

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**2011-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ DELİK DELME
İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN DELİK
KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgür BATMAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE İMALAT VE TASARIM
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Erdal KARADENİZ

Haziran 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**2011-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ DELİK DELME
İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN DELİK
KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgür BATMAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE İMALAT VE TASARIM

Bu tez 12 / 06 / 2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

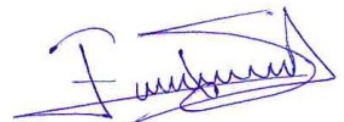
**Prof. Dr.
Sedat KARABAY
Jüri Başkanı**



**Doç. Dr.
Murat ÖZSOY
Üye**

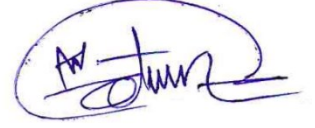


**Dr. Öğr. Üyesi
Erdal KARADENİZ
Üye**



BEYAN

Bu tezde kullanılan tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan bir araya getirilmiştir. Görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde kullanıma sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başka eserlerden ve yayınlardan yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin üniversitelerde herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Özgür BATMAN

12.06.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, titizlik içinde yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Erdal KARADENİZ'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen, değerli bilgilerini paylaşan, tezimizin her aşamasında yanımızda olarak bizlere hem destek hem de yardımcı olan ASAŞ Ekstrüzyon ARGE ekibi'ne, ASAŞ Ekstrüzyon Kalite Ekibi'ne teşekkür ediyorum. Zaman merhumu olmadan desteğini esirgemeyen meslektaşım Osman Halil ÇELİK Bey'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmalarımda emeği geçen, desteğini esirgemeyen, verimli çalışmalar olması için yardımcı olan bütün arkadaş ve dostlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmalarımda manevi destekleri için aileme teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
 BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
 BÖLÜM 2.	
ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	3
2.1. Giriş	3
2.2. Alüminyum 2XXX Serisi Alaşımlar ve Kullanım Alanları	5
2.2.1. 2011 Alüminyum alaşımı ve özellikleri	5
2.3. Alüminyum Alaşım Elementleri ve Etkileri	6
2.3.1. Bakır elementinin alaşımlar üzerindeki etkileri	7
2.4. Alüminyum alaşımlarının ısıt işlemleri ve çökelme sertleşmesi....	7
2.4.1. Çözeltiye alma işlemleri	8
2.4.2. Su verme işlemleri	9
2.4.3. Yaşlandırma işlemleri	10

BÖLÜM 3.

DELİK DELME İŞLEMİ	11
3.1. Giriş	11
3.2. Delik delme İşlem Çeşitleri	12
3.2.1. Delik çeşitleri	14
3.2.2. Doluya Delik Delme	15
3.2.3. Delik büyütme	16
3.2.4. Fatura açma	16
3.2.5. Raybalama	16
3.2.6. Derin delik delme	17
3.2.7. Mikro delik delme	18
3.3. Delik Delme Mekanığı	18
3.3.1. Delik işleminde kesme kuvvetleri ve parametreleri	21
3.4. Delik Kalitesi Değerlendirme Kriterleri	25
3.4.1. Yüzey pürüzlülüğü	26
3.4.2. Çapak	27
3.4.3. Dairesellik	28
3.4.4. Eksenel kaçıklık	29
3.4.5. Çapsallık	29
3.4.6. Boyutsal tolerans	30
3.5. Delik Delmeyi Etkileyen Değişkenler	30
3.5.1. Kesici takım geometrisi	30
3.5.2. Kesme hızı	33
3.5.3. İlerleme miktarı	34
3.5.4. Kesme sıvısı	35
3.5.5. Tezgâh	36
3.5.6. İş parçası	38

BÖLÜM 4.

MATERYAL ve YÖNTEM	40
4.1. Materyal	40
4.2. Deneysel Çalışma Planı	44

BÖLÜM 5.

ARAŞTIRMA BULGULARI	46
5.1. Yüzey Pürüzlülük Bulguları	46
5.2. Eksenel Kaçıklık Bulguları	47
5.3. Çapsal Değişim Bulguları	51
5.4. Dairesellik (Yuvarkalık) Bulguları	53

BÖLÜM 6.

TARTIŞMA ve SONUÇ	57
6.1. Tartışma	57
6.2. Sonuç	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	65

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AA	: Alüminyum Alaşımı
ASA	: Amerikan Standartlar Birliği
ASAŞ	: Asaş Alüminyum Sanayi Anonim Şirketi
AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
DIN	: Alman Standartları Normu (Deutsches Institut für Normung)
HSS	: Yüksek Hız Çeliği (High Speed Stell)
HSS-E	: Kobaltlı Yüksek hız çeliği (High Speed Stell with Co)
KMS	: Komple sert metal (solid carbide)
MN	: Meganewton
MPa	: Megapascal
PR	: Potada Rafinasyon
TS-EN	: Türk standart Normu Avrupa Uyumu
PVC	: Polivinil klörür
F_n	: Devir başına ilerleme
V_c	: Kesme hızı
N	: İş mili deviri
V_f	: İş mili ilerleme hızı
D_c	: Delik işlem çapı
L	: Delik işlem boyu
R_a	: Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değeri
R_z	: Ortalama pürüzlülük değeri
R_t	: En büyük pürüzlülük değeri
ψ	: Kesici takım uç açısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Türkiye’de kişi başı alüminyum tüketimi	4
Şekil 2.2. Al-Cu faz diyagramında solüsyona alma sıcaklığının belirlenmesi ..	9
Şekil 2.3. Çözeltiliye alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözelti	9
Şekil 2.4. Alaşımın serbest soğumasında oluşan heterojen çekirdeklenme.....	10
Şekil 3.1. Endüstride kullanılan bazı delik uygulamaları	15
Şekil 3.2. Delik delme işlemi şematik gösterilişi	18
Şekil 3.3. Delik delme temel parametreler	19
Şekil 3.4. Matkap ucuna etkileyen kuvvetler	21
Şekil.3.5. Kesme kuvvetlerinin oluşturduğu kesme momentleri	23
Şekil 3.6. Matkap ucunun sürtünmesinde oluşan notasyonlar	24
Şekil 3.7. Delik delme performansı kriterlerinin etkileyen faktörler	25
Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülük profili analiz grafiği	26
Şekil 3.9. DIN ISO 1302 yüzey pürüzlülük gösterimi	27
Şekil 3.10. Delik dairesellik görüntüsü	28
Şekil 3.11. Eksenel kaçıklık şematik gösterimi	29
Şekil 3.12. Matkap genel kısımları	31
Şekil 3.13. Kesici takım uç açılarının gösterimi	32
Şekil 3.14. Kesme hızı – ilerleme miktarı ile çapak oluşumunun değişimi	35
Şekil 3.15. CNC işlem merkezi makine görüntüsü	37
Şekil 4.1. WNT marka kesici takım ölçüleri görseli	41
Şekil 4.2. WNT marka kesici takım fotoğrafı	41
Şekil 4.3. 14mm çap KSM matkap ölçüm sonuçları	42
Şekil 4.4. Mazak VTC300-II CNC işlem makinesi fotoğrafı	43
Şekil 4.5. Pürüzlülük ölçü set solda kontrol ünitesi MAHRSURF M400 sağda ölçüm ünitesi MAHRSURF D26	43
Şekil 4.6. 3D LK İntegra ölçüm çalışması fotoğrafı	44

Şekil 5.1. İlerleme miktarı yüzey pürüzlülüğü değişimi grafiği	46
Şekil 5.2. Kesme hızı yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği	47
Şekil 5.3. Eksenel kaçıklık şematik gösterimi	48
Şekil 5.4. 160 m/dak kesme hızı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği	48
Şekil 5.5. 200 m/dak kesme hızı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği	48
Şekil 5.6. 240 m/dak kesme hızı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği	49
Şekil 5.7. 280 m/dak kesme hızı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği	49
Şekil 5.8. 0,09 mm/devir ilerleme miktarı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği	50
Şekil 5.9. 0,12 mm/devir ilerleme miktarı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği	50
Şekil 5.10. 0,15 mm/devir ilerleme miktarı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği	50
Şekil 5.11. 0,18 mm/devir ilerleme miktarı ve eksenel kaçıklık değişimi Grafiki	50
Şekil 5.12. Delik giriş çap ölçümü ve ilerleme miktarı değişimi grafiği	51
Şekil 5.13. Delik çıkış çap ölçümü ve ilerleme miktarı değişimi grafiği	52
Şekil 5.14. Delik giriş çap ölçümü ve kesme hızı değişimi grafiği	52
Şekil 5.15. Delik çıkış çap ölçümü ve kesme hızı değişimi grafiği	53
Şekil 5.16. Dairesellik (roundness) şematik gösterimi	54
Şekil 5.17. İlerleme miktarı delik giriş dairesellik değişimi grafiği	54
Şekil 5.18. Kesme hızı delik giriş dairesellik değişimi grafiği	55
Şekil 5.19. İlerleme miktarı delik çıkış dairesellik değişimi grafiği	55
Şekil 5.20. Kesme hızı delik çıkış dairesellik değişimi grafiği	56

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Saf alüminyumun kimyasal ve fiziksel özellikler	3
Tablo 2.2. Alüminyum alaşımlarının yaşlandırılabilirliğinin göstermi	4
Tablo 2.3. 2011 Alaşımı kimyasal bileşimi oranları	5
Tablo 2.4. 2011 Alaşım için önerilen yaşlandırma mekanik özellikleri	6
Tablo 2.5. Alüminyum alaşımlarda temper kodlaması	8
Tablo 3.1. Rayba delik toleransı alma çapı	17
Tablo 3.2. KSM matkaplar için kesme hızı ve devir başına ilerleme tablosu ...	20
Tablo 3.3. Delik delme için özgül kesme kuvveti	22
Tablo 3.4. Delik delme için sürtünme katsayısı	24
Tablo 4.1. 2011 alüminyum alaşımının kimyasal yapısı	40
Tablo 4.2. Deney malzemesi mekanik özellikleri	40
Tablo 4.3. Deneysel çalışma parametreleri (4x4=16 değişken)	45

ÖZET

Anahtar kelimeler: 2011 Alüminyum alaşımı, Delik delme, Delik kalitesi, Kesme hızı, İlerleme miktarı

Endüstride farklı gereksinimlerde kullanılmak üzere farklı kompozisyonda alüminyum alaşımları geliştirilmiştir. Alaşım elementi ve miktarı farklılığına bağlı olarak endüstride alüminyum alaşımları kullanımı artarak devam etmektedir. Alüminyum alaşımlarının talaşlı imalat kabiliyetlerinin yüksek olmaları nedeni ile şekillendirilmesinde talaşlı imalat yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu Alüminyum alaşımlarının kompozisyonlarına bağlı olarak fiziksel özellikleri değişim göstermektedir. Bu sebeple talaşlı imalat kabiliyetleri farklılık göstermektedir. Bu nedenle her bir alüminyum alaşımı için talaşlı imalat özelliklerinin araştırılması endüstriyel çalışmalar için önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, 2011 Alüminyum alaşımının delinmesinde, kesme hızı ve ilerleme miktarı değişkenlerinin yüzey pürüzlülüğü, eksenel kaçıklık, çap değişimi, dairesellik delik kalitesi değerlerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda, Ekstrüzyon ürünü AA 2011-T6 Alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Kesici takım olarak 14 mm çaplı kaplamasız karbür matkap seçilmiştir. CNC tezgâhta delik delme işlemleri duraklama yapmadan direkt delik delme metodu kullanılmış ve açık delik işlemi yapılmıştır. Delik delme işlem parametreleri ilerleme miktarı 0,09-0,12-0,15-0,18 mm/dev ve kesme hızı olarak 160-200-240-280 m/dakika farklı parametre değerleri kullanılmıştır. İşlemler soğutma sıvısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir deney koşulu için üç deney uygulanmış ve ortalama değerler alınmıştır. Numunelerin yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri ölçülmüştür. Delik merkez eksen ölçümleri, delik çap ölçümleri, çap değişim ölçümleri, dairesellik ölçümleri ve delik eksen kaçıklık ölçümleri 3 boyutlu ölçüm sistemi ile yapılmıştır. Sonuçlar, kesme hızının ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü, eksenel kaçıklık değerleri, çap değişim değerleri, dairesellik geometrisi üzerinde etkisi olduğunu açıkça göstermektedir.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CUTTING PARAMETERS ON HOLE QUALITY IN 2011-T6 ALUMINUM ALLOY

SUMMARY

Keywords: 2011 Aluminum alloy, Drilling, Hole quality, Cutting speed, Feed rate

Aluminum alloys have been developed in the composition for different requirements in industry. The use of aluminum alloys in the industry continues to increase due to the difference in the alloy element and quantity. Machining methods are widely used in forming aluminum alloys due to their high machining capabilities. Physical properties of these aluminum alloys vary depending on their composition. Therefore, machining capabilities vary. Therefore, it is important for industrial studies to investigate the machining properties for each aluminum alloy.

In this study, the effects of cutting speed and feed amount variables on surface roughness, axial misalignment, diameter change, circularity and hole quality values were investigated. In the experimental studies, extrusion product AA 2011-T6 Aluminum alloy was used. 14 mm diameter uncoated carbide drill is selected as cutting tool. Direct hole drilling method was used without pausing in CNC drilling and drilling was performed. Different drilling parameters (0,09-0,12-0,15-0,18 mm / rev) and the cutting speed (160-200-240-280 m / min) were used. Processes were performed using coolant. Three experiments were performed and mean values were taken for each experimental condition. Surface roughness (Ra) values of the samples were measured. Hole center axis measurements, hole diameter measurements, diameter change measurements, circularity measurements and hole axis offset measurements were made with 3 dimensional measurement system. The results clearly show that the cutting speed and the amount of advance have an effect on the surface roughness, axial misalignment values, diameter change values, circular geometry.

BÖLÜM 1.GİRİŞ

Alüminyum ve Alüminyum alaşımlarının son yüzyılda kullanımı ve tercih edilmesi hızla artış göstermektedir. Alüminyum madeninin çıkartılması ve işlenmesi zor ve zahmetli olduğu için çok eski bir tarihi yoktur. Demir, Bakır ve Bronz malzemeler ile karşılaştırıldığında oldukça yeni bir malzemedir. Yer kürede en çok bulunan ikinci madendir. Alüminyum elde edilmesi, gelişen endüstri devrimi ile ham alüminyum eldesi kolaylaşmış ve paralel olarak kullanımı artmıştır. Temel ihtiyaç nesnelerinin imaltında kullanımı yer bulmuştur. Alüminyum'un Demir esaslı metallere 3 kat hafif olması, korozyon direncinin çok yüksek olması ve kolay şekillendirilmesi kullanımını hızla arttırmıştır. Kullanımın artması sonucu Alüminyum alaşımları ile çalışmaların artmasına ve alaşım kompozisyonlarının araştırılması hız kazanmıştır. Alüminyum alaşımlarının birçok ihtiyacı karşılamasının sonucunda mekanik ve fiziksel özelliklerin geliştirilmesi çalışmaları yapılmış ve devam etmektedir [1].

Ekstrüzyon ürünü AA 2011-T6 Alüminyum alaşımları bakır elementi içeriği nedeniyle yüksek mukavemet ve kurşun elementi içeriği nedeniyle iyi işlenebilirlik istenen uygulamalarda tercih edilmektedir [2].

Talaşlı imalat yöntemlerinden delik delme işlemleri talaşlı imalat işlemlerinin yaklaşık % 33-40'ını içermektedir [3, 4]. Delik delme işlemlerinde işlem parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğü, eksenel kaçıklık, dairesellik, çapak oluşumu ve delik boyutu gibi delik kalitesi değerleri farklılık göstermektedir [3, 4]. Delik kalitesi ise iş parçalarının montaj işlemleri ve çalışma koşulları performansını etkilemektedir. Hassas montaj sistemlerinde delik ekseninin kalitesi, montajın başarısını artırır. Hatalı eksenlerle montaj yapılması oldukça problemlidir. Delik eksenindeki kaçıklık gerilme dağılımını etkileyip parçaların yüksek gerilimlere maruz kalmasına sebep olur. Delik yüzey pürüzlülüğü, abrasif aşınmayı artırır. Birçok parçanın konumlandırıldığı tasarımlarda delik eksenleri delik yüzeyi ile eksenler arası konumlar montaj için zorunlu toleransları getirmektedir. Özellikle uzay ve uçak sanayinde delik eksen, delik

ekseninin yüzeye dikliği, deliğin yüzey pürüzlülüğü, eksen kaçıklığı, dairesellik toleransları önem kazanmaktadır [3].

Literatürde, AA 2011 Alüminyum alaşımlarının delik delme işlemi için herhangi bir çalışma bulunamamıştır. Bu malzemeye en yakın özelliklere sahip AA 2024 Alüminyum alaşımlarının delik delme işlemi ile ilgili bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan biri Ø10 mm kesici takım ile 30-45-60 m/dak kesme hızları, 0,15-0,20-0,25 mm/devir ilerleme miktarlarında çalışılmış ve kesme hızı artışı ile azda olsa yüzey pürüzlülüğünün artan değişim gösterdiği sonucunu vermektedir. İlerleme miktarı artışı da yüzey pürüzlülüğü değerlerini artırmıştır. Aynı çalışmada eksenel kaçıklıkta araştırılmış ve kesme hızı ile ilerleme artışı ile eksenel kaçıklık değerleri artış göstermiştir [5]. Diğerinde Ø6 mm kesici takım ile 100-300-600-900 mm/dak ilerleme hızları, 1000-3000-6000-9000 dev/dak devir sayısında çalışılmış ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ile daireselliğe etkileri araştırılmıştır [6].

Bu çalışmada, AA 2024 Alüminyum alaşımlarına göre talaşlı imalat kabiliyeti daha yüksek olan Ekstrüzyon ürünü AA 2011-T6 Alüminyum alaşımlarının delik delme işlemleri ile ilgili literatürde bir çalışma bulunamaması nedeniyle, bu malzemelere delik delme işlemi uygulayacaklar için işlem parametrelerinden kesme hızı ile ilerleme miktarının yüzey kalitesi, eksenel kaçıklık, delik çap değişimi, delik dairesellik geometrisi değerlerine etkisi araştırılmıştır.

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1. Giriş

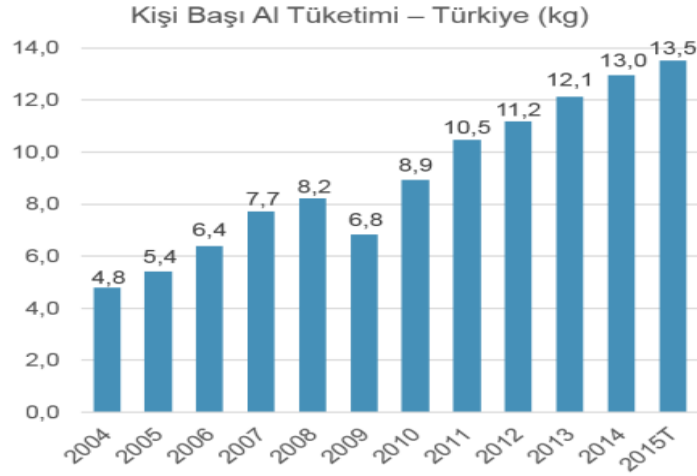
Alüminyum tabiatta en çok bulunan elementler arasındadır. Mühendislik çalışmalarında çelikten sonra en çok kullanılan metaldir. Tablo 2.1.'de görüldüğü gibi Alüminyum yoğunluğu $2,71 \text{ gr/cm}^3$, çeliğin yoğunluğu $7,83 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Alüminyum yoğunluk olarak çeliğin 3'te biri kadardır. Alüminyum alaşımlarının akma sınırı değeri 70MPa değerine ulaşabilmektedir [7].

Tablo 2.1. Saf alüminyumun kimyasal ve fiziksel özellikleri [8]

Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı	26,97 gr/mol
Kristal Yapı	Yüzey Merkezi Kübik (YMK)
Yoğunluk	$2,7 \text{ gr/cm}^3$
Ergime Noktası	660°C
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	$150\text{-}300^\circ\text{C}$
Buharlaşma Sıcaklığı	2450°C
Özgül Isı	$0,244 \text{ cal/gr } (100^\circ\text{C})$
Elastisite Modülü	$72 \times 10^3 \text{ MPa}$
Poison oranı	0,33
Kaynama Modülü	$27 \times 10^3 \text{ MPaCC}$
Çekme Mukavemeti	40-90 MPa
Akma Mukavemeti	10-30 MPa
Kopma Uzaması	% 30 – 40

Bu değer pek çok çelik türünün akma sınırı değerlerinin üzerindedir. Alüminyum alaşımları bu özelliklerinde dolayı hafiflik istenen uygulamalarda tercih edilerek kullanılmaktadır. Alüminyum yüksek dayanım özelliğinin yanında iyi ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir [1]. Günümüzde alüminyum ve alaşımları denizcilik, havacılık,

uzay, otomotiv, raylı sistemler, savunma sanayi alanlarında kullanımı artmaktadır [9]. Şekil 2.1.'de Türkiye de kişi başı tüketim artışı gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Türkiye de kişi başı alüminyum tüketimi [10]

Alüminyum alaşımlarının ikincil alaşım elementlerine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma sonucu her bir serinin özellikleri değişmekte ve uygulama alanları farklılaşmaktadır. Tablo 2.2.'de Alüminyum sınıflandırmaları verilmiştir.

Tablo 2.2. Alüminyum alaşımlarının yaşlandırılabilirliği gösterimi [17]

1xxx	Saf alüminyum	Yaşlandırılmaz
2xxx	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3xxx	Al-Mn	Yaşlandırılmaz
4xxx	Si ve Cu veya Mg ana alaşım elementidir	Eğer Mg varsa Yaşlandırılabilir
5xxx	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6xxx	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7xxx	Al-Zn	Yaşlandırılabilir
8xxx	Al-Li	Yaşlandırılabilir

Alaşımlar Tablo 2.2.'de belirtildiği gibi uluslararası olarak kabul edilen 9 ana seride tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. 200'ün üzerinde kompozisyonu bulunmaktadır. Kapsamın geniş olması bireysel ihtiyaçlardan doğmaktadır ve bazen harf konularak tanımlama yapılmaktadır [16].

2.2. Alüminyum 2XXX Serisi Alaşımlar ve Kullanım Alanları

2xxx serisi alüminyum alaşımlarının temel elementi bakırdır. En iyi mekanik davranışı çökelme sertleşmesi ısıtıl işlemi ile almaktadır [11]. İyi işleme özelliklerinin gerektiği yerlerde, bağıl olarak artan sıcaklıklarda, sürünme dayanımının fazla olmasıyla birlikte oda sıcaklığında yüksek çekme mukavemetine ve çok düşük sıcaklıklarda yüksek dayanıma sahip olması istenen yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Korozyona karşı direnci, diğer alaşım grupları kadar yüksek değildir ve kaynak edilebilme kabiliyeti sınırlıdır. Çoğunlukla araçların ve uçakların tekerlerinde, araçların süspansiyon parçalarında, uçak gövdelerinde ve 150°C sıcaklıklara dayanım gerektiren parçaların üretiminde kullanılır [12].

2.2.1. 2011 Alüminyum alaşımı ve özellikleri

2011 Alüminyum alaşımının temel alaşım elementi Cu (Bakır) dır. Kimyasal kompozisyonda bakır % 5-6 oranı ile ana alaşım elementidir. İkincil alaşım elementi Bizmut ve Kurşun'dur. Kimyasal kompozisyon Tablo 2.3.'de verilmiştir. Basınç altında çalışan makine parçaları, farklı makine parçaları, vida, somun, otomatik tornada işlenebilir parçalar imalinde, yüksek mukavemet ve iyi işlenebilirlik uygulamalarında artan kullanım alanları vardır. 2011 alaşımı için yaşlandırma işlemi ile fiziksel özellikleri iyileştirilir. Bu işlemler Tablo 2.4.'de T3, T4, T6, T8 yaşlandırma işlemleri için verilmiştir [13].

Tablo 2.3. 2011 Alaşımı kimyasal bileşimi oranları [13]

Fe	Si	Cu	Pb	Bi	Al	Diğer
0,5	0,3	5,0-6,0	0,2-0,6	0,2-0,6	Kalan	0,15

Bu alaşım grubunun yorulma dayanımı yüksek ve kullanımı makine parçaları için mükemmeldir. Mamul ve yarı mamul üretimlerde Levha, Rulo, Lama tercih edilen uygulamalar olup ekstrüzyon ile işlenebilirliği fazladır. Ekstrüzyon sonrası mekanik işlem ve yüzey işlem uygulamalarında tercih edilir. Dış ortamlarda aşınma dayanımı düşüktür.

Tablo 2.4. 2011 Alaşımı için önerilen yaşlandırma mekanik özellikler [13]

Temper	Akma Mukavemeti Min-max (MPa)	Çekme mukavemeti Min-max (MPa)	Uzama Min-max (%50)	Sertlik brinel
T3	260-290	310-365	10-15	95
T4	270-300	320-350	17-19	90
T6	230-300	310-395	10-12	110
T8	275-315	370-420	10-12	115

2.3. Alüminyum Alaşım Elementleri ve Etkileri

Alüminyum alaşımlardırmda temel elementler Bakır, Mangan, Silisyum, Magnezyum, Çinko, Lityum, Bizmut, Kurşun ve Demir elementleridir [9]. Bu elementlere ilave olarak malzeme biliminin gelişmesi ile Titanyum, Krom, Kalay, Nikel elementleri de değerlendirilmektedir [14]. Saf alüminyumun yumuşak ve dayanımının düşük oluşu nedeni ile kullanım alanı sınırlıdır. Bu nedenle alüminyum, mekanik özelliklerini iyileştirmek için alaşım yapılarak kullanılır. Alaşım sayesinde ısıt işlemlere de elverişli hale getirilir. Alüminyum, alaşım yapılarak kullanım alanı genişleyen, ısıt işlem sayesinde sertleştirme dayanıma ulaştırılabilen bir metaldir. Sertleştirilemeyen alüminyum ise özellikle deniz suyuna dayanıklıdır. Misal olarak otomat alüminyumu içerisinde % 5,5 bakır, % 0,5 kurşun ve % 0,5 bizmut bulunan alüminyum alaşımıdır [15]. Makinede talaşlı imalat yöntemleri ile kolayca işlenebilir.

Her alüminyum alaşımına ısıt işlem uygulanmaz. Tablo 2.2.'de sunulmuştur. Isıt işlem tanımlamaları T4, T5, T6 gibi sınıflandırmalar yapılmaktadır [17]. % 3,5-4,9 Bakır, % 0,2-1,9 Magnezyum, % 0,3-1,1 Manganez içeren dövme alüminyum alaşımları otomat tezgâhları için uygundur [15]. % 0,6-1,6 Magnezyum, % 0,6-1,6 Silisyum, % 0,2-1 Manganez, % 0-0,3 Krom içeren alaşım ise iyi bir korozyon direncine sahiptir. Aynı alaşıma toplam % 1-3 kadar Kurşun, Kalay, Bizmut ve Kadmiyum katılırsa talaşlı işlemler için uygun hale gelmektedir [17]. % 0,6-7,2 Magnezyum, % 0-0,6 Manganez, % 0-0,3 Krom içeren alüminyum alaşımı dönen parçaların talaşlı işlemleri için uygundur. Özellikle optik ve hassas alet endüstrisinde kullanılır.

2.3.1. Bakır elementinin alaşımlar üzerine etkileri

Alüminyumla alaşım elementi olarak kullanılan ilk element bakırdır. Bakır, alaşıma sertlik kazandıran başlıca elementtir. Döküm alaşımlarında ise en fazla % 12 oranında kullanılır ve bu orana kadar mukavemeti arttırır. % 12'den fazlası yapıda gevreklik meydana getirir. Dövme alaşımlarında % 3 ile % 5 oranında kullanılır. % 5'ten fazla kullanılırsa mekanik işleme güçlüğü arttırır. Ayrıca elektrik iletkenliği ve korozyon direncini düşürür. Bakırın alüminyum içindeki çözünürlüğü sıcaklığa bağlı olarak artar. Bu nedenle bakır içeren alüminyum alaşımlarını ısıl işlemle çökelme sertleşmesi ile sertleştirmek mümkündür. Çökelme için gerekli zaman, alaşımın bileşimi ve sıcaklık ile ilişkilidir. Çökelmenin mekanik özelliklere yapacağı etki, çökelen faz miktarına, boyutlarına ve dağılımına bağlıdır [12].

2.4. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri ve Çökelme Sertleşmesi

Isıl işlem alüminyum parçası üzerinde uygulanan ısıtma ve soğutma sonucunda parçasının fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişmesine neden olur. Bu ısıtma ve soğutma işlemleri temel olarak tavlama, çözeltiye alma, yaşlandırma ve soğuk işlem gibi kademeleri içermekte olup, alaşımların kimyasal yapılarına ve kazandırılmak istenilen nihai özelliklere göre çeşitlilik göstermektedir [12].

Literatürde temel olarak 4 çeşit ısıl işlem gösterimi kullanılmaktadır. Bu gösterimlerden (F) mekanik veya ısıl işlem görmemiş hali, (O) tavllanmış hali, (H) soğuk şekillendirme işlemini, (W) çözeltiye alma işlemini, (T) yaşlandırma işlemini ifade etmektedir. Tablo 2.5.'de temper işlemler sembolleri belirtilmiştir.

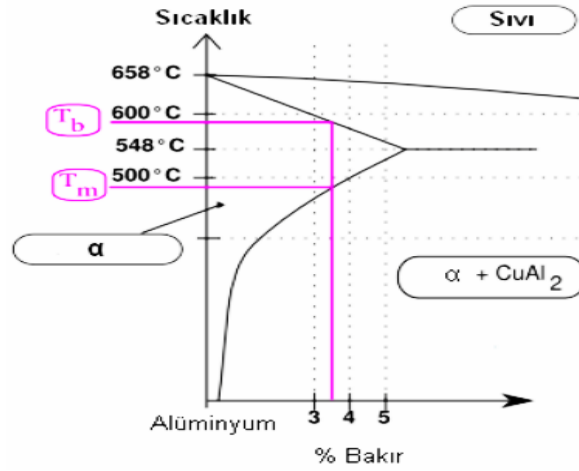
Alüminyum alaşımlarına tavlama, homojenizasyon, yeniden kristalleşme, soğuk işlem, çökelme sertleşmesi gibi ısıl işlemler uygulanmaktadır. Ekstrüzyon ürünü 2011 alüminyum alaşımların piyasaya sürülmesinde en yaygın yaşlandırma T6 dır.

Tablo 2.5. Alüminyum alaşımlarında temper kodlaması [11]

Isıl İşlem Kodu	Uygulanan Isıl İşlem
F	Mekanik veya ısııl işlem görmemiş (döküm, dövülmüş vb.) halde
O	Tavlanmış ve yeniden kristalleşmiş
H1x	Soğuk işlem uygulanmış
H2x	Soğuk işlenmiş ve kısmen tavlanmış (x, farklı sertlikleri ifade etmektedir.)
H3x	Sadece soğuk işlem uygulanmış ve kararlı
H4x	Soğuk işlem uygulanmış ve malzeme yaşlanmaması için düşük sıcaklıkta ısııl işlemle stabilize edilmiş (x, stabilizasyon sonrası sertleşme işlemini ifade eder.)
W	Çözeltiye alınmış
T	Yaşlandırılmış
T1	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve doğal olarak yaşlanmış
T2	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk deformasyon uygulanmış, doğal olarak yaşlanmış
T3	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş ve doğal yaşlandırma uygulanmış
T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlanmış
T5	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve yapay yaşlandırılmış
T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlanmış
T7	Çözeltiye alınmış ve stabilize edilmiş (aşırı yaşlanmış)
T8	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş, yapay yaşlandırılmış
T9	Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlem uygulanmış
T10	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk işlem uygulanmış yapay yaşlanmış

2.4.1. Çözeltiye alma işlemi

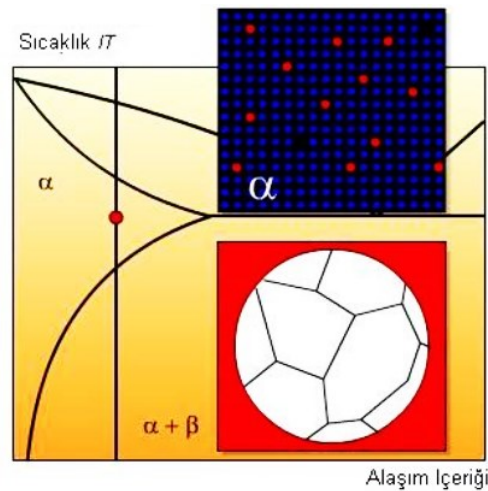
Çökeltiye alma işleminin amacı tek fazlı katı çökelti elde etmektir. İlk sıcaklıkta β ve α fazı denge halindedir. Alaşım solvüs eğrisinin üzerindeki sıcaklığa çıkartılır ve bu sıcaklıkta β fazı α fazı içinde tamamen çözününceye kadar işleme tabi tutulur. Yapının tümü α fazına dönüştükten sonra ani olarak soğutulur. Çözeltiye alma sıcaklığı alaşımın ergimesine sebep olmayacak şekilde seçilmelidir. Şekil 2.2.'de Al- Cu faz diyagramında görüldüğü gibi Alüminyum ergime sıcaklığı 560°C civarında olması nedeni ile işlem sıcaklığı 525 °C - 545 °C arasında olmalıdır.



Şekil 2.2. Al- Cu faz diyagramında solüsyona alma sıcaklığının belirlenmesi

2.4.2. Su verme işlemi

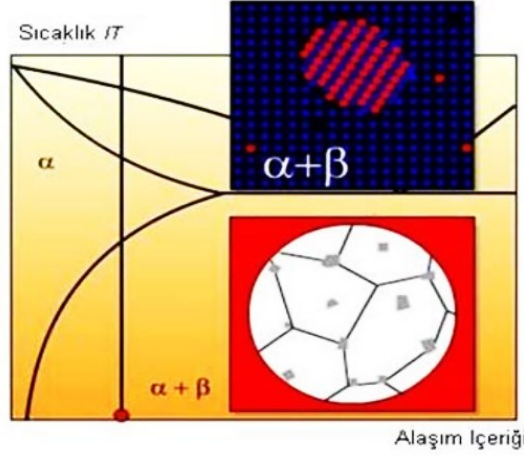
Çökelme Sertleşmesi ısıtılmasının en önemli aşaması su verme işlemi olarak düşünülebilir. Su vermede amaç solüsyona alma işlemiyle oluşturulan aşırı doymuş katı eriyiğin hızlı soğuma ile alaşım elementlerinin toparlanmasına fırsat vermeden ani soğutularak korunmasıdır [22]. Soğutma işlemi su içerisinde yapılır. Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi oluşan eriyik kararsızdır. Ayrıca ani soğuma nedeni ile yapıda çok miktarda mikro boşluk bulunur [20].



Şekil 2.3. Çözeltiliye alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözelti [21]

Eğer alaşım kendiliğinden (yavaş soğuma) soğumaya bırakılırsa, Beta fazı çekirdeklenecek denge halinde bir $\alpha + \beta$ fazı oluşturmak için heterojen olarak çökelir.

Şekil 2.4.'de ani soğuma α içerisindeki Beta fazının çökmesine imkân vermez ve bu nedenle α fazı artık denge halinden daha fazla katı (aşırı doymuş) içermektedir [20].



Şekil 2.4. Alaşımın serbest soğumasında oluşan heterojen çekirdeklenme [21]

Bunun yanı sıra su verme difüzyon süresini düşürür ve dengede olmayan alfa faz yapısının “donmasını” sağlar. Çünkü alfa fazı denge durumundakinden daha fazla katı içerir. Bu katı çözelti aşırı doymuş olarak adlandırılır [20].

2.4.3. Yaşlandırma işlemi

Yaşlandırma çökmesi sertleşmesi ısıtılma işlemi son işlem kademesidir. Solüsyona alınması ve su verilmesi sonrasında alaşımın oda sıcaklığında veya daha yüksek sıcaklıkta belirli bir süre tutulması şeklinde uygulanmaktadır [11]. Yaşlandırma işlemi, çözeltiye alma ve su verme işlemlerinin ardından 160-180°C sıcaklıkta 6-12-24 saat sürelerde tutulur. Sıcak tutma işlemi ardından ortam sıcaklığında yavaş bir soğutmaya tabi tutulmasıdır [18]. Üretimi yapılan saçlar, levhalar, ekstrüzyon profiller, çubuklar, bantlar cebra hava akımı olan elektrik ısıtmalı fırınlarında ısıtılırlar. Ortam sıcaklığında soğutulmaya bırakılır. Sertleşmeden sonra alaşımlar alçak çekme mukavemeti ve akma sınırını, ama yüksek sünekliği haiz olurlar. Bunun sonucunda sertleşme ve mukavemet artışı oluşur.

BÖLÜM 3. DELİK DELME İŞLEMİ

3.1. Giriş

Delme işlemi en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biridir. Delme işlemi talaş kaldırma işlemlerinin % 33'ünü içermektedir [22]. Kesici takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde harcanan zamanın %25'i delme işlemi olarak tezgâhta geçirilmektedir [23]. Delme işlemi çoğunlukla talaş kaldırma işlemlerinin sonuncusudur. Tornalama ve frezeleme işlemleri ile delme işlemleri karşılaştırıldığında, işlemlerin kinematik ve dinamik yapısının benzer olup talaş akışı, kesme kuvveti ve kesme sıcaklığı dağılımının benzer olduğu görülür. Delikler ya boş olarak üretilir ya da işlenerek son hali verilir. Birçok iş parçasının en az bir deliği vardır ve bu delik, fonksiyonuna bağlı olarak çeşitli kısıtlamalarla işlemeyi gerektirir. Bir deliği işleme açısından tanımlayan temel faktörler; çap, derinlik, kalite, malzeme, işleme şartları, güvenilirlik ve verimlilik [22].

Delikler kör delik ve tam delik olarak uygulanabilmektedir. Delikler sürekli delme, bekleme yaparak delme, delikten çapak boşaltmak için gagalama delme, kademeli delme olarak farklı metodlar ile işlenebilmektedir. Gagalama metodu ile takım kesme kuvvetleri azaltılabilir ve delik kalitesi artırılabilir. Delik delme işlemi bir çok yöntemle yapılabilmektedir. Delik işlemindeki hassasiyet, yüzey pürüzlülüğü, çap kaçıklık toleransı, delik eksen kaçıklıkları ve giriş ve çıkış noktalarındaki çapaklanma önemlidir. Düz yüzeylere delik açıldığı gibi düzensiz yüzeyler, dış bükey yüzeyler, iç bükey yüzeyler ve eğimli yüzeylerde delik delme işlemi uygulamaları yapılmaktadır. Bu durumlar delik başlangıcında olabileceği gibi delik çıkış noktasında da olabilmektedir. Bu durumlar özel durum olup delik delme işlem parametrelerine farklı parametrelerde dahil olur. Yüzeyin eğim açısı, dış bükey ve iç bükey yüzey yarı çapları gibi değişkenler değerlendirilir. İş parçasında kesişen delikler, çapraz delikler, birden fazla parçanın istiflenerek delindiği istif delme işlemleride yapılmaktadır.

Aynı parçada birden fazla delik delinmesi işlemi uygulanabilir. Katı yapılı bir parça da uygulanan delik işlemi farklı eksen ve düzlemlerde de yapılabilir.

Delik delme işlemi bir çok değişkene bağlı olarak parçaların bir araya getirilmesi, bir bütünlük sağlanması, bütünün korunması, bütün üzerindeki referans ölçülerin ve ölçü tamlığının sağlanması için önemlidir. Delik eksenindeki tolerans dışı hata delik ve bağlantı elemanın tekrarlı hareketlerinde gerilim yorulmasına ve abresif aşınmaya sebep olacaktır. Parçalar üzerinde aşınmanın hızlı olmasına ve kırılmalara sebep olmaktadır. Delik kalitesinin bozukluğu montajı imkansız hale getirebilmektedir.

3.2. Delik Delme İşlem Çeşitleri

Delik delme işlemi bir çok farklı şekilde uygulanabilir. Başlıcaları dolu delik delme, kör delik delme, delik büyütme, kademeli delik delme, Raybalama yöntemleridir [22]. Dolu delik delmede malzeme kalınlığının tamamının belirli bir çapta delinmesidir. Kör delik delme işlemi malzemenin bir yüzeyinden delik işlenmeye başlayıp diğer yüzeyden çıkmadan delme işleminin sonlandırılması işlemidir. Delik büyütme işlemi büyük çapta veya hassas delik toleranslarda delinmesi için öncelikle küçük çap delik delinir. Delik işleminden sonra istenilen son çap ölçüsünde delik büyütülerek delme işlemi tamamlanır. Bazı durumlarda deliklerde iki adet çap ölçüsü istenir. Giriş delik çapı ve kullanılacak delik çapı farklı ölçüdedir. Her bir çap ölçü farkı için kademeli delik olarak adlandırılır. Raybalama istenilen delik ölçüsü kaba ölçülerde delinir. Daha sonra rayba ile delik içi yüzey raybalanarak yüksek tolerans hassasiyetinde kaliteli delik işlemi sağlanır.

Delik delme işlemi bir çok yöntemle sağlanabilir. Delik delme işlemi sayısı, tekrarlı delme iş sayısı, standart parça işleme adeti, parça üretim süresine, parçanın istenen delik kalite toleranslarına, delik çapına, delik derinliğine, malzemenin kimyasal yapısı, malzemenin mikro yapısı, fiziksel özellikleri, kesici takım özelliklerine, gerekli kesme kuvvetine bağlı olarak tasarlanır. Delik çapına ve malzeme özelliklerine bağlı olarak kesme kuvveti ihtiyacı doğar. Bu kuvveti sağlamak için makine seçimi yapılmalıdır. Küçük çaplarda (max 13mm) elle delik delme işlemi önerilmektedir. Bunun için küçük el aletleri (breyz) kullanımı mümkündür. Genellikle kaba delik delme ve tamir

işlemlerinde sıklıkla kullanımı vardır. Endüstride delik delme işlemi için Dik ve Radyal matkap, Torna, Freze, CNC işlem merkezi Borwerk gibi bir çok seçenek mevcuttur.

El breyzi 2,5 kg - 4 kg arasında ağırlığı olan küçük çapta delik kalitesinin önemli olmadığı durumlarda delik delme işlemlerinde kullanılır. Delik çapı 13 mm, delik derinliği malzeme cinsine bağlı olarak 10-20 mm arasında olanak sağlar. Delik kalitesi oldukça düşüktür.

Dik matkaplar (sütunlu matkaplar) endüstride sıklıkla kullanılan kullanımı kolay ve delik delme işleminde hızlı bir çözümdür. Makine kapasitesine göre 30mm'den 50mm çapa kadar delik delme imkanı sağlarlar. Delik derinliği olarak 100mm delik delmeye imkan sunar. Delik kalitesi breyze delme işlemine oranla daha iyi olup kaba delik işlemleri için uygundur.

Radyal Matkap hacmi büyük parçaların delinmesinde kullanılır. Parça sabit olup kesici takımın bağlı olduğu iş mili delinecek delik eksenine getirilerek delik delme işlemi sağlanır. Büyük çapta delik delinmesine, delik derinliğinin istenilen değerlerde olmasına imkan sağlar. Delik kalitesi montaj ve birleştirme yöntemlerinde istenen delik kalite toleranslarına uygun delik delinmesi mümkündür. Tezgâhın tekrarlı delik delme işlemi yüksektir. Torna tezgâhında delik delme işlemi mümkündür. Delik delme işi yapılacak parça torna aynasına bağlanır. Punto ucuna delik delinecek matkap ucu takılır. Aynaya bağlı parça dönme hızı ayarlanır. Parçanın eksenlemesi tamamlandıktan sonra punto yavaş yavaş ilerleme hızı ile iş parçasına hareket ettirilir. Delik delme işlemi gerçekleştirilir. Büyük çap deliklerde kademeli olarak delik delme işlemi uygulanır. İş parçasının eksen de dönmesinden dolayı delik eksen kalitesi, delik eş merkezlilik ve delik eksen kaçıklık hassas değerlerde delik delinir.

Frezelerde küçük, ortaboy ve büyük parçaların delik delme işlemi yapılabilir. Tezgâh kapasitesine göre delik delinecek parça tezgâh tablasına bağlanır. Malzeme özelliklerine ve delik özelliklerine göre matkap veya freze çakısı ile delik delme işi yapılır. Delikler genelde yatay ve dikey delinebilirken freze ile açılı delikler delinebilmektedir. Tezgâhın rijitliği parçanın sabitlenmesi ve matkap seçimine bağlı

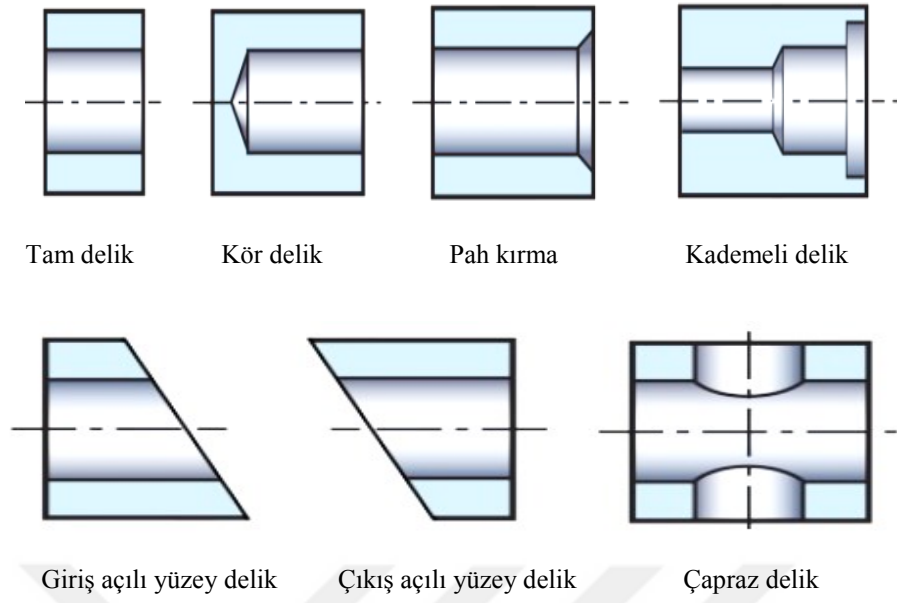
olarak delik kalitesi oldukça iyi delikler delinebilmektedir. Frezede delik delmede delik kalitesi yüzey pürüzlülüğü, çap ölçüsünden kaçıklık, eksenden kaçıklık değerleri için iyi sonuçlar alınır.

CNC işlem merkezi delik delme, parça işleme, frezeleme, honlama, diş çekme ve ihtiyaç dahilinde bir çok işlemi sırası ile ve iş parçasının tek seferde işlenmesi için tasarlanmış Tezgâhlardır. Makine eksen hareketlerindeki hassasiyetin 0,001 mm toleranslara kadar ayarlanabilmektedir. İş mili kapasitesi istenilen değerde seçilerek hassas işlemler sağlanabilmektedir. Seri ve çok sayıda parça işlenmesinde, ölçü hassasiyetinin önemli olduğu, delik kalitesinin hassas toleranslarda istenildiği durumlarda CNC işlem merkezleri kullanılır. İş milinin hızının ayarlanması ve iş mili hızının ayarının programlanabilmesi, ilerlemenin, eksen hareketlerinin program ile kontrol edilebilmesi birçok pratik çözümünde beraberinde getirir. Delik delme işleminde gagalama delik delme, durarak delik delme, delik delmede parçaya giriş yavaş sonra hızlı ve parçadan çıkış yavaş olarak programlama ile delikler yüksek kalitede delinebilmektedir. Havşa açma, kademe açma, kademeli delik ve birçok uygulamada CNC işlem merkezleri tercih edilir.

Borwerk tezgâhları yatay delik işlemlerinde ve oldukça büyük hacimli parça delik delme işlemlerinde kullanılır. Parça hareketli tabla üzerine yerleştirilir ve eksenleri ayarlanır. İş mili devri delinecek delik delik çapı ve malzemesine göre belirlenir. Delikler yüksek delik kalitesinde delinebilirler. Aynı zaman da yüzey işlemleri ve her türlü delik işlemleri yapılabilmektedir.

3.2.1. Delik çeşitleri

Bu delikler tam delik, kör delik, pah kırma, kademeli delik, matkap giriş yüzeyi açılı yüzeyde delik, matkap çıkış yüzeyi açılı yüzeyde delik, çapraz delik olarak uygulanmaktadır. Şekil 3.1.'de Endüstride kullanılan bazı delik uygulamaları görülmektedir. Özel tasarım ve hizmet koşulları için farklı delik delme uygulamaları ile de karşılaşmak mümkündür. Bunların başında derin delik delme, mikro delik delme, büyük çap delik delme uygulamaları gösterilebilir [24].



Şekil 3.1. Endüstride kullanılan bazı delik uygulamaları [24]

3.2.2. Doluya delik delme

Parçalara delik delme işleminde malzemenin dolu ve katı cisim olması delik parametrelerini ve özelliklerini belirler. Dolu malzemede delik delinmesinde talaş karakteri, talaş geometrisi ve talaşın uzaklaştırılması büyük önem taşır. Matkap üreticileri dolu malzemede delik delme işlemi için delik derinliğine uygun matkaplar tasarlamışlardır. $3xD_c$, $5xD_c$, $8xD_c$, $12xD_c$, $16xD_c$, $20xD_c$, $25xD_c$, $30xD_c$, $40xD_c$, $50xD_c$, $70xD_c$ ölçülerde matkap üretimi yapılmaktadır [24]. Dolu malzemede delik delme işlemi delik derinliğine bağlı olarak farklı kuvvetler ve momentlere sebep olur. Malzemenin metalurjisi, mikro yapısı, kesme ve ilerleme kuvvetini etkileyen ana parametrelerdir. Delik derinliği arttıkça malzeme ve delici takım malzemesi üzerinde ısı artmasına ve termal değişimlere sebep olmaktadır. Delik kalitesi için termal etkiler çok iyi planlanmalıdır. Endüstri ve imalatlarda en çok kullanılan delik delme çeşididir. Dolu malzemelere tam boy delik, kör delik uygulamaları yapılmaktadır. Kör delikler parçaların pim ile birleştirilmesi, dış açılarak cıvata montajında, parçanın dış yüzeyindeki yüzey görüntüsü için kullanılmaktadır [24]. Dolu tam delik, mil yataklamaları, montaj bağlantılarda, parçaların yataklama ön hazırlıklarında, sıkı geçme montajlarda, perçinlemede, birçok uygulamada kullanılır [32].

3.2.3. Delik büyütme

Malzeme üzerinde delik delme işlemi yapılırken delik kalitesi beklentilerinin karşılanması istenir. Büyük çaplı deliklerde tek bir kesici takım ile delik delme işlemi yapılması takım üzerine gelen kuvvetlerin artmasına, malzeme ve takım üzerinde termal deformasyon olmasına sebep olur [22]. Bu kriterler takım, malzeme ve makine üçlüsünde ciddi zorlanmalara ve gerilim yüklenmesine sebep olur. Bu sebeple büyük çap delikler ilk olarak küçük çapta delinirler, sonra delik çapı büyütülür ve son olarak istenilen delik çapı delinir. Delik delme işleminde makine güçlerinin ve konstrüksiyonun büyüklüğü kontrol altında tutulabilir [23]. Takım aşınması ve ömrü kontrol altında tutulabilir. Delik kalitesi için hassas toleranslarda işleme mümkün olur.

3.2.4. Fatura açma

Fatura açma; delik işlemi tamamlanmış parçada ikincil bir delik delme işlemi olup ilk delikten daha büyük çapta ve ilk delik derinliğinden daha kısa bir delik delme işlemidir. Fatura açma montaj ve makine imalatlarında sıklıkla karşılaşılan bir yöntemdir. Kademeli montajlarda, montaj sonrası parça yüzeyinde çıkıntı olmaması, sıkı geçmede yüzeyin düzgünlüğü, delik fatura oturma yüzeylerinin arttırılması için tercih edilir [24].

3.2.5. Raybalama

Raybalama delik yüzey kalitesinden beklentinin yüksek olduğu uygulamalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdedir. Raybalama, deliği hassas bir yüzey kalitesi ile istenilen ölçüyü sağlamak için yapılan bir işlemdir [25]. Matkapla delinen delik tam ölçüsünde olmadığı gibi hassas bir iş için yüzeyi de gerekli düzgünlükte elde edilmemiştir. Hassas ve düzgün bir yüzey elde edilmesi istenirse, delik önce delik, ölçüsünden biraz küçük delinir. Sonra tam ölçüsüne getirmek üzere raybalanır. Raybalar çok ağızlı olması ve talaşın kırılması ve uzaklaştırılması için özel tasarlandığı için delik kalitesini olumlu yönde etkilerler. Raybalar çok ince ve küçük talaşlar kaldırır. Tablo 3.1.'de Dr Raybalama toleransları verilmiştir. Raybalanacak delik toleransları sağlayacak şekilde delinir. Raybalama işlemi yapılarak delik istenilen kalitede üretilir. Raybalama hızı delik hızını 1/3 oranında bir hız ile yapılır. Raybalama ile 0,006 mm den daha küçük hassasiyetlerde ölçü elde etmek mümkündür [26].

Tablo 3.1. Rayba delik toleransı anma çapı [25]

Rayba delik çapı (D_R)	Rayba payı (Z)
< 5 mm	0,1 – 0,2 mm
5 – 20 mm	0,2 – 0,3 mm
20 - 50 mm	0,3 – 0,5 mm

3.2.6. Derin delik delme

Delik boyu, delik çapının 10 katından daha büyük ise bu delikler derin delik olarak adlandırılır. Teknolojik gelişmeler, malzeme bilimindeki gelişmeler, müşteri beklentilerinin yüksek kalite düşük maliyetlerde karşılanabilmesi için delik işleminin önemi sürekli artmaktadır [27]. Özellikle derin delik delme uygulamaları bunu karşılar. Standart durumlarda delik çapının 10 katından uzun olan delikler 120 kat seviyesine kadar çıkmaktadır. Derin delik delme işlemi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Petrol ve gaz arama ekipmanları, savunma sanayisi, havacılık ekipmanları, motorlar, derin delik delme ve işleme prosesleri açısından ortak uygulamalardır. Bu proseslerin tümünde, yüksek performanslı son ürünler için delik kaliteleri çok önemlidir. İmalat açısından derin delik delme işlemi güvenilir, doğru ve zaman açısından verimli olmalıdır [28]. Delme işleminden sonra, ayrıca ek işleme yöntemleri ile derin deliğin doğrusalılık, yüzey final işlemi ve daha fazlası geliştirilebilir. Malzeme dışına yapılan işleme yöntemleri gibi, malzeme içine de uygulanabilecek çeşitli yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemlerden bazıları, hidrolik silindir endüstrisinde uygulanan ezerek parlatma ve honlama işlemleridir [28].

Derin delik delme işleminde, deliğin yüzey kalitesi ve merkezden kaçıklığın önlenmesi için malzemenin devir sayısı ve delme takımlarının ilerlemesi hassas olarak ayarlanmalıdır. Ayrıca delme işlemi sonucu çıkacak talaş, yüksek basınç ile delme işlemine özel kesme yağı kullanılarak tahliye edilmelidir. Torna tezgâhlarında mümkün olmayan bu delme işlemleri için derin delik delme tezgâhları üretilmiştir. Bu tezgâhlarda delme işlemine ve delinecek malzemeye göre devir sayısı ve kesme ilerlemesi elektronik olarak ayarlanabilmektedir [29].

Derin delik delme işleminin birçok kullanım alanı vardır.

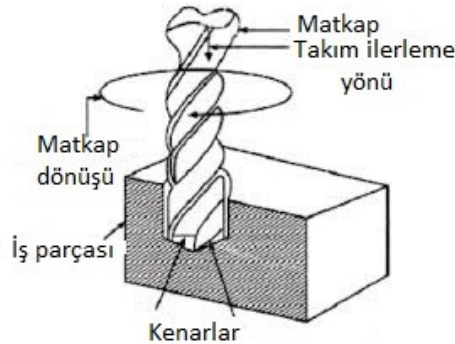
1. Özel çaplı, istenilen et kalınlığına sahip boru elde etmek,
2. Paslanmaz çubuk malzemeden paslanmaz boru elde etmek,
3. Silindirik malzeme içine sensör veya ısıtıcı yuvası açmak,
4. Tüfek namlusu,
5. Fişek rezistans yuvaları,
6. Motor blokları yağ kanallarının açılması,

3.2.7. Mikro delik delme

Mikro delik delme işlemi 0,3 mm den 2,95 mm çapa kadar olan delik delme işlemidir [24]. Bu çaplar çok küçük oldukları için kesici takımın bu kuvvetleri taşıması açısından zor uygulamalardır. Kesme hızı ve ilerleme miktarı düşük değerlerdedir. Eksenel ilerleme kuvveti ve kesme kuvveti sınır değerlere kadar arttırılabilir. Tıp alanında, saatçilik, mekanik parçaların imalatı, mikro robot imalatları alanlarında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir [24].

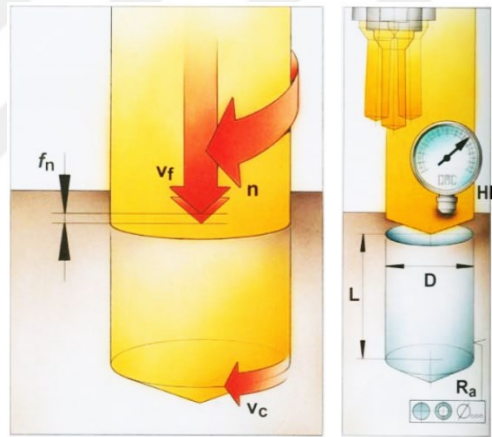
3.3. Delik Delme Mekaniği

Delik delme işlemi bir talaş kaldırma işlemidir. Delik delinecek malzeme üzerinde kesici takım vasıtası ile talaş kaldırılarak silindirik bir yapı elde edilir. Delik delme işleminde dönme hareketi, kesici takım (matkap), delinecek malzeme (iş parçası), ilerleme hareketi, kesici yüzeyler ana parametrelerdir. Şekil 3.2.'de delme işleminde iş parçası, matkap hareketleri gösterilmiştir [25].



Şekil 3.2. Delik delme işlem şematik gösterilişi

Delik delme işleminde malzeme grubu (Çelik, Döküm, Bronz, Alüminyum, Bakır, Plastik, hafif metal, Kompozit malzemeler), mikro yapı özellikleri, mukavemet değerleri delik işlem parametrelerinin etkileyen ve delik delinmesinde değerlendirilmesi gereken parametrelerdir [24]. Delik işleminde kesici takım seçimi, delik çap ölçüsü, delik boyu, delik sayısı, takım geometrisi, soğutma ve yağlama sıvısı parametreleri seçimi uygun değerlerde seçilmelidir. Bütün parametreler ve delik delme işlemi yapılacak tezgâh seçimi delik kalitesi ve delik delme maliyeti açısından önem taşımaktadır. Delik delme işleminde kesici takım en önemli parametre olup delik kalitesi için seçimi önemlidir [25]. Kesici takım malzemeden talaş kaldırma işlemini yaparken malzemeye bir kuvvet uygular. Bunun neticesinde sürtünme başlar ve malzemeden talaş kopması ve delme işleminin oluşumu sağlanır. Delme işlemindeki parametreler ve kullanılan terimler Şekil 3.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Delik delme temel parametreler [30]

f_n : devir başına ilerleme (mm/devir)	D : delik işlem çapı (mm)
V_c : kesme hızı (m/dakika)	L : delik işlem boyu (mm)
n : iş mili hızı (devir/dakika)	R_a : delik yüzeyi pürüzlülüğü
V_f : ilerleme hızı (mm/dakika)	HP : Özgül kesme kuvveti

Kesici takım kullanımında V_c kesme hızı ve f_n ilerleme miktarı üreticinin belirttiği değerler referans olarak alınmalıdır. Kesici takımın ana malzemesi, kesici takımın kesici ağız sayısı, takımın kaplama malzemesi ve tasarım parametrelerine bağlı olarak üretici takım bilgisi ile bunları sunmaktadır. Tablo 3.2.'de örnek üretici verileri sunulmuştur.

Tablo 3.2. KSM matkaplar için kesme hızı ve devir başına ilerleme tablosu [31]

TABLO 10

Malzeme Tanımı	V _c (m/dk.) Kesme Hızı	ÇAPLARA GÖRE İLERLEME (Devir Başına İlerleme) mm/ devir						
		Ø1 f _n Ø2 f _n	Ø2 f _n Ø3 f _n	Ø3 f _n Ø5 f _n	Ø5 f _n Ø8 f _n	Ø8 f _n Ø12 f _n	Ø12 f _n Ø16 f _n	Ø16 f _n Ø20 f _n
Aleştimsiz Çelikler, Çelik Dökümler	60-100	0,03-0,05	0,05-0,08	0,10-0,18	0,16-0,24	0,20-0,30	0,20-0,33	0,25-0,40
Aleştimli Çelikler	50-80	0,02-0,04	0,05-0,08	0,08-0,15	0,10-0,18	0,12-0,22	0,15-0,28	0,20-0,35
	40-80	0,02-0,04	0,05-0,08	0,08-0,15	0,10-0,18	0,12-0,22	0,15-0,28	0,20-0,35
Inox	30-50	0,01-0,03	0,03-0,06	0,06-0,10	0,08-0,15	0,12-0,20	0,10-0,20	0,16-0,28
Korozyon ve Aside Dayanımlı Çelikler (CrNi - Aleştimli)	25-35	0,01-0,03	0,03-0,06	0,05-0,10	0,08-0,15	0,12-0,20	0,10-0,20	0,16-0,28
Gri Dökme Demir, Aleştimli Gri Dökme Demir	50-130			0,15-0,30	0,12-0,30	0,20-0,40	0,25-0,40	0,40-0,50
	70-90			0,15-0,30	0,12-0,30	0,20-0,40	0,25-0,40	0,40-0,50
Küresel Grafit	70-90		0,05-0,10	0,10-0,20	0,10-0,20	0,20-0,40	0,35-0,45	0,40-0,60
	60-80			0,08-0,12	0,10-0,18	0,16-0,28	0,22-0,33	0,30-0,50
Alüminyum -Dövme	50-350	0,04-0,07	0,01-0,15	0,15-0,25	0,20-0,30	0,25-0,40	0,35-0,50	0,40-0,60
Alüminyum Aleştimli Döküm (< %10 - Si)	100-250		0,05-0,12	0,15-0,25	0,20-0,30	0,25-0,40	0,35-0,50	0,40-0,60
Alüminyum Aleştimli Döküm (> %10 - Si)	100-200	0,60-0,80	0,60-0,10	0,12-0,20	0,18-0,22	0,20-0,28	0,26-0,30	0,25-0,32
Bakır- Pirinç - Bronz - Kısa Talaşlı	60-200	0,05-0,08	0,08-0,15	0,07-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	0,25-0,40	0,35-0,50
Titanyum Aleştimleri	20-40	0,01-0,03	0,03-0,06	0,02-0,06	0,05-0,08	0,08-0,14	0,10-0,16	0,10-0,20
Sertleştirilmiş Malzemeler	25-35	0,01-0,02	0,02-0,03	0,06-0,08	0,07-0,09	0,10-0,13	0,12-0,15	

Malzeme tanımı ve delik çapına bağlı olarak KSM kesici matkap ucu için f_n ve V_c değerleri bulunur. Bu değerler kullanılarak takım dönme sayısı olan iş milinin 1 dakikadaki devir sayısını hesaplamak aşağıdaki formülle mümkündür.

Kesme hızı hesaplama:

$$V_c = \frac{D_c * \pi * n}{1000} \quad (\text{m/dak}) \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1.'de V_c kesme hızını (m/dak), D_c matkap çapını (mm), n iş mili devir sayısını ifade etmektedir.(dev/dak)

İş mili devri hesaplama:

$$n = \frac{V_c * 10000}{D_c * \pi} \quad (\text{dev/dak}) \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2'de n iş mili devir sayısını (dev/dak), V_c kesme hızını (m/dak), D_c matkap çapını (mm) ifade etmektedir.

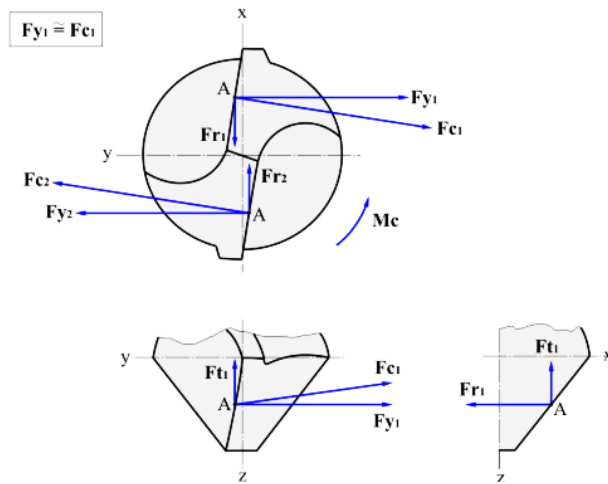
İlerleme hızı hesaplama:

$$V_f = f_n * n \quad (\text{mm/dak}) \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3.'de f_n ilerleme miktarı (mm/dev), n iş mili devri (dev/dak), V_f ilerleme hızını (mm/dak) ifade etmektedir.

3.3.1. Delme işleminde kesme kuvvetleri ve parametreleri

Delik delme işleminde matkap, delik boyunca ilerlemek ve talaş kaldırmak için enerji harcar. Matkabın kesici kenarları talaş kaldırmaya başladığı zaman kesme kuvvetleri matkabın kesici kenarlarına etki etmeye başlar ve bu işlem için bir miktarda güç gereklidir. İhtiyaç duyulan bu güç iş parçası malzemesinin cinsine göre farklılık gösterdiği için gücün, momentin ve ilerleme kuvvetinin hesaplanmasında özgül kesme kuvvetine (k_c - N/mm²) ihtiyaç vardır [27]. Delik delme işlemlerinde özgül kesme kuvveti, 1 milimetrekarelik bir talaş kesit alanını kesmek için gerekli teğetsel kuvveti veya efektif kesme kuvvetinin teorik talaş alanına oranıdır. Şekil 3.4.'de kuvvetler ve kuvvet oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Matkap ucuna etkileyen kuvvetler [22]

Matkapta bulunan ağızların konumu itibarıyla her ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedirler. Bundan dolayı delme işleminde sadece F_c ve F_t kuvvetleri hesaba katılmaktadır. Matkap ucu incelendiğinde, kesici ağızlardan birinin üç kuvvetin etkisi altında olduğu görülür. Takımın iki kesici ağızdan oluştuğunu kabul edersek, aşağıdaki bağıntılar yazılabilir;

$$F_t = F_{t1} + F_{t2} \quad (\text{eksenel kuvvet}) \quad (3.4)$$

$$F_{y1} = F_{y2} \quad (\text{teğetsel kuvvet}) \quad (3.5)$$

$$F_{c1} = F_{c2} \quad (\text{kesme kuvveti}) \quad (3.6)$$

Bu eşitliklerde ilerleme kuvveti (F_t) genelde deneysel yollarla belirlenir. F_y teğetsel kuvvet ile F_c kesme kuvveti pratikte birbirine eşit olarak kabul edilir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar neticesinde ilerleme kuvveti;

$$F_t = 2F_c * \sin \psi/2 \quad (N) \quad (3.7)$$

Eşitlikte F_t teğetsel kesme kuvvetini (N), F_c kesme kuvvetini (N), ψ uç açısını ifade etmektedir.

$$F_t = K * s * d * 0,8 \quad (N) \quad (3.8)$$

Eşitlikte F_t teğetsel kesme kuvvetini (N), s ilerleme miktarını (mm/dev), d kesici takım çapını (mm), K yüzey basınç değeri (N/mm²) ifade etmektedir.

Literatürde bu iki eşitlik sıklıkla kullanılmıştır. Bu eşitliklerden $F_t = K * s * d * 0,8$ (N) gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği için ilerleme kuvveti hesaplamalarında daha çok tercih edilmektedir [25]. Tablo 3.3.'de özgül kesme kuvvetleri verilmiştir.

Tablo 3.3. Delik delme için özgül kesme kuvveti [25]

Delik delinecek malzeme	K (N/mm ²)
Çelikler	1650
Dökümler	800
Hafif metal alaşımlar	900

Delme işleminde, kesme kuvvetlerinin meydana getirdiği momenti iki ayrı açıdan incelemek gerekir. Birincisi delme (kesme) momenti (M_c), diğeri ise sürtünme momenti (M_f) olup, delme esnasında oluşan toplam moment bu iki momentin toplamından oluşmaktadır. Delme momenti, F_c kesme kuvvetinin matkap yarıçapının dörtte bir uzunluğunun çarpımı sonucu elde edilir. Matkapta bulunan ağız sayısı kadar moment oluşacağından F_c 'nin oluşturduğu moment ağız sayısı ile çarpılarak delme

momenti toplamı elde edilir. Şekil 3.5.'de gösterilmiştir. Kesme kuvvetinin tarafsız eksene göre momenti alındığında,

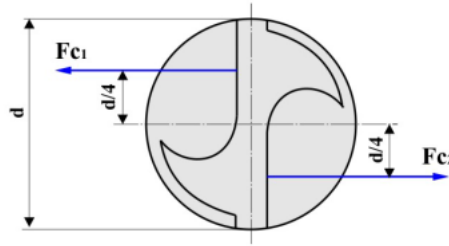
$$M_c = F_{c1} * (d / 4) + F_{c2} * (d / 4) \quad (\text{Nm}) \quad (3.9)$$

$$F_{c1} = F_{c2} = F_c \quad (3.10)$$

$$M_c = 2F_c * d / 4 \quad (\text{Nm}) \quad (3.11)$$

$$M_c = F_c * d / 2 \quad (\text{Nm}) \quad (3.12)$$

Eşitlik 3.12.'de M_c kesme (delme) momenti (Nm), F_c kesme kuvvetini (N) ve d kesici takım çapını (m) ifade etmektedir.

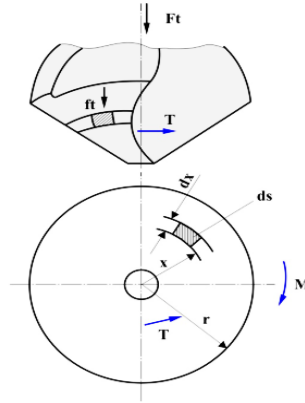


Şekil 3.5. Kesme kuvvetlerinin oluşturduğu kesme momenti [22]

Sürtünme momenti (M_f) ise; matkap ucunun, delik yuvasına dik konumlandırılmış bir mil olduğu ve delme sürecinde matkap konik ucunun delik taban yüzeyine kayma sürtünmesi ile temas ettiği varsayılır [25]. Şekil 3.6.'da incelendiğinde, (ds) elemanter yüzeyini etkileyen aksenal kuvvetin ve teğetsel kuvvetin difransiyelleri alındığında yapılan işlemler sonucunda;

$$M_f = \mu * F_t * d / 3 \quad (\text{Nm}) \quad (3.13)$$

Eşitliği elde edilir. Eşitlik 3.13.'de M_f sürtünme momentini (Nm), μ sürtünme katsayısı, F_t aksenal kuvveti (N) ve d kesici takım çapını (m) ifade etmektedir.



Şekil 3.6. Matkap ucunun sürtünmesinde oluşan notasyonlar [22]

Bu eşitlikte sürtünme katsayısı (μ) Tablo 3.4.'de işlenen malzeme grubuna göre değerler alınır. Delik delme işleminde toplam moment kesme kuvveti momenti ile sürtünme kuvvetinin oluşturduğu momentler toplamına eşittir.

Tablo 3.4. Delik delme için sürtünme katsayısı [25]

Malzeme Çifti için sürtünme katsayısı	μ
Çelik / Çelik	0,10
Çelik / Döküm	0,16
Çelik / Bronz	0,18
Çelik / Hafif metal alaşım	0,20
Çelik / Ağaç	0,5–0,6

Delik delme işleminde toplam moment kesme kuvveti momenti ile sürtünme kuvvetinin oluşturduğu momentler toplamına eşittir. Toplam moment sayısal olarak her iki momentin toplamına eşittir.

$$M_{top} = M_c + M_f \quad (\text{Nm}) \quad (3.14)$$

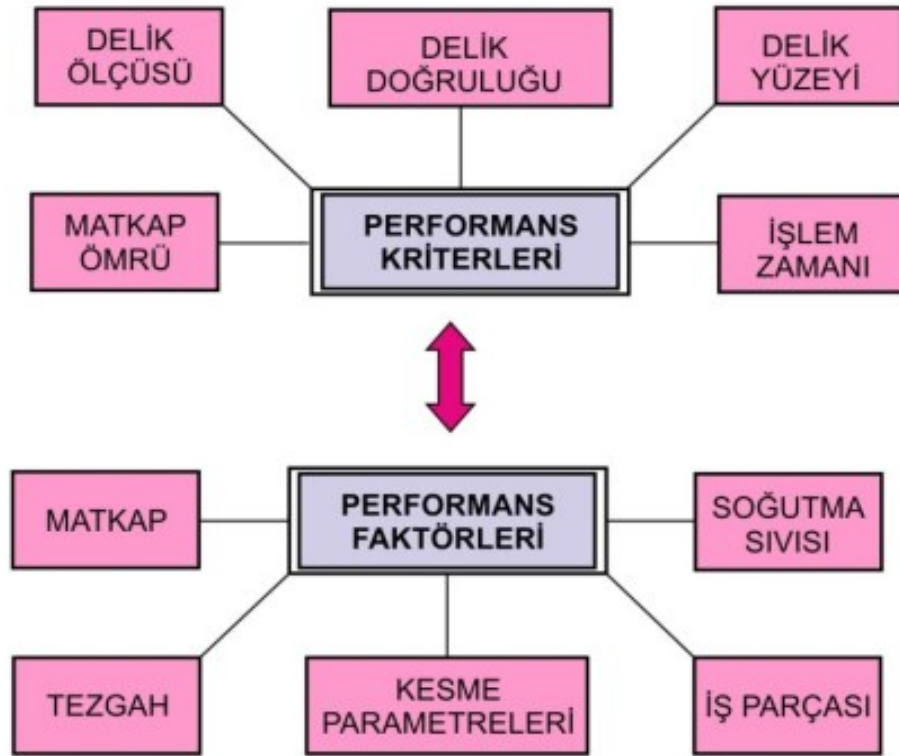
Eşitlik 3.14.'de M_{top} toplam momenti, M_c kesme (delme) momenti (Nm), M_f sürtünme momentini (Nm) ifade etmektedir.

$$M_{top} = (F_c * d / 2) + \mu * (F_t * d / 3) \quad (\text{Nm}) \quad (3.15)$$

Eşitlik 3.15.'de M_c kesme (delme) momenti (Nm), F_c kesme kuvvetini (N) ve d kesici takım çapını (m), μ sürtünme katsayısı, F_t eksenel kuvveti (N) ifade etmektedir.

3.4. Delik Kalitesi Değerlendirme Kriterleri

Talaşlı imalatla işleme performansını etkileyen faktörler kesme parametreleri, takım malzemesi ile geometrisi, soğutma şartları, işlenen malzemenin metalurjik yapısı, işlemin yapıldığı tezgâh özellikleri vb. olarak sayılabilir. Bu faktörler diğer işleme türlerinde olduğu gibi delik delme performansında da etkilidirler. Şekil 3.7.'de gösterilmiştir [32]. Delik delme işleminde delik kalitesi delik çap ölçüsünün doğruluğu, delik geometrisinin doğruluğu, delik yüzey hassasiyeti, matkap ömrü, işlem zamanı tasarımı toleranslarla belirlenmektedir. Bütün değerler ölçülünip istatistik yöntemlerle yönetilebilmektedir. Delik delme işleminde öne çıkan esas konu performans kriterlerini etkileyen faktörler performans faktörleri olup seçimi titizlik ve dikkat isteyen konulardır. Soğutma sıvısı seçimi; soğutma sıvısının karakteri, kimyasal bileşimi, soğutma sıvısının uygulanması, sıvı miktarı ve özellikleri dikkate alınmalıdır. Matkap dikkatli ve titizlikle seçilmelidir. Uygun tezgâh, maliyetleri azaltmak, işlem süresini kısaltmak ve delik kalitesini arttırmak için titizlikle incelenmelidir.



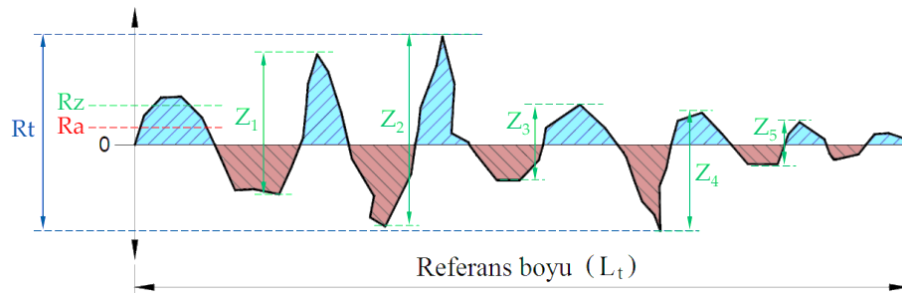
Şekil 3.7. Delik delme performansı kriterlerini etkileyen faktörler [32]

3.4.1.Yüzey pürüzlülüğü

Makine imalatında talaşlı veya talaşsız şekillendirme ile elde edilen yüzeylerde pürüzler kalır [33]. İmalat yöntemlerinin sonucunda pürüzsüz bir yüzeyden bahsedilemez. Pürüzsüz olan iki yüzeyler ayrılmak istendiğinde yüksek kuvvet gerektirir. Bu yüksek kuvvet gereksinimi yüzey geriliminden oluşur. Pürüzlülükler uygulanan talaş kaldırma metodu ile istenen yönde, istenen geometride ve tasarıma uygun olarak malzeme üzerinde gözle görülebilir, elle hissedilebilir, cihazlarla istenilen hassasiyetlerde ölçülebilir.

Makine parçalarında aşınmanın azalması için tasarımda ve uygulamada pürüzlülük değerlerinin belirli standartlarda olması zaruridir. İmal edilen iş parçasının, iş görebilirlik özelliğini yerine getirebilmesi ve ekonomik olarak işlenebilmesi için yüzeyin hangi kalitede olacağı tasarım aşamasında belirlenir. Yüzey durumları parçalarının imalat resimleri üzerinde grafik, sembol ve rakamlarla belirtilir. Parça işlenmesi yönüne bağlı olarak aksel yönde ve eksene dik yönde profiller farklılık gösterebilir. İmalatı yapılacak parçanın profil ölçümünde çizimlerde belirtilir.

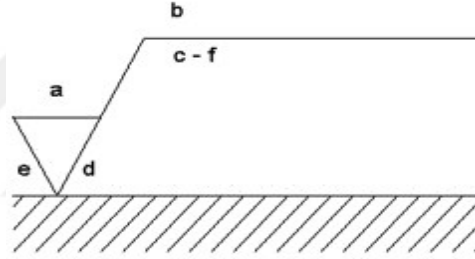
Yüzey pürüzlülük profili tespitinden sonra grafik değerlendirmesinde bazı değerlendirmeler yapılmaktadır. Bunlar yüzey pürüzlülük değerlendirmesi için standart kullanım alanları için özel geliştirilen metodlardır. Şekil 3.8.'de yüzey pürüzlülük değerleri ana profil P (Primary), dalgalılık profili W (waviness), pürüzlülük profili R (roughness) olarak tanımlanmıştır [33].



3.8. Yüzey pürüzlülük profili analiz grafiği [33]

Şekil 3.8.'de R_a aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değeri, R_z ortalama pürüzlülük değeri, R_t en büyük pürüzlülük değeridir.

İmalat sektöründe tasarımcı pürüzlülük değerini ve pürüzlülük ölçüm gereksinimi çizimlerde belirtmelidir. Yüzey pürüzlülüğünden üstün performans beklenmesi durumunda R_t değeri ölçümlerde kullanılır. Pürüzlülük değeri önemli ve hassas durumlarda R_z değeri kullanılır. R_z ölçümünde en yüksek ve en düşük 5 adet noktanın ortalama değeri alınır. Standart kullanımlarda hassasiyetin önem arz etmediği durumlarda R_a değeri yeterli kabul görmektedir. Genel makine imalatında R_a değeri ölçümlerde kullanılır. Havacılık otomotiv, raylı sistemler ve savunma sanayinde R_z ve R_t değerleri önemli ölçüde değerlendirilir. Yüzey pürüzlülük değerinin imalat resimlerinde gösterimi DIN ISO 1302 standardına göre gösterimi Şekil 3.9.'da sunulmuştur.



Şekil 3.9. DIN ISO 1302 Yüzey pürüzlülük gösterimi [34]

Şekil 3.9.'da a: μm olarak yüzey pürüzlülük değeri, b: üretim metodu, yüzey işleme, kaplama, c: ölçümde kullanılacak referans uzunluğu, d: işleme izlerinin yönü ifade etmektedir.

3.4.2. Çapak

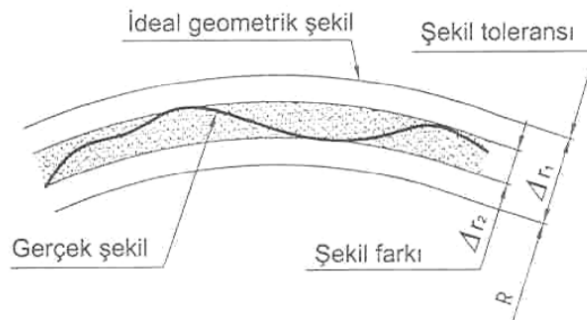
Tüm üretim proseslerinde çapak istenmeyen bir oluşum olarak ortaya çıkar. Çapağın elimine edilmesi yönündeki bir çok çalışmaya karşın çapaksız bir üretim hemen hemen mümkün olmamaktadır ve az ya da çok mutlaka çapak ortaya çıkmaktadır. Özellikle hassas sistemlerin üretiminde çapak çok önemli bir problemdir ve temizlenmesi gerekmektedir. Diğer taraftan, üretim tipi, malzeme özellikleri, kesici takım geometrisi ve proses parametrelerine göre çok değişik formda çapaklar oluşmaktadır [35].

Endüstride metaller belirli bir şekil ve boyutta parçalara ulaşmak için pek çok yöntemle işlenirler. Örnek olarak metal kaynak, döküm, torna, freze gibi değişik işlemlerden geçmiş olabilir. Bu işlemler genellikle parça kenarlarında kaba çıkıntılar oluşturur. Metal işlendiğinde oluşan bu çıkıntılı parçacıklar ve keskinlikler çapak olarak adlandırılır. Çapak keskin bir köşede ince bir tel şeklinde olabileceği gibi yüzeyde bir çıkıntı formunda da olabilir. Çapak oluşumu parça tasarımı ve işlemesi sırasında mühendislik çalışmalarıyla azaltılabilir veya elemine edilebilir [36].

Delme işleminde çapaklanmanın tahmini ve talaş kaldırırken oluşan kuvvetin modellenmesini yapılmalıdır. Delik boyunun çapak miktarına etkisi, kuvvetin artmasına sebep olması, düşük delik kalitesi, kesicide oluşan olumsuz sıcaklık ve kesici deformasyonunu dikkate alınmalıdır [37].

3.4.3. Dairesellik

Delik delme işleminde kullanılan matkap için bir çap ve çap geometrisi vardır. Gerçekte tam daire kabul ettiğimiz geometri ölçümler sonunda hatalar içeren ve gözle kontrolü mümkün olmayan geometrik bozukluklar içerir. Bu bozukluklar delik delme işlemi esnasında delinmek istenen delik dairesellik geometrisinde etkiler. Şekil 3.10.'da ideal delik ile gerçek delik eğrileri görülmektedir.

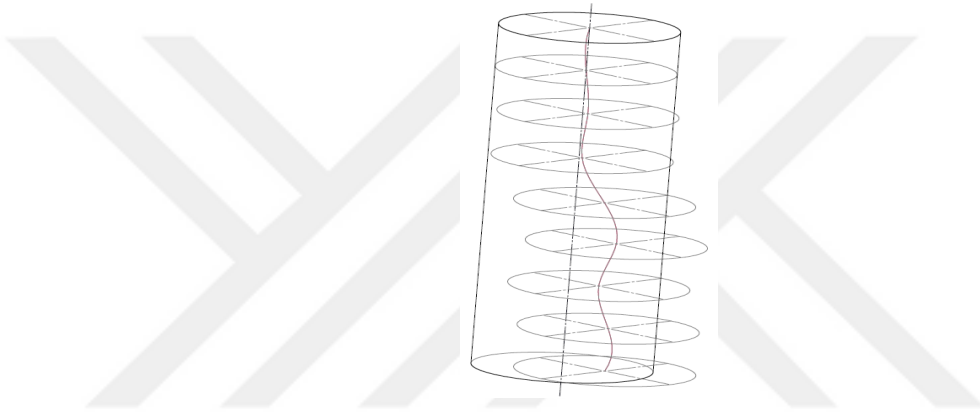


Şekil 3.10. Delik dairesellik görüntüsü [38]

İdeal geometrik şekil toleransı şekil farklı toleransından büyük ise delik istenilen geometrik toleransta üretilmiş kabul edilir.

3.4.4. Eksenel kaçıklık

Delik delme işleminde iş parçası üzerinde belirli eksen değerlerinde istenilen çap ölçüsünde delik delinmek istendiğinde delik ilk giriş eksenini büyük doğrulukla delinebilir. Delik delme işleminde kesici matkap ucu ilerlemesinde kesme kuvveti, ilerleme kuvvetleri etkisinde dolayı istenilen eksende uzaklaşarak delik delme işlemi gerçekleştirilmektedir [5]. Bu etkinin bir çok parametresi olup iş parçasının metalurjik yapısı, sertliği, matkap ve matkap uç geometrisi delik eksen kaçıklığı üzerinde iyi tasarlanmalıdır. Şekil 3.11.'de delik ekseninden kaçıklık şematik gösterimi vardır.



Şekil 3.11. Eksenel kaçıklığın şematik gösterimi

3.4.5. Çapsallık

Delik delmede kullanılan Matkap uçları istenilen delik çapı değerinden mikron seviyelerde küçük üretilmektedir. Her bir matkap çapı üretimde belirli toleranslarda üretilmektedir. Matkabın delik delme işlemi sırasında titreşim, balans, tezgâh, iş mili rijitliğine bağlı olarak istenilen nominal delik çapında nihai delik çapına ulaşılmasını istenir. Bu işlemde delik çapı ve delik toleransına bağlı olarak tasarım yapılmalıdır. Bütün olumsuzluk etkileri delik delme işleminden sonra oluşacak deliğin boyutsal ölçü değişimine sebep olacaktır. Delikler genellikle tek seferde delinmek istenmektedir. İşleme maliyetini düşürmek, ekipman sayısının az sayıda olması işlenebilirlik için önemlidir [5]. Delik kalitesinin hassas toleranslarda olması için delik delme işlemi sonrası ikicil bir yüzey işleme tabi tutulur.

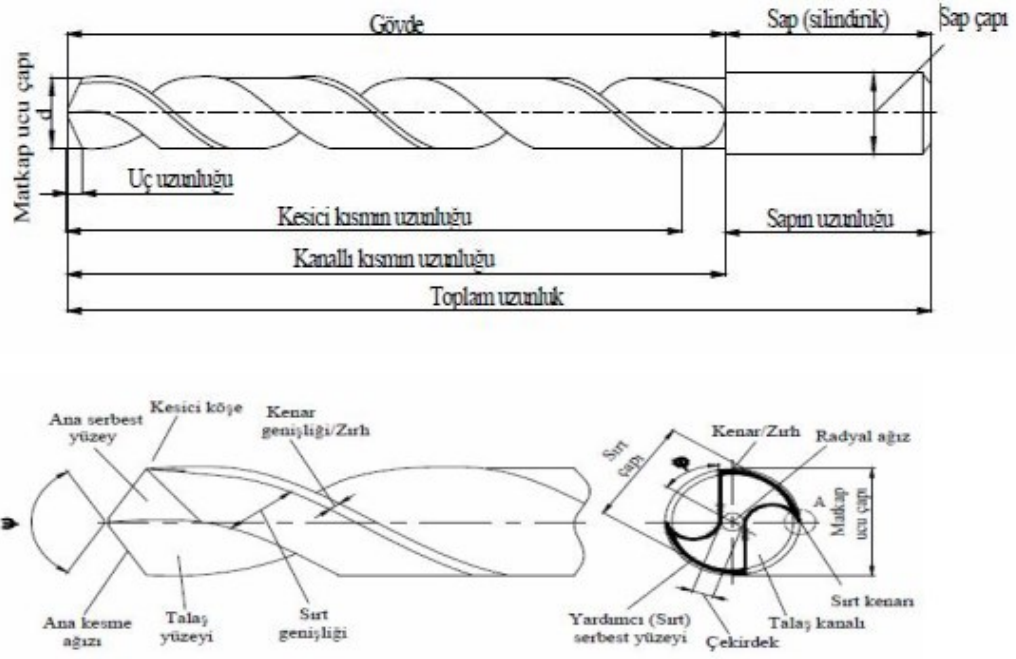
3.4.6. Boyutsal tolerans

Delik delme işleminde iş parçası üç boyutlu olarak değerlendirilmelidir. İmalat ve montajda delikler üç boyutlu olarak tasarlanır ve toleranslandırılır, uygulamada bu referans değerlere göre delik delinmesi gerçekleşir [33]. Yüzeyin delik eksenine olan dikliği, delik eksenindeki değişim, deliğin çapının değişimi, deliğinin dairesellik değişimi, 3D ölçüm cihazlarının gelişimi ile boyutsal toleranslarda olumlu gelişmeler yaşanmış ve delik delme işlemlerinde kontrol işlemleri ile hataların sebepleri tespit edilebilir olmuştur. Deliğin boyutsal toleranslarının ölçülebilir olması delik parametreleri optimize etmek için bir fırsat sunmaktadır. Delikten beklenen tasarım parametrelerine göre delik toleransları tasarımcılara büyük kolaylıklar sağlamıştır [41]. İmalatta ve montajda kolaylık ve pratikliğe paralel olarak işçilik zamanı, başarılı montaj, hızlı montaj ve otomasyonda maliyet düşüşlerine sebep olmaktadır.

3.5. Delik Delmeyi Etkileyen Değişkenler

3.5.1. Kesici takım geometrisi

Matkapla talaşlı imalat da delik delme işleminin temel ekipmanıdır. Bu ekipmanlar sürekli gelişim içinde olup işlenebilirlik, maliyet ve kalite kavramlarına bağlı olarak gelişimini sürdürmeye devam edecektir. Matkapların genel bölümleri Şekil 3.12.'de gösterilmiştir. Matkaplar, matkap ana malzemesine, matkap kesme yönüne, bağlantı şaft tipine, helis açısına, kesici uç açısına, helis şekline, farklı uygulamalar için farklı DIN standart normuna bağlı olarak çeşitlendirilmektedir. Delik delme işlemini yapılacak iş parçasının materyaline bağlı olarak matkap geometrileri farklılıklar göstermektedir. Tüm matkap tasarımlarında performans optimizasyonu için kanal formu hayati önem taşır. Kanal şekli, matkabın talaş oluşturup talaşları ve ısıyı kesme alanından uzaklaştırma kabiliyetini yönlendirir. Yüksek performanslı yekpare karbür matkabın hassas geometrisinde kesme performansını en üste çıkarmak için kanallar bilimsel olarak belirlenmiştir. Matkap ucu otomatik merkezleme sağlarken takviyeli matkap köşesi dayanımı güçlendirerek proses güvenliğini daha universal matkapların da ötesine götürür. Yeni geometri yeni kanal şekliyle birleştiğinde, yüksek penetrasyon hızlarında bile etkin talaş boşluğu için optimize edilmiş bir kesme kenarı sağlar.



Şekil 3.12. Matkap genel kısımları [39]

Matkaplar kesici ağızlarına göre tek ağızlı, iki ağızlı, üç ağızlı, dört ağızlı olarak üretilirler. Şekil 3.13.'de iki ağızlı matkap geometrisi görülmektedir. İşlenecek malzemenin özellikleri ve delik delme şartlarına bağlı olarak uygun kesici ağızlı takım seçilir. Kesici ağız sayısının azalması talaşın daha rahat atılmasını sağlar. Talaş tipine ve işleme hızına göre kesici ağız sayısı seçimi yapılır. Matkap helis geometrisi 3 çeşit uygulanmaktadır. N tipi, H tipi ve W tipi helis uygulamaları vardır [29].

Matkap uçları ana malzememsi 3 grupta tanımlanabilir:

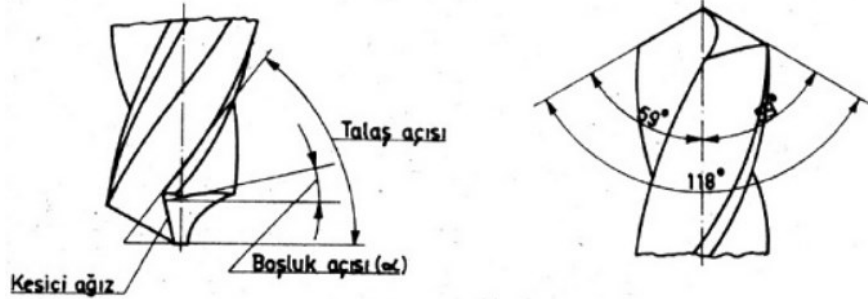
HSS Yüksek Hız Çeliği (High Speed Steel)

HSS-E Kobaltlı Yüksek hız çeliği (High Speed Steel with Co)

KSM Komple sert metal (solid carbide)

Uluslararası DIN standart normlarında göre tanımlamada yapılmıştır. DIN9, DIN 338, DIN 6539 ve DIN 8094 kesici takımların standart kontrollerini sağlamak için matkapların ölçülerine bağlı olarak standartlar belirlenmiştir. Matkaplar kesme uç açılarına görede sınıflandırmaktadır. Bunlar 80°, 90°, 118°, 125°, 130°, 140° ölçülerde standart olarak üretilmektedir. Şekil 3.13.'de matkap uc geometrisi görülmektedir.

İstenilen kesme açısına göre matkap imalatı yapılır. Özel açılarda imalatlar mümkündür. Matkap delik delmede en çok kullanılan açı 118° olarak kabul görmektedir.



3.13. Kesici takım uc açılarının gösterimi [39]

Matkap ile delik delme işlemi için endüstriyel tezgâhlar veya el aletleri ile kullanılır. Bu sebeple matkaplarda silindirik, SDS plus form, SDS maxi form, konik formlarda matkap sapları kullanılır. Bunlar konik havşa matkabı, helis havşa matkabı, kobra başlı havşa matkabı, punta matkabı, kademeli matkap şeklindedir. Matkaplar kaplama cinsine göre de tanımlanırlar. Kaplama kalınlığı kaplama cinsine bağlı olarak 3-5 μm arasında değişiklik göstermektedir. Standart kullanımda olan kaplamalar aşağıda belirtilmiştir.

TiC : Titanyum Karbür

TiN : Titanyum Nitrür

TiCN : Titanyum Karbürnitrür

Al_2O_3 : Alüminyumoksit

TiAlN : Titanyum Alüminyum Nitrür

Kurt ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada AA2024 malzeme kullanmışlardır. 0,15-0,20-0,25 mm/dev ilerleme miktarı, 30-45-60 m/dak kesme hızlarında 5 farklı kaplamalı HSS matkap ile çalışma yapmışlardır. Matkap kaplamalarının değişimine göre yüzey pürüzlüklüklerini, çap nominal ölçüden kaçıklıklar, daireselik üzerine değerlendirme yapmışlardır. Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığını, matkap kaplamasının pürüzlülük değeri üzerinde etkili olduğunu araştırmıştır. Kesme açısının büyük olması kesme kuvvetini arttırdığı ve pürüzlülüğü olumsuz etkilediğini belirtmektedirler [5].

Çaydaş ve arkadaşları AA7075 T6 alaşımı ile ilerleme hızı 5-10-15-20-15 mm/dak ve 118°, 125°, 130°, 135°, 140° matkap tepe açıları değişkenlerinin ilerleme kuvvetine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. İlerleme sonuçları, ilerleme miktarı ve tepe açısı değerleri artmasının kuvvet ve yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı şeklindedir [41].

3.5.2. Kesme hızı

Kesme hızı kesici takım üzerindeki dış noktanın dakikada metre olarak aldığı yoldur. Bu hız yüzey hızı olarak da adlandırılır. Kesme hızı talaşlı imalat parametrelerinde bir çok unsura etki eden parametredir [40]. Kesme hızı kesici takım üreticisi tarafından önerilir. Bu öneri, talaş kaldırılacak malzeme cinsi, bir seferde kaldırılacak talaş miktarı gibi temel fonksiyonlara göre değişim gösterir. Kesme hızının arttırılması kesici takım ömrünü kısıltacaktır. Kesme hızının düşük tutulması talaşlı işlem süresini arttıracaktır. Kesme hızını etkileyen faktörler kesici takımın malzemesi, kesici takımın kaplamasının özelliği, kesici takımın ve malzemenin bağlama teknolojisi, tezgâh gücü, tezgâh rijitliğidir. Kesici takım üreticileri kesme hızının arttırılması ve takım ömrünün uzun olması için çalışmalara devam etmektedirler. Özellikle kaplama teknolojisi ve takımı soğutmak için özel tasarımlar çalışılmaktadır. Son zamanlarda kesici takımların iç kısımlarından delik açılarak içten soğutma sıvısı uygulanan kesici takımlar, uzun ömürlü yüksek kesme hızında ve kaliteli delik işlemlerinde kullanılmaktadır [24].

Kurt ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, kesme hızının artmasının pürüzlülük değerlerinde etkin olduğu, delik boyutlarında çok etkin olmadığını, matkap tepe açısının değişiminin delik boyutları için önemli olduğunu, ilerleme miktarının artmasının daireselik ve boyutlarda etkin olduğunu belirtmişlerdir [5].

Meral yaptığı çalışmada, kesme hızının artması ile matkap üzerinde hızlı serbest yüzey aşınmasına, kesme kenarlarında plastik deformasyona, düşük delik kalitesine, tolerans dışı sonuçlara ve kesme hızının düşük seçilmesinde matkap üzerinde talaş yığılmasına, talaş tahliyesinin olumsuz etkilenmesine, düşük verimlilik, delik başına yüksek maliyet oluşturacağını belirtmiştir [22].

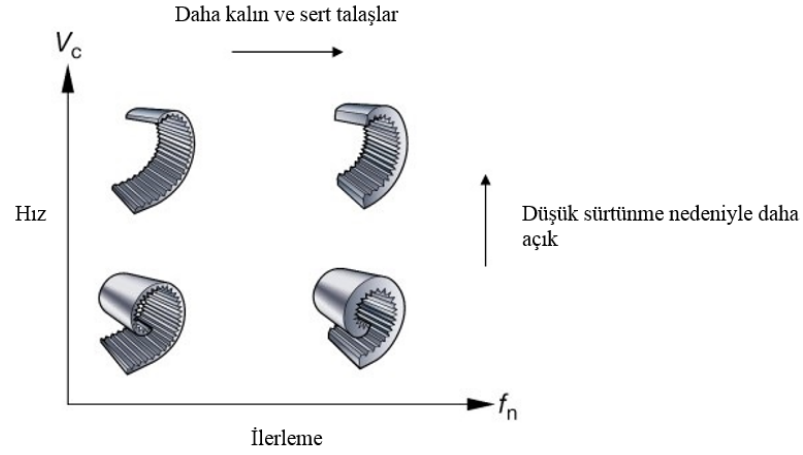
Bayraktar ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada kesme hızı ile oluşan momentlerin fazla bir etkiye sahip olmadığını belirtmişlerdir [3].

3.5.3. İlerleme miktarı

İlerleme miktarı kesici takımın iş parçası yüzeyindeki bir devirdeki ilerleme mesafesini ifade eder. Çıkarılan talaşın kesiti talaş derinliği ile birlikte ilerleme değerlerine bağlıdır. İlerleme değeri birimi mm/devir dir [40]. İlerleme miktarı kesici takım üreticisinin önerdiği değerlerde kullanımı takım ömrünün uzamasını sağlar. İşlem yapılacak iş parçasının metarlurjik yapısı, sertlik ve ısı işlem durumu önemlidir. Malzemeden tek seferde kaldırılacak talaşın uzaklaştırılması açısından ilerleme miktarı önem kazanmaktadır. İlerleme miktarındaki artış ilerleme kuvvetinde de artışa sebep olur [41].

Bayraktar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ilerleme kuvvetini etkileyen en önemli parametrenin ilerleme miktarı olduğunu, ilerleme miktarının artması ile delik yüzey pürüzlülüğünde artış olduğu, ilerleme kuvveti ve moment değerlerinin artması ile matkap kesici kenarlarıda aşınmanın oluştuğunu belirtmiştir [3].

Meral yaptığı çalışmada ilerleme miktarının artması ile iyi talaş kontrolü, daha düşük kesme kuvveti, daha düşük takım aşınması, delik kalitesinin kötüleşmesine ve düşük ilerleme miktarında takım aşınmasında daha hızlı artış, delik kalitesinde iyileşme, daha uzun talaş, daha uzun süre kesme zamanı, yüksek maliyet artışlarına sebep olacağını belirtmiştir [22]. İlerleme hızı-kesme miktarı ile çapak değişim Şekil 3.14.'de sunulmuştur.



Şekil 3.14. Kesme hızı- İlerleme miktarı ile çapak oluşumunun değişimi [24]

3.5.4. Kesme sıvısı

Talaşlı imalat sürecinde kesme sıvılarının asıl görevi soğutma ve yağlama sayesinde sıcaklığı kontrol altında tutmaktır. Bu işlemi yerine getirirken takımın ve parçanın ısınmasını önlemektir. Bu sıvılar başka önemli işlevleri de yerine getirmektedir. Bu işlevlerin başlıcaları şu şekilde sıralanabilir [39].

1. Takımı ve iş parçasını soğutmak, ısının ortamdan uzaklaştırılmasını sağlamak,
2. Takım-talaş ve takım- iç parçası yüzeyini yağlamak, kayganlık sağlamak,
3. Çıkan talaşı uzaklaştırmak, çapağın yapışmasını önlemek,
4. Kaynak oluşumunu engellemek,
5. Güç sarfiyatını düşürmek, Kesme ve ilerleme kuvvetini azaltmak,
6. Korozyonu engellemek,
7. Takım ömrünü ve verimliliğini artırmak,
8. Çıkan talaş biçimini değiştirmek,

Bütün talaş kaldırma işlemleri yüksek miktarda ısı oluşumuna neden olur. Kesme hareketi sırasında oluşan ısı; kesici takım ucunda metalin plastik deformasyonundan ve takım-talaş ara yüzeyi boyunca kayan talaşın sürtünmesinden dolayı oluşur [42]. Kesme sıvısının diğer bir önemli görevi takım, iş parçasını ve talaşı yağlamasıdır. Yağlayıcılık bağıl hareket halinde bulunan iki yüzey arasında bir film oluşturarak ve sürtünme katsayısını azaltarak hareketi kolaylaştırmak ve bağıl hareket halindeki

yüzeylerin aşınmasını engellemektir [42, 43]. Çoğu kesme sıvısı sürtünmeyi azaltarak belli bir malzemeyi işlemek için gereken güç miktarını düşürür. Bu, sadece enerji tasarrufu anlamına gelmemektedir, ayrıca daha az güç ve daha az ısı oluşumu demektir. Daha az ısı oluştuğunda da takımın ömrü artar ve iş parçasının yüzey bütünlüğü korunur [44]. Kesme sıvılarının önemli işlevlerinden biri de talaşı kesme bölgesinden uzaklaştırmak, aynı zamanda talaşı soğutmak ve toz gibi küçük parçacıkların havaya karışmasını önleyerek sıvının içinde kalmasını sağlamaktır [45]. Kesme sıvısı sayesinde talaşın takım ile iş parçası arasında sıkışması önlenerek yüzeyde oluşabilecek çiziklerin önüne geçilmiş ve yüzey kalitesinin bozulması da engellenmiş olur. Kesme sıvısı uygulaması talaş oluşumunu etkilemektedir. Yüksek basınçlı sistemlerde sıvı bir talaş kırıcı rolü oynarlar. Talaşın arkasından yapılan püskürtme talaşı soğutmakla kalmayıp aynı zamanda talaşın küçük parçalara ayrılmasını da sağlar. Yüksek basınçta takım içinden uygulama, özellikle delmede iki kat fayda getirir. Talaşın soğutulması ve küçük parçalara ayrılmasının yanında, delikten hızlı bir şekilde dışarı atılması da sağlanır. Böylece delikte oluşabilecek çizilmeler ve talaşın takım helislerinin içinde sıkışma ve tıkama yapmasından kaynaklanabilecek sürtünmenin oluşturacağı fazladan ısı oluşumu azaltılmış olur [44, 46].

3.5.5. Tezgâh

Delik delme işlemi bir çok makine ve ekipman ile yapılabilmektedir. Delik delme işlemi imalat ve endüstride çok kullanıldığı için amacı sadece delik delme işlemi olan makineler geliştirilmiştir. Bu makinelerin başlıcaları el matkapları, masa matkapları, çok milli matkap tezgâhı, işlem sıralı matkap tezgâhı, sütunlu matkap, radyal matkap, yatay delik delme tezgâhlarıdır [47].

Delik delme işlemi Torna tezgâhında, Freze tezgâhında, NC ve CNC kontrolü işleme merkezi tezgâhlarında da yapılabilmektedir. CNC makinelerde işlenecek parça makineye bir kere bağlanır. İş parçasındaki talaşlı imalat işlemleri program sırasına göre işlenir. Şekil 3.15.'de CNC işlem merkezi görüntüsü vardır.



Şekil 3.15. CNC işlem merkezi makine görüntüsü [48]

Tezgâh eksen hareketlerindeki ilerleme miktarı, eksen hareketini sağlayan sonsuz vidalı millerin sürtünmesi, yüksek hızda hareketlerde yataklarda oluşan ısının olumsuz etkileri vardır. Bu ısı yataklardan uzaklaştırılmalıdır. Parça işlemede yaşanan sıkıntıların diğer önemli bir kaynağı kesme esnasında oluşan titreşimlerdir. Oluşan titreşimler yüzeyi bozar, takım ömrünü kısaltır, tezgâh komponentlerine zarar verir. Titreşimleri önlemek için Tezgâh gövdesine yerleştirilmiş sensörler sayesinde, titreşim algılanır, analiz edilir ve sonucunda hesaplanan en uygun iş mili hızı, mili saniyeler içerisinde ve otomatik olarak eski iş mili hızının yerini alır. Ayrıca tezgâhın güç sınırları dahilinde titreşimin olmadığı bir veya iki üst işmili devri atanarak kesme zamanları da azaltılır. Ortam sıcaklığındaki değişiklikler de dâhil olmak üzere her türlü kaynağın neden olduğu ısı değişimleri karşısında gerekli önlemleri tezgâh karşılamalıdır. Yeni teknolojiler sayesinde tezgâh, sıcaklık kontrolü sağlanmamış bir ortam da olsa bile yüksek işleme hassasiyeti sağlayabilmektedir.

İş mili rulmanları özel imal edilen rulmanlar olup devir sayısı 12,000 dev/dak üzerinde çıktığı zaman, tezgâh milinde meydana gelecek sürtünmeleri azaltabilmek, hafiflik, dayanıklılığı artırmak, ataleti azaltmak için seramik (Silicon-Nitrit) ve çelik karışımı rulmanlı yataklar kullanılmaya başlanmıştır [51]. Bu tip yatakların çelik rulmanlı

yataklara göre elastisite modulüde oldukça (31400 MPa) yüksektir. Tezgâh milli yataklarında seramik bilyalar kullanıldığında % 20 ile % 50 arasında daha fazla devir sayılarına çıkılması mümkün olmaktadır. Eğer seramik yataklarda doğru seçim ve doğru tasarım yapılabilir ise seramik yatakların ömrü çelik olanlara göre daha uzun olabilmektedir.

İş milinin motorunun titreşim üretmesi, kullanılan rulmanın teknik özellikleri ve vibrasyon talaş kaldırmada takım üzerine ilave yükler getirir. Bu yükler talaşlı imalat boyutlarını olumsuz etkiler. Tezgâh eksen toleransları işlenecek parça da istenilen toleransları sağlamak için önemlidir. Tezgâh tolerans hassasiyeti işlenecek parça toleransından hassas olmalıdır. YCM – NSV106A tezgâhının X, Y ve Z eksen toleransları sırası ile 0,032 mm / 0,025 mm / 0,025 mm hassasiyetle işleme yapabilmektedir. YCM MEEHANITE döküm gövde tezgâhının X, Y ve Z eksen toleransları sırası ile 0,00126 mm / 0,00098 mm / 0,00098 mm hassasiyetle işleme yapmak mümkündür [51].

3.5.6. İş parçası

İş parçaları talaşlı imalatla işlenecek parçaların genel tanımıdır. İmalatta ve endüstride kullanılacak tasarlanmış ürünler için bir iş akışı ve işlem sırası vardır. Bu tasarımdan başlayıp şekillendirilen bir süreçtir. İş parçasının döküm, hadde, dövme işlemlerinde çıkan direkt iş parçaları olabileceği gibi bu malzemelerden üretilen iş parçalarında vardır. Dişlilerin ve vida dişlerinin imal edilmesinde cep ve kademe işlenmesinde, delik açma ve büyütme işlemlerinde belirli geometrik yapıya tek veya çok ağızlı kesici takımla talaş kaldırma işlemi yapılır. Bu işlemlerde kesici takım hareketli veya iş parçası işlem durumuna göre her ikisinde hareketli olabilir [49].

Malzeme bilimi hızla gelişmekte ve bu gelişim ile yeni materyaller endüstride kullanıma yer bulmaktadır. Bu materyaller Otomat çeliği, alaşımsız çelikler, düşük alaşımlı çelikler, alaşımlı çelik döküm, alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, süper alaşımlar, Titanyum ve alaşımları, gri dökme demir, Nikel ve alaşımları, Pirinç, Bronz, Alüminyum bronz, Bakır, Alüminyum, sert alüminyum alaşımları, plastik, sert plastik, Kompozit malzemelerdir. Her bir iş parçası gereksinimleri karşılamak için

seçilir ve kullanılır. Kullanım sürecine bağlı olarak çeşitleri işlemlere tabi tutulurlar. Bunlardan en yaygın olarak talaşlı imalat yöntemleri kullanılır. Talaşlı imalatta delik delme çok sık karşılaşılan bir gereksinimdir. Her bir iş parçasının delik delme işlemi özellikli takımlar ve takım gereksinimleri gerekir.

Bunun yanında iş parçasının geometrik boyutları en belirleyici parametre olmaktadır. İş parçaları endüstride zorlayıcı bir boyutta olabilmektedir. Mikro iş parçaları tasarımların boyutlarından kaynaklı gereksinim iken buna karşılık makro büyüklükteki iş parçalarında tasarımın vazgeçilmez bir parçası olmaktadır. 4 m çapında bir dişli imalatı yapmak buna örnek gösterilebilir. İş parçası boyutlarının çok farklılık göstermektedir. Buna karşılık tezgâhların boyutları iş parçasının işleyecek kapasitede olmalıdır. Paslanmaz çeliklerin talaşlı imalatı, şekillendirilmelerinde olduğu gibi yüksek mukavemetleri, pekleşme özellikleri ve sünekliklerinden dolayı karbon çeliklerine oranla daha zordur. Türler arasında farklılık bulunmakla beraber, daha yüksek güç, daha düşük kesme hızı ve daha kısa takım ömrü yanında, kesme sırasında ortaya çıkan yüzey kalitesi sorunları kesici takım üstünde malzeme birikmesi problemleri ortaya çıkabilmektedir [52].

Çelik malzemeden istenen özellikler arasında talaşlı işlenebilirlik kabiliyeti önem arz eder. İmalat aşamasında, yüksek kesme hızları ve buna bağlı olarak işlem zamanı, takım ömrü, iyi yüzey kalitesi, daha düşük kesme kuvvetleri kullanarak sağlanacak enerji tasarrufu gibi kriterler, diğer faktörlerle birlikte malzeme kalitesiyle de direkt alakalıdır. Bu kaliteyi sağlamak amacıyla otomat çelikleri geliştirilmiştir. Otomat çelikleri Karbon oranı % 0,07- 0,60 arasında değişen ve Kükürt oranı % 0,15 ile % 0,40, Fosfor oranı % 0,07- 0,10 arasında olan çeliklerdir. Kükürt ve Fosforun diğer tüm kalitelerde azaltılmaya çalışmasına karşın, talaşlı işlem kabiliyetini artırmasından dolayı otomat çelikleri içine özellikle ilave edilir. İlave edilen bu elementler malzemede metalik kırılmalık sağlayarak kısa kırılmalık talaş oluşumunu sağlar. Bunun yanı sıra Kükürt ve Fosfor ilavesi yağlama etkisi yaparak parça dayanımının artmasına ve temiz yüzey elde edilmesine imkân tanır. Otomat çelikleri kurşun ile alaşımlandırılmış şekilde de bulunabilir [53].

BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda, iş parçası malzemesi 2011-T6 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Alüminyum alaşımı 100 mm x 68 mm x 31 mm ölçülerde dikdörtgen prizma geometrisinde dolu malzeme olarak ekstrüzyonla üretilmiştir.

Ekstrüzyon sonrası solüsyona alma ve T6 yaşlandırması için NABERTHERM marka Controller C40-versiyon 5.02 makinede sırası ile 525°C sıcaklıkta 2 saat solüsyona alma ve 180°C 12 saat T6 yaşlandırma işlemi yapılmıştır. 2011 Alüminyum alaşıma ait kimyasal kompozisyon Tablo 4.1.'de ve deneysel çalışma malzemesinin mekanik özellikleri Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. 2011 Alüminyum Alaşımın kimyasal yapısı

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni
ALAŞIM	0,248	0,243	5,843	0,014	0,001	0,004	0,008
AA2011	Cr	Pb	Sn	Ti	Bi	Diğer	Al
	0,011	0,202	0,008	0,032	0,212	0,143	93,063

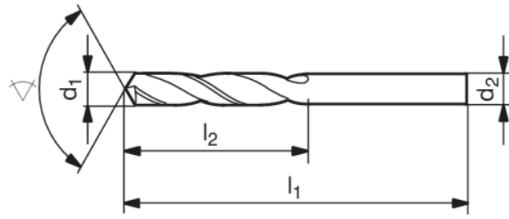
Tablo 4.2. Deney malzemesi mekanik özellikleri

ALAŞIM	Rp0,2 N/ mm ²	Rm N/mm ²	% Uzama	Sertlik HB
AA2011	263 N/mm ²	415 n/mm ²	%15	80

Alüminyum alaşımlarına uygun kesici takım, DIN 6589 standartta (DIN 1897'ye benzer özellikte), iki kesme ağızlı, 3xD (matkap kesme çapının 3 katı derinlik matkabı) özellikte, komple karbür, kaplamasız, kesme açısı 118°, çapak açısı (helis açısı) 30°, sap silindirik, Øh7 delik standardında tasarlanmış, Ø14 mm matkap ucu kullanılmıştır. Matkap ucunun ölçümleri QUICKCHECK ekipmanı ile yapılmıştır. Matkap üreticinin önerileri doğrultusunda kesme verileri, takımların ve takım tutucuların stabilitesi, malzeme ve makine tipi gibi dış faktörlere değerlendirilmiştir.

Soğutma sıvısı ve yağlayıcı olarak Oemeta marka su ile karıştırılabilir ALUMET AL100 kullanılmıştır. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının imalatları için özel geliştirilmiş üründür.

WNT marka Ø14 mm çap kesici takım iki kesme ağızlı, KMS malzemedен imal komple sert karbür malzemeli, çap boy oranı 3xD, Kesme açısı 118°, talaş açısı 30°, silindirik saplı, kaplamasız matkap seçilmiştir. Kesici takımı ölçüleri Şekil 4.1.'de sunulmuştur. Şekil 4.2.'de kesici takım fotoğrafı sunulmuştur. Kesici takım ölçümleri yapılmış olup Dc kesici takım kesici kenar ölçüsünün 13.990 mm -13.986 mm aralıklarında olduğu tespit edilmiştir. 14.000 mm delik için matkap uçları mikron seviyede küçük üretilirler. Bu delik ölçüsünün nominal değerde tamlığının sağlanması içindir. Deneylerde kullanılan matkap ölçüm değerleri Şekil 4.3.'de sunulmuştur. Bu matkap ölçümleri delik çapsallık, eksenel kaçıklık ve dairesellik hesaplamalarında kullanılmıştır.



Şekil 4.1. WNT marka kesici takım ölçüleri görseli [50]

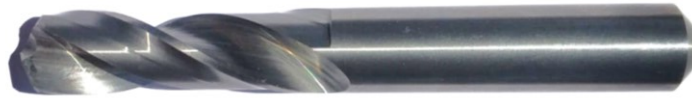
Çalışmalarda kullanılan matkap ölçüleri:

$$d_1 = 14 \text{ mm}$$

$$d_2 = 14 \text{ mm}$$

$$l_1 = 107 \text{ mm}$$

$$l_2 = 54 \text{ mm}$$



Şekil 4.2. WNT marka kesici takım fotoğrafı

Diameter 1	13.990 mm
Diameter 1.1	13.986 mm
Diameter D0 1 (MD 0.000)	13.991 mm
Backtaper 1 (MD 15.000)	0.004 mm
Spiral lead 1	75.826 mm
Spiral angle 1	30.10 °
Rake angle 1 (MD 0.500)	7.31 °
Flute depth 1	4.454 mm
Rotation angle flute depth 1	18.49 °
prim.clearance angle 1	0.00 °
prim.clearance width 1	1.540 mm
Primary angle	9.46 °

Şekil 4.3. 14mm çap KSM matkap ölçüm sonuçları

Soğutma sıvısı ve yağlayıcı olarak Oemeta marka su ile karıştırılabilir ALUMET AL100 kullanılmıştır. Bu ürünler sağlık açısından önemle seçimi yapılması gereklidir. Damıtıklar, Petrol, Etanol, Metanol, Alkoller muameleden ışıktan, Etoksil, Borik Asit, Su, içerir. Özel formülasyonu ile soğutma ve yağlama işlemi yapılmasını sağlar.

Delik delme işlemi MAZAK VTC300-II model 12.000 dev/dakika iş mili hızına çıkabilen x-ekseni 1610 mm, y-ekseni 510 mm, z-ekseni 610 mm olan tam otomatik CNC Freze tezgâhı kullanılmıştır. Makineye ait görsel Şekil 4.4.'de sunulmuştur. Parçanın sabitlenmesinde hidrolik mengene, matkabın montajında sıkma pensi ile takım bağlantısı sağlanmıştır. Takım tutucu yeni kullanılmıştır. Takım tutucu bakımı yapılmıştır. Hidrolik mengene testleri ve bakımı yapılmıştır. Makinenin magazinine bütün kesici takımlar konulmuştur. Makinenin temizliği yapılarak delik delme işlemine hazırlanmıştır.



Şekil 4.4. Mazak VTC300- II cnc işlem makinesi fotoğrafı

Pürüzlülük ölçümü MAHRSURF SD26 ve MAHRSURF M400 cihazı ile 17,5 mm mesafede ölçümler yapılmıştır. Pürüzlülük ölçümü için kullanılan cihazları Şekil 4.5.'de sunulmuştur. Delik giriş ve çıkış kısımları ayrı ayrı ölçümlenmiştir. Delik pürüzlülük ölçümleri doğrulması ve çapraz kontrolleri yapılmıştır. Değerlerde ölçüm hatası kontrolleri yapılmıştır.



Şekil 4.5. Pürüzlülük ölçüm seti solda kontrol ünitesi MAHRSURF M400 sağda ölçüm ünitesi MAHRSURF D26

LK İNTEGRA marka 3D ölçüm cihazı ile pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. LK integra ölçüm makinesi X-ekseni 1250 mm, Y-ekseni 2500 mm ve Z-ekseni 1000 mm kapasitesindedir. Ölçüm hassasiyeti 0,15 μm hassasiyette ve kalibrasyonu tamam olan bir ölçüm makinesidir. Ölçüm ortamı $20^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ve $\% 55\pm 3$ RH değerlerinde klimatize edilmiştir. Ölçümü yapılacak malzemeler 24 saat öncesinde ölçüm ortamına

getirilmiştir. Ölçümler program yazılarak yapılmıştır. Program yazma Camio 4.5 sürüm ile sağlanmıştır. Cihazın görseli Şekil 4.6.'te sunulmuştur.



Şekil 4.6. 3D LK Integra ölçüm çalışması fotoğrafı

4.2. Deneysel Çalışma Planı

Deneysel çalışma planında 2011 Alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Takım olarak tek bir takım seçimi yapılmıştır. Kesme hızı değeri kesici takım üreticisinin önerdiği tablolardan alınmıştır. Tablolardan alınan kesme değeri için iki değer yüksek kesme hızı, bir değerde düşük kesme hızı seçilmiştir. Deneysel çalışmada kesme hızı değerleri 160-200-240-280 m/dak İlerleme miktarı kesici takım üreticisinin önerdiği tablolardan alınmıştır. Tablolardan alınan ilerleme değeri için bir değer yüksek ilerleme miktarı, iki değerde düşük ilerleme miktarı seçilmiştir. Deneysel çalışmada ilerleme miktarı değerleri 0,09-0,12-0,15-0,18 mm/devir olarak belirlenmiştir. Literatürde delik kalitesinin kesme hızı değişiminin etkin olduğu görülmüştür. 4-ilerleme miktarı ve 4-kesme hızı değeri için 16 bileşenli deney matrisi oluşturulmuştur. Her bir delik için karşılaştırma deliği ve çapraz kontrol deliği olmak üzere toplam 48 adet delik delme işlemi yapılmıştır. 8-adet deney numunesi hazırlanmıştır. Her bir numune parça üzerinde 2 farklı bileşenli delik delinmesi yapılmıştır. CNC programlamasında her bir parça için porogram yazılmış ve numuneler delme işleminden önce işaretlenmiştir. Bütün numunelerin 0 koordinat noktası işaretlenmiştir. Parçanın üst yüzeyi ve alt yüzeyi işaretlenmiştir. Matkapların her birinin ölçümleri yapılmış ve matkaplar numaralandırılmıştır. Numune delik delinmesinde matkap numarası işaretlenmiştir. Delik delme işlemi 31 mm numune parçada tek seferde, hız değişimi yapılmadan, tam

delik olarak uygulanmıştır. Soğutma sıvısı bütün delik delme işlemlerinde kullanılmıştır. Tablo 4.3.'de deney çalışması planı görülmektedir.

Soğutma sıvısı sabit kabul edilmiştir. Bütün delik parametreleri için değişim göstermeden sabit debi, sabit basınç ve aynı uygulamada kullanılmıştır.

Matkap ucu olarak Ø14 mm çapta tek bir kesici takım ucu kullanılmıştır.

2011 Alüminyum alaşımı için farklı kompozisyonlar kullanılmamıştır. Tek bir kompozisyon kullanılmıştır. Kullanılan malzeme sabit parametre alınmıştır.

Kesici takım kesme hızı değişken parametre olarak kabul edilmiş ve 4 farklı değer için çalışma yapılmıştır. 160 m/dak, 200 m/dak, 240 m/dak ve 280 m/dak

İlerleme miktarı değişken parametre olarak kabul edilmiş 0,09 mm/dev, 0,12 mm/dev, 0,15 mm/dev ve 0,18 mm/dev 4 farklı değer için çalışma yapılmıştır.

Tablo 4.3. Deneysel çalışma planı parametreleri (4x4=16 değişken)

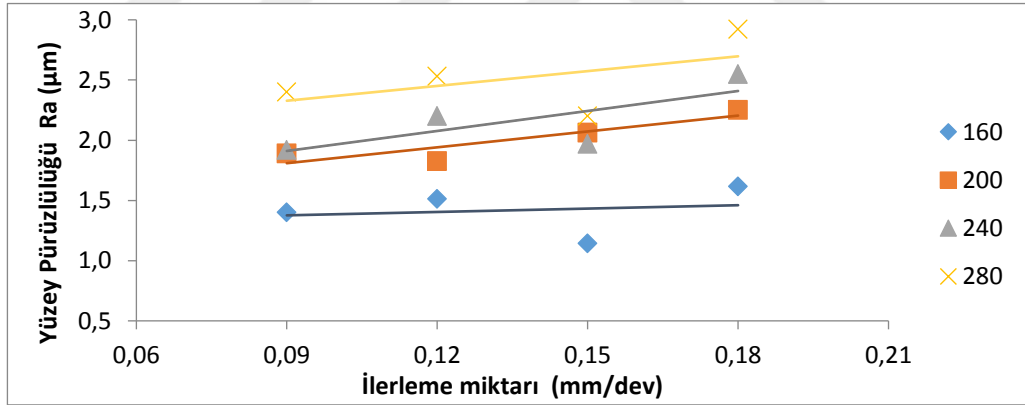
Deney no	İlerleme miktarı f_n (mm/dev)	Kesme hızı V_c (m/dak)
1	0,09	160
2		200
3		240
4		280
5	0,12	160
6		200
7		240
8		280
9	0,15	160
10		200
11		240
12		280
13	0,18	160
14		200
15		240
16		280

BÖLÜM 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, farklı ilerleme miktarı ve kesme hızı değerlerinden oluşan kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Uygulanan deneysel çalışmaların sonuçları kesme parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne, eksenel kaçıklığa, çapsal değişime ve daireselliğe etkilerinin değerlendirilmesi şeklinde incelenmiştir.

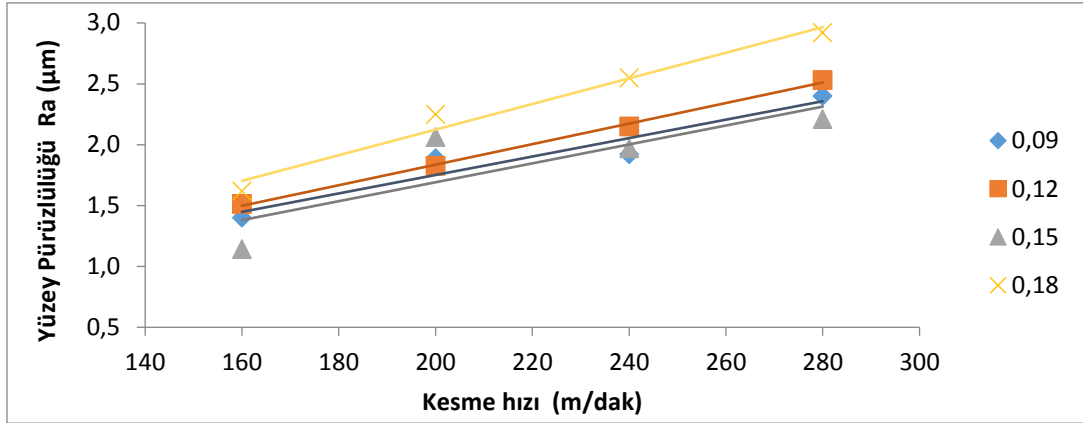
5.1. Yüzey Pürüzlülük Bulguları

Deneysel çalışmalar kapsamında yüzey pürüzlülüğüne, ilerleme miktarı ve kesme hızı parametrelerin etkileri incelenmiştir ve şekil olarak sunulmuştur. Şekil 5.1.'de ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisi görülmektedir.



Şekil 5.1. İlerleme miktarı yüzey pürüzlülüğü değişimi grafiği

İlerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişim %5 ile %20 seviyelerde değişimi görülmüştür. 160 m/dak kesme hızı değeri için çok belirgin şekilde gözlenmektedir. 200 m/dak ve 240 m/dak değerlerinde artış eğiliminde olmasına rağmen değişim göstermediği kabul edilebilir seviyededir. 280 m/dak değeri için artış daha da azdır. Şekil 5.2.'de kesme hızı değişiminin yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisi görülmektedir.

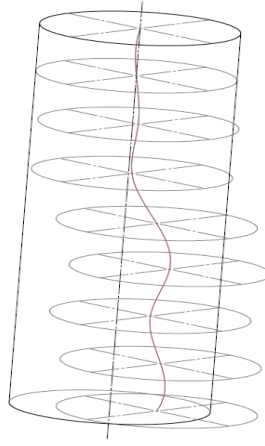


Şekil 5.2. Kesme hızı yüzey pürüzlülüğü değişimi grafiği

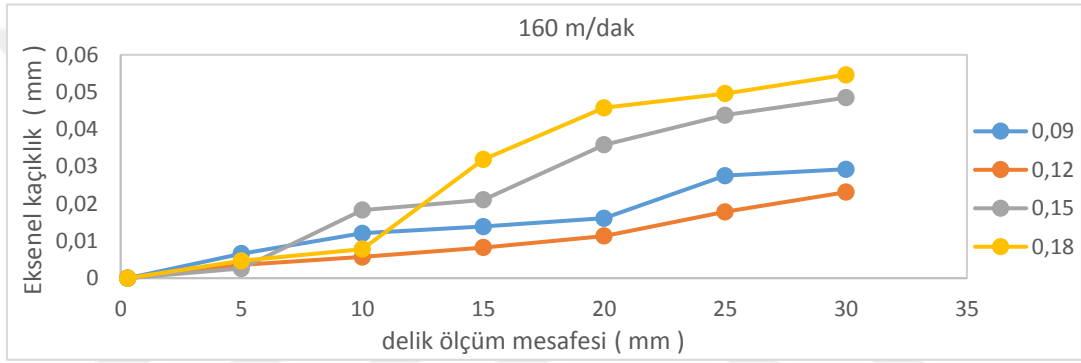
Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değeri % 30 ile % 60 oranında artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Herbir ilerleme miktarı için kesme hızı artırılması lineer bir artış göstermiştir. 280 m/dak kesme hızı değerinde bütün ilerleme hızlarında pürüzlülükte en yüksek değerlerde görülmüştür. 280 m/dak hızda en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,15 mm/dev miktarında görülmüştür.

5.2. Eksenel Kaçıklık Bulguları

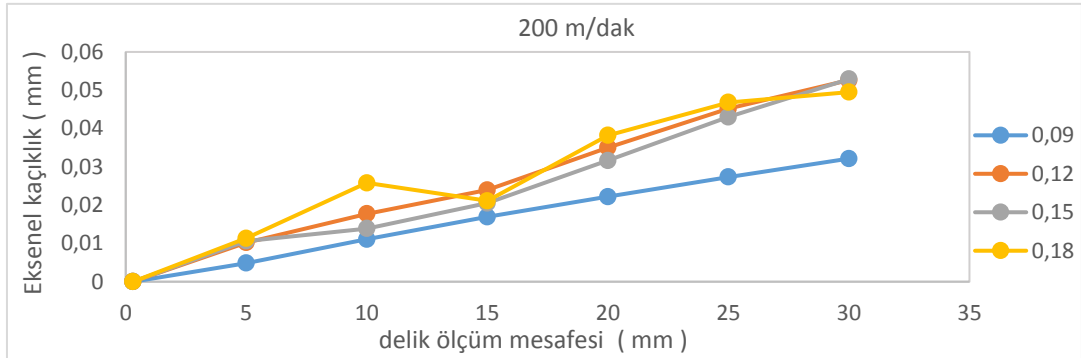
Eksenel kaçıklık değeri delik ekseninin teorik ekseninde uzaklaşma miktarı ölçümlenmiştir. Delik boyunca her 5 mm ilerleme ile ölçüm alınmıştır. İlk ölçüm delik başlangıcından 0,3 mm iç kısımda alınmıştır. Delik girişinde çapak olma olasılığı ve ölçüm probunun çap değerinden kaynaklı olarak planlanmıştır. Sırası ile 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm delik derinliklerinde ölçümler alınmıştır. Şekil 5.3.'de şematik eksen kaçıklık gösterimi gösterilmiştir. Eksenel kaçıklık değerleri kesme hızına bağlı ve ilerleme miktarına bağlı olarak sunulmuştur. X-ekseni ve Y-eksenindeki kaçıklık hesaplanmıştır. Değerlendirmede X-ekseni ve Y-ekseni kaçıklık değerlerinin bileşkesi alınmıştır. Kaçıklık değerleri ilerleme miktarı parametresi ve kaçıklık değerleri kesme hızı parametreleri grafikleri sunulmuştur. Kesme hızı ve eksenel kaçıklık grafikleri aşağıdaki Şekil 5.4., Şekil 5.5., Şekil 5.6. ve Şekil 5.7.'de gösterilmektedir.



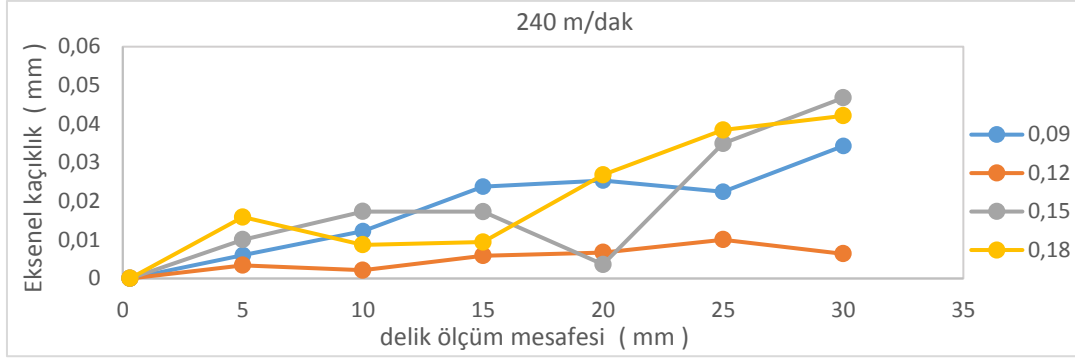
Şekil 5.3. Eksenel kaçıklık şematik gösterimi



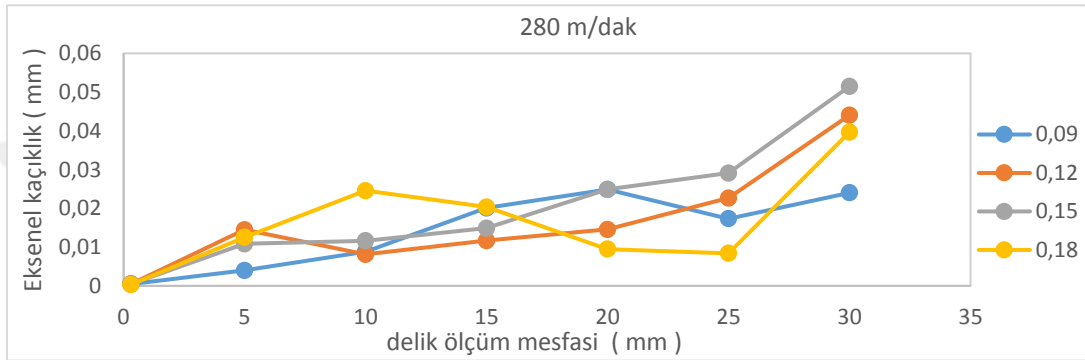
Şekil 5.4. 160 m/dak kesme hızı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği



Şekil 5.5. 200 m/dak kesme hızı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği



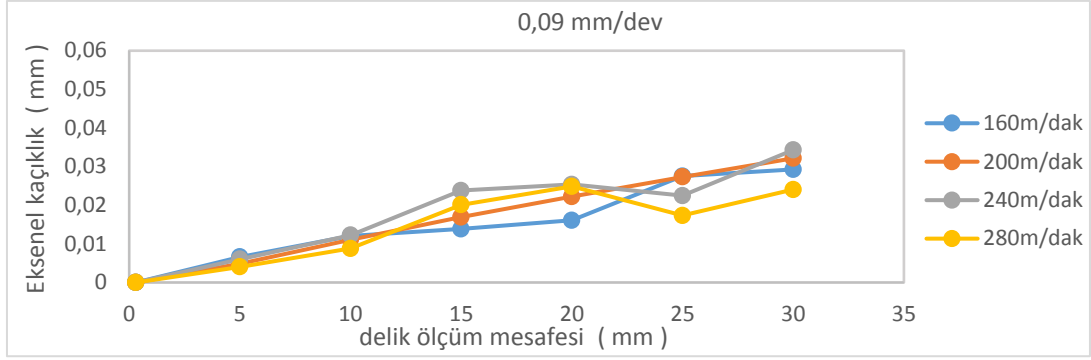
Şekil 5.6. 240 m/dak kesme hızı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği



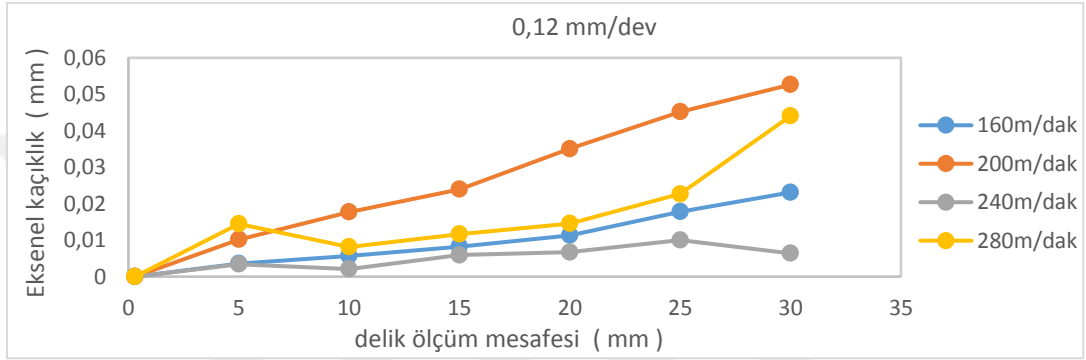
Şekil 5.7. 280 m/dak kesme hızı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği

Kesme hızı değerlerinde eksenel kaçıklık değeri delik derinliği ilerledikçe artma eğilimindedir. Delik 15mm mesafeye kadar eksenel kaçıklık değerleri 0,03 mm değeri aralığında kalmaktadır. Delik derinliği artması ile eksenel kaçıklıkta farklı davranışlar gözlenmiştir. Kesme hızının düşük oluşu 160 m/dak ve 200 m/dak olduğu durumlarda eksenel kaçıklık artış hızı yüksektir. 240 m/dak ve 280 m/dak değerleri için artış diğer hızlarda azdır. 25 mm delik derinliğinde sonra bütün eksenel kaçıklık arttığı görülmüştür. En düşük eksenel kaçıklık 240 m/dak ve 0,12 mm/dev parametrelerinde olduğu görülmektedir. En yüksek eksenel kaçıklık 160 m/dak ve 0,18 mm/dev değerinde görülmektedir.

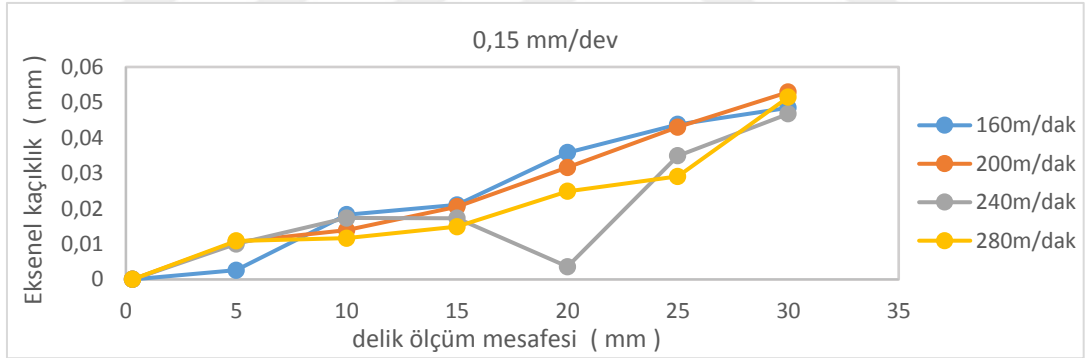
Eksenel kaçıklık değeri ile ilerleme miktarı değişimi Şekil 5.8., Şekil 5.9., Şekil 5.10. ve Şekil 5.11.'de gösterilmiştir. İlerleme miktarı değişimi ile eksenel kaçıklık değerleri incelendiğinde en düşük eksenel kaçıklık değerleri 0,09 mm/dev ilerleme miktarında görülmektedir. Bütün kesme hızları için lineer artan değerler elde edilmiştir. Kesme hızının artması ile lineer artış devam etmektedir.



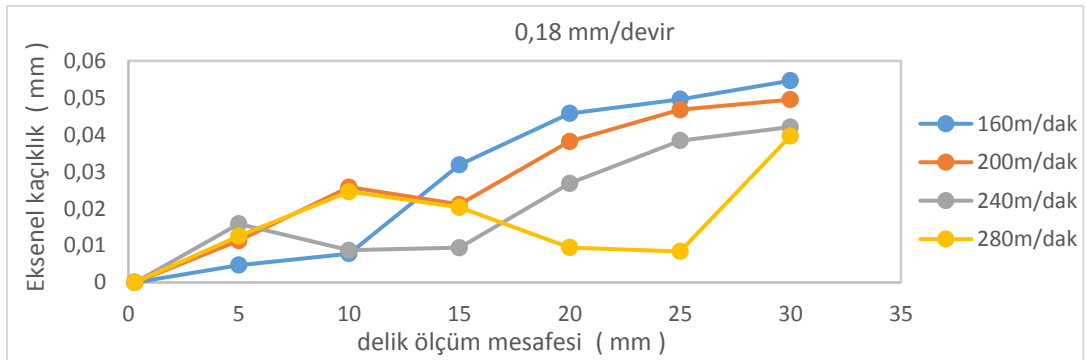
Şekil 5.8. 0,09 mm/dev ilerleme miktarı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği



Şekil 5.9. 0,12 mm/dev ilerleme miktarı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği



Şekil 5.10. 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği



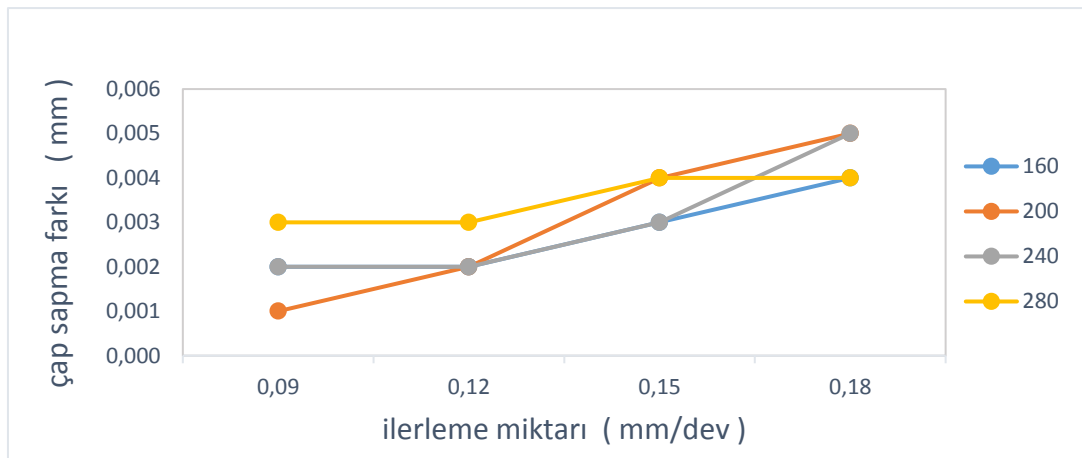
Şekil 5.11. 0,18 mm/dev ilerleme miktarı ve eksenel kaçıklık değişimi grafiği

İlerleme miktarı değişimi 0,09 mm/dev, 0,12 mm/dev, 0,15 mm/dev değerleri için lineer bir artışla değişim görülmektedir. 0,18 mm/dev ilerleme miktarında eksenel kaçıklıklarda lineer olmayan değişimler görülmüştür. İlerleme miktarının artması ile eksenel kaçıklık değerlerinde artış görülmektedir. Delik boyunun 15mm mesafesine kadar ciddi artışlar görülmezken 15mm den sonraki ölçümlerde eksenel kaçıklık değerlerinde yüksek oranda artışlar görülmektedir. İlerleme miktarının artırıldığı 0,15 mm/dev ve 0,18 mm/dev miktarlarında kesme hızının artması ile eksenel kaçıklığın azaldığı görülmektedir. Delik kalitesi açısından en uygun değerler 0,12 mm/dev ve 240 m/dak parametrelerinde ölçümlenmiştir.

5.3. Çapsal Değişim Bulguları

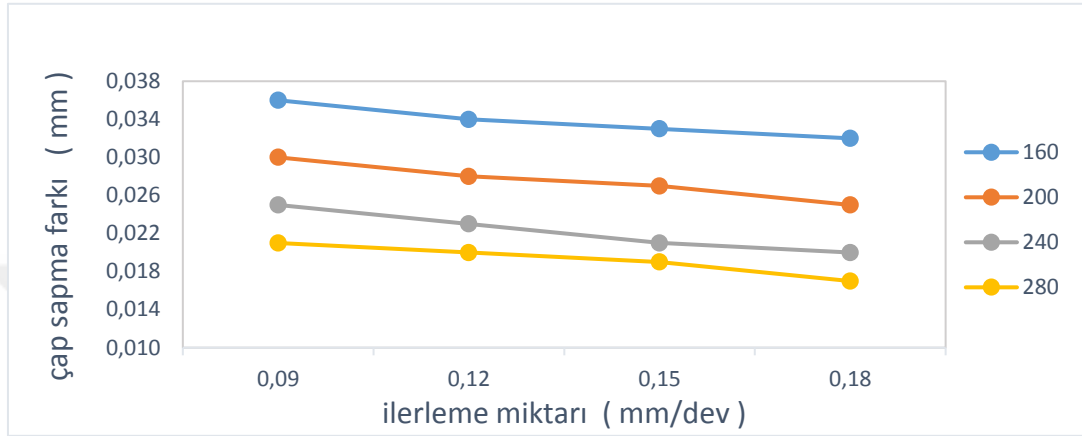
Çapsal değişim; deliğin çap değerinin gerçek değeridir. Teoride 14.000 mm delik delmek için 13,990 mm ile 13,986 mm ölçülerinde matkap uçları kullanılmıştır. Matkap üreticileri nominalde 14,000 mm delik delinmesi için matkap çapını düşük ölçüde imal etmektedirler.

İlerleme miktarına bağlı olarak delik giriş çap sapmalarının matkap çapı değerlerine yakın değerlerde ölçümlenmiştir. İlerleme miktarının artması ile lineer ve az miktarda artışlar görülmüştür. Düşük kesme hızlarında delik girişlerindeki çapsallık ihmal edilecek seviyede değişim ölçülmüştür. İlerleme miktarının artması ile delik çap değerinin değişiminde artış görülmektedir. Şekil 5.12.'de delik giriş çap sapması ve ilerleme miktarı değişimi grafiği verilmiştir.



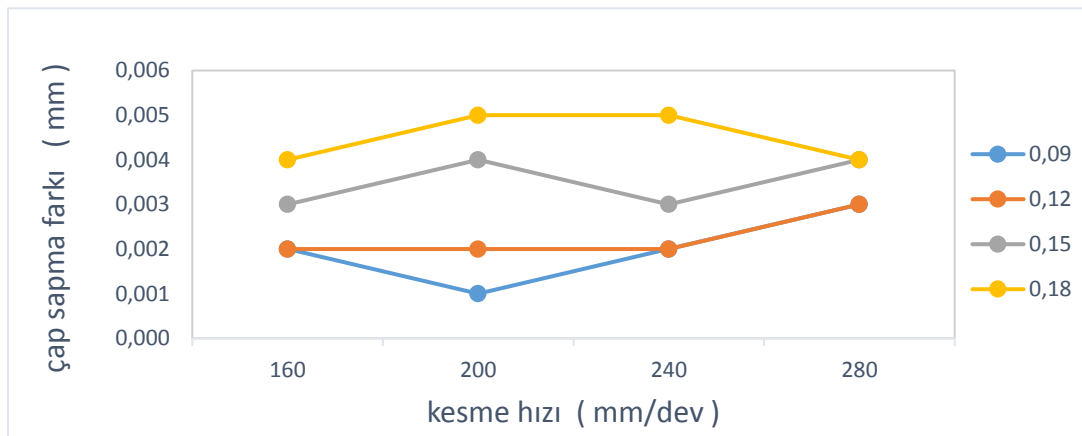
Şekil 5.12. Delik giriş çap ölçümü ve ilerleme miktarı değişimi grafiği

Delik çıkışındaki çap ölçümleri ilerleme miktarı değişimi için Şekil 5.13.'de delik çıkış çap ölçümü ve ilerleme miktarı değişimi grafiği de gösterilmiştir. İlerleme miktarının artması ile delik çap farkının azaldığı görülmektedir. 0,09 mm/dev ilerleme miktarında değerlerinde en yüksek çap farkları ölçülmüştür. 0,18 mm/dev değerinde en düşük çap değişim değerleri ölçülmüştür.



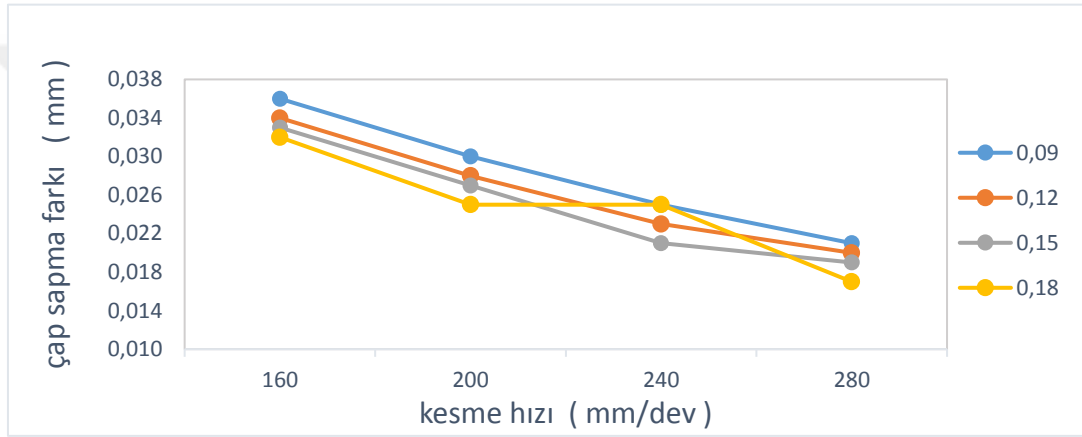
Şekil 5.13. Delik çıkış çap ölçümü ve ilerleme miktarı değişimi grafiği

Kesme hızı değişimi ile giriş çap ölçümleri değerlendirildiğinde ilerleme miktarının artması ile delik çap ölçümlerinde çap değişimleri çok az fark göstermekte olup değişim olmadığı kabul edilebilir. İlerleme hızının yüksek olduğu her bir ilerleme miktarında çaptan en fazla artış görülmektedir. İlerleme miktarının en düşük değerinde ilerlemenin her bir değeri için düşük çap artışı değerleri görülmektedir. Şekil 5.14.'de delik çıkış çap ölçümü ve kesme hızı değişimi grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Delik giriş çap ölçümü ve kesme hızı değişimi grafiği

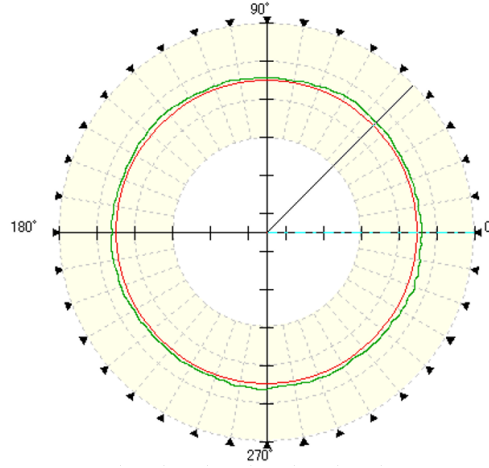
Kesme hızı değişimi ile çıkış çap ölçümleri değerlendirildiğinde ilerleme miktarı artması ile delik çap ölçümlerinde çap değişimlerinde azalma göstermekte olup ciddi iyileşmeler görülmüştür. Kesme hızının en yüksek değeri ve bütün ilerleme miktarında çaptan sapma en düşük değerindedir. Kesme hızının artması çap sapma değerine olumlu yönde etki etmektedir. Şekil 5.15.'de delik çıkış çap ölçümü ve kesme hızı değişimi grafiği verilmiştir. İlerleme miktarının 0,09 mm/dev, ilerleme miktarının 160 m/dak olduğu değerde çapsallık değeri en yüksektir. 0,18 mm/dev, 280 m/dak değeri için çapsallık değeri en düşük değerdir. İlerleme miktarının artması çapsallık değerinde lineer azalmaya sebep olmaktadır.



Şekil 5.15. Delik çıkış çap ölçümü ve kesme hızı değişimi grafiği

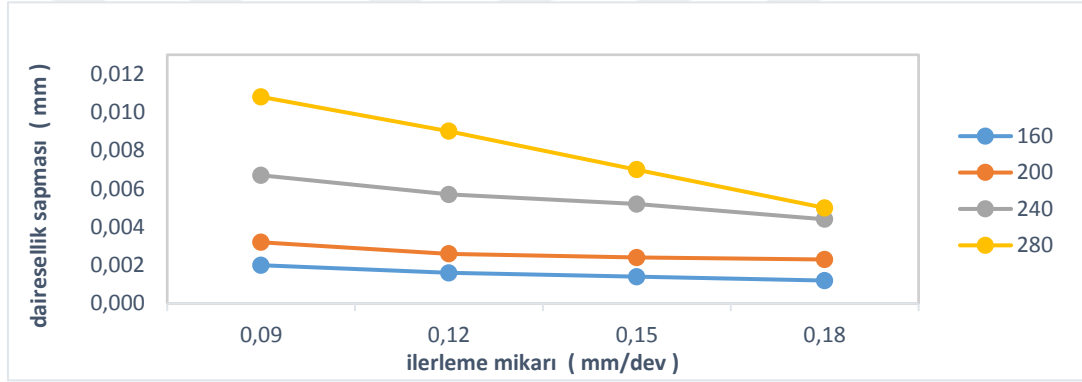
5.4. Dairesellik (Yuvarlaklık) Bulguları

Yuvarlaklık değişimi (roundness) delik kalitesinde; delik delinmesinde oluşan deliğin teorik delik dairesi ile gerçek delik dairesin arasındaki farkın miktarını belirtir. Şekil 5.16.'da yuvarlaklık şematik olarak gösterilmiştir. Kırmızı renk ile belirtilen delik teorik dairesidir. Yeşil belirtilen daire ölçümü yapılan delik dairesidir. Bu iki değer arasındaki sapma değerleri min yuvarlaklık, max yuvarlaklık ve ortalama yuvarlaklık değerleri olarak hesaplanıp değerlendirilirler. Bu değerler 3D ölçüm cihazlarının ölçüm kabiliyeti ve programlama yetkinliği ile ölçümlenirler. Çalışmamızda delik giriş yuvarlaklık ve delik çıkış yuvarlaklık değerleri ölçümlenmiş ve değerlendirilmiştir.



Şekil 5.16. Dairesellik (roundness) şematik gösterimi

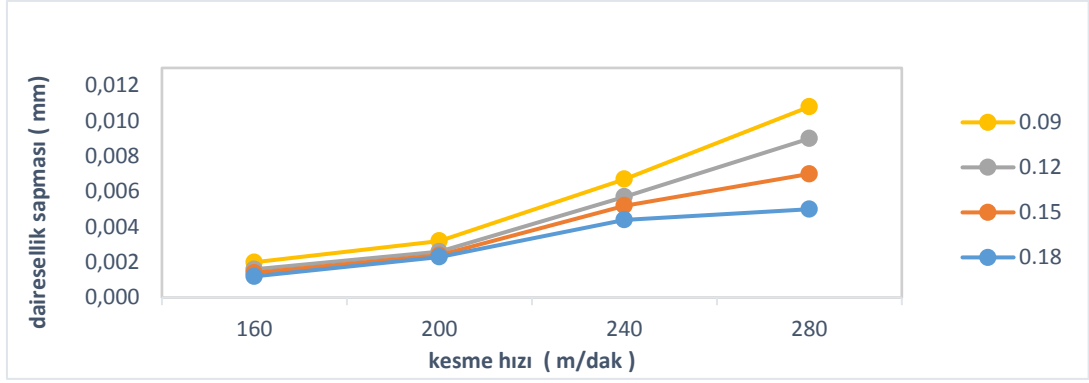
İlerleme miktarı ile delik giriş dairesellik değerlendirmesi Şekil 5.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.17. İlerleme miktarı delik giriş dairesellik değişim grafiği

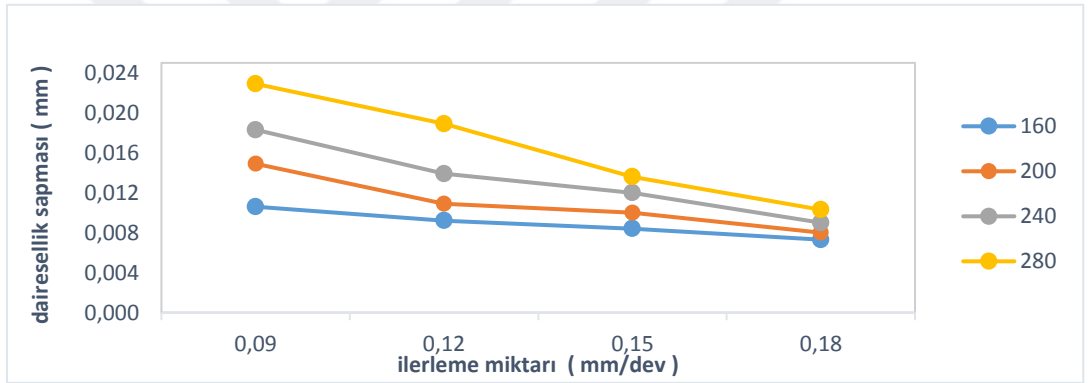
İlerleme miktarının artması 160 m/dak, 200 m/dak ve 240 m/dak değerlerinde az miktarda lineer olarak iyileşme eğilimindedir. 280 m/dak değeri için iyileşme eğilimi daha yüksektir. En iyi dairesellik değeri 160 m/dak değeri ve 0,18 mm/dev parametrelerinde ölçümlenmiştir. En yüksek dairesellik değeri 280 m/dak ve 0,09mm/dev parametrelerinde ölçümlenmiştir. Delik giriş dairesellik değeri için ilerleme miktarının artması olumlu etki etmektedir.

Kesme hızının artması Dairesellik değerinin artmasına sebep olmaktadır. Kesme hızının 160m/dak değerinde bütün ilerleme hızları için aynı değerler elde edilmiştir. 280 m/dak kesme hızında en düşük değer 0,18 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir. Şekil 5.18.'de kesme hızı dairesellik değişimi görülmektedir.



Şekil 5.18. Kesme hızı delik giriş dairesellik değişim grafiği

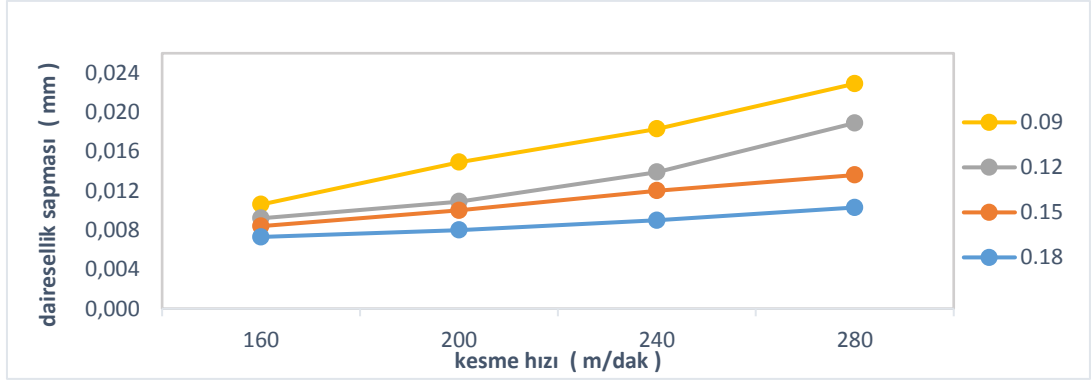
Delik çıkışındaki dairesellik değerlendirmesinde ilerleme miktarının artması dairesellik değerlerinde iyileşmeye sebep olmaktadır. Şekil 5.19.'da ilerleme hızı delik çıkış dairesellik değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.19. İlerleme miktarı delik çıkış dairesellik değişim grafiği

0,09 mm/dev ilerleme miktarı değeri için kesme hızının artması dairesellik değeri için olumlu iyileşme olurken 0,18 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızı artması daha fazla dairesellik değerini iyileştirmektedir. Yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarı değerinde dairesellik için yakın değerler elde edilmiştir. 2011 Alüminyum alaşımının yüksek hızlarda işlenebilme kabiliyetine uygun olduğu tespit edilebilmektedir.

Kesme hızının artması dairesellik değerinde küçük de olsa artışa sebep olmaktadır. Bu artış yok kabul edilebilir. Şekil 5.20.'de Kesme hızı delik çıkış daireselik değişimi görülmektedir. İlerleme miktarının yüksek olduğu 0,18 mm/dev de bütün kesme hızı değerleri için yakın değerler ölçümlenmiştir.



Şekil 5.20. Kesme hızı delik çıkış dairesellik değişim grafiği

Düşük ilerleme miktarına dairesellik değerleri en kötü sonuçlar ölçümlenmiştir. İlerlemenin düşük olması dairesellik değerini olumsuz etkilemektedir.

BÖLÜM 6. TARTIŞMA ve SONUÇ

6.1. Tartışma

Bu çalışmada, AA2011 alüminyum alaşımlarının kaplamasız karbür takımlarla farklı kesme parametreleri ve ilerleme miktarı şartları uygulanarak delinmesi suretiyle yapılan deneyler sonunda, deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), çaptan sapmalar, dairesellikten sapmalar ve eksenel kaçıklık (silindiriklikten sapmalar) ile elde edilen sonuçların literatürle karşılaştırılması özetlenmiştir:

Yüzey pürüzlülük bulgularında;

Meral G. tarafından yapılan bir çalışmada kesme hızının her üç çap için de, elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin artan kesme hızı ile azaldığı, artan ilerleme değerlerine bağlı olarak ise az arttığı görülmüştür. Bu durum, geleneksel talaş kaldırma işlemlerinde beklenen tarzda gelişmiştir [22]. Küçük Y. Tarafından yapılan bir çalışmada artan kesme hızları yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde önemli bir varyasyona sebep olmamaktadır. Kesme hızının tüm düzeylerinde en iyi pürüzlülük değerleri elde edilmiştir [54]. Literatürde ilerleme miktarının artması pürüzlülük değeri üzerinde yüksek seviyede değişime sebep olmadığı, Kesme hızının pürüzlülük değeri üzerinde daha belirgin değişimlere sebep olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmadaki sonuçlar literatür ile paralellik göstermektedir. Kesme hızının artışı yüzey pürüzlülüğünde etken bir parametredir.

Eksenel kaçıklık bulgularında;

Meral G. tarafından yapılan çalışmada ilk delikten son deliğe silindiriklikten sapma değerlerinde içten MMY uygulamada % 20-30, dıştan MMY uygulamada % 90-85, geleneksel soğutmada % 20-30 ve basınçlı havayla soğutmada % 70-80 artış olduğu görülmüştür [22].

Matkapla elde edilen deliklerin geometrik tamlığı üzerinde, kaplama uygulaması ve çapa göre, kesme hızı ve ilerlemenin daha etkili parametreler olduğu söylenebilir ve daireselliğin önemli olduğu uygulamalarda kesme hızı ve ilerlemenin, önerilen aralık içerisinde daha düşük değerlerde seçilmesi tavsiye edilir. Silindiriklikten sapma veya eksenel kaçıklık üzerinde matkap çapının en etkili parametre olduğu görülmüştür [32]. Eksenel kaçıklık değeri deliğin uzunluğuna iş parçası malzemesine bağlı olarak değişim göstermektedir. Literatürde 15-20 mm parçaların delik işlemi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda sonuçlarda delik boyunun 15-25 mm aralıkta literatürle aynı özelliklerde değişim görülmüştür. Yapılan çalışmada sonuçlar literatür delik kalitesinde daha hassas toleranslarda delik elde edilmiştir.

Çapsallık (çaptan sapmalar) bulgularında;

Çakır A. tarafından yapılan çalışmada malzeme türünün çaptan sapmalar üzerindeki etkisine bakıldığında ise hemen hemen tüm şartlarda ölçülen sapma değerlerinin fazla olduğu görülmektedir [32]. Çap değişimi iş parçasının mekanik özellikleri, tezgâh titreşimi değerlerine direk bağlantılıdır. Literatürde 17-20 mm boyda delikler delinmiş ve çap sapmaları irdelenmiştir. Delik boyu artması ile çap değerinde teorik çap ölçüsünde artış görülmektedir. Özellikle 10-15 mm delik boylarında düşük değişimler görülürken, uzun delik boylarında çapsal değişim artmaktadır. Deneysel çalışma sonuçuda literatürle paralellik göstermektedir. Kesici takımın kesme hızının artması çap sapma değerlerine olumlu etki etmektedir.

Dairesellik bulgularında;

Çakır A. tarafından yapılan çalışmada Dairesellikten sapma üzerinde, kaplama ve çaptan ziyade, kesme parametrelerinin daha etkili olduğu belirlenmiştir. Artan kesme hızı ve ilerleme değerleri ile beraber dairesellik de artmıştır [32]. Meral G. tarafından yapılan çalışmada ilerlemelerdeki artış tüm çıktı parametrelerinde genelde artışa neden olmuştur. İlerlemelerdeki % 150 artışın ilerleme kuvvetlerinde % 30-60, momentlerde % 45-50, yüzey pürüzlüklerinde % 40-60, çaptan sapmalarda % 200, dairesellikten sapmalarda % 110-75 ve silindiriklikten sapmalarda % 75-85 artışlara neden olduğu görülmüştür [22]. Delik delme de teorik olarak tam daire bir delik tasarlanır. Gerçekleşmede delik daire modelinde uzaklaşır. Matkap çapına, matkap titreşimine,

balansına, iş parçası malzemesine göre bu değişim artış gösterir. Özellikle kesme hızının artması dairesellikte iyileşmeye sebep olmaktadır. Meral G. tarafından yapılan çalışmada Elde edilen delik çaplarında anma çapına bağlı ölçü tamlığı için, önerilen sınırlar içinde, daha yüksek kesme hızları, yüksek ilerleme değerleri ve kaplamalı takım kullanılması tavsiye edilir [22]. Deneysel sonuçlar literature uyum sağlamakta olup Alüminyum alaşımı 2011-T6 alaşımı için karbür matkap çalışması sonuçları endsütrideki bir çok uygulama toleranslarını karışlamaktadır. Lİteratürde farklı matkap kaplamalarının kullanılması olumlu sonuçlar vermiştir. Kesme hızı ve ilerleme miktarının artması dairesellik geometrisinde olumlu etki sağlar.

6.2. Sonuç

Alüminyum alaşımı 2011-T6 için yapılan çalışmalarda delik yüzey pürüzlülüğü, eksenel kaçıklık, çapsallık, dairesellik değerlerin değerlendirmesi yapılmış ve delik kalitesi için aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- a. İlerleme miktarının artması Yüzey pürüzlülük değerinde değişime sebep olmadığı kabul edilebilir. Küçük değer artışları olmasına karşın ciddi artış söz konusu değildir.
- b. Kesme hızının artması yüzey pürüzlülüğünde Ra değerinin artmasına ve yüzey kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Kesme hızının artması kesici takım üzerine gelen kuvvetleri ve monetleri artırmakta, talaş tahliyesinin kaliteli yapılmasını önlemekte, yüksek iş mili hızlarında titreşimin etkisi olarak pürüzlülük artmaktadır.
- c. Kesme hızının artması eksenel kaçıklık değerinde 15 mm delik boyuna kadar düşük seviyede artış göstermektedir. Delik boyu 15 mm den sonraki değerlerde yüksek seviyede artış göstermektedir. 240 m/dak kesme hızı değerinde 0,12 mm/dev ilerlemede en iyi eksenel sapma değerlerine ulaşılmıştır.
- d. İlerleme miktarının artması eksenel sapma değerini arttırmaktadır.
- e. Delik giriş çapsallık değişimi ilerleme miktarı ve kesme hızı değişimi ile değişmediği kabul edilmelidir. Delik girişinde matkap üzerinde moment oluşumu az olmasından kaynaklı delik çap matkap çapına yakın değerdedir.

- f. Kesme hızı artması delik çıkışındaki çapsallık değerinde olumlu sonuçlar alınmasını sağlamıştır. Yüksek kesme hızına karşılık yüksek iş mili hızında kesici takım balans en az değerde tutulabilmektedir.
- g. İlerleme hızının artması ile delik çıkışındaki çapsallık değerlerinde iyileşme ve yüksek kalite elde edilmiştir. Çapsallık açısından ilerleme hızı kesme hızından daha etkin parametredir.
- h. İlerleme miktarının artması dairsellik değerinde iyileşme sağlarken Kesme hızının artması olumsuz etki göstermektedir. Kesme hızının en yüksek değeri ve ilerleme miktarının en yüksek değeri için dairsellikte iyileşme görülmektedir.
- i. Delik giriş için tespitler delik çıkışında da aynı ölçülerde kabul edilebilir.
- j. İlerleme miktarı ve kesme hızı değerleri artışı dairselli ve yuvarlaklık değerinde iyileşmeye, yüzey pürüzlülüğünü ve kesenel kaçıklıkta olumsuz etkiye sahiptir.
- k. Delik kalitesinin en iyi değerleri 240 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme miktarı elde edilmiştir.
- l. Daireselilik ve çapsallık değerleri için kesme hızı ve ilerleme miktarı artırılması uygundur. 15 mm delik boyuna kadar yüksek hızlarda delikler düşük maliyetlerle delinebilmektedir. 15 mm den uzun delik boylarında kesme hızlarında azalma, gagalama delme, step delme yöntemleri denenmelidir. Delik delme prosesinde kesme hızının delik başlangıcında % 50 kesme hızında sonrasında % 100 kesme hızında ve delik sonuna yakın mesfede % 50 kesme hızında delik kalitesini arttıracaktır.
- m. Delik yüzey ölçümünde çapak oluşumuna raslanmamıştır. Talaş tahliyesi sorunu yaşanmamıştır. Oluşan talaş mükemmel karakterde olduğu ve kontrolünün kolay olduğu görülmüştür. 2011 alüminyum alaşımının işlenebilirliği yüksek hızlarda mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] E. Van, Alüminyum üretim süreçleri TMMOB metalürji mühendisleri odası, 2011, İstanbul.
- [2] S. Koch, H. Antrekowitsch, “Investigations of lead-free aluminium alloys for machining”, World of Metallurgy – Erzmetall 64, No.1, pp. 26-30, 2011.
- [3] Ş. Bayraktar, Y. Siyambaş, Y. Turgut, “Delik delme prosesi: bir araştırma”, Sakarya University Journal of Science, Vol. 21, No. 2, pp. 120-130, 2017.
- [4] K. Giasin, A.Hodzic, V.Phadnis, S.A. Soberanis, “Assessment of cutting forces and hole quality in drilling Al2024 aluminium alloy”, experimental and finite element study”, Int J Adv Manuf Technoloji, Vol. 87, pp. 2041–2061, 2016.
- [5] M. Kurt, Y. Kaynak, E. Bağcı, “Evaluation of drilled hole quality in Al 2024 alloy” Int J Adv Manuf Technoloji, Vol. 37, pp.1051-1060, 2008.
- [6] M. K. Chaanthini, M. Shanmugam, A. Sanjivi, “Study on Hole Quality in Drilling AA 6063 Plate under CryogenicPre-Cooling Environment”, Materials Today: Proceedings, Vol. 4, pp. 7476–7483, 2017.
- [7] S. Erkal, AA2024 Alüminyum alaşımlarında yaşlandırma ısıtıl işleminin mekanik özelliklere ve işlenebilirliğe etkisi Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2011.
- [8] <http://www.matweb.com>., Erişim Tarihi; 04.04.2019.
- [9] H. Kafalı, AA2024 Alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağında kayanak parametrelerinin birleşmeye etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi 2009.
- [10] ODTÜ Metalurji ve malzeme mühendisliği50. Yıl Sempozyumu, 2016 Ankara.
- [11] R. Tekin, AA2014 aa6082 Alüminyum alaşımlarının oksidasyonu ve mekanik özelliklerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi 2014.
- [12] T. Sayaca, Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen 2000 serisi alüminyum alaşımlarının davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniveristiesi, 2010.

- [13] <http://seykoc.com.tr/icerik/2011.>, Erişim Tarihi; 04.04.2019.
- [14] E. Doruk, AA 6082 Alüminyum alaşımının yorulma davranışı üzerine temper durumunun etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, 2015.
- [15] S. Üler, AL2024Alüminyum sacın inkremental şekillendirilebilirliğinin incelenmesi, Yüksek lisans Tezi Dumlupınar Üniversitesi 2011.
- [16] The Alumininum Association [AA], 1988.
- [17] E. Geçkinli, Alüminyum ve alaşımları ısıl işlemi, 2. Isıl işlem sempozyumu İstanbul/Türkiye 2008.
- [18] O.Çelik, A.Zeybek, G.Çelik, M.B: Güner, Effect of Chemical Composition, Solution Treatment and Artificial Aging on Microstructure and Mechanical Properties of AA 2011, Makale, 19. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi | IMMC 2018, sayfa 240-243.
- [19] B. Oęuz, demir dışı metallerin Kaynağı Oerlıkön yayını 1990.
- [20] E. Demir, Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem Etkilerinin incelenmesi Dokuz Eylül Üniversitesi. 2008.
- [21] almatter, bt, <http://aluminium.matter.org.uk.>, Erişim Tarihi; 06.04.2019.
- [22] G. Meral, 1050 malzemenin delinmesinde delme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerindeki etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi 2010.
- [23] H.L.Tonshoff, W. Spintig, W.König, A. Neises, Machining of Holes Developments in Drilling Techonolgy, Annals of the CIRP, 43 (2) : 551-560 1994.
- [24] <https://www.sandvik.coromant.com.>, Erişim Tarihi; 06.04.2019.
- [25] [https://www.makinaegitimi.com/rayba-ve-raybalama-nasil-yapilir/.](https://www.makinaegitimi.com/rayba-ve-raybalama-nasil-yapilir/), Erişim Tarihi 06.04.2019.
- [26] [https://www.bilgiustam.com/raybalama-nedir-nasil-yapilir/.](https://www.bilgiustam.com/raybalama-nedir-nasil-yapilir/), Erişim Tarihi; 06.04.2019.
- [27] Y. Kaplan, Delik delmede farklı parametrelerin kesme kuvveti, moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve çapak oluşumuna etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi 2010.

- [28] Y. Kara, TiAlN ve TiN kaplamalı matkaplarla C38 dövme çelik malzemesinin derin delik delme işleminin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi 2015.
- [29] K. Yaman, N Bıçakçı, A Özgedik, Matkap boyunun delik toleranslarına etkisinin incelenmesi, Politeknik Dergisi, 2017; 20 (4) : 765-775.
- [30] Sandvik Coromant Kesici Takım El Klavuzu, İsveç, (2008).
- [31] <http://www.atateknik.com.tr/wp-content/uploads/2016/09/52-Son-isleme-icin-onerilen-Kesme-Degerleri.pdf>, Türkiye, 2019.
- [32] A. Çakır, AA 7075 ve AA 2024 Alüminyum malzemelerine delik delinmesinde soğutma yöntemlerinin işleme performansına etkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 2015.
- [33] Makine Teknolojisi Ölçülendirme ve Yüzey İşlemleri MEGEP 2007.
- [34] M.G. Kutay, Toleranslar ve ölçümlendirme, www.guven-kutay.ch, 2009.
- [35] Y.H.El Naser, D. Karayel, S.S. Özkan, G. Atali Talaşlı İmalatta Otomatik Çapak Alma İşlemi için Endüstriyel Robot Kol Tasarımı, Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017.
- [36] http://www.aksan-tm.com/makale/capak_alma_nedir.php, Erişim Tarihi; 09.04.2019.
- [37] J.C.Mellinger, O.B.Özdoğanlar, R.E.Devor, S.G.Kapoor, Modelling chip evacuation forces and prediction of chip-clogging in drilling, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2002.
- [38] http://tdemir.etu.edu.tr/MAK%20102_dosyalar/mak102geometrik_toleranslar_04.pdf, Erişim Tarihi; 11.04.2019.
- [39] M.Akkurt, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezğahları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998.
- [40] <http://www.karburuc.com/?pnum=39&pt=CNC+DEV%C4%B0R+VE+%C4%B0LERLEME+>, Erişim Tarihi; 13.04.2019.
- [41] U. Çaydaş, M. Çelik, AA 7075-T6 Alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım sıcaklığı ve ilerleme kuvvetine etkilerinin araştırılması, Politeknik Dergisi, 2017; 20 (2) : 419-425.
- [42] Y. Sahin, Talas Kaldırma Prensipleri II, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Sti., Ankara, Türkiye 2000.

- [43] Iowa Waste Reduction Center, Cutting Fluid Management in Small Machine Shop Operations, University of Northern Iowa, p.43. 2003.
- [44] J.P. Byers, Metalworking Fluids, Taylor & Francis, New York, pp.104-105, 2006.
- [45] D.A. Stephenson, J.S.Agapiou, Metal Cutting Theory and Practice, CRC Taylor and Francis, USA. 2006.
- [46] U. Akben, Minimum Miktarda Yağlama (MMY) ile Kesmenin Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [47] K. Arslantaş, Üretim yöntemleri-2 ders notu Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2016.
- [48] <https://www.mazakeu.com/da/machines/vtc-300c/>., Erişim Tarihi; 14.04.2019.
- [49] <https://www.tasarimdanimalata.com/talasli-imalat-yontemleri/>., Erişim Tarihi; 14.04.2019.
- [50] https://www.wnt.com/mastertool?fcode=m_cs_catdetail&m_cs_GV_ITMGUID=oh_fzReS27kcO{8phiNs8Gm.., Erişim Tarihi; 14.04.2019.
- [51] <http://www.ses3000.com/makinalar/ycm-cnc/ycm-cnc-islem-merkezleri/ycm-nsv106a-yuksek-hassasiyetli-ve-hizli-cnc-dik-isleme-merkezi-g/> Erişim Tarihi;13.04.2019.
- [52] <http://kemalaras.com.tr/paslanmaz-celiklerde-imalat/> Erişim Tarihi;14.04.2019.
- [53] <http://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=75> Erişim Tarihi; 14.04.2019.
- [54] Y. Küçük, Deli işlemede takımama sisteminin delik kalitesi üzerine etkilerinin deneysel deneysel olarak araştırılması, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019

ÖZGEÇMİŞ

Özgür BATMAN 1973 Trabzon’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Trabzon’da tamamladı. Lise eğitimini Sakarya Ali Dilmen Lisesini tamamladıktan sonra 1995 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde Lisan eğitimini tamamladı. Askerlik görevini tamamladıktan sonra 1997’de Makine mühendisi olarak özel sektörde çalışmaya başladı. Özel sektörde çalışmaya devam etmektedir. Yüksek lisans eğitimine Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği’nde devam etmektedir.