	0.24	28
4	K20	90	732	0.24	18
5	K20	118	955	0.06	16
6	K20	130	515	0.12	17
7	HSS	90	955	0.12	9
8	HSS	118	515	0.24	6
9	HSS	130	732	0.06	19



Şekil 7.34. 30 delik sonrası delme parametrelerinin çap büyümeye etkisi

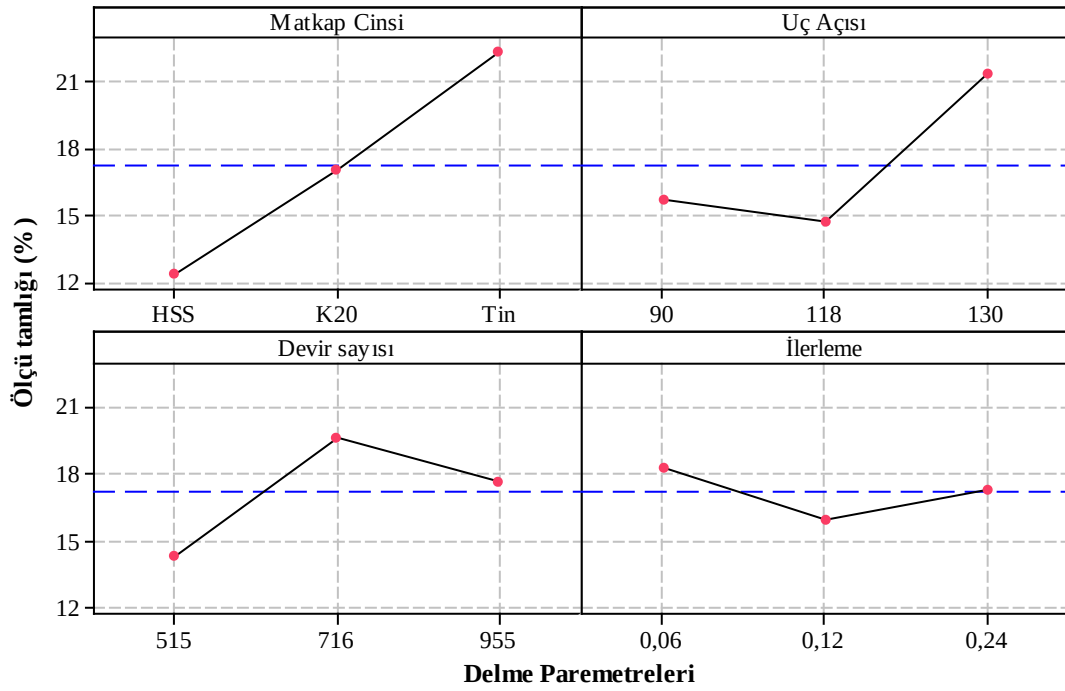


Şekil 7.35. 30 delik sonrası numune makro görüntüleri

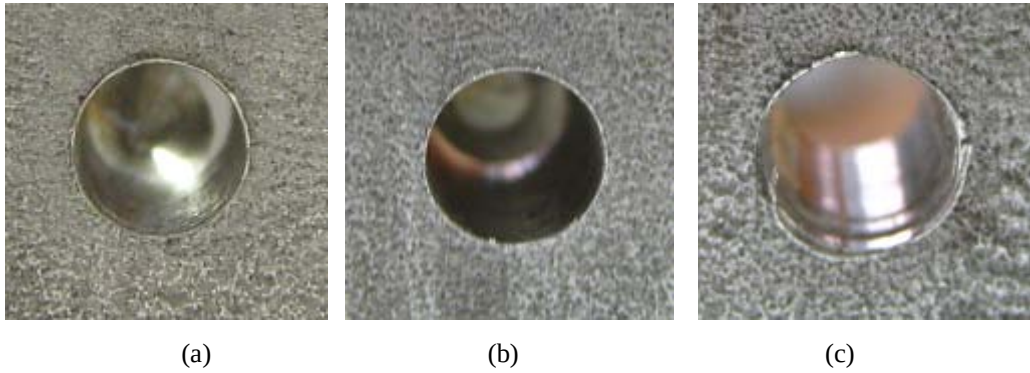
(a)HSS 118° (b)K20 118° (c)TiN 118°

Tablo 7.19. 40 delik sonrası numunelerden alınan çap büyümesi

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Çap büyümesi (%)
1	TiN	90	515	0.06	19
2	TiN	118	732	0.12	21
3	TiN	130	955	0.24	27
4	K20	90	732	0.24	18
5	K20	118	955	0.06	16
6	K20	130	515	0.12	17
7	HSS	90	955	0.12	10
8	HSS	118	515	0.24	7
9	HSS	130	732	0.06	20



Şekil 7.36. 40 delik sonrası delme parametrelerinin çap büyümeye etkisi.

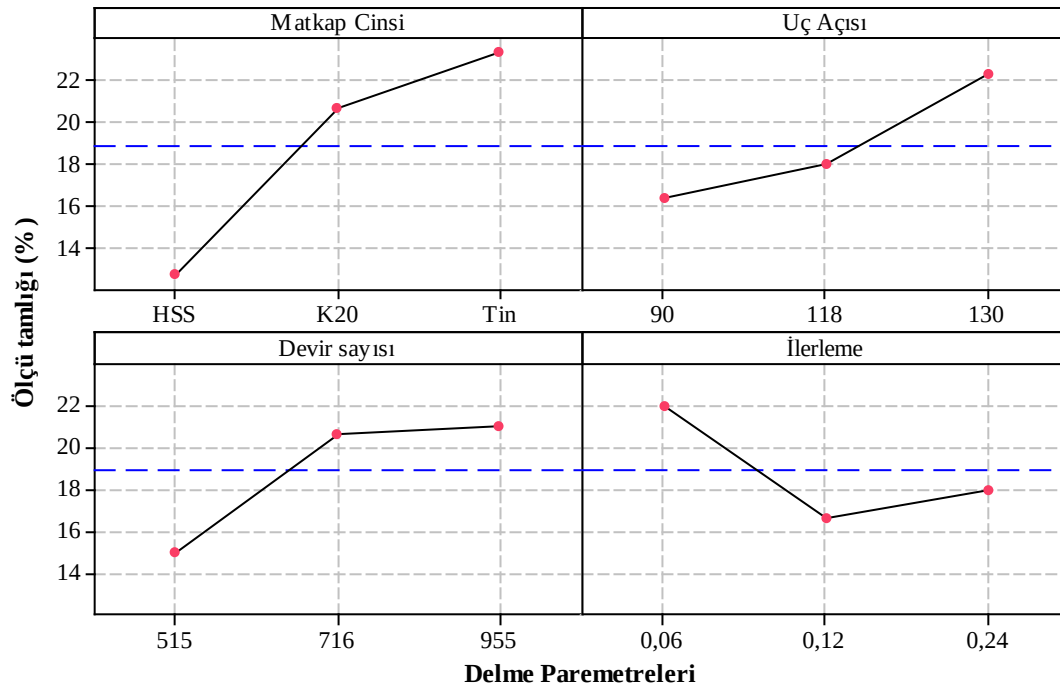


Şekil 7.37. 40 delik sonrası numune makro görüntüleri

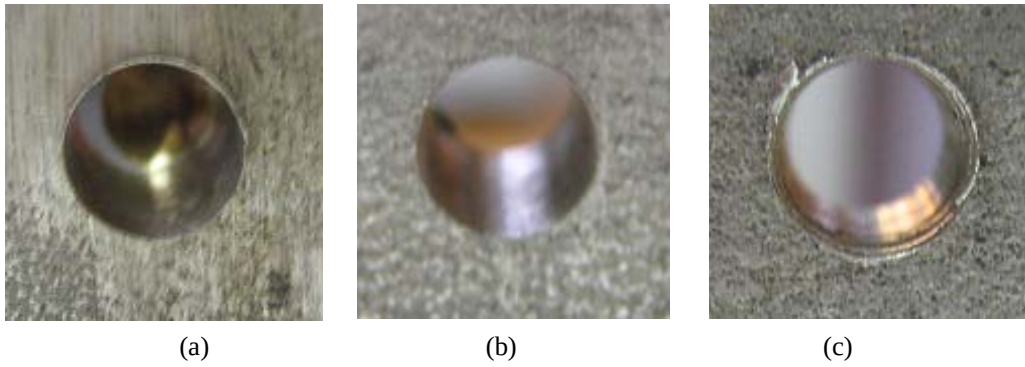
(a)HSS 118° (b)K20 118° (c)TiN 118°

Tablo 7.20. 50 delik sonrası numunelerden alınan çap büyümesi

Deney no	Matkap cinsi	Uç açısı	Devir sayısı	İlerleme miktarı	Çap büyümesi (%)
1	TiN	90	515	0.06	20
2	TiN	118	732	0.12	22
3	TiN	130	955	0.24	28
4	K20	90	732	0.24	19
5	K20	118	955	0.06	25
6	K20	130	515	0.12	18
7	HSS	90	955	0.12	10
8	HSS	118	515	0.24	7
9	HSS	130	732	0.06	21



Şekil 7.38. 50 delik sonrası delme parametrelerinin çap büyümeye etkisi.



Şekil 7.39. 50 delik sonrası numune makro görüntüleri

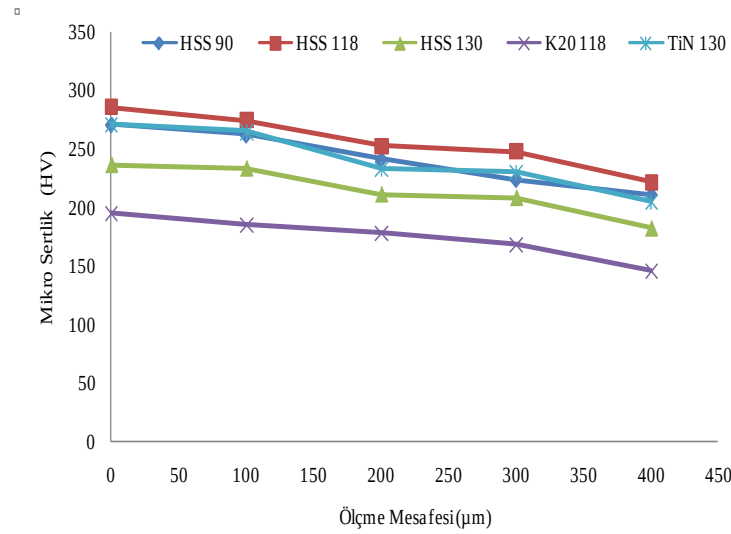
(a)HSS 118° (b)K20 118° (c)TiN 118°

7.5. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

Farklı matkaplarla delinen numunelerin delik kenarından dış kısımlara doğru eşit aralıklarla mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Tablo 7.21’de 20 delik sonrasında numunelerden ölçülen sertlik değerleri toplu şekilde verilmiştir. Bu değerlere ait grafik ise Şekil 7.40’de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, mikrosertlik değerleri tüm kesici takımlar için benzer eğilim göstermektedir. Sertlik değerleri delik kenarında en yüksek iken, malzeme dış kısımlarına doğru ilerlendikçe tedrici bir azalma göstermektedir. Delik cidarı dış kısımlara nazaran daha yüksek sıcaklık ve ısıya maruz kalan bölge olduğundan bu noktadaki değerler plastik deformasyondan dolayı daha yüksek olmaktadır. En yüksek değerler HSS takımla elde edilirken, en düşük değerler ise K20 karbür takımlarda ölçülmüştür. Ancak, sertlik değerlerindeki bu farklılıklar 146 ila 222 HV arasında seyretmektedir. Bu da, belirgin bir farkın olmadığını göstermektedir.

Tablo 7.21. 20. Delikte oluşan sertlik

Matkap Tipi	HV (Mikro sertlik yöntemi)				
HSS 90	271	262	241	224	211
HSS 118	286	275	253	248	222
HSS 130	236	233	211	208	182
K20 118	195	185	178	168	146
TiN 130	271	265	233	230	205

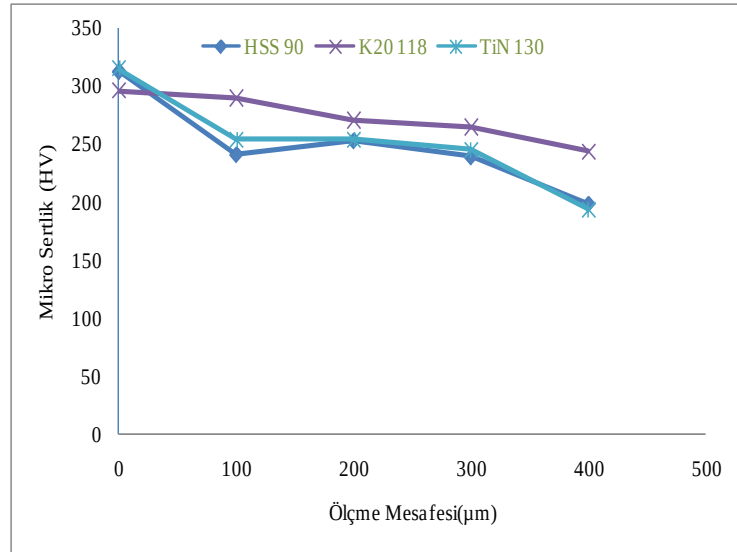


Sekil 7.40. 20. Delikte oluşan sertlik grafiği

Tablo 7.22 ve Şekil 7.41’den de görüldüğü gibi, delik sayısının artması ile (50 delik) ölçülen sertlik değerleri de artmaktadır. Delik sayısının artması, kesici kenarların daha fazla aşınmasına yol açmakta, dolayısıyla sürtünme ve bunun sonucu olarak da açığa çıkan ısıнын da etkisiyle plastik deformasyonun miktarı ve malzeme sertliği de artmaktadır. 50 delik sonrası numunelerden ölçülen sertlik değerleri 194 ila 244 arasındadır. Bu değerler yaklaşık olarak 20 delik sonrasında elde edilen değerlerden %16 fazladır. Dolayısıyla delik sayısının ve matkap cinsinin mikrosertlik üzerinde belirgin bir etkisinin olduğu söylenebilir.

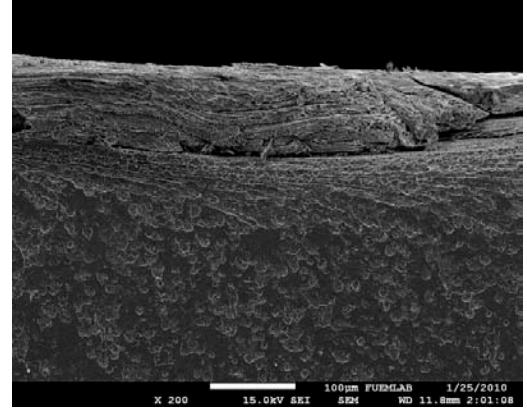
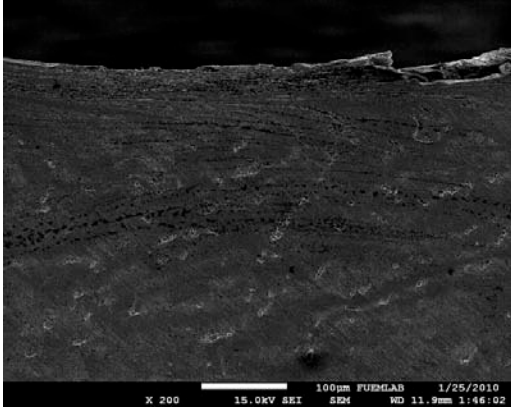
Tablo 7.22. 50. Delikte oluşan sertlik

Matkap Tipi	HV (Mikro sertlik yöntemi)				
HSS 90	313	241	253	239	198
K20 118	296	290	271	265	244
TiN 130	315	254	254	245	194

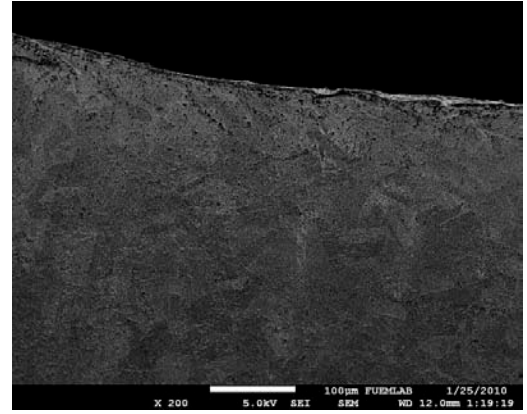
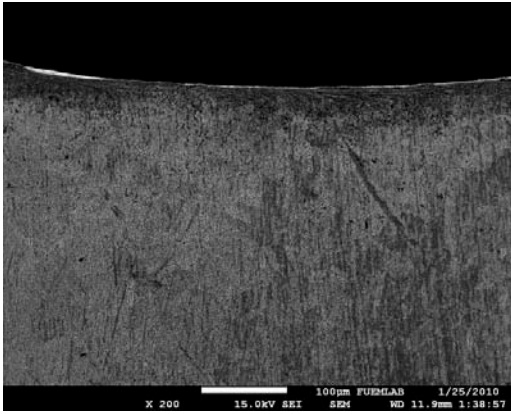


Şekil 7.41. 50. Delikte oluşan sertlik grafiği

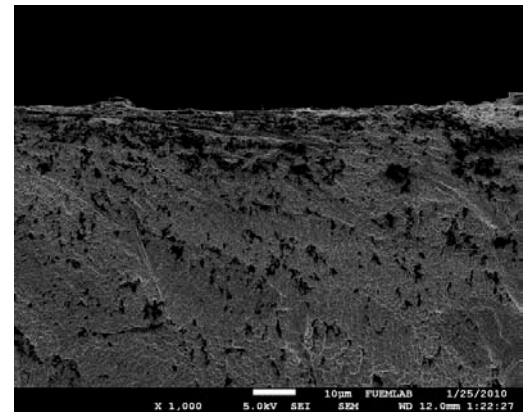
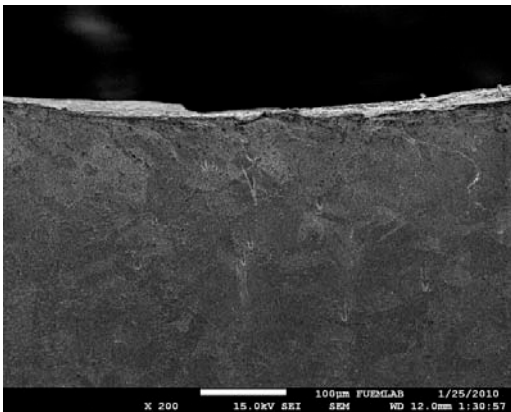
Şekil 7.42.’de 20 delik ve 50 delik sonrası SEM resimleri görünmektedir. Görüldüğü gibi mikro yapıda değişim görünmemektedir, mikro sertlik ölçümlerine paralellik göstermektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 7.42. 50. Deliğin kesme kenarlarından alınan SEM görüntüleri

(a) HSS 130°

(b) K20 130°

(c) TiN 130°

8. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

8.1.Genel sonuçlar

Bu çalışmada, 90°, 118° ve 130° uç açlarına sahip, HSS, TiN kaplamalı HSS ve K20 karbür kesici takımlar kullanılarak, farklı ilerleme ve kesme hızı şartlarında AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin delinmesi işleminde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü, takım yanak aşınma değerleri, çıkış çapak yükseklikleri ve ölçü tamlığındaki farklılıklar gibi değerler incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Tüm kesici takımlar için yüzey pürüzlülüğü, devir sayısının azalması ve ilerleme miktarlarının artması ile kötüleşmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri TiN kaplamalı HSS takımlarla elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri ise K20 karbür takımlarla elde edilmiştir. Matkap uç açısının 118° olduğu durumlarda optimum yüzey pürüzlülüğü elde edilirken, uç açısının 90° ve 130° olduğu durumlarda ortalama yüzey pürüzlülük değerleri, toplam ortalamaların üstünde olmaktadır. Sonuç olarak, en iyi yüzey pürüzlülüğü 118° uç açısında elde edilmektedir. Delme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki eğilim, delik sayısındaki artışa bağlı olarak benzerlik göstermekte, ancak, delik sayısının artması ile elde edilen ölçüm sonuçları nispeten yüksek olmaktadır. Beklendiği gibi, delik sayısının artması, takımda oluşan aşınmaların ve dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de artmasına neden olmaktadır.
- Devir sayısının artması ile çapak yüksekliği de artmakta, ilerleme miktarlarının artması ile ısı miktarı azalmakta ve buna bağlı olarak da çapak yüksekliği azalmaktadır. Kesme hızının ve dolayısıyla devir sayısının artması ile oluşan sıcaklık ve ısı miktarına bağlı olarak çapak yüksekliği de artmaktadır. TiN kaplamalı takımlarda oluşan kaplar numune yüzeylerinin arka tarafından tamamen kopmuştur. Bu da çapak yüksekliği açısından bu takımların daha avantajlı olduklarını göstermektedir.
- Devir sayısı ve ilerleme miktarlarının artmasıyla yanak aşınması da artmaktadır. Matkap uç açısının artmasıyla yanak aşınması değerleri azalmaktadır. Bu durum, sürtünme yüzeyinin büyüklüğü ile ilişkilendirilebilir. Matkap uç açısının artması ile sürtünme yüzey alanı azalacağından daha az ısı oluşmakta ve yanak aşınması gecikmektedir. Aynı uç açlarına sahip matkaplarla sabit ilerleme ve devir sayısı

şartlarında yapılan deneylerde, K20 takımın en az aşındığı görülmüştür. Bu sonuç, bu kesicinin yüksek sertliğe sahip olmasıyla ilişkilendirilmektedir.

- Delik sayısının artması ile matkaplardaki aşınma değerlerinin de doğru orantılı olarak arttığı, buna bağlı olarak da delik çapında ölçü farklılıklarının oluştuğu tespit edilmiştir. Delik çapında oluşan bu ölçü farklılıklarının en fazla olduğu sonuçlar, TiN kaplamalı HSS takımlarla yapılan deneylerde meydana gelmiştir. Bu sonuçları HSS ve K20 matkapların takip ettiği görülmüştür. 716 dev/dak, 0,12 mm/dev ve 118° uç açısı şartlarında ölçü tamlığı açısından en iyi sonuçlar elde edilmiştir.
- Mikrosertlik değerleri tüm kesici takımlar için benzer eğilim göstermektedir. Sertlik değerleri delik kenarında en yüksek iken, malzeme dış kısımlarına doğru ilerlendikçe tedrici bir azalma göstermiştir. Delik cidarı dış kısımlara nazaran daha yüksek sıcaklık ve ısıya maruz kalan bölge olduğundan bu noktadaki mikro sertlik değerleri plastik deformasyondan dolayı daha yüksek olmaktadır. En yüksek mikrosertlik değerleri HSS takımla elde edilirken, en düşük değerler ise K20 karbür takımlarda ölçülmüştür. Ancak, sertlik değerlerindeki bu farklılıklar 146 ila 222 HV arasında seyretmektedir. Bu da, belirgin bir farkın olmadığını göstermiştir. Mikrosertlik değerleri, 50 delik sonrasında 194 HV ila 244 HV arasındadır. Bu değerler yaklaşık olarak 20 delik sonrasında elde edilen değerlerden %16 fazladır. Dolayısıyla delik sayısının ve matkap cinsinin mikrosertlik üzerinde belirgin bir etkisinin olduğu söylenebilir.

8.1.Öneriler

- Deneyler kuru delme şartlarından farklı olarak, farklı soğutma sıvıları kullanılarak yapılabilir.
- Kesme kuvvetleri de ölçülerek değerlendirilebilir.
- Matkaplarda ve numune yüzeylerinde oluşan sıcaklık değerleri ölçülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **J. Nickel, A. N Shuaib, B. S. Yilbas, S.M. Nizam**, “Evaluation Of The Wear Of Plasma – Nitrided And Tin- Coated Hss Drills Using Conventional And Micro-Pixe Techniques”, *Wear* 239 (1999) 155-167.
- [2] **J.A. Paro, T. E. Guastafsson, J. Koskinen**; “Drilling Of Conventional Cast Stainless Steel With Hipped NiTi Coating”, *Journal of materials processing technology* 153 (2004) 622-629.
- [3] **W.Belluco, L. De Chiffre**; “Performance Evaluation Of Vegetable – Based Oils In Drilling Austenitic Stainless Steel”, *Journal of materials processing technology* 148 (2003) 171-176
- [4] **T-R. Lin And R.-F. Shyu**; “Improvement Of Tool Life And Exit Burr Using Variable Feeds When Drilling Stainless Steel With Coated Drills”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 16 (2000) 308-313.
- [5] **Wen- Chou Chen, Xiao-Dong Liu**; “Study on the Various Coated Twist Drills for Stainless Steels Drilling”, *Journal of materials processing technology* 99 (1998) 226-230.
- [6] **V.Fox, A. Jones, N. M. Renevier, D.G. Teer**; “Hard Lubricating Coatings For Cutting And Forming Tools And Mechanical Components”, *Surface and Coatings Technology* 125 (2000) 347-353.
- [7] **Wen- Chou Chen, Chung-Chen Tsao**; “Cutting Performance of Different Coated Twist Drills”, *Journal of materials processing technology* 88 (1997) 203-207.
- [8] **S. Dolinšek** ; “Work – Hardening In The Drilling Of Austenitic Stainless Steels”, *Journal of materials processing technology* 133 (2003) 63-70.
- [9] **J.A. Paro, T.E. Gustafsson, J.Koskinen**; “Drilling of X2CrNi 1911 stainless steel with hipped NiTi coating”, *Journal of materials processing technology* 150 (2004) 309-316.
- [10] **Tsann- Rong Lin**; “Cutting Behavior Of A Tin- Coated Carbide Drill With Curved Cutting Edges During The High – Speed Machining Of Stainless Steel”, *Journal of materials processing technology* 127 (2002) 8-16.
- [11] **Victor P. Astakho**; “Effects Of The Cutting Feed, Depth Of Cut, And Workpiece (Bore) Diameter On The Tool Wear Rate”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 34 (2007) 631-640
- [12] **Balcı, B.**; “AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Malzemenin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Zonguldak, (2005).
- [13] **Tekaslan, Ö.**; “AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde İşlenebilirliğe Bağlı Olarak Kalıcı Gerilme Problemlerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, (2007).

- [14] **Taşdemir, V.;** “AISI 304 Paslanmaz Çeliginin Isıl İşlem Uygulanarak İşlenebilirliğine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, (2002).
- [15] **Kaynak, Y.;** “Matkap ile Delik Delme Esnasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Sıcaklığın Değişimine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, (2006).
- [16] **Canpolat, N.;** “Değişik Takviyeli Kompozit Malzemenin Matkapla Delinebilirliğinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, (2008).
- [17] www.makinatakim.com.tr/ .Matkap Bölümleri.(11.12.2009)
- [18] **Erdoğan, M.,** “Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri”, Nobel yayın dağıtım No:105, Ankara, Cilt 1, (2000).
- [19] **Mühendis ve Makine Dergisi - Nisan 2004 - sayı 531**
- [20] **ASM Handbook, Machining.**
- [21] **Norihica g, Simith G. T.,** “Advanced Machining- The Handbook of Cutting Tools”, IF Publication Ltd., (1989).
- [22] **Öztop, M.;** “Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi ile Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinin İyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, (2007).
- [23] **Teknoloji- Yasin Kayı.,** “Plastik Enjeksiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu ile İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, (2006).
- [24] **Fnides, B., Aouici, H., Yallese, M.A.,** “Cutting forces and surface roughness in hard turnign of hot work steel X38CrMoV5 – 1 using mixed ceramic”, Mechanica, 70 (2008) 73 – 78.
- [25] **Tosun, N., Özek, C., Tosun, G.,** “Delme işleminde yüzey pürüzlülüğünün deneysel incelenmesi”, 11. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 2004, Antalya.
- [26] **Monaghan, J., O'Reily, P.,** “The drilling of an Al/SiC metal matrix composite”, Journal of Materials Processing Technology, 33 (1992) 469 – 480.
- [27] **Ramulu, M., Branson, T., Kim, D.,** “A study on the drilling of composite and titanium stacks”, Composite Structures 54 (2001) 67 – 77.
- [28] **Sanjay, R., Helmi, A.,** “Wear mechanisms and tool life management of WC-Co drills during dry high speed drilling of woven carbon fibre composites”, Wear 267 (2009) 1022-1030.
- [29] **M.Anthony, X., M, Adithan.,** “Determining the influence of cutting on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel”, journal of materials processing technology 209 (2009) 900–909.
- [30] **Q, Shen., T.C, Lee., W.S, Lau.,** “Wear characteristics and flank wear model of the main cutting edges in spade drilling of ductile metals”, Wear 208 (1997) 73-80.
- [31] **Demir, H., Gündüz,S.,** “The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy”, Materials and Design 30 (2009) 1480-1483

ÖZGEÇMİŞ

1979 Yılı'nda Elazığ Merkez doğdu. İlk ve orta öğretimini bitirdikten sonra lise eğitimini Elazığ Merkez Teknik Lise Elektronik bölümünde tamamladı. 1998 yılı'nda Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Talaşlı Üretim Öğretmenliği bölümünü kazandı. Lisans Eğitimine başladıktan 2 yıl sonra kendini geliştirmek için özel bir şirkette çalışmaya başladı ve 2002 yılında lisans eğitimini başarıyla tamamladı. 2005 yılında yüksek lisans programına kaydoldu. Halen özel şirkette çalışan Ömer BUYTOZ evli ve 1 çocuk babasıdır.