

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİNKO VE BAKIR KATKILARININ AL-7Sİ ALAŞIMININ
İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

FURKAN AFYON

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ ŞENOL BAYRAKTAR

TEZ JÜRİLERİ

DOÇ. DR. YASİN ALEMDAĞ

DR. ÖĞR. ÜYESİ ALİ PAŞA HEKİMOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RİZE-2019

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

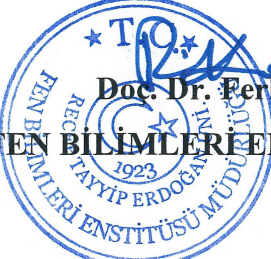
**ÇİNKO VE BAKIR KATKILARININ AL-7Sİ ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Dr. Öğr. Üyesi Şenol BAYRAKTAR danışmanlığında, Furkan AFYON tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 08/07/2019 tarihinde Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı
Başkan	: Doç. Dr. Yasin ALEMDAĞ
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Şenol BAYRAKTAR
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Ali Paşa HEKİMOĞLU

İmzası

Y. Alemdağ
Şenol Bayraktar
Ali Paşa Hekimoğlu


Doç. Dr. Ferhat KALAYCI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Günümüzde, imalat sanayisinde kullanım yerine göre hafif, ancak yüksek mekanik özellikler gösteren malzemeler tercih edilmektedir. Hafifliğin yanında kolay dökülebilirlik, yüksek mukavemet ve üstün korozyon özellikleri gösteren alüminyum alaşımları, otomotiv, havacılık, medikal, inşaat ve elektrik-elektronik sanayisinde yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Mekanik özellikler ve kullanım alanlarının genişliği bakımından alüminyum alaşımları ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Genellikle, bu alaşımların mühendislik özelliklerinin geliştirilmesi, bu alaşımlara Si, Zn, Cu, Mg gibi elementlerin ilavesi ile yapılmaktadır.

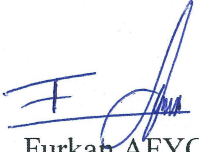
Alüminyum alaşımlarında silisyum ilavesi, döküm özelliklerini iyileştirdiği ve ayrıca mukavemet değerlerini geliştirdiği bilinmektedir. Endüstriyel alanda iyi dökülebilirlik ve mukavemet özelliklerinden dolayı Al-Si alaşımları yaygınlıkla tercih edilmektedir. Ayrıca, Al-Si alaşımlarına farklı katkı elementleri ilave edilerek mekanik, yapısal ve fiziksel özellikleri iyileştirilebilmektedir. Ancak, Al-Si alaşımları ve bu alaşımlara ilave edilen katkı elementlerinin işlenebilirlik özelliklerine ilişkin yeterli araştırmanın yapılmadığı belirlenmiştir. Buna göre bu çalışmada, Al-7Si alaşımına çinko ve bakır katkılarının mekanik ve işlenebilirlik özelliklerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Yüksek Lisans Tezimde danışmanlığımı üstlenen ve çalışmalarımın her aşamasında desteğini esirgemeyen sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Şenol BAYRAKTAR' a, ayrıca Dr. Öğr. Üyesi Ali Paşa HEKİMOĞLU' na teşekkür ederim.

Furkan AFYON

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan "Çinko ve Bakır Katkılarının Al-7Si Alaşımının İşlenebilirlik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi" başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim.
08/07/2019



Furkan AFYON

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

ÇİNKO VE BAKIR KATKILARININ AL-7Si ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Furkan AFYON

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Şenol BAYRAKTAR

Bu çalışmada, ikili Al-7Si, üçlü Al-7Si-4Zn ve dördü Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımları kokil kalıpta döküm yöntemi kullanılarak üretildi. Üretilen alaşımların içyapı görüntüleri, optik mikroskop kullanılarak elde edildi. İkili Al-7Si alaşımının içyapısının alüminyumca zengin α , primer silisyum kristalleri ve ötektik Al-Si fazından oluştuğu görüldü. Al-7Si alaşımına eklenen %4 oranında çinko katkısının alaşımın içyapısında yeni bir faz oluşturmadığı görüldü. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının içyapısında üçlü alaşımdakilere ek olarak Al_2Cu fazının oluştuğu belirlendi. Üretilen alaşımların sertliklerinin ölçümünde Brinell, içyapılarını oluşturan fazların mikro sertliklerinde ise Vickers sertlik ölçme yöntemi kullanıldı. Alaşımların çekme dayanımı ile kopma uzaması değerleri, universal çekme deney cihazı kullanılarak belirlendi. Al-7Si alaşımına sırasıyla katılan çinko ve bakır katkılarının alaşımların sertlik ve çekme dayanımını arttırdığı, kopma uzamasını ise azalttığı gözlemlendi. Üretilen alaşımlar, tornalama ve frezeleme işlemleri ile birlikte delme işlemine hazır hale getirildi. Delme deneyleri, kaplamasız karbür matkaplar kullanılarak sabit kesme hızı (120 m/dk) ve ilerleme (0.15 mm) değerleri ile gerçekleştirildi. Üretilen alaşımlara yapılan delme işlemi sırasında en yüksek ilerleme kuvveti Al-7Si alaşımında gözlenirken, en düşük ilerleme kuvveti ise Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımında gözlemlendi. Yığıntı talaş oluşumunun en fazla Al-7Si ve Al-7Si-4Zn alaşımlarında oluştuğu tespit edildi. İşlenebilirlik deneylerinden elde edilen sonuçlar, alaşımların mekanik ve içyapı özelliklerine dayandırılarak açıklandı.

2019, 78 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Al-Si Alaşımları, Delme, İlerleme Kuvveti, Yüzey Pürüzlülüğü, Yığıntı Talaş

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ZINC AND COPPER ADDITIVES ON MACHINABILITY PROPERTIES OF AL-7SI ALLOY

Furkan AFYON

**Recep Tayyip Erdogan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Master Thesis
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Şenol BAYRAKTAR**

In this study, binary Al-7Si, ternary Al-7Si-4Zn and quaternary Al-7Si-4Zn-3Cu alloys were produced by using permanent mould casting method. The internal structure images of the produced alloys were obtained using an optical microscope. The internal structure of the binary Al-7Si alloy consisted of aluminum-rich α , primary silicon crystals and eutectic Al-Si phase. The addition of 4% zinc to the Al-7Si alloy did not create a new phase in the alloy's internal structure. It was determined that Al_2Cu (θ) phase was formed in addition to ternary alloy in Al-7Si-4Zn-3Cu alloy. Brinell hardness measurement method was used for the hardness of the produced alloys and Vickers hardness measurement method was used for the hardness of the internal structures. The tensile strength and breaking elongation values of the alloys were determined using a universal tensile tester. It was observed that zinc and copper additives added to Al-7Si alloy increased the hardness and tensile strength of the alloys and decreased breaking elongation. Alloys were prepared for drilling with turning and milling operations. Drilling experiments were carried out with constant cutting speed (120 m/min) and feed rate (0.15 mm/rev) values using uncoated carbide drills. The highest thrust force was observed in Al-7Si alloy while the lowest thrust force was observed in Al-7Si-4Zn-3Cu alloy. It was determined that the formation of BUE (Built up edge) was mostly in Al-7Si and Al-7Si-4Zn alloys. The results obtained from the machinability experiments were explained based on the mechanical and internal structure properties of the alloys.

2019, 78 Pages

Keywords: Al-Si Alloys, Drilling, Thrust Force, Surface Roughness, Built Up Edge

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ	IX
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması	2
1.2.1. Al-Si Alaşımının Mekanik ve İşlenebilirlik Özellikleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	2
1.2.2. Diğer Alüminyum Alaşımlarının Mekanik ve İşlenebilirlik Özellikleri ile İlgili Çalışmalar.....	6
1.2.3. Alüminyum Üretimi ve Kullanım Alanları	13
1.2.4. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	16
1.2.4.1. Dövme Alüminyum Alaşımları	16
1.2.4.2. Döküm Alüminyum Alaşımları	17
1.2.5. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi	18
1.2.6. Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkisi	19
1.2.6.1. Silisyumun Etkisi.....	20
1.2.6.2. Bakırın Etkisi.....	20
1.2.6.3. Çinkonun Etkisi	20
1.2.6.4. Magnezyum Etkisi	21
1.2.7. Alüminyum Alaşımlarının Faz Diyagramları.....	21
1.2.7.1. Alüminyum-Silisyum Alaşımının Faz Diyagramı.....	21
1.2.7.2. Alüminyum-Bakır Alaşımının Faz Diyagramı	23
1.2.7.3. Alüminyum-Çinko Alaşımının Faz Diyagramı	24
1.2.7.4. Bakır-Çinko Alaşımının Faz Diyagramı	25
1.2.8. İşlenebilirlik.....	27

1.2.8.1.	Delme İşlemi	30
1.2.8.2.	Matkap Üzerinde Oluşan Kuvvetler	31
1.2.8.3.	İlerleme Kuvveti	33
1.2.8.4.	Delme Momenti	34
1.2.8.5.	Sürtünme Momenti	35
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	39
2.1.	Alaşım Üretimi	39
2.2.	Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	41
2.3.	Mikroyapı Görüntüleri İçin Gerekli Hazırlıkların Yapılması	42
2.4.	İşlenebilirlik Deneylerinde Kullanılan Gereçler.....	43
2.5.	Mekanik Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanılan Numuneler ve Gereçler	44
2.6.	Kesme Parametreleri ve Kesici Takım Özellikleri	46
2.7.	Yüzey Pürüzlülüklerinin Ölçülmesi.....	47
3.	BULGULAR	48
3.1.	İçyapı İncelemelerinden Elde Edilen Bulgular.....	48
3.2.	Mekanik Testlerden Elde Edilen Bulgular	55
3.3.	İşlenebilirlik Deneylerinden Elde Edilen Bulgular.....	59
4.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR	64
5.	ÖNERİLER	69
	KAYNAKLAR	70
	ÖZGEÇMİŞ	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Hall-Héroutl Prosesi	14
Şekil 2. Alüminyum-Silisyum faz diyagramı	22
Şekil 3. Alüminyum-Bakır faz diyagramı	23
Şekil 4. Alüminyum-Çinko faz diyagramı	24
Şekil 5. Bakır-Çinko faz diyagramı	25
Şekil 6. Talaş oluşumu ve pozitif/negatif talaş açılı kesici takımlar, a) Talaş oluşumu, b) Pozitif/negatif talaş açılı kesici takım	28
Şekil 7. Talaş kaldırma süresine göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması.....	29
Şekil 8. İşlem sayısına göre delme işleminin talaş kaldırmadaki önemi.....	29
Şekil 9. Matkabin yapısı, a) Matkabin kısımları, b) Yan görünüş, c) Ön görünüş	30
Şekil 10. Takım ucuna etki eden kuvvetler	31
Şekil 11. Kesme momentinin oluşumu	34
Şekil 12. Sürtünme momenti	35
Şekil 13. İndüksiyon ocağı	40
Şekil 14. Döküm kalıbı ve üretilen parçanın teknik resmi, a) Döküm kalıbı, b) Üretilen parça	41
Şekil 15. Deney numunesinin teknik resmi	42
Şekil 16. Mikroyapı inceleme akış diyagramı	42
Şekil 17. Kesme kuvvetlerinin belirlenmesinde iş akış diyagramı	44
Şekil 18. Çekme deney numunesinin teknik resmi	45
Şekil 19. Çekme deneyi, a) Alşa marka çekme deney cihazı, b) Çekme deney numunesinin bağlanması, c) Deney sonucunda kırılan numuneler	45
Şekil 20. Sertlik ölçme deneyi, a) Qness Q 250 CS Marka sertlik ölçme cihazı, b) Numune yüzeyinden görüntü alma, c) Deney sonucunda oluşan numune yüzeylerinin görüntüsü	46
Şekil 21. Al-7Si içyapı görüntüleri (200x büyütme).....	49
Şekil 22. Al-7Si içyapı görüntüleri (1000x büyütme).....	49
Şekil 23. Al-7Si-4Zn içyapı görüntüleri (200x büyütme)	50
Şekil 24. Al-7Si-4Zn içyapı görüntüleri (1000x büyütme)	50
Şekil 25. Al-7Si-4Zn-3Cu içyapı görüntüleri (200x büyütme)	51
Şekil 26. Al-7Si-4Zn-3Cu içyapı görüntüleri (1000x büyütme)	51

Şekil 27. Al-7Si alaşıma yapılan EDS analizi (α Fazı)	52
Şekil 28. Al-7Si alaşıma yapılan EDS analizi (Ötektik Al-Si fazı)	52
Şekil 29. Al-7Si-4Zn alaşıma yapılan EDS analizi (α Fazı).....	53
Şekil 30. Al-7Si-4Zn alaşıma yapılan EDS analizi (Ötektik Al-Si fazı).....	53
Şekil 31. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşıma yapılan EDS analizi (α Fazı).....	54
Şekil 32. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşıma yapılan EDS analizi (Ötektik Al-Si fazı).....	54
Şekil 33. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşıma yapılan EDS analizi (Al_2Cu Fazı)	55
Şekil 34. Al-7Si alaşıma ait kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.....	56
Şekil 35. Al-7Si alaşıma ait kırılma yüzey altı optik mikroskop görüntüsü	57
Şekil 36. Al-7Si-4Zn alaşıma ait kırılma yüzeyi SEM görüntüsü	57
Şekil 37. Al-7Si-4Zn alaşıma ait kırılma yüzey altı optik mikroskop görüntüsü.....	58
Şekil 38. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşıma ait kırılma yüzeyi SEM görüntüsü	58
Şekil 39. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşıma ait kırılma yüzeyi optik mikroskop görüntüsü	59
Şekil 40. Delme işleminin sonucunda delik çıkışında oluşan çapaklar, a) Al-7Si alaşımı, b) Al-7Si-4Zn alaşımı ve c) Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımı	60
Şekil 41. Al-7Si alaşımının delinmesinde kullanılan matkap kesici ağzında yığıntı talaş oluşumu	60
Şekil 42. Al-7Si-4Zn alaşımının delinmesinde kullanılan matkap kesici ağzında yığıntı talaş oluşumu	61
Şekil 43. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının delinmesinde kullanılan matkap kesici ağzında ve helisel kanalda yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu	61
Şekil 44. Al-7Si alaşımının kesme yüzey altı görüntüsü (a: Giriş, b: Orta, c: Çıkış)	62
Şekil 45. Al-7Si-4Zn alaşımının kesme yüzey altı görüntüsü (a: Giriş, b: Orta, c: Çıkış)	62
Şekil 46. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının kesme yüzey altı görüntüsü (a: Giriş, b: Orta, c: Çıkış)	63

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 1. Alüminyumun özellikleri	15
Tablo 2. Dövme alüminyum alaşımlarının gösterimi	16
Tablo 3. Döküm alüminyum alaşımlarının gösterimi.....	17
Tablo 4. Isıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan alüminyum alaşımları.....	18
Tablo 5. H temper kodları	19
Tablo 6. T temper kodları.....	19
Tablo 7. Silisyumun çeşitli sıcaklıklarda alüminyum içinde eriyebilirlik değerleri.....	22
Tablo 8. Delinen malzeme cinsine göre K değerleri	33
Tablo 9. Sürtünen gereç cinsine göre sürtünme katsayısı değerleri	38
Tablo 10. Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri	39
Tablo 11. Johnford VMC-850 CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri.....	43
Tablo 12. Kesme parametreleri	46
Tablo 13. Kesici takım özellikleri	47
Tablo 14. Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü cihazının teknik özellikleri	47
Tablo 15. Üretilen alaşımlara ait mekanik özellikler	55
Tablo 16. Alaşımlara ait fazların mikrosertlik değerleri	56
Tablo 17. İşlenebilirlik deneylerinden elde edilen ilerleme kuvveti, moment ve yüzey pürüzlülüğü değerleri	59

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

V	Volt
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
PCD	Polycrystalline Diamond (Çok Kristalli Elmas)
DLC	Diamond Like Carbon (Elmas Benzeri Karbon)
WC	Tungsten Carbide (Tungsten Karbür)
TiN	Titanyum Nitrür
Dev	Devir
Dk	Dakika
mm	Milimetre
cm	Santimetre
m	Metre
μm	Mikrometre
Hz	Hertz
KVA	Kilowatt Amper
K	Kelvin
s	Saniye
N	Newton
Nm	Newtonmetre
MPa	Megapascal
GPa	Gigapascal
YMK	Yüzey Merkezli Kübik
HMK	Hacim Merkezli Kübik
%	Yüzde
°	Derece
°C	Santigrat Derece
α	Alfa
β	Beta
θ	Teta

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Alüminyum alaşımları, düşük ağırlık/mukavemet oranı, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, üstün döküm özellikleri ve ekonomik olmaları sayesinde çelikten sonra en çok kullanılan ikinci alaşım olmuştur (Gonçalves ve Silva, 2015; Al Saadi ve Tunay, 2017; Soares vd., 2017; Roy vd., 2009; Uhlman vd., 2010; Wain vd., 2005; Zedan vd., 2010). Alüminyum alaşımlarının belirtilen özellikleri göstermesi katkı elementlerine ve oranlarına bağlıdır (Hekimoğlu ve Turan, 2018; Kaufman ve Rooy, 2004). Silisyum, çinko, bakır ve magnezyum, alüminyum alaşımlarında en çok kullanılan katkı elementleridir. Özellikle, silisyum ilavesiyle birlikte alüminyum alaşımları, yüksek basınç dayanımı, akışkanlık, korozyon direnci ve çekme mukavemeti göstermektedir (Shivukmar vd.,1989). Al-Si alaşımlarının mekaniksel özellikleri, silisyum oranına göre değişmektedir. Düşük oranda silisyum katkısı mekanik özellikleri, yüksek oranda silisyum katkısı ise aşınma özelliklerini iyileştirmektedir (Fatahalla vd., 1999). Al-Si esaslı alaşımlar piston, dişli kutusu, jant, egzoz manifoldu, fren sistemi, yakıt tankı, radyatör ve şase imalatı gibi çeşitli uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Ejiofor ve Reddy, 1997; Davis, 2001). Yüksek aşınma dayanımı gerektiren uygulamalarda Al-Zn alaşımları tercih edilmektedir. Alüminyum alaşımlarına çinko katkısıyla birlikte sürtünen yüzeyler arasında oluşan çinko oksit tabakası katı yağlayıcı özelliğinden, yetersiz yağlama durumlarında bile üstün tribolojik özellikler sergilediği bilinmektedir. Dolayısıyla, Al-Zn alaşımları kaymalı yatak malzemesi olarak tercih edilmektedir (Bayraktar, vd., 2017; Ataç ve Güral, 2013; Savaşkan ve Pürçek, 1998). Alüminyum alaşımına bakır ilavesi ise alaşımı gevrekleştirmeden mukavemet değerlerini arttırmakta ve kaynak edilebilirliğini iyileştirmektedir. Al-Cu esaslı alaşımlar, kriyojenik tanklarda, otomobillerde gövde elemanı olarak ve yüksek mukavemet istenen havacılık ve uzay uygulamalarında yer almaktadır (Engin ve Büyük, 2018; Raju vd., 2007).

Alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Ancak, Al-7Si alaşımı ve bu alaşıma çinko ve bakır ilavelerinin alaşımın işlenebilirliğine etkisi ile ilgili yeterli çalışmanın yapılmadığı tespit edilmiştir. Buna göre bu çalışmada,

ötektikaltı Al-7Si alaşımlarının ve bu alaşıma eklenen Zn ve Cu katkı elementlerinin işlenebilirliğe etkisinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

Bu bölümde, alüminyum alaşımlarının mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

1.2.1. Al-Si Alaşımlarının Mekanik ve İşlenebilirlik Özellikleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Hekimoğlu ve Hacıosmanoğlu (2018), farklı oranda silisyum katkıların (% 2.5 ~ 30) ikili Al-Si alaşımlarının mekanik özelliklerine etkilerini araştırdıkları çalışmada, alaşımların içyapılarının alüminyumca zengin α fazından, ötektik ve birincil silisyum kristallerinden oluştuğunu tespit etmişlerdir. Silisyum oranının artması ile sertlik değerlerinin sürekli arttığını, akma değerinin %17, çekme ve kopma uzamasının ise %9 silisyum oranına kadar arttığını ve bu oranlardan sonra azalmaya başladıklarını belirtmişlerdir.

Alemdağ ve Beder (2014), Al-%7Si alaşımına farklı oranlarda çinko ilavesinin (% 1-2-3-4-5), alaşımların mikroyapısal, mekaniksel ve tribolojik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Al-7Si alaşımlarının mikroyapısını incelediklerinde, α -Al dentritlerinden, iğne benzeri yapıda bulunan ötektik silisyumdan ve az sayıda birincil silisyum kristallerinden oluştuğunu, öte yandan çinko ilavesi ile birlikte yapıda α -katı çözeltisi ve birincil silisyum kristallerinin boyutunda ise artış olduğunu tespit etmişlerdir. Al-7Si alaşımlarının, sertliği, akma dayanımı ve yoğunluğu artan çinko oranı ile sürekli arttığını, özelliklerdeki bu artışın, çinkonun çözelti sertleşmesi oluşturmasından meydana geldiğini ve çinko ilavesi ile birlikte alaşımların sünekliğinin azalmasının yapıda bulunan silisyum partiküllerinin boyutlarındaki artıştan kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Zyska vd. (2011), Zn-28Al alaşıma farklı oranlarda silisyum ilavesinin (%0.5-1.5-2.5-3.5) sertlik ve aşınma özelliklerine etkilerini araştırdıkları çalışmada %0.5 ve %1.5 silisyum ilavesiyle oluşturulan alaşımlarda, silisyumun yapıda çok küçük dallar şeklinde bulunduğunu, ancak %2.5 ve %3.5 oranlarında silisyumun yapıda daha büyük ve keskin köşeli kristaller şeklinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Zn-Al alaşıma silisyum ilavesinin sertlikte önemli bir artışa neden olduğu, %0.5 silisyum katkısının Zn-Al alaşımının sertliğini yaklaşık %25 oranında arttırdığı, %2.5 ve %3.5 silisyum değerleri için elde edilen sertlik ve aşınma direncinin Zn-28Al-4Cu alaşımından daha yüksek olduğu ortaya konmuştur.

Alemdağ ve Beder (2015), Al-7Si-4Zn alaşıma farklı oranlarda Cu ilavesinin (%1-2-3-4-5) alaşımın mekanik ve aşınma özelliklerine etkilerini araştırdıkları çalışmada, bakır ilavesi ile yapıda sert Al_2Cu intermetalik fazların oluştuğunu, artan bakır oranıyla birlikte alaşımın çekme dayanımının ve sertliğinin arttığını ancak kopma uzamasının azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, aşınma deneylerinde ise en düşük sürtünme katsayısının %3 bakır ilavesinde elde edildiği tespit edilmiştir.

Grum ve Kisin (2005), farklı oranlarda silisyum içeren (% 5-12-20) Al-Si alaşıma ince tornalama uyguladıkları çalışmada sabit kesme hızı (33.3 mm/s), kesme derinliği (0.2mm) ve ilerleme (0.05 mm/dev) kullanmışlardır. Yüksek silisyum içeren Al-20Si alaşımının yapısında görülen birincil silisyum kristalleri sert yapılarından dolayı kesme kuvvetlerini arttırdığını, Al-5Si alaşımının tornalanmasında talaş oluşumunun kolay olması, plastik deformasyonun fazla olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Akyüz (2016), farklı silisyum oranlarının (%2-4-8-12) Al-Si alaşımının mekanik ve işlenebilirlik özelliklerine etkisini araştırdığı çalışmada üç farklı kesme hızı (56-112-168 dev/dak), sabit ilerleme (0.10 mm/dev) ve kesme derinliği (0.5 mm) kullanmıştır. Silisyum içeriğindeki artışla birlikte, %8 silisyum oranına kadar çekme dayanımının artış gösterdiğini ancak bu orandan sonra çekme dayanımının azaldığını, silisyum oranındaki artışın ise kopma uzaması değerlerini azalttığını belirtmiştir. Kesme kuvvetlerinin, düşük kesme hızlarında daha yüksek olduğunu, silisyum miktarındaki artışa bağlı olarak kesme kuvvetlerinde azalma olduğunu gözlemlemiştir. Kesme kuvvetindeki bu azalmanın, talaş

kırılmasının kolaylaşmasından kaynaklandığını ve yüzey pürüzlülüğünün ise silisyum oranındaki artışla birlikte azaldığını gözlemlemiştir.

Monaghan vd. (1992), hacimce %25 SiC parçacık takviyeli Al-12Si alaşımının, beş farklı takım ile delinmesinde matkap aşınmasının kesme kuvvetlerine etkisini araştırmışlardır. Kuru kesme şartlarında yapılan delik delme işleminde üçer farklı kesme hızı (50-102-198 dev/dak) ve ilerleme (0.1-0.2-0.3 mm/dev) değerleri kullanmışlardır. Karbür matkapla yapılan delme işlemlerinde, HSS takımlara göre daha az serbest yüzey aşınmasının olduğu, PCD matkapla yapılan delmede ise ihmal edilebilir seviyede serbest ve talaş yüzeyinde aşınmalar gözlemişlerdir. En iyi delme performansını PCD matkaptan, en kötü performansı ise kaplamasız HSS matkaptan elde etmişlerdir.

Farid vd. (2011a), Al-Si alaşımlarının yüksek hızla delinmesinde oluşan yüzey kalitesini inceledikleri çalışmada, iş parçası olarak A383 alüminyum alaşımı, HSS takım, üç farklı kesme hızı (150-200-250 m/dak), sabit ilerleme (0.15 mm/dev) ve sabit konsantrasyonlu soğutma sıvısı (6/100) kullanmışlardır. İşleme sonucunda, deliklerin yüzey pürüzlülük değerlerinin işleme süresince düzensiz profil oluşturduğunu, bunun nedeninin takım kesme kenarında biriken malzemeden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Açılan ilk delik yüzeyinin mikrosertlik dağılımına bakıldığında, yüksek sertlik değerlerine birincil silisyum kristallerinin neden olduğunu ayrıca, kesme hızının artmasıyla itme kuvveti değerinin azaldığını da tespit etmişlerdir.

Hanyu vd. (2003), pürüzsüz yüzeyli ince kristalize elmas kaplamalı matkaplarla alüminyum alaşımlarının işlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada, sabit kesme hızı (85 m/dak), ilerleme oranı (0.12 mm/dev) ve 6 mm çapında matkap kullanmışlardır. İş parçası olarak otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılan Al-12Si alaşımının işlenmesinde kaplamasız takımların kaplamalı takımlara göre takım ömrünün daha az olduğu, pürüzsüz yüzeyli ince kristalize elmas kaplamaların kuru veya yarı kuru işleme koşullarında geleneksel elmas kaplamalı takımlara göre çok daha iyi performans gösterdiklerini, bu kaplamanın üstün alüminyum yapışma engelleyici özelliği ile geleneksel matkaplara göre çok daha uzun ömür sergilediklerini ortaya koymuşlardır.

Farid vd. (2011b), A383 alaşının yüksek hızda delinmesinin talaş oluşumuna ve kesme kuvvetlerine etkilerini araştırdıkları çalışmada, uer farklı kesme hızı (240-280-320 m/dak) ve ilerleme oranı (0.16-0.20-0.24 mm/dev) ile 6 mm çapında kaplamasız tungsten karbür matkap kullanmışlardır. Kesme hızının artması ile talaş yezelerinde oluşan lamellerin genişlediğini, kesme kuvvetlerinin azaldığını, talaş sıkıştırma oranının artan kesme hızıyla azaldığını, ilerleme oranındaki artışa paralel olarak kesme kuvvetlerinde artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Bhowmick ve Alpas (2008), Al-6Si alaşının minimum miktarda yağlama (MQL) ile DLC kaplamalı ve kaplamasız HSS matkaplarla delinebilirliğini incelemişlerdir. Yapılan delme işlemlerinde, sabit kesme hızı (50 m/dak), ilerleme oranı (0.25 mm/dev) ve 6.35 mm çapında matkap kullanmışlardır. Deneyler sonucunda, en çok yapışmanın HSS matkaplarla kuru işleme şartında oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Minimum miktarda yağlama ile birlikte DLC kaplamaların alüminyum-silisyum alaşımlarının işlenebilmesi için uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Mellinger vd. (2002), A356.0-T6 alüminyum alaşının delinmesi işleminde talaş tahliyesi esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin modellenmesi ve talaşın tıkanığı derinliğin tahmin edilmesi üzerine yaptıkları çalışmada, 3.175 mm çapında iki kesici ağızlı ve sıfır helis açılı karbür matkap kullanmışlardır. Delik derinliğindeki artış ile talaşların kümelenmeye ve matkap kanallarını tıkamaya başladığını ve bunun sonucunda, işleme sıcaklığında, yüzey prüzölölüğünde, kesme kuvvetlerinde artış ve matkapta kırılma gözlenmiştir. Ayrıca, tork oluşumuna bağlı olarak talaşın sıkışma derinliğini matematiksel olarak tahmin etmişlerdir.

Kuczmazewski ve Piesko (2014), yüksek silisyum oranlı Al-21Si-Cu-Ni alüminyum alaşımıyla yaptıkları çalışmada, uer farklı kesme hızı (75-300-500 m/dk), kesici takım (HSS, WC, TiN kaplamalı WC), sabit ilerleme (0.1 mm/dev) ve kesme derinliği (6 mm) kullanmışlardır. Deney sonucunda aşınmanın en çok HSS takımda gerçekleştiği, yapıda bulunan yüksek sertlik ve aşındırıcı özellikteki silisyum kristallerinin işlemeyi zorlaştırdığını ve en kötü yüzey kalitesinin HSS takımlar ile oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Braga vd. (2002), A356 alaşımının minimum miktarda yağlama (MQL) ile delinmesi işleminde kaplamasız ve elmas kaplamalı karbür takımların işleme performanslarını araştırdıkları çalışmada, sabit kesme hızı (300 m/dak), iki farklı ilerleme oranı (0.1- 0.2 mm/dev) ve soğutma şekli (Hava/Yağ ve sadece yağ) kullanmışlardır. Deney sonucunda hem kaplamalı hem de kaplamasız takımlarda uygulanan minimum miktarda yağlamanın, yüzey pürüzlülüğü, oluşan kuvvetler ve takım aşınması açısından olumlu sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, elmas kaplı karbür takımında kaplamasız takıma göre daha az aşınma olduğunu gözlemlemişlerdir.

1.2.2. Diğer Alüminyum Alaşımlarının Mekanik ve İşlenebilirlik Özellikleri İle İlgili alışmalar

Nouari vd. (2005), AA2024 alüminyum alaşımının delinmesinde farklı kesme parametrelerinin ve kesici takım kaplama çeşitlerinin aşınmaya ve sıcaklığa etkisini araştırdıkları çalışmada, kuru kesme şartlarında üç farklı kesme hızı (25-65-165 dev/dk) ve sabit ilerleme (0.04 mm/dev) değeri kullanmışlardır. Düşük kesme hızlarında kaplamasız karbür takımların uygun olduğu, ancak yüksek kesme hızlarında ise kaplamalı karbür takımların kullanılabileceğini ve AA2024 alaşımı için TiAlN+WC/C karbür takımında optimal kesme hızının 65 dev/dak olduğunu belirtmişlerdir.

Coelho vd. (1995), hacimce %15 SiC partikül içeren AA2618 alüminyum alaşımının delinmesinde farklı takımların performansları hakkında çalışma yapmışlardır. Kuru kesme şartlarında ikişer farklı kesme hızı (1500-3000 dev/dak), ilerleme değeri (0.05-0.3 mm/dev) ve 8 mm çapında dört farklı matkap (PCD, WC, TiN Kaplamalı WC ve HSS) kullanmışlardır. HSS takım ile yapılan çalışmada 1 delik delme sonunda, PCD matkap ile 300 delik delme işlemi sonunda takımda aşınma meydana geldiğini ve PCD matkapların bu işlem için uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Wain vd. (2005), delik delme işleminde matkaplara uygulanan farklı kaplama çeşitlerinin işlenebilirlik üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada, iş parçası olarak iki farklı alüminyum alaşımı (A319 ve BS-L168), sabit kesme hızı (70 m/dak), ilerleme oranı (0.127 mm/dev), dört farklı kaplama (MoST™, TiB₂, Dymon-iC™, Graphit-iC™) ve üç farklı soğutma yöntemi (Yüksek basınçlı hava, düşük basınçlı hava, soğutmasız)

kullanmışlardır. Çalışma sonunda karbon bazlı kaplamaların (Dymon-iC™, Graphit-iC™) Al-Si alaşımların işlenmesinde uygun olduğunu, nedeninin ise karbonun alüminyum ile düşük afinitesinden dolayı olabileceğini, Graphit-iC™ kaplama ile (A-319) alaşımının işlenmesinde en uzun takım ömrü ve en düşük miktarda yapışma eğiliminin görüldüğünü tespit etmişlerdir.

Kurt vd. (2009), AA2024 alüminyum alaşımının elmas benzeri karbon kaplanmış matkaplarla (DLC) delinmesi işleminde kesme parametrelerinin ve matkap çapındaki değişiminin işlenebilirliğe etkisini araştırmışlardır. Delme deneylerini kuru kesme şartlarında, üçer farklı kesme hızı (40-50-60 m/dak), ilerleme oranı (0.2-0.25-0.3 mm/dev) ve matkap çapı (6-8-10 mm) kullanarak yaptıkları çalışmada, delme sıcaklığına etki eden en önemli faktörlerin ilerleme oranı ve matkap çapı olduğunu belirlemişlerdir. Yüksek kesme hızı ve ilerleme değerlerinde yüzey pürüzlülüğünde artış olduğunu, DLC kaplı matkaplar ile soğutma sıvısı kullanılmadan (AA-2024) alaşımının yüksek performansta delinebileceğini tespit etmişlerdir.

Çaydaş ve Çelik (2016), AA7075 alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve ilerleme kuvvetlerine etkilerini araştırdıkları çalışmada, sabit devir sayısı (1500 dev/dak), farklı ilerleme (5-10-15-20-25 mm/dak) ve matkap uç açılı (118-125-130-135-140°) karbür takımlar kullanmışlardır. İlerleme hızının ve matkap uç açısının artmasıyla, tüm deneylerde eksenel ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerlerini arttırdığını ve ön delik delme işleminin sıcaklık değerlerini önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir.

Dhvamani ve Alwarsamy (2012), SiC takviyeli AA2124 alüminyum alaşımının delinmesinde oluşan takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü inceledikleri çalışmada, karbür matkap, üçer farklı SiC takviye oranı (%10-15-20), kesme hızı (400-1000-1500 m/dak) ve ilerleme oranı (0.12-0.22-0.40 mm/dev) kullanmışlardır. Deney sonucuna, göre kesme hızındaki artış ile takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün arttığını, matkap çapındaki değişimin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin olmadığını, takviye oranının artmasıyla takım aşınmasının arttığını gözlemlemişlerdir.

Bahçe vd. (2010), AA5005 alaşımıyla yapılan delik delme prosesinde, delik çıkış bölgesinde oluşan çapak yüksekliklerinin değişimi üzerine yaptıkları çalışmada, dörder farklı devir sayısı (400-600-800-1000 dev/dak), ilerleme oranı (0.1-0.15-0.2-0.25 mm/dev) ve matkap uç açısı (90-118-130-140 °) kullanmışlardır. HSS matkap kullanarak yaptıkları deneylerde, minimum çapak yüksekliğinin düşük devir sayısı ve ilerleme oranında oluştuğunu, matkap uç açısındaki artışla birlikte çapak yüksekliğinin azaldığını, ancak 130° den sonra tekrar artmaya başladığını ortaya koymuşlardır.

Külekçi vd. (2017), AlMg₃ alüminyum alaşımının frezelenmesi işleminde devir sayısı, ilerleme ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini inceledikleri çalışmada yüzey pürüzlülüğünün azaltılabilmesi için talaş derinliğinin, ilerleme miktarının az ve devir sayısının ve kesici uç yarıçapının büyük seçilmesi gerektiğini önermişlerdir.

Kılıçkap vd. (2009), AA7075 alaşımının delinmesinde, farklı kesme parametrelerinin işleme özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmada, dört farklı kesme hızı (5-10-14-20 m/dak), üçer farklı ilerleme hızı (0.1-0.2-0.3 mm/dev) ve soğutma tipi (MSS, Basınçlı Hava, Kuru) kullanmışlardır. Tüm soğutma yöntemlerinde, ilerleme hızının artışıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı MSS yöntemi ile yapılan soğutma işlemiyle birlikte delinen malzemenin yüzey pürüzlülüğünün diğer yöntemlere göre daha az olduğu gözlenmiştir.

Sevim ve Genç (2015), Al7075 alaşımının freze tezgâhında delme işleminde farklı devir sayısı ve ilerleme oranlarında oluşan titreşimleri üç eksenli ivme sensörü kullanarak inceledikleri çalışmada, düşük devir sayısı ve yüksek ilerleme hızında matkap ucunun birim zamanda daha fazla talaş kaldırmaya zorlandığı için titreşim değerlerinin yüksek çıktığı ve tüm deneylerde yaklaşık 9. saniyedeki titreşim artışının nedeninin talaş sıkışması olduğunu tespit etmişlerdir.

Tosun ve Hüseyinoğlu (2010), Al7075 alaşımının frezelenmesinde minimum soğutma sıvısının (MSS) yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırdıkları çalışmada, üçer farklı devir sayısı (260-780-1330 dev/dak), ilerleme (20-40-80mm/dak), iki farklı oranda bor yağı/su (1/10-9/10) ve üç farklı matkap (HSS, TiCN kaplamalı HSS, kaplamasız

karbür) kullanmışlardır. Karbür takım ile yapılan deneyde diğer takımlara göre artan takım sertliğinden dolayı yüzey pürüzlülüğünün azaldığını, bor yağı oranının artması ile soğutma sıvısının viskozitesinin artışına bağlı olarak, takım-talaş arasına giremediğini ve yağlamanın az olduğu belirtilmiştir. 1/10 oranında kullanılan soğutma sıvısı ile yüzey pürüzlülük değerlerinin daha düşük ölçüldüğünü gözlemlemişlerdir.

Gökkaya ve Nalbant (2007), AA5052 alüminyum alaşımının kaplamasız karbür takım ile kuru şartlarda işlenmesinde kesme hızının, yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada, tornalama işlemi için beş farklı kesme hızı (100-200-300-400-500 m/dak), sabit ilerleme hızı (0.3 mm/dev) ve kesme derinliği (1.5 mm) kullanmışlardır. Kesici takımın esas kesme kenarında oluşan yığıntı talaşın, takım uç radyüsünü arttırarak takım geometrisini değiştirdiği, kesme hızının artması ile yığıntı talaşın ve yığıntı katmanının azaldığını fakat engellenemediği ifade edilmiştir.

Sanchez vd. (2005), AA2024 ve AA7050 alaşımlarının, kuru şartlarda tornalanmasında takım üzerinde yığıntı talaş oluşumunu inceledikleri çalışmada TiN kaplı karbür takım, ikişer farklı kesme hızı (40-200 m/dak) ve ilerleme miktarı (0.05-0.3 mm/dev) kullanmışlardır. Yığıntı talaş kalınlığının, talaş kaldırıldıkça kritik kalınlığa kadar arttığını, bu kalınlıktan sonra yığıntı talaşın plastik deformasyona uğrayarak takım yüzeyine doğru yayıldığını ve yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumunun kesici takımın geometrik özelliklerini değiştirdiği için işlenmiş yüzey kalitesinin azaldığını belirtmişlerdir.

Kaya vd. (2010), AA7075 alüminyum alaşımına uygulanan farklı sürelerde yaşlandırma işleminin (1-6-12-24 saat) işlenebilirlik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Altı farklı kesme hızı (314-220-137-104-66-42 m/dak), sabit kesme derinliği (1.2 mm) ve ilerleme oranı (0.2 mm/dev) kullandıkları çalışmada, tornalama işleminden önce alaşıma yapılan bir saatlik yaşlandırma işleminin alaşımın sertliğini yaklaşık olarak iki kat artırdığını gözlemlemişlerdir. Yaşlandırma yapılmamış alaşımın işlenmesinde daha fazla sıcaklığın açığa çıktığını ve sebebinin kesici uca talaş yapışması olduğunu, uygun talaş formunun altı saat yaşlandırma işlemi uygulanmış (AA-7075) alaşımında 104 m/dak kesme hızında elde edildiğini tespit etmişlerdir.

Kumar vd. (2013), farklı oranlarda TiC katkısının Al-4.5Cu alaşımasının tornalanmasında kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi ile ilgili yaptıkları çalışmada, üçer farklı TiC oranı (%5-7-10), kesme hızı (40-80-120 m/dk), ilerleme (0.12-0.24-0.36 mm/dev) ve kesme derinliği (0.5-0.75-1 mm) kullanmışlardır. %5 TiC takviyeli alaşımanın sünek yapısından dolayı kesici takımında daha çok yığıntı talaşın olduğunu ve kesme derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün üç alaşımda da aynı oranda arttığını gözlemlemişlerdir.

Trujillo vd. (2017), Al7075 alaşımasının kuru şartlarda tornalanmasında takım aşınmasını inceledikleri çalışmalarında dörder farklı kesme hızı (40-80-170-200 m/dk), ilerleme oranı (0.05-0.1-0.2-0.3 mm/dev) ve üç farklı kesme derinliği (0.5-1-2 mm) kullanmışlardır. Bütün testlerde takım ucunda yığıntı talaş gözlemişlerdir. Düşük ilerleme değerlerinde talaşın daha uzun ve daha esnek çıkması, uzaklaştığı esnada yan yüzeye çarpmasına ve yan yüzey aşınmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. İlerleme ve kesme derinliği parametrelerinin yapışma miktarını kesme hızına göre daha çok etkilediğini belirtmişlerdir.

Sekmen vd. (2015), AA2011 ve AA7075 alüminyum alaşımları ile yapılan çalışmada kesme hızı ve talaş açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisini inceledikleri çalışmada, beş farklı kesme hızı (400-450-500-550-600 m/dk), altı farklı talaş açısı (- 5-0-5-10-15-20°), sabit ilerleme (0.25 mm/dev) ve kesme derinliği (2.5 mm) kullanmışlardır. Talaş açısının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin ve takım üzerinde yığıntı talaş oluşumunun azaldığını, takım yüzeyine yapışan yığıntı talaş incelendiğinde, daha çok ana alaşım elementinin yapışma eğilimi gösterdiğini belirlemişlerdir.

Özerkan (2018), AA6061 alaşımasının tornalanmasında üç farklı kesme hızı (100-200-400 m/dk), dört farklı ilerleme değeri (0.2-0.4-0.6-0.8 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (2 mm) kullandığı çalışmada, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığını, ancak kesme derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını tespit etmiştir. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla yorulmanın daha düşük gerilme değerlerinde gerçekleştiğini, yüzey pürüzlülüğünün azalması ile yorulmanın daha yüksek değerlerde gerçekleştiğini de ortaya koymuştur.

Aydın ve Özçatalbaş (2003), yaşlandırma ısıtma işlemi uygulanmış AA2014 alaşımının işlenebilirliğine takım geometrisinin etkisini araştırdıkları çalışmada üç farklı kesme hızı (15-87-171 m/dk), sabit ilerleme (0.24 mm/dev) ve talaş derinliği (1.6 mm) kullanmışlardır. Düşük kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek olduğu, bunun ise yığıntı talaştan kaynaklandığı, kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetinde azalma olduğunu ve bu azalmayı artan kesme sıcaklığıyla birlikte iş parçasının akma gerilmesindeki azalmaya bağladıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca, talaş açısının artmasıyla birlikte kesme kuvvetlerinde ve yüzey pürüzlülüğünde azalma olduğunu gözlemlemişlerdir.

Yousefi ve Ichida (2000), Al-4.5Mg alaşımıyla yüksek hızda tornalama işleminin işlenebilirlik özelliklerine etkilerini araştırdıkları çalışmada, değişken kesme hızları (20 ~ 260 m/s), sabit ilerleme (10 µm/dev) ve kesme derinliği (100 µm) kullanmışlardır. Kesme hızındaki artışla birlikte yüzey pürüzlülüğünde azalma, fakat 100-200 m/s kesme hızları arasında yüzey pürüzlülüğünde yığıntı talaştan dolayı artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Tornalama işlemi sonucunda çıkan talaşların tüm kesme hızlarında sürekli talaş tipi oluştuğunu, ancak 100-200 m/s kesme hızları aralığında talaş kesitlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir.

Bayraktar vd. (2017), Al-5Zn alaşımının frezelenmesinde sabit kesme hızı (600 dev/dak), ilerleme oranı (0.15 mm/dev), kesme derinliği (1.5 mm) ve 6 mm çapında iki farklı kesici takım (kaplamasız ve TiAlN kaplamalı karbür) kullanmışlardır. Kaplamasız takımla yapılan deneyde oluşan kesme kuvvetinin, TiAlN kaplamalı takımla yapılan deneyde oluşan kesme kuvvetinden daha az olduğu, kaplamalı takımın düşük sürtünme katsayısından dolayı, talaş kaldırma esnasında açığa çıkan ısının büyük miktarı iş parçasına geçmekte ve bu da iş parçasının kopma uzamasını arttırarak BUE oluşumuna sebep olduğunu, bunun sonucunda da kesme kuvvetinin arttığını belirtmişlerdir.

Savaşkan ve Bektaşoğlu (2005), Zn-60Al alaşımına, farklı oranlarda Cu ilavesinin (% 1-2-3-4-5) alaşımın aşınma özelliklerine etkisini çubuk-disk yöntemiyle belirledikleri çalışmada, artan Cu oranı ile alaşımın sertliğinin arttığını, ancak %4 Cu oranından sonra çekme dayanımının azaldığını gözlemlemişlerdir. Zn-Al-Cu alaşımlarındaki alüminyumca zengin α fazı içerisinde bakırın en fazla %1 oranında çözündüğünü ve bu

oranın üzerine çıkıldığında ise tane sınırları arasında bakırca zengin metaller arası bileşiklerin oluştuğunu, bakırca zengin fazların oranının artması ile alaşımın gevrek kırılma olasılığının arttığını belirtmişlerdir.

Tunçay (2016), A356 alüminyum alaşımına farklı oranlarda Cu ilave ederek alaşımın mikro yapısını ve aşınma özelliklerini incelediği çalışmada Cu miktarının artmasıyla birlikte Si parçacık boyutlarının azalarak incelildiği ve yapısının küresele doğru değiştiğini, Cu miktarındaki artış ile alaşımın sertliğinde yaklaşık olarak %10 artış olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca, 10 ve 20 N yük altında en düşük ağırlık kayıplarının %0.2 ve %0.4 Cu ilaveli A356 alaşımında elde edildiği belirlenmiştir.

Yapılan literatür taramasına göre değerlendirme yapıldığında, Al-Si alaşımlarına çinko ve bakır ilavelerinin alaşımın sertlik ve çekme dayanımı değerlerini arttırdığı, kopma uzaması değerlerini azalttığı belirlenmiştir. şöyle ki, çinko ilavesinin alüminyum alaşımlarının yapısında katı çözelti sertleşmesine sebep olduğu, bakır ilavesiyle ise katı çözelti sertleşmesinin yanı sıra ikincil faz oluşumunun alaşımın mekanik özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. İşlenebilirlik çalışmalarında ise, genel olarak kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ancak yüksek ilerleme değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlemlenmiştir. Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde genel olarak kesici takım üzerinde yığıntı talaş ve yığıntı katmanının oluştuğu ve yığıntı talaş oluşumunun ise kesme kuvvetlerini arttırarak yüzey kalitesini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

1.2.3. Alüminyum Üretimi ve Kullanım Alanları

Bakır, çinko ve kurşun gibi ağır metallerle karşılaştırıldığında daha hafif bir metal olan alüminyumun son zamanlarda endüstrideki önemi artmıştır. Davy tarafından 1805 yılında keşfedilen alüminyum, ilk olarak 22 yıl sonra Wöhler tarafından diğer elementlerden ayrıştırılarak elde edilmiştir. Alüminyumun endüstride kullanım alanları oldukça geniştir. Alüminyumun, hafifliğinin yanında yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip olması, korozyon dayanımı ve diğer metallerle birlikte yüksek çekme mukavemetine sahip alaşımlar elde etmesi gibi özellikleri vardır (Dennis, 1987). Günümüzde alüminyum üretiminde iki farklı proses kullanılmaktadır;

- 1- Cevherden üretilen alüminyum (Birincil Alüminyum)
- 2- Hurdadan üretilen alüminyum (İkincil Alüminyum)

Birincil alüminyum üretimi dört bölümden oluşmaktadır (TMMOB, 24. Dönem Çalışma Raporu) :

- 1- Boksit maden işletmesi
- 2- Boksit madeninden Bayer Prosesi ile alümina üretimi
- 3- Alüminadan Hall-Herault Prosesi ile metalik alüminyum üretimi
- 4- Enerji temini

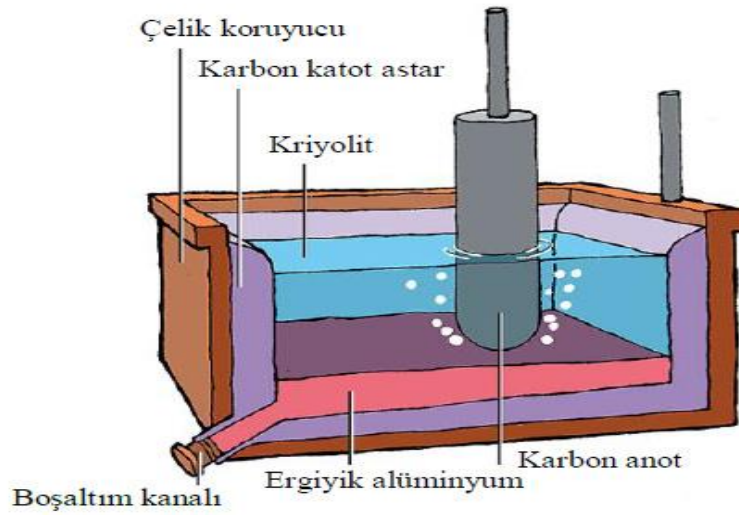
Alüminyum oksit ve hidroksitlerin karışımı olan boksit, alüminyum metali üretiminde kullanılan başlıca cevherdir. Dünyada üretilen alüminyum metalinin %90'ı boksit cevherinden karşılanmaktadır (URL-1, 2018). Elde edilen boksit ilk olarak öğütülmekte ve daha sonra sodyum hidroksit ile karıştırılmaktadır. Bu karışım yüksek sıcaklık (110-270 °C) ve basınç altında reaksiyona sokulur ve cevher içindeki alüminanın çözülmesi sağlanır (1).



Sodyum alüminatın elde edilmesiyle birlikte alüminyum hidroksitin çökmesi için 35 °C 'ye yavaşça soğutulur (2).



Soğutulan $\text{Al}(\text{OH})_3$, 1100 °C de kalsinasyona tabi tutulmaktadır. Alüminanın üretiminden sonra ergimiş kriyolit banyosunda elektrolizi ile alüminyuma dönüşür. Hall-Hèroult prosesi olarak adlandırılan bu işlemde alüminyum sıvı şekilde karbon katot etrafında dibe batar (Şekil 1). Anot kısmında ise oksijen toplanır. Çöken sıvı alüminyum %99,5-99,9 saflıkta olmaktadır. Alüminyum belli aralıklarla hücrelerden boşaltılmaktadır (URL-2, 2018).



Şekil 1. Hall-Hèroult prosesi (Güner, 2013)

Alüminyum alaşımları otomotiv, uçak, uzay, silah, elektrik-elektronik, ısıtma-soğutma gibi alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yer kabuğunda en çok bulunan ikinci element alüminyumdur. Geri dönüşümü için kullanılan enerji, üretimi için kullanılan enerjinin %5'i kadardır. Günümüzde çelikten sonra en çok kullanılan alaşım olmalarının nedenleri; hafif olmaları, korozyon dayanımlarının yüksek olması, ısı ve elektrik iletkenliklerinin yüksek olması ve arttırılabilir mukavemet özellikleridir (Başer, 2012).

İkincil alüminyum üretiminde hammadde olarak alüminyum hurda kullanılmaktadır. Alüminyum hurdalarının genel olarak iki kaynağı vardır (TMMOB, 24. Dönem Çalışma Raporu). Bunlar;

1- İşlem veya döküm ürünlerinin üretimi esnasında oluşan geri kazanma olasılığı %100 olan yeni hurda,

2- Kullanım ömrünü doldurmuş eski hurdadan üretilmektedir.

Mühendislik uygulamalarında geniş yer kaplayan alüminyumun en temel özelliği hafif olmasıdır. Ayrıca, saf alüminyumun zehirsiz ve gazlara karşı geçirimsiz olması, gıda ve ilaç sanayisinde kullanım alanı bulmasına olanak sağlamıştır. Saf alüminyum aktif bir metal olmasına karşın üzerinde oluşan oksit tabakası korozyon direncini önemli ölçüde artırmaktadır (Al Saadi ve Tunay, 2017). Saf alüminyumun özellikleri, Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Alüminyumun özellikleri

Özellik	Değer
Atom Sayısı	13
Atom Ağırlığı (g/mol)	26.98
Valans Elektron Sayısı	3
Kristal Yapı	YMK
Erime Noktası (°C)	660
Kaynama Noktası (°C)	2480
Yoğunluk (g/cm ³)	2.6898
Elastisite Modülü (GPa)	68.3
Poisson Oranı	0.33
Çekme Mukavemeti (MPa)	40-90
Akma Mukavemeti (MPa)	10-30
Kopma Uzaması (%)	30-40

1.2.4. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları iki ana kategoriye ayrılır. Bunlar ;

1-Dövme alüminyum alaşımları

2-Döküm alüminyum alaşımları

Alüminyum alaşımlarını tanımlarken bazı imalatçılar isim, bazıları da numara kullanmışlardır. En çok kullanılan standart Aluminum Association standardıdır. Bunun dışında en çok kullanılan iki standart Aluminium Company of America ve ASTM'dir (Oğuz, 1990).

1.2.4.1. Dövme Alüminyum Alaşımları

Aluminum Association Standartı'na göre, dört rakamdan oluşan bu sistemde ilk rakam alaşımın hangi temel elementi içerdiğini gösterir. Son iki rakam ise alaşımda bulunan alüminyum elementinin saflığını belirtir. Örneğin, AA 2070 alaşımında alüminyumun saflığı %99,70'tir. İkinci rakam ise özgül alaşım değişimini göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Dövme alüminyum alaşımlarının gösterimi (Oğuz, 1990).

Simge	Temel Alaşım Elementi
1XXX	Saf Alüminyum (%99,00 ve daha yüksek)
2XXX	Bakır
3XXX	Manganez
4XXX	Silisyum
5XXX	Magnezyum
6XXX	Magnezyum ve Silisyum
7XXX	Çinko
8XXX	Diğer Elementler
9XXX	Kullanılmayan Seriler

1.2.4.2. Döküm Alüminyum Alaşımları

Döküm alüminyum alaşımları dört basamaktan oluşur. Üçüncü ve dördüncü basamaklar bir nokta ile ayrılmaktadır. Birinci basamak ana alaşım elementini tanımlamaktadır. İkinci ve üçüncü basamaktaki rakamlar alüminyumun saflığını belirtir. Noktadan sonra gelen dördüncü rakam ise ürünün şeklini tanımlar (Tablo 3). Ürün şekilleri ve kodları aşağıdaki gibidir:

- 0- Döküm
- 1- Standart ingot
- 2- Standart ingottan daha dar kompozisyona sahip ingot

Tablo 3. Döküm alüminyum alaşımlarının gösterimi (Davis, 2001).

Simge	Temel Alaşım Elementi
1XX.X	Saf Bileşim
2XX.X	Bakır
3XX.X	Silisyum (Bakır +Magnezyum)
4XX.X	Silisyum
5XX.X	Magnezyum
6XX.X	Kullanılmayan
7XX.X	Çinko (Bakır+Magnezyum)
8XX.X	Kalay
9XX.X	Kullanılmayan

1.2.5. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi

Isıl işlem, metallerin veya alaşımların sertlik, mukavemet gibi mekanik ve içyapı özelliklerini geliştirmek amacıyla bir veya daha çok sayıda uygulanan ısıtma ve soğutma işlemidir. Alüminyum alaşımları, ısıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan olmak üzere iki gruba ayrılmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Isıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan alüminyum alaşımları

Sınıf	Alaşımlar
Isıl İşlem Uygulanabilen	1XXX, 3XXX, 4XXX, 5XXX, 8XXX
Isıl İşlem Uygulanamayan	2XXX, 6XXX, 7XXX

Alüminyum alaşımlarının temper durumlarını, üretiminden sonra uygulanan mekaniksel ve ısıl işlemler belirlemektedir. Beş temel temper durumu vardır. Bunlar:

F: Fabrikasyon. Isıl işlem uygulanmamış dövme ve döküm alüminyum alaşımlarını ifade eder.

O: Sertliği ve mukavemeti azaltmak ve işlenebilirliği artırmak için tamamen tavlanan dövme alüminyum alaşımlarıdır.

H: Dövme alaşımlara uygulanan deformasyon sertleşmesini ifade eder. H ifadesini her zaman iki veya daha fazla rakam takip eder.

W: Çözeltiye alma ısıl işleminden sonra sadece oda sıcaklığında kendiliğinden yaşanan alüminyum alaşımlarını belirtir.

T: Çökelme sertleşmesine tabii, ek soğuk şekillendirme uygulanmış veya uygulanmamış alüminyum alaşımlarını belirtir. T ifadesini her zaman bir veya daha fazla rakam takip eder.

H ve T temper durumlarının alt basamakları sırasıyla Tablo 5 ve Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 5. H temper kodları (Dağdelen ve Ulus, 2016).

Kod	Açıklama
H1	Deformasyon sertleştirmesi
H2	Deformasyon sertleştirmesi ve kısmen tavllanmış
H3	Deformasyon sertleştirmesi ve stabilize edilmiş gerilme
H4	Deformasyon sertleştirmesi, cilalanmış veya boyanmış

Tablo 6. T temper kodları (Dağdelen ve Ulus, 2016).

Kod	Açıklama
T1	Sıcak şekillendirmenin ardından soğutma ve doğal yaşlandırma
T2	Sıcak şekillendirmenin ardından soğutma, soğuk şekillendirme ve doğal yaşlandırma
T3	Çözeltiliye alma ısıtma işlemi, soğuk şekillendirme ve doğal yaşlandırma
T4	Çözeltiliye alma ısıtma işlemi ve doğal yaşlandırma
T5	Sıcak şekillendirmenin ardından soğutma ve yapay yaşlandırma
T6	Çözeltiliye alma ısıtma işlemi ve yapay yaşlandırma
T7	Çözeltiliye alma ısıtma işlemi ve aşırı yaşlandırma
T8	Çözeltiliye alma ısıtma işlemi, soğuk şekillendirme ve yapay yaşlandırma
T9	Çözeltiliye alma ısıtma işlemi, yapay yaşlandırma ve soğuk şekillendirme
T10	Sıcak şekillendirmenin ardından soğutma ve yapay yaşlandırma

1.2.6. Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkisi

Alüminyum, saf haldeyken sünek bir metal olduğundan mühendislik uygulamalarında kullanılabilmesi için diğer elementler ile birlikte alaşım yapılması gerekmektedir. Alüminyum alaşımlarına katılan başlıca elementler silisyum, çinko, bakır, magnezyum, sodyum, demir ve nikeldir.

1.2.6.1. Silisyumun Etkisi

Silisyum, alüminyum alaşımlarında ana alaşım elementi olarak bulunduğunda, yüksek akıcılık, dökümde düşük çekme, üstün korozyon direnci, kaynak edilebilme özelliğinde iyileşme ve düşük ısı genleşme sağlamaktadır. Silisyum, %12 oranında alüminyum ile ötektik bileşim oluşturur. Bu orandan fazla silisyum içeren alüminyum alaşımlarında, yapıda oluşan sert birincil silisyum kristalleri işlemeyi zorlaştırmaktadır. Silisyum içeren fazın şekil ve dağılımı mekanik özellikleri etkilemektedir. Küçük ve yuvarlak primer faz yüksek mukavemet verir (Fayomi vd., 2017).

1.2.6.2. Bakırın Etkisi

Alüminyum alaşımlarında bakır, sertlik kazandıran başlıca element olarak kullanılmaktadır. Bakır oranının artması ile çekme, akma mukavemeti ve alaşımın sertliği artmaktadır. Alüminyum alaşımlarında en fazla %12 oranına kadar mukavemeti arttırmakla birlikte %12 oranından sonra yapıda gevreklik oluşur. Bu alaşımlar, talaşlı imalata uygun olmakla birlikte korozyon dirençleri Al-Si alaşımlarına göre daha düşüktür. Havacılık, askeri araçlar, roket kanatları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı oldukça yaygındır (Abdulsahip, 2014; Davis, 2001).

1.2.6.3. Çinkonun Etkisi

Çinkonun alüminyuma ilavesiyle birlikte yüksek aşınma dayanımı ve mukavemet değerlerine sahip alaşımlar elde edilmektedir. Özellikle, Al-Zn esaslı alaşımlar üstün tribolojik özellikler göstermesinden dolayı kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak, alaşımdaki çinko oranının artması ile sıcak yırtılmalar oluşur. %6 çinko içeren Al-Zn-Mg-Cu alaşımı yüksek sıcak yırtılma eğilimine sahiptir (Kılıçlı vd., 2017; Savaşkan ve Pürçek, 1998).

1.2.6.4. Magnezyumun Etkisi

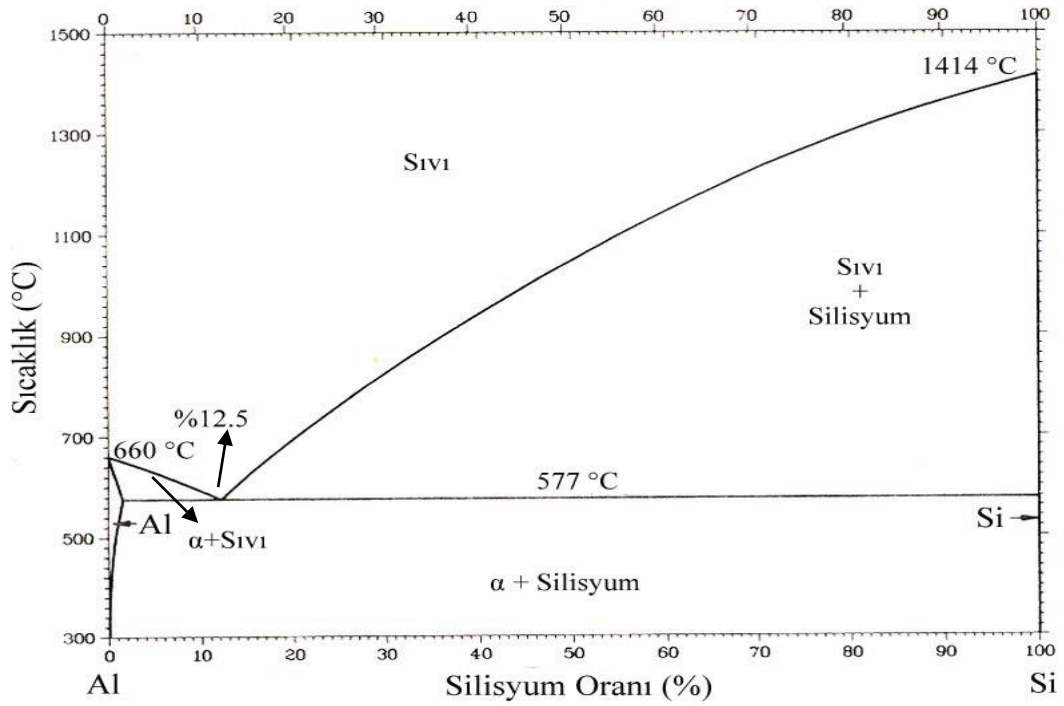
Alüminyum alaşımlarına magnezyum ilavesi ile mukavemet özellikleri, dökülebilirliği ve korozyon direnci iyileştirilmektedir. Alüminyum 437 °C’de %12.7 magnezyumda maksimum çözünebilirliğe sahiptir. Çözünebilirliği oda sıcaklığında %2’ye kadar düşmektedir (Eker, 2008). Alüminyum – magnezyum alaşımlarına ilave edilen manganez ile birlikte kullanıldığında yüksek mukavemetli alaşım elde edilmektedir. Magnezyum, sertleştirici olarak kullanıldığında manganezden daha etkilidir. Yaklaşık olarak, %0.8 magnezyum %1.25 manganze eşittir (Davis, 2001).

1.2.7. Alüminyum Alaşımlarının Faz Diyagramları

1.2.7.1. Alüminyum – Silisyum Alaşımının Faz Diyagramı

Alüminyum-silisyum ikili alaşımı tam ötektik bir sistem oluşturmaktadır. Bazı kaynaklarda ötektik nokta %11.6 – 11.7 civarında verilirken, bazı kaynaklarda %11.7 – 14.5 değerleri arasında verilmektedir. En muhtemel değer ise %12.5 Si içeriğinde olduğu belirtilmektedir (Şekil 2). Yüksek çekme dayanımına sahip alaşımlar elde etmek için silisyum miktarını ötektik noktanın altında tutmak gerekmektedir. Yüksek aşınma direnci istenen uygulamalarda ise ötektik noktanın üzerinde silisyum miktarı kullanmak gerekmektedir. Yüksek silisyum değerlerinde silisyum kristalleri yapıda sert ve keskin köşeli olarak bulunmaktadır (Çetin, 2017).

Ötektik sıcaklık, 577 °C (850 °K) olarak kabul edilmiştir. Bu sıcaklıkta oluşan ötektik yapıda silisyum içeren alüminyum temelli katı eriyik fazına α , çok az alüminyum içeren silisyum temelli faza ise β adı verilmiştir. Bu fazlardan α katı çözeltisi daha sünek olmakla birlikte saf haldeki silisyum daha gevrek olarak yapıda bulunmaktadır.



Şekil 2. Alüminyum – silisyum faz diyagramı (Karaaslan, 2018).

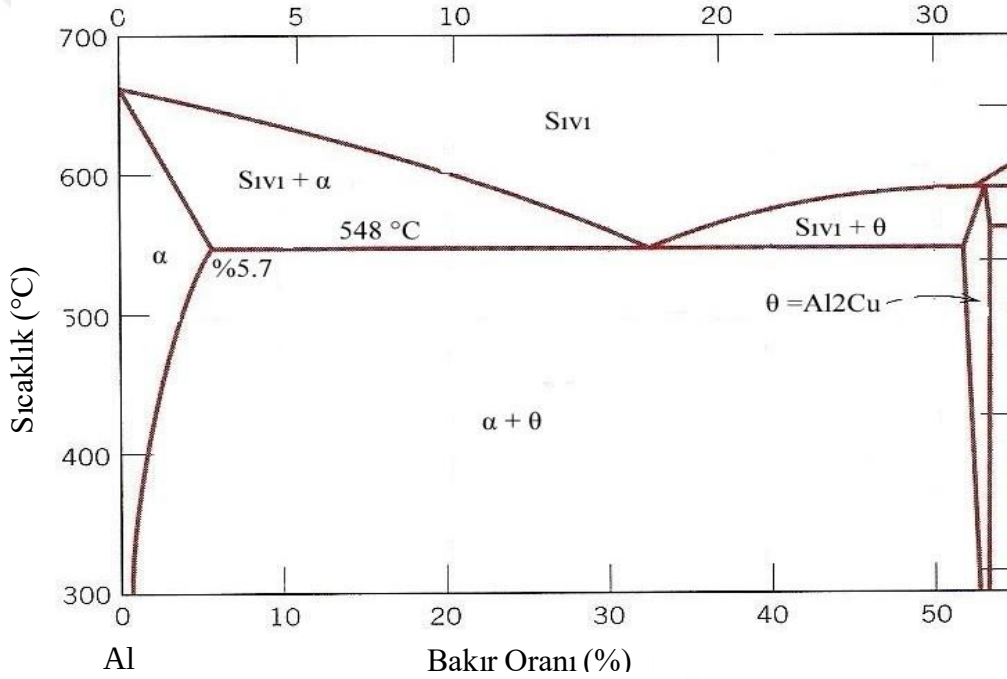
Ötektik sıcaklıkta, alüminyum kristalleri %1.65 silisyum çözündürebilmektedir. Azalan sıcaklıkla birlikte alüminyum içerisinde silisyum çözünürlüğü azalmaktadır. Oda sıcaklığında ise silisyumun alüminyum içerisindeki çözünürlüğü yok denecek kadar azdır. Çeşitli sıcaklıklardaki silisyumun eriyebilirlik değerleri aşağıda verilmiştir (Tablo 7) (Mondolfo, 1976).

Tablo 7. Silisyumun çeşitli sıcaklıklarda alüminyum içerisinde eriyebilirlik değerleri.

Sıcaklık (°C)	Eriyebilirlik (% Ağırlık)
577	1.65
550	1.30
500	1.10
450	0.70
400	0.45
350	0.25
300	0.10
250	0.04
200	0.01

1.2.7.2. Alüminyum – Bakır Alaşımının Faz Diyagramı

Alüminyum-bakır ikili alaşımı, %33 Cu ve 548 °C ‘de ötektik oluşturmaktadır (Şekil 3). Ötektik sıcaklığa ulaşıldığında alüminyum içerisinde maksimum %5.7 Cu çözünmektedir. Bu oran azalan sıcaklıklarla birlikte azalmaktadır. Sıcaklık 300 °C’ye kadar azaldığı zaman, alüminyum içerisinde bakırın çözünebilirliği %0.5’ e düşmektedir. Ötektik üstü alüminyum-bakır alaşımının katılaşmasında ergiyikten birincil θ fazı ayrılmaktadır. Ayrılan bu θ fazı, Al_2Cu şeklinde bir intermetalik faz olduğundan dolayı malzemenin yapısında büyük bir gevrekliğe yol açmaktadır. İntermetalik fazın yol açtığı bu gevreklik, alüminyum bakır alaşımının teknikte kullanılmasını engellemektedir.

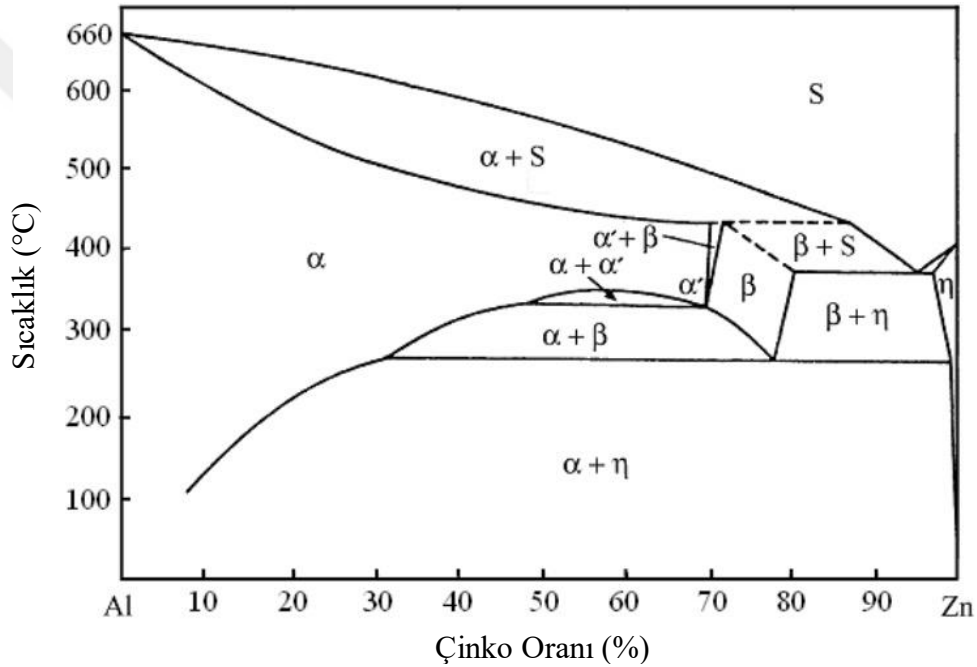


Şekil 3. Alüminyum – bakır faz diyagramı (URL-3, 2018)

Doymamış alüminyum kristallerinin oluşum bölgesinden (α bölgesi) bir bileşim seçilecek olursa (örneğin %4.5 Cu), bu bileşim ötektik sıcaklığın altında alüminyum kafesi içinde daha düşük oranlarda çözünmektedir. Bu durum, çökelme sertleşmesinin oluşması için gerekli koşulları sağlamaktadır. Böylece, yüksek bakır bileşimleri seçip, yapıda Al_2Cu gibi arafaz oluşturarak alaşımın gevrek olması yerine, düşük bakır bileşimleri ile yapıda intermetalik faz oluşturmada çökelme sertleşmesi ile alaşımın dayanım değerleri artırılabilir (Karaaslan, 2018).

1.2.7.3. Alüminyum – Çinko Alaşımının Faz Diyagramı

Alüminyum–çinko alaşımlarının mekanik ve yapısal özellikleri, alaşımın iç yapısını oluşturan fazlara bağlıdır. Şekil 4’te verilen alüminyum–çinko denge diyagramına bakıldığında, çinko oranının artmasıyla alüminyum içerisindeki çözünürlüğünün %83’e kadar çıktığı görülmektedir. Bu orana kadar yüzey merkezli kübik (YMK) yapıda α , α' ve β olarak üç değişik faz bölgesi oluştururlar. Oluşturulan alaşımın içyapısı çinko oranına göre değişmektedir (Erdöl, 1994; Murray vd., 1986; Hekimoğlu ve Turan, 2018).



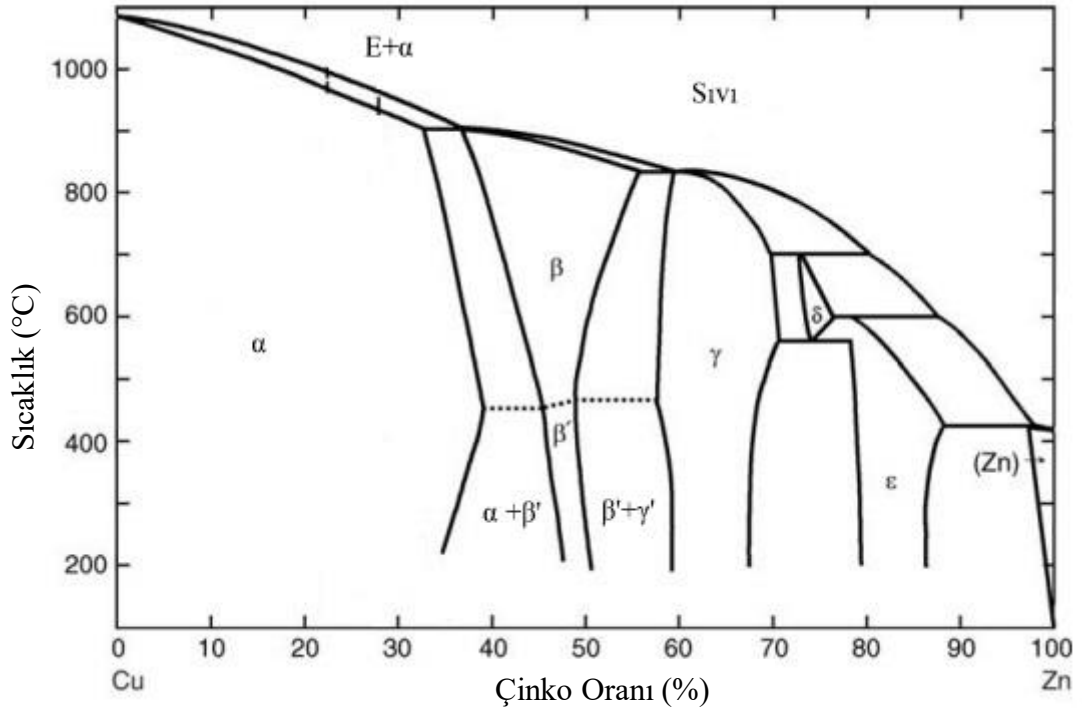
Şekil 4. Alüminyum – çinko faz diyagramı (Kuznetsov vd., 1986).

Faz diyagramına bakıldığında, 382 °C’de ve %95 Zn oranında ötektik nokta yer almaktadır. Ötektik dönüşüm ile birlikte, YMK yapılı β fazı ile beraber sıkı düzenli hegzagonal yapılı η fazından oluşan bir yapı meydana gelmektedir.

1.2.7.4. Bakır – Çinko Alaşımının Faz Diyagramı

Bakır ile çinko her oranda alaşım yapabilmektedir. Bakır-çinko alaşımları pirinç olarak adlandırılmaktadır. Korozyon dayanımlarının yüksek olması, şekillendirilebilirlik kabiliyetlerinin ve dayanımlarının yüksek olmasından dolayı kullanım alanları oldukça geniştir. Bakır-çinko alaşımlarının teknikteki kullanımında bakır oranı %54 ten büyüktür. Şekil 5'te alaşıma ait faz diyagramı incelendiğinde, α , $\alpha + \beta$ ve β -pirinci olmak üzere faz sahaları vardır. α fazı YMK kafes yapısına ve $\alpha + \beta$ fazı HMK kafes yapısına sahiptir.

α fazının soğuk şekillendirilebilirliği çok iyi olmasına rağmen, β fazı sıcak şekillendirilebilirlik değerine ulaşamamaktadır. Homojen faz bölgesindeki α fazında, Cu oranı %62.5 oranından daha büyük olması halinde alaşımın korozyona karşı dayanımı artmaktadır. Örneğin, CuZn37, CuZn20 ve CuZn15 alaşımlarının gerilimli çatlak korozyonuna karşı dayanımları yüksektir.



Şekil 5. Bakır – çinko faz diyagramı (Baretzky vd., 2007).

%72 Cu + %28 Zn bileşimli alaşımın katılaşması esnasında, 970 °C’de %24 Zn içeren birincil α kristalleri dentritik bir yapı oluşturur. Geriye kalan eriyiğin içeriği çinko bakımından zengindir. α kristalleri, soğumanın devam etmesiyle çinko bakımından zenginleşmektedir. Geriye kalan %33 Zn eriyiğinin tamamı 930 °C’de katılaşmasını tamamlar. Bakır–çinko alaşımına ilave edilen demir, nikel, kurşun, mangan, silisyum ve alüminyum alaşım elementleri ile oluşturulan alaşımlara özel pirinç alaşımları denir. Özel pirinç alaşımlarının mukavemet özellikleri daha yüksek olup diğer özellikleri pirinç alaşımlarına benzemektedir (Karaaslan, 2018).



1.2.8. İşlenebilirlik

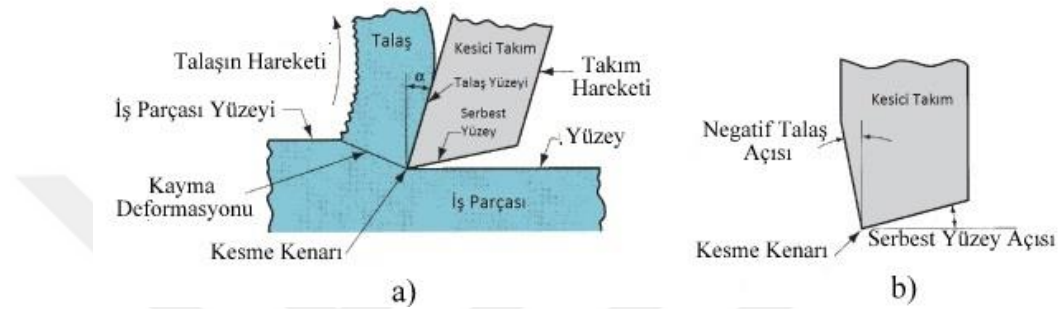
İşlenebilirlik, malzemenin istenilen boyut ve toleranslara talaş kaldırma yöntemleriyle getirilmesi işlemindeki zorluk derecesine denir. Dolayısıyla, talaş kaldırma işleminin bir sonucu olmaktadır. İş parçasının işlenebilirliği genel olarak; işleme yöntemi, kesici takım malzemesi ve kesme parametreleri ile ilgilidir.

İşlenebilirlik özelliği, iş parçasının yüksek kesme hızlarında, mümkün olduğu kadar fazla talaş kaldırma ve aynı esnada minimum takım aşınması olduğu zaman iyi kabul edilir. İş parçasının takım yüzeyine yapışma özelliğinin düşük, bant ve karışık talaş oluşturmada yüksek yüzey kalitesi elde edildiğinde işlenebilirlik iyi kabul edilmektedir. Kesme hızının artması, genel olarak yüzey kalitesini iyileştirmektedir. Talaş kaldırma işlemine etki eden sabit veya değişken faktörler aşağıda gösterilmiştir (Gavas vd., 2015; Avuncan, 1998).

- Takım ömrü,
- Kesme hızı,
- Talaş derinliği,
- Kesme açıları,
- Takım ucunun şekli,
- Tezgah titreşimleri,
- Soğutma şekli,
- Kesici takım malzemesinin özellikleri,
- Malzemenin mekanik ve kimyasal özellikleri.

Talaş kaldırma, çeşitli tezgahlarla kesici takım vasıtasıyla iş parçası üzerinden fazla malzemenin talaş şeklinde atılmasına denir. Döküm, dövme ve haddeleme gibi imalat yöntemleriyle ön şekillendirmesi yapılmış parçanın, istenilen boyut ve toleranslara getirilmesinde kullanılmaktadır.

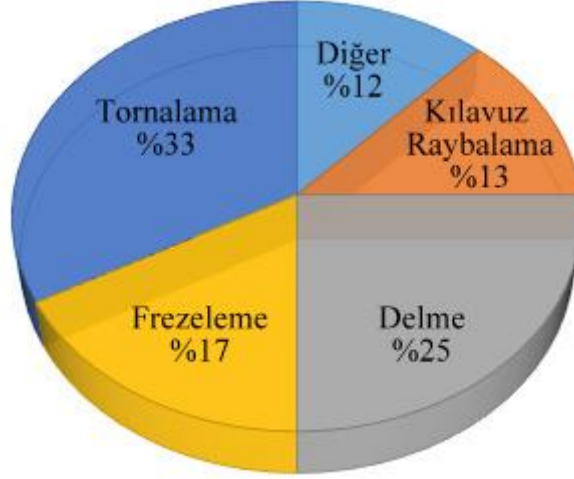
Talaş, iş parçasından plastik deformasyon sonucu ile ayrılmaktadır (Şekil 6). Kesici takımın belirli bir hız ile iş parçasına yaklaşması sonucu, iş parçası üzerinde sıcaklık ve gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmeler, malzemenin akma sınırını aştığında talaş iş parçasından ayrılmaktadır. Talaş iş parçasından uzaklaşırken kesici takım yüzeyi ile arasındaki sürekli sürtünmeden dolayı kesici takım yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır (Groover, 2016).



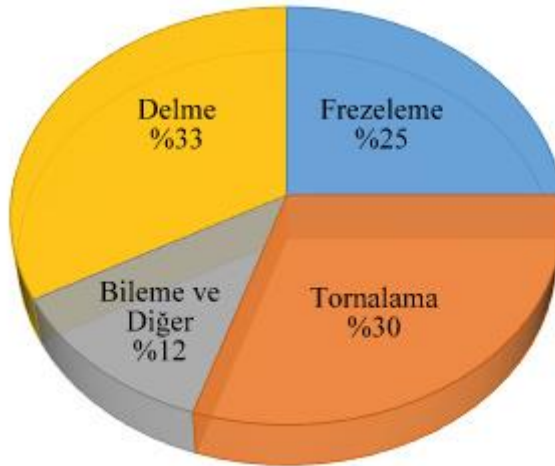
Şekil 6. Talaş oluşumu ve pozitif/negatif talaş açılı kesici takımlar a) Talaş oluşumu, b) Pozitif/negatif talaş açılı kesici takım (Groover, 2016).

İşlenebilirliği etkileyen özelliklerin başında malzemenin mekanik ve tribolojik özellikleri gelmektedir. Özellikle, saf alüminyum gibi sünek malzemelerin işlenmesinde yapışma (BUE-Built up Edge) mekanizması oluşmaktadır (Mizutani vd., 2000). Sünekliğin fazla olması ayrıca takım ve talaş arasında oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı yapışma olayı gerçekleşmekte, bunun sonucunda takım kesici ucunda yığıntı talaş (BUE-Built up Edge) ve yığıntı katmanı (BUL-Built up Layer) oluşmaktadır. Yığıntı talaş oluşumuyla kesici takım geometrisi değiştiği için kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı bilinmektedir (Sanchez, 2005; Carrilero vd., 2002; Gökkaya, 2010; Gökkaya ve Nalbant, 2007 ; Çiftçi, 2004; Nouari vd., 2005). Al-Si alaşımlarının işlenebilirliği ise alaşım içindeki silisyum fazının morfolojisine bağlıdır. Düşük silisyum oranlarında (%12.6'dan az) yapıda görülen ötektik silisyum kristalleri sünekliği azalttığı ve talaş kırılmasını kolaylaştırdığı için alaşımın işlenebilirlik kabiliyetini iyileştirmektedir. Ancak, yüksek oranda silisyum katkısı ile alaşımın iç yapısında görülen sert birincil silisyum parçacıkları takım aşınmasına neden olmakta ve kesici takım ömrünü azaltmaktadır. Ayrıca, işleme yüzeyindeki birincil silisyum parçacıklarının kırılması ile yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. (Grum ve Kisin, 2005; Akyüz, 2016).

Delme işlemi diğer talaş kaldırma işlemlerine oranla daha hızlı ve ekonomik bir işlemdir. Talaş kaldırma işlemlerinde harcanan zamanın %25' inde delik delme işleminin yapıldığı görülmüştür (Şekil 7). Delme işlemi talaşlı imalatta önemli bir yere sahiptir. Şekil 8'de görüldüğü gibi genel olarak talaşlı imalatın %33'ünü oluşturmaktadır. Çoğunlukla tornalama ve frezeleme işlemlerinin ardından son işlem olarak kullanılmaktadır.



Şekil 7. Talaş kaldırma süresine göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması (Şeker, 2012; Seco Teknik Eğitim Programı, 2018).

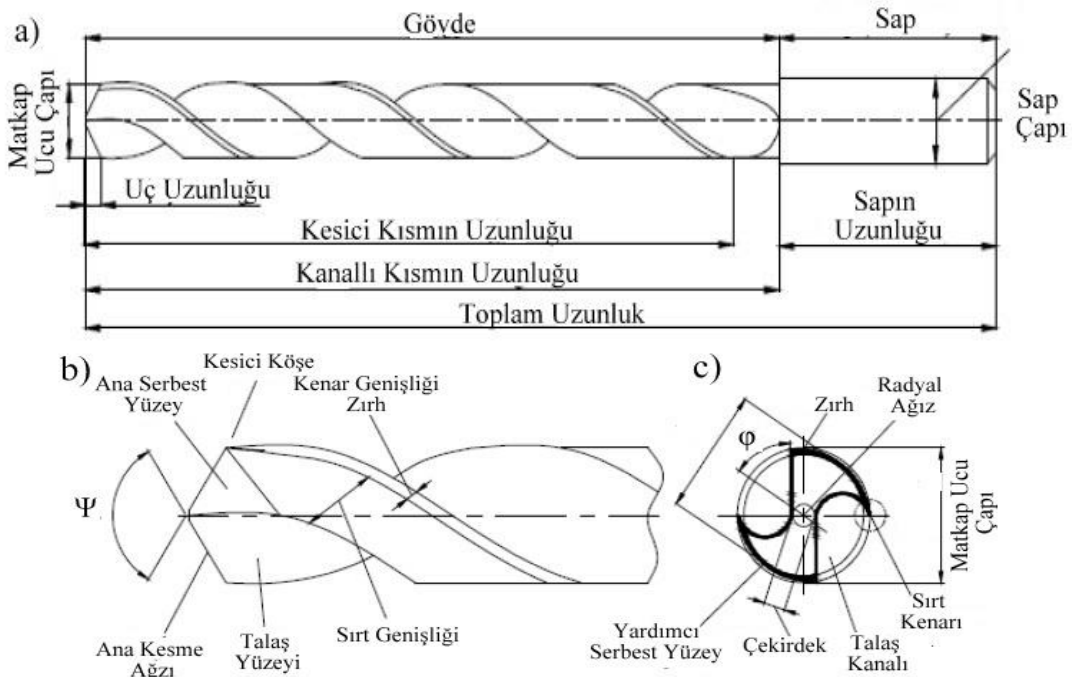


Şekil 8. İşlem sayısına göre delme işleminin talaş kaldırmadaki önemi (Tonshoff vd., 1994).

1.2.8.1. Delme İşlemi

Delik delme işlemi, genel olarak matkap adı verilen kesici takım ile iş parçası üzerinde doğrusal bir ilerleme ve aynı anda eksenel dönme hareketiyle silindirik boşluklar açma işlemidir. Delme terimi, kısa veya derin delik delme işlemleri için kullanıldığı kadar broşlama, havşa açma, raybalama ve ovalama gibi son işlemler için de kullanılmaktadır. Matkap, delik delme veya havşa açmada kullanılan kesici takımlara verilen genel addır. Matkaplar kendi eksenini etrafında dönerek ve eksenini doğrultusunda ilerleyerek iş parçasına yaklaşır. Uç kısmında bulunan iki kesici ağız ile iş parçası üzerinden talaş kaldırır. Talaşları işlem yüzeyinden uzaklaştırmak için matkap üzerinde helisel kanallar bulunmaktadır. Delik delme işlemlerinde kullanılan matkaplar çeşitlilik göstermektedir. Matkap seçimi için, delik çapı ve derinliği, iş parçasının metalürjik özellikleri, kullanılan tezgah gibi parametreler değerlendirilmelidir. Matkap yapısı, genel olarak üç kısma ayrılmaktadır (Şekil 9):

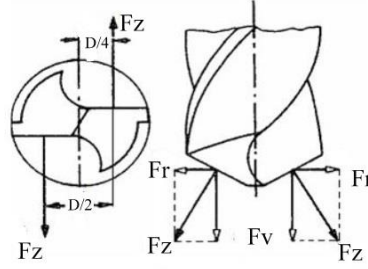
- Kesici kenar,
- Gövde (Helisel Kanal),
- Matkap sapı.



Şekil 9. Matkabın yapısı, a) Matkabın kısımları, b) Yan görünüş, c) Ön görünüş (Aslanlar, 2016).

1.2.8.2. Matkap Üzerinde Oluşan Kuvvetler

Delme işleminde matkap ucunda bulunan kesici ağızlarda oluşan kesme kuvvetleri Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Takım kesici ağızlarında oluşan kuvvetler, a) Ön görünüş, b) Yan görünüş.

Kesici ağızlarda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedir. Kesici ağızlara bakıldığında, bir ağıza etki eden kuvvetler aşağıdaki gibidir (Mendi, 2006):

- F_z : Kesme Kuvveti
- F_r : Radyal Kuvvet
- F_v : İlerleme Kuvveti

Kesme kuvveti, kesici kenarın her noktasında farklı değer aldığı için ortalama kesme kuvveti dikkate alınmaktadır. Buna göre talaş kesiti (A) ;

$$A = b.h \quad (1)$$

- b : Kesici kenar uzunluğu
- h : Talaş kalınlığı

Kesici kenar uzunluğu (b) ;

$$b = \frac{d}{2} : \sin \varepsilon/2 \quad (2)$$

Talaş kalınlığı (h) ;

$$h = \frac{s}{z} \cdot \sin \frac{\varepsilon}{2} \quad (3)$$

(2) ve (3) numaraları denklemler kullanılarak talaş kesiti (4) numaralı denklemdeki gibi hesaplanır;

$$A = \frac{s}{z} \cdot \sin \left(\frac{\varepsilon}{2} \right) \cdot \frac{d/2}{\sin \varepsilon/2} = \frac{s}{z} \cdot \frac{d}{2} \quad (4)$$

Matkabın tek ağzına gelen kesme kuvveti, özgül kesme kuvvetiyle talaş kesitinin çarpımıdır. Buna göre kesme kuvveti (F_z) ;

$$F_z = k_s \cdot \frac{s \cdot d}{z \cdot 2} \cdot k_p \cdot k_u \quad (5)$$

Kesici ağız sayısı iki olduğundan ($z=2$), (6) numaralı denkleme göre kesme kuvveti hesaplanır;

$$F_z = k_s \cdot \frac{s \cdot d}{4} \cdot k_p \cdot k_u \quad (6)$$

(6) numaralı eşitlikte;

k_s : Özgül kesme kuvveti (N/mm²)

s : İlerleme (mm/dev)

d : Matkap çapı (mm)

k_u : Aşınma faktörü

k_p : Takım malzeme faktörü

Aşınma faktörü (k_u) ;

- Kılavuz deliksiz işlem için : 1-1.05

- Kılavuz delikli işlem için : 0.95

Takım gereci faktörü (k_p) ;

- Yeni bilenmiş matkap ucu : 1
- Aşınmış takımlarda ve döküm gereçlerde : 1.25
- Aşınmış takımlarda ve çelik gereçlerde : 1.4

alınır (Mendi, 2006).

1.2.8.3. İlerleme Kuvveti

Günümüzde yapılan çalışmalara göre, F_a ilerleme kuvvetinin deneysel yöntemlerle bulunabileceği sonucuna varmışlardır. İlerleme kuvveti (7) ve (8) numaralı denklemler ile hesaplanabilir. Buna göre;

$$F_a \approx 2.F_c \cdot \sin \varepsilon / 2 \quad (N) \quad (7)$$

$$F_a \approx K \cdot (s \cdot d)^{0.8} \quad (N) \quad (8)$$

Burada;

F_c : Esas kesme kuvveti (N)

ε : Takım uç açısı ($^\circ$)

s : İlerleme (mm/dev)

d : Takım çapı (mm)

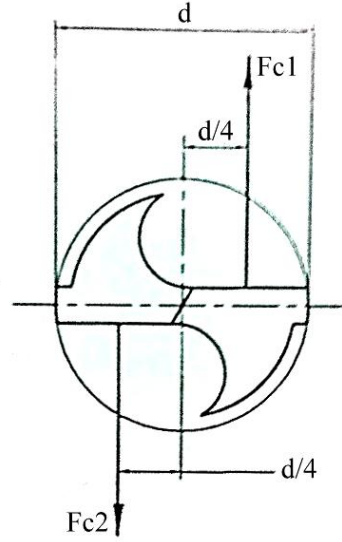
olarak dikkate alınmaktadır. Delinen malzeme cinsine göre K değerleri Tablo 8' de verilmiştir;

Tablo 8. Delinen malzeme cinsine göre K değerleri

Delinen Malzemenin Cinsi	K (N/mm ²)
Çelikler	1650
Döküm gereçler	800
Hafif metal alaşımları	900

1.2.8.4. Delme Momenti

Delme işlemlerinde, kesme kuvvetlerinden dolayı meydana gelen momenti iki ayrı açıdan incelemek gerekir. Birincisi delme (kesme) momenti (Şekil 11), diğeri ise sürtünme momentidir (Şekil 12).



Şekil 11. Kesme kuvvetlerinin oluşturduğu kesme momenti (Mendi, 2006).

F_{c1} ve F_{c2} kuvvet çiftinin tarafsız eksene göre momenti dikkate alınarak delme momenti (9) numaralı denklemdeki gibi hesaplanır;

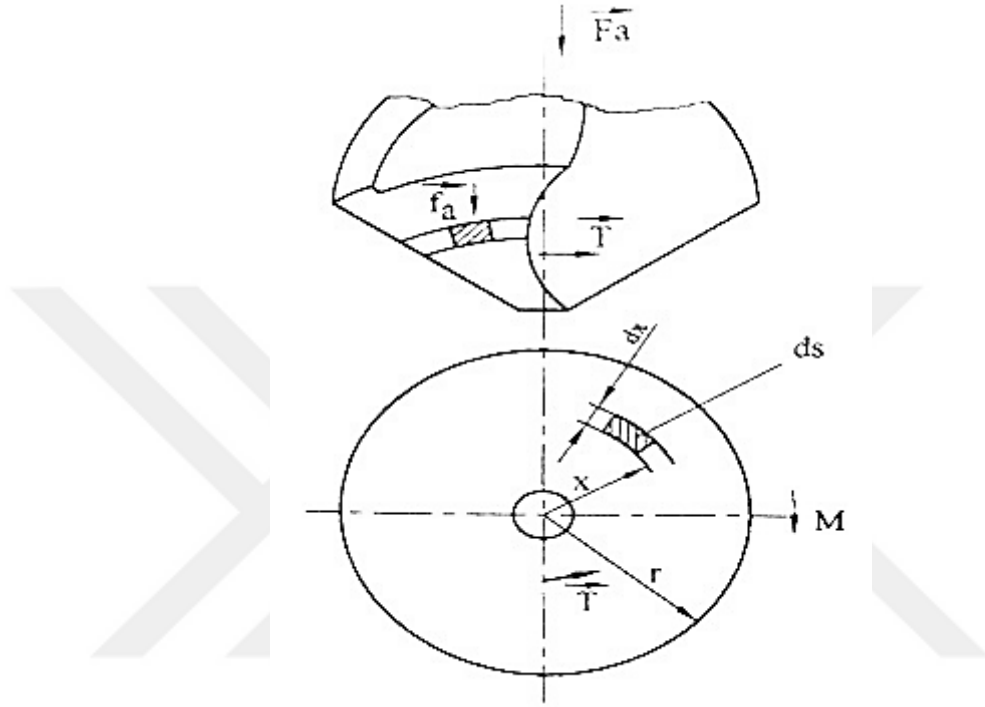
$$M_c = F_c \cdot (d/4) + F_c \cdot (d/4)$$

$$M_c = 2 \cdot F_c \cdot (d/4)$$

$$M_c = F_c \cdot (d/2) \text{ (Nm)} \quad (9)$$

1.2.8.5. Sürtünme Momenti

Sürtünme momenti hesaplanırken, matkap ucunun, açılan delik yuvasına dik bir şekilde yataklanmış mil olduğunu ve delme esnasında matkap konik ucunun delik tabanının yüzeyine kayma sürtünmesi ile temas ettiği varsayılmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Sürtünme momenti (Mendi, 2006).

Şekil 12'ye göre;

ds : Takım konik yüzeyinden alınan parçacık

F_c : Delme kuvveti (N)

f_a : ds parçacığını etkileyen aksenal kuvvet (N)

r : Takım yarıçapı (mm)

F_a : İlerleme kuvveti (N)

f : Sürtünme katsayısı

T : Teğetsel kuvvet (N)

X : Dış yüzeyinin çember merkezine uzaklığıdır (mm).

Buna göre, d_s parçacığının yüzeyine etkiyen eksenel kuvvetin diferansiyeli;

$$\frac{dF_a}{d_s} = f a$$

$$dF_a = f_a \cdot d_s \quad (10)$$

Sürtünme katsayısı (f), dikkate alındığında teğetsel kuvvetin diferansiyeli olur;

$$\frac{dT}{dF_a} = f$$

$$dT = f \cdot dF_a$$

Bu denklemde dF_a 'nın yerine, denklem (10)'daki karşılığı yazılırsa (11) numaralı denklemdeki gibi yazılır.

$$dT = f \cdot f_a \cdot d_s \quad (11)$$

d_s parçacığının alanı (12)'deki gibi yazıldığında;

$$d_s = 2 \cdot \pi \cdot X \cdot dx \quad (12)$$

d_s 'nin değeri, (11) denkleminde yerine yazıldığında (13) numaralı denklem elde edilir.

$$dT = f \cdot f_a \cdot 2 \cdot \pi \cdot X \cdot dx \quad (13)$$

d_s parçacığının yüzeyini etkileyen dT kuvvetinin tarafsız eksene göre oluşturduğu sürtünme momenti dM_f olup bunun diferansiyeli;

$$dM_f = dT \cdot x \quad (14)$$

dT'nin (13) numaralı denklemdeki değeri (14) numaralı denklemde yerine yazılırsa;

$$dM_f = X \cdot f \cdot f_a \cdot 2 \cdot \pi \cdot X \cdot dx$$

$$dM_f = f \cdot f_a \cdot 2 \cdot \pi \cdot X^2 \cdot dx$$

$$M_f = \int_0^r f \cdot f_a \cdot 2\pi X^2 \cdot dx$$

$$M_f = f \cdot f_a \cdot 2\pi r^3 / 3 \quad (15)$$

Eşitliği elde edilir. Sürtünen yüzey alanı;

$$S = \pi r^2 \quad (16)$$

Sürtünen yüzey alanına etki eden eksenel kuvvet;

$$F_a = f_a \cdot S \quad (17)$$

f_a değeri (17) numaralı denklemde çekilirse;

$$f_a = \frac{F_a}{S} \quad (18)$$

(15) numaralı denklemde f_a ve S değerleri yerlerine yazılırsa (19) numaralı denklem elde edilir;

$$M_f = f \cdot \frac{F_a}{S} \cdot 2\pi \frac{r^3}{3} \quad (19)$$

$$\pi r^3 = s \cdot r$$

Olduğundan, (19) numaralı denklemde gerekli sadeleştirme yapıldığında (20) numaralı denklem elde edilir;

$$M_f = f \cdot F_a \cdot 2\left(\frac{r}{3}\right) \quad (20)$$

$r=d/2$ eşitliği (20) numaralı denklemde yerine yazılır;

$$M_f = f \cdot F_a \cdot d/3 \text{ (Nm)} \quad (21)$$

Delme esnasında oluşan momentlerin toplamı, (M_{top}), (22) numaralı denklemdeki gibi olur;

$$M_{top} = M_c + M_f \text{ (Nm)} \quad (22)$$

Moment değerleri açılarak yerlerine yazılır;

$$M_{top} = \frac{Fc}{2} + f \cdot F_a \cdot d/3 \text{ (Nm)} \quad (23)$$

İşlenecek malzemenin cinsine göre sürtünme katsayısı değerleri (f) Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Sürtünen gereç cinsine göre sürtünme katsayısı değerleri

Sürtünen gereç cinsi	Sürtünme katsayısı, f
Çelik/Çelik	0.10
Çelik/Döküm	0.16
Çelik/Bronz	0.18
Çelik/Hafif Metal Alaşımları	0.2
Çelik/Ağaç	0.5-0.6

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Alaşım Üretimi

Bu çalışmada, bir adet ikili alüminyum-silisyum Al-7Si, bir adet üçlü alüminyum-silisyum-çinko Al-7Si-4Zn ve bir adet dördü alüminyum-silisyum-çinko-bakır Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımı, kokil döküm yöntemi ile üretildi. Alaşımların üretiminde, ticari saflıkta alüminyum (%99.7) ve yüksek saflıkta çinko (%99.99) kullanıldı.

Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri aşağıdaki Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri

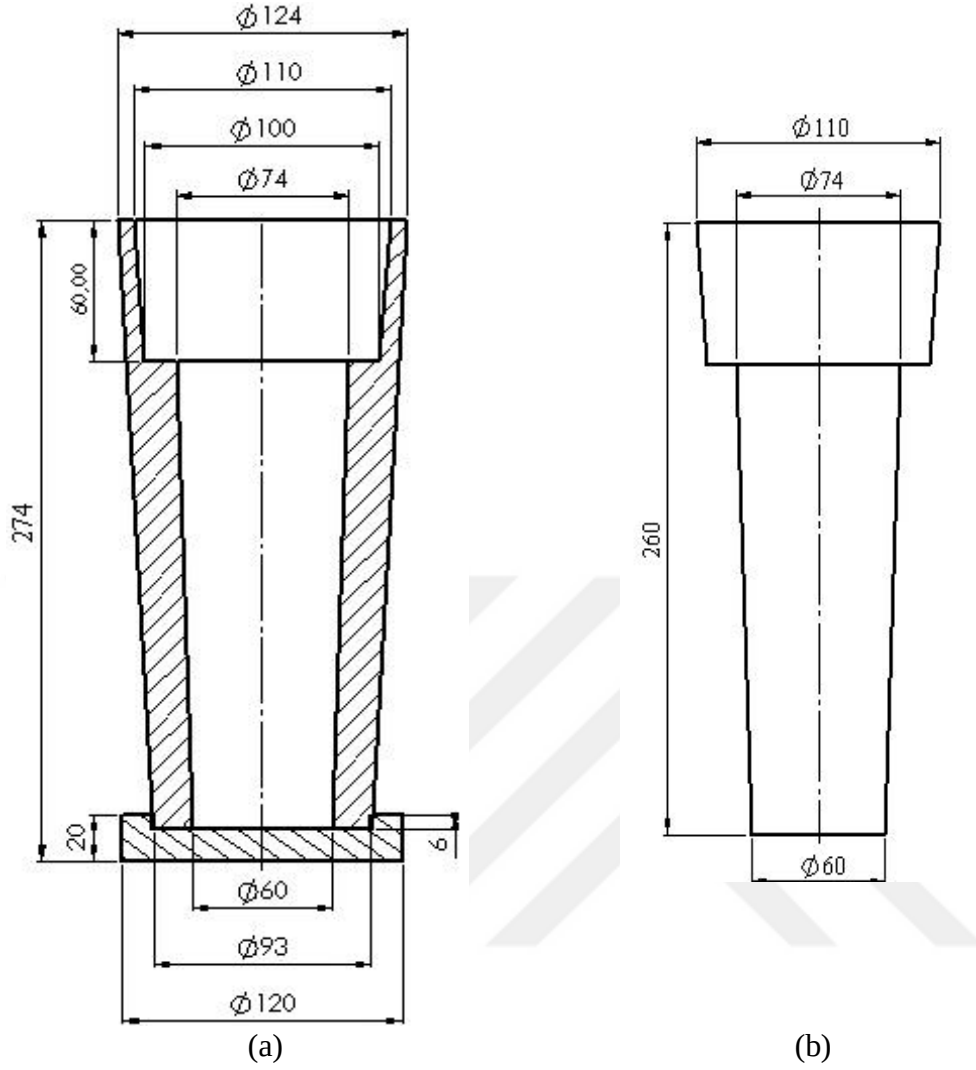
Alaşım	Ağırlıkça kimyasal bileşimleri (%)			
	Silisyum	Çinko	Bakır	Alüminyum
Al-7Si	7	-	-	Kalan
Al-7Si-4Zn	7	4	-	Kalan
Al-7Si-4Zn-3Cu	7	4	3	Kalan

Alaşım üretimi yapılırken, Tablo 10’da kimyasal bileşimleri verilen elementlerin ağırlıkları hesaplandı. Hesaplanan ağırlık değerlerine göre hassas terazi yardımıyla alaşımları oluşturan elementler tartıldı. Ergitme işlemi için Şekil 13’teki indüksiyon ocağı kullanıldı. Üretilen alaşımlar, kimyasal bileşimlerine göre 600-700 °C sıcaklık aralığında, oda sıcaklığında bekletilen SAE 8620 çeliğinden üretilmiş konik yapılı kalıba (Şekil 14-a) dökülerek oda sıcaklığında katılaştırıldı. Soğuyan numuneler (Şekil 14-b), konik kalıplardan çıkartıldı.



Şekil 13. İndüksiyon ocağı

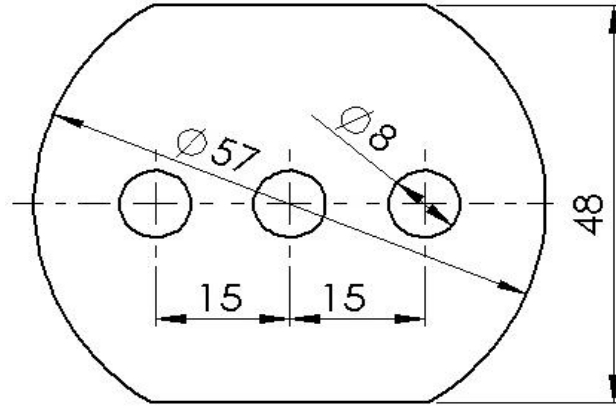
İndüksiyon ocağı, 50 kW gücünde ve 50 kg bakır en çok 28 dakikada 1150 °C sıcaklığa çıkarmaktadır. Güç ünitesi, 380 V, 3 faz, 50 Hz, 60 KVA güç kaynağına bağlanabilmektedir. Maksimum 2000 °C' de döküm yapma olanağı sağlamaktadır. 50 kg bakır ve 20 kg alüminyum kapasiteli, tek kişi tarafından hidrolik devirmeli, içerisinde asbest malzeme bulunmayan, dikey bobin destekleri ile desteklenen çelik malzemeleri ertitmeye uygun bobin, alt-üst ve yan plakaları mevcuttur. VIP-I Güç Ünitesi, ocağa tüm ertitme süresi boyunca, operatörün panelden herhangi bir ayar yapmasına gerek kalmaksızın tam güç salmaktadır. Güç ünitesi, ocak güç, voltaj ve frekansı izleyebilme özelliğini sağlayabilmektedir. Sistemde arızalara karşı koruyucu elektronik devre kesici ve ocaktaki enerji kayıplarını en aza indirmek amacıyla yüksek iletkenlikte saf bakırdan üretilen enerji hortumları bulunmaktadır. Ayrıca, otomatik astar sinterleme ve ısıtma gibi özelliklere sahiptir (Şekil 13).



Şekil 14. Döküm kalıbı ve üretilen parçanın teknik resmi, a) Döküm kalıbı, b) Üretilen parça.

2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

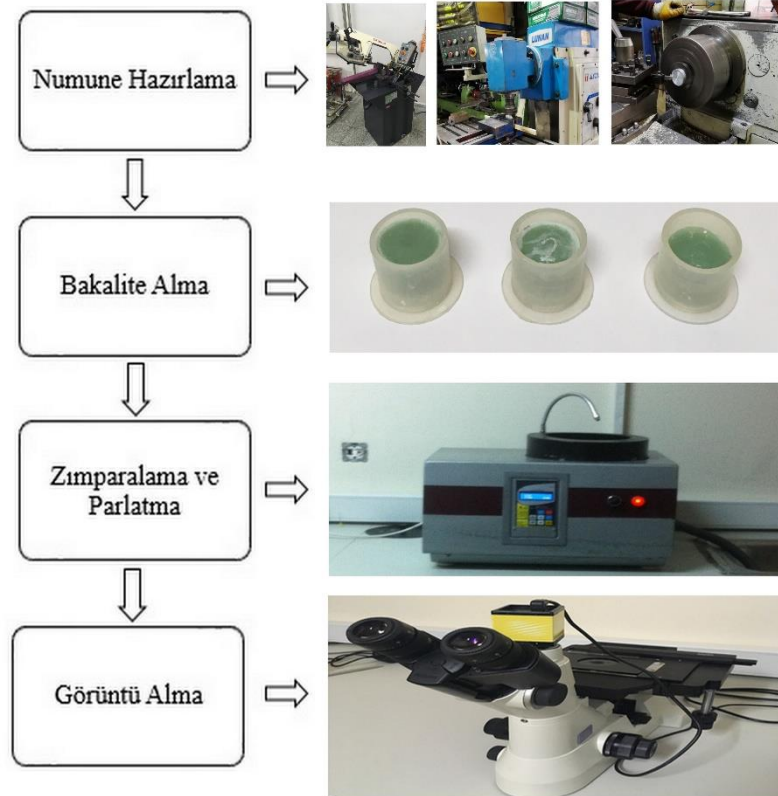
Şekil 14-a’da teknik resmi verilen kokil kalıba döküm yapıldıktan sonra ergimiş metal oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı. Soğuyan döküm numunenin geometrisi, konik bir yapıya sahip olduğu için tornalama işlemi ile $\Phi 58$ mm çapında ve 250 mm boy ölçülerinde silindirik şekle dönüştürüldü. Delme numunesi hazırlamak için bu parçadan 18 mm kalınlığında silindirik numuneler kesildi. Delik delme işleminde numunenin mengeneyle bağlanabilmesi için Şekil 15’te gösterildiği gibi ölçülerde işlendi. Numune yüzeyleri ise tornalama yöntemi ile kalınlık ölçüsü 15 mm olacak şekilde işlendi.



Şekil 15. Deney numunesinin teknik resmi.

2.3. Mikro Yapı Görüntüleri İçin Gerekli Hazırlıkların Yapılması

Üretilen alaşımların içyapılarının görüntülenebilmesi için numunelere sırasıyla Şekil 16'daki akış diyagramında gösterilen işlemler uygulanmıştır.



Şekil 16. Mikroyapı inceleme akış diyagramı.

Üretilen alaşımlardan 10x10x10 mm boyutlarında numuneler kesilerek bu numuneler soğuk bakalite alma işlemine tabii tutuldu. Bakalite alma işleminin amacı, tutulması zor parçaların zımparalama ve parlatma işlemleri için uygun hale getirilmesidir. Toz ve sertleştirici sıvı 2:1 oranında karıştırılarak içerisinde numune bulunan kalıbın içine döküldü. Karışım, 30 dakikada katılaştıktan sonra kalıptan çıkarıldı. Bakalite alma işleminin ardından numunelere zımparalama işlemi uygulandı. Devir kontrollü zımparalama makinesi yardımıyla sırasıyla 320-600-1200 ve 2000 aşındırma katsayısına sahip zımparalar kullanılarak numuneler zımparalandı. Zımparalama işlemi, gözle görülebilecek çizikler giderilene kadar devam ettirildi. Zımparalama işlemiyle yüzey pürüzlülüğü en aza indirilen numunelere parlatma işlemi uygulandı. Sırasıyla 9, 3 ve 0.05 µm'lik parlatma çuhaları kullanılarak elmas süspansiyon yardımıyla parlatma işlemi yapıldı. Alkol + aseton (%50+%50) karışımıyla son kez yıkanan numuneler, içyapı görüntüleri almaya hazır hale getirildi.

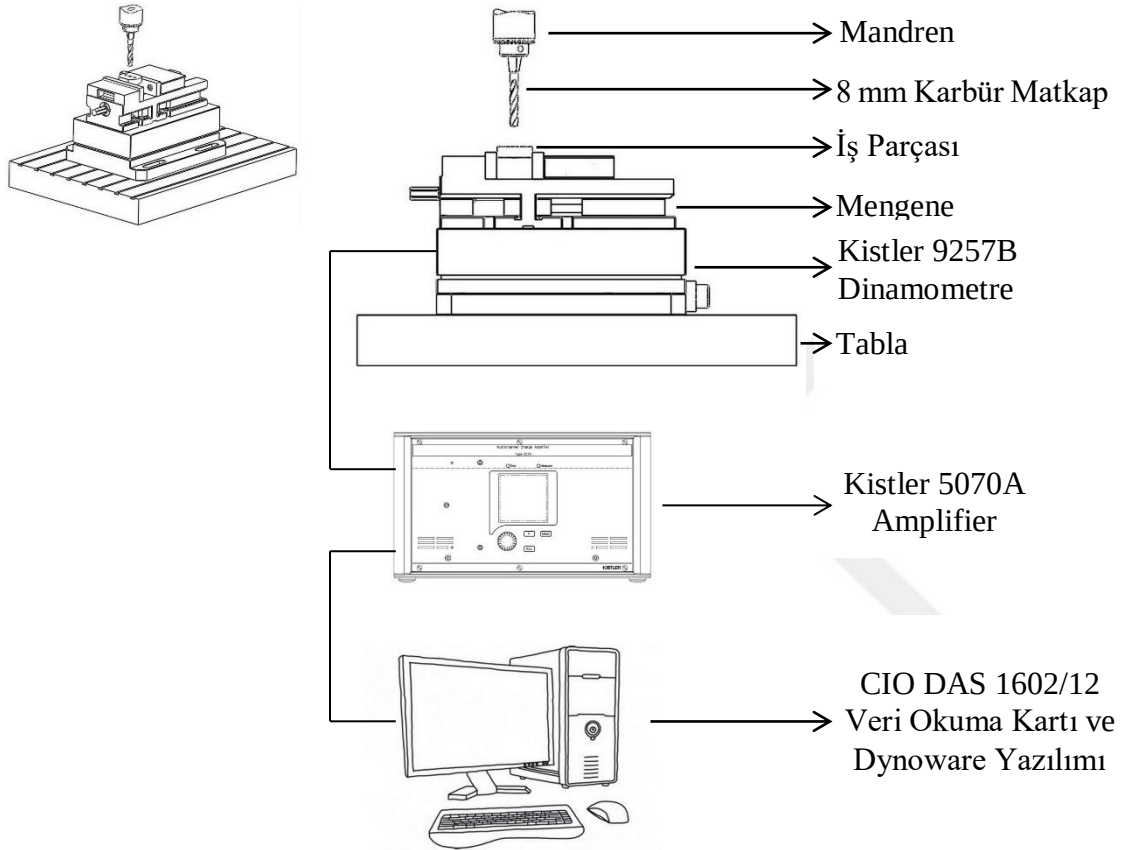
2.4. İşlenebilirlik Deneylerinde Kullanılan Gereçler

İşlenebilirlik deneyleri, Johnford VMC-850 marka CNC dik işleme merkezinde yapıldı. CNC dik işleme merkezinin özellikleri ise Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Johnford VMC-850 CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri.

Özellik	Değer
Tabla çalışma alanı (mm)	1000 x 500
X (mm)	800
Y (mm)	500
Z (mm)	610
Tezgah devir sayısı (dev/dak)	6000
Motor gücü (kW)	7.5
Yükleme kapasitesi (kg)	400
Tezgah ağırlığı (kg)	5500

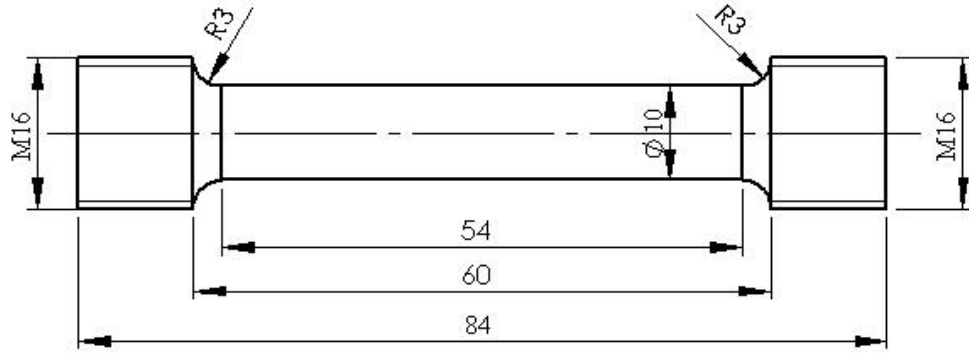
Delme deneylerinde kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde KİSTLER 9257B marka dinamometre kullanıldı. Dinamometre tarafından alınan titreşim sinyalleri KİSTLER 5070A marka yükseltece iletilmiştir. Titreşim sinyalleri, CIO DAS 1602/12 marka veri okuma kartı ve DYNOWARE yazılımı ile bilgisayara aktarıldı (Şekil 17).



Şekil 17. Kesme kuvvetlerinin belirlenmesinde iş akış diyagramı.

2.5. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanılan Numuneler ve Gereçler

Mekanik özelliklerin belirlenmesi için çekme ve sertlik ölçme deneyleri yapıldı. Çekme deneyleri için hazırlanan numuneler, TS 138 (ISO 6892-1) standartlarına uygun B tipi baş kısımlarına vida açılmış numunelerdir (Şekil 18). Çekme deneyleri, Alşa marka 20 ton çekme kapasiteli cihazda yapıldı (Şekil 19).

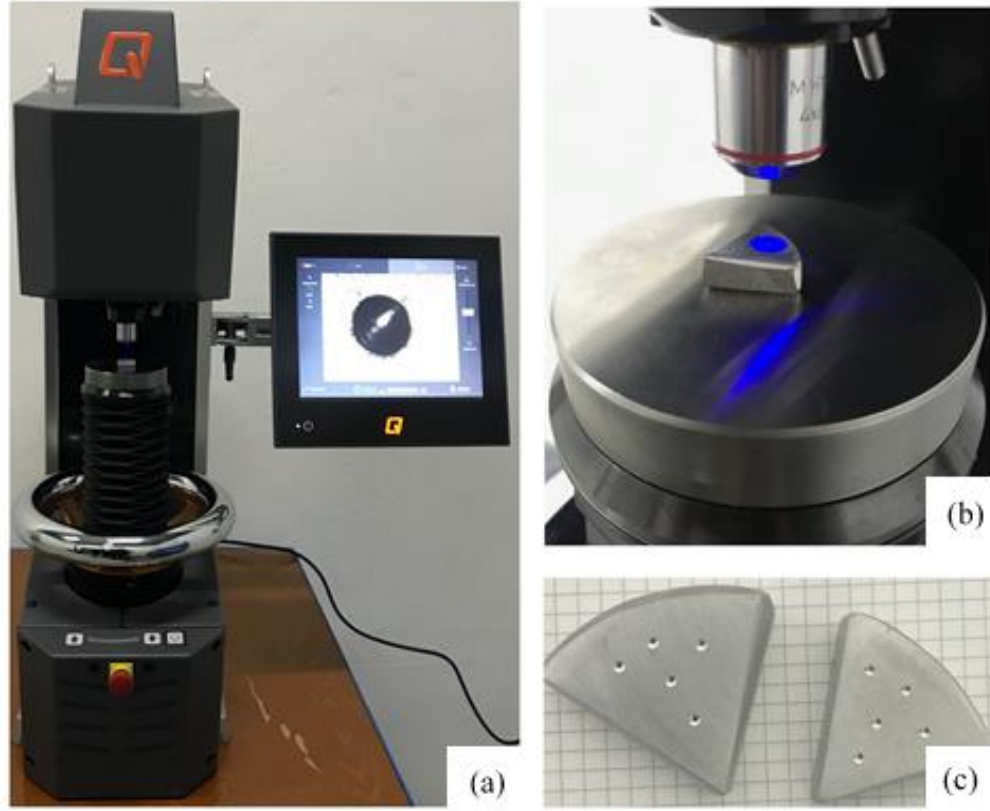


Şekil 18. Çekme deney numunesinin teknik resmi.



Şekil 19. Çekme deneyi, a) Alşa marka çekme deney cihazı, b) Çekme deney numunesinin bağlanması, c) Deney sonucunda kırılan numuneler.

Dökülen alaşımların Brinell sertlik değerleri, Qness Q250 CS marka sertlik ölçme cihazı ile ölçüldü. Cihaz, 2.5 mm çapındaki bilya üzerinden 62.5 kg yükü 5 saniye boyunca malzemeye uygulayarak ölçüm yapmaktadır. Alaşımlardan alınan numuneler zımparalanarak sertlik ölçümüne hazır hale getirildi. Sertlik değerleri, alaşımlara uygulanan beşer adet sertlik ölçümünün aritmetik ortalaması alınarak hesaplandı (Şekil 20).



Şekil 20. Sertlik ölçme deneyi, a) Qness Q250 CS marka sertlik ölçme cihazı, b) Numune yüzeyinden görüntü alma, c) Deney sonucunda oluşan numune yüzeylerinin görüntüsü.

2.6. Kesme Parametreleri ve Kesici Takım Özellikleri

Bu çalışmada, üç farklı alüminyum alaşımı, sabit kesme hızı ve sabit ilerleme değeri kullanılarak delindi. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılacak kesme parametreleri yapılan literatür çalışmasından elde edilmiştir. Kuru kesme şartlarında yapılan delme işleminde kullanılan kesme parametreleri, Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Kesme parametreleri.

Parametre	Değer
Kesme hızı (m/dk)	120
İlerleme (mm/dev)	0.15
Kesme derinliği (mm)	15

Delme işlemi için kaplamasız karbür matkaplar kullanıldı. Kullanılan kesici takımın özellikleri ise aşağıda Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Kesici takım özellikleri.

Özellik	Değer
Matkap çapı (mm)	8
Matkap uç açısı (°)	130
Helis boyu (mm)	30
Şaft uzunluğu (mm)	70
Matkap malzemesi	Karbür K10F (%94 WC + %6 Co)

2.7. Yüzey Pürüzlülüklerinin Ölçülmesi

Delme işleminin ardından deliklerin yüzey kalitelerini belirlemek amacıyla Mahr Perthometer M1 marka yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanıldı. Masa tipi yazılı çıktı verebilen yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri, Tablo 14'te verilmiştir. Standard tablolar yardımıyla örnekleme uzunluğu 0.8 mm, ölçüm uzunluğu ise 4 mm olarak belirlenmiştir. İşlenebilirlik kriterlerinden birisi olan ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri, ISO 4287 standardı dikkate alınarak işlenmiş yüzeyler üzerindeki pürüzlülük profilindeki sapmaların aritmetik ortalamasından elde edilen sonuçlar ile yüzey pürüzlülükleri hesaplanmıştır.

Tablo 14. Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü cihazının teknik özellikleri.

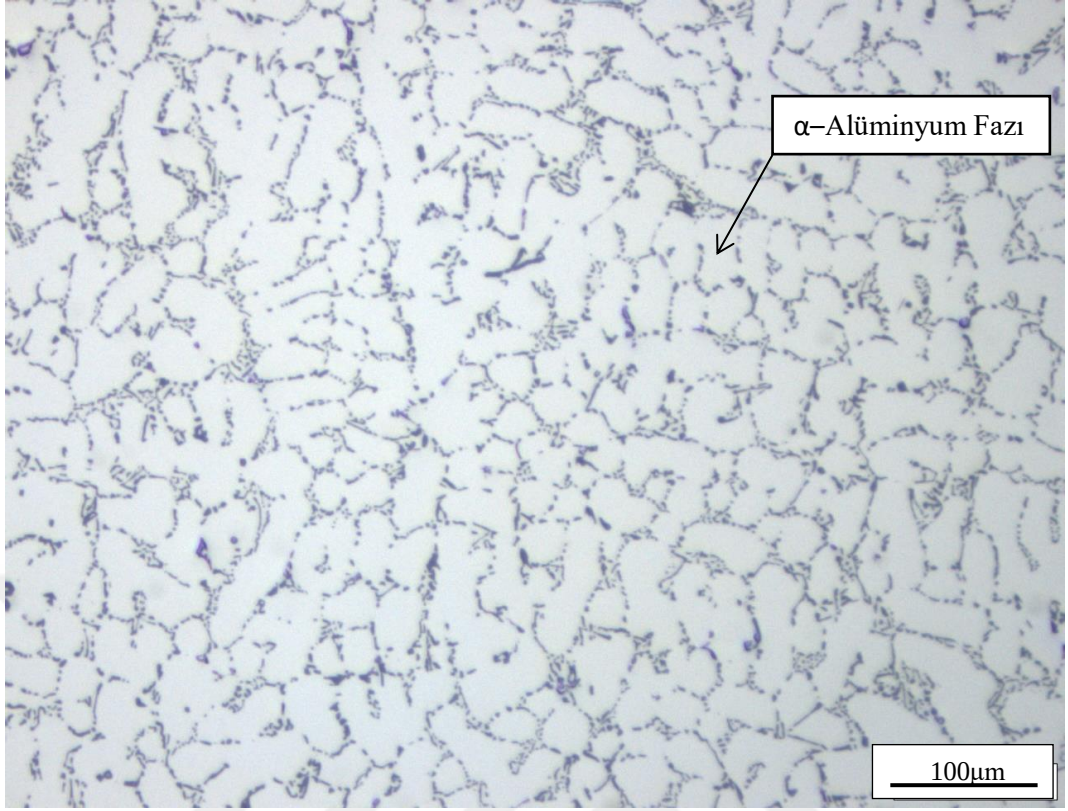
Özellik	Değer
Ölçüm Aralığı	100-150 μ m
İğne Ucu Yarıçapı	2 μ m
Tarama Hızı	0.5 m/s
Örnekleme Uzunluğu	0.25 – 0.8 – 2.5 mm
Ölçme Uzunluğu	1.75 - 5.6 – 17.5 mm

3. BULGULAR

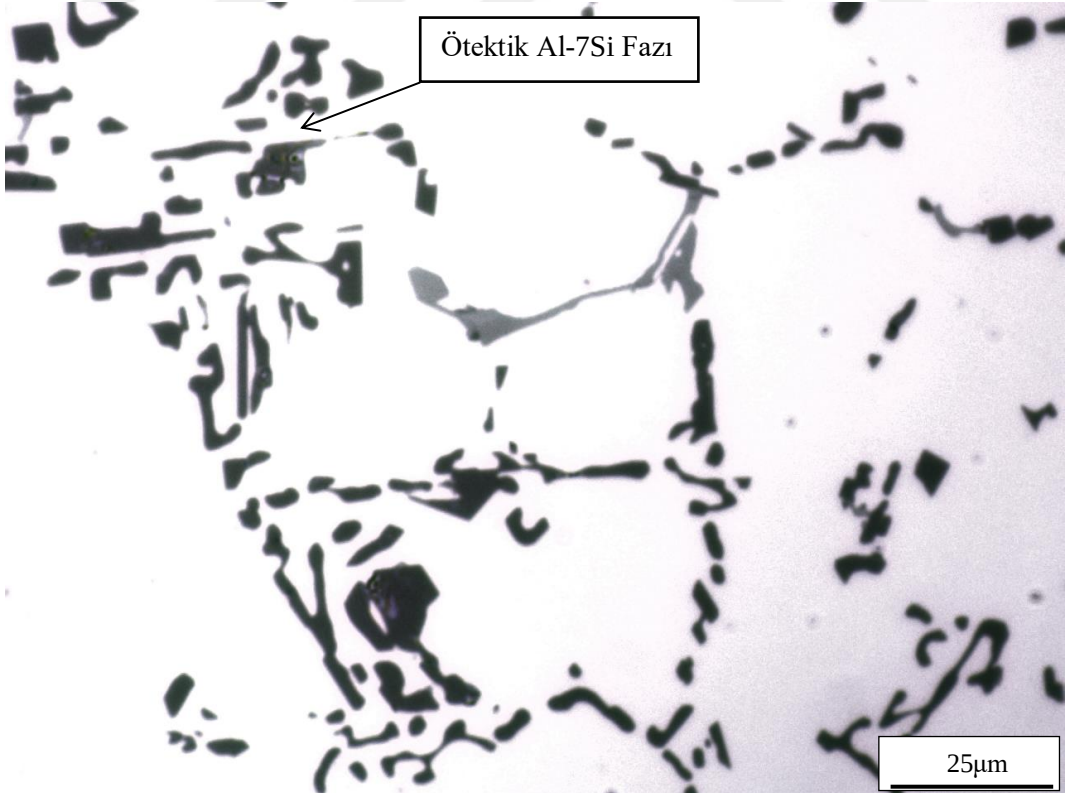
3.1. İçyapı İncelemelerinden Elde Edilen Bulgular

Bu çalışmada, birer adet olmak üzere ikili Al-7Si, l Al-7Si-4Zn ve dörtlü Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımları, indüksiyon ocağında ergitilerek kokil kalıba dökülerek üretildi. Dökülen alaşımların içyapısına ait mikroskop görüntüleri (şekil 21-26) ve EDS analizleri (şekil 27-33) verilmiştir.

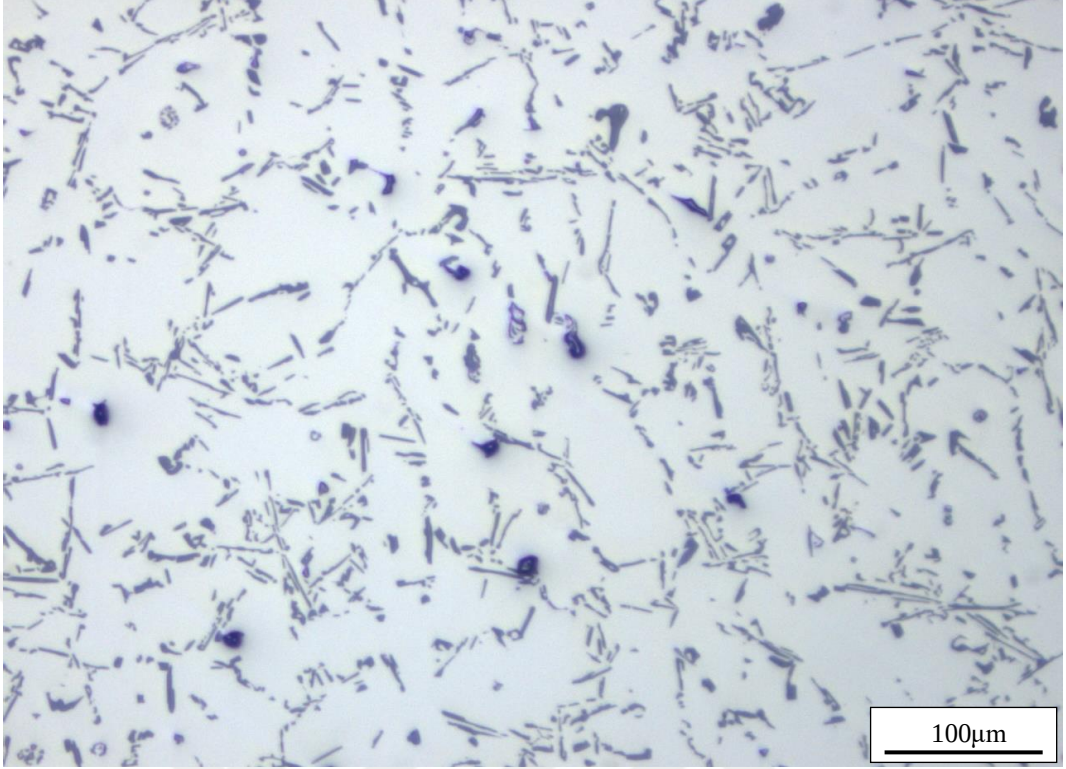
İkili Al-7Si alaşımının mikro yapısı şekil 21-22’de verildi. Bu alaşımının mikro yapı görüntüleri incelendiğinde alüminyumca zengin α dendiritlerinden (şekil 27), tektik Al-Si fazından (şekil 28) ve az da olsa birincil silisyum parçacıklarından oluştuğ gözlendi. l Al-7Si-4Zn alaşımının mikro yapısını gösteren fotoğraflar ise şekil 23-24’te verilmiştir. Bu fotoğraflar, söz konusu alaşımın içyapısını alüminyumca zengin α dendiritlerinden, iğnemsî yapıdaki ötektik silisyum kristallerinden, birincil silisyum parçacıklarından ve tektik Al-Si fazından oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca, Al-7Si ikili alaşımına %4 Zn ilavesiyle birlikte iğnemsî silisyum parçacıklarının hacim ve boyutlarında artış meydana geldiğ görüldü. Dörtlü Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının mikro yapı görüntüleri şekil 25-26’da verilmiştir. Bu görüntüler incelendiğinde dörtlü alaşımın içyapısında, l alaşımdan farklı olarak θ fazının oluştuğ gözlendi (şekil 26). Alaşımların içyapısındaki fazların belirlenmesine yönelik olarak yapılan EDS analizleri şekil 27-33’te verilmektedir. Bu analizler, Zn ve Cu elementlerinin alaşımın içyapısındaki Al içerisinde önemli derecede çözündüğünü göstermektedir.



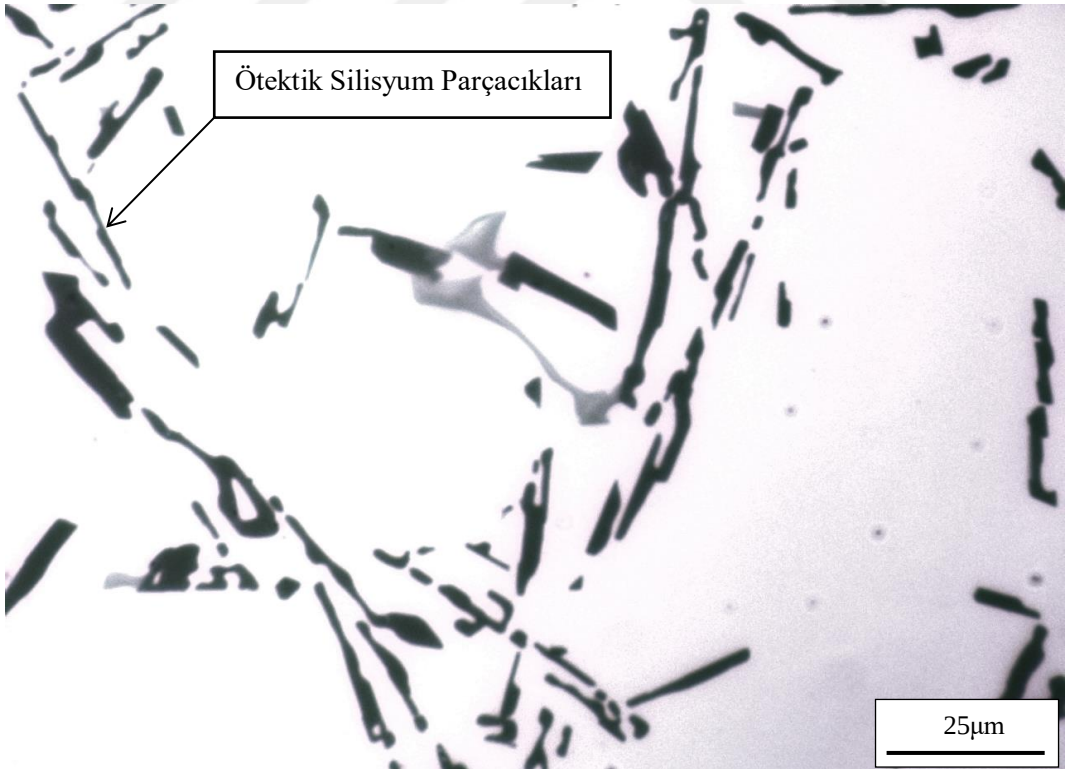
Şekil 21. Al-7Si içyapı görüntüleri (200x büyütme).



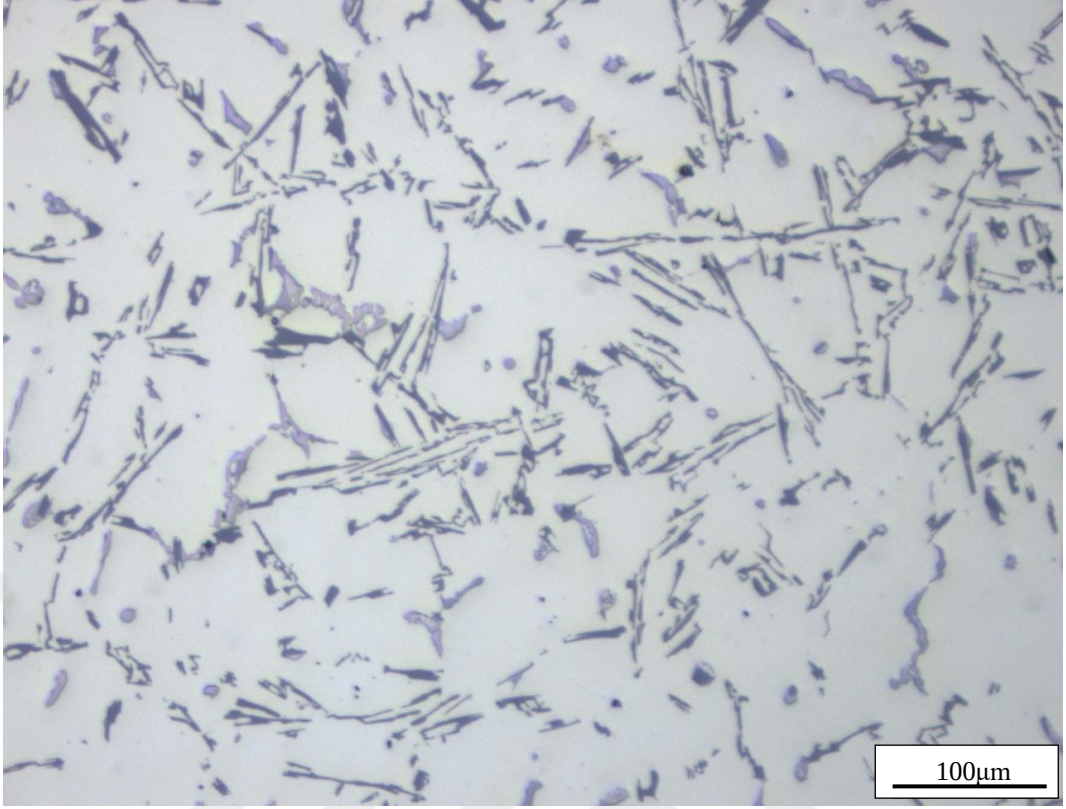
Şekil 22. Al-7Si içyapı görüntüleri (1000x büyütme).



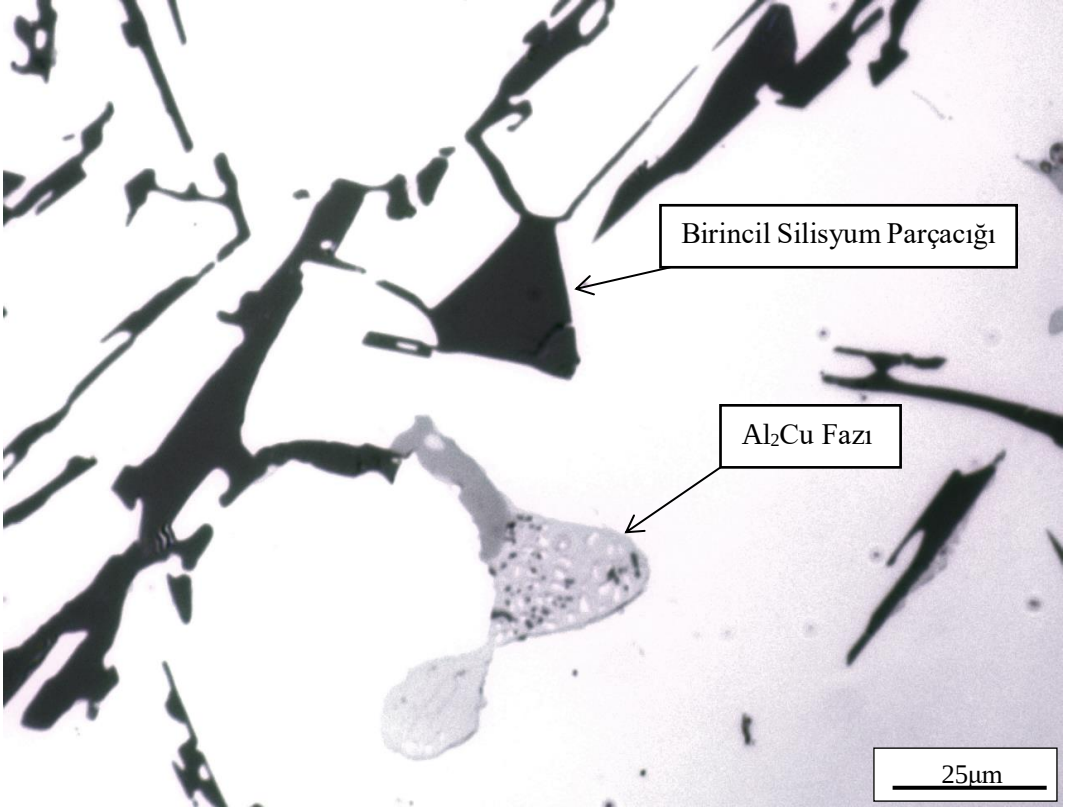
Şekil 23. Al-7Si-4Zn içyapı görüntüleri (200x büyütme).



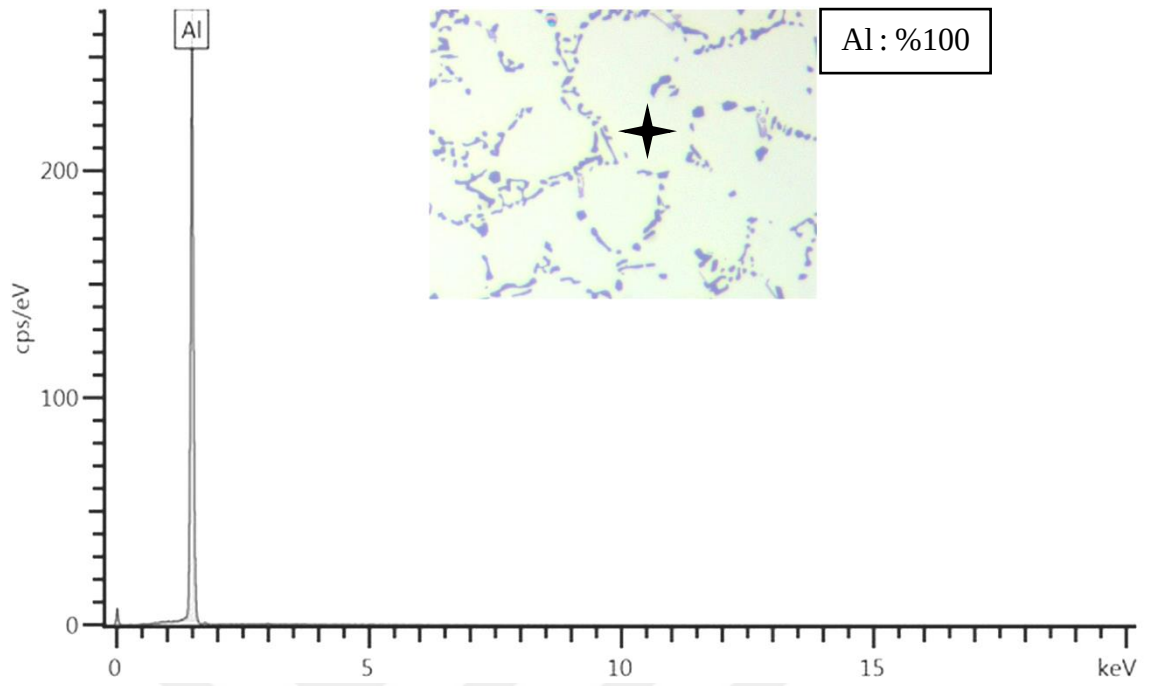
Şekil 24. Al-7Si-4Zn içyapı görüntüleri (1000x büyütme).



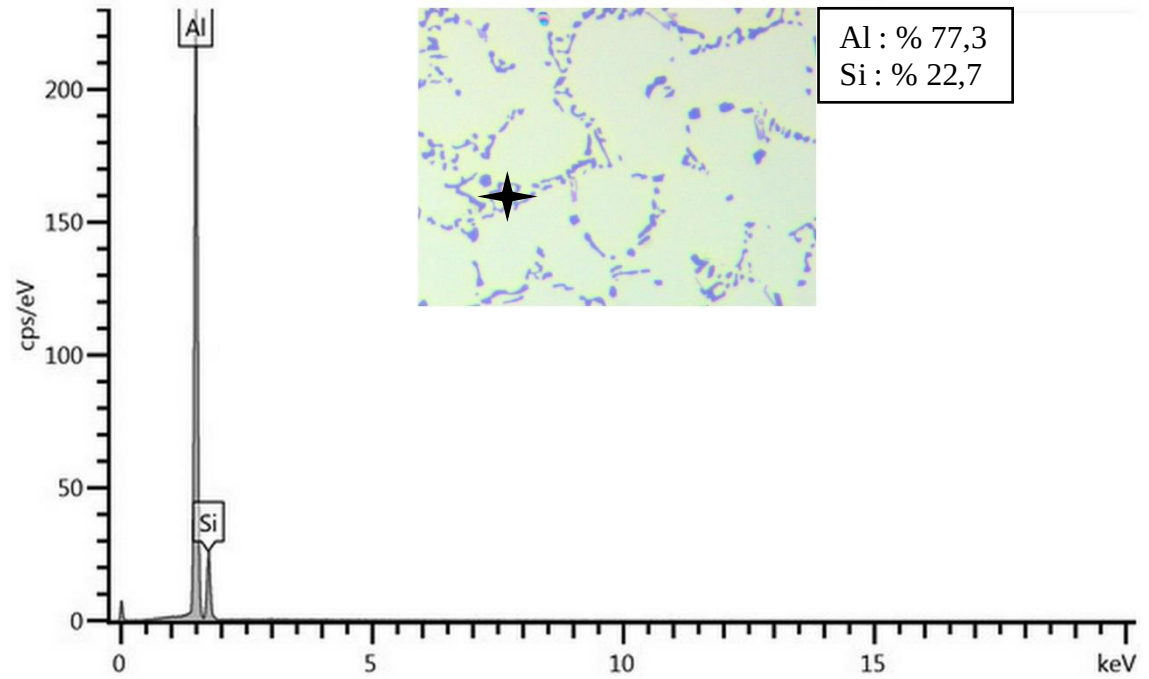
Şekil 25. Al-7Si-4Zn-3Cu içyapı görüntüleri (200x büyütme).



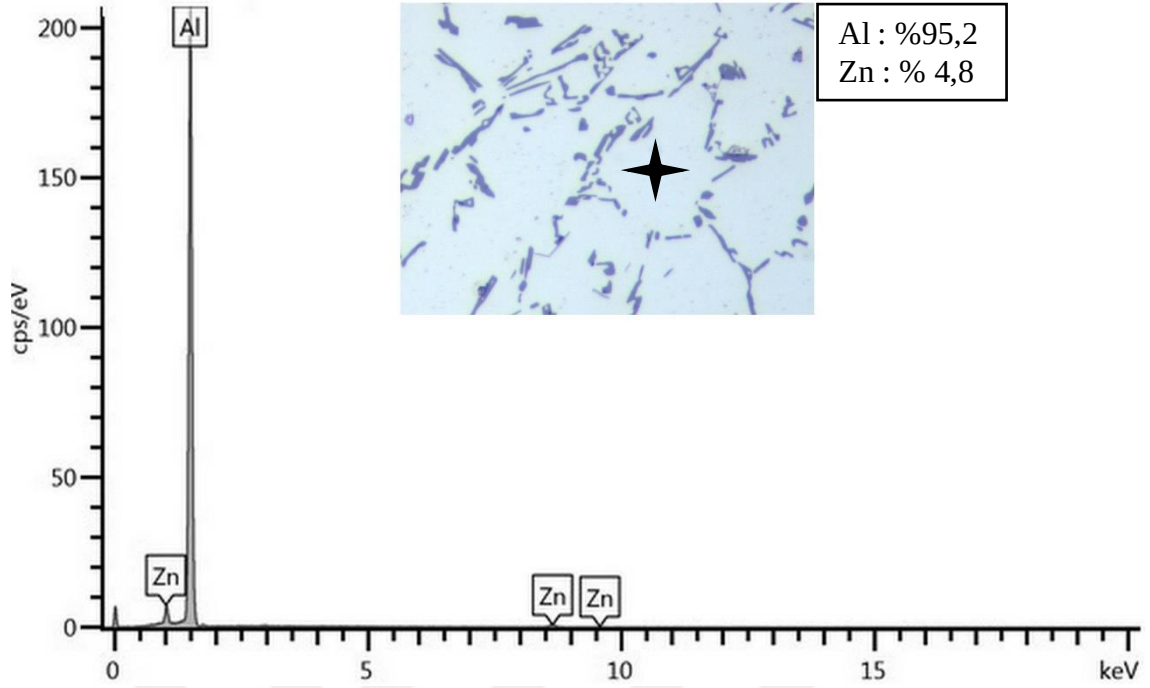
Şekil 26. Al-7Si-4Zn-3Cu içyapı görüntüleri (1000x büyütme).



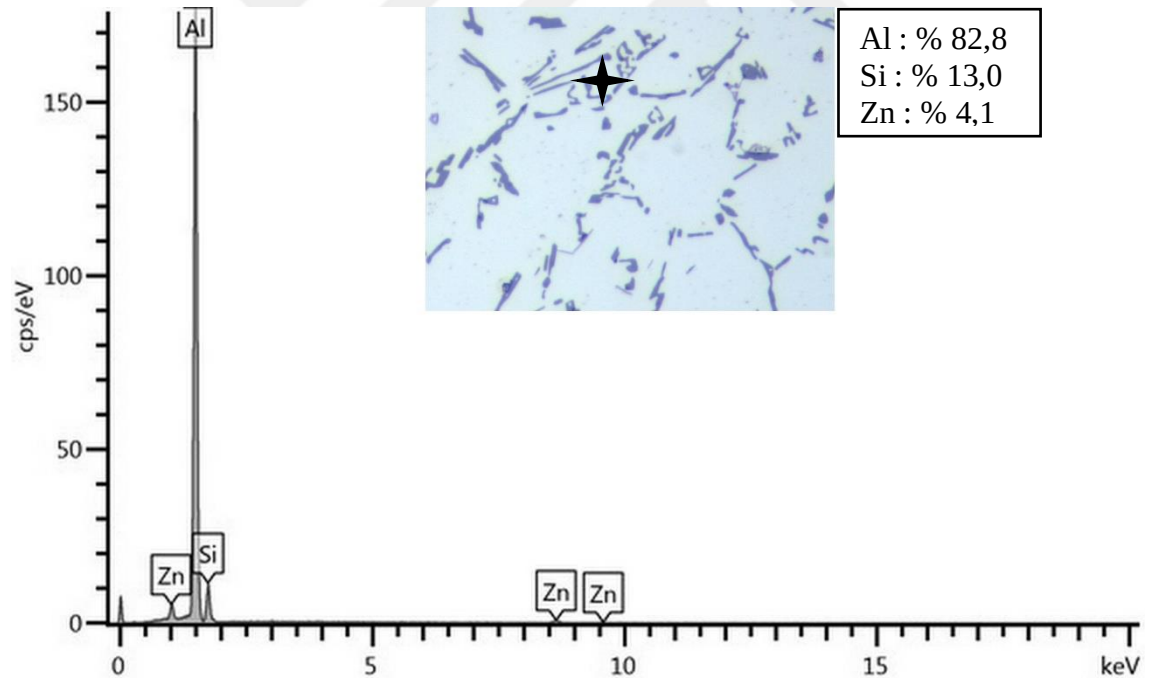
Şekil 27. Al-7Si alaşımına yapılan EDS analizi (α Fazı).



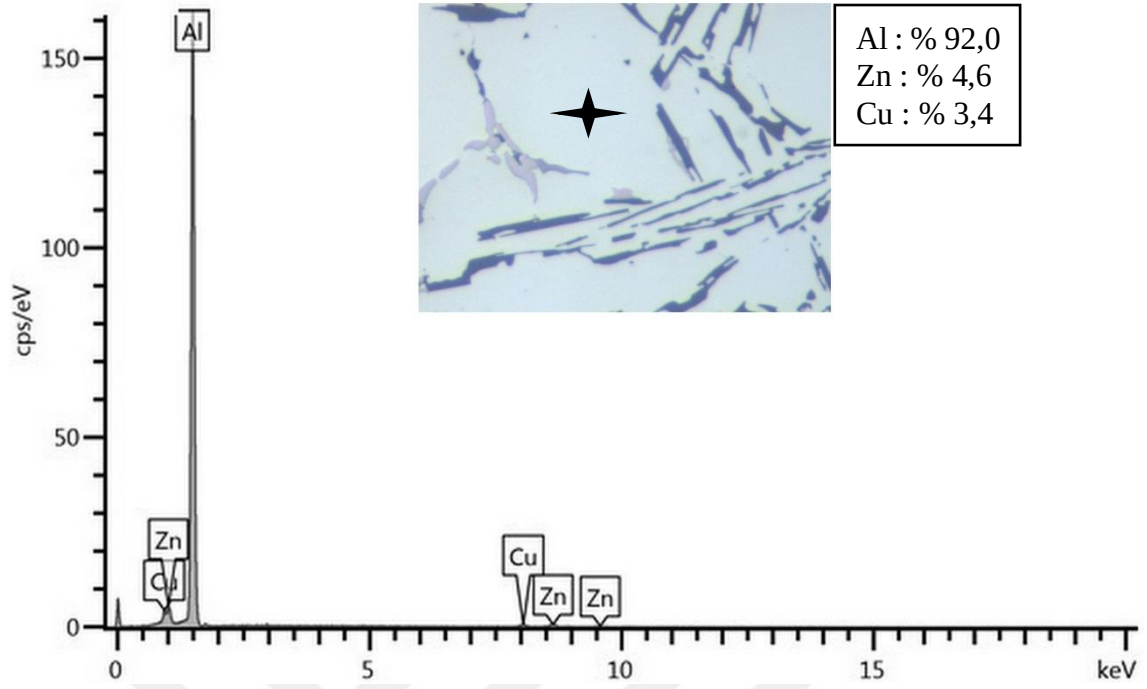
Şekil 28. Al-7Si alaşımına yapılan EDS analizi (Ötektik Al-Si fazı).



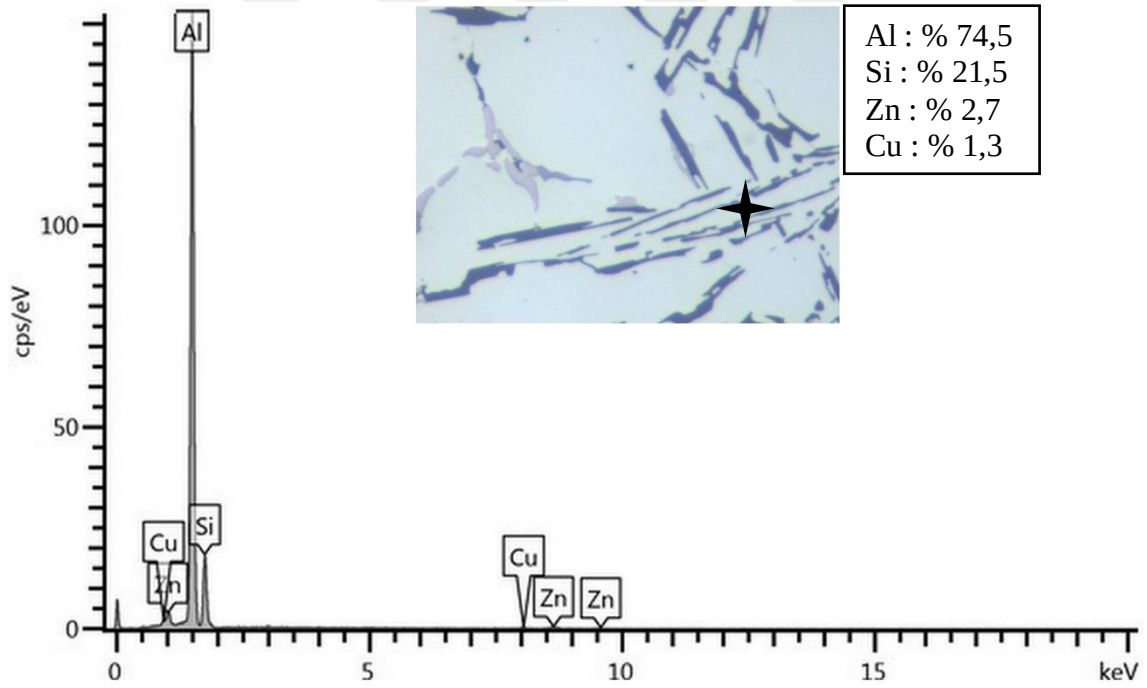
Şekil 29. Al-7Si-4Zn alaşıma yapılan EDS analizi (α Fazı).



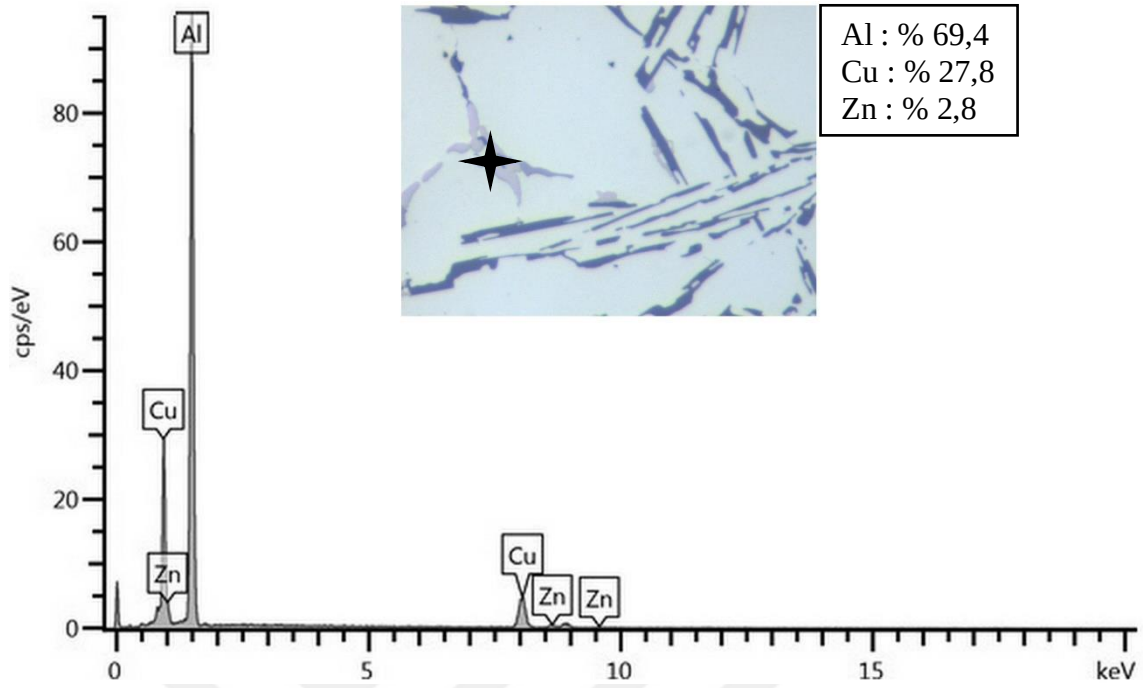
Şekil 30. Al-7Si-4Zn alaşıma yapılan EDS analizi (Ötektik Al-Si fazı).



Şekil 31. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımına yapılan EDS analizi (α Fazı).



Şekil 32. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımına yapılan EDS analizi (Ötektik Al-Si fazı).



Şekil 33. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşıma yapılan EDS analizi (Al_2Cu Fazı).

3.2. Mekanik Testlerden Elde Edilen Bulgular

Mekanik testler sonucunda elde edilen sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri, Tablo 15’te verilmiştir. Bu tabloda, %4 oranındaki Zn ve %3 Cu ilavelerinin sırasıyla ikili Al-7Si ve üçlü Al-7Si-4Zn alaşımlarının sertlik ve çekme dayanımını arttırdığı, kopma uzamasını ise azalttığı görülmektedir.

Tablo 15. Üretilen alaşımlara ait mekanik özellikler.

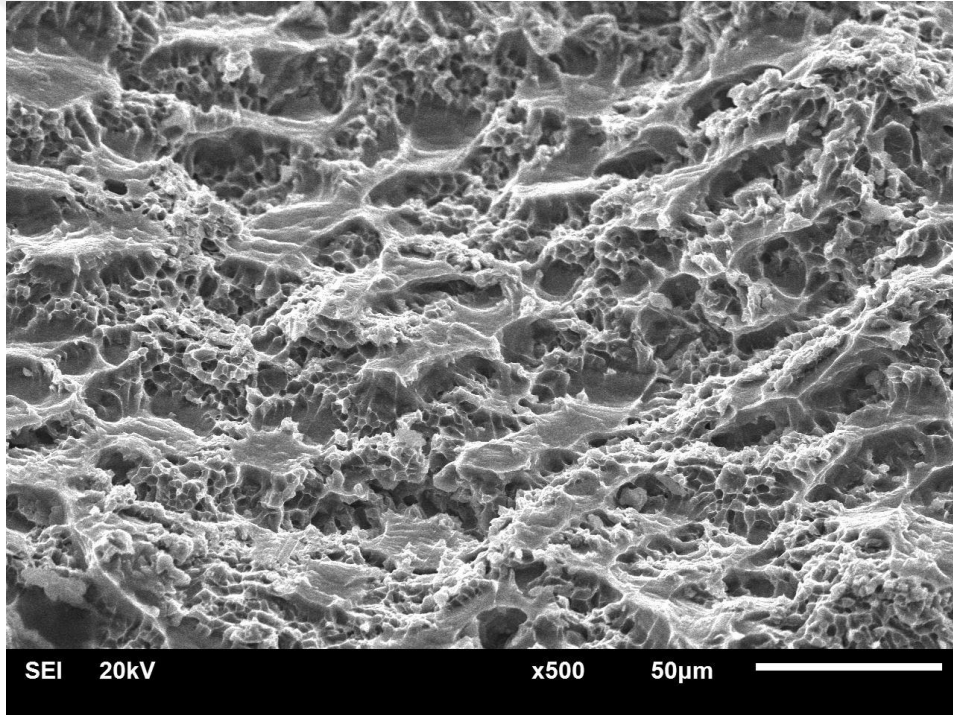
Alaşım	Sertlik (HB)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
Al-7Si	43	132.8	9.7
Al-7Si-4Zn	49	136.2	8
Al-7Si-4Zn-3Cu	73.8	186.9	4.9

Üretilen alaşımların içyapısındaki α ve ötektik Al fazlarının mikrosertlik değerleri, Tablo 16’da verilmiştir. Zn ve Cu ilavesi ile söz konusu fazların mikrosertlik değerlerinde önemli ölçüde artış meydana geldiği görülmüştür.

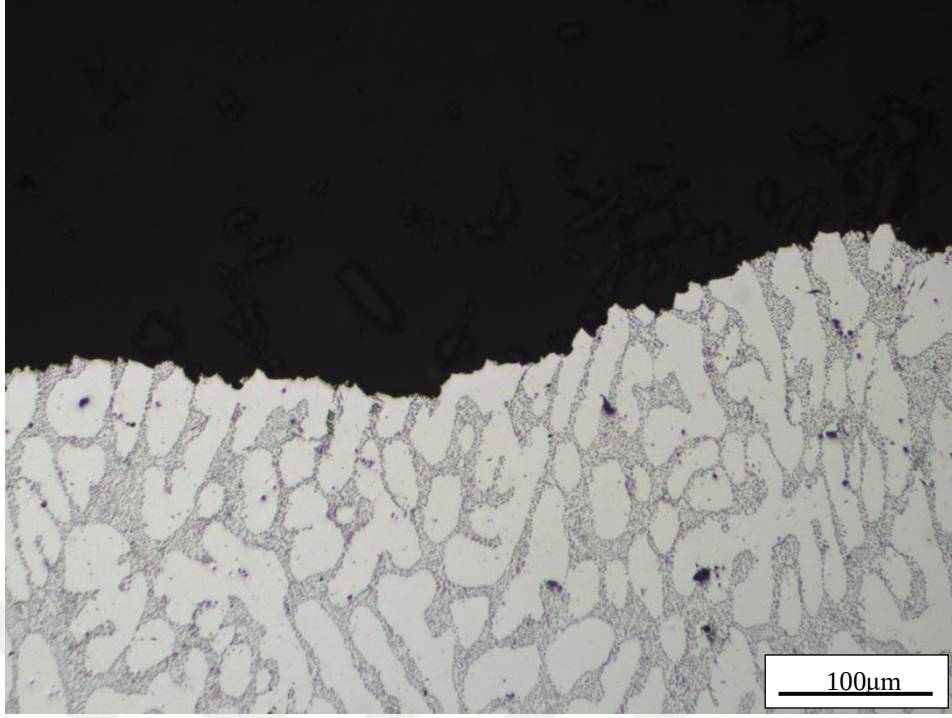
Tablo 16. Alaşımlara ait fazların mikrosertlik değerleri.

Alaşım	α Fazı (HV)	Ötektik Al Fazı (HV)
Al-7Si	42.5	47.3
Al-7Si-4Zn	46.9	52.6
Al-7Si-4Zn-3Cu	55.6	76.4

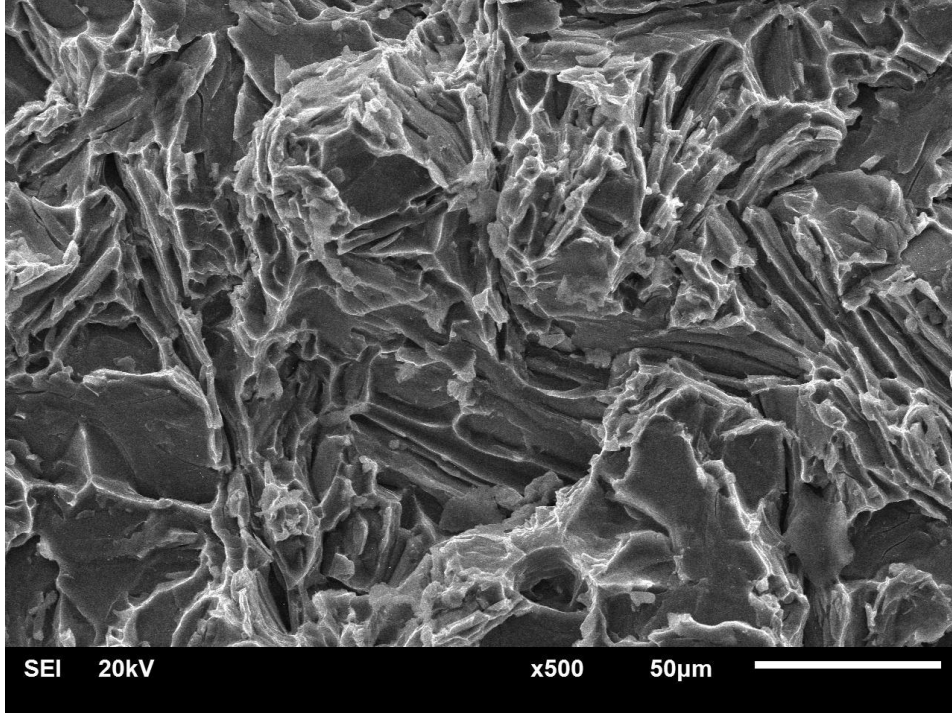
İncelenen alaşımların çekme deneyi numunelerine ait kırılma yüzeylerinin ve yüzey altlarının görüntüleri, Şekil 34-39’ da verilmiştir. Bu görüntüler, kırılma yüzeylerinin çukur, sırt ve klivaj düzlemlerinden oluştuğunu, kırılmanın dendritlerin sınırlarını takip ettiğini, silisyum parçacıkları ve Al_2Cu intermetalik fazlarının üzerinden ise devam ettiğini göstermektedir.



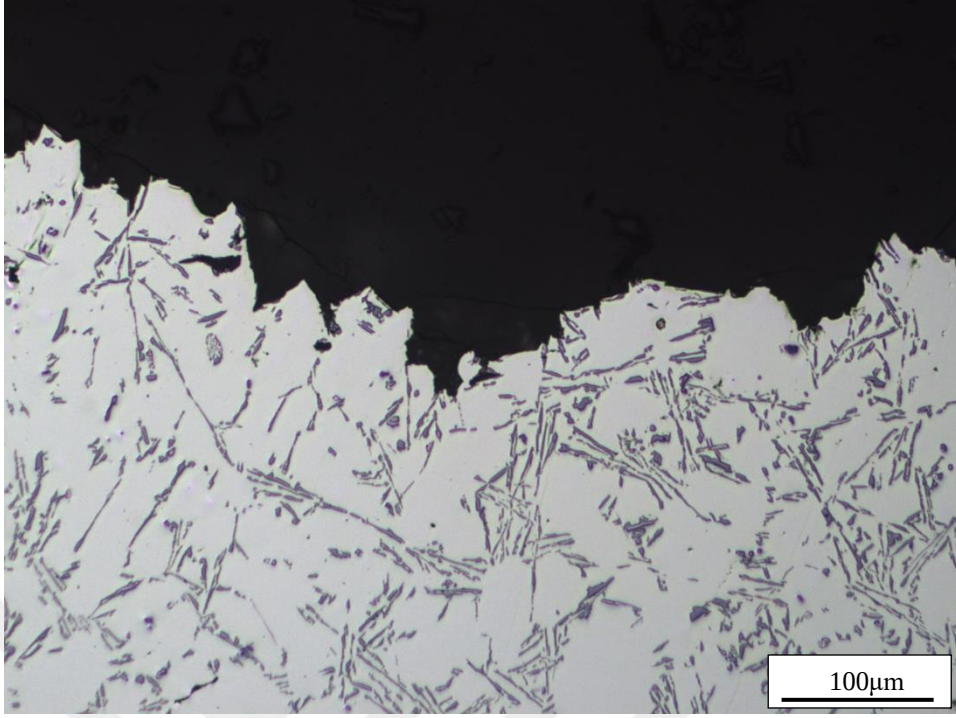
Şekil 34. Al-7Si alaşımına ait kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.



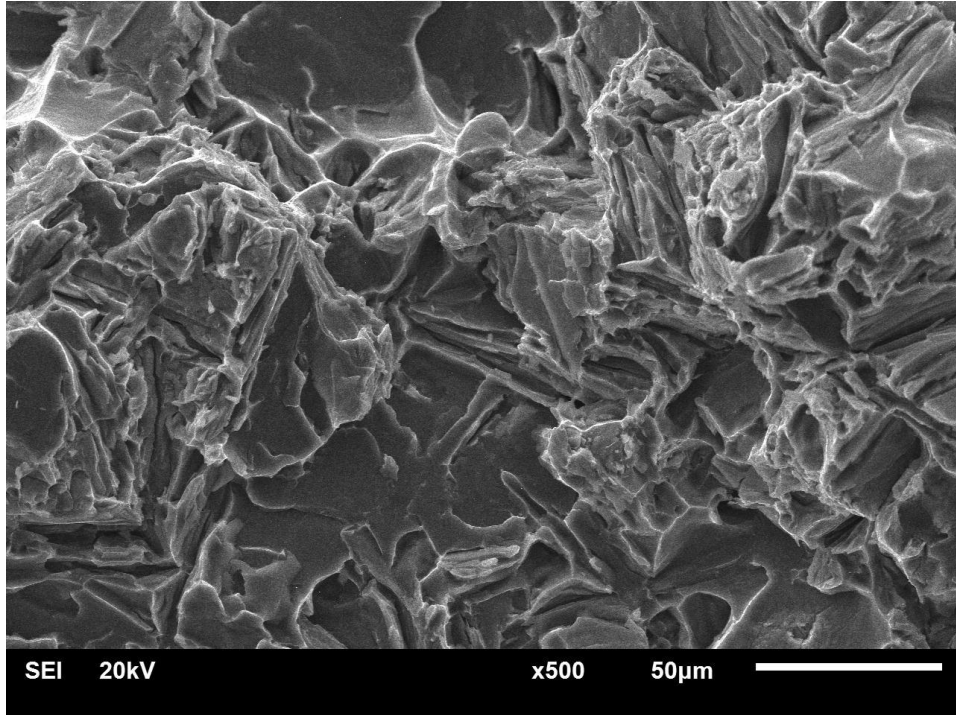
Şekil 35. Al-7Si alaşımına ait kırılma yüzey altı optik mikroskop görüntüsü.



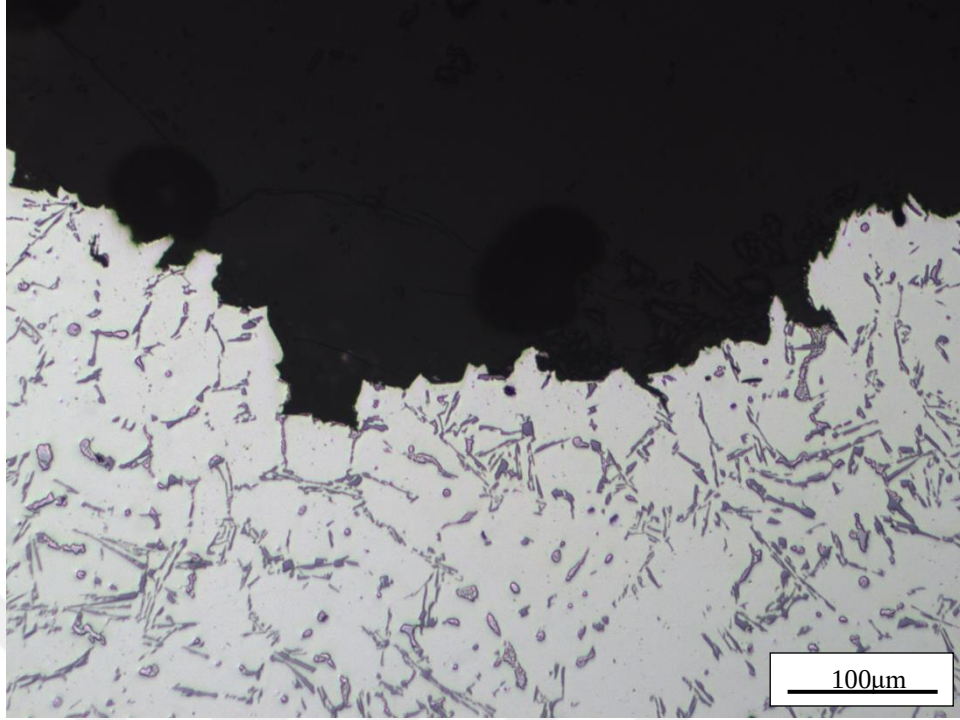
Şekil 36. Al-7Si-4Zn alaşımına ait kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.



Şekil 37. Al-7Si-4Zn alaşımına ait kırılma yüzeyi altı optik mikroskop görüntüsü.



Şekil 38. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımına ait kırılma yüzeyi SEM görüntüsü.



Şekil 39. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımına ait kırılma yüzeyi optik mikroskop görüntüsü.

3.3. İşlenebilirlik Deneylerinden Elde Edilen Bulgular

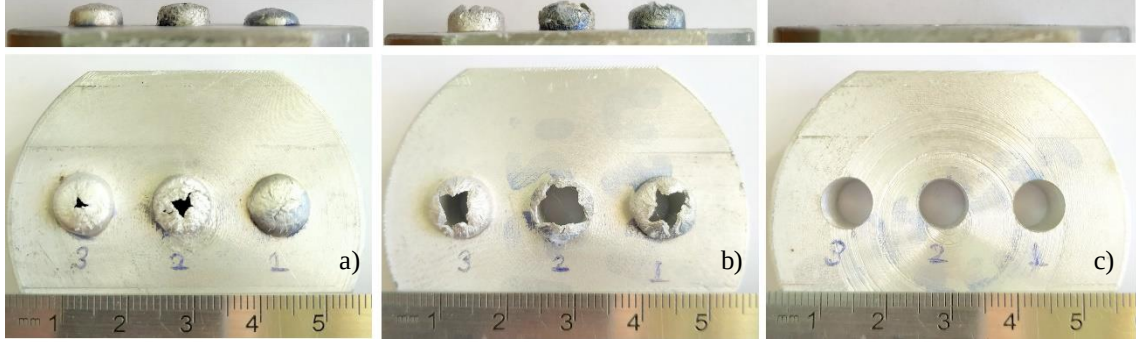
Üretilen alaşımlar, CNC dik işleme merkezinde delinerek kesme deneyleri gerçekleştirildi. Elde edilen bulgular incelendiğinde, Al-7Si alaşımına %4Zn, Al-7Si-4Zn alaşımına ise %3 oranında Cu ilavesinin ilerleme kuvvetini, moment ve yüzey pürüzlülüğünü azalttığı gözlenmiştir (Tablo 17).

Tablo 17. İşlenebilirlik deneylerinden elde edilen ilerleme kuvveti, moment ve yüzey pürüzlülüğü değerleri.

	Alaşımlar		
	Al-7Si	Al-7Si-4Zn	Al-7Si-4Zn-3Cu
İlerleme Kuvveti (N)	1024	931	796
Moment (Ncm)	260	235	197
Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	3,207	2,647	1,912

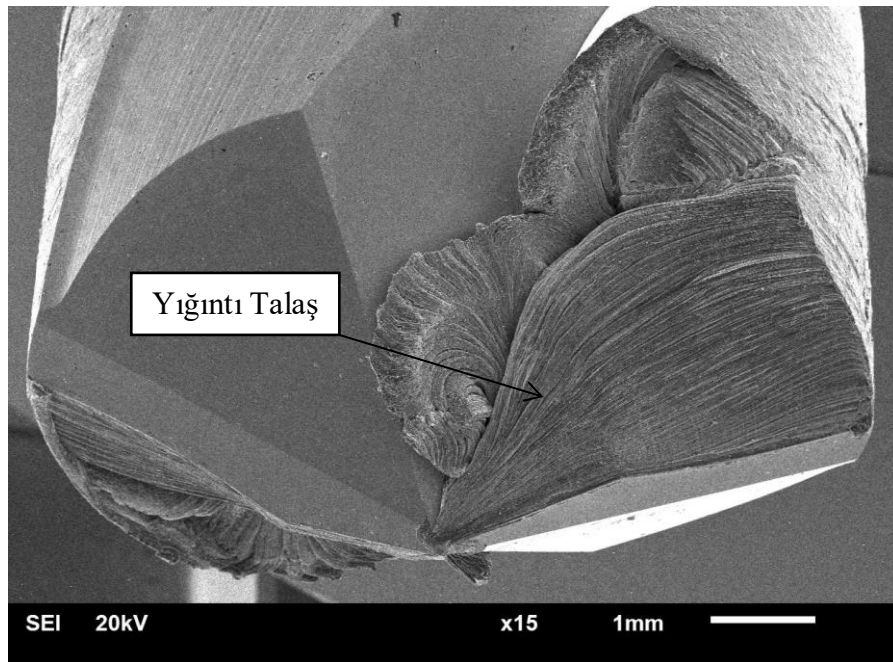
Delme deneyleri sonucunda, delik çıkışında çapak durumu ile ilgili görüntüler Şekil 40'ta verilmiştir. Buna göre, Al-7Si alaşımının delik çıkışında kesmenin zorlaşmasından dolayı delik geometrisi tam oluşmadığı (Şekil 40-a), Al-7Si-4Zn alaşımında ise %4 Zn ilavesi ile nispeten delik geometrisinin oluşmaya başladığı gözlenmiştir (Şekil 40-b).

Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımında ise %3 Cu ilavesi ile delik çıkışında apak oluşumunun makro düzeyde oluşmadığı ve delik geometrisinin normal düzeyde olduğu tespit edilmiştir (şekil 40-c).

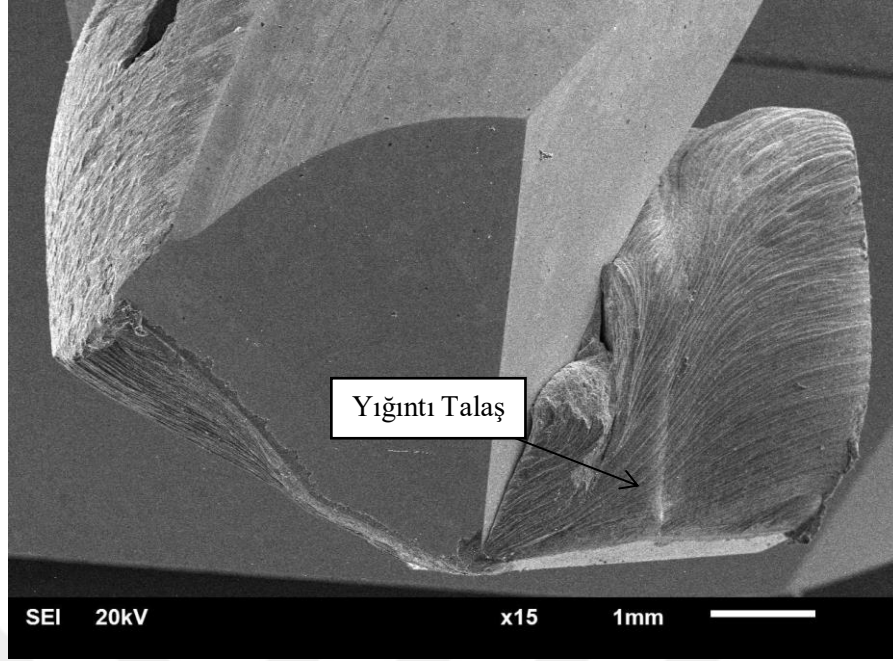


şekil 40. Delme işleminin sonucunda delik çıkışında oluşan çapaklar. a) Al-7Si alaşımı, b) Al-7Si-4Zn alaşımı ve c) Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımı.

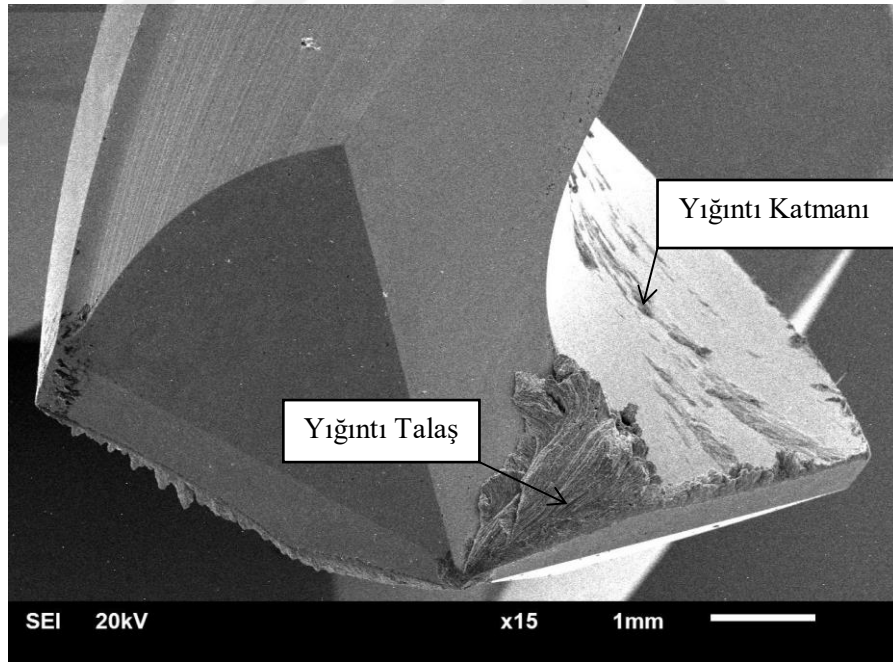
Delme deneyleri sonucunda, matkap kesici ağzı ve helisel kanal boyunca gözlenen yığıntı talaş (BUE-Built up edge) şekil 41-43'te ve yığıntı katman (BUL-Built up layer) oluşumu şekil 43'te verilmiştir. Görüntülere göre, Al-7Si alaşımına %4 Zn ilavesi ile delme işlemi esnasında matkap kesici ağız ve helisel kanalı boyunca BUE oluşumunun azaldığı (şekil 42), Al-7Si-4Zn alaşımına ise %3 Cu ilavesi ile BUE oluşumunun önemli miktarda azaldığı ve az miktarda BUL oluştuğu gözlenmiştir (şekil 43).



şekil 41. Al-7Si alaşımının delinmesinde kullanılan matkap kesici ağzında yığıntı talaş oluşumu

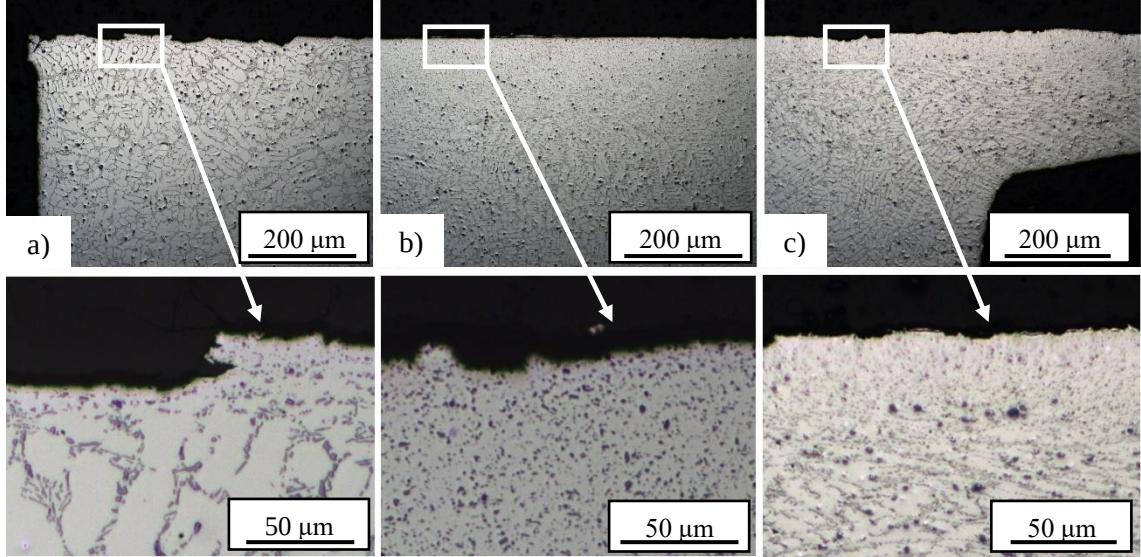


Şekil 42. Al-7Si-4Zn alaşıımının delinmesinde kullanılan matkap kesici ağzında yığıntı talaş oluşumu

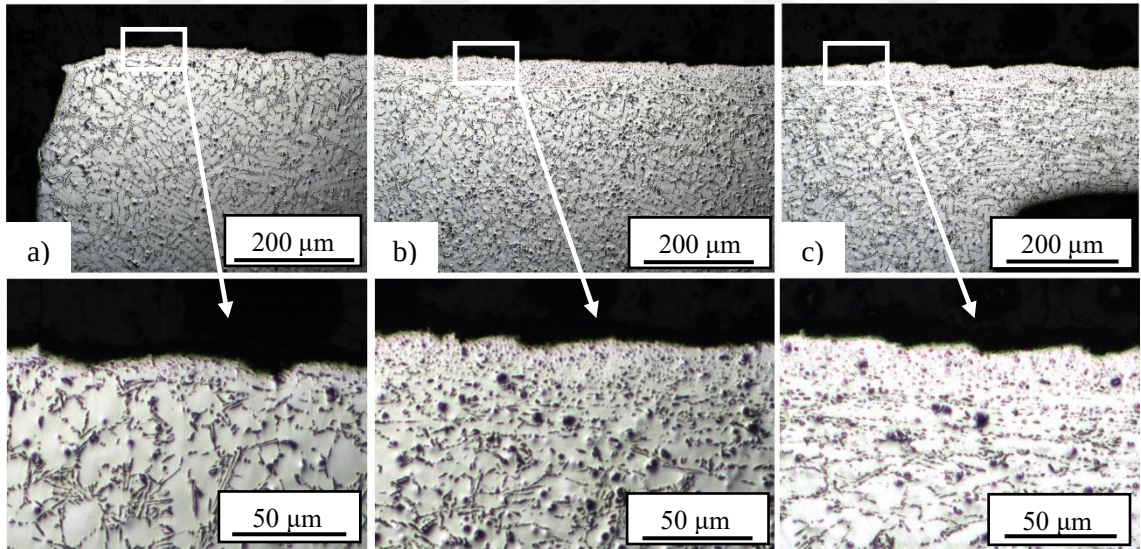


Şekil 43. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşıımının delinmesinde kullanılan matkap kesici ağzında ve helisel kanalda yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu

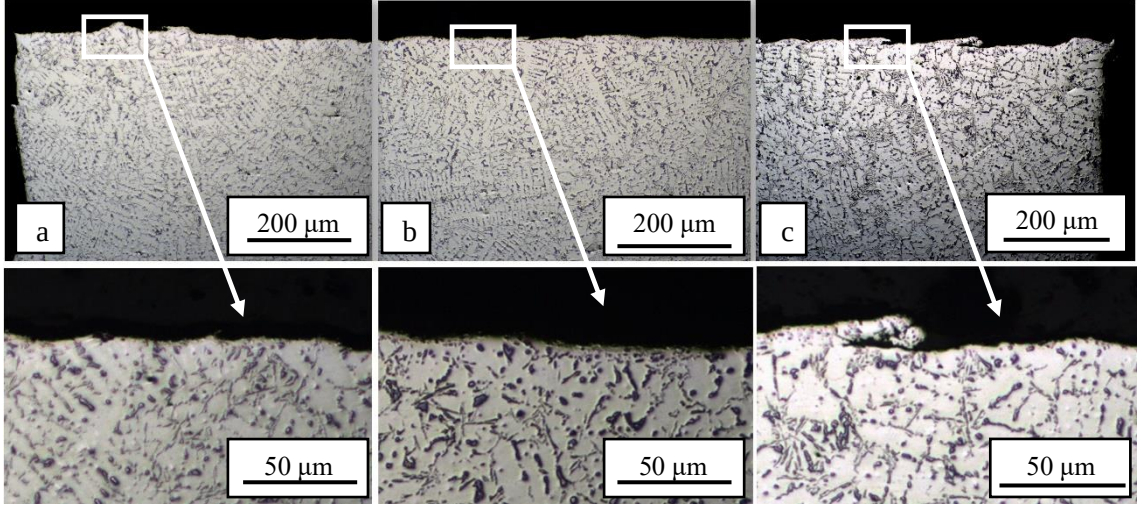
Delme işlemi sonucunda, alaşımlara ait kesme yüzey altı görüntüleri Şekil 44-46'da verilmiştir. Bu görüntülere göre, Al-7Si alaşımında yüzey altındaki yönelmenin diğer alaşımlara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir.



Şekil 44. Al-7Si alaşımının kesme yüzey altı görüntüsü (a: Giriş, b: Orta, c: Çıkış).



Şekil 45. Al-7Si-4Zn alaşımının kesme yüzey altı görüntüsü (a: Giriş, b: Orta, c: Çıkış).



Şekil 46. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının kesme yüzey altı görüntüsü (a: Giriş, b: Orta, c: Çıkış).

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Al-7Si alaşımasının mikro yapısının alüminyumca zengin α dentritleri, ötektik Al-Si fazı ve az da olsa birincil silisyum parçacıklarından oluştuğu görüldü (Şekil 21-22) (Ayata, 2018; Hekimoğlu ve Hacıosmanoğlu, 2018; Hekimoğlu ve Ayata, 2019). Bu fazların oluşumu ikili Al-Si faz diyagramına (Mondolfo, 1976) göre açıklanabilir. Şöyle ki, söz konusu diyagrama göre ergimiş durumdaki Al-7Si alaşımasının sıcaklığı, katılaşma esnasında katılaşma noktası daha yüksek olan alüminyumun sıcaklığına düştüğünde alüminyum çekirdekleri oluşur ve soğuma devam ettikçe dendritik büyüme gerçekleşir. Soğuma devam ettikçe sıvı metalin sıcaklığı ve kimyasal bileşimi ötektik değerlere ulaştığında ötektik katılaşma meydana gelir. Yapıda görülen birincil Si parçacıkları denge dışı soğuma nedeniyle oluşmuş olabilir. Al-7Si-4Zn alaşımında ikili Al-7Si alaşımından farklı bir faz görülmemiştir (Şekil 23-24). Bu durum, Zn'nin ikili alaşımdaki fazlar içerisinde tamamen çözünmesinden kaynaklanmış olabilir. Al-7Si-4Zn alaşımına Cu katılması durumunda ise θ fazının oluştuğu gözlemlendi (Şekil 25-26). Söz konusu fazın çözünürlük sınırı dışında kalan Cu'nun alüminyum ile reaksiyona girmesi sonucunda oluştuğu düşünülmektedir (Savaşkan vd., 2005; Alemdağ ve Beder, 2015).

Zn ve Cu katkısıyla, Al-7Si ve Al-7Si-4Zn alaşımlarının sertlik değerlerinde sırasıyla %13 ve %50, çekme dayanımı değerlerinde ise %3 ve %37 oranlarında artış meydana gelmiştir (Tablo 15). Söz konusu alaşımların kopma uzaması değerleri ise sırasıyla %21 ve %63 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 15). Sertlik ve mukavemet değerlerindeki artış, Zn ve Cu'nun alaşımın içyapısındaki Al fazları içerisinde çözünmesi sonucunda ortaya çıkan katı çözelti sertleşmesinin etkisinden kaynaklanmış olabilir. Zira mikrosertlik ölçümleri, Al-7Si alaşımına Zn ve Cu katılması durumunda Al fazlarının mikrosertliğinin arttığını göstermektedir (Tablo 16) (Alemdağ ve Beder, 2015; Tunçay, 2016).

Çekme deney numunelerinin kırılma yüzey altı fotoğraflarına bakıldığında, kırılmanın dendrit sınırlarını takip ederek ötektik silisyum parçacıkları üzerinden ilerlediği görülmektedir (Şekil 35). Bu bulgular, alaşımların yapısal özelliklerine dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki; alaşımların içyapısında bulunan ötektik silisyum parçacıklarının kırılma karakteristiği, klivaj kırılma şeklindedir. Bunun nedeni,

uygulanan normal gerilmenin matris içerisindeki sert silisyum parçacıkları üzerine daha yüksek oranda iletilmesi ve silisyum parçacıklarının mukavemet değerlerinin matris içerisindeki diğer fazlardan daha erken aşılmasıdır. Ayrıca, Al-7Si-4Zn alaşımına katılan %3 Cu katkısı sonrası dendritler arası bölgede görülen nispeten sert ve gevrek Al_2Cu fazının dendritler arası bağları zayıflatarak kırılmayı kolaylaştırdığı bilinmektedir (Alemdağ ve Beder, 2015). Söz konusu fazda gerilme yığılmaları meydana gelmesi sonucu oluşumu kolaylaşan çatlaklar, çoğunlukla dendrit sınırlarında yer alan Al_2Cu fazı üzerinden ilerleyerek kırılmayı tamamlamaktadır.

Üretilen alaşımların kırılma yüzey altı bölgelerini gösteren fotoğrafları Şekil 35, 37 ve 39’ da verilmiştir. Bu fotoğraflar, kırılma yüzeylerinin geniş ve düz yüzeyler (klivaj) ile kopma sırtlarından oluştuğunu göstermektedir. Söz konusu klivaj kırılma yüzeylerinin alaşım elementi katkısı ile sürekli arttığı, kopma sırtlarının ise azaldığı görülmektedir. Bilindiği üzere klivaj kırılma düzlemlerinin oluşumu gevrek kırılma, sırt veya çanak oluşumu ise sünek kırılma belirtileridir (Fatahalla vd., 1999). Alaşım elementi katkısı ile kopma uzaması değerlerinin sürekli azalması ve içyapıda sert ve gevrek Al_2Cu oluşması geniş ve düz yüzeylerin oranının artmasına, kopma sırtları oluşumunun ise azalmasına sebep olmuş olabilir.

CNC dik işleme merkezinde yapılan delme deneyleri sonucunda, Al-7Si alaşımına %4 Zn ilavesinin ilerleme kuvvetini %10 oranında azalttığı, Al-7Si-4Zn alaşımına %3 oranında yapılan Cu ilavesinin ise ilerleme kuvvetini %17 oranında azalttığı tespit edilmiştir (Tablo 17). Cu ve Zn katkılarıyla birlikte alaşımların kopma uzaması değerleri azalmıştır. Bundan dolayı talaş kaldırma esnasında takım kesici ucunda BUE oluşumu azalmaktadır. Takım geometrisi bozulmadığı için iş parçası üzerinden talaş kaldırma kolaylaşmıştır.

Sabit kesme hızı ve ilerleme değerleri ile yapılan deneylerde, Al-7Si alaşımının delinmesi esnasında ilerleme kuvvetinin 1024 N ile diğer alaşımlara göre en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Alaşımın içyapısında bulunan Si parçacıkları ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilemektedir. Alüminyum matris içerisinde yer alan Si parçacıkları, alaşımın mikroyapısal homojenliğini azaltmakla birlikte kesme işlemi esnasında kesici takım üzerinde düzensizliklerin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu

durum, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü arttıran bir etken olarak ortaya çıkmaktadır (Farid vd., 2011a). Ayrıca, Al-7Si alaşımının kopma uzaması değerinin (%9,7) diğer alaşımlara göre daha yüksek olması, sertlik ve çekme mukavemetinin ise daha düşük olması Al-7Si-4Zn ve Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımlarına göre daha sünek malzeme olduğunu göstermektedir (Özçatalbaş vd., 2006). Bu durum, sünek malzemelerin işlenmesi esnasında işlenebilirliği zorlaştıran BUE oluşumunun artmasına sebep olmaktadır (Şekil 41-43). Yapışma (Adhezyon) aşınması, iş parçası malzemesinin kesici takım yüzeyine eklenmesi ile ortaya çıkmaktadır. Kesici takım yüzeyine yapışan iş parçası malzemesi, durağan olmamakla birlikte kesme işlemi esnasında artış göstermektedir. Biriken bu talaş kesme kuvvetlerinin artışına, yapışma devam ettikçe kesici takım üzerinden parçacıkların kopmasına ve işlenmiş yüzey kalitesinin azalmasına sebep olmaktadır (Carrilero vd., 2002; Gökkaya, 2010; Gökkaya ve Nalbant, 2007 ; Çiftçi, 2004; Nouari vd., 2005; Kendall, 1995). Yapışma, yığıntı talaş (BUE-Built up edge) ve yığıntı katmanı (BUL-Built up layer) olarak iki farklı şekilde gerçekleşmektedir. Yığıntı talaş, talaşın kesici takım kesme kenarına yapışarak geometrisinin tamamen bozulmasına, yığıntı katman ise kesici ağız boyunca iş parçası malzemesinin sıvanarak yapışması ile katman oluşturmaya sebep olmaktadır (Carrilero vd., 2002; List vd., 2005). Al-7Si ve Al-7Si-4Zn alaşımlarının delinmesi esnasında kesici ağız ve matkap helisel kanalı boyunca büyük miktarda yığıntı talaş (Şekil 41 ve 42), Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının delinmesinde ise daha az yığıntı talaş ve helisel kanal boyunca yığıntı katman oluşumu gözlenmiştir (Şekil 43). Bu alaşımlarda, Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının delinmesinde daha az yığıntı talaş oluşumu, bu alaşımın diğer alaşımlara göre sahip olduğu kopma uzaması değerinin (%4,9) daha düşük olmasından kaynaklanmış olabilir. Diğer bir ifade ile Al-7Si-4Zn üçlü alaşımına %3 oranında Cu ilavesi, çökelme sertleşmesine (Zeren vd., 2011) ve dendritik bölgelerde θ (Al_2Cu) intermetalik fazının oluşumuna sebep olarak (Gonçalves ve Silva, 2015; Savaşkan vd., 2009) alaşımın sertliğini ve çekme mukavemetini artırırken, kopma uzamasını azaltmaktadır (Tablo 15). Dolayısı ile bu durum alaşımın delinmesi esnasında matkap üzerine etkiyen ilerleme kuvvetlerinin Al-7Si ve Al-7Si-4Zn alaşımına göre daha az oluşmasına sebep olmuş olabilir.

Al-7Si alaşımının delinmesi sonucunda delik çıkışları incelendiğinde ise kesme esnasında matkap kesici ağız ve helisel kanalında oluşan yığıntı talaş, matkabın kesme esnasında ilerlemesine engel teşkil etmekle birlikte, kesmeden ziyade basma gerilmesinin etkisi ile plastik deformasyon oluşumuna (Aurich vd., 2005) sebep olarak delik geometrisinin tam olarak oluşmadığı gözlenmiştir (şekil 40-a). Bu alaşıma %4Zn ilavesinin yapılması ile kopma uzaması (%8) bir miktar azalmış ve delme işlemi esnasında delik çıkışının Al-7Si alaşımına göre daha açık olduğu (şekil 40-b), Al-7Si-4Zn alaşımına ise %3 Cu ilavesinin kopma uzamasını %4,9'a kadar düşürdüğü ve delik çıkışında ise makro düzeyde herhangi bir çapağın oluşmadığı gözlenmiştir (şekil 40-c).

Alaşımlara uygulanan delme işleminin ardından, delik giriş, orta ve çıkış bölgesine ait yüzey altı görüntüleri, optik mikroskopta çekilmiştir (şekil 44-46). Al-7Si alaşımının yüzey altı görüntüleri incelendiğinde, matkabın ilerleme hareketi ile işlenmiş yüzeye yakın bölgedeki silisyum parçacıklarının kırıldığı ve ince bir dağılım sergilediğı gözlenmiştir (şekil 44). Kesme esnasında matkap üzerindeki ilerleme kuvveti, yüzey altında bulunan bu silisyum parçacıklarını bu bölgede basma gerilmesinin etkisi ile plastik deformasyona zorlamaktadır. Ortaya çıkan akmanın etkisi ile Al-7Si ve Al-7Si-4Zn alaşımlarının delik çıkış bölgelerinde, silisyum parçacıklarının kesme yönünde hareket ettiğı gözlenmiştir (şekil 44-c ve 45-c). Ayrıca, silisyum parçacıkları kesici takımın ilerleme hareketine ve abrasif etkiye bağlı olarak işlenmiş yüzey üzerinde çukurların oluşumuna ve yüzey kalitesinin azalmasına sebep olmaktadır (Farid vd., 2011; Pramila Bai ve Biswas, 1991). Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının delinmesinde kesme yüzeyi altında ikili ve üçlü alaşımla kıyaslandığında belirgin bir akma tabakasının oluşmadığı gözlemlendi. Bu durum, bu alaşımın kopmasının ikili ve üçlü alaşımlara göre kopma uzaması değerinin daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünölmektedir.

Bu çalışmada, otomotiv, havacılık ve medikal gibi birçok sektörde yaygınlıkla tercih edilen Al-7Si alaşımlarında, Zn ve Cu katkılarının işlenebilirlik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Al-7Si alaşımının mikro yapısı alüminyumca zengin α dentritlerinden, ötektik Al-Si fazından ve az sayıda birincil silisyum parçacıklarından oluştuğı görölmüştür. Al-7Si alaşımına yapılan %4 Zn ilavesi, içyapıda yeni bir fazın oluşumuna yol açmamış, ancak

Al-7Si-4Zn alaşımına yapılan %3 Cu ilavesi, yapıda Al₂Cu intermetalik fazının oluşumuna neden olmuştur.

- Zn ve Cu katkıları Al-7Si alaşımının sertlik ve çekme dayanımı değerlerini arttırmakta, kopma uzamasını ise azaltmaktadır.

- Zn ve Cu katkıları, Al-7Si alaşımına uygulanan delme işlemindeki ilerleme kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmaktadır.

- Al-7Si esaslı alaşımların işlenebilirlik parametreleri, bu alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerinden ziyade kopma uzamasına bağlıdır.

- Al-7Si, Al-7Si-4Zn ve Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımları arasında en fazla BUE oluşumu Al-7Si alaşımında, en az ise Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımında, BUL ise sadece Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımında meydana gelmektedir.

- Al-7Si esaslı alaşımlarda kopma uzaması azaldıkça işlenmiş yüzey altında oluşan yönlendiş tabaka kalınlığı azalmaktadır.

5. ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Al-7Si alaşımına yapılan Zn ve Cu katkılarının bu alaşımın işlenebilirlik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda, Al-7Si alaşımına yapılan Zn ve Cu ilavesinin yanı sıra bu alaşımlara ısıtıl işlem uygulanarak işlenebilirlik üzerindeki etkisi araştırılabilir. Farklı ısıtıl işlem ve kesme parametreleri ve alaşım elementleri kullanılarak bunların işlenebilirlik üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenebilir. Bu çalışmada kullanılan delme yönteminden farklı olarak frezeleme, tornalama, tel erezyon, lazer ve aşındırıcılı su jeti gibi kesme yöntemleri kullanılarak kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdulsahip, Y.M., 2014.** Effect of copper addition on the microstructure and mechanical properties of Al-Si alloy. *Al-Qadisiya Journal For Engineering Sciences*, 7.
- Akyüz, B., 2016.** Effect of silicon content on machinability of Al-Si alloys. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 31, 51-57. DOI: 10.12913/22998624/64153
- Al Saadi, H.I.A. ve Tunay, R.F., 2017.** Suni Yaşlandırma İşleminin Alüminyum Alaşımının Sertliği Üzerine Etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*. DOI: 10.21923/jesd.287005
- Alemdağ, Y. and Beder, M., 2014.** Microstructural, mechanical and tribological properties of Al-7Si-(0-5)Zn alloys. *Material and Design*, 63, 159-167. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.06.006
- Alemdağ, Y. and Beder, M., 2015.** Dry sliding wear properties of Al-7Si-4Zn-(0-5)Cu alloys. 8th International Conference on Tribology, 30th Oct.-1st Nov, Sinaia, ROMANIA
- Aslanlar, S., 2016.** Temel İşlemler Teknolojisi ve Uygulamaları Ders Notları. Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye.
- Ataç, A.M. ve Güral, A., 2013.** Çinko-alüminyum (ZA) alaşımlarının mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilebilirliği üzerine bir çalışma. *Politeknik Dergisi*, 16, 147-154.
- Aurich, J.C., Sudermann, H. and Bil, H., 2005.** Characterisation of Burr Formation in Grinding and Prospects for Modelling. *CIRP Annals*, 54, 313-316. DOI: 10.1016/s0007-8506(07)60111-5
- Avuncan, G., 1998.** Talaş kaldırma ekonomisi ve kesici takımlar. *Makina Takım Endüstrisi A.Ş.*, İstanbul
- Ayata, G., 2018.** Bor, stronsiyum ve/veya magnezyum katkılarının Al-Si alaşımlarının yapısal ve mekanik özelliklerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, Türkiye, 75 s., 58.
- Aydın, B. ve Özçatalbaş, Y., 2003.** AA2014(T6) Alaşımının işlenebilirlik özelliklerine kesici takım geometrisinin etkisi. *Makine Tasarım ve İmalat Dergisi*, 5, 89-95.
- Bahçe, E., Kılıçkap, E. ve Özel, C., 2010.** Al-5005'in delinmesinde delme parametrelerinin çapak oluşumuna etkisinin araştırılması. 2. Ulusal İmalat ve Analiz Kongresi. Balıkesir, 11-12 Kasım.

- Baretzky, B., Friesel, M. and Straumal, B., 2007.** Reconstruction of historical alloys for pipe organs brings true baroque music back to life, MRS Bulletin, 32, 249-255. DOI: 10.1557/mrs2007.30
- Başer, T.A., 2012.** Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı. Mühendis ve Makine, 53, 51-58.
- Bayraktar, Ş., Hekimoğlu, A.P., Turgut, Y. and Hacıosmanoğlu, M., 2017.** Effect of different cutting tools on machinability of the Al-5Zn alloy. International Symposium on Industrial Design Engineering, Nevşehir, 13-15 September.
- Bayraktar, Ş., Siyambaş, Y. ve Turgut, Y., 2017.** Delik delme prosesi: bir araştırma. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(2), 120-130. DOI: 10.16984/saufenbilder.296833
- Bhowmick, S. and Alpas A.T., 2008.** Minimum quantity lubrication drilling of aluminium-silicon alloys in water using diamond-like carbon coated drills. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 48, 12-13, 1429-1443. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2008.04.010
- Braga, D.U., Diniz, A.E., Miranda, G.W.A. and Coppini, N.L., 2002.** Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and a diamond coated tool in the drilling of aluminum-silicon alloys. Journal of Materials Processing Technology, 122, 127-138 DOI: 10.1016/S0924-0136(01)01249-3
- Carrilero, M.S., Bienvenido, R., Sanchez, J.M., Alvarez, A., Gonzalez, A. and Marcos, M., 2002.** A SEM and EDS insight into the BUL and BUE differences in the turning processes of AA2024 Al-Cu alloy. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42, 215-220. DOI:10.1016/S0890-6955(01)00112-2
- Coelho, R.T., Yamada, S., Aspinwall, D.K. and Wise, M.L.H., 1995.** The application of polycrystalline diamond (PCD) tool materials when drilling and reaming aluminium based alloys including MMC. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 35, 5, 761-774. DOI: 10.1016/0890-6955(95)93044-7
- Çaydaş, U. and Çelik, M., 2016.** Investigation of the effects of cutting parameters on the surface roughness, tool temperature and thrust force in drilling of AA 7075-T6 alloy. Journal of Polytechnic, 20, 419-425.
- Çetin, A., 2017.** Alüminyum döküm alaşımları. El Kitabı, 4. Sayı.
- Çiftçi, İ., 2004.** AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kaplanmış sementit karbür kesici takımla işlenmesi esnasında oluşan takım aşınması. Teknoloji, 7, 489-495.
- Dağdelen, E. and Ulus, A., 2016.** Aluminum sheet production: heat, treatment of aluminium and temper designations of aluminium alloys. 18th International Metallurgy & Materials Congress Proceedings Book.

- Davis, J.R., 2001.**Aluminum and aluminium alloys, Hight Metals And Alloys, 351-416
DOI: 10.1361/autb2001p351
- Dennis, W.H., 1987.** Demirden gayri metaller metalürjisi. İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, yayın no: 4, 2. Baskı, 491 s. Tulgar, E.(Ç.Ed.), 352-353.
- Dhavamani, C. and Alwarsamy, T., 2012.** Optimization of machining parameters for aluminium and silicon carbide composite using genetic algorithm. Procedia Engineering, 38, 1994-2004. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.06.241
- Ejiofor, J.U. and Reddy, R.G., 1997.** Developments in the Processing and Properties of Particulate Al-Si Composites. Metals and Materials, 49, 31-37.
- Eker, A.A., 2008.** Magnezyum ve alaşımları. Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Engin, S. ve Büyük, U., 2018.** Kontrollü doğrusal katılaştırılan Al-Cu alaışımının mikroyapısı, mekanik ve elektriksel özelliklerinin katılaştırma hızına bağlı değişimi. GÜFBED, 8, 209-221. DOI: 10.17714/gumusfenbil.349996
- Erdöl, Ş., 1994.** Çinko-alüminyum esaslı alaşımlarda mukavemet arttırma yöntemlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 42 s., 3.
- Farid, A.A., Sharif, S. and Idris, M.H., 2011a.** Surface integrity study of high-speed drilling of Al-Si alloy using HSS drill. Journal of Engineering Manufacture, 225, 1001-1007. DOI: 10.1177/2041297510393642
- Farid, A.A., Sharif, S. and Idris, M.H., 2011b.** Chip morphology study in high speed drilling of Al-Si alloy. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 57, 555-564. DOI: 10.1007/s00170-011-3325-3
- Fatahalla, N., Hafız, M. and Abdulkhalek, M., 1999.** Effect of microstructure on the mechanical properties and fracture of commercial hypoeutectic Al-Si alloy modified with Na, Sb and Sr. Journal of Materials Science, 34, 3555-3564. DOI: 10.1023/A:1004626425326
- Fayomi, O.S.I., Popoola, A.P.I. and Udoye, N.E., 2017.** Effect of alloying element on the integrity and functionality of aluminium-based alloy. Mechanical Behavior and Applications, Chapter:13. DOI: 10.5772/intechopen.71399
- Gavas, M., Yaşar, M., Aydın, M. ve Altunpak, Y., 2015.** Üretim yöntemleri ve imalat teknolojileri. Seçkin yayınları, yayın no:65, 4.Baskı, ISBN: 978-975-02-3482-8, 520 s., 317-318.
- Gökkaya, H., 2010.** The effect of machining parameters on cutting forces, surface roughness, built-up edge (BUE) and built-up layer (BUL) during machining AA2014(T4) alloy. Journal of Mechanical Engineering, 56, 584-593.

- Gökkaya, H. ve Nalbant M., 2007.** Kesme hızının yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu üzerindeki etkilerinin SEM ile incelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22, 481-488.
- Gonçalves, R.A. and Silva, M.B. 2015.** Influence of copper content on 6351 aluminium alloy machinability. Procedia Manufacturing, 1, 683-695. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.09.014
- Groover, M.P., 2016.** Modern imalatın prensipleri. Nobel yayınları, yayın no: 1150, Mühendislik/Teknik no: 098, 4. Baskı, ISBN: 978-605-320-054-3, 1002 s., Yurdakul M. ve İç T.Y. (Ç.Ed.), 475.
- Grum, J. and Kisin, M., 2005.** The influence of the microstructure of three Al-Si alloys on the cutting-force amplitude during fine turning. International Journal of Machine Tools & Manufacture 46, 769-781 DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2005.07.032
- Güner, A.T., 2013.** Yarı-Katı Halde Verilmiş Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özelliklerine Su Verme Sıcaklığının Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye, 78 s., 5.
- Gupta, M. and Ling, S., 1999.** Microstructure and mechanical properties of hypo/hyper-eutectic Al-Si alloys synthesized using a near-net shape forming technique. Journal of Alloys and Compounds, 287, 284-294. DOI: 10.1016/S0925-8388(99)00062-6
- Hanyu, H., Kamiya, S., Murakami, Y. and Saka, M., 2003.** Dry and semi-dry machining using finely crystallized diamond coating cutting tools. Surface and Coatings Technology, 173-174, 992-995. DOI: 10.1016/S0257-8972(03)00688-1
- Hekimoğlu, A.P. ve Ayata, G., 2019.** Stronsiyum ve stronsiyum-magnezyum katkılarının ötektiküstü Al-17Si alaşımlarının içyapı ve mekanik özelliklerine etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25, 49-55.
- Hekimoğlu, A.P. ve Hacıosmanoğlu, M., 2018.** Al-(2-30)Si alaşımlarının iç yapı ve mekanik özellikleri. IMSTEC, Nevşehir, 17-19 Eylül, 169-174.
- Hekimoğlu, A.P. ve Turan, Y.E., 2018.** Çinko oranının Al-(5-50)Zn alaşımlarının yapısal ve mekanik özelliklerine etkisi. GUFBED, 9, 16-25. ISSN: 2146-538X, DOI: 10.17714/gumusfenbil.381050
- Karaaslan, K., 2018.** Mühendislik alaşımları için faz diyagramları. Efe akademi yayınları, 2. Baskı, ISBN: 978-605-2308-18-9, 392 s., 343-344.
- Kaya, H., Cengiz, A. ve Uçar, M., 2010.** Talaş Formuna Bağlı Olarak 7075 Al Alaşımlarının İşlenebilirlik Parametrelerinin Uygunluğunun Tespit Edilmesi. 2. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 1-2 Ekim, Konya/Türkiye.
- Kaufman, J.G. and Rooy, E.L., 2004.** Aluminum alloy castings: properties, processes and applications. ASM International.

- Kendall, L.A., 1995.** Friction and wear of Cutting tools and cutting tool material. ASM International, 18, Ohio, USA.
- Kılıçkap, E., Hüseyinoğlu, M. ve Özel, C., 2009.** Effect of coolant technique on performance characteristic in drilling of 7075 aluminum alloy. E-Journal of New World Sciences Academy, 4, ISSN: 1308-7231.
- Kılıçlı, V., Uslu, A.H., Çifçi, M. ve Akar N., 2017.** Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımının metalografik incelenmesi. Politeknik Dergisi. DOI:10.2339/politeknik.339372
- Kuczmazewski, J. and Piesko, P., 2014.** Wear of milling cutters resulting from high silicon aluminium alloy cast AlSi21CuNi . Maintenance and Reliability, 16, 37-41.
- Külekçi, M.K., Eşme, U., Ekşi, A.K., Koçoğlu, Z. and Yılmaz, N.F., 2017.** Investigation of milling process parameters for the optimization of surface roughness of EN AW5754 (AlMg3) aluminum alloy . Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 32, 153-160.
- Kumar, A., Mahapatra, M.M. and Jha, P.K., 2013.** Effect of machining parameters on cutting force and surface roughness of in situ Al-4.5%Cu/TiC metal matrix composites. Measurement, 48, 325-332. DOI: 10.1016/j.measurement.2013.11.026
- Kurt, M., Kaynak, Y., Bakır, B., Köklü, U., Atakök, G. ve Kutlu, L., 2009.** Al2024-T4 alüminyum elmas benzeri karbon (DLC) kaplanmış matkaplarla delinmesinde kesme parametrelerinin deneysel incelenmesi ve taguchi optimizasyonu. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 13-15 Mayıs.
- Kuznetsov, G.M., Barsukov, A.D. and Krivosheeva, G.B., 1986.** Calculation of Phase Equilibria of The Al-Zn System, Russian Metallurgy, 5, 195-198.
- List, G., Nouari, M., Gehin, D., Gomez, S., Manaud, J.P., Le Petitcorps, Y. and Girot, F., 2005.** Wear behaviour of cemented carbide tools in dry machining of aluminium alloy. Wear, 259, 1177-1189. DOI: 10.1016/j.wear.2005.02.056
- Mellinger, C.J., Özdoğanlar, O.B., DeVor, R.E. and Kapoor, S.G., 2002.** Modeling chip-evacuation forces and prediction of chip-clogging in drilling. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 124, 605-614. DOI: 10.1115/1.1473146
- Mendi, F., 2006.** Takım tezgahları teori ve hesapları. Gazi Kitabevi. ISBN: 975-6009-53-5.
- Mizutani, H., Yamada, S., Takayanagi, A. and Okamura, K., 2000.** Mechanical properties and machinability of various aluminum alloys. Journal of Japan Institute of Light Metals, 44, 16-21.
- Monaghan, J. and O'Reily, P., 1992.** The drilling of an Al/SiC metal-matrix composite. Journal of Materials Processing Technology, 33, 469-480. DOI: 10.1016/0924-0136(92)90280-6

- Mondolfo, L.F., 1976.** Al-Si-Mg Alloys. Aluminium Alloys Structure and Properties. ISBN: 9781483144825, 982 s., 759-774.
- Murray, J.L., Massalski, T.B., Bennett, L.H. and Baker, H., 1986.** Binary alloys phase diagrams. ASM International, 3.
- Nouari, M., List, G., Girot, F. and Gehin, D., 2005.** Effect of machining parameters and coating on wear mechanisms in dry drilling of aluminium alloys. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45, 1436-1442, DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2005.01.026
- Oğuz, B., 1990.** Demir Dışı Metallerin Kaynağı, Erdini Basım ve Yayınevi, İstanbul.
- Özcatalbaş, Y. ve Aydın, B., 2006.** Mekanik özellik ve kesme geometrisinin AA2014 alaşımının işlenebilme özelliklerine etkileri. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21, 21-27.
- Özerkan, H., 2018.** Theoretical evaluation of the surface roughness effect on the fatigue life in turning . Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 33, 189 – 198.
- Pramila Bai, B.N. and Biswas, S.K., 1991.** Effect of magnesium addition and heat treatment on mild wear of hypoeutectic aluminium-silicon alloys. Acta Metallurgica et Materialia, 39, 833-840. DOI: 10.1016/0956-7151(91)90283-7
- Raju, P.N., Rao, K.S., Reddy, G.M., Kamaraj, M. and Rao, K.P., 2007.** Microstructure and high temperature stability of age hardenable AA2219 aluminium alloy modified by Sc, Mg and Zr additims. Materials Science and Engineering, 464, 192-201. DOI: 10.1016/j.msea.2007.01.144
- Sanchez, J.M., Rubio, E., Alvarez, M., Sebastian, M.A. and Marcos, M., 2005.** Microstructural characterisation of material adhered over cutting tool in the dry machining of aerospace alloys. Journal of Materials Processing Technology, 164-165, 911-918. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2005.02.058
- Savaşkan, T. ve Bektaşoğlu A., 2005.** Zn-60Al-(1-5)Cu Alaşımlarının Kuru Sürtünme Durumundaki Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Mühendis ve Makine, 46, 544, 31-39.
- Savaşkan, T., Bican, O. and Alemdağ, Y., 2009.** Developing aluminium-zinc-based a new alloy for tribological applications. Journal of Materials Science, 44, 1969-1976. DOI: 10.1007/s10853-009-3297-y
- Savaşkan T. ve Pürçek G., 1998.** Çinko-alüminyum esaslı alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların aşınma özellikleri. Türkiye Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, 24, 25-34.
- Seco Teknik Eğitim Programı, 2018.** Delik delme. Cad/Cam araştırma ve uygulama merkezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.

- Shivukmar, S., Ricci, S., Steenhoff, B. and Sigworth, G., 1989.** An experimental study to optimize the heat treatment of A356 alloy. 93rd AFS Casting Congressi, 7-11 May.
- Sekmen, M., Günay, M. ve Şeker, U., 2015.** Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesme hızı ve talaş açısının yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu üzerine etkisi. Politeknik Dergisi, 18, 141-148. DOI: 10.2339/2015.18.3
- Sevim, C. ve Genç, O., 2015.** Al-7075 malzemesinin freze tezgahında delme işleminde farklı devir ve ilerleme hızları için oluşan titreşimlerin incelenmesi. International Journal of Scientific & Technology, 4, 50-57.
- Şeker, U., 2012.** Üretim teknolojileri ders notları. Gazi Üniversitesi.
- TMMOB, Alüminyum raporu. 24. Dönem Çalışma Raporu, Ek-16.**
- Tonshoff, H.L., Spintig, W., König, W. and Neises, A., 1994.** Machining of holes developments in drilling technology. Annals of the CIRP, 43, 551-560. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)60501-0
- Tosun, N. and Hüseyinoğlu, M., 2010.** Effect of MQL on surface roughness in milling of AA7075-T6. Materials and Manufacturing Processes, 25, 793-798. DOI:10.1080/10426910903496821
- Tunçay, T., 2016.** Effect of Cu content on microstructure and wear behaviour in A356 alloy. Journal of Polytechnic, 19, 585-592.
- Trujillo, F.J., Sevilla, L. and Marcos, M., 2017.** Experimental parametric model for indirect adhesion wear measurement in the dry turning of UNS A97075 (Al-Zn) Alloy, 10, Materials. DOI: 10.3390/ma10020152
- URL-1, 2018.** <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/boksit> (16 Ekim 2018).
- URL-2, 2018.** <http://www.kuark.org/2014/08/bayer-ve-hall-prosesleri-ile-aluminyum-uretimi/> (16 Ekim 2018).
- URL-3, 2018.** <http://s3.amazonaws.com/chegg.media.images/board/ec1/ec1b410b-4f86-4fdb-9722-8a8a7996e18a-original.png> (20 Ekim 2018).
- Wain, N., Thomas, N.R., Hickman, S., Wallbank, J. and Teer, D.G., 2005.** Performance of low-friction coatings in the dry drilling of automotive Al-Si alloys. Surface and Coatings Technology, 200, 1885-1892. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2005.08.016
- Ye, H., 2003.** An overview of the development of Al-Si-Alloy based material for engine applications. Journal of Materials Engineering and Performance, 12, 288-297. DOI: 10.1361/105994903770343132

- Yousefi, R. and Ichida, Y., 2000.** A study on ultra-high-speed cutting of aluminium alloy: formation of welded metal on the secondary cutting edge of the tool and its effects on the quality of finished surface. *Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology*, 24, 371-376. DOI: 10.1016/S0141-6359(00)00048-9
- Zeren, M., Karakulak, E. and Gümüş, S., 2011.** Influence of Cu addition on microstructure and hardness of near-eutectic Al-Si-xCu-alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21, 1698-1702. DOI: 10.1016/S1003-6326(11)60917-5
- Zyska, A., Konopka, Z., Lagiewka, M. and Nadolski, M., 2011.** Structure and selected properties of High-Aluminium Zn Alloy With Silicon Addition. *Archives of Foundry Engineering*, 11, 261-264.



ÖZGEÇMİŞ

Furkan AFYON, 1995 Trabzon doğumludur. İlk ve orta öğrenimini Trabzon/Vakfıkebir Fevziye İlköğretim Okulu'nda aldı. Lise eğitimini Beşikdüzü Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2016 yılında Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2016 yılında başladığı yüksek lisans eğitimine Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda halen devam etmektedir.

